

# Intelligenza distribuita e metodi di integrazione per il processo e la produzione nel siderurgico

Claudio Brocca

La disponibilità di capacità di calcolo a bordo delle schede di controllo e le crescenti prestazioni dei sistemi di trasferimento dati permettono di realizzare delle soluzioni di controllo di processo innovative e di tipo distribuito. Di seguito è descritto lo sviluppo di un controllo, applicato in campo siderurgico, che integra differenti tipi di canali di comunicazione e può gestire varie interfacce contemporaneamente, sia nella modalità master che in quella slave. La piattaforma realizzata è scalabile e in grado di integrarsi all'interno dell'architettura di sistemi di comunicazione e di automazione già esistenti, rendendo possibili applicazioni anche nell'ambito dell'aggiornamento degli impianti.

Nell'ambito della Information Technology applicata all'automazione industriale sono evidenziabili due aspetti fondamentali che riconducono ai più recenti trend tecnologici e che hanno grande influenza nello sviluppo di un nuovo prodotto: le potenzialità di calcolo esprimibili a bordo delle schede di controllo; le potenzialità di comunicazione in termini di velocità di trasferimento e quantità di dati scambiati sulle reti. Ora, a differenza che in passato, queste potenzialità di sviluppo risultano facilmente disponibili ed offrono la possibilità di progettare prodotti e sistemi con caratteristiche innovative, migliorandone le funzionalità di base ed al contempo permettendo quel flusso informativo attraverso il quale i dati ottenuti nella zona produttiva vengono variamente categorizzati e resi disponibili agli altri reparti aziendali.

Questi cambiamenti fondamentali stanno spostando lentamente il confine dei sistemi di automazione verso sistemi di controllo distribuiti capaci di interagire in modo autonomo con l'ambiente esterno: processori di nuova generazione e dispositivi riconfigurabili sono gli elementi chiave della progettazione di nuove piattaforme potenti e compatte capaci di adattarsi in modo flessibile alle specifiche esigenze del processo produttivo.

Per mezzo di bus di campo real-time basati sulla infrastruttura Ethernet è possibile distribuire sull'impianto funzioni tecnologiche a basso costo minimizzando i cablaggi e riducendo, al tempo stesso, la complessità dell'hardware del sistema di controllo centrale.

---

C. Brocca, Technology and Product Development Manager, Industrial Systems and Automation, Ansaldo Sistemi Industriali S.p.A.

## *Motivazioni del progetto*

Nel controllo dei processi industriali gli azionamenti, che sovrintendono al movimento dei motori elettrici, rappresentano la parte "operativa" del sistema e vengono normalmente considerati come semplici attuatori per ottenere determinati profili di velocità e/o di posizione (servo).

Per contro gli algoritmi sviluppati per il controllo degli azionamenti, in particolare per il controllo vettoriale dei motori in corrente alternata, sono, pur se molto sofisticati, ormai da tempo consolidati e richiedono, a bordo dell'azionamento stesso, una notevole potenzialità di calcolo per soddisfare funzioni quali calcoli vettoriali, stimatori di flusso, controllori sensorless e così via.

È chiaro quindi che i requisiti di progettazione per una nuova famiglia di azionamenti cambiano radicalmente se, anziché limitarsi agli aspetti funzionali del prodotto, si considera il ruolo che una architettura di nuova generazione può avere all'interno di una struttura di automazione per il controllo di processi industriali.

