

Il Monitoraggio delle Prestazioni degli Impianti nello Scenario dell'Industria 4.0

Claudio Scali^(1,2,3), Riccardo Bacci di Capaci⁽¹⁾, Evaldo Bartaloni⁽³⁾

(1) Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale – Università di Pisa,

Largo L. Lazzarino, n.2 56126 Pisa; claudio.scali@unipi.it

(2) Consorzio Polo Tecnologico Magona (CPTM), Via Magona, snc, 57023 Cecina (LI)

(3) CLUI Automazione e Strumentazione, c/o CPTM, 57023 Cecina (LI)

SOMMARIO

L'industria di processo può cogliere pienamente i vantaggi derivanti dalle tecnologie dell'Industria 4.0, vista in una prima accezione più orientata verso l'industria manifatturiera. Il riferimento è un sistema di monitoraggio delle prestazioni di loop di controllo, sviluppato dall'Università di Pisa ed applicato da oltre un decennio in raffineria ed impianti di potenza. La sua evoluzione e le possibili estensioni, tenendo conto del feedback da parte degli utilizzatori, indicano il ruolo che le tecnologie tipiche dell'Industria 4.0 possono giocare.

1. INTRODUZIONE

In un periodo di grande fermento con numerose iniziative rivolte all'illustrazione delle caratteristiche e delle opportunità dell'Industria 4.0, si ha a volte la convinzione che questa riguardi principalmente l'industria manifatturiera e marginalmente l'industria di processo. Questa presentazione vuole mettere in risalto come il monitoraggio delle prestazioni dei sistemi di controllo sia un primo passo significativo ed ineludibile per raccogliere i benefici attesi di un automazione industriale spinta ed integrata e come l'integrazione con le nuove metodologie e tecniche proposte può portare alla ottimizzazione dell'intero impianto.

Viene illustrata l'evoluzione di un sistema di monitoraggio delle prestazioni, in grado di individuare le principali cause di malfunzionamento dei loop di regolazione e indicare le azioni da intraprendere.

L'evoluzione è stata resa possibile dalla disponibilità di misure di ulteriori variabili di processo per mezzo di sensori intelligenti e di sistemi di comunicazione a bus di campo; ciò permette una diagnostica più raffinata, con maggiore efficacia sulla individuazione delle cause e sulle indicazioni agli operatori per manutenzione e calibrazione degli elementi.

Dopo un'esperienza ormai decennale su migliaia di loop mantenuti sotto supervisione, sono evidenti e quantificabili i benefici che si ottengono dalle applicazioni del sistema di monitoraggio in almeno tre scenari riguardanti: verifica buon funzionamento dei loop di base prima di applicazioni di controllo avanzato (controllo multivariabile o ottimizzazione in tempo reale); retuning periodico dei regolatori (ottimizzazione loop di base); valutazione stato di funzionamento delle valvole (programmazione e verifica della manutenzione).

Se da una parte il monitoraggio delle prestazioni del sistema di controllo è un primo passo significativo, dall'altra le tecnologie disponibili in ambito Industria 4.0 hanno le potenzialità per aumentare enormemente i benefici ottenibili. Basta pensare all'analisi di tutti i dati disponibili nel loop (non soltanto quelli relativi allo stato del componente o richiesti per l'emissione del report), alla estensione ad altri componenti (macchinario in generale), all'integrazione di sistemi di allarme e procedure di sicurezza, fino alla inclusione di altre variabili per arrivare ad una valutazione globale dell'impianto (ad esempio: dispersioni termiche, corrosione apparecchiature, emissioni dall'impianto).

Con questa premessa, la struttura dell'articolo è la seguente: le sezioni 2 e 3 descrivono il sistema di monitoraggio base e la sua evoluzione con la disponibilità di misure ausiliarie, la sezione 4 introduce spunti per apertura alle tecnologie dell'industria 4.0, tenendo conto del feedback degli utilizzatori. Seguono le conclusioni (sezione 5).

2. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO BASE (PCU)

Il sistema di monitoraggio delle prestazioni PCU (Plant-Check Up) è stato sviluppato nel Laboratorio di Controllo dei Processi Chimici dell'Università di Pisa [1] ed è in grado di diagnosticare le principali cause di malfunzionamento dei loop di regolazione di base, indicando le azioni da intraprendere. Le principali cause possono essere ricondotte a presenza di disturbi esterni, tuning scadente dei regolatori, malfunzionamento di valvole e sensori, interazioni da altri loops. Queste si manifestano come oscillazioni nelle variabili controllate e quindi la loro individuazione per effettuare l'intervento più appropriato è di fondamentale importanza (nei 4 casi: intervento a monte, retuning dei regolatori, manutenzione strumenti, passaggio a schemi multivariabili).

La disponibilità di variabili diverse permette di distinguere tra una versione base (PCU) e una versione avanzata (PCU⁺) con prestazioni nettamente superiori. Le diverse variabili disponibili sono schematizzate nella Figura 1.

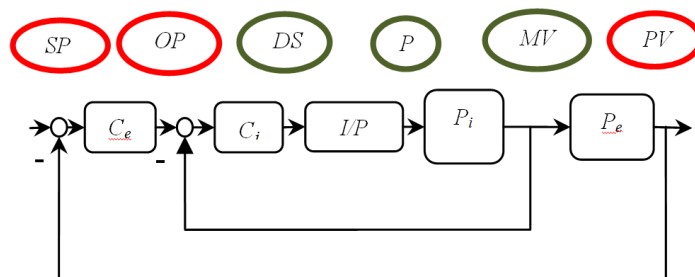


Figura 1: Variabili disponibili in un loop di regolazione

La versione base del sistema fa riferimento ai dati resi disponibili da impianti di vecchia progettazione, di fatto tre variabili: Set Point (SP), Variabile Controllata (PV) e Uscita dal Regolatore (OP) ed è installata in impianti di raffineria (ENI). La versione più avanzata fa riferimento a ulteriori dati resi disponibili attraverso sistemi di comunicazione a Bus di Campo da dispositivi intelligenti, come posizione della valvola (MV), pressione e segnale al posizionatore (P, DS), oltre a parametri di sicurezza e integrità di strumenti e attuatori. Questa versione installata in impianti di potenza (ENEL) e resa disponibili per gli utenti CLUI AS (Club Utilizzatori Industriali di Automazione e Strumentazione), permette una diagnostica più raffinata.

In effetti la presenza di attrito nella valvola è una delle più frequenti cause di malfunzionamento. In assenza di variabili interne alla valvola, l'attrito deve essere diagnosticato dal confronto della PV e della OP: tecniche aventi questa finalità sono state oggetto di intensa attività di ricerca negli ultimi anni [2,3,4,5]. Il sistema PCU applica tecniche diverse sui dati acquisiti, in modo da poter esprimere un verdetto nei casi in cui c'è una certezza assoluta al fine di evitare falsi allarmi. Il fenomeno dell'attrito è comunque un fenomeno relativamente lento e la sua evoluzione può essere seguita con acquisizioni successive. La quantificazione dell'attrito è anche un aspetto di grande importanza per valutare la rilevanza del fenomeno ed è oggetto di attività di ricerca attuale [6,7].

L'altra importante causa di malfunzionamento e richiesta di intervento sui loop di base riguarda il tuning dei regolatori; il sistema permette di trattare loop a SP costante e variabile e tenere conto della tipologia del loop (livello, portata, pressione, temperatura) nella definizione dei valori di soglia degli indici di prestazione. La calibrazione di questi indici è certamente una delle fasi nella quale l'esperienza e le competenze degli operatori giocano un ruolo fondamentale.

L'architettura del sistema di monitoraggio è costituita da una serie di Moduli tra loro interagenti (vedi Figura 2); tra questi: Modulo Utente (MU: configura i loop, verifica lo stato di avanzamento, interroga il data base per visualizzazione e report); Modulo di Scheduling (MS: stabilisce la gerarchia, l'ordine e la frequenza di acquisizione); Archivio (DB: conserva parametri e dati acquisiti dal DCS attraverso i Moduli di Acquisizione MAi e i verdetti emessi dalla PCU). Il sistema PCU è il motore della struttura ed opera fuori linea in maniera sequenziale sui dati dei loop da DB.

