

# VITI SENSORIZZATE KRABO®: UN'INNOVAZIONE PER UN FUTURO PIÙ SICURO.

## KRABO® SENSORIZED BOLTS: AN INNOVATION FOR A SAFER FUTURE.

Simone Aiassa\*, Flora Barlassina, Paolo Redaelli

Krabo, 20837 Veduggio con Colzano, Italy

Le viti sensorizzate rappresentano una recente novità nel mondo della bulloneria. Un sensore integrato nella vite consente il monitoraggio in tempo reale del carico assiale e fornisce informazioni utili per controllare lo stato dei giunti bullonati, incrementando la sicurezza della struttura. Le viti prodotte da Krabo, con il suo prodotto “KRABO® Networking Bolts”, sono un esempio di questa innovazione, il cui punto di forza è l'essere stata sviluppata per la produzione di massa. In questo articolo viene trattato il principio di funzionamento delle viti sensorizzate e vengono indagate le loro possibili applicazioni. La sperimentazione della vite KRABO® ha dimostrato un'accuratezza maggiore del 95% nella misura del carico assiale e l'intercambiabilità funzionale con una vite equivalente non sensorizzata.

*The sensorized bolt represents a recent innovation in the world of fasteners. A sensor embedded in the bolt allows real-time monitoring of the axial load, obtaining useful information to check the state of the bolted joints and increasing the safety of the structure. The bolts produced by Krabo, with its product “KRABO® Networking Bolts”, are an example of this innovation, whose strong point is to be developed for mass production. This article discusses the operating principle of sensorized bolts and investigates their possible applications. The testing of the KRABO® bolt demonstrated a measurement accuracy greater than 95% on the axial load and functional interchangeability with equivalent non-sensorized bolts.*

### 1 INTRODUZIONE

Gli elementi di fissaggio filettati sono una delle soluzioni più utilizzate per unire più parti tra loro; tra questi, viti, bulloni e prigionieri sono i più noti. La tenuta del giunto realizzato ad attrito è garantita dalla forza che l'elemento filettato esercita su di esso; questa forza è detta carico di serraggio, noto anche come carico assiale o tiro, ed è di fondamentale importanza per garantire la stabilità e la sicurezza della struttura [1]. Il carico di serraggio si ottiene serrando il bullone con una chiave: questa operazione genera una forza che allunga il tratto di vite compreso tra la testa e il dado, fornendo il precarico necessario a prevenire l'apertura degli elementi costitutivi del giunto [2]. Esistono diversi metodi per assicurare il raggiungimento del corretto precarico. Il più semplice consiste nel serrare il bullone fino a una coppia prestabilita, utilizzando una chiave dinamometrica. Questo metodo è alquanto approssimativo poiché la relazione tra la coppia applicata e il precarico dipende dall'attrito che si genera tra le superfici che entrano in contatto durante la rotazione imposta dal serraggio, il quale a sua volta dipende

da molti fattori, tra cui la lubrificazione, la rugosità delle superfici, l'area di contatto e molti altri [3]. Un metodo più preciso consiste nel far seguire a una prima chiusura a coppia nota (detta anche precoppia) una chiusura a rotazione controllata (chiusura coppia + angolo), svincolandosi così parzialmente dall'influenza dell'attrito. Per la bulloneria strutturale, questi metodi sono descritti nella norma EN 1090-2 [4], dove si riportano la sequenza di operazioni da eseguire e le precauzioni da adottare per ottenere il carico di serraggio consigliato. Sempre per la bulloneria strutturale, è previsto l'utilizzo di rondelle con indicazione di carico i cui requisiti sono specificati nella norma EN 14399-9 [5]: queste rondelle presentano delle bugne che si schiacciano durante il serraggio e permettono di verificare, mediante ispezione, che venga raggiunto il livello minimo di precarico. Un possibile metodo per conoscere il carico di serraggio consiste nella misura dell'allungamento della vite, il quale è direttamente proporzionale alla forza assiale secondo il modulo elastico di Young [6]. La misura della variazione di lunghezza della vite dovuta al serraggio può essere effettuata utilizzando diversi tipi

