

Controllo avanzato nei settori siderurgico, cementizio, idrico

Zanoli Silvia Maria

LISA (Laboratory for Interconnected Systems Supervision and Automation)

DII (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione)

Università Politecnica delle Marche, Via Brecce Bianche 12, 60131 Ancona (AN)

s.zanoli@univpm.it

Astolfi Giacomo, Orlietti Lorenzo, Pepe Crescenzo, Valzecchi Chiara

Alperia Bartucci SpA, Corso Vittorio Emanuele II 36, 37038 Soave (VR)

Crescenzo.Pepe@alperiarbartucci.it

Keywords – Advanced Process Control, Model Predictive Control, energy saving, industria dell'acciaio, industria del cemento, rete di distribuzione idrica.

Negli ultimi anni, gli avanzamenti dell'automazione hanno portato ad una sempre più frequente applicazione dei sistemi di controllo avanzato (APC, Advanced Process Control) in diversi ambiti. Come noto, i sistemi APC sono nati nell'industria di processo, ma al giorno d'oggi si sta assistendo ad un processo di cross fertilization verso altri settori. In particolare, nel caso di sistemi basati su metodologie di controllo predittivo tale fenomeno è giustificato dal approccio multivariabile di tali metodologie e dalla formulazione in grado di garantire il compromesso desiderato tra specifiche contrastanti, come ad esempio la minimizzazione dell'impatto ambientale e la massimizzazione della produzione.

Il gruppo di ricerca del LISA (Laboratory for Interconnected Systems Supervision and Automation) studia e sviluppa sistemi APC. Nel 2013 è stata avviata una collaborazione con la società i.Process, mirata allo sviluppo di pacchetti proprietari APC per industrie di processo. I primi casi di studio che sono stati presi in considerazione sono stati i forni di riscaldamento di billette nell'industria dell'acciaio e i forni rotativi per la produzione del clinker nell'industria del cemento [1], [2].

Nella moderna industria dell'acciaio, una sfida importante è rappresentata dalla richiesta di aumento dell'efficienza energetica dei forni di riscaldamento di billette, ottenuta mediante l'aumento del grado di automazione di tali impianti. Tali forni precedono la fase di laminazione la quale, per l'ottenimento di ciascun prodotto finito (tondini, profilati di acciaio etc), necessita che i semilavorati (billette, brame, etc) all'interno del forno subiscano un adeguato profilo di riscaldamento. I sistemi di controllo avanzato sviluppati sono in grado di migliorare la gestione del consumo di combustibile garantendo le specifiche di laminazione e adattandosi a temperature di ingresso delle billette nel forno molto variabile e a tempi di chiamata dai laminatoi non costanti. Al fine di perseguire tale obiettivo, si è scelto di adottare tecniche di controllo predittivo (Model Predictive Control, MPC) basate su modelli lineari. Per modellare il processo di riscaldamento nel forno, è stato formulato un modello ai principi primi per l'ottenimento di relazioni accurate tra le temperature delle varie zone del forno e la temperatura delle singole billette al suo interno. Tale modello può essere utilizzato per lo sviluppo di un sensore virtuale che fornisce la temperatura dei vari strati di ogni singola billetta [3]. Per riprodurre lo spostamento di ogni singolo semilavorato dall'ingresso all'uscita del forno, è stato realizzato un sistema di tracciamento. Un approccio black-box è stato adottato per modellare l'effetto dei bruciatori (aria/gas) di ogni zona del forno sulle varie temperature di zona, ottenendo modelli lineari. È stato quindi costruito un modello globale non lineare del forno di riscaldamento. Opportune linearizzazioni sono state effettuate per la progettazione del controllore avanzato MPC. Il sistema di controllo, mediante procedure di adattamento online del modello e degli orizzonti temporali [4], garantisce l'ottimizzazione del forno in tutte le condizioni operative quali ad esempio *marcia regolare*, *soste del forno programmate*, *soste del forno non programmate*. Con *marcia regolare* si intende quando le billette vengono fatte avanzare nel forno di riscaldamento senza interruzioni temporali, si hanno invece *soste programmate* quando l'avanzamento delle billette viene arrestato, ad esempio a causa di cambiamenti nella linea di produzione, infine sono da prevedere situazioni di *soste non programmate* dove

