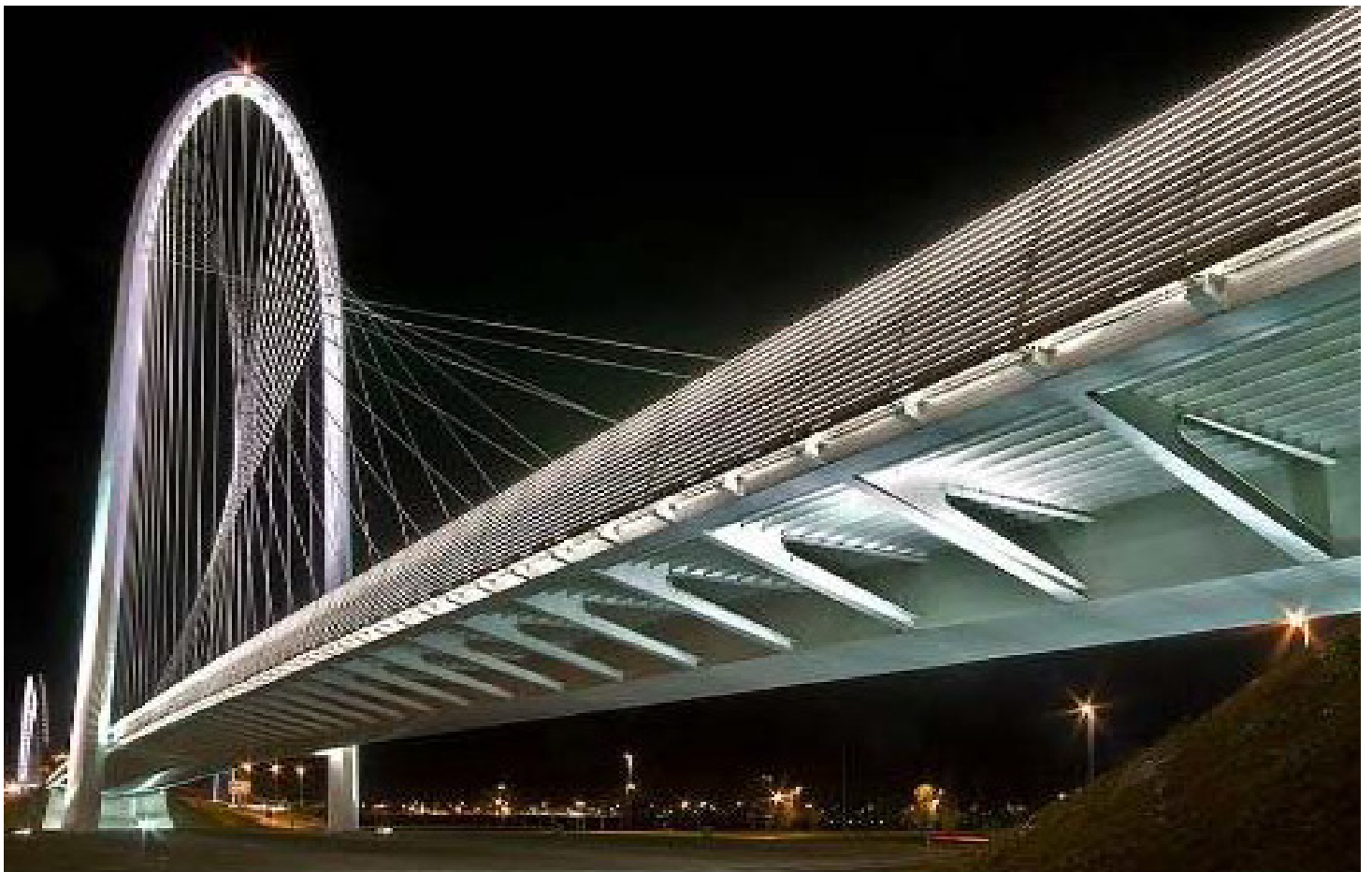


19. BULLONERIA STRUTTURALE

QUADRO NORMATIVO

FABBRICAZIONE – CONTROLLI E PROVE – CERTIFICAZIONI

A CURA DEL PROF. ING. GIANFRANCO DE MATTEIS



monografia tecnica

BULLONERIA STRUTTURALE

QUADRO NORMATIVO

FABBRICAZIONE – CONTROLLI E PROVE – CERTIFICAZIONI

Prof. Ing. Gianfranco De Matteis

Università degli Studi G. d'Annunzio di Chieti-Pescara

BULLONERIA STRUTTURALE - QUADRO NORMATIVO

FABBRICAZIONE – CONTROLLI E PROVE – CERTIFICAZIONI

INDICE

PREMESSA.....	4
1. INTRODUZIONE	5
2. L'EVOLUZIONE DELL'INDUSTRIA SIDERURGICA	12
2.1 Premessa.....	12
2.2 L'acciaio nel secolo delle rivoluzioni industriali.....	13
2.3 La nascita delle acciaierie e delle piccole e medie imprese italiane	27
2.3.1. Generalità	27
2.3.2 Le grandi acciaierie	28
2.3.3 L'imprenditoria locale	31
3. LA BULLONERIA STRUTTURALE	36
3.1 Generalità.....	36
3.2 Il quadro normativo di riferimento.....	37
3.3 Gli elementi di base	43
3.4 I metodi di lavorazione e produzione	48
3.5 Indicazioni geometriche e classi di resistenza	55

4. DALLE COMPONENTI DI BASE AGLI ASSIEMI.....	63
4.1 Generalità.....	63
4.2 Assiemi non da precarico tipo SB (norma EN 15048)	65
4.3 Assiemi da precarico (norma EN 14399)	67
4.3.1 Sistemi tipo HR ed HV	67
4.3.2 Sistema tipo HRC.....	71
4.4 Controlli sulla produzione.....	73
4.4.1 Generalità	73
4.4.2 Valutazione delle caratteristiche qualitative delle singole componenti	75
4.4.3 Prove di serraggio dell'assieme	77
4.5 Ulteriori regole di assemblaggio	83
4.5.1 Aspetti generali.....	83
4.5.2 Posizionamento dei fori	85
4.5.3 Tolleranze foro-bullone	87
4.5.4 Determinazione della coppia di serraggio	89
4.5.5 Modalità di applicazione della coppia di serraggio	90
4.5.6 Controlli finali sugli assemblaggi.....	95
BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE	100
PRINCIPALI NORMATIVE DI RIFERIMENTO	101

PREMESSA

La presente monografia è stata redatta nell'ambito della collaborazione intrapresa con Promozione Acciaio, fondazione che promuove da tempo in campo nazionale ed internazionale la cultura dell'acciaio, e l'associazione U.P.I.V.E.B. (Unione Produttori Italiani Viteria E Bulloneria), attiva dal 1961 e che associa produttori italiani con elevata efficienza ed in grado di fornire prodotti di alta qualità nel settore della viteria e della bulloneria.

L'obiettivo è presentare al lettore un quadro generale sul complesso mondo della bulloneria strutturale, dalla storia della produzione degli elementi metallici alla analisi dei singoli elementi costituenti *l'assieme bullonato* secondo l'attuale complesso impianto normativo, ciò con l'intento di fornire un panorama completo sui vari aspetti di base. Tale monografia può intendersi quindi come propedeutica e complementare ad un più usuale testo incentrato sul calcolo strutturale dei collegamenti. Essa può costituire utile strumento per gli operatori che già frequentano l'ambito delle costruzioni metalliche, ma ancor di più per chi si vuole avvicinare a tale disciplina, per individuare le corrette modalità con le quali approcciare il problema sia dal punto di vista progettuale che esecutivo.

All'autore preme rivolgere un sentito ringraziamento all'Ing. Luigi Vitale, per il contributo fornito nell'impostazione di alcune parti della monografia, ed all'Arch. Elisabetta D'Alessandro per la gestione dell'apparato grafico.

1. INTRODUZIONE

L'estrema flessibilità delle strutture in acciaio, unitamente alla loro capacità di adattamento in qualsiasi contesto costruttivo - che sia quello relativo agli edifici in ambito urbano, sempre più spesso icone delle città moderne (*cfr. Fig. 1, 2, 3*) e per questo ambito desiderio delle *archistar*, alla realizzazione dei ponti (*cfr. Fig. 4, 5*), talvolta mirabili esempi di ingegneria ma anche di architettura, all'insediamento di edifici per il terziario (*cfr. Fig. 6*), tradizionalmente appannaggio della carpenteria metallica, o, ancora, al recupero ed al completamento di edifici esistenti (*cfr. Fig. 7*), campo di applicazione nel quale l'acciaio trova da sempre raffinato impiego – ha favorito la loro crescente diffusione, generando una esigenza sempre maggiore da parte delle varie figure tecniche coinvolte di conoscenza e comprensione della natura del materiale e delle componenti di base.

Le strutture metalliche trovano spesso nei punti di collegamento tra i vari elementi, i nodi, i loro punti critici. In tali zone le forze interne si trasmettono, si trasformano e si distribuiscono tra le membrature resistenti.



Figura 1 Heydar Aliyev Center (Baku, Azerbaijan), Zaha Hadid, 2012

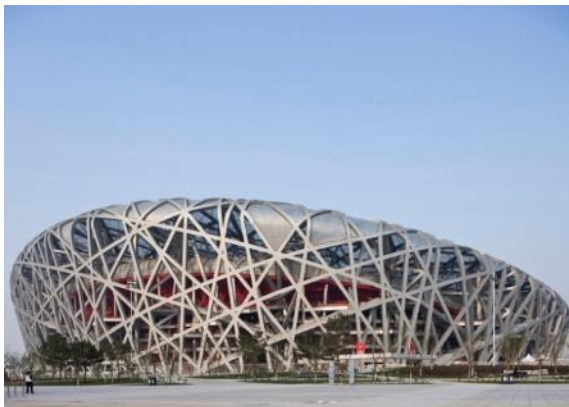


Figura 2 Stadio Nazionale di Pechino (Bird's Nest), Anish Kapoor and Cecil Balmond, Pechino 2008



Figura 3 Copertura dell'aerostazione di Capodichino (in fase di costruzione), Napoli, 2009



Figura 4 Ponte Maria Pia di Gustave Eiffel su fiume Doiro, Oporto, 1877



Figura 5 I tre ponti di Santiago Calatrava (Ponte Centrale), Reggio Emilia, 2007

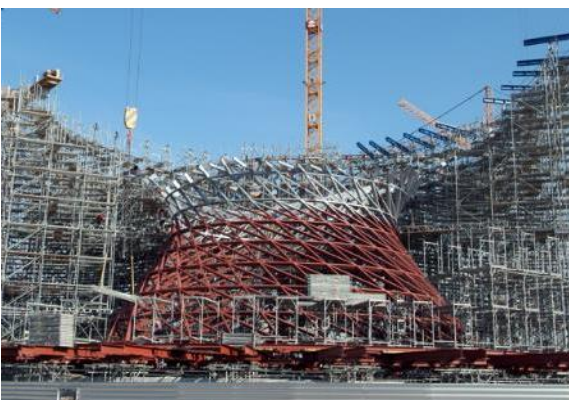


Figura 6 BMW World Experience and Delivery Centre, Coop Himmelb(l)au, Monaco, 2007

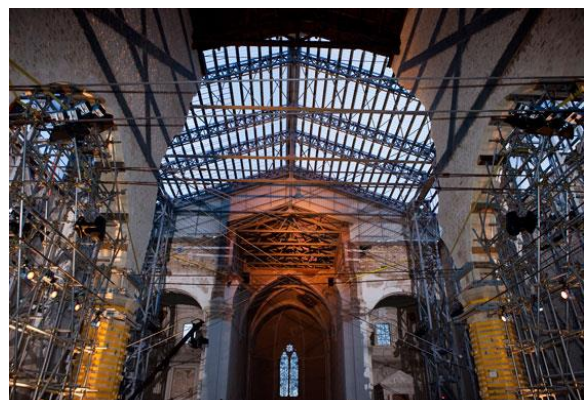


Figura 7 Basilica S. Maria di Collemaggio (L'Aquila), intervento temporaneo di ricostruzione della copertura danneggiata dal sisma del 2009

I collegamenti influenzano evidentemente le prestazioni statiche dell'intera struttura, sia a livello locale (quali possibili zone di concentrazione del danno) che a livello globale (in termini di risposta dell'intera struttura), tanto più se se ne considera il comportamento in campo sismico. È stato provato che molti collassi delle strutture metalliche, almeno il 30%, sono imputabili proprio ai collegamenti (*cf.* **Fig. 8**). La loro ideazione, dimensionamento e pratica realizzazione, pertanto, assumono enorme rilevanza in termini di efficacia ed affidabilità dell'intero sistema strutturale.



Figura 8 Tipici esempi di rottura di collegamenti (*Effects of the 2011 Tohoku Japan Earthquake on Steel Structures, EERI*)

D'altra parte la corretta definizione dei collegamenti, attraverso la scelta del dettaglio costruttivo (*cf.* **Fig. 9**), finisce per caratterizzare la qualità del progetto e ciò non solo dal punto di vista strutturale, ma spesso anche in termini di resa estetica e validità formale dell'opera architettonica, con ovvie ripercussioni anche di natura economica.

Per tutti tali importanti e concreti aspetti, al fine di proferire adeguata scelta e di valutarne correttamente gli effetti sul progetto e sulla prestazione dell'opera, è necessario che il progettista posseda ampie conoscenze e consolidata esperienza in questo specifico ambito.

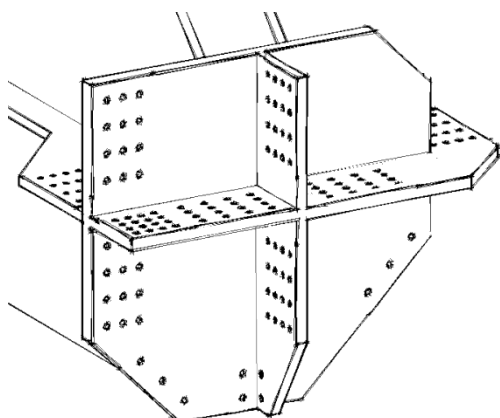


Figura 9 Elementi in acciaio per assemblaggio mediante collegamenti bullonati (stabilimento Cimolai – Pordenone)

I collegamenti delle strutture metalliche, in particolare di quelle in acciaio, vengono realizzati principalmente in due modi, differenti per tecnologia e tecnica realizzativa. Gli elementi strutturali, infatti, possono essere collegati mediante saldature ovvero mediante elementi meccanici di giunzione, quali ad esempio i bulloni. È proprio di questi ultimi elementi che si discuterà nel presente lavoro.



a. Controventi saldati



b. Controventi bullonati

Figura 10 Esempi di collegamenti saldati e bullonati

La scelta di ricorrere all'uso della saldatura piuttosto che della bullonatura (cfr. **Fig. 10**) dipende ovviamente dalla tipologia dell'opera ma anche dalle prerogative e dagli obiettivi del progetto. Le saldature hanno la proprietà indiscutibilmente favorevole di ripristinare

completamente ed in modo semplice la continuità degli elementi strutturali collegati, ma richiedono necessariamente una esecuzione accorta, con l'impiego di maestranze altamente specializzate e l'effettuazione di controlli obbligatori.



a. Giunzione di continuità trave-trave e colonna-colonna



b. Collegamenti tra elementi convergenti



c. Collegamento tra travi ortogonali con piastra di estremità



d. Collegamento trave-trave con angolari

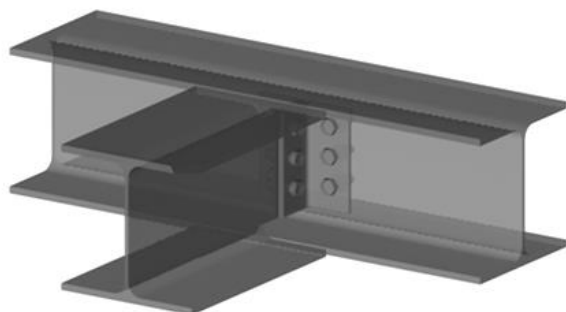
Figura 11 Tipici esempi di collegamenti bullonati

I collegamenti bullonati, invece, sono caratterizzati da una localizzazione più puntuale degli stati tensionali, risultando generalmente più facili ed economici da eseguire oltre che più adatti ad operazioni di smontaggio, trasformazioni e ripristino di singoli elementi o parti rilevanti della struttura. Per loro natura, essi vengono eseguiti direttamente in cantiere (differenziandosi per questo fortemente dalla saldature, le quali, invece, vengono principalmente eseguite in officina), con semplici operazioni di montaggio, senza

bisogno di personale specializzato, e di controllo sull'eseguito. Per tale motivo essi rendono più agevoli le operazioni di trasporto delle singole parti strutturali costituenti gli assemblaggi finali in carpenteria metallica (*cf.* **Fig. 11**). I collegamenti basati su dispositivi meccanici di giunzione, tra l'altro, consentono di realizzare sistemi strutturali reversibili senza immettere nell'ambiente circostante sostanze nocive. È quanto mai evidente come essi siano caratterizzati da una notevole versatilità, consentendo la pratica realizzazione di tutte le tipologie di giunzione normalmente occorrenti nella carpenteria metallica (*cf.* **Fig. 12**).

A tali pregi, tuttavia, può fare da contraltare un generale indebolimento delle sezioni associato proprio agli anzidetti fenomeni di concentrazione delle tensioni. Ad esso deve farsi fronte mediante la accurata disposizione delle forature e la particolare cura del dettaglio costruttivo, con evidente possibilità di risoluzione di ogni ipotizzabile problematica.

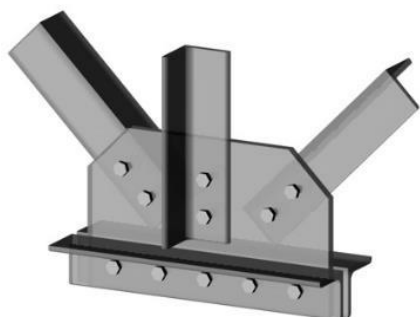
Nel presente lavoro, proprio al fine di analizzare le peculiarità dei collegamenti bullonati, l'attenzione verrà rivolta alla bulloneria strutturale, analizzando la corrente disciplina normativa ed i principali aspetti legati alla produzione, alla progettazione ed al controllo degli assiemi bullonati.



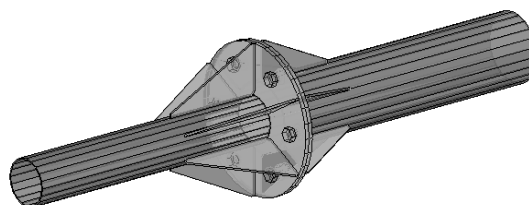
a. Collegamento trave-trave con angolari



b. Collegamento trave-colonna con controvento



c. Collegamento di elementi di travatura reticolare



d. accoppiamento di elementi tubolari

Figura 12 Esempificazione di tipici collegamenti bullonati

2. L'EVOLUZIONE DELL'INDUSTRIA SIDERURGICA

2.1 Premessa

L'*assieme bullonato* costituisce indubbiamente un elemento fondamentale della carpenteria metallica, soprattutto da quando risultano attive le linee automatizzate di taglio e foratura delle lamiere di acciaio attraverso le quali la predisposizione degli elementi di base, per dar corso ai collegamenti bullonati, è divenuta di facile ed economica attuazione. Nel tempo, infatti, proprio per i vantaggi derivanti dalla automatizzazione delle lavorazioni, si è assistito progressivamente alla scomparsa della chiodatura, che oltre alle difficoltose operazioni di foratura di lamiere e profilati, necessitava dell'impiego di manodopera altamente specializzata per la materiale esecuzione in cantiere della giunzione.

La produzione delle viti e dei bulloni d'altra parte prende le mosse dalle innovazioni tecnologiche intervenute nel corso degli ultimi due secoli, quali ad esempio i processi di estrazione e trasformazione del ferro, di laminazione, trafilatura, taglio, foratura, protezione etc., senza i quali non si sarebbe potuto giungere al livello qualitativo e tecnologico degli attuali sistemi di collegamento.

Nel presente capitolo, pertanto, si ripercorrono le principali tappe della evoluzione storica delle costruzioni di acciaio, non solo per fornire alcuni richiami storici, sempre e comunque utili al cultore delle costruzioni metalliche, ma anche per delineare i principali

aspetti tecnologici posti alla base della produzione di bulloni e, quindi, anche della loro commercializzazione.

2.2 L'acciaio nel secolo delle rivoluzioni industriali

L'*acciaio* è una lega di ferro e carbonio, quest'ultimo contenuto in percentuale inferiore al 2% (al di sopra del quale limite si rientra nel campo della ghisa), oltre che di altri elementi, quali fosforo, manganese, silicati e solfati presenti in percentuale molto ridotta. Al crescere della percentuale del carbonio aumenta la durezza e la resistenza della lega, con effetti negativi sulla duttilità e la saldabilità del materiale. Per tale motivo, negli attuali acciai da carpenteria il contenuto di carbonio è ricompreso tra lo 0,17% e lo 0,22%.

Sul mercato esiste una vastissima gamma di prodotti da costruzione in acciaio che si differenziano in base all'impiego. In particolare, in virtù della composizione chimica della lega, la norma UNI EN 10020 suddivide gli acciai nelle classi di acciai non legati (che presentano tenori di tutti gli elementi presenti nella lega inferiori a determinati predefiniti valori), acciai inossidabili (contenenti almeno il 10,5% di cromo ed al massimo l'1,2% di carbonio) e gli acciai legati (che non rientrano nella classe degli acciai inossidabili e che hanno almeno uno degli elementi presenti che supera i suddetti valori).

Agli attuali tipi di acciaio, correntemente utilizzati nel campo delle costruzioni, si è giunti attraverso un'articolata evoluzione, scandita da progressivi e mirabili *avanzamenti tecnologici*.

In effetti, il ferro è un antichissimo materiale da sempre utilizzato dall'uomo; esso, però, a causa delle impurità presenti, che conferivano scarse proprietà meccaniche, veniva inizialmente usato per la sola realizzazione di utensili di minute dimensioni. Nonostante i primi veri e propri elementi in ferro per finalità strutturali siano stati prodotti già tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX sec., la disponibilità della materia prima crebbe solamente quando l'industria ne permise una efficiente trasformazione. Con l'utilizzo della *macchina a vapore* come fonte di energia, infatti, si diede un forte impulso al superamento dei problemi legati alla estrazione ed alla lavorazione del ferro, favorendo fortemente lo sviluppo dei prodotti a base di ferro nel mondo delle costruzioni. In Gran Bretagna, durante il periodo vittoriano delle rivoluzioni industriali, il ferro dolce veniva richiesto per tutti i lavori di costruzione e di ingegneria, specialmente per i binari delle ferrovie in via di rapido sviluppo (*cfr. Fig. 13, 14*). Inoltre, in quell'epoca cresceva la produzione non soltanto di ferro ma anche di tutti gli altri metalli che venivano richiesti sempre più in larga scala.

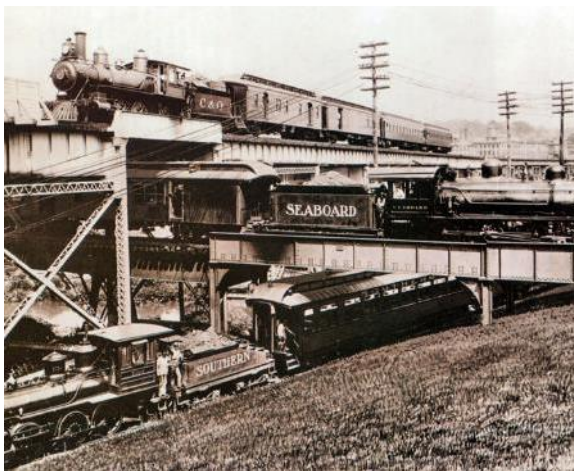


Figura 13 Ferrovia di Richmond, fine XIX secolo



Figura 14 Esempio di tipico incrocio ferroviario a livello

Verso la fine del XIX secolo l'ingegneria allargò il suo campo d'azione e progredì in precisione; i vecchi e primitivi laminatoi ed i vari impianti metallurgici vennero rimpiazzati con altri di gran lunga più potenti e complessi, in grado di lavorare i metalli su scala più vasta, in tempo più breve e con maggiore dettaglio. In questo periodo furono messi a punto anche nuovi processi di estrazione che permisero di disporre di una grande varietà di metalli, ferrosi e non, e di leghe adatte a essere lavorate. Alla fine del Secolo la produzione mondiale di acciaio dolce, che all'epoca aveva già preso il posto della ghisa e del ferro dolce come principale materiale da costruzione, aveva raggiunto i 28 milioni di tonnellate l'anno.

