

Un approccio basato sui sistemi cyber-fisici per una manutenzione intelligente e data-driven nell'area di laminazione

a cura di: V. Colla, M. Vannucci, C. Mocci, A. Giacomini, F. Forno, E. Paluzzano, J. Bernard, J. Borst, H. Bolt, A. Ventura, F. Sanfilippo, A. Rizzi, A. Dester, C. Trevisan, G. Bavestrelli, A. Catalano, F. Nkwitichoua, K. Seidenstücker, P. Scheffer

Il paper propone la visione d'insieme e i concetti, nonché una panoramica delle attività sviluppate nell'ambito del progetto CyberMan4.0, cofinanziato dall'Unione europea attraverso il Research Fund for Coal and Steel (RFCS), che mira a sviluppare un innovativo modello di manutenzione integrata applicabile nell'area di laminazione delle acciaierie. Tale modello supporta la transizione dalla manutenzione preventiva a quella predittiva tenendo conto della flessibilità, dei tempi di attività della macchina, della qualità del prodotto e dei costi. Le attività di ricerca includono l'applicazione di algoritmi avanzati e sensoristica diffusa, tra cui un sensore di nuova concezione, ed associate metodologie di connessione per supportare il cambiamento di strategia e fornire la necessaria validazione. Per quanto riguarda l'elaborazione delle informazioni dei sensori, il progetto include sia lo sviluppo di nuovi algoritmi che il miglioramento di metodi esistenti, in particolare nel campo del machine learning. I sistemi esistenti sono stati arricchiti e dotati di robusti moduli software integrati in una rete intelligente per migliorare la comunicazione tra macchine e persone e supportare le operazioni quotidiane di manutenzione. Sono stati affrontati quattro rilevanti casi studio industriali, che saranno riassunti nella memoria.

PAROLE CHIAVE: PACCIAIO, MANUTENZIONE, LAMINAZIONE, INTELLIGENZA ARTIFICIALE

INTRODUZIONE

Le tecniche di manutenzione predittiva (PdM) possono essere definite come strategie per monitorare le condizioni attuali e future delle apparecchiature in servizio per prevedere quando eseguire la manutenzione [1]. Il concetto principale alla base della definizione è eseguire la manutenzione solo quando è necessaria, aumentando significativamente la disponibilità degli impianti (cioè diminuendo i tempi di fermo macchina) e la flessibilità di produzione. L'infrastruttura IT e gli strumenti per la raccolta dei dati e l'analisi avanzata per elaborarli sono aspetti chiave per definire lo stato dell'impianto e del processo. Questo è noto come Condition Monitoring (CM) e implica il monitoraggio di parametri significativi che descrivono le condizioni rilevanti per l'apparecchiatura, per monitorare lo stato di salute delle macchine e identificare cambiamenti significativi collegati a guasti emergenti [2]. Pertanto, un pilastro per un'adozione più intensiva del PdM è la creazione di una rete di impianto o

V. Colla, M. Vannucci, C. Mocci

Scuola Superiore Sant'Anna - TeCIP Institute - ICT-COISP

A. Giacomini, F. Forno, E. Paluzzano

Danieli Automation S.p.A.

J. Bernard, J. Borst, H. Bolt

Tata Steel IJmuiden BV

A. Ventura, F. Sanfilippo

RINA-Centro Sviluppo Materiali

A. Rizzi, A. Dester

Acciaieria Arvedi S.p.A.

C. Trevisan, G. Bavestrelli, A. Catalano

TENOVA S.p.A.

F. Nkwitichoua

VDEH-BetriebsForschungsInstitut GmbH

K. Seidenstücker, P. Scheffer

Arcelor Mittal Hochfeld GmbH

aziendale affinché il CM possa conseguire una consapevolezza affidabile dello stato delle apparecchiature e/o del processo [3]. CM e PdM contribuiscono intrinsecamente a importanti risparmi sui costi, aumentando la produttività e i margini economici.

