POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

EVALUATION BY TEST OF TIGHTENING TORQUE FOR PRELOADED STAIN-LESS STEEL BOLTING ASSEMBLIES

Original
EVALUATION BY TEST OF TIGHTENING TORQUE FOR PRELOADED STAIN-LESS STEEL BOLTING ASSEMBLIES / Castaldo, P., Manzone, F., Barra, S., Bellaz, S.. - ELETTRONICO. - 1:(2022), pp. 147-156. (XXVIII CONGRESSO C.T.A. - LE GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO - THE ITALIAN STEEL DAYS Francavilla al Mare (CH) 29-30 Settembre - 1 Ottobre 2022).

Availability:
This version is available at: 11583/2974140 since: 2022-12-23T17:52:34Z

Publisher:
Università di Salerno

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

27 November 2026

DEFINIZIONE DELLA COPPIA DI SERRAGGIO PER UNIONI BULLONATE AD ATTRITO IN ACCIAIO INOSSIDABILE MEDIANTE PROVE SPERIMENTALI

EVALUATION BY TEST OF TIGHTENING TORQUE FOR PRELOADED STAIN-LESS STEEL BOLTING ASSEMBLIES

Paolo Castaldo,
Fabio Manzone
Politecnico di Torino
Dipartimento DISEG
Corso Duca degli Abruzzi, 24, Torino
paolo.castaldo@polito.it,
fabio.manzone@polito.it

Simone Barra,
Stefano Bellaz
Liberi Professionisti

simonebarra96@gmail.com
stefano.bellaz@libero.it

ABSTRACT

Preloaded stain-less steel bolting assemblies are currently used in minor and secondary structures such as ventilated facades, but the national and international regulations condition their use on the execution of specific tests to determine the sliding resistance. This approach is justified by the different viscoplastic behaviour compared to carbon steel, which can lead to a greater loss of preload over time and by the galling, that is a formation of streaks during tightening with damage of the bolt.

This study investigates the use of bolted joints in stainless steel and hypothesizes, based on laboratory tests, valid formulations in the project for the definition of the preload and the consequent sliding resistance of the joint. Using non-lubricated stainless-steel bolts with geometries according to UNI EN ISO 4014, 4017 standards, tests were carried out on the suitability for preloading, on the possible presence of galling and on the sliding resistance of joints. The preload suitability tests were carried out following the current regulations for preloaded carbon steel bolting, UNI EN 14399 2 and 3, and the achievable preloads were found to be lower than those defined for common steel. The most important conclusion is that it is possible to use these preloaded bolts, with a design preload equal to 50% of that defined in the case of carbon steel. On the other hand, for the factor k, laboratory tests have shown that the values for these bolts are included in a range between 0.25-0.40, higher than carbon steel preloaded bolting. Since the interval is quite wide, further laboratory tests are therefore necessary to define the k factor of these joints made by stainless steel, to avoid over-tightening or in the other hand, having a too low preload.

The study constitutes further investigation with laboratory tests on the application of the correct tightening torque without damaging the bolt, compared to the previous publication dealt with in 2019 Bologna's conference, which was limited to sliding tests of the joint.

SOMMARIO

Le giunzioni ad attrito in acciaio inossidabile risultano di corrente impiego in strutture minori e secondarie quali ad esempio le facciate ventilate, ma le normative nazionali ed internazionali sulle opere strutturali ne condizionano l'impiego all'esecuzione di test specifici per la determinazione della resistenza a scorrimento. Tale approccio risulta giustificato dal diverso comportamento visco-plastico rispetto all'acciaio al carbonio che può comportare una maggiore perdita di precarico nel tempo e dal 'galling', ovvero la formazione di striature durante il serraggio che danneggiano il bullone.