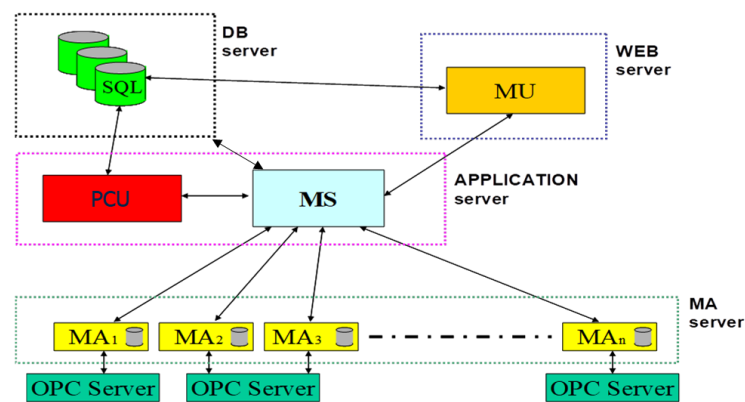


Figura 2: Architettura del sistema

Nella Figura 3 è riportata l'immagine globale di tutti i loop monitorati sull'impianto con indicazioni del loro status. Con click sul singolo impianto e singoli loop è possibile visualizzare l'andamento delle variabili di interesse (attuale e storico); un esempio di loop con attrito è riportato in Figura 4.

	Gruppo	Total	Absent	Aggressive Controller	Disturbance	Invalid Identification	Maxval Value	MIC Err	Not Res	Stuckness Value	Staggish Controller	Stiction	Uncertain
2	Bismudati	17	10				7						
3	BITUMI_MO	27	2				7		3	15			
4	Blender	8					6			2			
5	CS	17	5			1			3	4		2	2
6	CS6	19	6		3	1			2	4		3	
7	DEA	30	12		3	1	3		3	3			
8	Forni Curb	41	17	1	3	2	5		2	3	3	4	1
9	Forni Lube	50	22	1			3	2	3	2		2	1
10	FT1	47	12				11		7	1	13	2	
11	FT2	52	26		1	1	18	1	1	3	3	1	
12	HD2	38	18	1			6		2	7		2	1
13	HD3	45	24		4		7		2	3	3	2	
14	HF2	12	3				1			1		1	
15	HF3	14	5				1			1		1	
16	Hotoil1	10	3				3			4			
17	Hotoil2	2					1						
18	HSV	20	10				3		3	1	2	1	
19	MEK1	144	30	1	5		24		1	41	5	16	4
20	MEK2	101	31	4		1	23		22	3	11		
21	MEROX	15	5				7			1		1	1
22	Purifier	34	5				3			20			
23	PDA	45	15	1			7		12	7	3	10	2
24	PLAT	65	26	1	2	3	12		12	4	4	1	2
25	Sodi	18	3				1		1	3			
26	STABA	18	10			3				1			
27	SV9	11	4	1	2		1		1	2			
28	T103	16	3				1		4	1	1	1	
29	T104	18	5				2		1	5	1		
30	T2	12	4			2	2		1	1	1	3	
31	T2EX	15	7			1	3		2	1	1	1	
32	TIP	46	17			1	8	1	2	8	1	6	1
33	Topping	62	28	1			18		2	9	2	6	1
34	UNI1	15	5				1		1	1			
35	UNI2	26	8	1	3	1	4		2	2	1	2	2
36	VPS	60	3				21		3	5	1	13	2
37	WasVocum	13	6				1		2			1	3
38	Zolfo	84	20	1	4	5	29		4	10	4	15	1