Attualmente nel settore siderurgico impianti e macchinari sono dotati di un numero sempre crescente di dispositivi di rilevamento, ma solo alcuni di essi sono utilizzati per scopi di manutenzione. In realtà, le acciaierie adottano strategie PdM principalmente per i sistemi meccanici, elettrici e ausiliari convenzionali [4]. Tuttavia, una applicazione ampia ed integrata dedicata alla gestione degli asset e agli obiettivi di ottimizzazione di processo è ancora una novità [5,6]. A causa della complessità intrinseca della produzione dell'acciaio, la previsione degli eventi e degli scenari richiede che lo sviluppo di metodi e strumenti sia pienamente testato sul campo [7].

Tuttavia, la situazione sta cambiando rapidamente rispetto ad alcuni anni fa: sempre più variabili di processo e di impianto vengono misurate con elevate frequenze di campionamento e questi dati diventano disponibili per scopi online e vengono archiviati parallelamente in grandi database. Ciò vale anche per un insieme complesso di informazioni sulla qualità del prodotto appena prodotto. Inoltre, nel panorama IT dell'impianto sono presenti informazioni sulla pianificazione della produzione per le ore e i giorni successivi nonché informazioni sulle attività di manutenzione pianificate. Altro aspetto fondamentale da considerare è il fatto che sono disponibili sensori nuovi e molto potenti, in grado di fornire informazioni con altissima correlazione con lo stato degli impianti e dei loro componenti. Inoltre, sono disponibili nuove tecnologie per aiutare ad analizzare questa enorme quantità di dati quasi in tempo reale. In questo contesto, tecniche come il Machine Learning (ML) possono essere applicate per l'elaborazione dei dati e il rilevamento e la classificazione di eventi.

L'attuale situazione delle imprese siderurgiche in Europa evidenzia che, da un lato, gli impianti delle imprese siderurgiche dell'UE stanno diventando più vecchi, mentre la costruzione di nuovi impianti costituisce un'eccezione. D'altra parte, i costi per la manutenzione e la disponibilità degli impianti giocano un ruolo sempre più importante e rivestono un'elevata importanza strategica per tutti i pro-

duttori di acciaio. Per far fronte a questa situazione, il progetto CyberMan4.0 mira a compiere un passo significativo verso l'implementazione di schemi di PdM, sviluppando un nuovo "modello per la manutenzione", che prevede l'applicazione di nuove tecnologie come quelle legate all'Intelligenza Artificiale (IA) e ai Big Data, nonché l'integrazione di nuovi potenti sensori, come illustrato schematicamente nella Figura 1.

L'obiettivo di CyberMan4.0 è quello di potenziare la gestione degli asset nel settore siderurgico trasformando apparecchiature e macchine in oggetti intelligenti connessi in una rete smart, ovvero rendendoli pienamente conformi alla definizione di Cyber-Physical Systems (CPS). A tal fine, l'area di laminazione è molto significativa nell'ambito dell'intero percorso di produzione, poiché la tecnologia di laminazione offre una grande varietà di sfide che coinvolgono prodotti piatti e lunghi, materie prime e prodotti speciali, diverse tipologie di laminatoi nonché l'elevata velocità intrinseca dei processi. Inoltre, le connessioni tra tracciabilità della qualità, evoluzione del processo e stato di salute delle macchine sono state indagate in modo più diretto e innovativo, grazie al sistema di controllo e monitoraggio già esistente, attualmente non completamente integrato e talvolta incompleto. L'obiettivo finale è la riduzione dei costi di manutenzione e l'aumento della produttività attraverso la diminuzione dei tempi di fermo e delle scorte di ricambi, il nuovo livello di precisione e affidabilità dei nuovi sensori ad alte prestazioni, aprendo la strada a un'ottimizzazione integrata della programmazione della produzione e della manutenzione e pianificazione.