\*Corresponding author. Email: simone.aiassa@krabo.it

di sensori; ne esistono di diversi tipi, tra questi si annoverano i sensori di lettura di spostamento (LVDT), con i quali si può misurare l'allungamento relativo tra due punti della vite stessa [7], e gli estensimetri, incollati sul gambo della vite [8] o inseriti all'interno del corpo della vite [9], la cui deformazione dovuta all'allungamento della vite viene trasformata in un segnale elettrico misurabile. Un metodo diffuso, grazie alla sua bassa invasività e la sua relativa semplicità, utilizza l'onda sonora generata da un trasduttore piezoelettrico: con questa tecnica, detta ultrasonica, il tempo impiegato dall'onda per attraversare la vite è correlato alla lunghezza della vite stessa attraverso la velocità del suono [10]. La misura diretta del carico assiale permette non solo di verificare che il serraggio sia stato eseguito correttamente, ma anche di controllare eventuali perdite di precarico a seguito delle sollecitazioni di esercizio. Numerose applicazioni richiedono l'ispezione periodica dei giunti bullonati; queste ispezioni sono costose, spesso richiedono fermi impianto e, qualora siano eseguite manualmente, possono essere rischiose per il personale addetto. Ad oggi, i metodi più comuni per identificare l'allentamento di un bullone prevedono l'ispezione visiva: le viti sono marcate con un pennarello o equipaggiate con banderuole colorate [11], in modo da poter intercettare la rotazione del bullone rispetto alla sua posizione iniziale, indice della completa perdita di precarico. Qualora si voglia prevenire una parziale perdita di carico, si procede invece al ri-serraggio del 100% dei bulloni alla coppia di progetto tramite sistemi automatici o manuali. Per facilitare queste operazioni di manutenzione, sono state recentemente introdotte alcune tecnologie che permettono di conoscere il carico delle viti tramite l'ispezione di un elemento che cambia colore sulla testa [12] o di un indicatore a livello [13]. Il vantaggio delle viti KRABO® è la possibilità di monitorare il carico da remoto [14]. Le informazioni ottenute dall'analisi dei dati trasmessi dalla vite possono essere utilizzate per pianificare la manutenzione della struttura, riducendo gli interventi a conclamata necessità. Monitorare le variazioni di carico durante la costruzione della struttura può consentire la tempestiva segnalazione di eventuali pericoli dovuti ad assestamenti o cedimenti non previsti. Il monitoraggio nel tempo del carico assiale permette, inoltre, di segnalare carichi anomali che agiscono sulla struttura e di valutare lo stato della stessa a seguito di eventi quali incendi e terremoti.

In questo articolo, nella Sezione 2 è illustrato il funzionamento delle viti KRABO®; nella Sezione 3 sono esposti i risultati di una prova strumentale che ne certifica le prestazioni attese; nella Sezione 4 sono presentati esempi delle possibili applicazioni; infine, nella Sezione 5 sono discusse le conclusioni.

## 2. LE VITI KRABO®

Il sensore integrato nelle viti KRABO® (figura 1) utilizza la tecnica ultrasonica per misurare il carico assiale della vite. I metodi ultrasonici sono usati per effettuare controlli non distruttivi fin dalla metà del '900 [15]; la tecnica ultrasonica è stata introdotta nel mondo della bulloneria negli anni '80 ed è sempre stata apprezzata per l'elevata precisione di misura [16]. Il funzionamento del sensore è illustrato nello schema a blocchi in figura 2. Un trasduttore piezoelettrico è incollato a una estremità della vite e, quando eccitato dalla componente analogica pilotata dal processore, produce un'onda ultrasonica a una frequenza nota, dell'ordine dei MHz. Quest'onda viaggia attraverso il gambo e rimbalza sull'estremità opposta della vite, producendo un'eco di ritorno che colpisce nuovamente il trasduttore. Il processore misura la distanza temporale, detta anche "tempo di volo", tra l'emissione dell'onda e la ricezione dell'eco di ritorno con la precisione di milionesimi di secondo. Il modulo di comunicazione senza fili permette di trasferire i dati al gateway. Una batteria fornisce tutta l'energia necessaria per alimentare l'elettronica; è possibile aggiungere un modulo di raccolta dell'energia



Fig. 1: KRABO® Networking Bolt: la vite sensorizzata prodotta da Krabo.



Fig. 2: Schema a blocchi di una vite KRABO®. Il trasduttore ultrasonico è eccitato dall'elettronica che, pilotata dal processore, permette di ottenere la misura e di comunicarla senza fili tramite l'apposito modulo. Pubblicata con permesso da [14].