Lo studio approfondisce l'utilizzo delle giunzioni bullonate in acciaio inossidabile e ipotizza, basandosi su test di laboratorio, formulazioni valide in progetto per la definizione del precarico e della conseguente resistenza a scorrimento dell'unione. Utilizzando bulloni in acciaio inossidabile non lubrificati e con geometrie secondo le normative UNI EN ISO 4014, 4017, sono stati svolti test sull'idoneità al precarico, sulla possibile presenza di galling e sulle resistenze a scorrimento delle giunzioni. Le prove di idoneità al precarico sono state effettuate seguendo le normative presenti per l'acciaio al carbonio, le UNI EN 14399 2 e 3, tuttavia, i precarichi raggiungibili sono risultati essere minori rispetto a quelli definiti per l'acciaio comune. La più importante conclusione è che risulta possibile l'utilizzo di tali bulloni ad attrito, con un precarico di progetto pari al 50% rispetto a quello definito nel caso dell'acciaio al carbonio. Invece, per quanto riguarda il fattore k, le prove di laboratorio hanno evidenziato che i valori per tali bulloni sono compresi in un intervallo tra 0,25-0,40, superiore rispetto ai bulloni adatti al precarico in acciaio al carbonio. Essendo l'intervallo piuttosto ampio, per definire il fattore k delle unioni ad attrito in acciaio inossidabile sono perciò necessarie ulteriori prove di laboratorio, per non rischiare di sovra serrare il bullone o viceversa, avere un precarico troppo basso. Lo studio costituisce ulteriore approfondimento con prove di laboratorio sulla applicazione della corretta coppia di serraggio senza danneggiare il bullone, rispetto alla precedente pubblicazione trattata nel convegno di Bologna 2019 che si limitava a prove di scorrimento della giunzione.

1 INTRODUZIONE

L'utilizzo dell'acciaio inossidabile nelle unioni bullonate ad attrito presenta importanti vantaggi, soprattutto legati alla durabilità, che risulta essere di gran lunga maggiore rispetto ad altri materiali metallici. Tuttavia, gli eurocodici europei [1] e la normativa italiana [2] non risultano specifici e si fermano all'asserire di seguire le linee presenti per il normale acciaio al carbonio, affiancandole però con un'approfondita indagine sperimentale. Questo comporta dover sostenere spese per effettuare i test sperimentali spesso troppo elevate in rapporto al progetto totale, in particolar modo per cantieri medio piccoli.

L'obiettivo del presente elaborato è dunque incrementare le conoscenze nell'impiego delle unioni ad attrito in acciaio inossidabile, trattate anche da alcuni ampi studi recenti, quali il progetto SIROCO [3]. Attraverso la campagna sperimentale svoltasi per le necessarie prove di accettazione in cantiere per l'intervento di rifacimento delle facciate ventilate del Politecnico di Torino, si sono approfondite le conoscenze sugli assiemi ad attrito in acciaio inossidabile. I dati raccolti sono stati trattati al fine di ottenere i valori di precarico che possono essere raggiunti con bulloni in acciaio inossidabile non lubrificati e con geometrie secondo norme EN ISO 4014 [4] ed UNI EN ISO 4017 [5]. Si è cercato inoltre di porre particolare attenzione alla definizione del fattore k, parametro che lega la coppia di serraggio al precarico che si raggiunge nel gambo della vite, insieme alla coppia di serraggio da applicare durante il serraggio e alla possibile presenza di striature di danneggiamento causate dall'azione di serraggio.

2. PROPRIETÀ DEGLI ACCIAI INOSSIDABILI E STATO DELL'ARTE DELLE GIUNZIONI BULLONATE AD ATTRITO

2.1 Classificazioni bulloni

Per gli assiemi in acciaio al carbonio risulta fondamentale la suddivisione tra bulloni utilizzabili senza precarico e quelli adatti al precarico. Nel caso di giunzioni ad attrito in acciaio al carbonio gli assiemi che posso essere impiegati risultano essere gli HR, HV e HRC, come definito dalla normativa UNI EN 14399 1 e 2 [6]. Questi si differenziano dai bulloni standard per diversa geometria, in particolar modo sulla dimensione della testa e del dado, e per le resistenze dei materiali che compongono l'assieme.
Per i bulloni in acciaio inossidabile non esiste invece, secondo normativa, una specifica distinzione tra bulloni adatti al precarico e non. Questo fa sì che i bulloni prodotti seguendo le normative sulla geometria UNI EN ISO 4014 e 4017 vengano utilizzati anche nel caso di giunzioni ad attrito precaricate in acciaio inossidabile, come avvenuto nella campagna sperimentale che viene presentata in questo elaborato.
Più in generale, a livello di materiale, nel campo delle giunzioni in acciaio inossidabile il bullone viene classificato con una lettera indicante il tipo di materiale con cui è realizzato (A austenitico, D duplex, M martensitico e F ferritico), da un numero che indica la resistenza a corrosione in modo crescente e dalla sua resistenza meccanica. Per quest'ultima l'Eurocodice [7] indica tre diverse resistenze (50,70,80 ovvero resistenze ultime 500,700,800 MPa) mentre la norma UNI EN 3506:2020 [8] [9] riporta maggior tipologie di resistenze, fino a 1000 Mpa. Quest'ultima norma consiglia l'utilizzo di bulloni austenitici e duplex, migliori poiché conferiscono buona resistenza meccanica, a corrosione e buona duttilità. Il più utilizzato è tipicamente l'A2 (resistenza alla corrosione equivalente a quella dell'AISI 304), anche impiegato nei test di laboratorio esposti nei paragrafi successivi.

