

Planning, Scheduling e Percezione per Flexible Manufacturing

Alessandro Cimatti, Stefano Messelodi, Andrea Micheli, Marco Roveri, Enrico Scala

Fondazione Bruno Kessler, Trento

{cimatti, messelod, amicheli, roveri, escala}@fbk.eu

Abstract

La realtà industriale mondiale ha dovuto affrontare un cambiamento significativo del mercato che da locale è diventato globale. Una delle principali conseguenze è la necessità di rendere la produzione più agile e flessibile per meglio adattarsi a richieste di lotti di piccole dimensioni ed alta qualità. Una delle principali problematiche di questa trasformazione riguarda l'organizzazione del lavoro e l'automazione di competenze che oggi sono appannaggio dei soli operatori umani.

In questo scenario, tecniche di Pianificazione, Scheduling e Percezione possono essere utilizzate per realizzare un'orchestrazione intelligente della produzione che tenga conto sia di particolari criteri di qualità che di situazioni impreviste. La generalità di queste tecniche deriva dall'utilizzo di un approccio model-based il cui obiettivo è quello di offrire rappresentazioni astratte che, attraverso l'utilizzo di linguaggi simbolici, non fanno assunzioni su particolari configurazioni industriali e/o di dominio. Per mantenere l'allineamento tra la realtà applicativa e il modello di ragionamento, l'uso di tecniche avanzate di percezione, visione e riconoscimento della scena consentono un monitoraggio continuo e l'eventuale diagnosi di comportamenti devianti dalla pianificazione prevista.

1 Introduzione

Da qualche anno a questa parte, si registra una forte tendenza nella realtà industriale italiana, e più in generale occidentale, a gestire processi produttivi caratterizzati da piccoli lotti di produzione in cui è presente una forte variabilità negli obiettivi e nelle configurazioni degli impianti. Un esempio lampante di questa tendenza si ritrova nell'industria galvanica: le grandi commesse per lotti di produzione che impegnavano un'azienda per mesi sono stati spostate su aziende cinesi o sudamericane, mentre la produzione italiana ed europea si è focalizzata su piccoli lotti in cui il valore aggiunto è la garanzia di qualità anche in situazioni di rilevante difficoltà produttiva.

Una seconda dimensione del problema è data dalla necessità di automazione di mansioni eterogenee, in cui l'investimento necessario per l'adozione di tecnologie specifiche è in-

sostenibile. Infatti, mentre un operatore umano è in grado di adattarsi a diverse mansioni a seconda delle necessità, una macchina industriale è spesso dedicata ad una sola attività che deve quindi essere centrale alla produzione per giustificare l'investimento in termini di denaro oltre che di spazio.

In questi contesti, tecniche di ragionamento automatico specifiche per il *decision-making* studiate nell'ambito dell'Intelligenza Artificiale basate sulla pianificazione e schedulazione automatica, combinate a sistemi per la percezione avanzata, sembrano fornire gli ingredienti chiave per la realizzazione di un sistema autonomo in grado di affrontare le diverse contingenze (ad esempio errori di produzione o di impianto e/o cambiamenti degli ordini di produzione, variazioni sul layout di impianto) tipiche di un sistema di produzione agile.

Le tecniche di pianificazione e schedulazione [Ghallab *et al.*, 2004], ed in particolare le soluzioni basate su un approccio model-based, consentono di automatizzare il processo di produzione senza fare particolari assunzioni su specifiche configurazioni del sistema. La principale forza di questi approcci risiede nella gestione simbolica del problema computazionale attraverso concetti e strutture di tipo generale. Tali rappresentazioni permettono di tradurre vari problemi di automazione nella ricerca di opportune orchestrazioni di azioni atte a far fronte alle diverse contingenze tenendo conto di molteplici vincoli (tempi, risorse, occupazione spaziale). La percezione avanzata è invece lo strumento che garantisce una corretta valutazione della situazione contingente. Questo avviene attraverso un'interpretazione avanzata ed intelligente dello scenario in questione, da utilizzare per inferire e diagnosticare le contingenze e costruire una rappresentazione simbolica adeguata. Una corretta armonizzazione delle tecniche di pianificazione e schedulazione, oltre che di percezione avanzata consentono la realizzazione di un ciclo continuo di orchestrazione, esecuzione e monitoraggio funzionale ad ottenere operazioni robotiche flessibili.

2 Architettura ed Esperienze Passate

La Figura 1 mostra, in maniera astratta, il flusso di funzionamento del sistema che abbiamo adottato in questo campo in diversi progetti applicativi; particolare evidenza è data agli aspetti di pianificazione, schedulazione e percezione. Il sistema viene inizializzato con una specifica richiesta di produzione, la quale, dopo opportuna traduzione in un linguaggio che sia interpretabile da un sistema informatico, avvia una

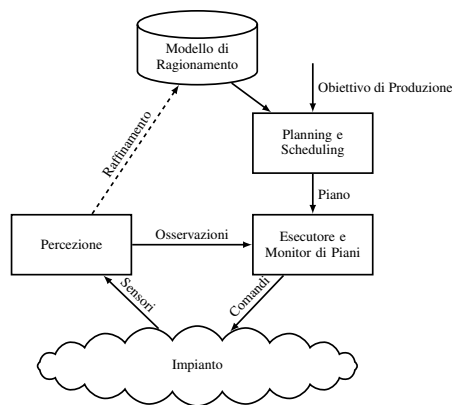


Figura 1: Schema architetturale di comunicazione dei componenti.