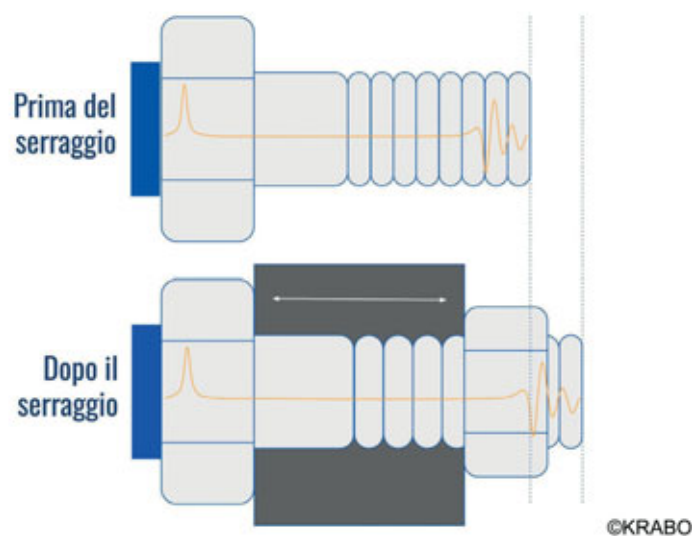


Fig. 3: Il metodo ultrasonico: è possibile misurare il carico assiale della vite in quanto esiste una relazione di proporzionalità tra l'allungamento della vite a seguito del serraggio e il carico assiale. Pubblicata con permesso da [14].

“energy harvesting”) per estendere la vita della batteria: esempi tipici di moduli per la raccolta dell’energia sono i pannelli solari o le antenne per la ricarica a radiofrequenza [17].

Come illustrato in figura 3, quando la vite viene serrata, essa si allunga di una quantità direttamente proporzionale al carico assiale; di conseguenza, è possibile misurarne il tiro conoscendo il tempo di volo prima del serraggio e dopo aver effettuato il serraggio. Tutte le viti KRABO® sono fornite calibrate e pronte all’uso: la relazione tra l’allungamento della vite e il carico di serraggio costituisce la calibrazione del sensore KRABO® e dipende sia da proprietà intrinseche della vite che da alcuni fattori esterni, quali la temperatura e la lunghezza tesa (distanza tra il primo filetto libero e il sottotesta della vite, equivalente allo spessore dei componenti del giunto da serrare). Le proprietà geometriche e fisiche della vite rilevanti per la calibrazione del sensore definiscono uno specifico codice di prodotto a cui è associata una propria calibrazione. La temperatura è misurata attraverso un sensore integrato nell’elettronica della vite KRABO® e il suo effetto è compensato attraverso algoritmi proprietari; la lunghezza tesa è l’unico dato che deve essere fornito dall’utilizzatore finale, e il suo valore è opportunamente elaborato all’interno degli stessi algoritmi.

Le viti KRABO® ospitano all’interno di una piccola cava ricavata nella testa tutta la componentistica elettronica necessaria per effettuare la misura e condividere i dati tramite la rete internet. La tecnologia KRA-

BO® permette di retrofittare viti già prodotte attraverso la lavorazione meccanica della testa e della punta, oltre che l’acquisto diretto dal produttore. In figura 4 è mostrata una vite KRABO® a confronto con la medesima vite non sensorizzata: le viti non solo presentano ingombro assimilabile, ma anche le stesse proprietà meccaniche, risultando da un punto di vista funzionale del tutto intercambiabili. In figura 5 è rappresentata l’infrastruttura delle viti sensorizzate KRABO®. La misurazione effettuata dal sensore posto all’interno della testa viene trasferita a una centralina chiamata “gateway” tramite un protocollo di comunicazione senza fili (“wireless”) di tipo Zigbee, uno standard molto affermato nella domotica per la sua robustezza e i bassi consumi [18]. Il gateway, che può essere posizionato strategicamente per ricevere il segnale wireless da più viti, invia tutti i dati al server tramite un collegamento alla rete internet di tipo cablato, WiFi® o rete mobile. Una volta alimentate e collegate alla rete, le viti KRABO® inizieranno a trasmettere il valore di carico assiale sulla piattaforma proprietaria KRABO® Cloud disponibile online [19]. In figura 6 è mostrata l’interfaccia grafica, dalla quale è possibile visualizzare le viti installate sulla propria struttura, ad esempio un ponte, suddivise per aree. In figura 7 è mostrata la pagina attraverso la quale è possibile monitorare il carico assiale nel tempo di ogni singola vite e configurare diversi parametri, tra i quali gli allarmi che permettono di ricevere una notifica al raggiungimento di soglie critiche.