Il presupposto più importante del notevole aumento della quantità e della varietà dei metalli lavorati era la possibilità di fornire la produzione sotto forma di masselli o di lingotti adatti a essere lavorati col maglio o laminati. Il successivo aumento delle dimensioni e della potenza dei laminatoi portò all'uso di lingotti o blumi ancora più grossi. Fintanto che il ferro dolce rimase il principale materiale da costruzione, la misura del singolo pezzo di metallo fu limitata a circa 45-68 kg, manipolati a mano nel forno di pudellaggio. Prima del 1860 gli acciai al carbonio venivano prodotti con il *Processo Huntsman*, consistente nel far fondere di nuovo in un crogiuolo, di capacità non superiore ai 22 kg, il ferro dolce carburato. Il limite era imposto dalla resistenza dei crogiuoli disponibili, dalla capacità dei forni in grado di raggiungere la temperatura richiesta e dalla necessità di sollevare a mano i crogiuoli dai forni a coke o carbone di legna. Solo il ferro ad alto tenore di carbonio poteva essere fuso su basi commerciali. Nel 1856, Henry

Bessemer installò il primo forno efficiente in grado di bruciare l'eccesso di carbonio mediante getti di aria compressa e di aumentare la temperatura in modo tale da poter ottenere l'acciaio "dolce", con un contenuto di carbonio non superiore allo 0,1% allo stato fuso (cfr. **Fig. 15**). I primi *forni Bessemer* avevano una capacità di circa 2 tonnellate di acciaio, salita poi nel 1865 a 4 tonnellate. Tuttavia il mezzo principale per la produzione di acciaio divenne il *forno Martin-Siemens* nel quale il calore veniva fornito dall'esterno e l'alta temperatura era assicurata da appositi meccanismi di recupero di calore dei gas combusti.

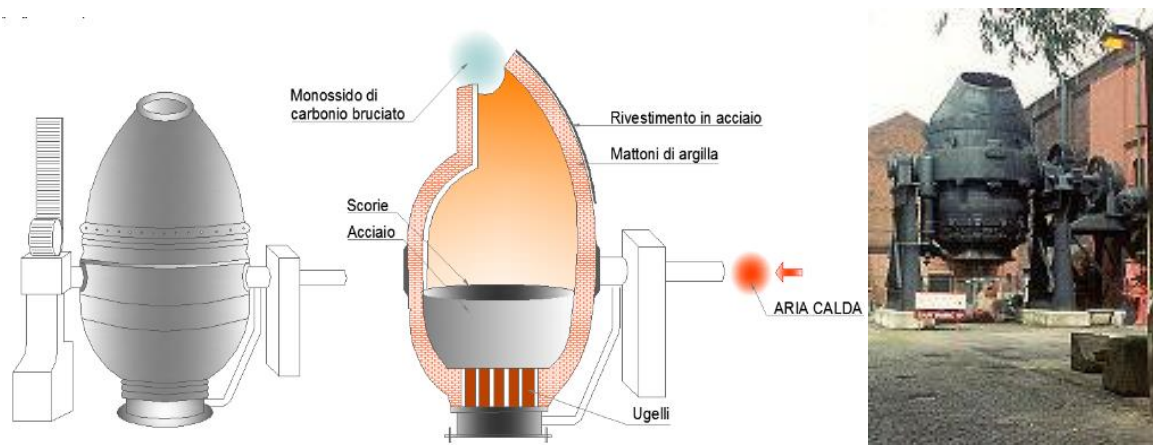


Figura 15 Forno Bessemer: schematizzazione e rappresentazione

Le prime forme di trasformazione della materia prima avvenivano mediante fucinatura o martellamento (cfr. **Fig. 16**) e fino a quando il ferro dolce rimase di uso comune, il maglio continuò a essere lo strumento essenziale per dar forma ai metalli (cfr. **Fig. 17**). L'introduzione del *maglio a vapore* nel 1842 e la successiva *pressa idraulica* del 1847 rappresentarono un progresso notevolissimo. I nuovi strumenti, infatti, permettevano di colpire con maggior forza e precisione.

Nonostante questi significativi progressi, l'industria metallurgica era più avanzata nella lavorazione del rame piuttosto che dell'acciaio, sia per il punto di fusione più basso sia perché le lamiere di rame disponibili erano molto più grandi di quelle di ferro dolce; l'industria del rame rimase all'avanguardia fino al 1865 circa, epoca in cui acquistarono particolare importanza le piastre per corazza. La fucinatura, sia col maglio a vapore che a mano, si protrasse senza notevoli cambiamenti fino al XX secolo, e durante questo periodo le dimensioni dei pezzi lavorati non aumentarono in modo rilevante. Più tardi la produzione principale degli artigiani del rame fu costituita dai focolai delle caldaie delle locomotive.

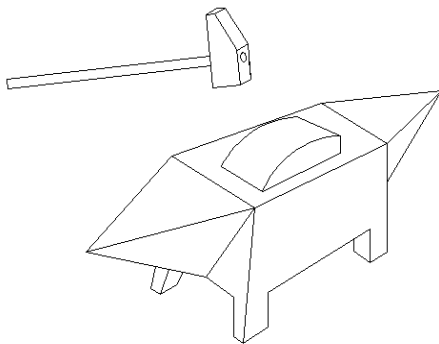


Figura 16 Fucinatura manuale (schematizzazione)



Figura 17 Antico maglio (www.lucianabartolini.net)

Tuttavia, nonostante l'efficacia dei metodi di battitura, la produzione non riusciva mai a raggiungere livelli ottimali. Un notevole progresso si ebbe soltanto con l'introduzione della *laminazione* (cfr. **Fig. 18**). Tale metodologia risale almeno a Leonardo da Vinci, ma è con la prima rivoluzione industriale che molti dei principi fondamentali e delle modifiche principali nella costruzione e nel funzionamento hanno avuto origine, venendo implementate, tuttavia, su larga scala solo durante la Seconda guerra a seguito dello

sviluppo del macchinario necessario e del personale specializzato in costruzioni di ingegneria pesante. La maggior parte del materiale lavorato era costituita da barre, lamiere e profilati per l'edilizia, e da rotaie per le ferrovie, in rapido sviluppo in tutto il mondo. Di conseguenza le più importanti trasformazioni dei laminatoi avevano lo scopo di soddisfare questi mercati. Nel 1850 tutti questi prodotti venivano fabbricati con ferro dolce, sostituito completamente dall'acciaio dolce alla fine del Secolo, con un mutamento più rapido nel terz'ultimo decennio del XIX secolo.

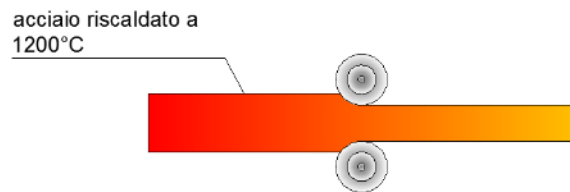


Figure 18 Laminazione a caldo: tipico esempio di treno di laminazione e schematizzazione del processo

Nella lavorazione del ferro dolce, il metallo veniva dapprima sagomato col maglio, poi lavorato in laminatoi con cilindri scanalati o lisci, a seconda che si dovessero produrre barre o lamiere. Con l'introduzione dei lingotti di acciaio, diminuì l'uso del maglio per la sagomatura; nel 1884 venne introdotto il primo *laminatoio universale*. Esso poteva prendere un lingotto fuso e, senza averlo sagomato precedentemente, trasformarlo a volontà in una lamiera o in una barra, in quanto si basava sull'uso di cilindri sagomati o di cilindri verticali per controllare la larghezza (cfr. **Fig. 19, 20**). All'inizio del XX secolo, vi erano laminatoi universali incredibilmente complessi e potenti che applicavano questo

principio. Fin d'allora per questi laminatoi si usavano sempre più motori elettrici invece di macchine a vapore. Ciò consentì un forte aumento della versatilità, poiché il motore centrale poteva essere sostituito da motori separati, che azionavano ciascun cilindro, l'ingranaggio distanziatore, i piani dei rulli e le altre parti ausiliarie, rendendo possibile il controllo di tutte le operazioni da una sola cabina di comando.

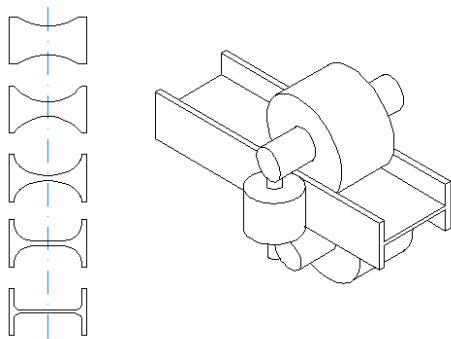


Figura 19 Progressive deformazioni del lingotto di acciaio per ottenere un profilo a doppio T

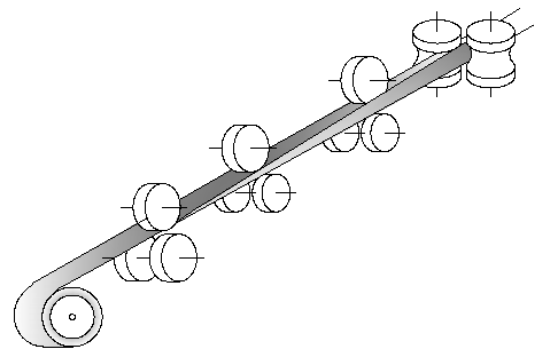


Figure 20 Esempio di piegatura in continuo a freddo per tubolari circolari

Le maggiori richieste di acciaio provenivano principalmente dai cantieri ferroviari e dalle industrie navali. Le prime navi, foderate con lamiere spesse anche molti centimetri di ferro, richiedevano materiali con prestazioni sempre maggiori e più efficienti. L'ingresso dell'acciaio in questo campo permise la realizzazione di lamiere più facili da lavorare e più resistenti.

Sebbene i formati grandi delle lamiere costituissero un limite non indifferente per le case produttrici anche i profili più piccoli dei normali lingotti presentavano le loro criticità. La *produzione dei fili* avveniva mediante la laminazione di barre di ferro in nastri lunghi e piatti dallo spessore di 6 mm circa, che venivano poi tagliati longitudinalmente in strisce a

sezione quadrata. Le strisce venivano quindi trasformate in filo rotondo mediante successivi passaggi attraverso una serie di fori in una filiera (*cf.* **Fig. 21**). Per alcuni usi speciali questo metodo continuò ad essere impiegato durante tutto il Secolo, ed è anzi usato ancora oggi, ma le grandi quantità di filo di ferro, acciaio e rame, di importanza vitale per il progresso dell'ingegneria meccanica ed elettrica, richiedevano l'adozione di processi assai più produttivi. Fino al 1830 le barre venivano forgiate in cilindri scanalati arrivando ad ottenere diametri di 7-8 mm; successivamente, con l'avvento del telegrafo e quindi con la conseguente forte richiesta di fili metallici, l'industria fu costretta ad adeguarsi velocemente. Le invenzioni più significative furono dapprima i *treni di trafilatura belgi*, poi quelli brevettati da George Bedson nel 1862 costituiti da sedici gabbie, disposte in maniera alternata lungo gli assi orizzontale e verticale così da non dover ruotare manualmente il tondo, e dotate di differenti velocità in modo da impedire rallentamenti di produzione dovuti all'allungamento dei fili durante il processo di trafilatura.

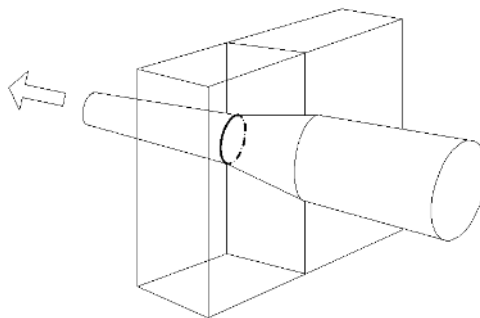


Figure 21 Esempificazione del processo di trafilatura

Il processo di trafilatura era reso possibile fin dai primi tempi utilizzando un bozzello; questo strumento, su cui veniva avvolto il filo, rotava su un asse verticale e forniva la

tensione necessaria per tirare il filo attraverso la filiera. Fin dall'inizio del diciannovesimo secolo si adoperavano comunemente tamburi azionati a motore. Per i tipi di filo più grossi si usavano filiere di acciaio, ma fin dai tempi precedenti per i fili più sottili si ricorreva a filiere di diamante o di altre pietre preziose.

Le esigenze del mercato si facevano sempre più pressanti e, viste le opportunità che le nuove tecnologie offrivano, si dava corso alla continua implementazione di tecniche via via migliori, generando un circolo virtuoso che favoriva la nascita di nuovi strumenti sempre più efficienti (cfr. **Fig. 22**). È proprio da questa congiuntura che nascono gli attuali fili e cavi di metallo ed è attraverso di essi che si sono messi a punto le tecniche di protezione del metallo come di seguito si illustrerà.



Figura 22 Attuali lavorazioni dell'acciaio presso gli stabilimenti Cimolai in Pordenone

Il filo di acciaio, nella prima metà del XIX secolo, veniva prodotto usando acciaio al carbonio, per mezzo di un trattamento termico del rotolo intero. Nel 1854 James Horsfall inventò il processo di *patentamento*, che prevedeva che il filo, passando senza interruzione con la trafilatura in un forno di riscaldamento, quindi in un bagno di tempra

ed infine in un bagno di rinvenimento di piombo fuso, otteneva una maggiore resistenza a trazione, unita a un alto grado di duttilità ed una forte resistenza a torsione. Su questo processo venne mantenuto, fino al secolo scorso, un velo di segretezza; tuttavia il suo uso si diffuse fino a divenire normale. I primi usi “civili” dei cavi furono quelli ottenuti per la sospensione del ponte di Brooklyn a New York (cfr. **Fig. 23**), costruito nel periodo 1869-83. Ognuno dei cavi del ponte era composto da circa 6400 fili separati di acciaio ad alta resistenza “da 100 tonnellate”, su una campata di 486 metri.



Figura 23 I cavi di sospensione del ponte di Brooklyn a New York (dal New York City Municipal Archives – www.zingrate.com)

Un importante passo in avanti nella evoluzione tecnologica deve attribuirsi alla *zincatura*, risalente anch’essa al XIX secolo, utile a conferire un’efficace protezione dell’acciaio dal processo corrosivo galvanico. Nel 1836 M. Sorel brevettò il metodo industriale della zincatura decapando il ferro in acido per poi trattarlo con cloruro di ammonio, prima di immergerlo nello zinco fuso. L’azione protettiva dello zinco sul ferro era conosciuta fin dai tempi delle ricerche sulle correnti galvaniche di Faraday ed il successo ottenuto nelle

applicazioni pratiche all'aperto del ferro zincato portò ad un rapido sviluppo di quest'industria dal 1840 in poi. Le prime zincature vennero implementate sulle lamiere, successivamente anche sui fili. Nel 1860, George Bedson inventò una macchina per la ricottura e la zincatura continua del filo di ferro e di acciaio, con la quale il filo veniva fatto passare con continuità attraverso un forno di ricottura, poi, attraverso il bagno di decapaggio, nel bagno di zinco e veniva avvolto infine in una bobina (cfr. Fig. 24).

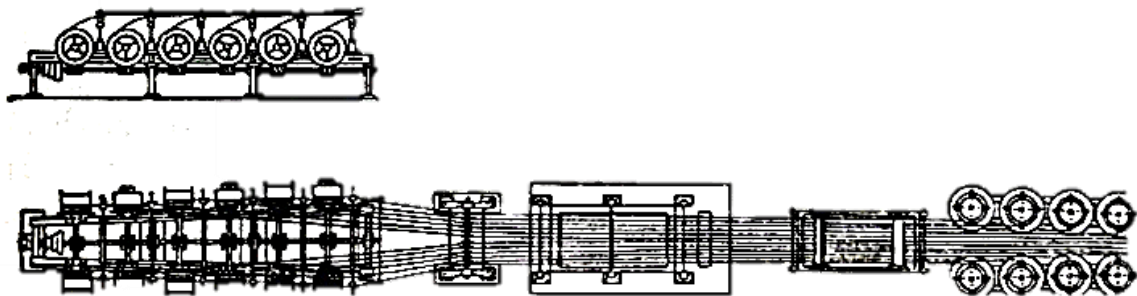


Figura 24 Schematizzazione del processo di zincatura di fili metallici (1860)

Le viti sono da sempre state usate, sin dai tempi dell'antica Grecia, in quanto sin da subito si intuì che grazie alla loro forma geometrica, costituita da una curva omeomerica, erano capaci di scorrere su se stesse, penetrando facilmente all'interno dei materiali. A differenza dei bulloni le viti non hanno bisogno di un dado all'estremità e si fissano in maniera automatica ricreando, all'interno del materiale in cui penetrano, la madrevite necessaria al loro fissaggio (viti autofilettanti). Le prime viti in metallo su larga scala comparvero all'inizio del XIX secolo, grazie a uno speciale tornio brevettato dall'ingegnere britannico Henry Maudslay. Laddove il materiale nel quale deve penetrare la vite non risulta facilmente modellabile con il solo avvvitamento della vite, come ad esempio

l'acciaio, allora è necessaria l'esecuzione di un foro filettato mediante un trapano e un maschio; nell'alluminio, in genere invece, si è soliti praticare il foro e lasciare la vite ricreare il filetto mediante l'avvitamento.

Le prime viti vennero prodotte mediante torni automatici (*automatic screw machines*), a partire dalla seconda metà del XIX secolo (cfr. **Fig. 25**). Tali macchine non hanno subito nel tempo particolari cambiamenti, a parte le migliorie progressive succedutesi negli anni, e nel loro funzionamento sono rimaste abbastanza simili agli esemplari originari. Le novità principali e per così dire drastiche si sono avute laddove i disegni potevano essere direttamente introdotti all'interno della macchina mediante l'avvento della digitalizzazione.

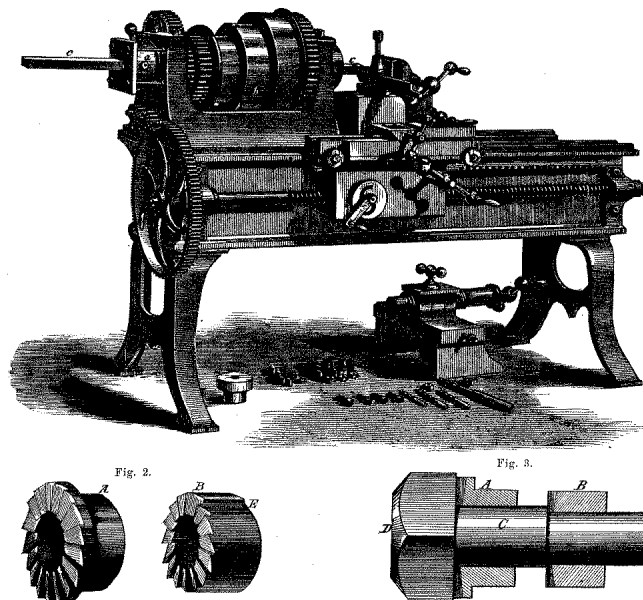


Figura 25 Screw making machine, 1871 (fonte: Projekt Runeberg, "Illustrated Technical Magazine", N:o 5.4 Februari 1871, Sweden; <http://runeberg.org/tektid/1871/0050.htm>)

Interessanti ai fini del presente lavoro risultano anche le tecniche di produzione ed utilizzo dei *chiodi*, precursori dei bulloni nel campo della carpenteria metallica. Essi venivano prodotti mediante tranciamento della lamiera. Quest'ultima, infatti, veniva tagliata in strisce di larghezza uguali alla lunghezza dei chiodi per essere poi portata sotto una cesoia, incidente obliquamente con un piccolo angolo, e sottoposta a continui ribaltamenti successivamente a ciascun colpo della lama. Un'altra macchina realizzava la testa al chiodo rastremato a sezione rettangolare. I chiodi di ferro venivano usati per lavori di falegnameria mentre quelli di rame servivano a fissare il fasciame delle navi. Prima della fine del Secolo, le macchine potevano produrre trecento chiodi al minuto, poiché la tranciatura e l'appuntimento erano simultanei, mentre la testa del chiodo veniva prodotta nel movimento che espelleva il prodotto dalla macchina.

L'operazione di chiodatura consisteva nel foggare al chiodo l'altra testa, inizialmente a mano, poi mediante martelli, infine a mezzo di apposite macchine chiodatrici. Preliminare alla chiodatura risultava operazione di foratura, che poteva avvenire attraverso la punzonatura (con parziale danneggiamento intorno al foro) o per mezzo di trapanatura (processo più lento e costoso del precedente). Molto spesso, gli incavi all'interno dei quali si andavano ad inserire i chiodi venivano riscaldati di modo che, una volta inserito il chiodo, il successivo raffreddamento ne consentiva il fissaggio. Tali accorgimenti, per quanto saggi e opportuni, erano basati su pratica manuale e non su specifiche regole di dimensionamento e di montaggio. D'altra parte, il chiodo, nel raffreddamento, veniva sottoposto a significative tensioni di trazione, fino a valori dell'ordine del limite elastico

del materiale di base. Ad essi, pertanto, si preferiva non affidare ulteriori sforzi di trazione. I relativi collegamenti risultavano pertanto idonei a trasmettere esclusivamente azioni da taglio. Inoltre, i materiali impiegati all'epoca erano piuttosto fragili ed i margini di miglioramento, una volta trovate le opportune metodologie di posa in opera, risultavano limitati vista la scarsa conoscenza a monte sia dei legami costitutivi dei materiali che delle proprietà limite degli oggetti utilizzati.

Il passaggio dai chiodi ai *bulloni* divenne perciò naturale quando le lavorazioni cominciarono a richiedere maggiore versatilità e precisione. I progressi tecnologici avevano infatti nel frattempo dato maggior vigore sia alla ricerca che all'industrializzazione di nuovi prodotti. Il chiodo classico che lavorava solo a taglio e solo se tenuto nella sua sede non bastava più. Le nuove carpenterie richiedevano elementi resistenti oltre che a taglio anche a trazione, e soprattutto che tali elementi fossero standardizzati al fine di facilitare sia la produzione che il montaggio degli stessi. Su tali specifiche necessità si diede corso alla nascita dei bulloni. Essi erano costituiti da una vite abbinata ad un dado che assicurava allo stesso tempo tenuta ed attrito tra gli elementi collegati, lavorando principalmente a taglio, ma anche a trazione, ed erano caratterizzati da formati standard, consentendo rapidità ed efficienza sia nella produzione che in fase di montaggio.

2.3 La nascita delle acciaierie e delle piccole e medie imprese italiane

2.3.1. Generalità

Alla fine del XIX secolo, in Italia, grazie al potenziamento del sistema dei trasporti, alla crescita dei centri urbani ed alla formazione del mercato interno, alimentato soprattutto dalle commesse statali, iniziava una fase di intenso sviluppo economico delle grandi imprese siderurgiche e metalmeccaniche sul modello di quelle inglesi ed americane. La grande industria d'altra parte è sempre stata fortemente dipendente dai principali eventi economici e politici nazionali ed internazionali. È ben noto, infatti, che le più grandi espansioni si sono avute per la necessità di creare armamenti o infrastrutture per il Paese il che ha sempre richiesto uno sforzo produttivo ed innovativo non indifferente. Problemi di crisi economiche e di conversione degli impianti non sempre sono stati affrontati nel migliore dei modi, generando, inevitabilmente, la significativa modifica e talvolta la completa dismissione di importanti realtà economiche, in modo particolare proprio nell'ambito del settore siderurgico.

Anche per questo motivo, contestualmente alle nascita delle grandi industrie, in Italia, soprattutto nel Settentrione, si registrò un'intensissima attività delle piccole imprese che, coinvolte dalle rivoluzioni tecnologiche, sono riuscite a ritagliarsi un loro significativo spazio all'interno della realtà industriale italiana, grazie alla qualità dei prodotti, alla loro esclusività e settorialità, non sempre raggiunta dai competitors stranieri. Oggi, però, l'attenzione deve essere rivolta anche alla fortissima concorrenza dei Paesi emergenti,

divenuti non solo grandi esportatori ma anche calamita di materie prime, con un baricentro dell'economia che si sta spostando sempre più ad Est.

2.3.2 Le grandi acciaierie

Nel corso della rivoluzione industriale italiana si delineavano quindi due modelli antitetici di impresa. Alcuni gruppi industriali dell'acciaio perseguivano una strategia di crescita dimensionale basata sulla realizzazione della linea continua. Puntavano ad integrarsi dall'estrazione del minerale alla produzione del metallo, laminazione, realizzazione e vendita dei prodotti finiti come navi e treni. Contemporaneamente, perseguivano strategie di diversificazione investendo nelle attività finanziarie, nei trasporti marittimi e ferroviari e nell'immobiliare, diventando conglomerate. Con tale intento, tra la fine del XIX secolo e durante tutto il XX, l'Italia vedeva una forte crescita dell'industria siderurgica pesante, arrivando a possedere entro i propri confini alcune tra le più grandi e produttive acciaierie del mondo, molte delle quali nate dalla necessità di produrre elementi bellici ed in particolare le corazze di navi da guerra per la marina militare del Regno d'Italia.