2.2 Stato dell'arte unioni bullonate ad attrito in acciaio inossidabile

Gli assiemi adatti al precarico in acciaio inossidabile nel passato non sono mai stati oggetto di importanti ricerche ed approfondimenti che potessero condurre ad un ampliamento e aggiornamento della normativa su questi materiali. In tempi recenti è stato condotto un importante studio da parte del progetto SIROCO [3], finanziato dalla Research Fund for Coal and Steel (RFCS) della Commissione Europea, dove si sono approfonditi temi sull'idoneità al precarico, sul coefficiente di attrito delle superfici in acciaio inossidabile, sulla perdita di precarico e sul galling.
Le conclusioni del progetto SIROCO, come anche riportate nel "Manuale di progettazione per strutture in acciaio inossidabile quarta edizione" [10], evidenziano che è possibile l'utilizzo dei bulloni in acciaio inossidabile per le giunzioni ad attrito, ponendo però alcuni accorgimenti ed attenzioni sul serraggio e sui lubrificanti da applicare.
Sull'idoneità al precarico il progetto SIROCO ha testato differenti tipologie di bulloni denominati Bumax 88 e Bumax 109, bulloni ad alta resistenza e con geometrie simili a quelli adatti a precarico in acciaio al carbonio. Inoltre, sono stati impiegati differenti lubrificanti per migliorare il serraggio. Queste due peculiarità si discostano dai test e dati raccolti nel presente articolo, che scaturiscono dall'utilizzo di bulloni standard, normati secondo UNI EN ISO 4014 e 4017, e senza l'utilizzo di specifici lubrificanti. L'impiego di tali bulloni sembra non generare particolari problematiche causate dalle minori dimensioni della testa e del dado, infatti studi condotti da N. Stranghöner et al. [11] dimostrano che le pressioni che si raggiungono con il serraggio sono accettabili sia per piatti in acciaio inossidabile che in acciaio al carbonio. La modalità di test seguita dal progetto SIROCO per l'idoneità al precarico è stata quella secondo UNI EN 14399-2,3 [12] [13], norma per il serraggio dei bulloni in acciaio al carbonio. I risultati ottenuti dimostrano che il precarico F_{pc} (pari a $0{,}7f_{ub}A_s$) è sempre stato superato, l'F_{bimax} (pari a $0{,}9f_{ub}As$) invece varia in funzione dei lubrificanti

utilizzati e non sempre viene raggiunto. Anche il fattore k risulta variabile e con dispersioni maggiori [14] rispetto all'acciaio al carbonio, con valori che spesso non rispettano i parametri secondo le norme UNI EN 14399.
Per quanto riguarda il coefficiente di attrito delle superfici in acciaio inossidabile il progetto SIROCO ha testato piastre composte da diverse tipologie di acciaio inossidabile e differenti trattamenti, ottenendo valori simili a quelli dell'acciaio al carbonio. Tuttavia, è da sottolineare come nel caso dell'acciaio inossidabile sia preponderante l'aspetto dato dall'adesione del materiale, detto 'cold welding', mentre gioca un ruolo minore l'asperità del materiale [15] [16]. SIROCO ha riscontrato che per una superficie non trattata risulta più adatto uno slip factor pari a 0,15 e non 0,2, valore utilizzato nel caso dell'acciaio al carbonio.
Inoltre, il progetto SIROCO ha indagato il comportamento a lunga durata delle unioni ad attrito in acciaio inossidabile, poiché si riteneva che tale materiale causasse maggiori perdite di precarico a causa del differente diagramma di sforzo deformazione. I risultati estrapolati a 50 anni sulla perdita di precarico hanno definito, in accordo con gli studi [17]; [18] che la caduta di precarico è del 6-10%, simile ai bulloni al carbonio che si attestano a 7-8 %.
Infine, sulle striature di danneggiamento che si presentano durante il serraggio, dette 'galling', e trattate anche dalle UNI EN 1090-2:2018 [19], SIROCO ha concluso che è stato presente quasi nel 100% dei test, ma è avvenuto sempre nella fase plastica del diagramma carico-coppia, zona non raggiungibile se il precarico è F_{pc}.