l'avanzamento delle billette viene improvvisamente arrestato, ad esempio a causa di un incaglio nella fase di laminazione. Il sistema di simulazione e controllo realizzato è stato installato dalla i.Process (ora Alperia Bartucci SpA [5]) in sei acciaierie europee (tra il 2014 e il 2018), ottenendo migliorie al controllo di processo [6], [7]. In tutte le applicazioni è stata ottenuta una minimizzazione del consumo specifico medio annuo di combustibile compresa tra il 2 % e il 6 %, raggiungendo i titoli di efficienza energetica (TEE) [8]. Il metodo di controllo per forni di riscaldamento sviluppato è stato premiato con un brevetto italiano [9]. La prima installazione del sistema (anno 2014, acciaieria italiana) ha ricevuto, nel 2015 nell'ambito dei CESEF (Centro Studi sull'Economia e il Management dell'Efficienza Energetica) Energy Efficiency Awards., il "Project Energy Efficiency Award" grazie al fatto di aver introdotto innovazioni importanti nel settore siderurgico.

Lo studio di sistemi avanzati di controllo è stato indirizzato anche nell'ambito dell'industria del cemento. In tale ambito, una problematica interessante sia dal punto di vista teorico che applicativo è rappresentata dall'ottimizzazione dei forni rotativi per la produzione del clinker. Il clinker è la componente principale del cemento e la sua produzione è un processo notevolmente energivoro e cruciale in termini di impatto ambientale e qualità del prodotto. Adottando nuovamente tecniche di controllo predittivo MPC [10], [11] è stato realizzato un pacchetto proprietario APC. Dal punto di vista teorico, una caratteristica importante del processo considerato è la presenza di ritardi considerevoli sui canali ingresso/uscita; contributi metodologici sono stati apportati per le politiche di rilassamento dei vincoli di processo operando, in considerazione dei ritardi presenti, strategie intelligenti di selezione delle variabili slack. La tecnica sviluppata prevede che il numero di variabili slack inserite nel problema di ottimizzazione MPC sia correlato al numero di ritardi diversi presenti su ogni canale ingressi/uscita [12]. Il pacchetto realizzato è stato installato in due cementifici italiani (tra il 2013 e il 2014) e in entrambi i casi si è arrivati all'ottenimento dei TEE [13].

Nel 2018 è stato avviato un processo di *cross fertilization* tra i settori siderurgico e cementizio e il settore idrico. In particolare, ci si è focalizzati sulle reti di distribuzione idrica. Una rete di distribuzione idrica è composta essenzialmente da stazioni di pompaggio e dalla parte di distribuzione dagli utenti. Per quanto riguarda le stazioni di pompaggio, le quali hanno il compito di trasportare l'acqua tra punti strategici della rete (per esempio dalle falde acquifere ai serbatoi, per poi essere distribuita agli utenti), sta divenendo di fondamentale importanza poter garantire procedure automatiche e intelligenti di switch on/off delle singole pompe. Lo scopo è la massimizzazione della vita media di ogni pompa e la minimizzazione del consumo di energia. Per quanto riguarda la parte di distribuzione agli utenti, sfide interessanti sono la minimizzazione delle perdite lungo la rete (ad esempio mediante la minimizzazione della pressione di rete) e l'anticipo/predizione dei picchi di domanda idrica. Il caso di studio considerato aveva come obiettivo l'ottimizzazione della gestione di un distretto di una rete di distribuzione idrica e di tre stazioni di pompaggio. E' stato quindi realizzato un sistema APC dedicato al settore idrico [14]. La parte relativa all'ottimizzazione della gestione del distretto è stata basata su un controllore MPC orientato alla minimizzazione della pressione dei punti critici della rete. Al fine di progettare il controllore, i set-point di pressione delle valvole regolatrici sono stati opportunamente legati alle pressioni dei punti critici della rete mediante un modello lineare multivariabile. Nella matrice di controllo sono stati inseriti diversi disturbi, come ad esempio le portate da/verso il distretto. Per quanto riguarda le stazioni di pompaggio, è stato sviluppato un ottimizzatore in grado di gestire in maniera autonoma gli switch on/off delle pompe tenendo in considerazione i vincoli dei livelli dei serbatoi ad esse connessi, la massimizzazione dell'utilizzo di fonti alternative di energia (come ad esempio quella generata dai pannelli fotovoltaici) e la massimizzazione della vita media di ogni singola pompa. L'intero sistema APC è robusto a condizioni di "freezing" dei segnali, dovute ad esempio a ritardi di trasmissione. Il sistema APC è stato commissionato nel mese di marzo 2019: grazie al controllo predittivo multivariabile, nell'attuale pressione di rete sta registrando un'importante abbassamento percentuale dei valori medi e varianza contenuta ; inoltre, la gestione automatica e intelligente delle stazioni di pompaggio ha eliminato le incertezze e le manovre non ottime dovute alla precedente gestione manuale degli operatori. La certificazione dei risparmi generati e l'analisi di tutti i Key Performance Indicator (KPI) sono in corso di valutazione [14].