Realtà come quelle di Terni, Genova, Piombino, Taranto, Napoli divennero ben presto note non soltanto in Italia grazie ai loro stabilimenti siderurgici e metallurgici. Purtroppo solo pochi dei suddetti impianti risultano tuttora attivi, avendo dovuto superare prima i periodi di depressione economica post-bellici ed alle conseguenti riconversioni, poi la crisi energetica degli anni '70 ed infine la attuale crisi economica con la sempre più agguerrita concorrenza dei Paesi dell'Est.

Nei grandi impianti, soprattutto nel passato, si è spesso puntato al *ciclo integrale*, trasformando la materia prima direttamente nel prodotto finito, con l'utilizzo del tradizionale altoforno a carbone (*cf. Fig. 26*).



Figura 26 Acciaiera a ciclo continuo (www.fondazionemarinasinigaglia.it)

Quando non risultava possibile disporre di un altoforno o tecnologie per produzioni di massa, ci si affidava al riutilizzo del rottame e alla sua fusione mediante i *forni elettrici*, sistema produttivo questo altamente funzionale ed attualmente molto competitivo per ragioni economiche ed ecologiche. I forni elettrici risalgono già alla fine del XIX secolo, suddividendosi nelle categorie *a resistenza* od *a arco* ed *ad induzione*. I primi sfruttano il calore generato dall'innesco di un arco voltaico fra due elettrodi. Se il circuito è chiuso attraverso il materiale ed il calore è generato prevalentemente per effetto della resistenza della carica, il forno è del tipo Girod o "a suola conduttrice" (*cf. Fig. 27a*); se la corrente transita, invece, tra due elettrodi attraverso la mistura di acciaio e carbone (è

questo quello tuttora più utilizzato), il forno è detto “ad arco diretto” o anche del tipo Héroult (cfr. Fig. 27b).

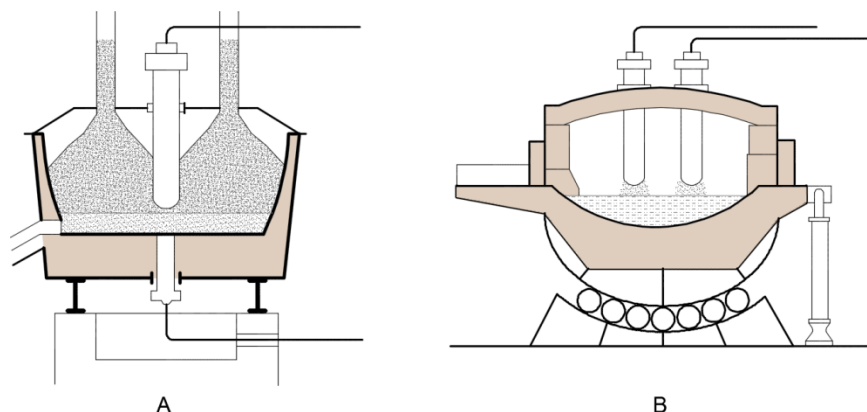


Figura 27 Schematizzazione dei forni elettrici ad arco: tipo Girod (A), tipo Héroult (B)

I forni elettrici ad induzione sfruttano invece un campo elettromagnetico generato mediante un opportuno percorso di una corrente alternata che, tramite effetto Joule, porta a fusione la massa metallica (cfr. Fig. 28).

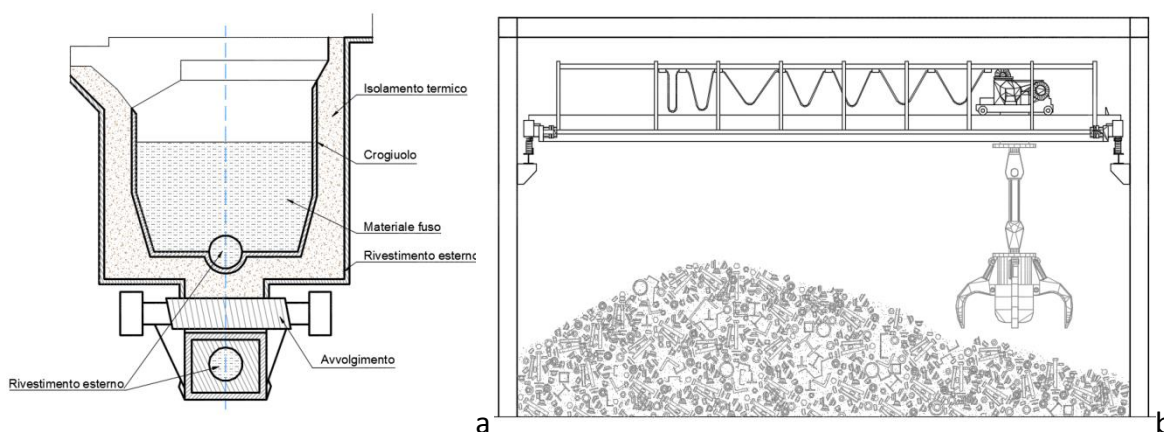


Figura 28 Schema di forno elettrico ad induzione (a) con riutilizzo del rottame (b)

I forni elettrici moderni hanno sicuramente permesso di raggiungere maggiore accuratezza nei dosaggi e nella produzione, maggiore flessibilità metallurgica, minori costi

di manutenzione e minor impatto ambientale rispetto ai tradizionali forni a carbone. Tali caratteristiche, unitamente ai bassi costi di investimento, hanno ricoperto un ruolo fondamentale nella linea di indirizzo assunta dalla attuale industria siderurgica, che è perciò sempre più orientata alla produzione di acciaio da forno elettrico a ciclo rottame (cfr. Fig. 29).



Figura 29 Le moderne acciaierie basate sull'utilizzo dei forni elettrici (www.techint.com)

2.3.3 L'imprenditoria locale

Accanto ai colossi dell'acciaio, nel Paese si sviluppava un diverso modello d'impresa, più flessibile, votata all'internazionalizzazione e più vicina alle reali esigenze del mercato italiano. Tali piccole e medie imprese si specializzavano in prodotti specifici, quali ad esempio i profilati speciali o la bulloneria. Le richieste venivano direttamente dal mercato o addirittura dalle grandi industrie, le quali si configuravano quindi anche come subfornitori. In tali imprese l'imprenditore artigiano progettava, produceva e vendeva direttamente il prodotto.

Le imprese di bulloneria indipendenti erano localizzate e operavano prevalentemente al Nord, in Piemonte ed in Lombardia. Il mercato di sbocco era costituito dall'industria meccanica, ferroviaria, navale e, successivamente, automobilistica. Alla vigilia della Prima guerra mondiale, i grandi produttori italiani di bulloneria avevano raggiunto valori di produttività in linea con quelli delle imprese inglesi, grazie agli investimenti in tecnologia e alla crescita del mercato interno. Dal primo decennio del XX secolo i grandi produttori di bulloni erano riuniti nel Consorzio Bullonieri Italiani, mentre le piccole imprese indipendenti iniziavano a svolgere attività associativa solo nella seconda metà degli anni '50, dando vita a quattro associazioni per categorie merceologiche, che si fonderanno successivamente nell'Unione dei Produttori Italiani di Viteria e Bulloneria. Negli anni '30 l'industria della bulloneria italiana usciva dalla fase embrionale ed entrava in quella di sviluppo, le prime imprese iniziarono ad ingrandirsi acquistando dalla americana *National* la prima *Boltmaker*, la macchina combinata per la produzione di bulloni a freddo (cfr. **Fig. 30**). Successivamente nascevano i primi produttori italiani di macchine per viteria e bulloneria.



Figura 30 Esempi di Boltmaker

Dopo la Seconda guerra mondiale si assistette ad una enorme battuta d'arresto per tutta l'economia nazionale. Gli stabilimenti più grandi furono bombardati, le materie prime scarseggiavano e le commesse statali necessarie per la ricostruzione anche solo delle infrastrutture, anch'esse bombardate, tardavano ad arrivare. Le aziende decisero così di riparare i macchinari in autonomia, facendo leva sui guadagni del periodo bellico, convertendoli ad uso civile e per prodotti ad alto valore aggiunto e specialistico, diversificandosi il più possibile; l'assenza di domanda sia interna che dei paesi confinanti, però, non aiutava la ripresa. Solo con il piano Marshall si innescò un processo di rinnovamento che giovò alle economie europee. I finanziamenti erogati nell'ambito dell'ERP, uniti alle capacità tecniche ed imprenditoriali di produttori di *fastener* italiani, innescavano un secondo processo di sviluppo industriale nel settore. Grazie ai fondi messi a disposizione, le Imprese italiane potevano realizzare investimenti in tecnologia produttiva e nello sviluppo di nuovi prodotti difficili da sostenere autonomamente. Venivano gradualmente abbandonate produzioni collaterali di manufatti in ferro e acciaio e le imprese si focalizzavano sulla produzione di viterie e bullonerie. La produzione ripartiva con tecnologie nuove, con le innovative macchine americane.

L'evoluzione del settore, tuttavia, è sempre stata legata all'andamento dei mercati; per cui, mentre fino agli anni '60 si ebbe un notevole sviluppo dovuto al boom economico, gli anni '70 segnarono un periodo di forte recessione che diede al settore una potente battuta d'arresto. In tali frangenti le piccole imprese, risultando più flessibili, riuscivano ad

adeguarsi alle mutate condizioni economiche; fu in questo periodo che esse iniziarono a specializzarsi in prodotti di nicchia, come ad esempio le viti autofilettanti, destinate all'industria automobilistica ed a quella degli elettrodomestici, e le minuterie ed i pezzi speciali in generale, prodotti per i grandi clienti americani e dell'Europa del Nord. In tale contesto, i bulloni ad alta resistenza venivano fortemente esportati, ad esempio in Germania, Francia e Inghilterra, dove la lira debole favoriva la diffusione di manufatti italiani.

La ripresa economica si ebbe negli anni '80 e fu accompagnata da una naturale ricrescita della domanda dei prodotti di fissaggio, sebbene principalmente al di fuori dei confini nazionali, intercettando le necessità dei mercati europei ed extra-europei. La globalizzazione, che iniziava a definirsi negli anni '90 confermandosi nel XXI secolo, impose alle industrie italiane ed europee delle complete revisioni dei processi produttivi. La quantità dei fornitori diminuiva, a fronte di richieste di produzione sempre più cospicue nei confronti di specifiche consociazioni che, per ridurre i costi unitari della componentistica, adottavano standard costruttivi comuni; a titolo di esempio, risulta emblematico il caso delle case automobilistiche.

Le medie e piccole imprese, però, non potendo produrre quantità così ingenti, erano talvolta costrette a rinunciare ad importanti fette di mercato. Inoltre, esse erano costrette a rivaleggiare contro i fornitori asiatici che invadevano il mercato con prezzi molto concorrenziali. Molte piccole imprese perciò furono brevemente costrette a dismettere le loro linee produttive, divenendo dei semplici *retailer* di case asiatiche.

La risposta dell'industria italiana fu formulata puntando sulla qualità dei prodotti e sui controlli sulla produzione, al fine di assicurare al prodotto finito la minor presenza possibile di difetti. Si segnala tuttavia che a ridosso del XXI secolo l'utilizzo di viteria e bulloneria era ripartito secondo il grafico riportato in **Fig. 31a**, dal quale si rileva che l'edilizia rappresenta una fetta di mercato dell'ordine del 2%. Tale dato risulta strettamente connesso a quello inerente alla scarsa diffusione in Italia della struttura in carpenteria metallica finalizzata all'edilizia a dispetto di quella in cemento armato ed in muratura, le quali, congiuntamente, coprono ben oltre il 90% del patrimonio edilizio. Difatti, deve rilevarsi che nonostante il 35% dell'acciaio prodotto in Italia sia destinato all'edilizia, solo una minima parte di esso viene utilizzato per la produzione di carpenterie metalliche, dove, tra l'altro, ai fini della realizzazione dei collegamenti, spesso viene fatto ricorso alle saldature, sistema di giunzione meno impegnative dal punto di vista del concepimento e dimensionamento progettuale (*cf.* **Fig. 31b**).

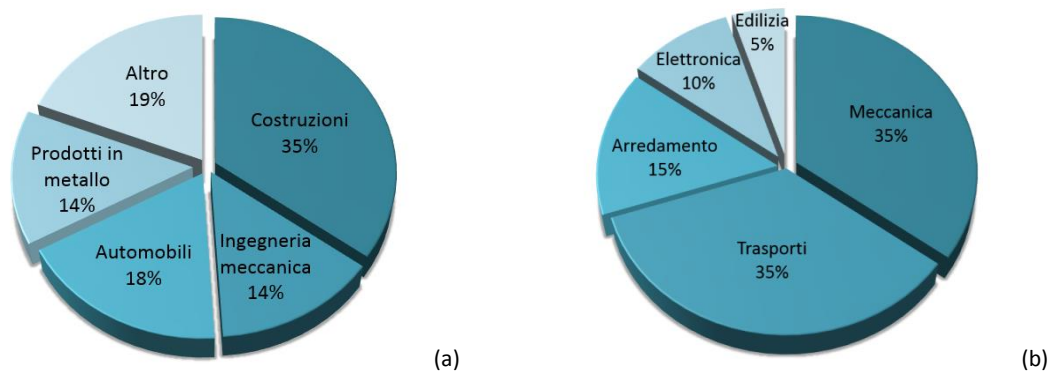


Figura 31 Consumo di acciaio in Europa secondo Eurofer (2012) (a) e settori di utilizzo della bulloneria e viteria in Italia all'anno 2000 (b)

3. LA BULLONERIA STRUTTURALE

3.1 Generalità

I bulloni sono diretti discendenti dei chiodi, elementi questi da moltissimi anni diffusamente utilizzati nell'edilizia, avendo assunto un ruolo di fondamentale importanza nelle strutture metalliche di prima generazione. I bulloni, infatti, dapprima hanno affiancato i chiodi e poi li hanno completamente sostituiti.



Figura 32 Esempificazione di viti ed elementi di accoppiamento disponibili sul mercato

Il sistema, definito *assieme bullonato* o semplicemente *assieme*, è costituito prevalentemente da una vite e da un dado; talvolta sono aggiunti ulteriori elementi, quali ad esempio le rondelle (cfr. **Fig. 32**). Normalmente, si prevede la presenza di almeno una rondella (di forma circolare), disposta sotto il dado, che, aumentando l'ampiezza della superficie di contatto con i piatti di collegamento, determina una migliore e più uniforme distribuzione del carico; in certe circostanze possono essere disposte due distinte

rondelle, di cui una posizionata sotto il dado ed una sotto la testa della vite, ciò soprattutto in caso di applicazione di un significativo sforzo di trazione (ad es. bulloni ad alta resistenza). È opportuno segnalare che le rondelle influenzano il comportamento dell'assieme determinando il valore del coefficiente di torsione (fattore k) che lega il valore della coppia impressa per il serraggio al livello di precarico applicato, come di seguito meglio definito.

3.2 Il quadro normativo di riferimento

Sin dal XIX secolo, a seguito della spinta prodotta dallo sviluppo dell'industria meccanica e dell'ampliamento dei mercati, la normativa nell'ambito della bulloneria strutturale ha cominciato ad assumere basi scientifiche, riunendo più prescrizioni volte a garantire precise specifiche tecniche. Si è ad esempio proceduto a definire una opportuna nomenclatura, identificando i prodotti con una sigla che rappresentasse in modo preciso ed inequivocabile una complessa serie di prescrizioni.

La prima norma in materia fu emanata in Inghilterra nel 1841 e faceva riferimento alle filettature Withworth. È sempre in Inghilterra che nel 1901 fu fondato il primo Ente istituzionale preposto all'emanazione di norme. Nacquero, in seguito, altri Enti nazionali di unificazione tra i quali, nel 1921, quello italiano dovuto all'Associazione Nazionale fra gli Industriali Meccanici ed Affini che diede vita alla **UNIM** (*Unificazione dell'Industria Meccanica*), trasformatosi, nel 1930, nell'attuale **UNI** (*Ente Nazionale Italiano di Unificazione*).





In campo internazionale, dopo la Seconda guerra mondiale, nacque l'**ISO** (*International Organization for Standardization*). Sia gli Enti nazionali che gli Enti internazionali costituirono i primi comitati tecnici atti ad emettere norme sulla bulloneria.

Anche la Comunità Economica Europea (**CEE**), per eliminare gli ostacoli alla libera circolazione dei prodotti, istituì un Comitato Europeo di Normazione (**CEN**) per l'emanazione di Norme Europee (**EN**).



La **CEE** per la prima volta stabilì criteri sulla responsabilità del produttore e sull'accertamento delle conformità dei prodotti alle corrispondenti norme.

Al fine di definire una normativa completa riguardante i sistemi qualità per la normazione della bulloneria, il **CEN** istituì un apposito Comitato Tecnico (**TC 185**), che diede corso alla pubblicazione di norme EN tra le quali, ad esempio, quelle riguardanti le caratteristiche meccaniche, le filettature, le viti a testa esagonale ed i dadi esagonali.

Nella seguente tabella si riporta uno schema riassuntivo che definisce il rapporto tra le diverse tipologie di normative vigenti a livello nazionale ed europeo per effetto dei tre organismi di normazione summenzionati (*cfr. Tab. 1*).

Tabella 1 Rapporto tra le norme emanate dai vari istituti di normazione

UNI	Norma nazionale italiana elaborata dall'UNI
EN	Norma europea elaborata dal CEN
UNI EN	Norma recepita obbligatoriamente a livello italiano per effetto della sussistenza di una corrispondente norma europea EN
ISO	Norma internazionale elaborata dall'ISO
UNI ISO	Norma elaborata dall'ISO ed adottata in Italia
EN ISO	Norma pubblicata dal CEN ed identica ad una norma ISO
UNI EN ISO	Norma internazionale elaborata dall'ISO, adottata dal CEN e di conseguenza recepita obbligatoriamente in Italia

Le **nuove norme europee** della serie EN 14399 ed EN 15048, recepite dall'UNI, costituiscono l'ultimo passaggio a livello normativo europeo che ha permesso la definizione sistematica degli elementi costituenti la nuova bulloneria strutturale. Esse riguardano nel dettaglio:

- Serie UNI EN 14399: Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato;
- Serie UNI EN 15048: Bulloneria strutturale non a serraggio controllato.

Le summenzionate norme di prodotto si inseriscono in un contesto di normazione più ampio, in applicazione inizialmente della Direttiva Europea 89/106/CEE, che ha introdotto in Europa l'obbligo di **Marcatura CE** per la produzione e commercializzazione dei Prodotti da Costruzione (CPD, acronimo di *Construction Product Directive*), e successivamente del nuovo Regolamento Europeo per i Prodotti da Costruzione n. 305/2011, integrato poi con il n. 157/2014 (CPR, acronimo di *Construction Products Regulation*), in sostituzione della precedente Direttiva Europea 89/106/CEE. Il CPR, divenuto attuativo negli Stati membri dal 1° luglio 2013, ha definito ulteriori condizioni per l'immissione sul mercato dei

prodotti da costruzione e per la loro libera circolazione nei Paesi dell'Unione, stabilendo l'obbligo da parte dei produttori alla compilazione della "Dichiarazione di Prestazione", secondo quanto stabilito in EN 1090-1. In base a tale nuovo regolamento, sono in fase di completamento gli aggiornamenti delle attuali norme sugli assiemi strutturali.

Le attuali norme di prodotto per la bulloneria strutturale vengono ovviamente richiamate nelle norme europee armonizzate della serie UNI EN 1090 (parti 1, 2, 3), che prevedono appunto i requisiti per la marcatura CE. La prima parte (UNI EN 1090-1) specifica i requisiti per la valutazione di conformità delle caratteristiche prestazionali dei componenti strutturali in acciaio e alluminio nonché dei kit immessi sul mercato come prodotti da costruzione. Essa rappresenta la versione ufficiale della norma europea *EN 1090-1:2009+A1, Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components*, che è entrata in vigore come EN armonizzata il 1° gennaio 2011, ed il cui periodo di coesistenza con la normativa preesistente è scaduto il 1° luglio 2014.

La UNI EN 1090-2 fornisce i requisiti per l'esecuzione delle strutture in acciaio, indipendentemente dalla loro tipologia e forma, comprese le strutture soggette a fatica o ad azioni sismiche. La norma si applica a strutture e ad elementi strutturali progettati secondo l'Eurocodice 3. Essa è entrata in vigore come EN armonizzata il 1° gennaio 2011 ed è la versione ufficiale della *EN 1090-2:2008+A1, Part 2: Technical requirements for steel structures*.

La UNI EN 1090-3 riguarda le strutture in lega di alluminio e costituisce la versione ufficiale della norma europea *EN 1090-3:2008, Part 3: Technical requirements for aluminium structures*.

Le norme di prodotto interagiscono, inoltre, con una lunga serie di norme specifiche riguardanti la bulloneria strutturale, come quelle inerenti ai metodi di filettatura ed ai relativi strumenti di misura e quelle relative alle caratteristiche qualitative ed alle prescrizioni tecniche dei vari elementi di fissaggio. Tra queste, ad esempio, rivestono notevole importanza le norme della serie EN ISO 898, che per gli elementi di collegamento di acciaio forniscono le classi di resistenza e metodi di prova per le viti (parte 1) e per i dadi (parte 2).

Per quanto riguarda, invece, i requisiti prestazionali dettati dalle norme strutturali, il principale riferimento normativo per il dimensionamento e la verifica delle unioni elementari e sistemi più complessi di collegamento mediante bulloni è costituito dall'**Eurocodice 3** "Progettazione delle strutture di acciaio", che, in una delle sue molteplici parti (UNI EN 1993-1-8 "Progettazione dei collegamenti"), contiene le indicazioni relative al calcolo dei collegamenti. In tale specifico ambito, esso costituisce sicuramente il documento normativo più avanzato a livello internazionale. È il caso di osservare che gli Eurocodici nel settore della progettazione strutturale e geotecnica hanno piena operatività in Italia, sulla base della approvazione dei documenti di applicazione nazionale (NAD) recanti i parametri tecnici, avvenuta con D.M. 31/7/2012.

Nel nostro Paese, il quadro normativo si completa con le **Norme Tecniche per le Costruzioni**, entrate in vigore il 14 gennaio 2008, seguite dalla circolare applicativa n. 617 del 2 febbraio 2009, che coprono l'ambito di applicazione strutturale delle unioni bullonate. Si deve rilevare che in tale impianto normativo, mentre è esaurientemente affrontato l'ambito delle semplici unioni, realizzate sia mediante saldature che organi meccanici di giunzione, non vengono forniti elementi concreti per affrontare in maniera compiuta il calcolo dei collegamenti più complessi (in particolar modo quelli soggetti a flessione), e ciò sia per la valutazione della resistenza del collegamento che della rigidità. Tale aspetto riveste tra l'altro un'importanza notevole soprattutto rispetto alle attuali impostazioni di calcolo delle strutture metalliche fornite dalla stessa Norma. Si pensi ad esempio alla rilevanza di valutare in maniera appropriata la resistenza di un collegamento trave-colonna di una struttura in acciaio a telaio progettata a duttilità (struttura dissipativa), al fine di verificare il rispetto dei criteri di gerarchia delle resistenze che impongono appunto il controllo della resistenza del collegamento rispetto a quella delle membrane collegate. Altrettanto rilevante risulta talvolta la problematica relativa alla valutazione della rigidità flessionale di un collegamento, al fine di poter procedere ad un'opportuna schematizzazione degli effettivi vicioli da assumere nel modello strutturale, con ovvia evidentissima influenza sul calcolo dell'intera struttura, ciò in termini di distribuzione delle sollecitazioni tra le varie membrane, di valutazione degli effettivi spostamenti ed anche di attitudine della strutture a contrastare possibili fenomeni di instabilità sia globale che delle singole membrane. D'altra parte, si deve riconoscere che efficaci metodi di calcolo dei collegamenti non possono che risultare

articolati, ciò sia per effetto della presenza di forze localizzate in varie parti della giunzione, sia per la enorme varietà di collegamenti correntemente utilizzati nella pratica; entrambi tali aspetti, in effetti, rendono praticamente impossibile la formulazione di regole di calcolo semplici e di ampia validità. Per tali ragioni, invece di affidarsi a complessi ma completi metodo di calcolo analitici (come è appunto il metodo delle componenti fornito in EN 1993-1-8), spesso si preferisce far riferimento a più semplici regole di dimensionamento, basate su ipotesi semplificative e che trovano supporto più che altro nella interpretazione ingegneristica del comportamento strutturale del collegamento (come appunto notoriamente da sempre avvenuto in Italia).