Figura 3: Visione globale dello stato dei loop monitorati

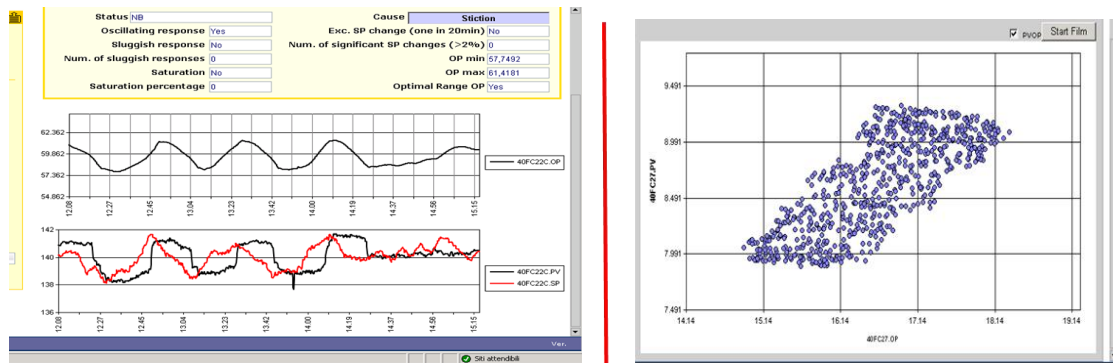


Figura 4: Dettaglio singolo loop (caso di attrito); sx: $SP(t)$, $OP(t)$, $PV(t)$; dx: $PV(OP)$

3. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO AVANZATO (PCU⁺)

La disponibilità di misure di variabili addizionali possibile attraverso strumentazione intelligente (posizionatori di nuova generazione e trasmissione di segnali mediante bus di Campo) ha portato alla versione avanzata (PCU⁺). In questa è possibile una valutazione più immediata dello stato della valvola, con una individuazione di cause specifiche di malfunzionamento (attrito, perdita di aria, sporcamento e occlusione dell'ugello), distinguendo cause meccaniche da cause di tipo elettrico o altro [8].

In particolare la posizione della valvola MV, o lo scostamento rispetto alla posizione desiderata OP, ($TD=MV-OP$) risulta determinante per una completa caratterizzazione dell'attrito nell'attuatore. Attraverso la definizione di alcuni indici di prestazione ausiliari (6 indici basati sui valori delle 4 variabili acquisite), è possibile stabilire tre stati di funzionamento dell'attuatore (Buono, Allerta, Allarme) che richiamano l'attenzione dell'operatore in maniera molto diretta (colori diversi). Il diagramma di flusso del sistema in questo caso è riportato in Figura 5: si può vedere come la disponibilità della variabile MV apre la possibilità di un cammino alternativo dedicato alla caratterizzazione dell'attuatore (a destra nella figura), cammino che si aggiunge a quello del sistema di base PCU (a sinistra nella figura).

La disponibilità di altre 2 variabili Drive Signal (DS) e Pressione al convertitore (P) (in totale 6 variabili) porta alla definizione di altri indici ausiliari (in totale 10) e quindi ad una completa caratterizzazione delle cause specifiche di malfunzionamento.

L'acquisizione di ulteriori segnali relativi alla integrità degli elementi porta ad una immediata evidenza dello stato del loop, evidenziando specifici problemi di allarme o di malfunzionamento dell'attuatore. Una rappresentazione schematica della schermata di visualizzazione dei singoli loop è riportata in Figura 6: da questa, attraverso click e zoom successivi, è possibile avere una rappresentazione immediata degli andamenti attuali e storici di tutte le variabili di interesse.