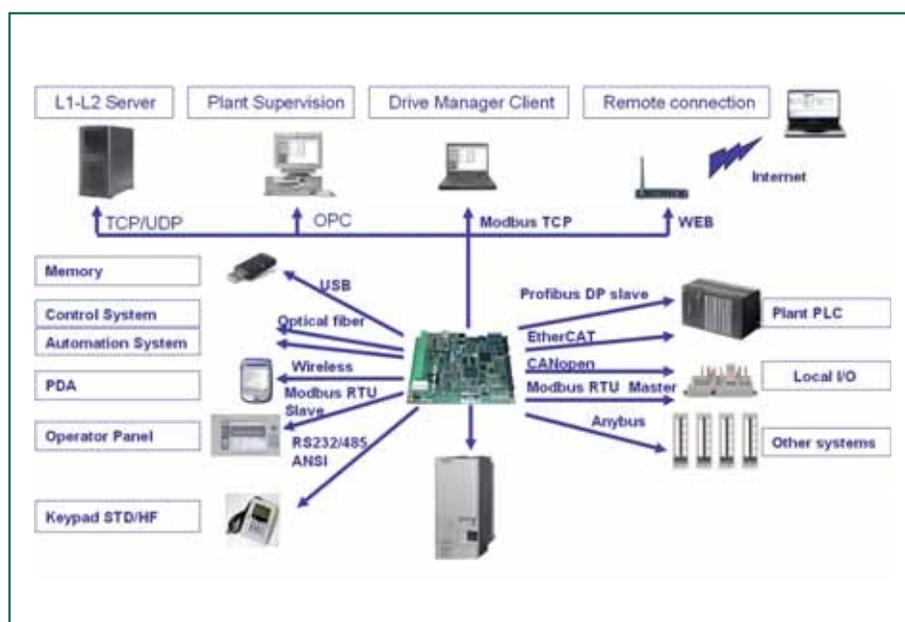
Il risultato di questa progettazione è una nuova piattaforma di controllo (denominata System) con spiccate caratteristiche di "distributed process control" che, oltre a risultare applicabile in sostituzione delle esistenti famiglie di azionamenti in bassa tensione per il controllo di motori elettrici (nel caso di motori in CA per tensioni di ingresso da 380Vac a 690Vac e 930 Vdc in bus DC e per potenze da pochi KW fino a circa 6 MW), può essere utilizzata anche per applicazioni di controllo macchina (drive+PLC+logica di quadro), di multi controllo (drive+automazione) oppure in applicazioni driveless (data-logger, PLC+controllo di taglio al volo ecc.).

## Architettura hardware e software

La scheda di controllo è stata realizzata mediante una soluzione a doppio processore allo scopo di mantenere completamente isolata la parte di regolazione dell'azionamento rispetto a quella messa a disposizione per le comunicazioni e l'automazione.

Per la gestione della regolazione drive la scelta del processore si è indirizzata verso un dispositivo DSC (Digital Signal Controller) in grado di combinare le prestazioni tipiche dei DSP con l'integrazione e la facilità di programmazione dei microcontrollori, mentre per la parte dedicata all'automazione ed alle comunicazioni è stato scelto un microcontrollore con core PowerPC (MCU) ed un ricco set di periferiche espressamente dedicate alle comunicazioni.

Per completare la disponibilità on-board in termini di apertura alle comunicazioni, al microcontrollore è stato affiancato un dispositivo Profichip; questo ha permesso di disporre complessivamente delle seguenti interfacce di comunicazioni: tre porte seriali asincrone RS232/485 (ANSI + Modbus RTU + diagnostica); una CAN (CANopen o DeviceNet); una Profibus DP V2 Slave; una Ethernet 10/100 Mbps; una USB host controller; sue SPI, Serial Peripheral Interface; una SCI, Serial Communications Interface su fibra ottica; un'interfaccia Anybus.



**Figura 1 - Scheda di controllo con indicazione delle interfacce di comunicazione disponibili**

Come conseguenza della soluzione hardware a doppio processore l'architettura del software risulta evidentemente più complessa: lo scambio dati tra i processori avviene contemporaneamente con un meccanismo di RAM dual-port (per variabili, parametri e tracce) e mediante un collegamento sincrono veloce (per diagnostica, comandi, download/upload del firmware).

## Equipment devices

Il software di sistema è stato strutturato in modo da mettere a disposizione una numerosa serie di funzioni inserite in librerie richiamabili dall'utente in modo diretto (mediante parametri) oppure da software (mediante chiamate a funzioni da software PLC). Tali funzioni sono essenzialmente di tre tipi:

- **Funzioni Macro Standard:** sono quelle che è possibile richiamare direttamente tramite un parametro di abilitazione ed un set di parametri di configurazione. Tali funzioni consentono di personalizzare il drive in modo immediato e sono quelle tipicamente realizzate a completamento del controllo drive standard. Tra esse, a titolo esemplificativo, possiamo elencare il potenziometro digitale, le rampe, la ripresa al volo, i vari controlli sui limiti di coppia, la speed deviation, lo stallo e molti altri ancora.
- **Funzioni Macro Avanzate:** queste funzioni vengono gestite come le precedenti ma si riferiscono normalmente a specifiche applicazioni i cui effetti coinvolgono anche il controllo interno. Tra di esse possiamo elencare le funzioni relative al sollevamento, la cedevolezza, il calcolo diametro (con ballerino, cella di carico ecc.) il calcolo spessore, il controllo di asse elettrico e così via.
- **Funzioni di Automazione:** si tratta di funzioni speciali tipicamente riferibili al sistema di automazione. In alcuni casi