Fig. 4: Vite sensorizzata KRABO® a confronto con una vite convenzionale. Pubblicata con permesso da [14].

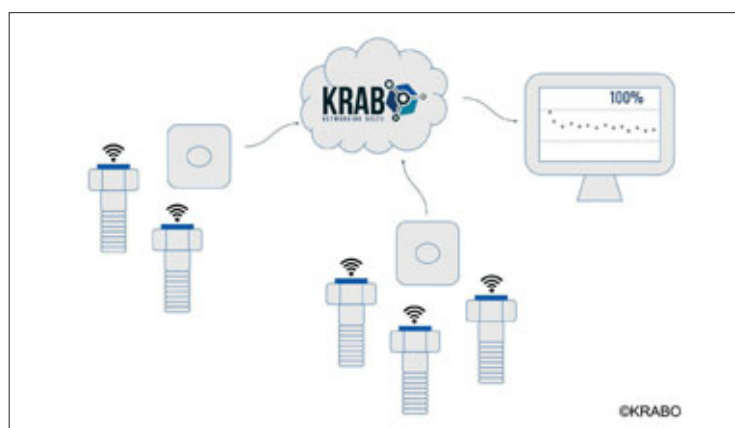


Fig. 5: L’infrastruttura di comunicazione delle viti KRABO®. Pubblicata con permesso da [14].

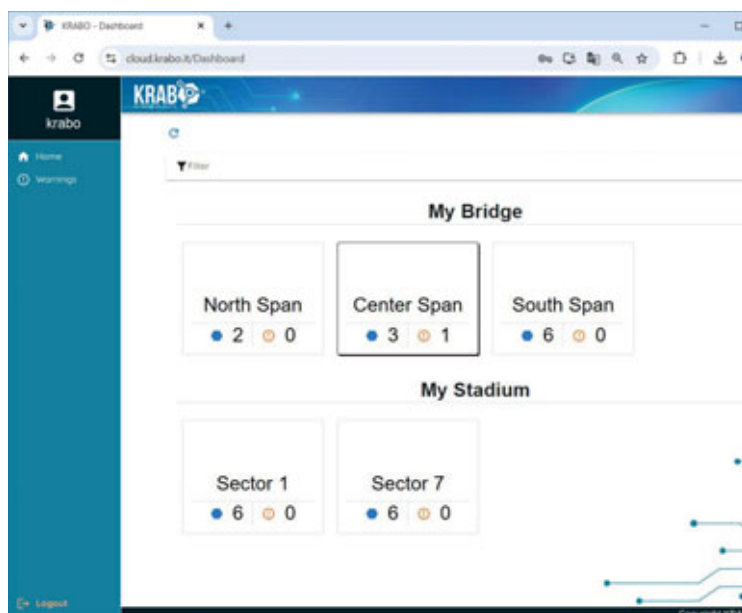


Fig. 6: KRABO® Cloud homepage: ogni vite può essere organizzata a discrezione del cliente in aree e siti.

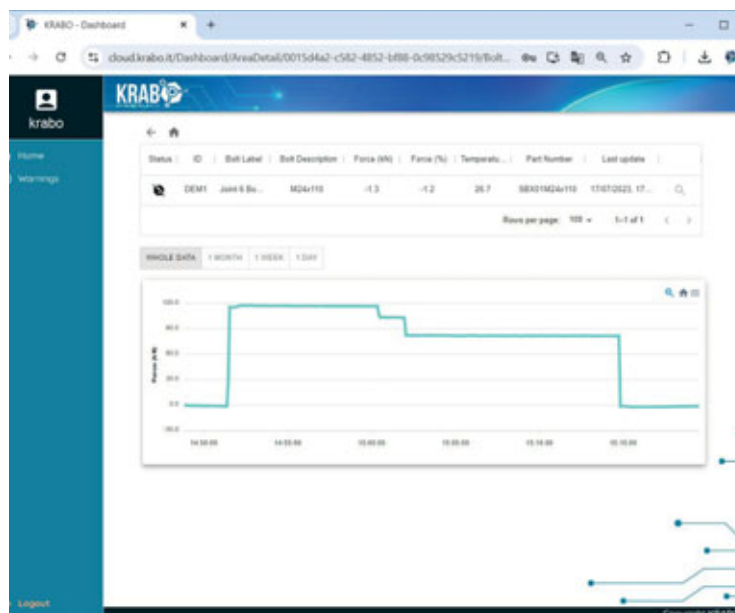


Fig. 7: Pagina di dettaglio di una vite che mostra l’andamento del carico nel tempo su KRABO® Cloud.