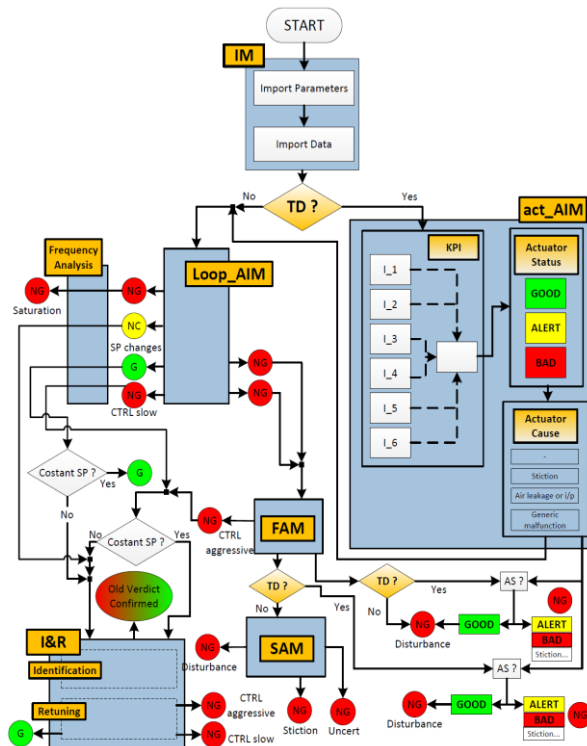


Figura 5: Diagramma di flusso del sistema PCU⁺, nel caso di disponibilità di MV

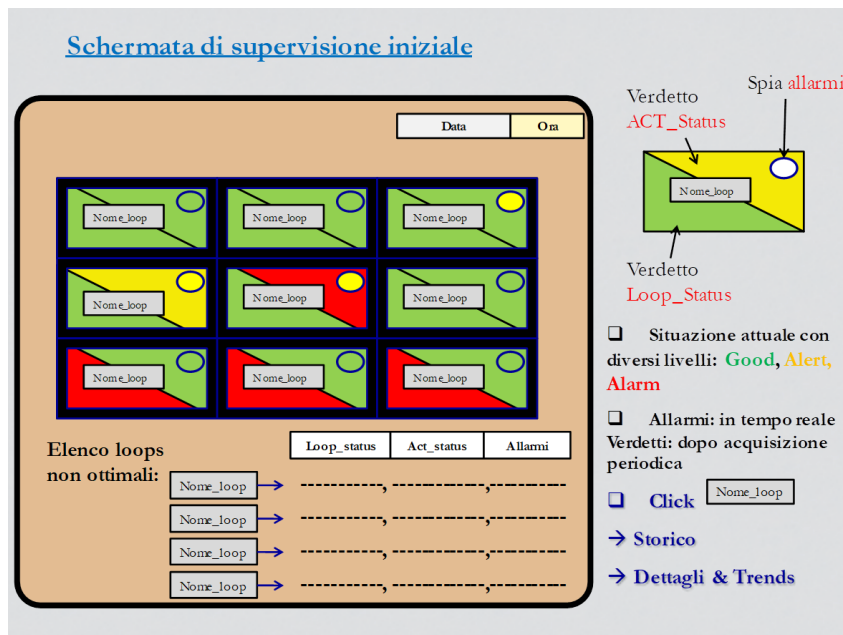


Figura 6: Schermata di supervisione iniziale sistema PCU⁺

4.POSSIBILI SVILUPPI NELLO SCENARIO INDUSTRIA4.0

L'evoluzione del sistema di monitoraggio dalla versione base PCU alla versione avanzata PCU⁺ è stata resa possibile dalle applicazioni sugli impianti di nuova progettazione delle nuove tecnologie, riguardanti sensori e sistemi di comunicazione.

La sperimentazione relativa è stata effettuata sull'impianto pilota IdroLab di proprietà di ENEL, situato presso l'area di ricerca di Livorno. L'impianto consiste in due moduli (uno

freddo e uno caldo) che permettono di riprodurre su scala pilota problematiche di controllo e di malfunzionamento incontrate sugli impianti di potenza e di sperimentare componenti e tecniche di riconoscimento innovative.



Figura 7: L'impianto pilota IdroLab

L'impianto è ora stato trasferito presso il Consorzio Polo Tecnologico Magona di Cecina, con l'obiettivo di farlo un impianto dimostrativo delle potenzialità delle tecnologie disponibili in ambito Industria 4.0

E' fuori di dubbio che le gran parte delle tecnologie denominate "abilitanti" dal piano nazionale MISE Industria 4.0 possono trovar applicazione nei sistemi di monitoraggio delle prestazioni e permettere di aumentare enormemente i benefici ottenibili. Di seguito si indicano alcune direzioni nelle quali sono prevedibili sviluppi significativi e anche le prevedibili difficoltà realizzative, tenendo conto anche del feedback da parte degli utilizzatori.