3.3 Gli elementi di base

La vite è costituita da una testa, che funge da contrasto per il tiro esercitato dall'avvitamento del dado (in generale *madrevite*), e da un gambo, che può essere completamente filettato ovvero filettato solo in parte (*cf. Fig. 33*). Per *filettatura* si intende il risalto a sezione costante (filetto) avvolto ad elica sulla superficie esterna della vite (a forma cilindrica o conica) o su quella interna della madrevite.



Figura 33 Esempificazione di vite con gambo completamente filettato, dado e rondelle

La testa della vite può avere forma diversa, generalmente esagonale o quadra, con esagono incassato o a taglio (*cfr. Fig. 34*).

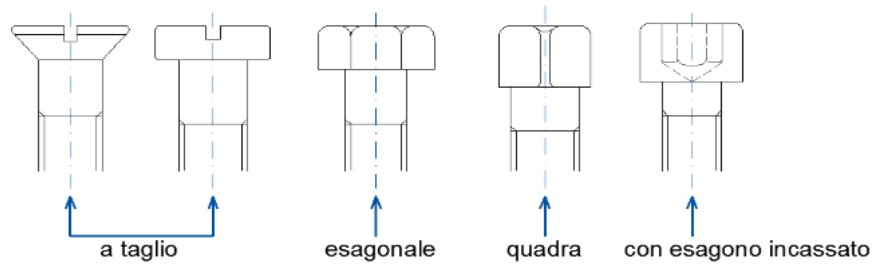


Figura 34 Tipiche forme di testa delle viti

Il dado, che solitamente ha forma esagonale, può essere di tipo sottile, regolare ed alto (*cfr. Fig. 35*). Il dado è caratterizzato naturalmente da una filettatura interna dello stesso tipo di quella della vite.

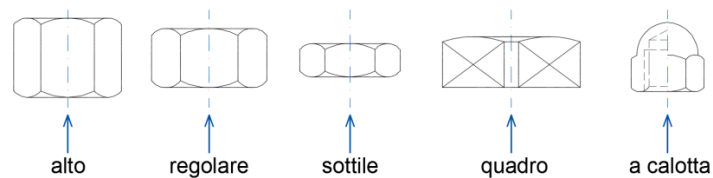


Figura 35 Tipiche forme di dado

Gli elementi che possono essere accoppiati alla vite ed al dado al fine di migliorarne l'efficienza ed impedirne o comunque limitarne lo svitamento, soprattutto in presenza di vibrazioni o di inversioni di sforzo, sono i controdadi, le piastrine di arresto, le rondelle (piane o elastiche), le spine e le coppiglie (*cfr. Fig. 36*).

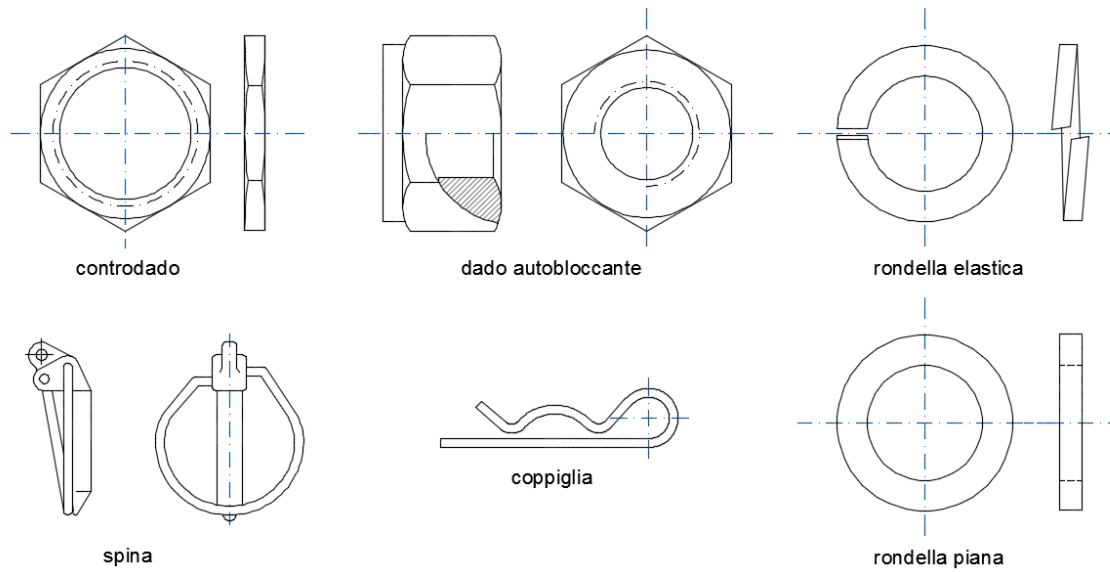


Figura 36 Tipici sistemi di bloccaggio delle viti

All' occorrenza, laddove non si volessero utilizzare più elementi, l'industria fornisce anche dadi di sicurezza elastici autobloccanti (tipo PAL) (cfr. **Fig. 37**).

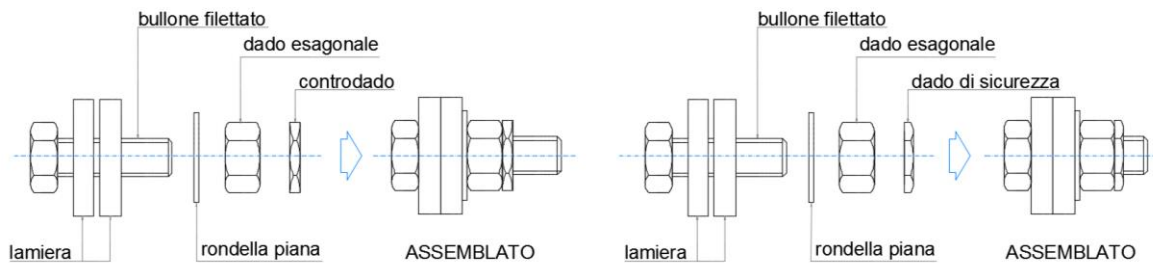


Figura 37 Esempi di assemblaggio con sistemi di bloccaggio delle viti

Le viti si differenziano in base alla natura della *filettatura*, la quale dal punto di vista geometrico viene definita in funzione della forma del profilo (rettangolare, triangolare, trapezia, circolare etc.), al passo (P , distanza misurata in direzione assiale tra due punti omologhi di un filetto) ed al diametro nominale esterno della vite (d) o della madrevite (D) (cfr. **Fig. 38**).

Le filettature si definiscono *destrorse* quando per produrre avvitamento è necessario far ruotare la vite in senso orario; si definiscono *sinistrorse* nel caso contrario. L'efficacia del collegamento tra vite e madrevite è garantita dalla lunghezza di accoppiamento, generalmente pari a 1-1,5 volte il diametro nominale della vite.

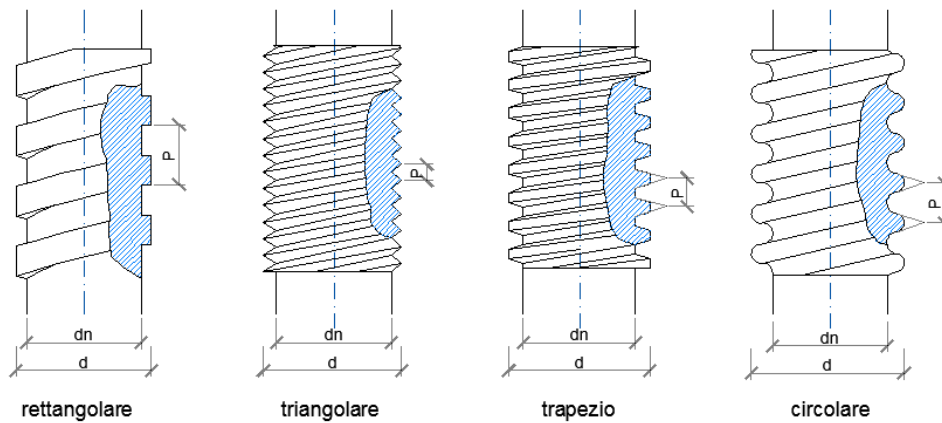


Figura 38 Tipiche forme del profilo della filettatura

Esistono diversi filetti unificati, tra i quali si citano quelli relativi alla filettatura metrica ISO, alla filettatura Whitworth (*cf.* **Fig. 39**), alla filettatura GAS (*cf.* **Fig. 40**), alla filettatura trapezoidale, conica, cilindrica (*cf.* **Fig. 41**).

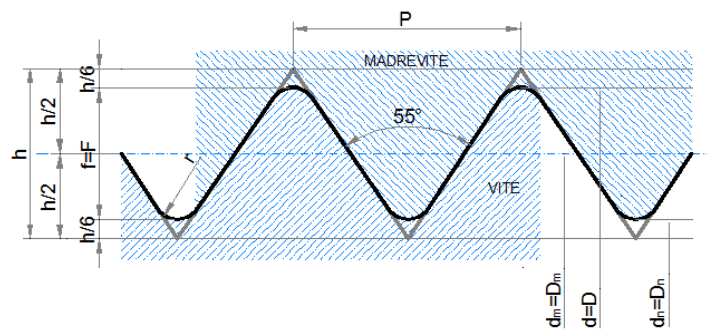


Figura 39 Schema di filettatura Withworth

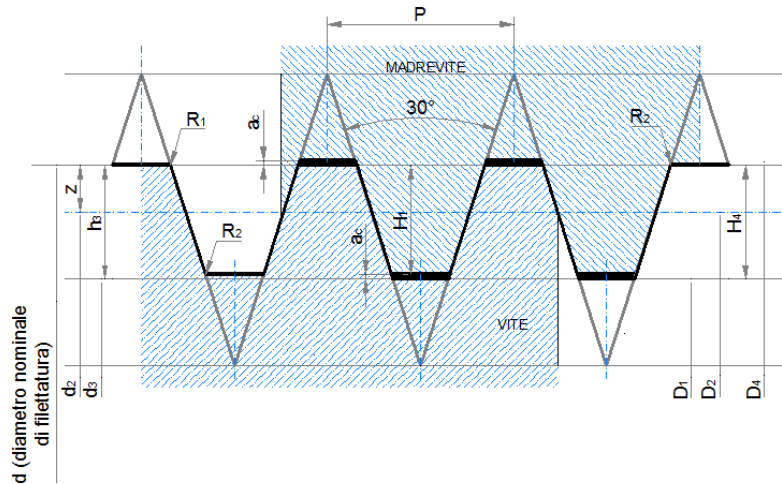


Figura 40 Schema di filettatura trapezoidale

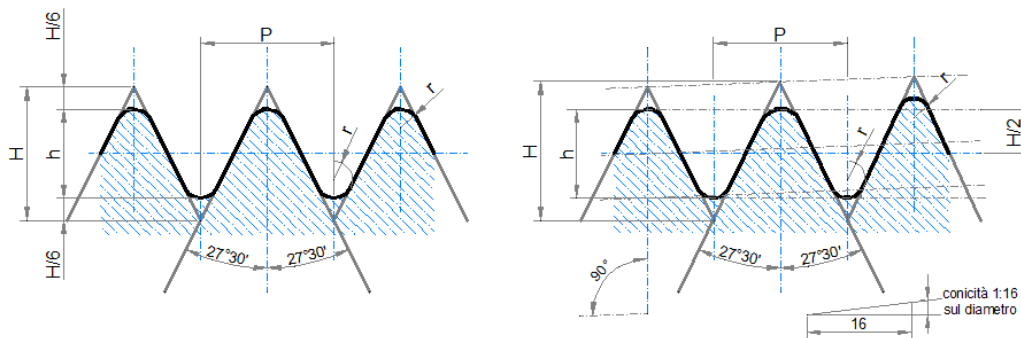
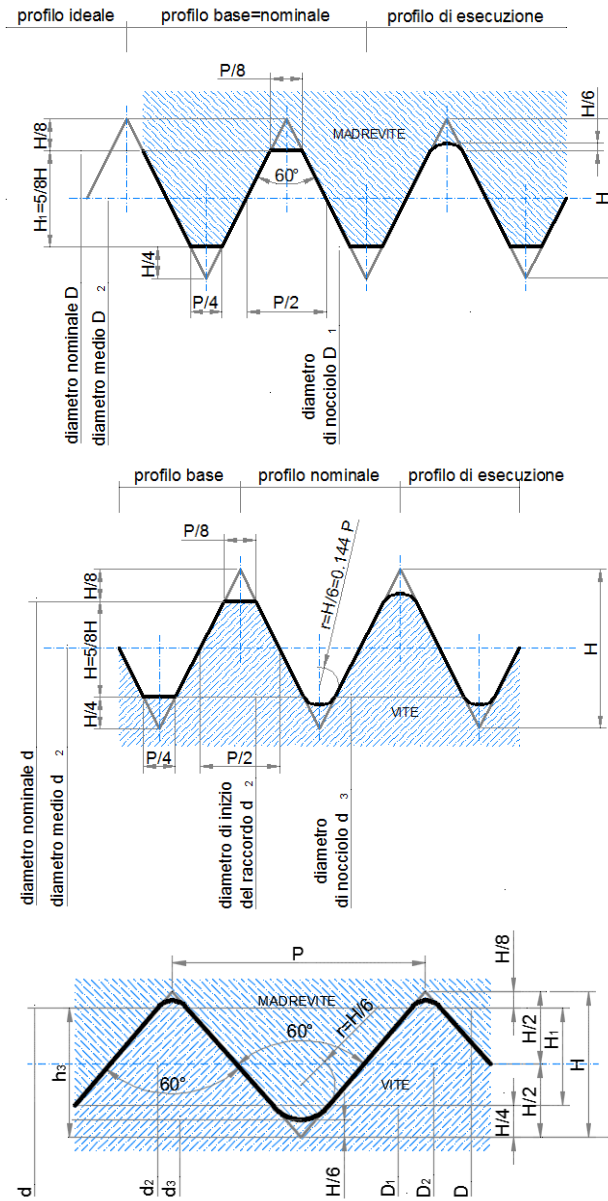


Figura 41 Schema di filettatura cilindrica (sinistra) e conica (destra)

La filettatura più diffusa in Europa ed in Italia è quella che segue le indicazioni metriche ISO (cfr. Fig. 42), per le quali il profilo generatore è un triangolo equilatero con lato pari al passo della filettatura e base parallela all'asse della vite. Il profilo nominale della madrevite presenta troncamenti in testa ed in fondo rispetto al profilo base. Il profilo nominale della vite, invece, presenta troncamenti in testa ed arrotondamenti nel fondo.



$$H = 0,86603 P; \quad H_1 = \frac{5}{8} H = 0,54127 P; \quad h_3 = \frac{17}{24} H = 0,61343 P;$$

$$d_2 = D_2 = d - \frac{3}{4} H = d - 0,64952 P; \quad d_3 = d - 2h_3 = d - 1,22687 P; \quad r = \frac{H}{6} = 0,14434 P$$

Figura 42 Schema di filettatura metrica ISO a profilo triangolare (passo grosso)

3.4 I metodi di lavorazione e produzione

La produzione degli elementi di bulloneria può essere condotta sia mediante

deformazione a caldo che deformazione a freddo. La prima viene utilizzata necessariamente per i diametri più grandi, mentre la seconda si presta alla produzione della componentistica più minuta, quindi quella caratterizzata da diametri più piccoli. Il vantaggio della deformazione a freddo consiste nel conferire al materiale trattato migliori proprietà nei confronti della fatica, in quanto le fibre che vengono deformate vengono orientate parallelamente alla direttrice dello sviluppo cilindrico della vite. Lo stesso tipo di trattamento, laddove esercitato per eseguire la filettatura, conferisce al gambo filettato, in corrispondenza del fondo del filetto, una tenacità fortemente vantaggiosa visto che tale zona risulta caratterizzata dall'intaglio geometrico e quindi da una forte irregolarità di sezione. Si ricorda che la *tenacità* rappresenta la capacità di un materiale di assorbire energia in condizioni di rottura fragile; essa pertanto si configura come l'opposto della fragilità, la quale dipende in maniera direttamente proporzionale dalle impurità presenti nella lega ferrosa.

Il procedimento di deformazione a freddo può risultare vantaggioso dal punto di vista economico, considerato il sempre più crescente costo di "produzione di calore". In questo caso se il tenore di carbonio è basso, non risultano necessari trattamenti termici del materiale di base al fine di conferire al materiale le idonee proprietà. Alte percentuali di C e Mn (così come altri elementi indurenti) riducono la capacità di deformabilità, per cui si rende opportuna la applicazione di un trattamento di addolcimento tramite ricottura di globulizzazione o sferoidizzazione. Tali trattamenti, cambiando la struttura stessa del materiale, generano grani che migliorano di molto la duttilità finale.

La *temprabilità* rappresenta l'attitudine del metallo a modificare la propria durezza per effetto di un trattamento di tempra che consiste in un brusco raffreddamento del metallo dopo averlo portato ad alta temperatura in modo da ottenere nella porzione filettata della vite una struttura a cuore con circa il 90% di martensite nelle condizioni di “tutta tempra” prima del rinvenimento. La necessaria *resistenza meccanica* può perciò essere conferita alla vite mediante incrudimento da deformazione a freddo (applicabile fino alle classi di resistenza 6.8 inclusa), oppure mediante trattamento termico di bonifica e, quindi, tempra seguita da rinvenimento.



Figure 46 Fornitura di aspi di vergelle in officina



Figure 47 Particolare di stampaggio a caldo della vite (RCZ Bulloneria s.r.l.)

La produzione delle viti parte dalla trasformazione della *vergella*, fornita sotto forma di filo avvolto su appositi aspi (*cf.* **Fig. 46**). Mediante ricalcatura, la vergella assume la forma desiderata. Il procedimento avviene con deformazione a freddo. In officina, per la preparazione della vergella si applicano due trattamenti preliminari: il *decapaggio*, consistente in una serie di bagni negli acidi al fine di rimuovere ogni impurità superficiale,

e la *fosfatazione*, che mediante l'applicazione di lubrificanti riduce gli attriti che si possono generare nelle successive fasi di lavorazione a freddo. La vergella può adesso subire il primo trattamento di deformazione detto *trafilatura*, che conferisce al materiale particolari proprietà quali l'incrudimento superficiale. A questo punto l'acciaio può entrare nella pressa per assumere la forma desiderata mediante l'operazione di *stampaggio* (cfr. **Figg. 47 e 48**).

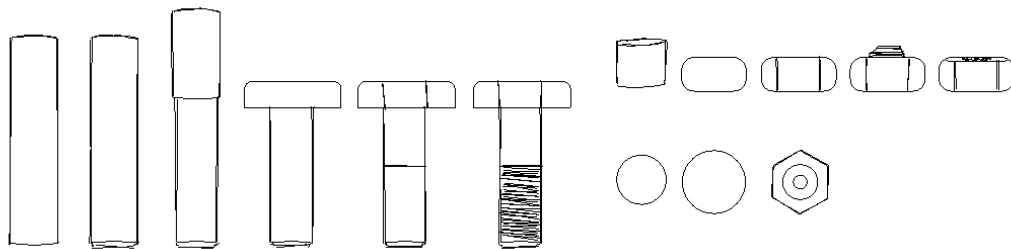


Figure 48 Sequenza di stampaggio di viti a testa esagonale e di dadi

È possibile dunque procedere alla *filettatura* delle viti. Essa può essere eseguita sia mediante asportazione del truciolo che mediante rullatura, ossia deformazione plastica del materiale stesso. La seconda metodologia, ovviamente, può essere eseguita solo su campioni di materiale caratterizzati da buona duttilità, e conferisce ai denti del filetto una buona capacità resistente, risultando essi costituiti da fibre addensate e non recise.

I singoli pezzi sono quindi pronti per il trattamento termico, che avviene su impianti di tipo continuo a tappeto, all'interno dei quali gli elementi vengono riscaldati a circa 800°, temperatura alla quale si ha l'*austenizzazione* dell'acciaio, comportante il cambiamento radicale della sua struttura interna originaria nota come perlite. Tale stato viene bruscamente raffreddato in olio o bagni di sali (fase della tempra) al fine di ottenere la

martensite. Questa presenta indubbi pregi, quali l'elevata durezza ed una significativa resistenza meccanica; ad essa si associa una struttura macroscopicamente fragile e altamente tensionata. Si procede quindi al trattamento termico di rinvenimento, con nuovo riscaldamento degli elementi in acciaio.

Terminata la fase di formazione del singolo elemento, si procede alla applicazione della *protezione* mediante zincatura. Normalmente si esegue *zincatura a caldo* (adatta per tutti i tipi di assiemi); in alternativa può eseguirsi *zincatura elettrolitica* o *lamellare* (per gli assiemi non da precarico). La *zincatura a caldo* consiste nell'immergere il pezzo di acciaio in un bagno di zinco fuso; tale tipo di protezione è resistente e durevole in quanto, sulla superficie del pezzo, si viene a creare una lega tra il substrato di acciaio e lo zinco fuso. La *zincatura elettrolitica* consiste nel porre gli oggetti da zincare (puliti spazzolati e lavati con soluzioni alcaline e sgrassanti) come catodo in un bagno elettrolitico; in questo stesso bagno vengono immerse anche alcune barre collegate all'anodo e sali solubili entrambi costituiti dal metallo da depositare. La reazione è una ossidoriduzione come ossidazione anodica del metallo che si scioglie perdendo elettroni e della riduzione catodica dello ione che si deposita come metallo acquisendo elettroni. La *zincatura lamellare* è un rivestimento, esente da cromo, composto da particelle di zinco metallo disperse in soluzione acquosa o alcolica insieme ad un legante. Le parti metalliche ricoperte utilizzano un processo in centrifuga.

Successivamente, alla fine del processo produttivo ed immediatamente prima dell'imballaggio, si esegue la *selezione*. Essa può avvenire in due diversi modi: la *selezione*

a rulli, nella quale due rulli inclinati e posti in rotazione, opportunamente distanziati rispetto alla quota da selezionare, permettono un controllo veloce ed economico, eliminando eventuali pezzi estranei; la *selezione con controllo ottico*, utilizzata nel caso di montaggi automatici, attraverso la quale è possibile selezionare i prodotti con telecamere ottiche. Il campione è quindi pronto per essere imballato e spedito al cliente.

Il processo completo di produzione del bullone è illustrato nel seguente schematico diagramma di flusso (cfr. Fig. 49).

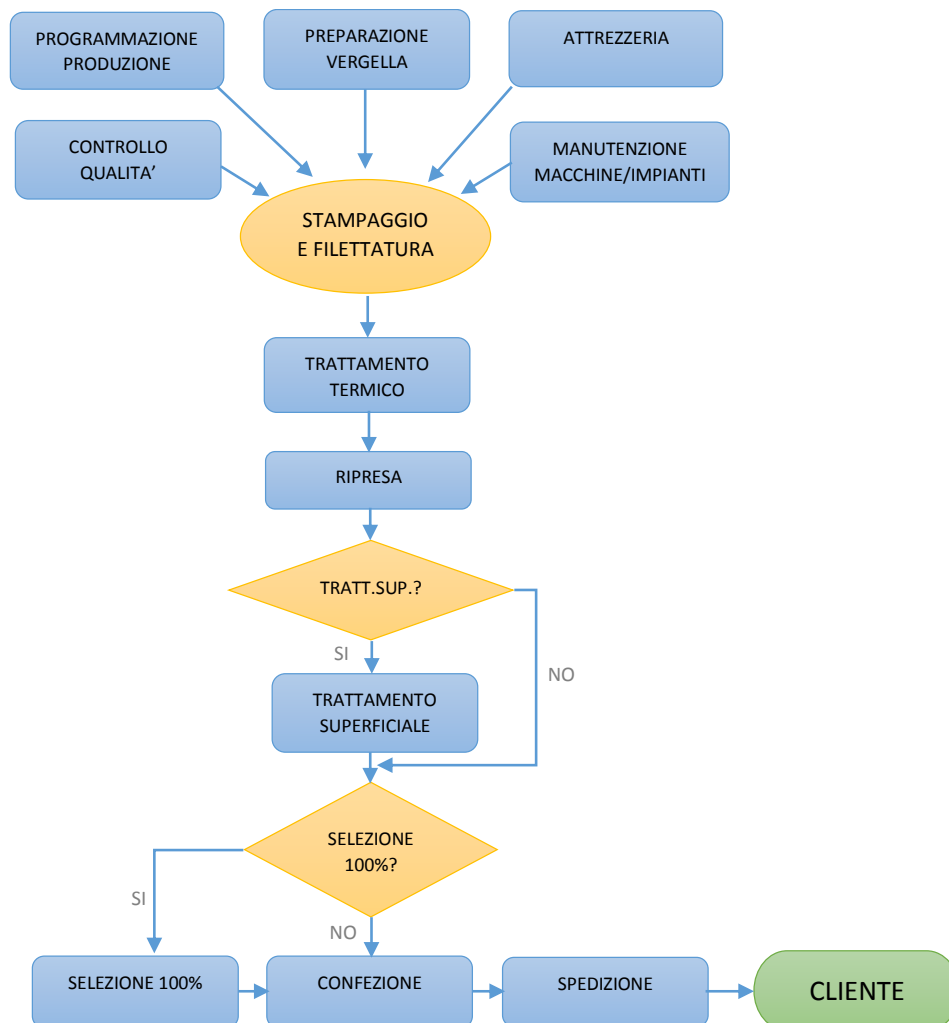


Figura 49 Processo produttivo dei bulloni

Nel processo produttivo delle rondelle, invece, queste dopo essere state tranciate da appositi macchinari e prima di subire i sopra citati trattamenti termici e di protezione, vengono sottoposte al processo di *sbavatura*, ciò al fine di eliminare i residui taglienti dovuti alla tranciatura. Nel processo di sbavatura le rondelle vengono poste all'interno di vasche circolari vibranti o *buratti*, con o senza l'aggiunta di abrasivi e liquidi. Nel primo caso si eliminano le bave più grossolane e si ha un arrotondamento degli spigoli. Nel secondo caso, il processo avviene per solo strisciamento tra i pezzi, che riesce ad eliminare la bava tagliente leggera ma non anche le bave pesanti e non arrotonda gli spigoli. Il processo completo di produzione della rondella è illustrato nello schematico diagramma di flusso di **Fig. 50**.