### 3. PROVA STRUMENTALE

La prova strumentale ha lo scopo di valutare l'accuratezza della vite KRABO®. La prova strumentale è stata effettuata su viti KRABO® M24x115 classe 10.9, ottenute a partire da viti in accordo allo standard ISO EN 14399-4 [20]. Le caratteristiche funzionali delle viti KRABO® sono state verificate attraverso la prova di idoneità al precarico in accordo alla ISO EN 14399-2 [21], che consiste in una prova di avvvitamento dell'assieme. In figura 8 è mostrato il risultato della prova: la vite KRABO® risponde alle richieste della EN 14399-4 per la forza massima raggiunta durante il test ( $F_{bi, max}$ ) e per il minimo valore di differenza di angolo ( $\Delta\Theta_{2,min}$ ). La figura 8 riporta anche il risultato della stessa prova eseguita su una vite ISO EN 14399-4 della stessa misura e dimostra che la vite KRABO® è intercambiabile con una vite

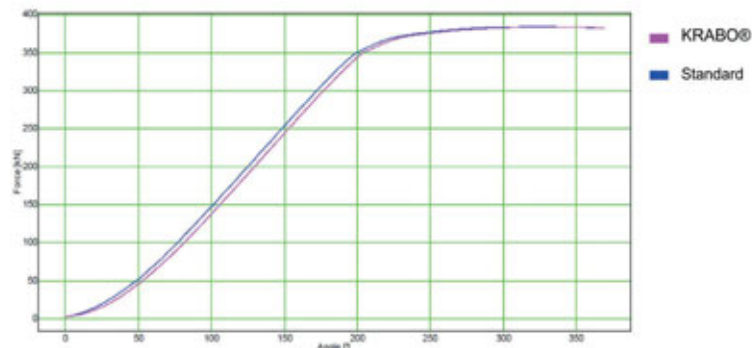


Fig. 8: Test di idoneità al precarico: sia la vite KRABO® che la vite standard equivalente risultano conformi alle richieste della norma ISO EN 14399-2.

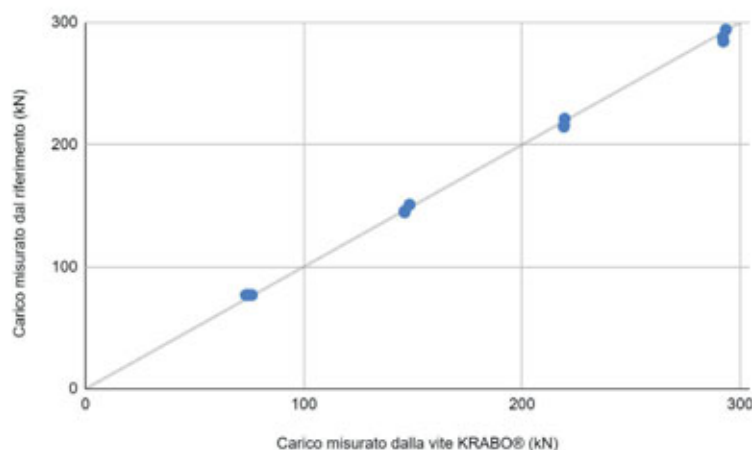


Fig. 9: Grafico a dispersione delle prove strumentali delle viti KRABO®: le viti restituiscono sempre un valore molto vicino al valore dimostrato dalla cella di riferimento.