È stato detto come il monitoraggio dello stato di funzionamento della valvola (incluso la gestione degli allarmi) si sia rilevato come uno dei fattori più importanti nel determinare le prestazioni del loop controllato e quindi la manutenzione delle valvole è certamente una delle operazioni da ottimizzare, includendo anche altri aspetti oltre all'attrito (quali trafilamento e blocco) che portano a "fuori servizio" della valvola. Vantaggi ancora maggiori si hanno nell'estensione dell'approccio alla supervisione di altre apparecchiature e macchinari presenti sull'impianto in modo da costituire un sistema generale di monitoraggio e previsione della manutenzione.

Analogamente, le prestazioni dei regolatori hanno una importanza diretta sulla gestione in termini di consumi e di qualità del prodotto e quindi sulla produttività dell'impianto; campagne di retuning periodico sono importanti ma attualmente richiedono un impegno da parte degli operatori nella conduzione delle stesse. La diminuzione di risorse assegnate per questi compiti e le diverse priorità incontrate nella gestione ordinaria chiamano verso una completa automazione di queste attività, includendo ad esempio funzionalità di auto-tuning [9]. Il passo successivo è quello di arrivare ad un sistema globale di monitoraggio che permetta una valutazione complessiva dello stato dell'impianto, includendo nelle variabili di prestazione non soltanto le variabili del loop, ma in generale tutte quelle che possono permetterne una quantificazione della conduzione (emissioni di inquinanti, consumi di ausiliari, dispersioni di calore, corrosione di apparecchiature,..) e la sua evoluzione nel tempo.

Un ulteriore sviluppo molto importante può essere individuato nel settore della sicurezza e in particolare nell'analisi del rischio. L'approccio attuale è quello di basarsi su valutazioni

effettuate periodicamente, spesso sulla base di valori di archivio delle variabili più significative. L'analisi delle cause di recenti incidenti, in particolare nel settore oil&gas, hanno dimostrato l'inadeguatezza di questo approccio e suggeriscono analisi del rischio da effettuare sulla base di dati il più possibile aggiornati, se non in tempo reale, con conseguenti necessità di acquisire e di analizzare enormi quantità di dati [10].

Seguendo questo approccio, l'obiettivo finale sembra essere la centralizzazione delle funzioni di monitoraggio per impianti diversi (stesso sito o siti diversi) attraverso il trasferimento dei dati in Cloud e la loro elaborazione attraverso un unico sistema di supervisione. Questa soluzione viene proposta da vendors e certamente la tecnologia attuale ne permette la realizzazione; un altro vantaggio risiede nel fatto che si viene ad avere un unico sistema operante con una logica comune, evitando duplicazioni sui singoli impianti e permettendo riduzione di personale dedicato (esternalizzando il servizio a società specializzate). L'esperienza di questi anni ci spinge a evidenziare che la reale difficoltà consiste nel trasferimento delle competenze sviluppate dagli operatori sui singoli impianti; queste derivano dalle conoscenze specifiche di processi e apparecchiature, conoscenze non del tutto generalizzabili e quindi non esportabili in modo completamente automatico. Soluzioni allo studio riguardano possibilità di inserimento di layer che permettano di mantenere certe specificità nell'analisi di dati di impianti diversi (schema in Figura 8).