fase di ragionamento automatico che coinvolge il modulo di pianificazione e schedulazione. Tale modulo è responsabile della sintesi e dell'organizzazione di un certo numero di attività collocate nel tempo. Come è possibile vedere dalla figura, il modulo utilizza dei modelli di ragionamento che rappresentano in maniera predittiva il dominio di riferimento. La loro capacità predittiva consiste nel mappare gli effetti di alcune decisioni in cambiamenti di stato secondo una relazione di causa ed effetto. Questi modelli, insieme alle richieste pervenute dall'esterno, permettono la realizzazione di collezioni di attività che sono sia realizzabili (assumendo che il modello sia fedele alla realtà) che rispondenti alle richieste specifiche di produzione. Tali attività possono essere soggette a vincoli di natura temporale o necessitare di risorse per essere eseguite: per questo motivo, il piano è trasmesso ad un componente di esecuzione e monitoraggio che si occupa di scomporre il piano in comandi elementari da trasmettere agli attori nell'impianto (che possono essere sia attuatori meccatronici che operatori umani). Al fine di gestire condizioni di potenziale deviazione dal comportamento nominale del sistema, il modulo di esecuzione, in armonia con il modulo di pianificazione e schedulazione, ha il compito di supervisionare e potenzialmente intervenire sfruttando le osservazioni che il componente di percezione rileva dai sensori presenti sull'impianto. Tali osservazioni sono usate per assicurare la sicurezza e diagnosticare il prima possibile eventuali problemi nell'esecuzione. Nello specifico, il modulo di percezione ha il compito di interpretare la scena corrente e di trasformare i dati percepiti in rappresentazioni logiche dotate di una ben definita semantica. È solo attraverso questa operazione di traduzione che i moduli decisionali possono operare in maniera efficace.

Quest'architettura è stata declinata ed implementata in diversi progetti sia commerciali che di ricerca in cui la Fondazione Bruno Kessler (FBK) è stata coinvolta:

- iLEVATOR ed iLAADR, che affrontano il problema di pianificare una flotta di veicoli a guida automatica per l'intra-logistica in un impianto produttivo a catena di montaggio [iLAADR, 2016; iLEVATOR, 2017].
- MAIS, per il problema di automazione di impianti galvanici attraverso planning e scheduling [Micheli e Scala, 2019].

- AWARD, per la gestione e l'automazione delle logistica in un magazzino di supply-chain per attrezzature mediche [Vermeer *et al.*, 2018].

3 Sfide ed Opportunità

Nonostante la soddisfacente applicazione delle tecniche di planning, scheduling e percezione nei progetti sopracitati, persistono interessanti sfide di ricerca e diverse opportunità di applicazione delle tecnologie in contesti diversi. In particolare, riconosciamo le seguenti tre direzioni.

- Le tecnologie di pianificazione e schedulazione automatica utilizzano modelli del mondo talvolta troppo semplificati. Questo induce delle implicazioni sul modello esecutivo abbastanza significative che impattano l'ottimalità del sistema. Lavorare con modelli astratti può infatti comportare un certo grado di subottimalità sulle scelte e l'organizzazione delle attività. Un significativo sforzo in una direzione che renda tali modelli più ricchi ma nello stesso tempo efficienti è una delle sfide di ricerca caratteristiche di Industry 4.0.
- Adattabilità e revisione dei modelli predittivi. Come abbiamo visto nello schema generale dell'architettura, il modulo decisionale di pianificazione e schedulazione utilizza dei modelli predittivi dell'ambiente. Talvolta tali modelli non sono corretti, o cambiano per effetto dell'operato di eventi esogeni che non sono sotto il controllo del sistema intelligente. Pertanto, è necessario verificarne la validità ed opportunamente aggiornare la modellazione con delle nuove valutazioni (sia simboliche che numeriche). Questo aspetto è particolarmente rilevante su tutti gli aspetti quantitativi (p.es. tempistiche, consumi, ecc.) che risultano di difficile predizione. Anche sotto questo aspetto, ci sono delle interessanti sfide di ricerca in quanto non è chiaro come intrecciare in maniera sistematica il ragionamento automatico con tecnologie di apprendimento automatico (p.es. basate su *Deep Learning*).
- Il modulo di percezione è responsabile del controllo delle azioni pianificate al fine di rilevarne la corretta esecuzione. Tra le modalità percettive, il rilevamento e l'analisi di immagini che ritraggono il processo da monitorare sta assumendo un ruolo di sempre maggior rilievo. Infatti, grazie ai significativi progressi assicurati dalle più recenti tecniche di Intelligenza Artificiale è realistico pensare di ottenere una interpretazione della scena accurata e in tempo reale, riconoscendone gli oggetti presenti, la loro interazione, fino a fornire una ricostruzione 3D (o 4D) dettagliata della scena stessa.

Riferimenti bibliografici

- [Ghallab *et al.*, 2004] M. Ghallab, D. S. Nau, e P. Traverso. *Automated planning - theory and practice*. Elsevier, 2004.
- [iLAADR, 2016] iLAADR. iLAADR project. <https://robotik.dfki-bremen.de/en/research/projects/ilaadr.html>, 2016.
- [iLEVATOR, 2017] iLEVATOR. iLEVATOR project. <https://www.eitdigital.eu/newsroom/news/article/the-factory-of-the-future-is-coming-courtesy-of-eit-digital/>, 2017.
- [Micheli e Scala, 2019] A. Micheli e E. Scala. Temporal planning with temporal metric trajectory constraints. In *AAAI*, 2019.
- [Vermeer *et al.*, 2018] S. Vermeer, A. Gising, L. Palopoli, M. Roveri, e V. Simon. AWARD prj. <https://www.eitdigital.eu/fileadmin/files/2018/factsheets/digital-industry/AWARD-Factsheet.pdf>, 2018.