3. PROVE DI LABORATORIO

La campagna sperimentale è stata condotta in due differenti laboratori: i test sull'idoneità al precarico e sul galling sono stati svolti presso l'Istituto Italiano della Saldatura IIS a Genova mentre i test di scorrimento sono stati effettuati presso il Politecnico di Torino nel 'Dipartimento di ingegneria strutturale, edile e geotecnica - Laboratorio sperimentale materiali e strutture'. Nei paragrafi seguenti vengono presentate le modalità e i dati raccolti dalle prove sperimentali. I materiali impiegati nelle prove sono bulloni in acciaio inossidabili in classe A70 e A80, senza utilizzo di lubrificanti, e piatti in acciaio AISI304 non trattati.

3.1 Prove di idoneità al precarico

Le prove di idoneità al precarico sono state effettuate su cinque diverse tipologie di bulloni ed eseguite conformemente a quanto prescritto nella UNI EN 14399-2,3, normativa per il precarico di bulloni in acciaio al carbonio. Per poter ottenere un valore medio affidabile del precarico e del fattore k con la relativa deviazione standard, si è proceduto nel testare almeno cinque bulloni per ogni tipologia. I bulloni impiegati hanno dimensioni relativamente piccole, ma sono in genere le più utilizzate nel campo dell'acciaio inossidabile, materiale spesso molto sfruttato in strutture secondarie quali ad esempio le facciate ventilate.

Tabella 1. Bulloni in acciaio inossidabile utilizzati nei test di serraggio per l'idoneità al precarico

	Classe materiale	Diametro	Descrizione
Provino	-	[mm]	
M8_25_br	A2 70	8	M8 con gambo da 25 mm e testa a brugola
M8_40	A2 70	8	M8 con gambo da 40 mm e testa esagonale
M10_30	A2 70	10	M10 con gambo da 30 mm e testa esagonale
M10_40	A2 70	10	M10 con gambo da 40 mm e testa esagonale
M12_40	A2 80	12	M12 con gambo da 40 mm e testa esagonale

Strumentazione

La strumentazione impiegata nei test è stata:
• Cella di carico per la rilevazione del precarico: HMB 50t;
• Rilevazione dell'angolo e della coppia: Tecnogi torque-wrench 7200A1;
• Calibro digitale: TWN Cal;

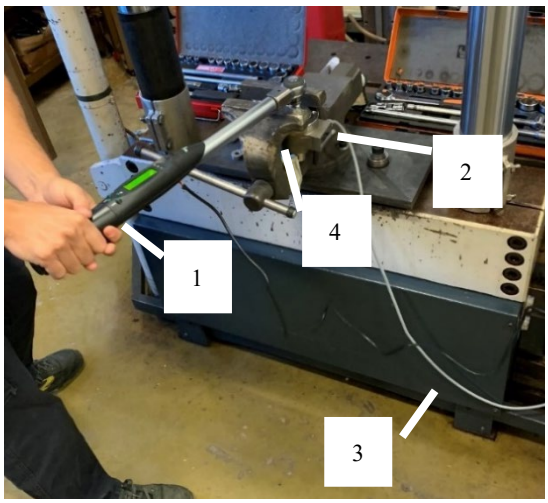

Figura 1. Prova di idoneità al precarico. 1- Chiave dinamometrica per fornire la coppia; 2- Cella di carico con all'interno il bullone; 3- Cavo per la trasmissione dei dati; 4- Morsa di bloccaggio della cella di carico

Metodologia di prova

La prova è stata svolta seguendo le direttive della UNI EN 14399-2 per l'acciaio al carbonio, che prevede la misurazione in contemporanea del precarico nel gambo della vite, la rotazione relativa tra dado e vite, la coppia fornita e l'allungamento della vite. Quest'ultimo parametro, non essendo indispensabile alle valutazioni successive, è stato solo valutato tenendo conto della lunghezza della vite iniziale e di quella a fine della prova.