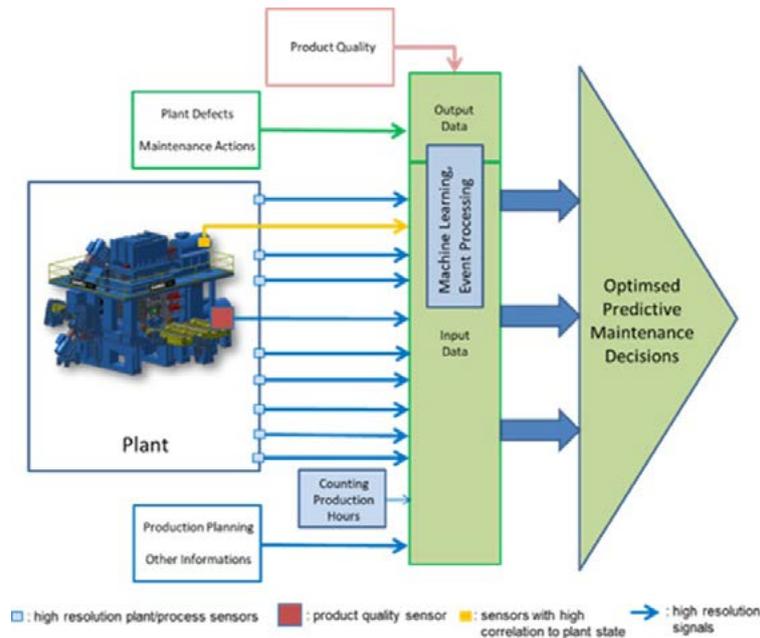


Fig.1 - CyberMan4.0 Manutenzione ottimizzata con estensione PdM - CyberMan4.0 / Optimized Maintenance with PdM extension.

APPROCCIO METODOLOGICO

L'idea principale alla base dell'approccio proposto per la manutenzione è l'utilizzo parallelo di tutti i dati disponibili (con la massima risoluzione possibile) provenienti da sensori di processo e di impianto, contatori di ore di produzione, sistemi di pianificazione della produzione e altre fonti di informazioni esistenti come input per il nuovo sistema. Inoltre, i risultati dei sistemi di rilevamento della qualità del prodotto e le informazioni sui difetti dell'impianto e sui malfunzionamenti delle apparecchiature forniscono l'output o le informazioni di destinazione del sistema. Applicando le tecnologie ML, si pongono le basi per la creazione automatica della relazione tra informazioni di input e output sotto forma di un nuovo tipo di modelli, che consente una previsione affidabile di malfunzionamenti o difetti delle apparecchiature dell'impianto. I modelli analitici possono essere applicati anche per descrivere le relazioni sopra menzionate tra dati di input e output, e questo può portare a soluzioni ibride. La Figura 2 illustra questo approccio, che è un modo completamente nuovo di concepire la manutenzione nel settore siderurgico ed è stato denominato Integrated Maintenance Model 4.0 (IMM4.0).

L'IMM4.0 è conforme al paradigma Industria 4.0 perché si basa sullo stesso insieme di tecnologie abilitanti e sulla

stessa idea relativa alle interazioni estese tra gli oggetti coinvolti. Questi oggetti potrebbero essere apparecchiature, sensori, macchine complesse o sistemi software. Inoltre, è prevista un'interazione estesa tra oggetti ed esseri umani. Questo implica che gli oggetti fisici debbano raggiungere un certo grado di autonomia considerando le loro funzioni e compiti rilevanti. Per questo motivo è necessario trasformare le macchine convenzionali in CPS incorporando "intelligenza" negli oggetti. L'intelligenza può essere realizzata da qualsiasi tipo di modello, dall'analisi per l'elaborazione dei dati online e l'estrazione della conoscenza, dal ML o da altre tecniche.

Per realizzare un'interazione molto più forte tra gli esseri umani e i CPS sopra definiti, l'approccio Human-In-The-Loop (HITL) è ampiamente implementato e applicato a fini di supervisione e cooperazione. Ciò è necessario, poiché le modalità di errore sono spesso nuove o al di fuori del dominio della conoscenza codificato nelle macchine. Un'ulteriore ragione potrebbe, quindi, essere che il numero di possibili rami dell'albero delle faglie è così grande che le decisioni possono essere prese solo con il contributo umano.