Campione	Passo	Riferimento (kN)	KRABO® (kN)	Errore (kN)	Errore rispetto al fondo scala
Vite 1	25%	74,55	77,0	2,4	0,84%
	50%	146,2	145,8	-0,4	0,15%
	75%	219,1	214,8	-4,4	1,49%
	100%	292,3	284,8	-7,5	2,56%
Vite 2	25%	76,2	77,0	0,8	0,29%
	50%	146,2	144,7	-1,5	0,52%
	75%	219,3	216,1	-3,2	1,10%
	100%	292	288,2	-3,8	1,31%
Vite 3	25%	73,5	76,8	3,3	1,14%
	50%	148,5	150,9	2,4	0,81%
	75%	219,6	221,3	1,7	0,57%
	100%	293,4	294,4	1,0	0,33%

Tab. 1: Valutazione dell'accuratezza delle viti KRABO® in confronto con la cella di riferimento.

standard. La verifica dell'accuratezza è stata eseguita in accordo alla norma statunitense ASTM-F2482 [22]. Tale norma si applica a elementi filettati esternamente in grado di indicare il carico assiale durante il processo di serraggio e/o dopo l'installazione. All'interno della ASTM F-2482 è previsto un metodo per certificare la classe di accuratezza: il bullone sensorizzato è serrato nell'intervallo da 0 kN fino al carico di prova, che è considerato il fondo scala del sensore, a passi incrementali pari al 25% del carico di prova stesso. Il valore mostrato dalla vite sensorizzata deve essere comparato con uno strumento di riferimento in grado di misurare la tensione. L'errore massimo della vite sensorizzata rispetto al fondo scala definisce la classe di accuratezza. Come riferimento è stata utilizzata una cella di carico con un fondo scala di 400 kN collegata alla macchina di prova coppia - tiro della marca TesT, governata da un'elettronica che permette di serrare la vite al carico desiderato. Tre bulloni KRABO® M24x115 sono testati con una lunghezza tesa di 88,9 mm; tutte le misurazioni sono state eseguite tra 22°C e 23°C; sono stati campionati tre dati, a distanza di due minuti, per verificare la ripetibilità della misura; il fondo scala del sensore è 293 kN. Il valore misurato dalla cella di riferimento è confrontato con il valore rilevato dal sistema KRABO®, come mostrato su KRABO® Cloud. La figura 9 rappresenta il risultato della prova sotto forma di grafico a dispersione; le viti KRABO® risultano accurate e ripetibili, mostrando sempre un valore molto vicino al riferimento. Come dettagliato in tabella 1, la vite KRABO® mostra un errore massimo del 2,56% rispetto al fondo scala. Questo risultato conferma che la vite KRABO® rientra nella classe LT 1 ( $\pm 5\%$ ) definita dalla norma ASTM-F2482.

### 4. ESEMPI DI APPLICAZIONE

Le viti sensorizzate trovano applicazione in tutti i campi in cui sono richiesti interventi di verifica periodici e possono essere utilizzate in tutte quelle situazioni in cui il monitoraggio del carico assiale può incrementare il livello di sicurezza. Ne troviamo esempi nel trasporto ferroviario, nelle energie rinnovabili, nelle macchine movimento terra, nelle automobili e, naturalmente, nell'ingegneria civile e nelle grandi e piccole costruzioni. In campo ferroviario, lo standard di riferimento inglese prescrive il controllo di tutte le viti della linea, con intervalli annuali, trimestrali o mensili, a seconda del traffico [23]. Per effettuare questi controlli, esistono tecnologie basate su telecamere che fotografano e verificano i giunti intercettando viti rotte o allentate, ma necessitano di un vettore che percorra la linea [24]. Solitamente, i costruttori di torri eoliche richiedono una verifica del carico di serraggio delle viti dopo le prime 500 ore di esercizio [25], mentre il controllo del 10% delle viti viene effettuato da 2 a 4 volte l'anno [26]. Le viti delle gru a torre, secondo la normativa statunitense, devono essere verificate annualmente [27]. Nel settore dei macchinari movimentazione terra, il controllo del sottocarro e delle viti rappresenta il 50% del costo totale di manutenzione di un escavatore [28], e i costruttori di camion possono prescrivere la verifica degli elementi di fissaggio dello chassis ogni 100.000 km [29]. In tutte queste applicazioni, l'utilizzo delle viti KRABO® avrebbe il vantaggio non solo di limitare la manutenzione periodica ai giunti necessari, riducendo così i costi, ma anche di incrementare la sicurezza grazie al monitoraggio continuo, che permette di intercettare perdite di carico prima del completo allentamento. Per la bulloneria strutturale, i controlli da effettuarsi prima e dopo il serraggio sono definiti nella norma EN 1090-2, che specifica i requisiti per l'esecuzione delle strutture di acciaio e di alluminio, indipendentemente dalla loro tipologia e forma (per esempio edifici, ponti, piastre, travi reticolari), comprese le strutture soggette a fatica o ad azioni sismiche. Questi controlli si basano su un controllo parziale (5 o 10% dei bulloni, a seconda dei casi), da effettuarsi con modalità differenti a seconda della strategia di serraggio scelta, ma