Trattamento dei dati e risultati

Il precarico Fpc, come definito dalla norma UNI EN 14399-2 viene raggiunto circa il 40% delle volte, ma anche quando superato, ci si trova troppo vicino al picco del grafico carico-coppia, e dunque quasi in zona plastica. Il carico Fbimax non viene invece mai raggiunto. La duttilità dell'unione viene raggiunta circa solo nel 50% dei test. Il fattore k risulta essere circa pari a 0,30, molto più elevato di quello tipico per gli acciai al carbonio. Sia per questo che per l'elevato coefficiente di varianza, non si rientra mai nella classe k1 o k2.

3.2. Prove sul galling

Per indagare la possibile presenza di galling si sono visionate, senza l'utilizzo di particolare strumentazione, tutte le parti soggette ad attrito durante i test di serraggio: testa della vite, rondelle e dado.

Tabella 2. Grafici carico coppia – prove di laboratorio

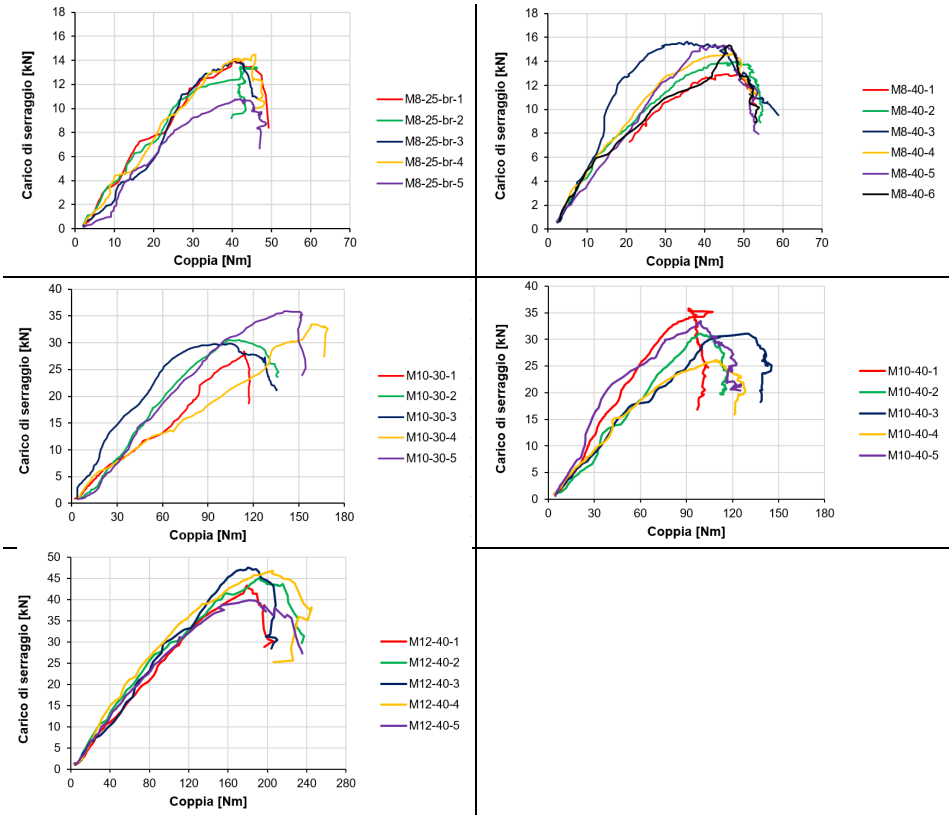

Tabella 3. Presenza di galling

	Num. di provini testati	Presenza di galling
Provino	-	-
M8_25_br	6	**84%**
M8_40	6	**100%**
M10_30	5	**100%**
M10_40	5	**80%**
M12_40	6	**50%**



Figura 2. Galling su bullone M12-02.