La specifica configurazione hardware e software dei sistemi APC realizzati, costituita da un PC interconnesso alla rete di stabilimento in grado di ospitare gli algoritmi che supervisionano il processo produttivo e generano i comandi che automaticamente vengono inviati al processo stesso, rende le soluzioni proposte eleggibili ai benefici fiscali previsti della Legge 11 dicembre 2016, n. 232 ("Industria 4.0").

Riferimenti

- [1] S. M. Zanolì, L. Barboni, F. Cocchioni, C. Pepe, "Advanced Process Control aimed at energy efficiency improvement in process industries," in: Proceedings of IEEE 19th International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2018, pp. 57-62. doi: <https://doi.org/10.1109/ICIT.2018.8352152>
- [2] S. M. Zanolì, F. Cocchioni, C. Pepe, "Energy efficiency technologies in cement and steel industry," IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES) Journal, vol. 121, no. 1, 2018. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/121/5/052083>
- [3] G. Astolfi, L. Barboni, F. Cocchioni, C. Pepe, S. M. Zanolì, "Optimization of a pusher type reheating furnace: an adaptive Model Predictive Control approach," in: Proceedings of 6th International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes (AdCONIP), 2017, pp. 19-24. doi: <https://doi.org/10.1109/ADCONIP.2017.7983749>
- [4] S. M. Zanolì, F. Cocchioni, C. Pepe, "Model Predictive Control with horizons online adaptation: a steel industry case study," in: Proceedings of IEEE 16th European Control Conference (ECC), 2018, pp. 2332-2337. doi: <https://doi.org/10.23919/ECC.2018.8550332>
- [5] <https://alperiabartucci.it/>
- [6] S. M. Zanolì, F. Cocchioni, C. Pepe, "MPC-based energy efficiency improvement in a pusher type billets reheating furnace," Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal, Special Issue on Advancement in Engineering Technology, vol. 3, no. 2, pp. 74-84, 2018. doi: <http://dx.doi.org/10.25046/aj030209>
- [7] S. M. Zanolì, C. Pepe, "Two-Layer Linear MPC Approach Aimed at Walking Beam Billets Reheating Furnace Optimization," Journal of Control Science and Engineering, vol. 2017, 2017, Article ID 5401616, 15 pages. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/5401616>
- [8] G. Astolfi, L. Barboni, F. Cocchioni, M. Dai Prè, D. Manganotti, L. Orlietti, C. Pepe, S. M. Zanolì, "Optimization of steel industry billets reheating furnaces: an EPC-based APC approach," in: Proceedings of 7th International Congress on Science and Technology of Steelmaking (ICS) (The Challenge of Industry 4.0), 2018.
- [9] G. Astolfi, L. Barboni, F. Cocchioni, C. Pepe, "Metodo per il controllo di forni di riscaldamento," Brevetto Italiano n. 0001424136, Ufficio Italiano Brevetti e Marchi (UIBM), 2016.
- [10] G. Astolfi, L. Barboni, D. Barchiesi, F. Cocchioni, L. Orlietti, C. Pepe, M. Rocchi, S. M. Zanolì, "Optimised clinker production," International Cement Review (ICR), pp. 71-73, April 2017.
- [11] S. M. Zanolì, C. Pepe, M. Rocchi, "Improving Performances of a Cement Rotary Kiln: a Model Predictive Control Solution," Journal of Automation and Control Engineering (JOACE), vol. 4, no. 4, pp. 262-267, 2016. doi: [10.18178/joace.4.4.262-267](https://doi.org/10.18178/joace.4.4.262-267)
- [12] S. M. Zanolì, C. Pepe, "A constraints softening decoupling strategy oriented to time delays handling with Model Predictive Control," in: Proceedings of IEEE American Control Conference (ACC), 2016, pp. 2687-2692. doi: <https://doi.org/10.1109/ACC.2016.7525324>
- [13] G. Astolfi, L. Barboni, D. Barchiesi, F. Cocchioni, L. Orlietti, C. Pepe, M. Rocchi, S. M. Zanolì, "i.Process | Cement: Ottimizzazione della produzione di clinker con tecniche di controllo avanzato," Automazione e Strumentazione Journal, pp. 54-59, March 2018.
- [14] C. Pepe, G. Astolfi, L. Orlietti, C. Valzecchi, "Optimal Scheduling of Pumping Stations and Pressure Minimization of a Water Distribution Network," waiting for review in: 15th European Workshop on Advanced Control and Diagnosis (ACD), 2019.