comunque onerosi in termini di tempo e personale [30]. L'impiego delle viti KRABO® eliminerebbe l'onere del controllo e assicurerebbe una maggiore precisione del serraggio, misurando direttamente il carico e incrementando efficienza e sicurezza. Molte applicazioni potranno essere esplorate grazie alle viti sensorizzate; basti pensare alla possibilità di utilizzare le informazioni ottenute dai bulloni sensorizzati per monitorare i movimenti e il degrado di strutture quali ponti ed edifici, o alla loro applicazione estensiva nel campo automotive, ad esempio nei bulloni delle ruote, per incrementare la sicurezza sulle strade.

## 5. CONCLUSIONI

Le viti KRABO® sono una tecnologia innovativa che, tramite un senso-

re integrato all'interno della vite stessa, permette di misurare il carico assiale. Il dato, che viene trasmesso senza necessità di cablaggio a una centralina, è visualizzabile e sempre disponibile tramite un'interfaccia web. La prova strumentale effettuata sulla vite KRABO® M24x115 ha dimostrato un'accuratezza del valore del carico assiale superiore al 95%. La tecnologia KRABO® permette di retrofittare viti già prodotte, oltre che l'acquisto diretto dal produttore. La vite KRABO® M24x115, realizzata a partire da una vite standard ISO EN 14399-4, ha mantenuto le caratteristiche funzionali, risultando intercambiabile con l'originale. L'adozione graduale di questa tecnologia, sia in nuove strutture che nel recupero di costruzioni esistenti, rappresenta una grande opportunità per prevenire l'allentamento dei giunti bullonati, con benefici per la sicurezza.

---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Bickford J. H. (2007). Introduction to the design and behavior of bolted joints: non-gasketed joints. CRC press. Pagine 1-2.
- [2] Nord-Lock Group. Cosa Succede Al Precarico E Alla Forza Di Serraggio Quando Vengono Applicati Carichi Esterni?. Disponibile online: <https://www.nord-lock.com/it-it/insights/bolting-tips/2021/what-happens-to-preload-and-clamp-force-when-external-loads-are-applied/>. Visitato il 15 maggio 2024.
- [3] Stang A. H. (1949). The Relation of Torque to Tension for Steel Bolts Vol. 955. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards. Pagine 1-4.
- [4] UNI. Esecuzione di strutture di acciaio e di alluminio - Parte 2: Requisiti tecnici per strutture di acciaio. UNI EN 1090-2:2018. Disponibile dal 20 novembre 2018.
- [5] UNI. Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 9: Sistema HR o HV - Rondelle con indicazione di carico per assiemi vite e dado. UNI EN 14399-9:2018. Disponibile dal 2 agosto 2018.
- [6] Bickford J., Nassar S. A. (1998). Handbook of bolts and bolted joints. CRC press. Pagina 572.
- [7] Jang S., Nam J., Lee S., Oh J. H. (2019). A Simple, Reusable and Low-Cost LVDT-Based in Situ Bolt Preload Monitoring System during Fastening for a Truck Wheel Assembly. *Metals*, 9(3), 336.
- [8] Yadavar Nikraves, S., and Goudarzi, M. (2017). A Review Paper on Looseness Detection Methods in Bolted Structures. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 14, 2153-2176.
- [9] McCarthy M., Lawlor V. P., Stanley W. (2019). Effects of Variable Clearance in Multi-Bolt Composite Joints. *Advanced Composites Letters*, 13, 175-184.
- [10] Notch J. S. (1985). Bolt Preload Measurements Using Ultrasonic Methods. *Engineering Journal*, 22(2), 98-103.
- [11] DT Driver Training. What are the yellow plastic indicators on truck and bus wheels? Disponibile online: <https://www.drivingtests.co.nz/resources/what-are-the-yellow-plastic-indicators-on-truck-and-bus-wheels/>. Visitato il 15 maggio 2024.
- [12] Smartbolts. Smartbolts® HOW IT WORKS. Disponibile online: <https://smartbolts.com/how-it-works>. Visitato 15 maggio 2024.
- [13] Clarke R. C. Method of monitoring fastening loading. Brevetto US8646162B2. Depositato il 20 novembre 2012, pubblicato il 11 febbraio 2014.
- [14] Krabo. KRABO website. Disponibile online: <https://krabo.it/>. Visitato il 15 maggio 2024.
- [15] Blitz J., Simpson G. (1995). Ultrasonic methods of non-destructive testing. Springer Science & Business Media.
- [16] Pan Q., Pan R., Shao C., Chang M., Xu X. (2020). Research review of principles and methods for ultrasonic measurement of axial stress in bolts. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 33, 1-16.
- [17] Redaelli P., Aiassa S., Barlassina F., et al. Circular polarization antenna for rf energy harvesting, Brevetto WO2023084552. Depositato il 11 novembre 2022, pubblicato il 19 maggio 2023.
- [18] Somani N. A., Patel Y. (2012). Zigbee: A low power wireless technology for industrial applications. *International Journal of Control Theory and Computer Modelling (IJCTCM)*, 2(3), 27-33.
- [19] Krabo. KRABO® Cloud. Disponibile online: <https://cloud.krabo.it/>. Visitato il 15 maggio 2024.
- [20] UNI. Assiemi di bulloneria strutturale ad alta resistenza da precarico - Parte 4: Sistema HV - Assiemi vite e dado esagonali. UNI EN 14399-4:2015. Disponibile dal 7 giugno 2016
- [21] UNI. Bulloneria strutturale ad alta resistenza a serraggio controllato - Parte 2: Prova di idoneità all'impiego. UNI EN 14399-2:2005. Disponibile dal 11 dicembre 2007.
- [22] ASTM. Standard Specification for Load-Indicating Externally Threaded Fasteners. ASTM F2482/F2482M-21. Ultimo aggiornamento 20 Gennaio 2022.