Trattamento dei dati e risultati

Il danneggiamento è stato osservato sotto la presenza di due forme: linee continue e protuberanze. I bulloni hanno riscontrato quasi sempre la presenza di danneggiamento, soprattutto sul dado e rondella. Tuttavia, osservando i grafici di carico-coppia è possibile comprendere che il galling è sopraggiunto solo dopo il picco massimo di forza. Esso è riconoscibile poiché crea delle riduzioni

di coppia improvvise, causate dal danneggiamento, con conseguente scorrimento delle parti del bullone a contatto. Tale danneggiamento, avvenendo in zona plastica, non risulta essere un problema per l'utilizzo dei bulloni con precarico inferiore al picco di carico ottenuto nelle prove.

3.3 Prove sullo scorrimento dell'unione bullonata

Strumentazione

Per testare la reale resistenza a scorrimento del collegamento ad attrito sono state utilizzate per ogni provino due piastre in acciaio inossidabile AISI 304 aventi foro asolato, unite tramite un bullone ad attrito. La strumentazione impiegata nei test è stata:

- Chiave dinamometrica: USAG, 50 Nm Modello 810n Numero di serie H 2100081;
- Chiave dinamometrica: USAG, 200 Nm Modello 810n 200 Numero di serie P 260610;
- Pressa idraulica: MTS Systems Corporation ±250 kN Modello 312.31 Numero di serie 1103;
- Trasduttori di spostamento; HBM Modello WI Spostamento massimo 2 mm;
- Acquisitore: HBM Modello Spider8 Software acquisizione Catman Easy 3.5.

Metodologia di prova

Le prove sono state condotte con tre tipologie di bulloni, M8 classe A2-70, M10 classe A2-70 e M12 classe A2-80, che sono stati serrati rispettivamente con le coppie 23,5 Nm, 48,4 Nm e 110,0 Nm e posti in sala a temperatura controllata per 72 ore. La prova è consistita nel fornire un carico di trazione in controllo di spostamento tramite una pressa idraulica. In ogni prova sono stati misurati contemporaneamente forza applicata e spostamento, fino al sopraggiungimento dello scorrimento del bullone.

Trattamento dei dati e risultati

Plottando la curva forza spostamento è stato possibile definire il valore di forza a scorrimento. Si è scelto di considerare come valore di forza a scorrimento quello relativo al punto in cui sul grafico carico-scorrimento si nota una porzione orizzontale, con forza costante e scorrimento che incrementa, senza seguire la metodologia secondo l'Annex G della UNI EN 1090-2:2018, che avrebbe necessitato u un maggior numero di trasduttori di spostamento.
Successivamente i dati sono stati trattati secondo quanto previsto dalla UNI EN 1990:2006 – Annex D, par. "D.7.2" [20], ovvero si è calcolato il valore di progetto tramite il valore caratteristico (percentile 5%). I valori ottenuti, come visibile nella Tab. 4, sono minori rispetto a quelli teorici calcolati considerando un precarico F_{pc} definito dalla normativa per l'acciaio al carbonio.

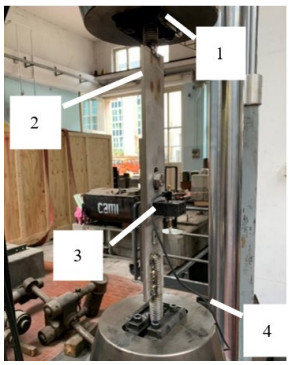

Figura 3. Prova di scorrimento piatti. 1- Pressa idraulica che fornisce trazione; 2- Piatti collegati da un bullone ad attrito in foro asolato; 3- Trasduttore di spostamento; 4- Cavo per la trasmissione dei dati.

Tabella 4. Resistenze a scorrimento da prove di laboratorio

	Num. di provini testati	Resistenza teorica	Resistenza di progetto da prove
Provino	-	[kN]	[kN]
M8 72h	8	1,81	**1,31**
M10 72h	6	2,86	**1,98**
M12 72h	6	4,76	**3,93**