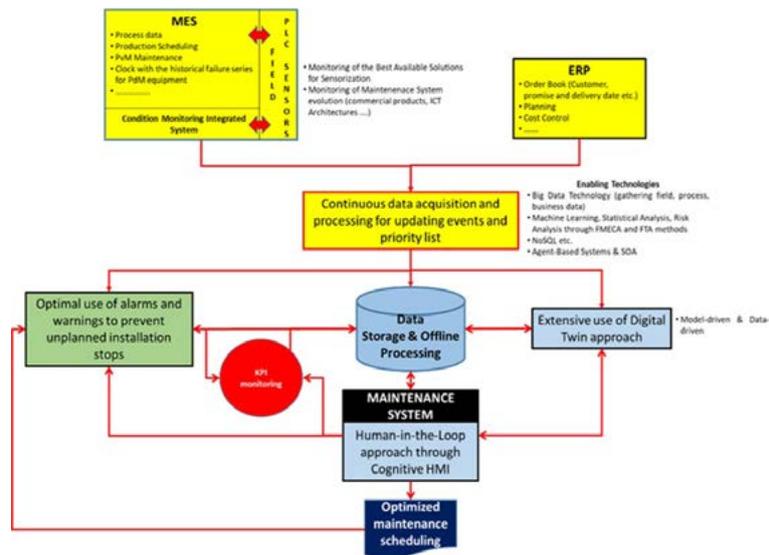


Fig.2 - Il nuovo modello di manutenzione / The new maintenance model.

Per realizzare l'IMM4.0 sono necessarie diverse componenti.

- Cyber Physical Systems:** i CPS derivano dall'integrazione di processi computazionali e fisici [8-10]. Nella parte cibernetica, la conoscenza formalizzata, i modelli, le applicazioni di IA ecc. fanno parte della "intelligenza". Ma l'intelligenza è di più, è intesa anche come la capacità di imparare dall'esperienza, di reagire agli input esterni seguendo percorsi non predefiniti e con ampio grado di autonomia almeno per compiti specifici. La combinazione di CPS in una rete è definita Smart Network. Tali caratteristiche sono fondamentali per la PdM, giacché portano a trasformare apparecchiature in CPS intelligenti o macchine complesse in assemblaggi cooperativi di CPS (i suoi componenti) in grado di autovalutare il proprio stato di salute e, nei casi più avanzati, fornire un controllo completo dello stato della macchina attraverso la comunicazione tra le sue parti, rilevando e classificando anche potenziali guasti o malfunzionamenti. Questo è un motivo fondamentale per introdurre tale elemento costitutivo in CyberMan4.0 come fattore abilitante della PdM. Inoltre, implementando l'estensione della rete da "macchine intelligenti" a entità logiche come sistemi di schedulazione e pianificazione, la comunicazione

ha il potenziale di ottimizzare sia lo scheduling che il planning.

- "Sensorizzazione":** L'installazione di sensori è necessaria ed i requisiti per sensori aggiuntivi e lo sviluppo di sensori sono indicati dai casi d'uso dell'industria siderurgica. In tutti i casi studio considerati all'interno di CyberMan4.0, sugli impianti sono stati installati sensori ed in uno di essi è stato studiato un nuovo tipo di sensore per prevedere il danno ai cuscinetti prima che si verifichi e a tempo debito per applicare contromisure adeguate.
- Digital Twins:** Digital Twin qui significa un modello virtuale in grado di riprodurre la complessità delle interazioni tra produzione, prodotto e processo aziendale che collegano il mondo reale. Ciò si realizza collegando il Digital Twin con le apparecchiature fisiche dell'impianto utilizzando gli stessi set di dati reali. Questa tecnologia consente l'analisi di nuovi scenari, lo sviluppo di strategie di ripristino, nuove opportunità di organizzazione della manutenzione e la pianificazione degli aggiornamenti tramite simulazioni.
- Event processing:** quando i dati provengono da fonti diverse e sono eterogenei, viene introdotta la definizione di Complex Event Processing (CEP). Guasti o malfunzionamenti sono eventi e i dati devono essere

analizzati con un insieme di tecniche (principalmente statistiche) per derivare, ad esempio, schemi che si verificano con un certo grado di probabilità sulla base di analisi precedenti.

