

Additive manufacturing, manutenzione predittiva e modelli data-driven semanticamente trasparenti

Enrico Macii, Elena Baralis, Daniele Apiletti, Tania Cerquitelli, Silvia Chiusano, Santa Di Cataldo, Elisa Ficarra, Alberto Macii

Politecnico di Torino
{nome.cognome}@polito.it

Abstract

Il presente contributo descrive le attività e le competenze di alcuni gruppi di ricerca del Politecnico di Torino che operano nell'ambito "Industrial Automation", nelle specifiche declinazioni applicative dell'additive manufacturing, della manutenzione predittiva, e della costruzione di modelli data-driven semanticamente trasparenti.

1 Introduzione

Il Politecnico di Torino ospita diversi gruppi di ricerca focalizzati sull'applicazione dell'IA in ambito industriale. Oltre a progetti europei e nazionali, la ricerca si avvale del supporto di collaborazioni con numerose aziende locali, grazie alla posizione strategica del Politecnico in un territorio altamente industrializzato e digitalizzato. Nei seguenti paragrafi si introducono i gruppi di ricerca, mentre le successive sezioni descrivono le attività tematiche svolte.

EDA Il gruppo EDA (Electronic Design Automation) diretto dal Prof. Enrico Macii è un gruppo interdipartimentale che include ricercatori del Dipartimento di Automatica e Informatica (DAUIN) e del Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio (DIST), ed è composto da oltre 30 persone (di cui 3 PO, 3 PA e 5 RTD). Traendo vantaggio da strette collaborazioni interdisciplinari con altri istituti di ricerca e con esperti del settore, le nostre attività di ricerca coprono quattro domini applicativi principali: (i) progettazione di circuiti digitali e sistemi ciberfisici a basso consumo; (ii) bioinformatica e analisi di immagini biologiche; (iii) IOT e infrastrutture software per l'ottimizzazione energetica; (iv) Industry 4.0 e smart manufacturing. Nell'ambito di quest'ultima tematica, il gruppo è coinvolto in svariati progetti finanziati, sia nazionali che europei, con attività legate alla progettazione di infrastrutture SW, integrazione e controllo di sensori a bassa intrusione e IA in ambito manifatturiero (sia tradizionale che additive).

DBDMG Il gruppo DBDMG (Data Base and Data Mining Group) del Dipartimento di Automatica e Informatica del Politecnico di Torino è costituito da 1 PO (Elena Baralis), 3 PA, 1 RTD, e diversi dottorandi e Postdoc, e si occupa dello sviluppo di algoritmi per l'estrazione di valore dai dati, tipicamente sotto forma di modelli interpretabili, basati su tecniche

di machine learning. Nell'ambito applicativo industriale, il gruppo DBDMG è impegnato nella progettazione e sviluppo di algoritmi e soluzioni innovative di industrial machine learning in vari ambiti, con particolare attenzione alla predictive maintenance e alla creazione di modelli data-driven trasparenti per la predizione e la diagnosi di fenomeni complessi. I membri del gruppo sono titolari di corsi universitari di secondo livello in ambito Data Science e partecipano attivamente fin dalla fondazione alle attività e alla direzione del centro interdipartimentale SmartData@PoliTo, polo di competenza per le tecnologie Big Data e le applicazioni di Data Science e Machine Learning.

2 Additive Manufacturing e IA

La tecnologia Additive Manufacturing (AM) è una delle più dirompenti e promettenti in molti settori dell'industria, dall'aerospazio all'automotive. Tuttavia, il suo effettivo utilizzo nell'industria manifatturiera, specialmente metallica, è ancora ridotto a causa di limitazioni nella qualità dei componenti ottenuti e nella ripetibilità del processo produttivo. Ad oggi, i difetti interni come porosità e i vuoti costituiscono un grosso problema che spesso rende impossibile trattamenti post-produzione come le finiture superficiali e trattamenti termici. Tali difetti sono spesso rilevati soltanto al termine della produzione, con notevole impatto negativo sul tempo di processamento totale. Dalla letteratura, emerge l'opinione comune che sia necessario implementare un controllo di qualità ad-hoc per le tecnologie AM, per rilevare eventuali difetti interni già nella fase iniziale o durante il processo di fabbricazione stesso [Kim *et al.*, 2018]. Questo è virtualmente reso possibile dal collezionamento in real-time di un gran numero di parametri di processo a diversi livelli di risoluzione, di immagini coassiali del letto di fusione e del letto di polvere depresso dalla macchina, e da scansioni tomografiche del pezzo in fase di produzione. L'intelligenza artificiale ha un ruolo fondamentale nell'interpretazione di questi di dati.

I cicli di controllo devono essere sviluppati a tre diversi livelli di astrazione: i) **Controllo locale** (tempo di risposta: ms). Le analitiche interpretano i dati provenienti dai sensori su una specifica macchina e comunicano un eventuale errore nella costruzione del solido (e.g. errori di tolleranza, difetti, vuoti). ii) **Controllo della Strategia di Processo** (tempo di risposta: s). Sulla base dell'interpretazione dei parametri di processo (e.g. velocità di deposizione, potenza del laser, etc.),

dei dati dei sensori e della correlazione con i difetti generati, le analitiche possono prevedere una ri-calibrazione dei parametri, eventualmente seguendo delle strategie standard pre-impostate. iii) **Auto-Adattamento** (tempo di risposta: min). I dati in uscita dalla macchina AM (o da più macchine in parallelo) vengono immagazzinati in un cloud dati aziendale, e utilizzati per migliorare gli algoritmi di correzione dei cicli i) e ii) (auto-apprendimento) e ottimizzare il processo produttivo.