4. ANALISI DEI DATI RACCOLTI

4.1 Precarico caratteristico e di progetto

Sia le prove di idoneità al precarico, sia quelle di scorrimento hanno evidenziato valori inferiori rispetto a quelli definiti dalla normativa per l'acciaio al carbonio. A partire dalle prove di laboratorio sull'idoneità al precarico si è perciò ricercato un valore caratteristico di precarico, in modo tale da poter ottenere una formulazione che sia valida per la progettazione di unioni bullonate con precarico in acciaio inossidabile senza utilizzo di lubrificanti durante il serraggio. Dai grafici forniti dalle prove sull'idoneità al precarico si è dapprima determinata la coppia caratteristica corrispondente al picco del precarico del grafico carico-coppia, la quale permette di determinare un valore di coppia che evita al 95% delle volte un sovra serraggio del bullone, successivamente si sono ottenuti i precarichi corrispondenti alla coppia caratteristica per ogni bullone testato e infine si è calcolato il precarico caratteristico con tali ultimi valori, in modo da ottenere un valore di precarico raggiunto o superato il 95% delle volte.
I precarichi caratteristici ottenuti sono riassunti nella Tab. 5 e risultano di gran lunga inferiori rispetto a quelli teorici definiti dalla norma UNI EN 14399 per l'acciaio al carbonio.

Tabella 5. Precarico di progetto da prove di laboratorio e teorico

	Classe materiale	Diametro	A_{res}	Precarico Teorico	Precarico da prove	% di $f_{ub}*A_{res}$
Provino	-	[mm]	[mm^2]	[kN]	[kN]	-
M8_25_br	A2 70	8	36,6	17,93	**9,40**	**0,37**
M8_40	A2 70	8	36,6	17,93	**9,80**	**0,38**
M10_30	A2 70	10	58	28,42	**11,20**	**0,28**
M10_40	A2 70	10	58	28,42	**15,10**	**0,37**
M12_40	A2 80	12	84,3	47,21	**35,60**	**0,53**

Risulta perciò necessario definire una differente formulazione rispetto agli acciai al carbonio per ottenere il precarico da considerare nella definizione della resistenza a scorrimento della giunzione bullonata in acciaio inossidabile.
Utilizzando le percentuali ottenute viene perciò proposta la seguente formulazione (1) per il precarico di progetto per bulloni in acciaio inossidabile con geometria e resistenze secondo le norme UNI EN ISO 4014 e 4017 e non lubrificati:

$$F_{p,C,inox} = 0{,}35\, f_{ub}\, A_{res} \tag{1}$$

dove - f_{ub} resistenza ultima dell'acciaio inossidabile che costituisce il bullone;
- A_s area resistente del gambo della vite.

Tale precarico risulta essere la metà del valore proposto dalla normativa per bulloni in acciaio al carbonio ad alta resistenza, pari a $0{,}7 f_{ub} A_s$.

4.2 Fattore K

I valori del fattore k_{medio} per le diverse tipologie di bulloni testati vengono presentati nella Tab. 6.

Tabella 6. Fattore k da prove di laboratorio

	Classe materiale	Fattore k da prove
Provino	-	-
M8_25_br	A2 70	**0,351**
M8_40	A2 70	**0,293**
M10_30	A2 70	**0,340**
M10_40	A2 70	**0,294**
M12_40	A2 80	**0,292**

Le prove di laboratorio hanno dunque fornito valori maggiori rispetto a quelli tipicamente utilizzati nel caso dell'acciaio al carbonio. Si propone l'impiego di un range di fattore k pari a 0,25-0,40 (2). Tuttavia, questo intervallo è molto ampio e la scelta di tenere conto di un valore vicino a 0,40 o vicino a 0,25 può portare rispettivamente ad un sovra serraggio nel caso in cui il k reale sia minore o viceversa ad un precarico troppo basso se il k reale risulti maggiore. Per il fattore k si consiglia dunque di approfondire le prove, in modo da ottenere una minor dispersione dei valori.