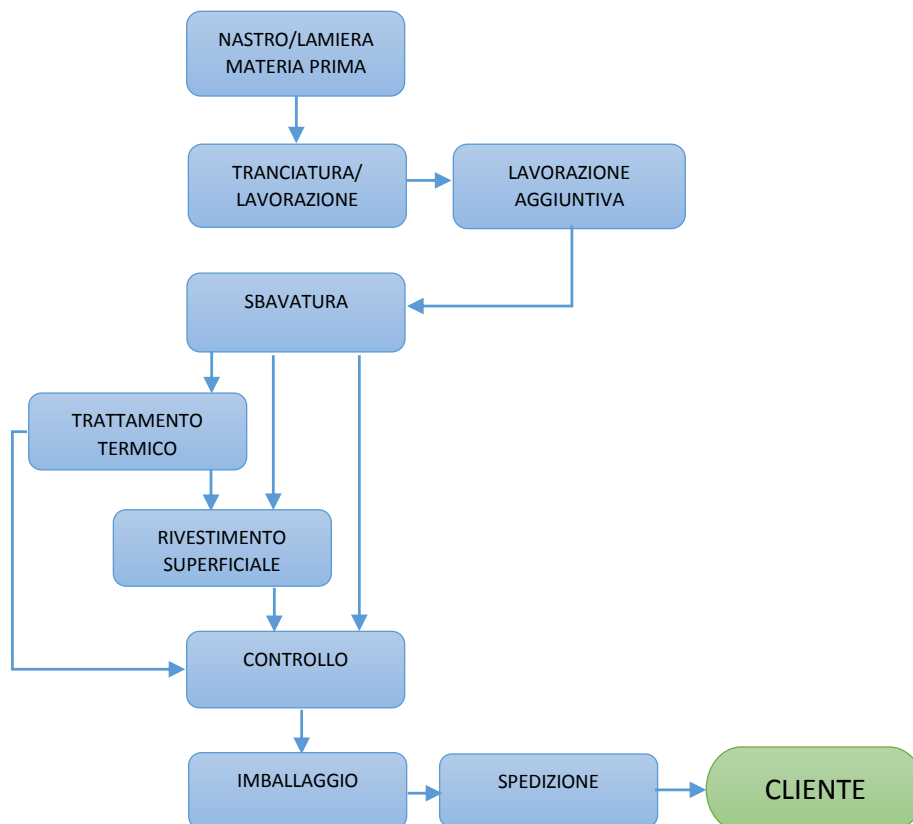


Figura 50 Processo produttivo delle rondelle

3.5 Indicazioni geometriche e classi di resistenza

Ai fini della identificazione e della standardizzazione del processo produttivo, le viti seguono un preciso schema di nomenclatura attraverso il quale vengono definiti metrica della filettatura, diametro, passo, lunghezza della vite e classe di resistenza. A titolo di esempio, nella designazione M12 x 1,75 x 80 – 8.8, in accordo con UNI EN 14399, i vari codici identificativi rilevano le seguenti caratteristiche:

- “M” indica il tipo di filettatura (nel caso di specie filettatura metrica ISO a passo grosso);
- “12” indica la misura in millimetri del diametro nominale del gambo;
- “1,75” rappresenta la misura in millimetri del passo della filettatura;
- “80” indica la lunghezza della vite in mm;
- “8.8” indica la classe di resistenza della vite, come di seguito definita.

La quotatura degli elementi filettati tiene conto dei principali elementi del collegamento, quali la lunghezza del gambo (l), la lunghezza della porzione filettata (l_1) ed il diametro della vite (d) (cfr. **Fig. 51**).

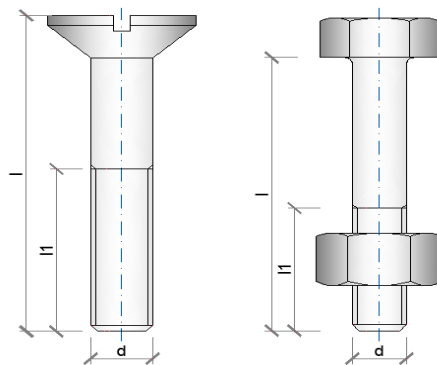


Figura 51 Elementi di quotatura di viti e bulloni

Il diametro resistente di una vite (d_s) si definisce come media tra il diametro del nocciolo della vite (d_n , pari al minor diametro della vite, valutato quindi in corrispondenza del fondo dei filetti) e del diametro medio della filettatura (d_m , funzione del tipo di profilo). Si determina pertanto un'area resistente della vite (A_s) pari a:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_m + d_n}{2} \right)^2$$

Per le filettature metriche ISO a profilo triangolare a passo grosso normalmente impiegate, indicando con p la misura del passo della filettatura espressa in mm, il diametro medio e quello di nocciolo risultano pari rispettivamente a:

$$d_m = d - 0,64952 \times p ; \quad d_n = d - 1,22687 \times p$$

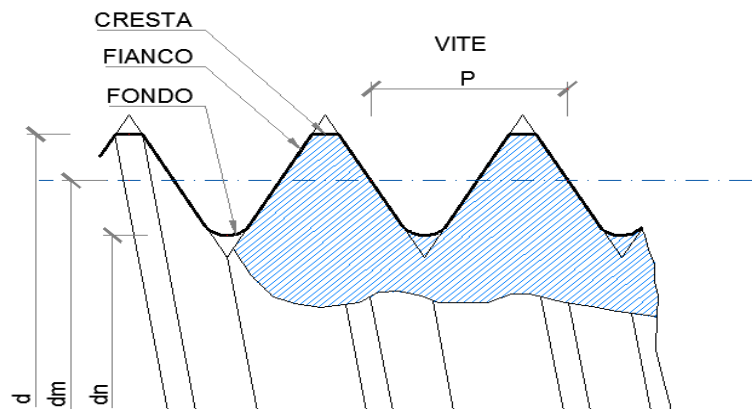


Figura 52 Definizione dell'area resistente (diametro medio e diametro di nocciolo)

In **Tab. 2**, relativa a viti con filettatura metrica ISO a passo grosso, per ciascun diametro, riportato il passo della filettatura (P) ed valore dell'area resistente A_s (cfr. **Fig. 52**). Si può osservare che il rapporto tra l'area resistente e l'area nominale (A_s/A) è crescente con il diametro della vite, rimanendo comunque compreso nell'intervallo $0,73 \div 0,80$.

Tabella 2 Area resistente delle viti in acciaio (filettatura metrica ISO a passo grosso)

Diametro (d) [mm]	Passo filet. (P) [mm]	Area nom. (A) [mm ²]	Area res. (A _s) [mm ²]	Diametro (d) [mm]	Passo filet. (P) [mm]	Area nom. (A) [mm ²]	Area res. (A _s) [mm ²]
M 8	1,25	50	36,6	M20	2,5	314	245
M10	1,5	79	58,0	M22	2,5	380	303
M12	1,75	113	84,3	M24	3	452	353
M14	2	154	115	M27	3	572	459
M16	2	201	157	M30	3,5	706	561
M18	2,5	254	192	M36	4	1018	817

In accordo con UNI EN ISO 898-1, sono individuate due categorie di viti (a bassa ed alta resistenza) e diverse classi di resistenza del materiale. La sigla caratterizzante la classe di resistenza è costituita da due numeri:

- il primo numero rappresenta 1/100 del valore nominale del carico unitario di rottura, R_m espresso in N/mm^2 ;
- il secondo numero rappresenta 10 volte il rapporto tra il carico nominale unitario di snervamento, R_{eL} , (oppure carico unitario di scostamento dalla proporzionalità, $R_{p0,2}$) ed il carico nominale unitario di rottura, $R_{m,nom}$ (rapporto di snervamento).

A titolo di esempio, una vite di classe 4.6 presenta una resistenza a rottura per trazione del materiale di base $f_{t,b} = 4 \times 100 = 400 N/mm^2$ ed una resistenza allo snervamento del materiale di base $f_{y,b} = 6 \times 4 \times 10 = 240 N/mm^2$.

Le norme tecniche italiane (NTC 2008 ed Eurocodice 3) prevedono cinque classi di resistenza delle viti tra quelle presenti sul mercato, di cui tre a bassa resistenza (classi 4.6, 5.6 e 6.8) e due alta resistenza (classi 8.8 e 10.9). In **Tab. 3** sono riportati i valori di resistenza e le principali caratteristiche del materiale prescritte per il materiale di base. A

partire dai valori di resistenza del materiale, è ovviamente possibile definire le resistenze di progetto per ciascuna classe di vite, tenuto conto dei fattori parziali di sicurezza appositamente introdotti dalle norme tecniche.

Tabella 3 Classi di resistenza delle viti e relative caratteristiche meccaniche

Caratteristiche meccaniche o fisiche		Classe di resistenza									
		4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	
							d≤16mm	d>16mm	d≤16mm		
Carico unitario di rottura R_m [N/mm ²]	nom	400		500		600	800		900	1000	1200
	min	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
Carico unitario inferiore di snervamento R_{eL} [N/mm ²]	nom	240	-	300	-	-	-				
	min	240	-	300	-	-	-				
Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità dello 0,2% $R_{p0.2}$ [N/mm ²]	nom	-					640	640	720	900	1080
	min	-					640	660	720	940	1100
Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità $0.0048d R_{pf}$ [N/mm ²]	nom	-	320	-	400	480	-				
	min	-	340	-	420	480	-				
Carico unitario di prova S_p [N/mm ²]	nom	225	310	280	380	440	580	600	650	830	970
Rapporto di elasticità	S_p/R_{eLmin} $S_p/R_{p0.2min}$ $S_p/R_{pf,minn}$	0.94	0.91	0.93	0.90	0.92	0.91	0.91	0.90	0.88	0.88
Durezza Vickers HV, $F\geq 98$ N	min	120	130	155	160	190	250	255	290	320	385
	max	220					250	320	335	360	380
Durezza Brinell HBW, $F=30 D^2$	min	114	124	147	152	181	245	250	286	316	380
	max	209					238	316	331	355	375
Durezza Rockwell HRB	min	67	71	79	82	89	-				
	max	95,0					99,5	-			
Durezza Rockwell HRC	min	-					22	23	28	32	39
	max	-					32	34	37	39	44
Resilienza, K_v [J]	min	-		27	-		27	27	27	27	*
Tenacità della testa		Nessuna rottura									

* Valore ancora non definito ed in fase di studio

Per quanto attiene ai dadi da utilizzarsi negli assiemi, le classi di resistenza e le relative combinazioni per gli assemblaggi con le viti sono specificate in EN ISO 898-2 e sono riportate in **Tab. 4**, dove con D è indicato il diametro nominale della filettatura del dado).

Nella stessa tabella sono forniti anche i diametri nominali disponibili in funzione della classe di resistenza e della tipologia di dado.

Tabella 4 Classi di resistenza dei dadi ed assemblaggio con viti

COMBINAZIONE TRA DADO E VITE		GAMME DI DIAMETRI NOMINALI DEI DADI IN RELAZIONE AL TIPO ED ALLA CLASSE DI RESISTENZA		
Classe di resistenza del dado	Classe di resistenza massima della vite	Dado regolare Tipo 1 altezza minima $m_{\min} \geq 0,8D$	Dado alto Tipo 2 altezza minima $m_{\min} = 0,9D$ o $m_{\min} > 0,9D$	Dado sottile Tipo 0 altezza minima $0,45 \leq m_{\min} < 0,8D$
04		-	-	$M5 \leq D \leq M39$
05		-	-	$M8x1 \leq D \leq M39x3$
5	5.8	$M5 \leq D \leq M39$ $M8x1 \leq D \leq M39x3$	-	-
6	6.8		-	-
8	8.8		$M5 \leq D \leq M39$ $M8x1 \leq D \leq M39x3$	-
9	9.8	-	$M5 \leq D \leq M39$	-
10	10.9	$M5 \leq D \leq M39$ $M8x1 \leq D \leq M16x1,5$	$M5 \leq D \leq M39$ $M8x1 \leq D \leq M39x3$	-
12	12.9	$M5 \leq D \leq M16$	$M5 \leq D \leq M39$ $M8x1 \leq D \leq M39x3$	-

Nelle seguenti tabelle sono fornite, invece, le proprietà di durezza del materiale prescritte per i dadi, distinte in durezza Vickers (HV), Brinell (HB) e Rockwell (HRC), sia per le filettature a passo grosso (**Tab. 5a**) che per le filettature a passo fine (**Tab. 5b**). Infine, i valori di resistenza minima che devono garantire i dadi per ciascun diametro e classe di resistenza sono specificati in **Tab. 5c** e **Tab. 5d**, in accordo con EN ISO 898-2.

Tabella 5a Proprietà di durezza per dadi con filettatura a passo grosso

Diametro filettatura (D)	Classe di resistenza															
	04		05		5		6		8		9		10		12	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
M5≤D≤M16 M16≤D≤M39	Durezza Vickers, HV															
	188	302	272	353	130 146	302	150 170	302	200 233 ^a	302 353 ^b	188	302	272	353	295 ^c 272	353
M5≤D≤M16 M16≤D≤M39	Durezza Brinell, HB															
	179	287	259	336	124 139	287	143 162	287	190 221 ^a	287 336 ^b	179	287	259	336	280 ^c 259	336
M5≤D≤M16 M16≤D≤M39	Durezza Rockwell, HRC															
	-	30	26	36	-	30	-	30	-	30 36 ^b	-	30	26	36	29 ^c 26	36

^a Minimo valore per i dadi alti (tipo 2): 180 HV (171 HB)
^b Massimo valore per dadi alti (tipo 2): 302 HV (287 HB; 30 HRC).
^c Minimo valore per i dadi alti (tipo 2): 272 HV (259 HB; 26 HRC)

Tabella 5b Proprietà di durezza per dadi con filettatura a passo fine

Diametro e passo filettatura (D x P)	Classe di resistenza													
	04		05		5		6		8		10		12	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
M8x1≤D≤M16x1,5 M16x1,5≤D≤M39x3	Durezza Vickers, HV													
	188	302	272	353	175 190	302	188 233	302	250 ^a 295	353 ^b 353	295 ^c 260	353	295 -	353 -
M8x1≤D≤M16x1,5 M16x1,5≤D≤M39x3	Durezza Brinell, HB													
	179	287	259	336	166 181	287	179 221	287	238 ^a 280	336 ^b 336	280 ^c 247	336	280 -	336 -
M8x1≤D≤M16x1,5 M16x1,5≤D≤M39x3	Durezza Rockwell, HRC													
	-	30	26	36	-	30	-	30	22,2 ^a 29,2	36 ^b 36	29 ^c 24	36	29 -	36 -

^a Minimo valore per i dadi alti (tipo 2): 195 HV (185 HB)
^b Massimo valore per dadi alti (tipo 2): 302 HV (287 HB; 30 HRC)
^c Minimo valore per i dadi alti (stile 2): 250 HV (238 HB; 22,2 HRC)

Per quanto riguarda le rondelle piane (semplici e smussate), destinate all'impiego nella carpenteria di acciaio in giunti ad alta resistenza precaricati, le classi di resistenza e le combinazioni di accoppiamento possibili con viti e dadi in funzione della classe sono specificate in **Tab. 6**, in accordo con ISO 887. Si riportano, inoltre, le dimensioni geometriche (cfr. **Tab. 7**) in accordo con EN 14399-5 (rondelle piane semplici) ed EN 14399-6 (rondelle piane smussate) (cfr. **Fig. 53**).

Tabella 5c Valori della resistenza minima di dadi con filettatura a passo grosso

Diametro filettatura (D)	Passo filettatura (P)	Resistenza minima [N]							
		Classe di resistenza							
		04	05	5	6	8	9	10	12
M5	0,8	5 400	7 100	8 250	9 500	12 140	13 000	14 800	16 300
M6	1	7 640	10 000	11 700	13 500	17 200	18 400	20 900	23 100
M7	1	11 000	14 500	16 800	19 400	24 700	26 400	30 100	33 200
M8	1,25	13 900	18 300	21 600	24 900	31 800	34 400	38 100	42 500
M10	1,5	22 000	29 000	34 200	39 400	50 500	54 500	60 300	67 300
M12	1,75	32 000	42 200	51 400	59 000	74 200	80 100	88 500	100 300
M14	2	43 700	57 500	70 200	80 500	101 200	109 300	120 800	136 900
M16	2	59 700	78 500	95 800	109 900	138 200	149 200	164 900	186 800
M18	2,5	73 000	96 000	121 000	138 200	176 600	176 600	203 500	230 400
M20	2,5	93 100	122 500	154 400	175 400	225 400	225 400	259 700	294 000
M22	2,5	115 100	151 500	190 900	218 200	278 800	278 800	321 200	363 600
M24	3	134 100	176 500	222 400	254 200	324 800	324 800	374 200	423 600
M27	3	174 400	229 500	289 200	330 500	422 300	422 300	486 500	550 800
M30	3,5	213 200	280 500	353 400	403 900	516 100	516 100	594 700	673 200
M33	3,5	263 700	347 000	437 200	499 700	638 500	638 500	735 600	832 800
M36	4	310 500	408 500	514 700	588 200	751 600	751 600	866 000	980 400
M39	4	370 900	488 000	614 900	702 700	897 900	897 900	1 035 000	1 171 000

NOTA: Per l'applicazione dei dadi sottili, deve considerarsi che il carico di sfilamento risulta inferiore alla resistenza di un dado con piena capacità di carico

Tabella 5d Valori della resistenza minima di dadi con filettatura a passo fine

Diametro e passo filettatura (D x P)	Resistenza minima ^a [N]						
	Classe di resistenza						
	04	05	5	6	8	10	12
M8x1	14 900	19 600	27 000	30 200	37 400	43 100	47 000
M10x1,25	23 300	30 600	44 200	47 100	58 400	67 300	73 400
M10x1	24 500	32 200	44 500	49 700	61 600	71 000	77 400
M12x1,5	33 500	44 000	60 800	68 700	84 100	97 800	105 700
M12x1,25	35 000	46 000	63 500	71 800	88 000	102 200	110 500
M14x1,5	47 500	62 500	86 300	97 500	11 9400	138 800	150 000
M16x1,5	63 500	83 500	115 200	130 300	159 500	185 400	200 400
M18x2	77 500	102 000	146 900	177 500	210 100	220 300	-
M18x1,5	81 700	107 500	154 800	187 000	221 500	232 200	-
M20x2	98 000	129 000	185 800	224 500	265 700	278 600	-
M20x1,5	103 400	136 000	195 800	236 600	280 200	293 800	-
M22x2	120 800	159 000	229 000	276 700	327 500	343 400	-
M22x1,5	126 500	166 500	239 800	289700	343 000	359 600	-
M24x2	145 900	192 000	276 500	334 100	395 500	414 700	-
M27x2	188 500	248 000	351 100	431 500	510 900	535 700	-
M30x2	236 000	310 500	447 100	540 300	639 600	670 700	-
M33x2	289 200	380 500	547 900	662 100	783 800	821 900	-
M36x3	328 700	432 500	622 800	804 400	942 800	934 200	-
M39x3	391 400	515 000	741 600	957 900	1 123 000	1 112 000	-

NOTA: Per l'applicazione dei dadi sottili, deve considerarsi che il carico di sfilamento risulta inferiore alla resistenza di un dado con piena capacità di carico

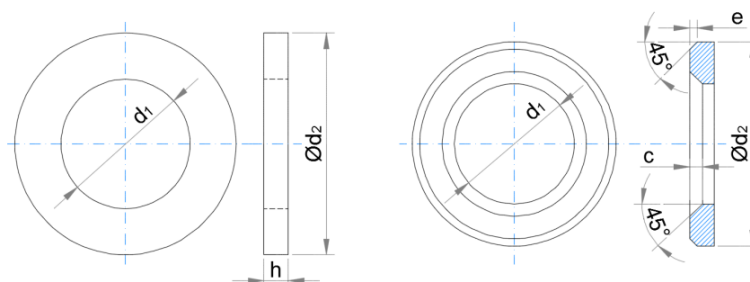


Figura 53 Rondelle piane semplici e smussate

Tabella 6 Classi di resistenza e combinazioni di accoppiamento delle rondelle con viti e dadi

Viti Classe di resistenza	Dadi Classe di resistenza	Impiego consentito (si/no)		
		Rondelle -corrispondente resistenza a trazione [N/mm ²]		
		100 HV	200 HV	300 HV
		320	640	965
		Pressione superficiale ammissibile [N/mm ²] (valori indicativi)		
		200-300	300-500	500-800
Viti autoformanti in acciaio cementato		si	si	si
Viti e dadi in acciaio inossidabile		-	si	-
≤ 6.8	≤ 6	si	si	si
8.8	8	no	si	si
9.8	9	no	no	si
10.9	10	no	no	si
12.9	12	no	no	no

Tabella 7 Caratteristiche geometriche delle rondelle piane semplici e smussate

Dimensione nominale d (diametro nominale della filettatura delle viti associate)			12	14	16	18	20	22	24	27	30
Rondelle piane semplici e smussate	d1	min.	13	15	17	19	21	23	25	28	31
		max.	13.3	15.3	17.3	19.3	21.3	23.3	25.3	28.5	31.6
	d2	min.	23.5	27.5	29.5	33.4	36.4	38.4	43.4	49	54.8
		max.	24	28	30	37	37	39	44	50	56
Rondelle piane smussate	h	nom.	3	3	4	4	4	4	4	5	5
		min.	2.7	2.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	4.4	4.4
	max.	3.3	3.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	5.6	5.6
	e	nom.=min.	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1
max.		1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2	2
c	min.	1.6	1.6	1.6	2	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5
	max.	1.9	1.9	1.9	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.0	3.0

Nota: Per le rondelle rivestite di zinco per immersione a caldo, le dimensioni sono riferite a prima della applicazione del rivestimento

4. DALLE COMPONENTI DI BASE AGLI ASSIEMI

4.1 Generalità

La tipologia di bullone dovrebbe essere selezionata in funzione del meccanismo resistente in base al quale viene concepito il collegamento. Infatti, qualora la resistenza di un collegamento a taglio è affidata alle forze di contatto che si sviluppano alla interfaccia lamiera-gambo della vite, risulta possibile e sufficiente utilizzare bulloni privi di precarico, i quali devono soddisfare il solo requisito di resistenza a taglio, come previsto dalle vigenti norme tecniche. Invece, laddove si preferisca chiudere opportunamente il pacchetto delle lamiere collegate per evitare fenomeni di scorrimento sotto carico (unioni ad attrito), si deve necessariamente far ricorso a bulloni ad alta resistenza, il cui serraggio consente l'applicazione di un precarico con conseguente precompressione trasversale delle lamiere collegate.

Le unioni ad attrito assicurano, almeno nelle fasi iniziali del carico, una rigidità senz'altro maggiore rispetto alle normali giunzioni e risultano più adatte in tutti quei casi in cui le sollecitazioni hanno caratteristiche dinamiche, con repentine variazioni di valore, ad esempio in presenza di vibrazioni, urti o oscillazioni sismiche. Le giunzioni ad attrito, inoltre, possono assicurare un migliore controllo della resistenza, grazie alla eliminazione dei picchi di tensione dovuti ai fenomeni di contatto localizzati all'interfaccia bullone-lamiera. Tra l'altro, la precompressione trasversale ha un benefico effetto di riduzione dei picchi di tensione che si registrano in corrispondenza del bordo dei fori.