- **Machine Learning:** CyberMan4.0 sfrutta gli strumenti di ML per "imparare dai dati", per derivare algoritmi come parte dell'analisi per l'estrazione della conoscenza e la costruzione di modelli, incorporando l'intelligenza nei CPS sopra menzionati, al fine di dare loro la capacità di sintetizzare informazioni e conoscenze e capacità di apprendimento automatico. Il ML dovrebbe essere fondamentale nella PdM, nell'apprendere come migliorare il rilevamento precoce degli eventi dai dati (l'esperienza) e la precisione e l'affidabilità dei modelli. In particolare, nella definizione dell'intelligenza dei CPS, il ML gioca un ruolo fondamentale nel migliorare le prestazioni in modo automatico o nel raccogliere la conoscenza tramite l'analisi offline dei dati archiviati sulla base di algoritmi definiti.
- **Big Data:** La complessità della gestione dei dati nell'industria siderurgica è dovuta al loro volume in considerazione della loro eterogeneità (varietà) e all'acquisizione di un grande volume di dati in condizioni di tempo reale (velocità). La conoscenza della produzione dell'acciaio si basa sulla qualità e sulla pertinenza di tali informazioni (veridicità). L'uso delle tecniche dei Big Data è sempre più importante nell'industria siderurgica per estendere il perimetro di monitoraggio alla produzione, all'evoluzione della qualità del prodotto e agli ordini specifici del cliente. In CyberMan4.0 i framework Big Data sono il ponte tra diverse fonti di dati, come l'automazione, il controllo di processo e le condizioni degli asset per accelerare l'analisi ai fini del processo decisionale.
- **Tecnologie avanzate di archiviazione dati:** è necessario gestire grandi set di dati eterogenei, che potrebbero richiedere nuove tecnologie di archiviazione, come i database (DB) NoSQL. Inoltre, a causa dell'eterogeneità dei dati e della diversa topologia delle fonti di dati nel panorama ICT, è necessario accedere ai dati in modo "piatto", ovvero superando la tradizionale struttura gerarchica dell'automazione degli impianti e consentendo una rapida raccolta di dati da diverse

fonti. Tale combinazione richiede lo sfruttamento di una nuova generazione di DB, a causa del loro potenziale di archiviazione di grandi volumi di dati, inclusa la coerenza e i vincoli di legacy dei tradizionali DB relazionali. Ciò implica anche lo sfruttamento di analitici per l'elaborazione rapida di grandi volumi di dati eterogenei in tempo reale, per l'analisi offline dei processi e per l'estrazione di valore/conoscenza.

In CyberMan4.0 sono state esplorate alcune combinazioni di molti dei blocchi costruttivi sopra menzionati, tenendo conto dei requisiti e necessità dei diversi casi d'uso industriale e sviluppando soluzioni individuali, che sono state implementate e testate negli impianti dell'industria partner.

DESCRIZIONE DEI CASI STUDIO

Per realizzare e validare l'approccio sopra descritto in un contesto industriale reale, sono stati selezionati quattro casi studio secondo i seguenti criteri: per un caso studio è stato considerato un tipo di laminatoio abbastanza complesso e nuovo. Il secondo e il terzo caso studio consentono di confrontare un tipo di impianto in due diverse aziende e siti, per scoprire come questo influenzerebbe la costruzione della nuova soluzione di manutenzione. Nel quarto caso studio è stata investigata l'influenza di un nuovo e potente sensore sull'implementazione della nuova strategia di manutenzione. I casi studio considerati sono brevemente descritti nelle seguenti sottosezioni.