$$0{,}25 \leq k \leq 0{,}40 \qquad (2)$$

5. CONCLUSIONI

L'utilizzo dell'acciaio inossidabile risulta vantaggioso in molte strutture, tuttavia nel caso specifico delle unioni ad attrito la normativa è poco esaustiva. Studi precedenti come il progetto SIROCO [3] hanno dimostrato che i bulloni in acciaio inossidabile adatti al precarico possono essere usati, ponendo però attenzione ai metodi di serraggio e ai lubrificanti da applicare.
Nelle prove di laboratorio trattate in questo documento si è invece deciso di testare bulloni precaricati con geometrie e resistenze secondo le norme UNI EN ISO 4014 e 4017 e non lubrificati, a causa della difficoltà nell'applicazione in cantiere dei lubrificanti e del suo controllo da parte della direzione lavori. I test svolti hanno permesso di ottenere valori di precarico pari al 50% degli assiemi in acciaio al carbonio e un intervallo di fattore k che risulta maggiore, compreso tra 0,25 e 0,40. Tuttavia, servirebbero ulteriori prove di laboratorio, in modo ampliare la statistica e valutare con più precisione il precarico caratteristico e ridurre l'intervallo del fattore k proposto. In particolare, la normativa potrebbe essere sviluppata in una delle due seguenti direzioni:
- prendendo le mosse dalla normativa sull'acciaio al carbonio, proponendo gli stessi valori di precarico, di fattore k e geometrie, facendo sì che i fornitori producano bulloni certificati al precarico;
- utilizzando bulloni in acciaio inossidabile già commercializzabili, senza lubrificanti, con precarichi di progetto pari al 50% rispetto a quelli dell'acciaio al carbonio, ma definire un intervallo più ristretto del fattore k con un quantitativo maggiore di prove di laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

[1] Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-8: "Design of joints", 2005.

[2] NTC-2018 - dm 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni".

[3] SIROCO, Execution and reliability of slip resistant connections for steel structures using CS and SS - Final report, Publications Office of the European Union, 2019.

[4] UNI EN ISO 4014 "Hexagon head bolts — Product grades A and B", 2011.

[5] UNI EN ISO 4017 "Hexagon head screws — Product grades A and B", 2014.

[6] EN 14399-1 "High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 1: General requirements", 2015.

[7] Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-4: "General rules - Supplementary rules for stainless steels", 2006+A1-2015.

[8] UNI EN ISO 3506-1 “Fasteners - Mechanical properties of corrosion resistant stainless steel fasteners. Part 1: Bolts, screws and studs with specified grades and property classes", 2020.

[9] UNI EN ISO 3506-2 “Fasteners - Mechanical properties of corrosion resistant stainless steel fasteners. Part 2: Nuts with specified grades and property classes", 2020.

[10] SCI, "Manuale di progettazione per strutture in acciaio inossidabile quarta edizione", Silwood Park, Ascot, Berks, SL5 7QN, UK: SCI, 2017.

[11] N. Stranghöner, D. Jungbluth, C. Abraham e A. Söderman, «Tightening behaviour of preloaded stainless steel bolting assemblies,» *Steel construction : design and research,* vol. 10 (4), pp. 319-332, 2017-11.

[12] EN 14399-2 "High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 2: Suitability for preloading", 2015.

[13] EN 14399-3 "High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 3: System HR - Hexagon bolt and nut assemblies", 2015.

[14] N. Stranghöner, C. Abraham, N. Afzali e D. Jungbluth, "Preloading behaviour and preloading levels for stainless steel bolt assemblies including relaxation with detailed specifications for recommended preloading levels", Institute for Metal and Lightweight Structures, 2018.

[15] Z. Chen, Y. Peng, W. Su, F. Qian e J. Dong, «Experimental investigation for anti-slipping performance of stainless steel slip-resistant connections with particles embedded in connected plates,» *Construction & building materials,* vol. 152, n. 1059-1067, 2017-10-15.

[16] N. Stranghöner, N. Afzali, P. de Vries, E. Schedin, J. Pilhagen e S. Cardwell, «Slip-resistant bolted connections of stainless steel,» *Berlin: Wiley, Steel construction : design and research,* vol. 10 (4), pp. 333-343, 2017-11.

[17] T. Manninen e J. Pilhagen, "Creep and stress relaxation behavior of stainless steel plates at room temperature", Outokumpu Avesta and Tornio R&D, Technical report, 2018.

[18] J. Pilhagen, "Mechanical properties and stress relaxation of stainless bolts", Outokumpu Avesta and Tornio R&D, Technical report, 2017.

[19] UNI EN 1090-2 'Execution of steel structures and aluminium structures. Part 2: Technical requirements for steel structures", 2018.

[20] Eurocode 0 - "Basis of structural design", 2002+A1:2005.

KEYWORDS

Preloaded bolting assemblies, stainless steel bolts, preloading, k factor, experimental data