sono necessarie estensioni hardware o plug-in dedicati. Tra di esse possiamo elencare il Regolatore tiro indiretto/con celle di carico, il Regolatore Ansa, il Controllo di spessore o le varie tipologie di Controllo di taglio. Per permettere al sistema di svolgere funzioni che richiedono uno specifico hardware addizionale o che necessitano di performance estremamente elevate la scheda di controllo è corredata da un set di moduli plug-in opzionali.

### PLC embedded

La caratteristica di poter disporre di uno strumento di programmazione direttamente a bordo scheda è fondamentale per lo sviluppo delle applicazioni utente in ambiente distribuito e permette la realizzazione di tutte quelle funzioni che necessitano di una

personalizzazione legata alla realtà produttiva cui vanno ad adattarsi, come ad esempio la logica di marcia ed arresto (macchina a stati), la gestione degli allarmi, l'interfaccia utente ecc.

Nel caso specifico tale funzionalità è stata realizzata integrando un software PLC commerciale in grado di mettere a disposizione un ambiente di programmazione IEC-61131-3 che supporta tutti e cinque i linguaggi di programmazione della normativa: il risultato è la possibilità di produrre codice macchina nativo e veloce per la parte MCU della scheda.

Questa soluzione combina la facile maneggevolezza dei

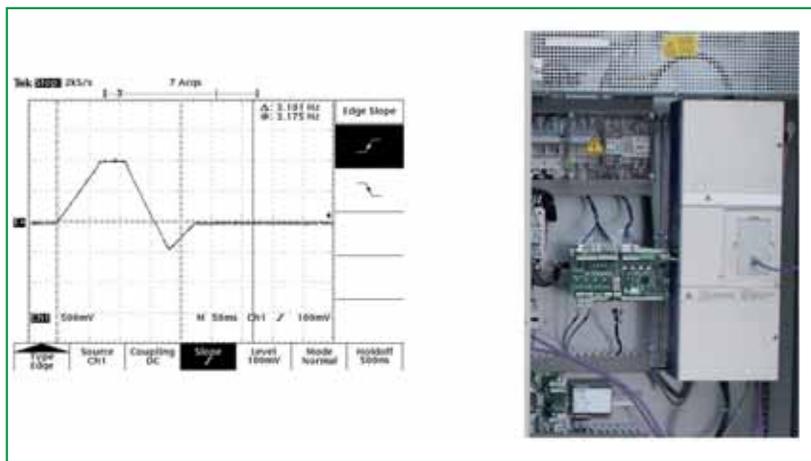
sistemi di programmazione PLC con la interoperabilità necessaria per garantire un utilizzo semplice e diretto nell'ambiente dell'automazione. Il programma PLC fa uso di blocchi standard per connettersi con il Server interno, con il risultato di fornire un accesso ai dati trasparente per l'utente finale.

Dati di processo, parametri dell'azionamento e I/O configurabile possono essere processati e resi disponibili tra le varie task tramite una semplice assegnazione di variabili o mediante chiamate e funzioni di libreria. In aggiunta alle funzioni macro elencate nelle librerie descritte precedentemente è quindi possibile sviluppare funzioni PLC ritagliate su applicazioni specifiche con tempi di ciclo che possono scendere facilmente sotto al ms.

### Il controllo Macchina: esempio del controllo Cesoia

L'utilizzo di questa nuova piattaforma all'interno di un sistema di automazione permette la realizzazione di sistemi di controllo indipendenti in grado di espletare essenzialmente quattro attività parallele: la funzione base del controllo di azionamento; la gestione della logica complessiva di macchina; le funzioni di automazione necessarie per il controllo del processo produttivo cui la macchina è assegnata; il corretto scambio di informazioni con gli altri livelli di automazione.

Funzioni complesse come il controllo per Cesoie tipo Start/Stop, Freno/Frizione, Deviatori, Testa Forma Spire, Troncatrici necessitano di una adeguata interfaccia con i sensori in campo (encoder, sensori di posizione, fotocellule di presenza materiale ecc.) e richiedono pertanto, nel caso di utilizzo del controllo System, di un modulo hardware opzionale.