Caso studio 1: PdM applicata ad un laminatoio

Il laminatoio considerato è il Draw Sizing Danieli (DSD), un blocco Reducing & High Precision Sizing, progettato, dimensionato e ingegnerizzato per prodotti lunghi laminati a caldo di alta qualità e di alto valore (vedi Figura 3). Devono essere assicurati sia l'individuazione e previsione precoce di eventi non pianificati, stato di salute dei componenti (ad esempio la superficie dei rulli) e il rispetto dei vincoli di qualità che la definizione della strategia ottimizzata basata sull'approccio value-driven tra manutenzione preventiva e predittiva in relazione alla criticità dei componenti. Nonostante la macchina sia effettivamente completamente impostata e controllata attraverso un sistema di automazione e controllo aggiornato, devono essere soddisfatte esigenze di implementazione di funzionalità

predittive relative alla qualità e allo stato della macchina, implementando sensori aggiornati e raccogliendo conoscenze, particolarmente importanti per un macchinario di nuova concezione. Inoltre, l'impianto, grazie al suo moderno sistema di progettazione e automazione, è la base ottimale per lo sviluppo di un nuovo approccio di

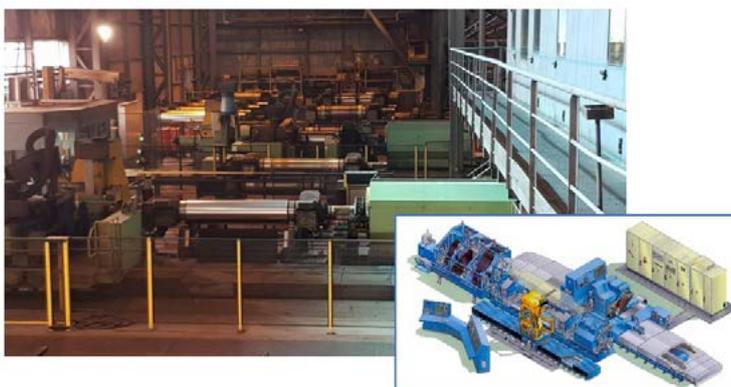
manutenzione predittiva e ottimizzata. In questo contesto, nell'ambito del progetto CyberMan4.0 è stato implementato un approccio basato sul ML per l'identificazione precoce del problema di "ovalità" nella laminazione di billette a sezione tonda.



Fig.3 - L'impianto Draw Sizing Danieli / The Draw Sizing Danieli plant.

Casi studio 2 e 3: Miglioramento della manutenzione dei rulli e gestione ottimale dell'officina rulli tramite PdM. La torneria cilindri (in inglese roll shop) sta sempre più diventando un collo di bottiglia a causa dell'aumento della produzione e della gamma di prodotti. Digitalizzazione, interconnessione e smart operation sono le parole chiave per migliorare l'efficienza del roll shop. Per raggiungere questo obiettivo è stato sviluppato e imple-

mentato un sistema PdM presso il roll shop dell'impianto di laminazione a caldo Endless Strip Production (ESP) di Acciaieria Arvedi SpA (vedi Figura 4.a), e presso lo stabilimento Tata Steel di IJmuiden per la laminazione a freddo e finitura (vedi Figura 4.b). Il sistema sviluppato nel caso studio 2 si basa sulla rettificatrice Tenova-Pomini, il cui schema è riportato nella Figura 4.a.



(a)



(b)

Fig.4 - (a) il laminatoio di Acciaieria Arvedi SpA ESP e uno schema della rettificatrice Tenova Pomini; (b) l'officina rulli di Tata Steel IJmuiden / (a) The rolling mill of Acciaieria Arvedi SpA ESP and a sketch of the Tenova Pomini grinding machine; (b) the roll shop of Tata Steel IJmuiden.