Tra l'altro, nelle correnti strutture in carpenteria metallica, non è possibile tollerare gli assestamenti dovuti allo scorrimento dei collegamenti bullonati causati dai giochi presenti nelle zone di contatto fra gambo e foro, tipici delle unioni non precaricate. In tutti questi casi risulta perciò inevitabile il ricorso ai bulloni ad alta resistenza, applicati con controllo del serraggio.

Tuttavia è necessario specificare che normalmente la resistenza a taglio di un bullone risulta ben maggiore (tra il 10% ed il 60%) del massimo sforzo trasferibile esclusivamente per attrito attraverso il contatto tra le lamiere collegate. Pertanto, è facile immaginare che, in fase progettuale, in condizioni ultime (SLU), si possa scegliere di fare affidamento alla resistenza a taglio dei bulloni, accettando, quindi, il superamento della resistenza ad attrito, la quale comunque può essere convenientemente sfruttata in condizioni di servizio (SLE).

Alla luce di quanto sopra esposto, i bulloni utilizzati per la carpenteria metallica sono suddivisi in due distinte categorie (a bassa ed ad alta resistenza), in relazione al tipo di *assieme* da realizzare (*cf.* **Fig. 54**): *assiemi da precarico*, realizzati con *sistemi HV, HR, HRC*; *assiemi non da precarico*, denominati *SB*.

Si segnala che gli *assiemi HR ed HV a serraggio controllato* presenti sul mercato vengono utilizzati con le medesime finalità e subiscono simili processi di produzione, risultando pertanto alternativi tra loro; tuttavia, essi hanno una genealogia completamente differente, dipendente dalla specifica filosofia di rottura in base alla quale essi vengono concepiti: cedimento della vite nel tratto interno libero del filetto per il sistema HR e

sfilamento del dado per strappamento del filetto interno per il sistema HV. Anche gli innovativi assiami HRC, come i precedenti, sono predisposti per l'applicazione del serraggio, ma necessitano di un montaggio particolare, diverso dai precedenti, che consente una maggiore precisione nel controllo del precarico.

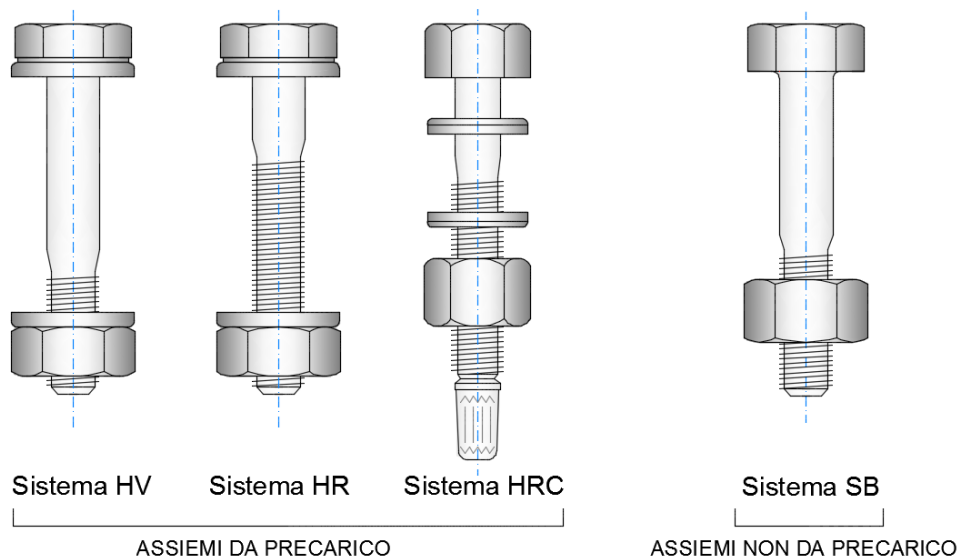


Figura 54 Tipologie di assiami

4.2 Assiami non da precarico tipo SB (norma EN 15048)

Gli assiami non da precarico (sistema SB) vengono utilizzati per le unioni a taglio, nelle quali la resistenza del collegamento è demandata al contatto tra il gambo della vite e la superficie interna della lamiera forata che accoglie la vite. La norma prevede assemblaggi con assiami costituiti ad esempio da viti secondo EN ISO 4014 (testa esagonale con gambo parzialmente filettato) e dado EN ISO 4032, oppure di viti secondo EN ISO 4017 (testa esagonale con gambo totalmente filettato) e dado EN ISO 4032.

Ai fini della correttezza del montaggio dell'assieme, la vite deve sporgere con almeno un filetto completo dalla faccia del dado. Ciascun assieme (vite, dado e rondella) deve essere comunque opportunamente serrato, sebbene con operazioni manuali, raggiungendo la cosiddetta condizione di *"snug-tight"* (condizione di serraggio raggiungibile mediante l'impegno di un operatore che usi una chiave di manovra normale senza nessuna estensione del braccio e corrisponde al punto in cui una chiave ad impulsi inizia a "martellare"). Durante le operazioni di assemblaggio, tale condizione deve essere eseguita per ciascun bullone, partendo dalle parti più rigide della giunzione, muovendosi progressivamente verso le parti meno rigide; si segnala che, al fine di raggiungere una condizione di serraggio uniforme, possono essere necessari più cicli di avvitamento. Particolare cura va posta nell'evitare sovra-serraggi specialmente nel caso di viti corte e bulloni di piccolo diametro.

Per il ridotto precarico applicato mediante il serraggio manuale, è possibile far ricorso a viti di tutte le classi di resistenza, considerando sia quelle a bassa che ad alta resistenza. Per i singoli prodotti costituenti l'assieme (vite e dado) risulta obbligatoria la marcatura CE, con marchio del produttore dell'assieme e del marchio speciale *"SB"* (*Structural Bolting*). Nella seguente **Tab. 8**, si sintetizzano le principali caratteristiche costruttive e tipologiche di questo tipo di assieme.

Tabella 8 *Principali caratteristiche degli Assiemi SB (EN 15048)*

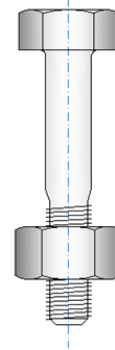
Diametri standard da M12 a M36

Classi di resistenza: dei bulloni di acciaio 4.6 ÷ 10.9

Raggio di raccordo sottotesta non maggiorato

Filettatura parziale o totale per tutta la lunghezza della vite

Rondelle non richieste, ma consigliate, durezza minima 100 HV (300 HV per classi 8.8 e 10.9 nel caso di giunti a singola sovrapposizione)



4.3 Assiemi da precarico (norma EN 14399)

4.3.1 Sistemi tipo HR ed HV

I bulloni adatti al precarico sono utilizzati essenzialmente per le giunzioni che lavorano ad attrito, nelle quali l'efficacia del collegamento è rimessa all'attrito indotto dalla precompressione delle lamiere applicata attraverso il serraggio del bullone. Per gli assiemi con applicazione del precarico, il *sistema HV*, di origine tedesca, prevede la applicazione di un dado più basso per favorire un meccanismo di rottura in caso di sollecitazione di trazione sulla vite che porta al cedimento del dado seguito da strappamento del filetto interno. Il *sistema HR*, di origine francese, è dotato di un dado più alto e di un filetto della vite esteso per maggiore lunghezza ed è concepito per raggiungere la rottura a trazione per cedimento del filetto interno; esso, pertanto, in linea di principio potrebbe favorire un maggiore allungamento a rottura ed una maggiore capacità di adattamento plastico del bullone. Comunque, tenendo conto di tutte le varie componenti, i due sistemi devono considerarsi completamente equivalenti.

Le caratteristiche geometriche dei due sistemi differiscono sia per la lunghezza della filettatura, che per il sistema HR arriva ad essere anche del 50% più lunga, che per la altezza del dado, che nel sistema HR risulta pari a circa 9/10 del diametro, mentre nel tipo HV risulta pari a circa 8/10 del diametro. In entrambi i casi, per accogliere un significativo precarico, assunto pari al 70% del carico di rottura della vite, come definito dalle norme tecniche, è necessario far ricorso a bulloni ad alta resistenza. Alcune differenze tra i due sistemi si notano anche in merito alle classi di resistenza utilizzabili; infatti, nel sistema HV è previsto l'utilizzo di viti della sola Classe 10.9; nel sistema HR è invece previsto anche l'utilizzo di viti di Classe 8.8.

Il precarico viene impartito mediante chiave dinamometrica, attraverso la quale è possibile controllare la coppia di serraggio applicata all'assieme. La conversione della coppia applicata con la chiave dinamometrica in sforzo di trazione indotto nella vite dipende dal cosiddetto *fattore k*, regolato dai vari attriti che si sviluppano tra le componenti (principalmente attrito sul filetto ed attrito all'appoggio del dado), oltre che dalle deformazioni elastiche che si sviluppano all'interno dell'assieme. Tali attriti risultano dipendenti da una serie di fattori specifici non tutti di semplici controllo, quali la rugosità delle superfici a contatto, le tolleranze di accoppiamento, gli eventuali trattamenti termici e superficiali applicati, le velocità del serraggio, la distribuzione delle pressioni di contatto sotto dado, il recupero delle deformazioni dovute al rilassamento.

La bulloneria a serraggio controllato, pertanto, risulta molto sensibile alle differenze di fabbricazione e lubrificazione. Per tale ragione è importante che l'assieme sia fornito in

confezioni sigillate da un unico produttore. È altrettanto importante che il rivestimento dell'assieme (brunitura o zincatura a caldo) sia eseguito sotto il controllo del produttore.

Queste prescrizioni costituiscono un'importante innovazione rispetto alle norme del passato in base alle quali per la bulloneria ad alta resistenza, che in Italia era regolamentata dalle norme UNI 5712 (viti), UNI 5713 (dadi) ed UNI 5714 (rondelle), risultavano applicabili gli stessi criteri di accettazione degli altri tipi di bulloneria; pertanto, secondo la allora vigente UNI 3740-8, la conformità del sistema era verificata singolarmente per le viti, per i dadi e per le rondelle, senza che fosse prescritta alcuna prova sull'*assieme*. Il giunto veniva chiuso mediante l'applicazione di coppie di serraggio che non potevano che risultare indicative, in quanto predeterminate secondo tabelle fornite dalla CNR 10011, con l'assunzione che il coefficiente di attrito dell'assieme (*fattore k*) risultasse costante e definibile a priori.

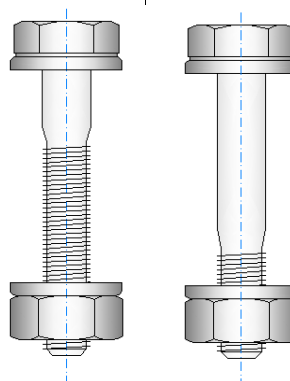
Le nuove norme europee sulla bulloneria a serraggio controllato non solo prescrivono la fornitura di assiemi in lotti omogenei (questo sia per le viti, che per i dadi e le rondelle), ma impongono anche il superamento di due prove attitudinali aggiuntive da effettuarsi sull'assemblaggio tra i singoli elementi. Ciò viene richiesto al fine di assicurare che a seguito dell'applicazione di una determinata coppia di serraggio si ottenga la corretta chiusura della giunzione bullonata, con una elevata attendibilità di applicazione del precarico voluto, e la contestuale conservazione di un adeguato margine di sicurezza rispetto allo sforzo di trazione applicato nella vite che altrimenti potrebbe comportare la possibilità di deformazione plastica della stessa. Proprio per assicurare l'applicazione di

un corretto precarico, in tali assiemi è prescritto l'utilizzo di rondelle che permettono il migliore controllo dell'attrito e delle pressioni di contatto sotto dado, con contestuale utilizzo di dado lubrificato che consente di controllare meglio il rapporto tra la coppia di serraggio e lo sforzo generato nella vite.

L'assieme tipo HR è disciplinato dalla norma EN 14399-3, mentre l'assieme tipo HV dalla norma EN 14399-4; per entrambi, ai fini del corretto montaggio, la vite deve sporgere di almeno un filetto completo dalla faccia esterna del dado e deve avere almeno quattro filetti completi liberi oltre la faccia interna del dado. Per entrambi gli assiemi risulta obbligatoria la marcatura CE con marchio del produttore dell'assieme e del marchio speciale "HR" o "HV" su vite e dado ed "H" sulle rondelle, queste ultime rispondenti alle norme EN 14399-5 e EN 14399-6. Nella seguente **Tab. 9** si riportano le principali caratteristiche costruttive e tipologiche dei due sistemi.

Tabella 9 Principali caratteristiche degli Assiemi HR ed HV

SISTEMA HR (EN 14399-3)	SISTEMA HV (EN 14399-4)
Diametri da M12 a M36	Diametri da M12 a M36
Marcatura della vite HR	Marcatura della vite HV-HVP
Filettatura parziale ISO 888 (lunghezza filettatura variabile con la lunghezza del gambo)	Filettatura parziale corta (lunghezza del gambo filettato in funzione del solo diametro)
Raggio di raccordo sottotesta secondo norma	Raggio di raccordo sottotesta secondo norma
Marcatura del dado HR Altezza dado come tipo 1 ISO (~ 0,9d)	Marcatura del dado HV Altezza dado ~ 0,8 d
Classi di resistenza: 8.8/8 , 10.9/10	Classi di resistenza: 10.9/10
2 rondelle bonificate (300÷370 HV) (smussata quella sotto la testa della vite)	2 rondelle bonificate (300÷370 HV) (smussata quella sotto la vite)
Marcatura rondella H	Marcatura rondella H



4.3.2 Sistema tipo HRC

Differenti dai precedenti e ben più innovativi rispetto ai sistemi tradizionali, risultano gli assiemi tipo HRC, con serraggio calibrato. Infatti, proprio per eliminare le incertezze sulla applicazione della corretta coppia di serraggio, in tale tipo di assieme i bulloni vengono serrati mediante un'attrezzatura specifica (avvitatore elettrico a coppie sovrapposte, dotato di due prese coassiali). L'entità della coppia di serraggio applicata viene controllata mediante la rotazione contrapposta di due manicotti, di cui uno bloccante il dado e l'altro bloccante la parte fuoriuscente del gambo della vite costituente un puntale fusibile a resistenza limitata (codolino), che mantiene ferma la vite senza farla ruotare nella fase iniziale del serraggio e che si spezza per un predefinito livello della torsione applicata, con espulsione automatica dall'avvitatore.

Più nel dettaglio la vite viene montata attraverso due fasi distinte: in una prima fase, viene applicato un pre-serraggio attraverso la presa esterna che produce la rotazione del dado in senso orario. Contemporaneamente, la presa interna dell'avvitatore blocca la testa del bullone senza ruotare; ne consegue che l'assieme viene progressivamente serrato attraverso l'incremento di coppia applicato sulla testa del bullone. Quando la bussola esterna dell'avvitatore cessa la sua rotazione (da completare per tutte le viti della giunzione prima di procedere con la successiva fase), inizia la seconda fase, nel corso della quale la presa interna ruota in senso antiorario, facendo forza su quella esterna, bloccata sul dado. Il serraggio finale si ottiene quando viene raggiunta la resistenza torsionale a rottura del codolino, con il suo conseguente distacco (*cfr. Fig. 55*).

Il livello di precarico specificato, al 70% del carico di rottura della vite, è controllato dall'assieme HRC stesso mediante la definizione delle caratteristiche geometriche e meccaniche torsionali della vite ed il controllo delle condizioni di lubrificazione.

La messa in opera del sistema avviene con rapidità e senza sforzo, con eliminazione completa del rischio che i bulloni possano non essere serrati a fondo, ciò per effetto del controllo visivo immediato dello stato del bullone.

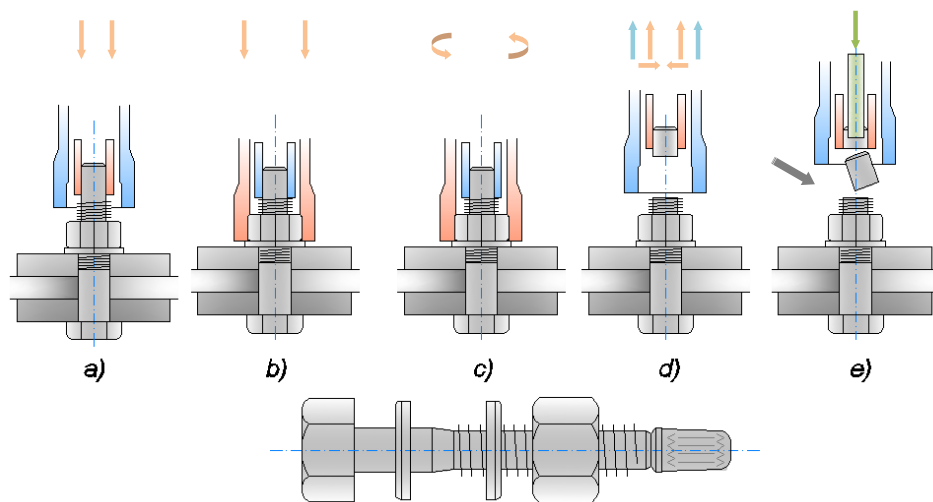


Figura 55 Schematizzazione delle sistema di applicazione del serraggio per assiemi tipo HRC

L'assieme tipo HRC, per il quale è previsto l'utilizzo di viti della classe 10.9, è disciplinato dalla norma EN 14399-10. Per esso risulta obbligatoria la marcatura CE con marchio del produttore dell'assieme e del marchio speciale "HRC" sulla vite, "HR" o "HRD" sul dado e "H" sulle rondelle, queste ultime da utilizzarsi a discrezione e comunque rispondenti alle norme EN 14399-5 ed EN 14399-6. Nella seguente **Tab. 10** sono sintetizzate le principali caratteristiche costruttive e tipologiche del sistema.

Tabella 10 *Principali caratteristiche degli Assiemi HRC (EN 14399-10)*

Diametri standard da M12 a M36

Marcatura della vite HRC

Raggio di raccordo sottotesta secondo norma

Filettatura parziale (lunghezza variabile con la lunghezza del gambo)

Marcatura del dado HR o HRD

Altezza dado come tipo 1 ISO ($\sim 0,9d$) o $\sim 1d$

Rondelle non richieste. Laddove applicate:

rondelle bonificate (300÷370 HV)

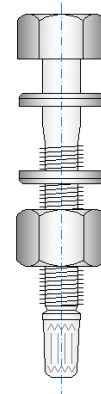
(smussata quella eventualmente posta sotto la testa)

Marcatura rondella H

Marcatura rondella su dado a discrezione dell'utilizzatore

Marcatura rondella su vite a discrezione dell'utilizzatore

Codolo a rottura calibrato al raggiungimento del precarico



4.4 Controlli sulla produzione

4.4.1 Generalità

La conformità dei componenti e degli assiemi con i requisiti specificati dalle norme di prodotto ed in particolare della EN 14399 deve essere dimostrata attraverso due tipi di controlli da eseguire sulla produzione degli elementi di bulloneria: “*initial type testing*” e “*periodical audit*”. Entrambi i controlli hanno lo scopo di responsabilizzare il produttore riguardo alla immissione sul mercato delle componenti degli assiemi. Le verifiche prescritte sono dimensionali, meccaniche e funzionali; esse vanno eseguite ogni qualvolta si propone un nuovo prodotto, uno già testato ma modificato oppure quando si immette sul mercato lo stesso prodotto ottenuto con metodi differenti. Con le verifiche dimensionali e le prove meccaniche si valuta la conformità dei singoli componenti ai requisiti richiesti dalle norme, mentre con le prove funzionali si valutano le caratteristiche

dell'assieme durante il suo utilizzo.

A valle della produzione e quindi delle verifiche effettuate, se le verifiche risultano conformi a quanto prescritto dalle norme, viene redatto il certificato di conformità che abilita il produttore all'utilizzo del *marchio CE*. Il certificato dell'assieme, oltre a contenere i dati del produttore, contiene anche i dati del lotto di produzione. La marcatura CE, secondo la norma, deve essere riportata sulle etichette e deve indicare il nome dell'ente certificatore, il nome del produttore, gli estremi del certificato di conformità, la designazione del prodotto secondo la EN 14399 e la classe K di fornitura.

Sino al 2013, la marcatura CE era accompagnata dalla *"Dichiarazione di Conformità"* del produttore ai requisiti essenziali previsti per un determinato prodotto. L'attuale Regolamento Europeo per i Prodotti da Costruzione n.305/2011 definisce le condizioni per l'immissione sul mercato dei prodotti, stabilendo disposizioni armonizzate per la descrizione delle prestazioni dei prodotti in relazione alle loro caratteristiche essenziali ed all'uso della marcatura CE. La *"Dichiarazione di Conformità"* è stata infatti sostituita dalla *"Dichiarazione di Prestazione"* (DoP). Ogni certificato di accompagnamento DoP dovrà contenere, oltre che tutte le caratteristiche essenziali prescritte dalle normative, anche almeno una prestazione attesa dal prodotto.



Nel caso degli assiemi bullonati, il marchio CE attesta, la conformità degli assiemi vite/dado/rondella alle norme europee armonizzate riguardanti le costruzioni metalliche,

l'attuazione di un processo produttivo strutturato, controllato e certificato da un ente esterno notificato, la presenza di un sistema di gestione della qualità in grado di garantire la continua sorveglianza, valutazione ed approvazione del processo produttivo.

4.4.2 Valutazione delle caratteristiche qualitative delle singole componenti

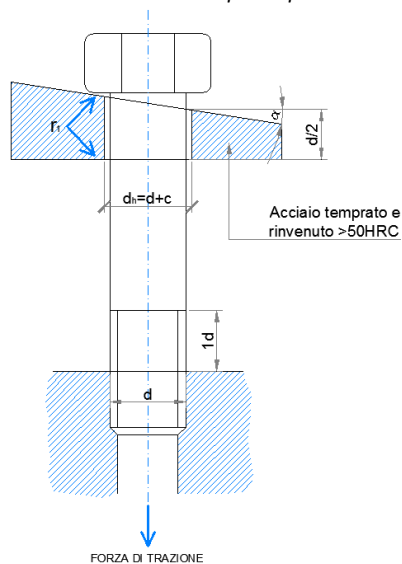
Al fine di valutare la conformità del prodotto, le norme, in base alla classe di appartenenza dei bulloni, forniscono numerose prescrizioni tecniche, il cui controllo in fase di produzione rende talvolta necessaria l'esecuzione di prove. In particolare, nella UNI EN ISO 898-1 sono definite le diverse classi di resistenza che definiscono le caratteristiche meccaniche della vite; esse ovviamente risultano funzione del ciclo tecnologico di produzione della stessa vite e del tipo di acciaio utilizzato. Per verificare l'appartenenza delle viti ad una determinata classe di resistenza, in accordo con la **Tab. 3**, è necessario eseguire prove attraverso le quali poter verificare il rispetto delle prescrizioni sulle caratteristiche meccaniche. Risulta necessario perciò effettuare *prove meccaniche su campioni di prodotto*, per accertare la effettiva resistenza meccanica a trazione della vite. A tale scopo è possibile far riferimento a diversi programmi di prova, che comprendono, tra le altre, prove di trazione su provino, prove di trazione assiale sull'intera vite, prove di carico su viti, prova a trazione con appoggio a cuneo su vite intera, prove di durezza, prove di resilienza su provetta, prove di tenacità della testa, esame della decarburazione e prove di secondo rinvenimento. Tra queste, una delle principali prove è quella di trazione con appoggio a cuneo attraverso la quale la testa della vite viene sollecitata a trazione fino a portare la vite alla rottura (*cf. Tab. 11*). Si ha il superamento della prova

se il carico di rottura non risulta inferiore a quello previsto per la classe di resistenza della vite. La rottura deve verificarsi sul gambo e nella zona di raccordo con la testa, a meno che essa non sia partita dal gambo completamente filettato. Nel caso in cui la vite non dovesse disporre di una lunghezza tale da poter applicare la procedura appena descritta allora è possibile eseguire la prova di tenacità della testa, attraverso la quale la testa della vite viene battuta da un martello fino a che essa non ruota di un determinato angolo fino alla completa rottura, che, comunque, non deve mai verificarsi in corrispondenza della zona di raccordo testa-gambo.

Analogamente, la norma EN ISO 898-2 specifica le caratteristiche meccaniche di dadi in relazione agli accoppiamento con le viti, quindi con carichi di prova determinati, ciò in accordo ai prospetti riportati in **Tab. 5**. È opportuno segnalare che è maggiormente consigliabile dimensionare gli accoppiamenti vite/dado in modo che il cedimento dell'assieme si manifesti sempre con la rottura del gambo della vite. Pertanto, i dadi, attraverso l'insieme dei parametri che ne influenzano la resistenza allo strappo (resistenza del materiale, gioco tra le filettature, ecc.), laddove scelti con sufficiente altezza, garantiscono tale tipo di cedimento. Le caratteristiche meccaniche dei dadi, quando possibile, possono determinarsi per via diretta, attraverso una prova di carico, preferibilmente di trazione, nel corso della quale il dado deve resistere al carico previsto senza dar luogo a cedimenti dovuti a rottura o strappamento della filettatura e, rimosso il carico, il dado deve potersi svitare a mano. In alternativa, in maniera più semplice, la

resistenza meccanica del dado può valutarsi per via indiretta, misurando la durezza Vickers superficiale su una faccia di appoggio del dado.

