Big Data Innovation & Research Excellence

CYPHER - CYberPHysical Components and advanced matERials for monitoring and sensing

CYPHER sviluppa un sistema di fissaggio intelligente basato su un sensore *self-sensing*, un *Digital Twin* e una piattaforma di cyber-simulazione, configurandosi come tecnologia di *Edge Computing*.
La produzione integra diverse tecnologie manifatturiere avanzate: la stampa 3D di materiali conduttivi per la sensoristica, l'impiego di fibra di carbonio riciclata a filiera locale per il supporto strutturale, e la manifattura additiva SLS (*Selective Laser Sintering*) per gli inserti metallici di ancoraggio. Oltre a rilevare in tempo reale il carico e le sollecitazioni meccaniche, la rondella intelligente trasmette il dato wireless tramite un'antenna integrata.
I dati raccolti durante i test hanno permesso di validare il modello virtuale (*Digital Twin*) e il tool di simulazione predittiva. La tecnologia è altamente trasversale e applicabile alle giunzioni meccaniche nei settori del packaging, dell'automotive e dell'impiantistica industriale

"Componenti intelligenti per monitorare in tempo reale lo stato degli impianti"

Laboratorio	BI-REX
Area di specializzazione	Digitale, Meccatronica e Materiali
Referenti	Stefano Cattorini
Keyword	Smart self-sensing, Cyber simulation, Recycled carbon fiber, Edge computing

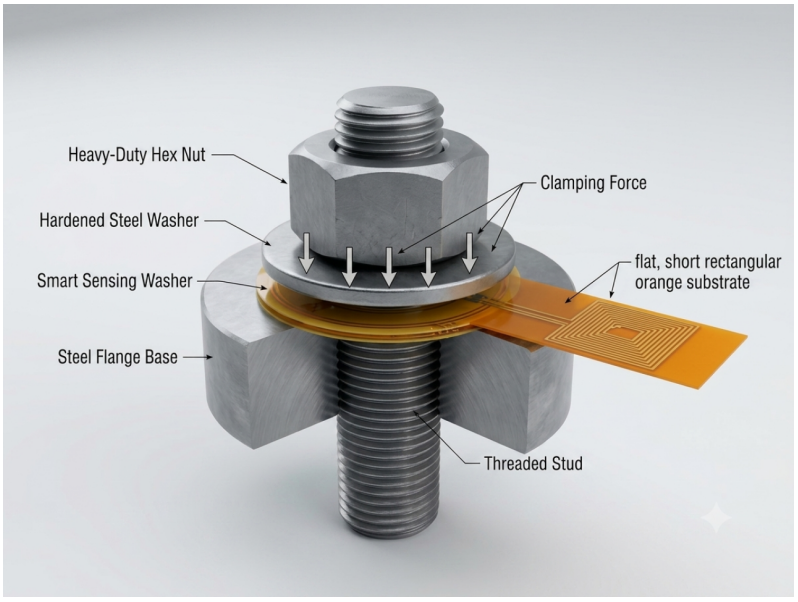


Fig. 1: CYPHER la rondella self-sensing, diventa "intelligente"



Fig. 2: Prototipo del sensore SELF_SENSING CYPHER, layer e loro funzioni

Descrizione

Il sensore *self-sensing* sviluppato nel progetto CYPHER si integra direttamente nei fissaggi meccanici sotto forma di rondella intelligente. Il dispositivo ospita due circuiti integrati: un trasduttore capacitivo multistrato, che rileva le variazioni di capacità elettrica generate dalla forza di compressione durante il serraggio e un'antenna di trasmissione che invia in tempo reale il dato del carico (espresso in Newton) a un data logger o sistema di ricezione centrale.
Il sistema è completato da un tool di cyber-simulazione che opera come un *digital twin*: alimentato con i dati operativi, lo strumento è in grado di calcolare e suggerire il valore di serraggio ottimale per garantire le massime prestazioni della vite nelle specifiche condizioni di esercizio

Aspetti innovativi

La principale innovazione del progetto consiste nella digitalizzazione di un sistema di fissaggio meccanico tradizionale, evoluto a vero e proprio componente di *Edge Computing*. La "vite-rondella self-sensing" non è più un elemento passivo, ma un nodo intelligente capace di interagire sia con piattaforme di gestione dati, sia con utensili industriali smart. Questa interconnessione consente di automatizzare, verificare e protocollare l'intero processo di serraggio in tempo reale, traducendo l'azione meccanica in un'operazione digitale validata e tracciabile secondo i paradigmi di Transizione 5.0.