Ambedue le applicazioni riguardano l'implementazione di acquisizione, condizionamento ed elaborazione di dati eterogenei per estrarre le conoscenze rilevanti per la derivazione di modelli relazionali tra deviazione di variabili ed eventi. Questi due casi di studio hanno studiato e convalidato l'approccio PdM proposto su macchine complesse, altamente automatizzate e che influiscono sulla qualità del prodotto. Entrambe le applicazioni mostrano un approccio comune dedicato a:

- monitoraggio continuo dello stato della macchina con particolare attenzione alla rettificatrice COMBI (la rettificatrice COMBI è una macchina per la rettifica di cilindri di lavoro e di appoggio) mediante acquisizione dei dati di macchina, processo e qualità del prodotto.
- rilevamento precoce di malfunzionamenti e guasti evitando guasti imprevisti ai componenti della macchina attraverso una pre-elaborazione intelligente e l'elaborazione delle informazioni di cui sopra.
- cooperazione di tipo human-in-the-loop tra apparecchiature e operatore attraverso algoritmi e strumenti di comunicazione per la valutazione dello stato di salute e supporto alle decisioni per l'intervento di manutenzione.
- miglioramento delle capacità dei macchinari in termini di stabilità della qualità del prodotto nel tempo e nei periodi di funzionamento grazie all'analisi dei dati e all'individuazione precoce di malfunzionamenti nei componenti della macchina.

Caso studio 4: Studio dell'influenza di un sensore inno-

vativo sulla efficacia ed efficienza complessive della manutenzione dei cuscinetti e degli azionamenti di un laminatoio.

Uno dei requisiti di base di CyberMan4.0 è la correlazione tra difetti dell'impianto e segnali dei sensori. Se questa correlazione del difetto con i sensori disponibili non è disponibile, possono essere necessari nuovi sensori. In questo contesto, l'analisi dei guasti delle trasmissioni ha mostrato che i cuscinetti del motore sono la causa più frequente di guasti. Tuttavia, spesso non sono disponibili segnali sensoriali che consentano la correlazione con i danni ai cuscinetti. Il modo migliore per monitorare i cuscinetti attualmente è basato sulla misurazione delle vibrazioni e sul monitoraggio della loro ampiezza. Questi sensori di vibrazione forniscono la necessaria correlazione tra difetto del componente e segnale del sensore. Sfortunatamente, il periodo di warning utile è spesso troppo breve per implementare uno schema di PdM, poiché un aumento significativo delle ampiezze di vibrazione si verifica solo relativamente alla fine dell'evoluzione del danno. Pertanto, è necessario un segnale sensoriale che stabilisca una correlazione con il degrado dello stato del cuscinetto anche prima che i cuscinetti vengano danneggiati meccanicamente. Quindi all'interno di CyberMan4.0 un nuovo sensore (vedi Figura 5.a) è stato sviluppato e installato dal BetriebsForschungsinstitute (BFI) presso gli impianti di laminazione Arcelor Mittal a Hochfeld (vedi Figura 5.b) per identificare il cambiamento critico nello stato del cuscinetto prima che si verifichi un danno, riducendo significativamente i tempi di fermo non pianificati, con significativi risparmi sui costi.



(a)



(b)

Fig.5 - (a) Il nuovo sensore dello stato dei cuscinetti sviluppato da BFI; (b) Il laminatoio ArcelorMittal di Hochfeld
/ (a) The novel bearing state sensor developed by BFI; (b) ArcelorMittal rolling facilities in Hochfeld.

CONCLUSIONI

La memoria presenta il nuovo approccio integrato alla manutenzione, che è stato introdotto da CyberMan4.0, ed i quattro casi studio industriali rispetto ai quali tale approccio è stato validato.

Questo approccio rappresenta un grande passo avanti nei concetti di manutenzione nelle acciaierie e può portare a consistenti risparmi sui costi di manutenzione e riduzione dei tempi di fermo e tassi di prodotti fuori specifica grazie all'uso esteso di sensori e alle capacità previsionali fornite dagli strumenti di machine learning per elaborare i dati forniti dai sensori.