**Figura 2 - Diagramma della velocità di taglio per cesoia start/stop e particolare del controllo completo in quadro**

La funzione principale del controllo consiste nella generazione di un riferimento di coppia del motore cesoia, adatto ad essere gestito direttamente dall'azionamento.

Tutte le funzioni di regolazione vengono realizzate a bordo della scheda di controllo; il loop principale di regolazione, comprendente l'aggiornamento dei contatori, la generazione del riferimento di velocità teorica e le funzioni ausiliarie per la

gestione dell'I/O, viene eseguito su interrupt a 400  $\mu\text{s}$ , mentre le rimanenti funzioni (gestione delle comunicazioni, aggiornamento delle calibrazioni ecc.) girano su task più lente.

## Controllo di processo e di produzione

Per agevolare la configurazione e l'uso del sistema in ambiente siderurgico è stato creato ed applicato un modello astratto del processo produttivo che tiene conto, mediante vari livelli di interconnessione, delle associazioni tra il controllo (algoritmico) del sistema di automazione ed il controllo (fisico) delle macchine coinvolte nel processo.

Applicando il concetto di "parental relationship" è possibile individuare, per ogni dispositivo in gioco, la relazione rispetto ad un blocco pilota secondo una logica di "padre-figlio-fratello" che consente, tra l'altro, di gestire facilmente le modifiche fisiche all'impianto semplicemente ridefinendo le relazioni di parentela senza alcun intervento sul software.

I dati necessari al sistema sono essenzialmente di tre tipi: dati relativi alla configurazione della cascata; informazioni relative al dispositivo controllato; definizione degli I/O necessari per le funzioni di regolazione.

L'algoritmo di controllo è reso "hardware independent" e quindi la sua interfaccia risulta semplicemente un'area di memoria su cui il sistema trova i dati che gli necessitano e su cui deposita il risultato dei propri calcoli.

Il modello dell'impianto prevede quindi di definire i passi algoritmici per il calcolo dei riferimenti in cascata, i dispositivi associati ai passi, i regolatori all'interno di ogni dispositivo, i canali di comunicazione utilizzati e le macchine collegate con i dispositivi, dove per macchina si intende l'insieme azionamento più motore.

A seconda del livello di distribuzione dell'architettura che si vuole applicare è possibile scegliere tra varie possibilità: nel caso classico di gestione centralizzata sia della cascata che dei dispositivi la scheda opererà solo il controllo di macchina; nel caso di gestione centralizzata della sola cascata ogni scheda gestirà in modo autonomo anche il proprio dispositivo ed i regolatori ad esso associati; infine nel caso di gestione completamente distribuita anche il controllo del singolo passo verrà svolto a livello della scheda di controllo per soluzioni (come ad esempio nel controllo di trafilatura) dove il concetto di PLC principale non esiste.

Ovviamente sono possibili anche soluzioni miste in cui solo una parte dell'automazione viene distribuita sull'impianto.

Le funzioni locali di regolazione sono associate ai vari dispositivi controllati (Gabbie, Trascinatori, Frenabarre, Avvolgitori, Monoblocchi ecc.) ed attivabili mediante configurazione

### Controllo della Produzione

I sistemi di controllo della Produzione operano secondo criteri che tengono conto di un dettaglio diverso rispetto a quanto avviene solitamente per il controllo di Processo.

Una volta definito l'insieme delle celle di produzione come quell'insieme di elementi in grado di inseguire il processo produttivo nel tempo senza perdita di informazioni (rispetto al grado di dettaglio prescelto) il flusso delle informazioni legate al processo produttivo, come si evince dalla figura 3, deve necessariamente seguire due strade diverse:

- da una parte i dati relativi al prodotto in lavorazione, ottenibili mediante l'analisi del movimento del materiale tra le varie celle secondo il concetto di inseguimento o tracking.
- dall'altra parte i dati relativi alla cella di produzione, ottenibili mediante l'analisi nel tempo dell'operatività della cella stessa.

Figura 3 - Flusso informativo di una cella di produzione



Nel primo caso la funzione locale, realizzata a livello di scheda di controllo, opera l'inseguimento della produzione attraverso una serie di informazioni temporali (eventi) di avanzamento del materiale in lavorazione (messaggi di tracking).