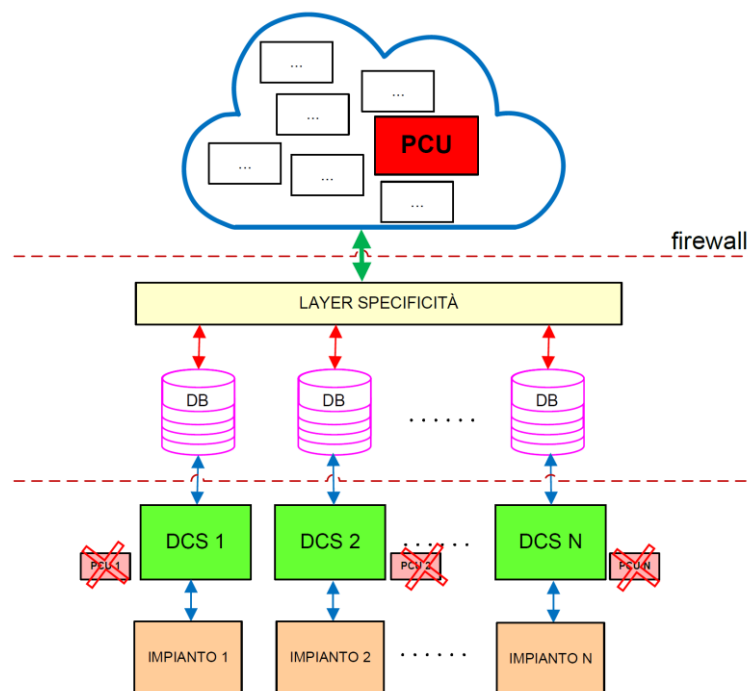


Figura 8: Schema di sistema di supervisione di più impianti trasferito in Cloud.

5. CONCLUSIONI

Come detto in premessa, l'industria di processo è pienamente in grado di cogliere le opportunità offerte dalle tecnologie disponibili in ambito Industria 4.0.

Nel campo del monitoraggio delle prestazioni, a cui questo contributo è dedicato, il passaggio dalla versione base del sistema di monitoraggio dei loop controllati (PCU) alla versione avanzata (PCU⁺) può essere considerato un esempio di come l'applicazione di nuove

tecnologie consente l'evoluzione verso sistemi in grado di dare risposte più ampie alle esigenze degli utenti.

Partendo da questo settore, uno sviluppo prevedibile è verso sistemi di gestione della manutenzione di tutto il macchinario con criteri e metodologie che hanno molto in comune con l'approccio illustrato per i loop di controllo. L'estensione al monitoraggio delle prestazioni dell'intero impianto in modo da avere una valutazione complessiva dello stato dell'impianto sembra essere un altro passo davvero prossimo anche se la realizzazione sarà progressiva per arrivare ad includere tutte le variabili di interesse.

L'obiettivo finale di monitoraggio di impianti diversi per mezzo di un unico sistema risiedente in Cloud dove tutti i dati vengono archiviati, pur essendo tecnologicamente realizzabile e con vantaggi potenziali innegabili, richiede un impegno non trascurabile nel trasferimento delle competenze acquisite dai tecnici sui singoli impianti.

Infine, interessanti sviluppi sono prevedibili nel campo della sicurezza e, in particolare della valutazione del rischio con riferimento allo stato attuale delle apparecchiature e delle procedure adottate.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Scali, M. Farnesi, *Annu. Rev. Control*, 34 (2010) 263–276.
- [2] A. Horch, *Control Eng. Practice*, 7 (1999) 1221–1231.
- [3] M.A.A.S Choudhury, S.L. Shah, N.F. Thornhill, *Automatica*, 40 (2004) 1719–1728.
- [4] M. Rossi, C. Scali, *J. Proc. Control*, 15 (2005) 505–514.
- [5] Y. Yamashita, *Control Eng. Practice*, 14 (2006) 503–510.
- [6] R. Bacci di Capaci, C. Scali, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 53 (2014) 7507–7516.
- [7] R. Bacci di Capaci, C. Scali, G. Pannocchia, *J. Proc. Control*, 46 (2016) 11–23.
- [8] R. Bacci di Capaci, C. Scali, D. Pestonesi, E. Bartaloni, In Proceedings of 10th IFAC DYCOPS, Mumbai, India, December 2013 589–594.
- [9] K.J. Åström, T. Hägglund, *Advanced PID Control*, first ed., ISA - The Instrumentation, Systems and Automation Society (USA) (2006).
- [10] N. Paltrinieri, G. Landucci, P. Salvo Rossi, In Proceedings of ASME International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE), Trondheim, Norway, June 2017.