Applicazioni

La tecnologia è trasversale a qualsiasi settore che impieghi sistemi di fissaggio filettati (viti, bulloni e dadi). Tra i principali ambiti applicativi si distinguono:
• **Energy & Infrastrutture:** impiantistica industriale, Oil & Gas, impianti offshore, chimica ed energia (inclusi impianti eolici).
• **Automotive & Trasporti:** settore automobilistico, ferroviario (*rail*) e navale.
• **Meccanica & Automazione:** macchine automatiche e settore del packaging.



Fig. 3: Il sensore self-sensig al "lavoro"

Partner coinvolti	BI-REX (capofila), CIRI-ICT, CIRI-MAM, Applied, Poggipolini, Studio Pedrini, Bucci Industries, CURTI, Cadlog, ELCO
Tempi di realizzazione	6-12 mesi per elevare a TRL 7, 2 persone.
Livello di maturità tecnologica	TRL 6 - tecnologia dimostrata in ambiente rilevante
Valorizzazione applicazione	Il progetto ha ingegnerizzato il prototipo del sensore self-sensing per filettature M8 e la piattaforma di cyber-simulazione. I prossimi step di sviluppo industriale prevedono la scalabilità dimensionale del componente per nuovi mercati, lo sviluppo di un'interfaccia HMI dedicata agli operatori e l'evoluzione della piattaforma secondo logiche di Industrial IoT

Esempio di applicazione

Monitoraggio del serraggio del pacco batteria nei veicoli (Settore Automotive) Monitoraggio e misurazione in tempo reale dei valori di carico sui quattro punti di fissaggio flangiati che vincolano il pacco batteria al telaio del veicolo. L'applicazione garantisce l'integrità strutturale del collegamento e la sicurezza del sistema flangiato contro vibrazioni e sollecitazioni dinamiche

Validazione sul campo: lo use case Automotive

Il sensore CYPHER è stato validato nel settore automotive per il monitoraggio del pacco batteria di un veicolo. Date le dimensioni e il peso rilevanti del componente, il suo ancoraggio al telaio rappresenta un punto critico per la sicurezza strutturale. Per questo motivo, sono stati installati quattro sensori IoT *self-sensing* in corrispondenza delle flange di fissaggio principali.

Risultati ottenuti

L'applicazione ha permesso di misurare con precisione le variazioni di carico sulla rondella intelligente a partire dal serraggio iniziale. Il sistema si è dimostrato efficace nell'identificare anomalie di allentamento attraverso due indicatori chiave: lo scostamento del carico rispetto al benchmark di installazione e la misurazione degli effetti inerziali (micro-movimenti e vibrazioni) generati dalla batteria durante la marcia del veicolo.

Sviluppi futuri e trasferibilità

Tra gli scenari ad alto potenziale si evidenzia il monitoraggio dei fissaggi delle pale eoliche al rotore. L'integrazione della tecnologia CYPHER con droni dotati di antenna ricevente consentirebbe di verificare lo stato dei bulloni a distanza, eliminando le onerose operazioni di manutenzione con personale in quota. La soluzione trova inoltre naturale applicazione nella diagnostica predittiva di grandi impianti industriali nei settori chimico, petrolchimico e Oil & Gas.

Big Data Innovation & Research Excellence

BI-REX

Big Data Innovation & Research Excellence



La Linea Pilota è una fabbrica digitale avanzata dove le tecnologie di Industria 4.0 vengono integrate in un ambiente produttivo. La linea è in grado di produrre prototipi e piccole serie, e permette la realizzazione di Proof of Concept in ambiente compatibile con gli standard industriali, senza vincoli di produzione. Le aree tematiche, con le tecnologie specializzate a disposizione, sono:

• **Additive Manufacturing**: tecnologie per stampa 3D di metalli: fusione a letto di polvere, cella di deposizione diretta per ricoperture e riparazione. Tecnologie per stampa 3D polimeri: FDM, Arburg Freeformer con materiale granulare

• **Manifattura e metrologia**: centro di lavoro a 5 assi, braccio di scansione laser a luce blu per reverse engineering, macchina a misura ottica.

• **Robotica Mobile e collaborativa**: robot collaborativi e AMR per applicazioni logistiche e di manipolazione collaborativa

• **Big data e Internet of thing**: infrastruttura conforme allo standard produttivo di cybersecurity per raccolta ed elaborazione dati, dispositivi edge computing e infrastruttura di cloud privato, applicazioni di intelligenza artificiale, visual inspection, manutenzione predittiva, realtà aumentata e virtuale. La linea è equipaggiata con una cella privata 5G ad onde millimetriche, per testare connessioni wireless ad alte prestazioni.

Sito web	https://bi-rex.it/
Direttore	Stefano Cattorini
Data pubblicazione	30/06/2026