Tali messaggi permettono di associare ad un certo identificativo del materiale gli eventi di ingresso ed uscita dalla cella secondo una logica come quella riportata nel modello di figura 4.

A questi eventi/messaggi è possibile associare informazioni interne della cella quali ad esempio il tempo impiegato per la lavorazione, la corrente erogata, la temperatura ecc.

Anche in questo caso la funzione è stata realizzata e resa disponibile tramite le librerie di automazione e permette di attivare e personalizzare la funzione da PLC in modo molto sem-

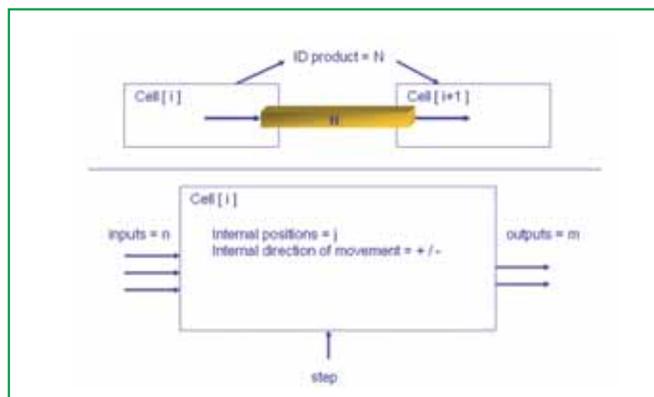


Figura 4 - Modello di tracking per una cella di produzione

plice mediante una parametrizzazione iniziale.

Il sistema di Controllo della Produzione è quindi in grado, ricevendo le informazioni dalle varie celle, di ricavare tutti i dati necessari a consuntivare l'attività di lavorazione per singolo pezzo prodotto, con un grado di dettaglio personalizzabile mediante l'uso del PLC interno.

Nel caso invece dei dati di operatività relativi alla cella di produzione, non essendo noti alla scheda di controllo concetti temporali quali il tempo pianificato per la produzione o il tempo operativo, l'unica operazione possibile è quella di mettere a disposizione, in modo analogo a quanto viene fatto solitamente a livello di PLC di impianto, le informazioni necessarie ricavandole direttamente dal campo. Questa operazione avviene mediante un "field setting" che permette di associare alle variabili del campo (ovvero i puntatori ai dati all'interno del sistema) la frequenza di aggiornamento (ovvero la frequenza con cui i dati vengono messi a disposizione per la lettura).

## Conclusioni

I Sistemi di comunicazione giocano un ruolo essenziale nei Sistemi distribuiti perché consentono uno scambio continuo di informazioni tra i componenti di automazione, mantenendo la necessaria separazione fisica tra i vari dispositivi.

Il controllo proposto integra differenti tipologie di canali di comunicazione nella stessa unità ed ha quindi la possibilità di gestire varie interfacce di comunicazione contemporanea.

Possono essere presenti interfacce sia Master (per controllo di I/O remoto) che Slave (per le connessioni con i controllori di impianto), permettendo di ridurre la complessità ed il costo dei cablaggi e garantendo la necessaria apertura per poter lavorare su architetture di comunicazione pre-esistenti, come ad esempio nel caso di revamping parziali di impianto.

In aggiunta l'approccio del controllo distribuito riduce il carico computazionale del sistema di controllo centrale, permettendo soluzioni più economiche e meno complesse.

Assumendo che i dati di processo possano essere scambiati in tempo reale mediante una rete di comunicazione veloce (come ad esempio ProfiNet IRT o EtherCAT) è possibile realizzare un controllo distribuito per una intera linea di produzione con tempi di ciclo dell'ordine di qualche ms. Funzioni che richiedono tempi di esecuzione veloci o signal processing possono essere realizzate localmente, usando funzioni di libreria standard oppure realizzando versioni personalizzate durante fase di progettazione di impianto.

Una delle più importanti caratteristiche della piattaforma realizzata è la possibilità di integrarsi all'interno dell'architettura dei sistemi di automazione aumentando le soluzioni disponibili per il controllo del processo produttivo: tali soluzioni sono scalabili sull'applicazione e consentono la massima flessibilità in termini di distribuzione delle funzioni, permettendo di attivare la logica del controllo distribuito solo qualora questo risulti più opportuno.