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro descritto nel presente lavoro è stato sviluppato nell'ambito del progetto dal titolo " Cyber-Physical System-based approach for intelligent data-driven maintenance operations applied to the rolling area" (CyberMan4.0 GA 800657), finanziato dall'Unione Europea tramite il "Research Fund for Coal and Steel (RFCS)", che gli Autori ringraziano. La responsabilità esclusiva delle questioni trattate nel presente lavoro è degli autori; l'Unione non è responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni ivi contenute.

BIBLIOGRAFIA

- [1] P. POOR, J. BASL, D. ZENISEK: Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development, Proc. IEEE International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering, SCSE 2019, Colombo, 28 March 2019, pp. 245-253.
- [2] S. OCHSENREITHER, J. HUNDRIESER: Industry 4.0 - From automated device data collection to asset health, Proc. 10th European Metallurgical Conference, EMC 2019, Dusseldorf (Germany), June 23-26, 2019, Vol. 4, pp. 1657-1665.
- [3] P. STUDEBAKER, From reactive and preventive to condition-based predictive, Control, 27(3), 2014
- [4] Y. WAN, W. WU, X. ZHANG, B. YANG., Z. GONG, MRM: Wireless sensor network for online milling roller monitoring in harsh industrial environment, Sensors and Transducers, 155(8), pp. 1-9, 2013.
- [5] A. SAHU, R. CHAHAR, S. OLIVAR, R. BALASUBRAMANIAN, A. GUPTA, H. AHN: Building a scalable intelligent system to advise predictive maintenance operations in a steel mill, 2021 AISTech - Iron and Steel Technology Conference Proceedings, 1156-1163.
- [6] J.-R. RUIZ-SARMIENTO, J. MONROY, F.-A. MORENO, C. GALINDO, J.-M. BONELO, J. GONZALEZ-JIMENEZ: A predictive model for the maintenance of industrial machinery in the context of industry 4.0, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2020, 87.
- [7] R.M. VAN DE KERKHOF, H.A. AKKERMANS, N.G. NOORDERHAVEN: Knowledge lost in data: Organizational impediments to condition-based maintenance in the process industry, Logistics and Supply Chain Innovation: Bridging the Gap between Theory and Practice, pp. 223-237, 2015.
- [8] E.A. LEE: Cyber physical systems: Design challenges, Proc. 11th IEEE Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing, ISORC 2008, pp. 363-369, 2008.
- [9] E.A. LEE: CPS foundations, Proc. Design Automation Conference 2010, pp. 737-742.
- [10] P. DERLER, E.A. LEE, A. SANGIOVANNI-VINCENELLI: Modelling cyber-physical systems, Proceedings of the IEEE, Vol. 100 (1), pp. 13-28, 2012.

Cyber-Physical System-based approach for intelligent data-driven maintenance operations in the rolling area

The paper proposes the overall vision and concepts as well as an overview of the activities developed within the CyberMan4.0 project, co-funded by the European Union through the Research Fund for Coal and Steel (RFCS), which aims at developing an innovative integrated maintenance model applicable in the rolling area of steel plants. Such model supports the transition from preventive to predictive maintenance by taking into account flexibility, machine uptime, product quality and cost. The research activities include application of advanced algorithms and extended sensing equipment including one newly developed sensor and relevant connection methodologies to support the change of strategy and to provide the necessary validation. As far as sensor information processing the project includes both new algorithms development and enhancement of existing methods, in particular in the field of machine learning. Existing systems have been enriched and equipped with robust software modules that have been integrated in a smart network to enhance communication among machines and humans and support daily maintenance operations. Four relevant use industrial cases have been faced, which will be summarized in the paper.

KEYWORDS: STEEL, MAINTENANCE, ROLLING, ARTIFICIAL INTELLIGENCE

[TORNA ALL'INDICE >](#)