Il tipo di IA (metodo di apprendimento supervisionato / non supervisionato / rinforzato) varia a seconda della quantità e tipo di dati, del tipo di azione richiesto (e.g. visione artificiale, rilevamento anomalie, riconoscimento del modello etc.) e dei fattori di controllo disponibili (e.g. supporto decisionale manuale dell'utente, pre-impostazione delle strategie di controllo della macchina, ottimizzazione dei parametri di simulazione).

Le tecniche di IA coinvolte nei processi di controllo possono essere classificate in tre categorie principali. i) **Pre-processing**: filtraggio del rumore, feature selection, dimensionality reduction etc. ii) **Knowledge extraction**: modelli di regressione, classificazione, rimozione degli outliers, rule induction, alberi di decisione, association rules, Support Vector Machine, Bayesian network, Clustering con Gaussian Mixture Models, etc.). iii) **Modelli predittivi**: reti neurali, deep networks, modellazione di serie temporali predittive, simulazione di eventi discreti, elaborazione / modellazione di dati spazio-temporali utilizzando Hidden Markov Models, etc.

Il gruppo EDA è coinvolto in un ampio numero di progetti, sia nazionali che europei, a tema AM (lista completa al al seguente link sul sito del gruppo EDA <http://eda.polito.it>). Nello specifico, le attività nel campo IA per il controllo del processo AM sono svolte nell'ambito dei progetti finanziati *STAMP (Sviluppo Tecnologico dell'Additive Manufacturing in Piemonte)*, che coinvolge un largo consorzio di aziende operanti nell'ambito dell'AM piemontese, tra cui Prima Industrie, FCA e Thales Alenia Space, e il progetto Europeo H2020 *MANUELA (Additive Manufacturing Using Metal Pilot Line)*.

3 Manutenzione predittiva e modelli semanticamente trasparenti

In ambito industriale è cruciale essere in grado di aumentare l'efficienza dei processi manifatturieri abbattendo i costi senza inficiare la qualità. A tale scopo, il passaggio dalla manutenzione programmata a quella predittiva permette non solo di ridurre i costi, ma anche di comprendere meglio il degrado qualitativo della produzione. Proprio per permettere una migliore comprensione di tali fenomeni, la ricerca è rivolta all'identificazione di algoritmi e metodologie per la trasparenza semantica dei modelli di machine learning, fornendo anche un vantaggio competitivo comprensibile e quindi sfruttabile per le aziende. I tre filoni applicativi riguardano lo sviluppo di algoritmi di IA per:

- la diagnostica remota non supervisionata tramite smartphone, basati sull'analisi spettrografica di segnali audio e l'applicazione di classificatori arricchiti da conoscenza di dominio, per superare la scarsa disponibilità di campioni di training;

- la manutenzione predittiva per la modellazione dello stato di salute di macchinari, utensili, caldaie, robot, e reti elettriche, a partire da dati eterogenei raccolti sia durante il funzionamento tramite reti IoT (Internet of Things), sia di informazioni statiche di contesto, con l'obiettivo di migliorare la qualità del prodotto/processo, ridurre i costi di fermo macchina e di intervento manutentivo, e fornire una descrizione interpretabile del fenomeno in esame [Apiletti *et al.*, 2017; Apiletti *et al.*, 2018; Giobergia *et al.*, 2018; Nisi *et al.*, 2019];
- l'analisi di dati petrografici a partire da un ridotto campione di dati di training e apprendimento automatico non supervisionato di pattern.

Le attività sono svolte sia in collaborazione con aziende (Comau, Enel, ENI, Ferrero, General Motors, Lavazza, Whirlpool, SmartDHome, ecc.), sia su progetti di ricerca finanziata, quali: IoB ("*Internet of Boilers*", regionale PoloICT 2017-2019), Disloman ("*Dynamic Integrated Shop-floor Operation MANagement for Industry 4.0*", regionale PoloICT 2016-2019), SERENA ("*VerSatilE plug-and-play platform enabling remote pREdictive mainteNance*", H2020 2017-2020).

Riferimenti bibliografici

- [Apiletti *et al.*, 2017] Daniele Apiletti, Elena Baralis, Tania Cerquitelli, Paolo Garza, Fabio Pulvirenti, e Pietro Michiardi. A parallel mapreduce algorithm to efficiently support itemset mining on high dimensional data. *Big Data Research*, 10:53–69, 2017.
- [Apiletti *et al.*, 2018] Daniele Apiletti, Claudia Barberis, Tania Cerquitelli, Alberto Macii, Enrico Macii, Massimo Poncino, e Francesco Ventura. Istep, an integrated self-tuning engine for predictive maintenance in industry 4.0. In *2018, IEEE ISPA, 16th International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications*. IEEE, 2018.
- [Giobergia *et al.*, 2018] Flavio Giobergia, Elena Baralis, Maria Camuglia, Tania Cerquitelli, Marco Mellia, Alessandra Neri, Davide Tricarico, e Alessia Tuninetti. Mining sensor data for predictive maintenance in the automotive industry. In *2018 IEEE 5th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*, pages 351–360. IEEE, 2018.
- [Kim *et al.*, 2018] Hoejin Kim, Yirong Lin, e Tzu-Liang Bill Tseng. A review on quality control in additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*, 24(3):645–669, 2018.
- [Nisi *et al.*, 2019] Matteo Nisi, Daniela Renga, Daniele Apiletti, Danilo Giordano, Tao Huang, Yang Zhang, Marco Mellia, e Elena Baralis. Transparently mining data from a medium-voltage distribution network: a prognostic-diagnostic analysis. In *3rd International workshop on Data Analytics solutions for Real-Life Applications (DARLI-AP 2019). Proceedings of the Workshops of the EDBT/ICDT 2019 Joint Conference (EDBT/ICDT 2019)*, 2019.