Tabella 11 Parametri dimensionali per la prova di trazione del bullone con appoggio a cuneo



Diametro nominale <i>d</i> [mm]	<i>d_h</i> [mm]		<i>r₁</i> [mm]
	Min.	Max.	
16	17.5	17.77	1.3
18	20	20.33	1.3
20	22	22.33	1.6
22	24	24.33	1.6
24	26	26.33	1.6
27	30	30.33	1.6
30	33	33.39	1.6
33	36	36.39	1.6
36	39	39.39	1.6
39	42	42.39	1.6

Diametro nominale <i>d</i> [mm]	Classi di resistenza			
	Per bullone e viti con lunghezza del gambo non filettata (<i>l_s ≥ 2d</i>)		Per viti con testa filettata e bulloni e viti con lunghezza del gambo non filettata (<i>l_s < 2d</i>)	
	<i>α ± 30°</i>			
	4.6 - 4.8 - 5.6 - 5.8 - 6.8 - 8.8 - 10.9	12.9 - 12.9	4.6 - 4.8 - 5.6 - 5.8 - 6.8 - 8.8 - 10.9	12.9 - 12.9
$3 \leq d \leq 20$	10°	6°	6°	4°
$20 \leq d \leq 39$	6°	4°	4°	4°

4.4.3 Prove di serraggio dell'assieme

Oltre alle proprietà meccaniche delle singole componenti, la funzionalità dell'assieme è subordinata al controllo del precarico e pertanto alla corretta applicazione della coppia di serraggio. Al fine di accertare la corretta funzionalità dell'assieme e determinarne quindi la idoneità, la norma armonizzata prevede che siano eseguite prove sistematiche di serraggio del complesso vite, dado e rondelle. A tal fine, in EN 14399-2 è stata definita una apposita procedura di prova imposta al produttore. La prova consiste nel bloccare la

testa del bullone ed assoggettare il dado ad una coppia di serraggio, per farlo ruotare sulla rondella e generare una forza di precarico nel bullone con conseguente compressione delle lamiere collegate. La prova consiste quindi nel caricare assialmente l'assieme e nel misurare la forza sviluppata durante la prova di trazione (cfr. **Fig. 56**). La EN 14399-2 definisce anche le modalità di rottura dell'assieme, prevedendo che il cedimento si abbia per rottura in corrispondenza della parte filettata e che non si verifichi, invece, la rottura in corrispondenza dell'attacco tra il gambo della vite e la testa. Ciò diversamente da quanto previsto per gli acciai inossidabili (di cui alla EN15048-2) per i quali è prevista anche la rottura per strappamento del gambo.

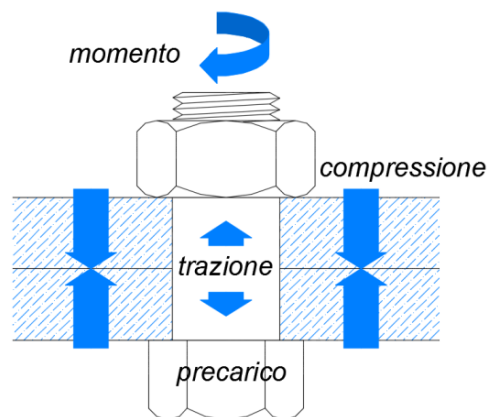


Figura 56 Schematizzazione della prova per la verifica di idoneità degli assieme soggetti a precarico

Gli esiti della prova vengono valutati diagrammando il precarico, ovvero la forza di trazione applicata all'assieme (F_b), in funzione dell'angolo di rotazione del dado (θ) (cfr. **Fig. 57**). La prova può intendersi superata qualora il collasso dell'assieme avvenga secondo le prescritte modalità e se il carico massimo di serraggio ($F_{bi,max}$), la componente plastica di deformazione dovuta alla rotazione del dado ($\Delta\theta_{2i}$) e la forza corrispondente ($F_{bi}(\theta_{2i})$) superino i valori prescritti dalla norma, in accordo con le seguenti relazioni:

$$F_{bi,max} \geq 0,9 \cdot R_{m,nom} \cdot A_s$$

$$\Delta\theta_{2i} \geq \Delta\theta_{2min}$$

$$F_{bi}(\theta_{2i}) \geq F_p$$

Nelle precedenti relazioni $R_{m,nom}$ rappresenta la tensione di rottura nominale della vite coincidente con f_{ub} ; A_s è l'area resistente del gambo della vite; F_p è il valore del carico corrispondente al limite di proporzionalità, convenzionalmente assunto pari al 70% del valore nominale di rottura della vite. Infine, $\Delta\theta_{2min}$ è il minimo valore di deformazione plastica che viene prescritto dalla norma per ciascuna tipologia di assieme in funzione della geometria del giunto ed in particolare dello spessore del pacchetto serrato. Ad esempio, per pacchetti di lamiera il cui spessore Σt , compreso quello delle rondelle, risulti minore di due volte il diametro del bullone d , il valore minimo prescritto di deformazione plastica risulta pari a 180° per i sistemi HV (EN 14399-4) e 210° per i sistemi HR (EN 14399-3); per spessori Σt maggiori, il valore $\Delta\theta_{2min}$ cresce progressivamente, divenendo, per spessori compresi tra $2d$ e $6d$, pari a 210° per i sistemi HV e pari a 240° per i sistemi HR; infine, per spessori Σt fino a $10d$ esso risulta pari a 240° per i sistemi HV e 270° per i sistemi HR.

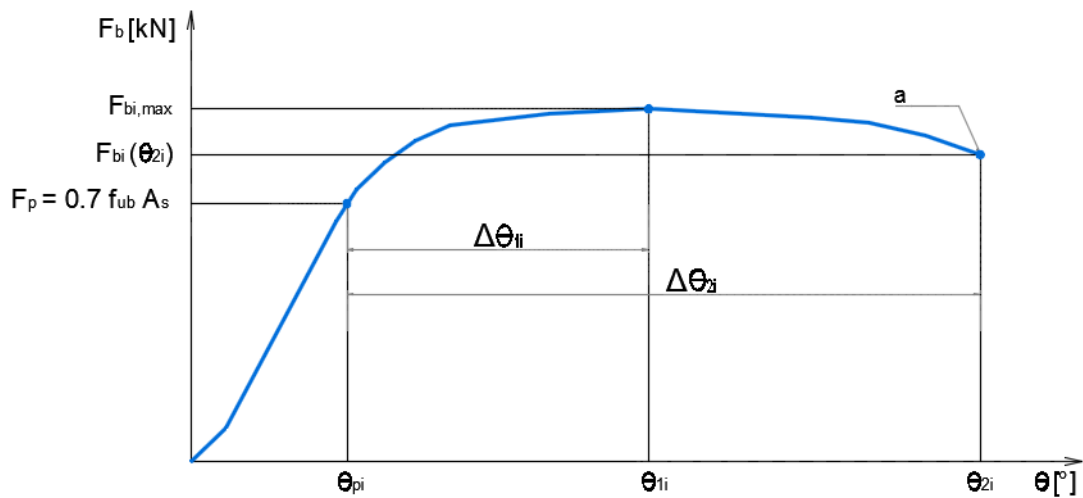


Figura 57 Diagramma della forza di trazione generata nell'assieme in funzione dell'angolo di rotazione del dado

Una seconda prova attitudinale tesa a caratterizzare il comportamento dell'assieme consiste nel determinare dalla curva precedentemente tracciata il coefficiente di torsione (*fattore k*), che corrisponde al fattore di rendimento di coppia, definito attraverso la seguente relazione:

$$k = \frac{M}{d \cdot F_p}$$

Nella precedente relazione M rappresenta la coppia di serraggio applicata e d il diametro nominale della vite. Pertanto, sulla base di almeno 5 differenti prove eseguite su altrettanti assiemi, detto k_i il generico valore del coefficiente di torsione determinato attraverso ciascuna delle n prove eseguite, vengono definiti il valore medio k_m , lo scarto quadratico medio s_k ed il suo coefficiente di variazione o indice di dispersione V_k , in accordo con le seguenti relazioni:

$$k_m = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n}$$

$$k_i = \frac{M_i}{d \cdot F_p}$$

$$V_k = \frac{s_k}{k_m}$$

$$s_k = \sqrt{\frac{\sum (k_i - k_m)^2}{n - 1}}$$

Sulla base delle prove eseguite e della elaborazione dei relativi risultati come sopra definiti, è possibile determinare il valore della coppia di serraggio del lotto prodotto corrispondente ad un predeterminato valore del precarico del bullone (cfr. **Fig. 58**), in particolare in ipotesi di applicazione di un precarico pari al 70% del carico nominale di rottura della vite. Tale valore viene perciò dichiarato dal produttore che stabilisce il valore del *fattore k* dell'assieme in ottemperanza ad una delle tre *classi k di serraggio* definite in base ai criteri della EN 14399-1.

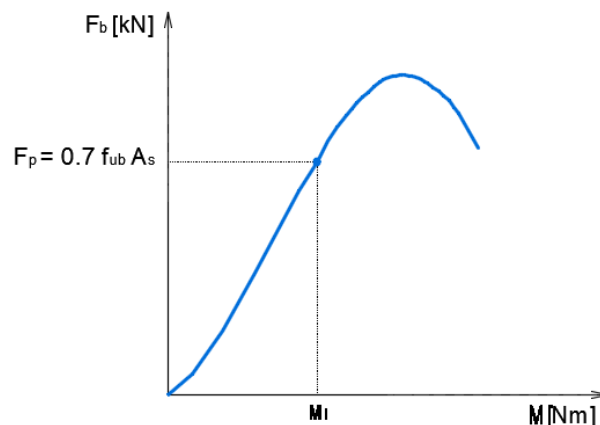


Figura 58 Diagramma coppia-forza di serraggio in un assieme soggetto a precarico

La norma definisce, infatti, tre classi funzionali di serraggio (indicate con K0, K1 e K2). Il produttore deve certificare il fattore *k* dell'assieme in base ad una tra tre differenti

modalità, scelta in funzione della classe funzionale dell'assieme. In particolare, per la classe K0 non sono prescritte limitazioni per i valori di k determinati dalle prove effettuate; per fornire una classificazione K1, invece, è necessario che i valori k_i del fattore k determinati per almeno 5 assemblaggi siano tutti compresi nell'intervallo $0,10 \leq k_i \leq 0,16$; per la classe K2, infine, deve verificarsi che il valore medio k_m di almeno cinque assemblaggi testati ricada all'interno dell'intervallo $0,10 \leq k_m \leq 0,23$ ed inoltre va controllato che risulti il fattore di dispersione $V_k \leq 0,10$ (cfr. **Tab. 12**) (si segnala che il valore massimo di V_k nelle nuove norme EN 14399 conformi al Regolamento 305/2011 sarà ridotto a 0,06 al fine di meglio garantire il precarico minimo richiesto anche in modalità di serraggio in solo controllo di coppia).

Tabella 12 *Classi funzionali di serraggio e relative prescrizioni (EN 14399-1-2)*

Classe k	Informazioni da fornire	Prescrizione
K0	Nessuna	Nessuna
K1	Valori dei test individuali compresi nell'intervallo k_i	$0,10 \leq k_i \leq 0,16$
K2	Valore medio dei test compresi nell'intervallo k_m Limite di dispersione del fattore k (V_k)	$0,10 \leq k_m \leq 0,23$ $V_k \leq 0,10$

I metodi consentiti per il serraggio dell'assieme variano sia in base alla classe funzionale k dell'assieme, sia in base alla natura dello stesso assieme. In particolare, la norma armonizzata EN 1090-2 fornisce la corrispondenza tra la classe k ed i diversi metodi di serraggio (cfr. **Tab. 13**), per la cui applicazione si rimanda al paragrafo 4.5.5.

Tabella 13 *Classi k in relazione al metodo di serraggio*

Metodi di serraggio	Classe k
Metodo della coppia (<i>torque method</i>)	K2
Metodo combinato	K2 o K1
Metodo di serraggio HRC	K0 solo se con dado HRD oppure K2
Metodo degli indicatori diretti di carico (DTI)	K2, K1 o K0

4.5 Ulteriori regole di assemblaggio

4.5.1 Aspetti generali

In generale, progettazione e messa in opera dei giunti bullonati devono garantire facilità di costruzione e montaggio, prevenendo per quanto possibile fenomeni di corrosione, fenomeni di instabilità locale delle lamiere, eccessivi indebolimenti per effetto della foratura dei piatti e di concentrazioni delle tensioni generate dal contatto vite-lamiera.

La fase di messa in opera dei giunti è perciò importante in quanto la non corretta applicazione delle varie prescrizioni potrebbe provocare l'insorgenza di specifiche problematiche con influenza negativa sul comportamento meccanico di insieme. A tal proposito specifiche prescrizioni sono fornite nella EN 1990-2.

In particolare, per le giunzioni strutturali di elementi in carpenteria metallica è prescritto l'utilizzo di viti con diametro nominale minimo M12. Per le lamiere e nei casi di profili in parete sottile il diametro minimo utilizzabile viene definito, invece, in relazione a ciascuna specifica tipologia di elemento di fissaggio. La lunghezza della vite deve garantire che a fine serraggio siano rispettate le prescrizioni relative alle sporgenze della filettatura, come precedentemente definite per le unioni bullonate da precarico e non da precarico.

In linea generale, preliminarmente alle operazioni di montaggio, per ogni nuovo lotto di viti o dadi, si deve accertare la compatibilità delle varie componenti dell'insieme effettuando un avvitamento manuale prima dell'installazione. In particolare, dovrà accertarsi che l'avvitamento del dado risulti scorrevole, questo sia nel caso che le

componenti da assiemare provengano da imballi separati sia che gli assiemi risultino già preassemblati. Qualora l'avvitamento a mano dovesse risultare difficoltoso, si dovrà procedere a scartare e quindi a sostituire il bullone.

I dadi devono essere assemblati in modo che la marcatura risulti leggibile e rivolta verso l'esterno, in quanto, altrimenti, potrebbero aversi riflessi incontrollati sui valori dell'attrito dell'assieme ai fini della corretta applicazione del precarico. Nelle strutture soggette a vibrazioni dovranno prendersi opportuni provvedimenti per evitare l'allentamento dei dadi; ciò, nel caso di bulloni precaricati, può essere ottenuto attraverso la corretta applicazione di una normale procedura di serraggio dell'assieme.

Viti e dadi non dovranno mai essere saldati a meno di casi particolari in cui ciò è esplicitamente richiesto.

Qualora sia previsto l'utilizzo di rondelle (che devono essere di spessore minimo di 4 mm), deve essere verificata la loro posizione in relazione al tipo di assieme utilizzato. Nel caso si utilizzino rondelle smussate, è importante che queste, durante l'assemblaggio, siano posizionate correttamente, ovvero sia con lo smusso rivolto verso la testa della vite, oppure, per le rondelle utilizzate sotto i dadi, con lo smusso rivolto verso il dado. L'utilizzo di rondelle è obbligatorio nel caso di assiemi da precarico, prevedendo almeno una rondella per le viti di classe 8.8 (posizionata al di sotto dell'elemento – testa della vite o dado – a cui sarà applicata la rotazione per conferire il serraggio all'assieme) e di due rondelle (che devono essere quindi presenti sia sotto la testa della vite che sotto il dado) per le viti di classe 10.9.

Infine, è utile ricordare che, per assicurare il corretto funzionamento di un collegamento bullonato, è necessario che il massimo dislivello tra le superfici adiacenti risulti contenuto, dell'ordine massimo dei 2 mm nel caso di utilizzo di bulloni non precaricati ed 1 mm quando si usano bulloni precaricati. Laddove necessario, per ridurre il dislivello tra le superfici adiacenti è possibile far ricorso ad imbottiture in acciaio, che comunque dovranno avere uno spessore minimo di almeno 2 mm e garantire una buona compatibilità con le adiacenti piastre al fine di evitare fenomeni corrosivi.

In generale, il corretto utilizzo dei giunti bullonati, oltre che all'osservanza di generiche regole di montaggio, è subordinato, anche al rispetto di altre più rigorose regole (alcune delle quali che incidono anche sulla fase progettuale del collegamento) che sono relative a:

- posizionamento dei fori;
- tolleranze foro-bullone;
- applicazione del precarico;

Per verificare il corretto assemblaggio, è inoltre necessario procedere alla effettuazione di precisi controlli sull'eseguito.

4.5.2 Posizionamento dei fori

La foratura delle lamiere per la predisposizione dei collegamenti bullonati avviene generalmente mediante trapanatura, punzonatura o impiego della fiamma. Le varie norme tecniche inerenti al calcolo ed alla esecuzione delle strutture in acciaio impongono

in fase di progettazione il rispetto di precisi vincoli in merito alle distanze che i fori devono avere rispetto ai bordi, all'estremità dei fori dei piatti da collegare, nonché all'interasse dei fori stessi. La distanza dal bordo dei dispositivi di unione è definita come la distanza dal centro del foro al bordo adiacente della parte da collegare misurata perpendicolarmente alla direzione del carico; la distanza dall'estremità è definita in uguale modo, ma essa viene misurata rispetto alla direzione del carico applicato.

La sussistenza dei valori inferiori prescritti per dette distanze è dovuta alla necessità di evitare la rottura della lamiera a causa dell'eccessivo indebolimento prodotto dalla sottrazione del materiale in corrispondenza dei fori. Nel contempo, il rispetto delle suddette distanze minime garantisce la esecuzione di facili e sicure operazioni di montaggio e serraggio dei bulloni, evitando eventuali interferenze.

Lo scopo delle limitazioni superiori, invece, è quello di evitare che si formino troppo facilmente distacchi locali tra le parti a contatto, che potrebbero causare fenomeni di instabilità locale delle porzioni di piatti compressi compresi tra i bulloni ed esporre le lamiere a fenomeni di corrosione dovuti ad umidità. In **Tab. 14** ed in **Fig. 59**, a titolo esemplificativo, si riportano le limitazioni dettate dalla vigente normativa italiana (NTC 2008), corrispondenti con quelle dell'Eurocodice 3 (EN 1993).

Tabella 14 Posizione dei fori per unioni bullonate (NTC 2008)

Distanza e interassi	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistenti alla corrosione (EN10025-5)
e_1	$1.2 d_0$	$4t + 40\text{mm}$	-	$\max(8t; 125\text{mm})$
e_2	$1.2 d_0$	$4t + 40\text{mm}$	-	$\max(8t; 125\text{mm})$
p_1	$2.2 d_0$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\max(14t; 175\text{mm})$
$p_{1,0}$	-	$\min(14t; 200\text{mm})$	-	-
$p_{1,i}$	-	$\min(28t; 400\text{mm})$	-	-
p_2	$2.4 d_0$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\min(14t; 200\text{mm})$	$\max(14t; 175\text{mm})$

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

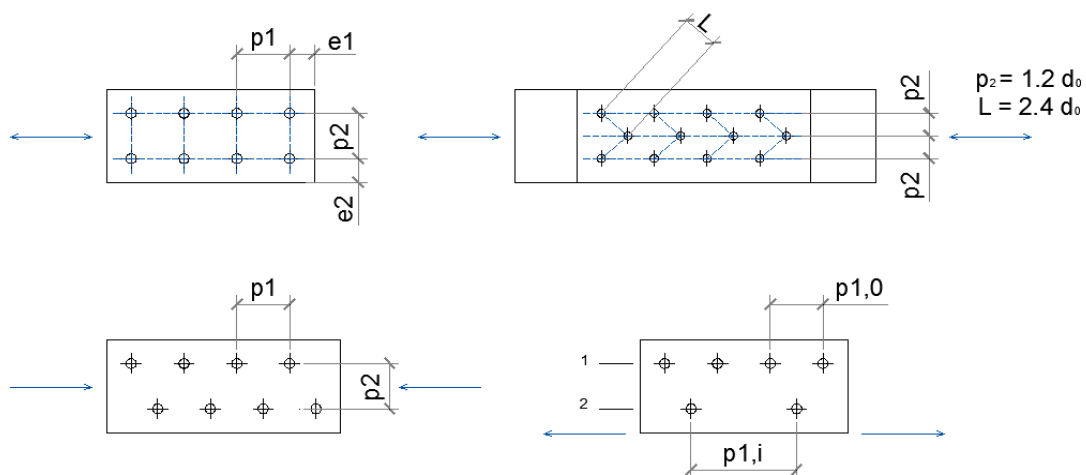


Figura 59 Limiti sulla disposizione dei fori per la realizzazione di unioni bullonate

4.5.3 Tolleranze foro-bullone

Ad eccezione dei casi in cui sono previste tolleranze ridotte o fori maggiorati, la tolleranza nominale standard, ossia la differenza tra il diametro del bullone e quello del relativo foro, dovrà risultare conforme alle indicazioni di seguito fornite (EN 1993-1.8), nelle quali con d è indicato il diametro del bullone e con d_0 il diametro del foro (cfr. **Tab. 15**).

- Per bulloni M12 ed M14 $d_0 = d + 1\text{mm}$
- Per bulloni da M16 a M24 $d_0 = d + 2\text{mm}$

- Per bulloni M27 e oltre $d_0 = d + 3 \text{ mm}$

Si osserva che la vigente normativa tecnica italiana (NTC 2008) risulta più restrittiva, imponendo tolleranze massime di 1 mm, per bulloni sino a 20 mm di diametro, e di 1,5 mm per bulloni di diametro maggiore, consentendo comunque di derogare da tali limiti quando eventuali assestamenti sotto i carichi di servizio non comportino il superamento dei limiti di deformabilità o di servizio della struttura.

In EN 1993, per semplificare le operazioni di montaggio, sono consentite anche tolleranze più alte ma, a causa della conseguente riduzione della resistenza a taglio dell'unione, esse sono adoperabili per i soli collegamenti ad attrito. La tolleranza nominale nei fori maggiorati dovrà comunque risultare:

- Per bulloni M12 3 mm
- Per bulloni da M14 a M22 4 mm
- Per bulloni M24 6 mm
- Per bulloni M27 e oltre 8 mm

Maggiori libertà di impiego possono essere raggiunte con i fori asolati. Nel caso dei collegamenti ad asola corta per i collegamenti ad attrito le dimensioni nominali dei fori non dovranno essere maggiori di:

- Per bulloni M12 e M14 $(d+1) \text{ mm} \times (d+4) \text{ mm}$
- Per bulloni da M16 a M22 $(d+2) \text{ mm} \times (d+6) \text{ mm}$
- Per bulloni M24 $(d+2) \text{ mm} \times (d+8) \text{ mm}$
- Per bulloni M27 e oltre $(d+3) \text{ mm} \times (d+10) \text{ mm}$

Infine, nel caso di fori ad asola lunga, le dimensioni nominali dei fori non dovranno risultare maggiori di:

- Per bulloni M12 e M14 (d+1)mm x 2.5d
- Per bulloni da M16 a M22 (d+2)mm x 2.5d
- Per bulloni M27 e oltre (d+3)mm x 2.5d

Tabella 16 Diametri dei fori e lunghezza delle asole in relazione al diametro del bullone

Bullone	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
Diametro foro standard (mm)	13	15	18	20	22	24	26	30	33
Diametro foro maggiorato (mm)	15	18	20	22	24	26	30	35	38
Lunghezza asola corta (mm)	16	18	22	24	26	28	32	37	40
Lunghezza asola lunga (mm)	30	35	40	45	50	55	60	67.5	75

4.5.4 Determinazione della coppia di serraggio

Ai fini della corretta applicazione del precarico, in NTC 2008, conformemente con quanto prescritto dalla normativa europea EN 1993-1-8, la resistenza allo scorrimento di un bullone ad attrito si calcola assumendo una forza di precarico $F_{p,c}$ pari al 70% della resistenza ultima a trazione del bullone, secondo la seguente relazione:

$$F_{p,c} = 0.7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$$

Tale livello di precarico, fornito in **Tab. 18** a titolo indicativo per alcuni diametri e classi di bulloni ad alta resistenza, deve essere ad esempio utilizzato per tutte le connessioni resistenti ad attrito, per i collegamenti in zona sismica per collegamenti soggetti a cicli ripetuti di carico e per tutte le altre connessioni precaricate, a meno che non sia diversamente specificato.