- [23] Defence Infrastructure Organisation (2017). MOD UK Railways - Permanent Way Design and Maintenance Standards. Issue 5.
- [24] Liu S., Wang Q., Luo Y. (2019). A review of applications of visual inspection technology based on image processing in the railway industry. *Transportation Safety and Environment*, 1(3), 185-204.
- [25] Brown M. (2012). Validating tightness can help foresee failure issues in bolted flanges. *Wind System Magazine*.
- [26] Chan D., Mo J. (2017). Life cycle reliability and maintenance analyses of wind turbines. *Energy Procedia*, 110, 328-333.
- [27] U.S. Department of labor. Safety and Health Regulations for Construction - Cranes and Derricks in Construction: Tower cranes. Standard numero 1926.1435.
- [28] Caterpillar. Guide to Undercarriage Maintenance. Disponibile online: <https://catused.cat.com/en/guide-to-undercarriage-maintenance/7/blogcontent.html>. Visitato il 22 maggio 2024.
- [29] Daimler Truck North America LLC. (2022). Business Class M2 Maintenance Manual. STI-455-7.
- [30] De Matteis G. (2015). Bulloneria strutturale quadro normativo Fabbricazione – Controlli e Prove – Certificazioni. Monografia Tecnica. Fondazione Promozione Acciaio.
- 



### *SIMONE AIASSA*

Dottorato di ricerca in ingegneria elettronica al Politecnico di Torino, è entrato da 4 anni in Fontana Gruppo come ingegnere di ricerca e sviluppo. Lavora all'integrazione dei sistemi elettronici, e all'infrastruttura wireless e software delle viti sensorizzate KRABO®.



### *FLORA BARLASSINA*

Laureata in ingegneria dei materiali presso il Politecnico di Milano, lavora da 10 anni in Fontana Gruppo come ingegnere di ricerca e sviluppo. In Krabo si occupa dell'industrializzazione delle viti sensorizzate KRABO®, dalle lavorazioni all'integrazione dei materiali.



### *PAOLO REDAELLI*

Laureato in ingegneria meccanica presso il Politecnico di Milano, lavora in Gruppo Fontana da 17 anni come responsabile del reparto di ricerca e sviluppo. Come manager di Krabo, coordina il team di lavoro per lo sviluppo del prodotto KRABO® Networking Bolts.