Tabella 17 Valore del precarico $F_{p,C}$ (espresso in kN)

Vite	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
Classe 8.8	47	88	137	170	198	257	314	458
Classe 10.9	59	110	172	212	247	321	393	572

Per la bulloneria SB, non adatta al precarico, generalmente si accetta un serraggio compreso tra il 50% ed il 70% della forza di pretensionamento che si applicherebbe a bulloni precaricati, quindi:

$$F_{p,C}^* = (0.5 \div 0.7) \cdot F_{p,C} = (0.5 \div 0.7) \cdot 0.7 \cdot A_s \cdot f_{ub}$$

4.5.5 Modalità di applicazione della coppia di serraggio

I metodi di serraggio possono variare in base alla classe funzionale k dell'assieme, come precedentemente definita nel paragrafo 4.4.3. Poiché l'eccesso di serraggio può procurare la rottura a trazione della vite, è sempre necessario che sia prestata particolare attenzione alle prescrizioni riportate sulle confezioni dei bulloni, in modo da poter determinare la corretta coppia di serraggio da applicare all'assieme, in funzione del fattore k e del metodo di serraggio scelto.

Il *metodo della coppia (torque method)*, con il quale risulta compatibile solo la classe funzionale K2, prevede l'applicazione del serraggio dell'assieme con l'ausilio di un'apposita chiave dinamometrica manuale o elettrica. L'accuratezza delle chiavi di serraggio deve essere di un $\pm 4\%$ (secondo la EN ISO 6789), con controllo effettuato con cadenza settimanale. La chiusura dell'assieme a coppia prevede un pre-serraggio iniziale pari al 75% della coppia $M_{r,2}$ da applicare ai bulloni. Questa prima operazione deve essere conclusa per tutte le viti della giunzione prima di iniziare la fase successiva. I valori di

riferimento della coppia di serraggio $M_{r,2}$ per la classe K2 sono determinati assumendo quale fattore k il valore medio k_m dichiarato dal produttore per lo specifico lotto degli assiemi. Quindi si procede al serraggio finale del giunto applicando la coppia di serraggio $1,1 \times M_{r,2}$. Si segnala che l'uso del coefficiente moltiplicativo 1,1 applicato alla coppia di serraggio $M_{r,2}$ corrisponde a considerare un fattore amplificativo $(1+1,65 V_k)$ con fattore di dispersione $V_k=0,06$.

Nelle seguenti tabelle, a titolo meramente esemplificativo, sono riportati i valori delle coppie di serraggio $M_{r,2}$ in funzione del diametro della vite e dello specifico valore del fattore k , rispettivamente per le viti di classe 8.8 (cfr. **Tab.18**) e 10.9 (cfr. **Tab.19**).

Tabella 18 Coppia di serraggio per viti di classe 8.8 espressa in Nm

Vite	k = 0.1	k = 0.12	k = 0.14	k = 0.16	k = 0.18	k = 0.2	k = 0.22	$F_{p,c}$ [kN]	A_s [mm ²]
M12	56.6	68.0	79.3	90.6	102.0	113.3	124.6	47.2	84.3
M14	90.2	108.2	126.2	144.3	162.3	180.3	198.4	64.4	115
M16	140.7	168.8	196.9	225.1	253.2	281.3	309.5	87.9	157
M18	193.5	232.2	271.0	309.7	348.4	387.1	425.8	107.5	192
M20	274.4	329.3	384.2	439.0	493.9	548.8	603.7	137.2	245
M22	373.3	448.0	522.6	597.3	671.9	746.6	821.3	169.7	303
M24	474.4	569.3	664.2	759.1	854.0	948.9	1043.8	197.7	353
M27	694.0	832.8	971.6	1110.4	1249.2	1388.0	1526.8	257.0	459
M30	942.5	1131.0	1319.5	1508.0	1696.5	1885.0	2073.5	314.2	561
M36	1647.1	1976.5	2303.1	2635.3	2964.7	3294.1	3623.6	457.5	817

Tabella 19 Coppia di serraggio per viti di classe 10.9 espressa in Nm

Vite	k = 0.1	k = 0.12	k = 0.14	k = 0.16	k = 0.18	k = 0.2	k = 0.22	$F_{p,c}$ [kN]	A_s [mm ²]
M12	70.8	85.0	99.1	113.3	127.5	141.6	155.8	59.0	84.3
M14	112.7	135.2	157.8	180.3	202.9	225.4	247.9	80.5	115
M16	175.8	211.0	246.2	281.3	316.5	351.7	386.8	109.9	157
M18	241.9	290.3	338.7	387.1	435.5	483.8	532.2	134.4	192
M20	343.0	411.6	480.2	548.8	617.4	686.0	754.6	171.5	245
M22	466.6	559.9	653.3	746.6	839.9	933.2	1026.6	212.1	303
M24	593.0	711.6	830.3	948.9	1067.5	1186.1	1304.7	247.1	353
M27	867.5	1041.0	1214.5	1388.0	1561.5	1735.0	1908.5	321.3	459
M30	1178.1	1413.7	1649.3	1885.0	2120.6	2356.2	2591.8	392.7	561
M36	2058.8	2470.6	2882.4	3294.1	3705.9	4117.7	4529.4	571.9	817

Analogamente, sempre a livello puramente esemplificativo, nelle seguenti tabelle si riportano i tipici i valori delle coppie di serraggio degli assiemi SB, per precarichi al 50% (cfr. **Tab.20**) ed al 70% (cfr. **Tab.21**) del 70% del valore nominale di rottura in funzione del diametro e della classe di resistenza delle viti, facendo riferimento, convenzionalmente, ad un valore intermedio del fattore $k=0,14$.

Tabella 20 Coppia di serraggio al 50% per bulloni non precaricati (tipo SB) espressa in Nm

Vite	A _s [mm ²]	Classe di resistenza				
		4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
M12	84,3	19,8	24,8	29,7	39,7	49,6
M14	115	31,6	39,4	47,3	63,1	78,9
M16	157	49,2	61,5	73,9	98,5	123,1
M18	192	67,7	84,7	101,6	135,5	169,3
M20	245	96,0	120,1	144,1	192,1	240,1
M22	303	130,7	163,3	196,0	261,3	326,6
M24	353	166,1	207,6	249,1	332,1	415,1
M27	459	242,9	303,6	364,4	485,8	607,3
M30	561	329,9	412,3	494,8	659,7	824,7
M36	817	576,5	720,6	864,7	1153,0	1441,2

Tabella 21 Coppia di serraggio al 70% per bulloni non precaricati (tipo SB) espressa in Nm

Vite	A _s [mm ²]	Classe di resistenza				
		4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
M12	84,3	27,8	34,7	41,6	55,5	69,4
M14	115	44,2	55,2	66,3	88,4	110,4
M16	157	68,9	86,2	103,4	137,9	172,3
M18	192	94,8	118,5	142,2	189,7	237,1
M20	245	134,5	168,1	201,7	268,9	336,1
M22	303	182,9	228,6	274,4	365,8	457,3
M24	353	232,5	290,6	348,7	464,9	581,2
M27	459	340,1	425,1	510,1	680,1	850,2
M30	561	461,8	577,3	692,7	923,6	1154,5
M36	817	807,1	1008,8	1210,6	1614,1	2017,7

Il *metodo combinato*, con il quale risultano compatibili le classi K1 e K2, prevede l'applicazione di una prima fase di pre-serraggio con chiave dinamometrica analogamente al metodo della coppia, ma fino al raggiungimento di una coppia di serraggio pari a $0,75 \times M_{r,1}$. La norma consente che l'accuratezza delle chiavi di serraggio possa essere limitata

ad un $\pm 10\%$. Anche in questo caso, è prescritto che la prima operazione sia conclusa per tutte le viti della giunzione, per dare inizio, solo dopo, alla fase successiva. I valori di riferimento della coppia di serraggio $M_{r,1}$ per la classe K1 (normalmente utilizzata in combinazione con questa modalità di serraggio) sono determinati assumendo quale fattore k un valore compreso nell'intervallo $0,10 \div 0,16$. Per semplificazione, se non diversamente specificato, può considerarsi il valore medio di tale intervallo ossia il valore $k=0,13$. La seconda fase del serraggio viene eseguita applicando una determinata rotazione (*rotazione controllata*) ai dadi. La rotazione da applicare sarà funzione dello spessore dell'assieme serrato, rondelle comprese, che determina ovviamente la rigidezza del sistema (*cf. Tab. 22*).

Tabella 22 Metodo combinato: rotazione aggiuntiva

Spessore totale resistente "t" delle parti da collegare (incluse le rondelle) d = diametro della vite	Ulteriore rotazione del dado da applicare durante la seconda fase del serraggio	
	Angolo (°)	Frazione di giro
$t < 2d$	60	1/6
$2d \leq t \leq 6d$	90	1/4
$6d \leq t \leq 10d$	120	1/3

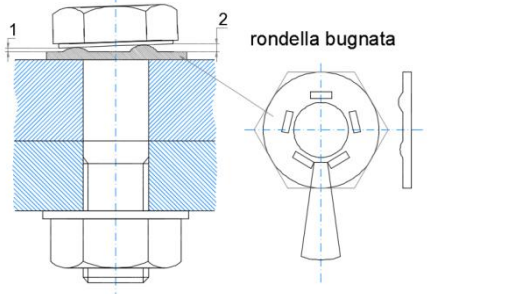
NOTA: Quando la superficie della testa della vite o del dado non è perpendicolare all'asse della vite, l'angolo di rotazione richiesto dovrà essere determinato attraverso opportune prove

Il metodo con indicatori diretti di carico (DTI) consente di valutare il precarico da applicare al bullone attraverso il controllo indiretto dello sforzo di trazione della vite mediante il controllo visivo dello schiacciamento di specifici indicatori ("bugne") applicate su un lato di speciali rondelle (DTI) da porsi sotto la testa della vite, la cui resistenza allo schiacciamento risulta predefinita. In tal caso risultano compatibili tutte e tre le classi funzionali k di serraggio. Si prevede l'applicazione di una prima fase di preserraggio, per ottenere una condizione uniforme di "snug-tight" dell'assieme, serrando l'elemento

rotante dell'assieme fino al raggiungimento della condizione di uniforme contatto tra le parti della giunzione, quando inizia la deformazioni delle "bugne" delle DTI.

Nella seconda fase, si procede con l'ulteriore serraggio dell'elemento rotante dell'assieme controllando che lo schiacciamento delle "bugne" raggiunga il valore specificato dalla norma, utilizzando appositi spessimetri. Il raggiungimento del prescritto valore del precarico si determina in funzione di un numero minimo di indicatori che devono risultare sufficientemente compressi, con la limitazione che non più del 10% di quelli presenti sulla rondella devono risultare completamente schiacciati (cfr. **Tab. 23**).

Tabella 23 Metodo con indicatori diretti di carico (DTI)

	<p>Numero di bugne indicatrici</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8</p> <p>9</p>	<p>Numero minimo di spessimetri</p> <p>3</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>5</p>
---	--	---

NOTA: non più del 10% degli indicatori sulla rondella devono risultare completamente schiacciati

Come specificato nell'Allegato J della EN 1090-2, gli indicatori diretti di tensione sono generalmente inseriti direttamente sotto la testa della vite, che viene quindi serrata mediante la rotazione del dado; nel caso di difficoltà di accesso alla testa della vite, l'indicatore di tensione può essere inserito al di sotto del dado, con l'interposizione di una rondella piana tra le bugne dell'indicatore e lo stesso dado. Sempre in caso di difficoltà di accesso, è consentito anche il serraggio per rotazione dello stesso elemento al di sotto del quale viene inserito l'indicatore di tensione (cfr. **Tab.24**).

Tabella 24 Spessore dell'indicatore di tensione

Posizione dell'indicatore	Spessore dell'indicatore [mm]
Sotto la testa della vite, con rotazione del dado	0,40
Sotto il dado, con rotazione della vite	
Sotto il dado, con rotazione del dado	
Sotto la testa della vite, con rotazione della vite	0,25

Ovviamente per gli *assiemi tipo HRC* è la stessa tipologia di bullone a garantire la corretta applicazione della coppia di serraggio. Infatti, il livello di precarico richiesto è controllato attraverso le caratteristiche meccaniche e geometriche del bullone, per mezzo della rottura a resistenza controllata del codolino. Pertanto, in fase di montaggio non è necessario l'utilizzo di ulteriore apparecchiatura calibrata.

4.5.6 Controlli finali sugli assemblaggi

La norma armonizzata EN 1090-2 *“Requisiti tecnici per strutture di acciaio”* fornisce specifiche regole per i controlli da eseguire sui collegamenti bullonati. In generale, è prescritto che tutti i collegamenti debbano essere controllati visivamente dopo il loro preliminare assemblaggio e prima di procedere alle operazioni di serraggio, verificando il corretto posizionamento delle rondelle ed accertando la avvenuta certificazione di accuratezza dell'avvitatore in accordo ad EN ISO 6789.

Più rigorosi risultano i controlli da effettuarsi durante e dopo il serraggio, in funzione ovviamente della modalità di serraggio utilizzata. La scelta delle giunzioni su cui effettuare le ispezioni deve essere casuale ed i campioni devono essere rappresentativi di:

- Tipologia del collegamento;

- Gruppo di giunzioni;
- Lotto di assiemi;
- Tipo e dimensione dei componenti;
- Attrezzatura utilizzata;
- Operatore.

Nell'ambito delle operazioni da effettuare nella fase del pre-serraggio, al fine di creare i presupposti di applicazione di un corretto precarico, è necessario procedere ad un'ispezione visiva per verificare la completa eliminazione dei giochi tra le componenti. Per gli stessi assiemi va verificata l'assenza di condizioni di sotto-serraggio e, se richiesto, di sovra-serraggio. Laddove il controllo dovesse avere esito negativo, sarà necessaria la sostituzione dell'assieme ed il controllo di tutte le giunzioni del sottogruppo.

Durante il montaggio degli assiemi, devono verificarsi le fasi di serraggio sia iniziale (precoppia) che finale. A tale scopo, i bulloni sottoposti alla prima fase di serraggio devono essere opportunamente contrassegnati, onde evitare eventuali omissioni ed al fine di consentire l'individuazione dell'esatta posizione raggiunta dal dado per effetto del serraggio definitivo. Inoltre, è necessario che i giunti ad attrito siano accuratamente protetti non appena risulti completato il serraggio definitivo, procedendo alla verniciatura dei bordi dei pezzi a contatto, delle rondelle, della testa della vite e del dado, ciò impedire la presenza di una qualsiasi infiltrazione.

Il controllo del serraggio per le unioni ad attrito può essere effettuato secondo quanto previsto dalla EN 1090-2. In particolare, nella norma viene definita la percentuale di

gruppi o sottogruppi omogenei di bulloni da ispezionare in base alla classe strutturale EXC

Sono previste, infatti, 4 classi di esecuzione delle strutture e delle componenti (*cfr. Tab.25*), le quali dipendono dai rischi connessi all'esercizio (SC, *cfr. Tab.26*), alla costruzione (PC, *cfr. Tab.27*) ed all'uso della struttura (CC, *cfr. Tab. 28*). La classe più restrittiva è la EXC4. I controlli sono richiesti per le classi dalla EXC2 alla EXC4.

Tabella 25 Classi di esecuzione delle strutture

Danno		CC1		CC2		CC3	
		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Costruzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC3
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

Tabella 26 Rischi connessi all'esercizio della struttura

Categoria	Criterio
SC1	<ul style="list-style-type: none"> - Strutture e componenti progettati solo per azioni quasi statiche - Strutture e componenti con sistemi di giunzione progettati per azioni sismiche in aree con bassa attività sismica - Strutture e componenti progettati per sollecitazioni a fatica
SC2	<ul style="list-style-type: none"> - Strutture e componenti progettati per sollecitazioni a fatica secondo EN 1993 (es. ponti) - Strutture e componenti con sistemi di giunzione progettati per azioni sismiche in aree con media ed alta attività sismica

Tabella 27 Rischi connessi alla costruzione della struttura

Categoria	Criterio
PC1	<ul style="list-style-type: none"> - Componenti senza saldature fabbricati con acciaio di qualsiasi grado - Componenti con saldature fabbricati con acciaio inferiore al grado S355
PC2	<ul style="list-style-type: none"> - Componenti con saldature fabbricati con acciaio di grado S355 e superiore - Componenti fondamentali per l'integrità strutturale assemblati in cantiere mediante saldatura - Componenti ottenuti a caldo e sottoposti a trattamenti termici - Componenti reticolari a sezione cava circolare

Tabella 28 Rischi connessi all'esercizio della struttura

Categoria	Criterio
CC3	Danni elevati per perdita di vite umane, o conseguenze economiche, sociali e ambientali molto gravi
CC2	Danni medi per perdita di vite umane, o conseguenza economiche, sociali e ambientali considerevoli
CC1	Danni bassi per perdita di vite umane, o conseguenze economiche, sociali e ambientali trascurabili

Per verificare l'efficienza dei giunti precaricati, il controllo può essere effettuato in funzione del tipo di serraggio effettuato, attraverso uno dei metodi di seguito elencati.

Per i bulloni serrati con il *metodo della coppia*, si effettua il controllo dopo la seconda fase di serraggio su un numero di esemplari pari al 5% per classe di esecuzione EXC2 ed al 10% per le classi di esecuzione EXC3 e EXC4. Il controllo deve essere eseguito tra le 12h e le 72h dal serraggio. Si deve controllare mediante chiave dinamometrica che la coppia richiesta per far cominciare a ruotare nuovamente il dado risulti superiore a $1,1 \times M_{R,2}$ e che la ulteriore rotazione del dado per la coppia di serraggio prevista risulti inferiore a 15° . In caso contrario l'intero gruppo di bulloni è da considerarsi sotto-serrato e deve essere riapplicata l'intera coppia di montaggio richiesta.

Per i bulloni serrati con il *metodo combinato*, durante il montaggio degli assiemi devono essere controllate entrambe le fasi del serraggio; in particolare, deve effettuarsi una verifica dopo la prima fase sul 5% degli assiemi per la classe di esecuzione EXC2 e sul 5% alla prima fase + il 10% alla seconda fase per le classi di esecuzione EXC3 e EXC4. Prima dell'applicazione della seconda fase di serraggio, si controlla con chiave dinamometrica che a seguito della applicazione di una coppia pari a $0,75 \times M_{R,1}$ la rotazione del dado non

risultati superiore a 15°, si controllano e si ripristinano gli eventuali contrassegni mancanti. Dopo l'applicazione della seconda fase di serraggio si effettua un controllo visivo con la marcatura che l'angolo di rotazione applicato rispetti le indicazioni di norma, non risultando inferiore ad esso di più di 15°; in caso contrario il gruppo è considerato sottoserrato, con necessità di procedere ad un nuovo serraggio. Qualora, invece, il valore risulti di oltre il 30% superiore al valore di norma, l'intero gruppo è considerato sovraserato e dovrà essere sostituito.

Per i bulloni serrati con *metodo HRC* il controllo degli assiemi viene fatto visivamente, accertando il corretto distacco del codolino per ogni bullone del giunto.

Infine, per i bulloni serrati con il *metodo con indicatori diretti di carico* (DTI), si effettua il controllo dopo la seconda fase di serraggio su un numero di esemplari pari al 5% per la classe di esecuzione EXC2 ed al 10% per le classi di esecuzione EXC3 e EXC4. Il controllo consiste nel verificare visivamente lo schiacciamento delle bugne, come prescritto. In particolare, in un gruppo di bulloni non più del 10% degli indicatori deve segnalare l'avvenuto completo schiacciamento.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- Ballio G., Mazzolani F.M. *Strutture in Acciaio*, Hoepli, Milano, 1987.
- Bevan G. P. (a cura di), *British Manufacturing Industries* (2° ed.) , Londra, 1878.
- Cirillo A., *Acciaio*, Sistemi Editoriali SE, Esselibri, Napoli, 2006
- Colli A., *Legami di Ferro. Storia del Distretto Metallurgico e Meccanico Lecchese tra Otto e Novecento*, Donzelli, Roma, 1999.
- Di Casola A., *Zincatura a Caldo*, Pubblicomit Srl, Napoli, 1993.
- Fondazione Promozione Acciaio, *Collegamenti bullonati per edifici monopiano e multipiano – Eurocodice 3*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012
- Fontana G. L., *Le Vie dell'Industrializzazione Europea: Sistemi a Confronto*, Il Mulino, Bologna, 1997.
- Garzia C., *I 40 Anni dell'Industria Italiana della Viteria e Bulloneria_Storia della U.P.I.V.E.B.*, Unione Produttori Italiani Viteria e Bulloneria, Milano, 2002.
- Gaylord E.H., Gaylord C.N., Stallmeyer J.E., *Design of Steel Structures*, Mc Graw Hill, 1992.
- Larke E. C. *"The Rolling of Metals and Alloys, Historical Development of the Rolling Mill"*, Sheet Metal Ind., 1954.
- Lewis K. B., *The Shape of Things to Come*, Wire & Wire Prod., 1942.
- Masi F., *Costruzioni Metalliche*, Hoepli, Milano, 1955.
- Mazzoleni F., *Tecnologie dei Metalli*, UTET, Bologna, 1980.
- Nascè V., *Unioni con Chiodi, Bulloni Normali e ad Attrito*, in "Problemi di base delle strutture metalliche, Università di Genova_Istituto di Scienza delle Costruzioni, Tamburini Editore, Milano, 1969.
- Nunziata V., *Teoria e Pratica delle Strutture in Acciaio*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2011.
- Owens G.W., Cheal B.D., *Structural Steelworks Connections*, Buterworth Co. Publisher Ltd, London, UK, 1989
- Pearson C. E., *Extrusion of Metals* (ed. riv.), Chapman & Hall, Londra, 1953.
- Singer C. et alii, *Storia della Tecnologia. Vol. 5: L'Età dell'Acciaio*, Tomi I e II, Bollati Boringhieri, 1994.
- Springhetti L., *I Collegamenti nelle Strutture di Acciaio*, Hopeli, Milano, 2013.
- Thomas L., *Development of Wire-Rod Production*, Wire Ind., 1950.
- Zignoli V., *Costruzioni Metalliche*, vol. 1 e 2, Utet, Torino, 1967-1968.

PRINCIPALI NORMATIVE DI RIFERIMENTO

NORME GENERALI:

UNI EN 1993-1-1:2005, Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

UNI EN 1993-1-3:2007, Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-3: Regole generali - Regole supplementari per lamiere ed elementi profilati a freddo.

UNI EN 1993-1-4:2007, Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-4: Regole generali - Regole supplementari per gli acciai inossidabili.

UNI EN 1993-1-8:2005, Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti.

UNI EN 1993-1-9:2005, Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-9: Fatica.

UNI EN 10020:2001, Definizione e classificazione dei tipi di acciaio.

UNI EN 1090, Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio- Parte 1: Requisiti per la valutazione di conformità dei componenti strutturali.

UNI EN 1090-2:2011, Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio- Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio.

UNI EN 1090-3:2008, Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio- Parte 3: Requisiti tecnici per le strutture di alluminio.

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 (G. U. 21 dicembre 1971 n. 321), Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

CNR UNI 10011:1988, Costruzioni di acciaio. Istruzioni per il calcolo, l' esecuzione, il collaudo e la manutenzione.

D.M. Infrastrutture Trasporti 14 gennaio 2008 (G.U. 4 febbraio 2008 n. 29 - Suppl. Ord.), Norme tecniche per le Costruzioni (NTC 2008).

Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (G.U. 26 febbraio 2009 n. 27 – Suppl. Ord.), Istruzioni per l'applicazione delle 'Norme Tecniche delle Costruzioni' di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

NORME DI PRODOTTO:

UNI EN 14399 - 1:2005, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 1: Requisiti generali.

- UNI EN 14399-2:2005, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 2: Prova di idoneità.
- UNI EN 14399-3:2005, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 3: Sistema HR – Vite/dado esagonali.
- UNI EN 14399-4:2005, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 4: Sistema HV – Vite/dado esagonali.
- UNI EN 14399-5:2005, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 5: Rondelle piane.
- UNI EN 14399-6:2005, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 6: Rondelle piane smussate.
- UNI EN 14399-7:2008, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 7: Sistema HR – Viti a testa svasata.
- UNI EN 14399-8:2008, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 8: Sistema HV – Viti gambo calibrato.
- UNI EN 14399-9:2009, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 9: Sistema HV/HR con rondelle DTI.
- UNI EN 14399-10:2009, Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato – Parte 10: Sistema HRC.
- UNI EN 15048-1:2007, Bulloneria strutturale non a serraggio controllato- Parte 1: Requisiti generali.
- UNI EN 15048-2:2007, Bulloneria strutturale non a serraggio controllato- Parte 2: Prova di idoneità all'impiego.
- UNI EN ISO 898-1:2013, Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio – Parte 1: Viti e viti prigioniere con classi di resistenza specificate - Filettature a passo grosso e a passo fine.
- UNI EN ISO 898-2:2012, Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio al carbonio e acciaio legato - Parte 2: Dadi con classi di resistenza specificate - Filettatura a passo grosso e filettatura a passo fine.



FONDAZIONE PROMOZIONE ACCIAIO

CONSTRUCTION

ARCHITECTURE

DESIGN

ECONOMY

SUSTAINABILITY