

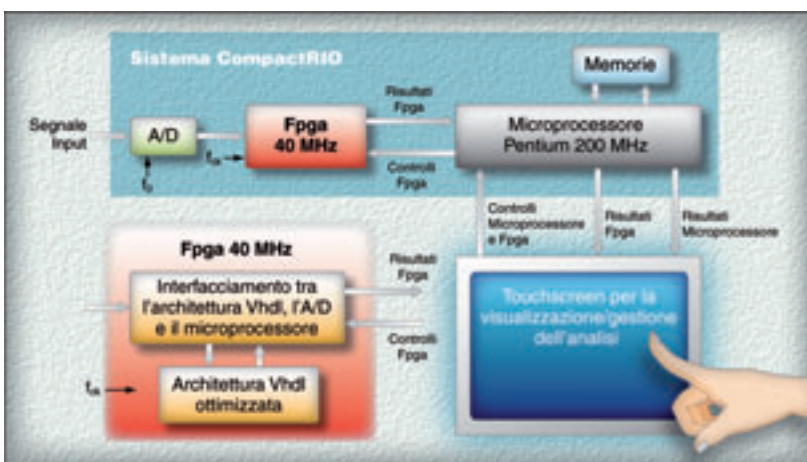
# Monitoraggio di processi industriali

La sfida che si è posto il centro ricerche Fiat era quella di realizzare un sistema embedded in grado di monitorare in tempo reale un processo industriale

G. D'ANGELO, G. PASQUETTAZ, A. TERRENO\*

Il sistema, hardware e software, che è stato realizzato per monitorare un processo industriale in tempo reale è basato CompactRIO di National Instruments, che ha permesso di acquisire, con elevata risoluzione, i segnali provenienti dal processo di lavorazione e di elaborarli in tempo reale mediante il modulo Fpga. I segnali sono stati elaborati attraverso la metodologia dell'analisi congiunta nel domi-

nio tempo-frequenza (Jtfa). Il sistema realizzato permette la valutazione automatica e 'in process' della qualità della lavorazione, consentendo l'eliminazione di dispendiosi controlli manuali 'post process'. Il principale obiettivo di un sistema di monitoraggio applicato a un processo di lavorazione è di gestire le grandezze fisiche legate al processo in esame per estrapolare le caratteristiche che le contraddistinguono.



Architettura del sistema di monitoraggio

## L'applicazione pratica

Il sistema per il monitoraggio è stato applicato, a titolo di esempio, a un processo di saldatura laser, ma analogamente le stesse considerazioni possono essere fatte per qualsiasi altro tipo di lavorazione.

La funzione del sistema di monitoraggio del processo di saldatura è basata sulla raccolta della radiazione proveniente dalla zona di interazione del fascio laser con il materiale da saldare e sulla conversione di tali emissioni, mediante appositi sensori, in segnali elettrici che possono

essere analizzati da software opportunamente sviluppati. Poiché i segnali contengono informazioni riguardanti l'interazione tra laser e materia, i difetti di saldatura possono essere acquisiti durante il processo e in seguito memorizzati. La maggior parte dei difetti che si possono generare (mancanza di penetrazione, porosità isolate, mancata saldatura) sono dovuti all'instabilità del processo laser. Tali difetti generano un'alterazione dello spettro di emissione rispetto alle condizioni ideali. Utilizzando appositi sensori e filtri ottici è stato possibile realizzare il sistema per la valutazione della qualità del processo in esame.

## L'hardware

La scelta di CompactRIO di National Instruments è stata dettata dalla necessità di dover realizzare un sistema compatto, non invasivo e altamente efficiente dal punto di vista computazionale.

La natura dei segnali acquisiti, le cui massime ampiezze non superano 100 mV ha richiesto l'utilizzo di un modulo di input analogico per l'acquisizione dei segnali, con risoluzione a 16 bit (cRIO-9215). Il sistema è stato alloggiato all'interno della stazione di lavoro, in prossimità della testa ottica. La gestione delle informazioni sul funzionamento realtime del sistema sono gestite dall'operatore tramite il touchscreen NI TPC 2006 su cui è stata implementata l'interfaccia grafica.

## Il software

Negli ultimi anni, molti sforzi sono stati fatti per ricercare nuove tecniche di analisi dei segnali che permettessero di ottenere maggiori e migliori informazioni dai segnali acquisiti. Una di queste tecniche è l'analisi congiunta nel dominio tempo-frequenza (Jtfa). In genere la maggior parte dei segnali acquisiti durante i processi di lavorazione è rappresentato nel dominio del tempo e inoltre è multicomponente (a ogni istante di tempo il segnale presenta più di una frequenza).

La rappresentazione nel dominio del tempo non fornisce la vera struttura del segnale, in quanto la maggior parte delle informazioni è nascosta nello spettro del segnale. Per esempio, nel caso del processo di saldatura laser, è noto che la penetrazione della saldatura è indicata dal livello della componente continua, mentre i difetti superficiali sono legati alla componente alternata del segnale, e il verificarsi di difetti provoca la comparsa di alcune frequenze e/o la scomparsa di altre. Tuttavia la rappresentazione del segnale nel dominio della frequenza, per segnali multicomponente, ha un grosso limite dovuto al fatto che lo spettro rappresenta quelle frequenze che sono presenti nel segnale, ma non permette la loro localizzazione temporale. Pertanto risulta necessario l'utilizzo di funzioni (Time-Frequency Representations, TFR) che permettano di localizzare nel tempo un certo evento fisico e contemporaneamente forniscano una rappresentazione delle frequenze che il segnale arriva ad avere in quell'istante di tempo.

Le distribuzioni tempo-frequenza hanno la seguente formula generale:

$$C_x(t, f) = \iint \varphi(t_0, f_0) W_x(t - t_0, f - f_0) dt_0 df_0$$

dove  $\varphi(t_0, f_0)$  è il kernel che caratterizza la distribuzione e  $W_x(t - t_0, f - f_0)$  è la trasformata di Fourier dell'autocorrelazione del segnale. Senza addentrarci nella trattazione riguardante la caratterizzazione delle varie distribuzioni che si possono ottenere modificando opportunamente il kernel, di seguito è riportata la distribuzione utilizzata per l'analisi del processo di saldatura laser, la cui formula è:

$$MTFR(x; t', \omega) = \iint TFR(x; t, \omega) F \delta(t' - t(x; t, \omega)) \delta(\omega' - \omega(x; t, \omega)) dt \frac{d\omega}{2\pi}$$

dove

distribuzione di Wigner-Ville

$$TFR(x; t, \omega) = \int x\left(t + \frac{\tau}{2}\right) x^*\left(t - \frac{\tau}{2}\right) e^{j\omega\tau} d\tau$$

coordinate riassegnate

$$\left\{ \begin{array}{l} t \\ \omega \end{array} \right. \begin{cases} (x; t, \omega) \rightarrow t = \frac{\int \Phi_{xy}(u, \Omega) W_V(x; t-u, \omega-\Omega) du d\Omega / 2\pi}{\Phi_{xy}(u, \Omega) W_V(x; t-u, \omega-\Omega) du d\Omega / 2\pi} \\ (x; t, \omega) \rightarrow \omega = \frac{\int \Omega \Phi_{xy}(u, \Omega) W_V(x; t-u, \omega-\Omega) du d\Omega / 2\pi}{\Phi_{xy}(u, \Omega) W_V(x; t-u, \omega-\Omega) du d\Omega / 2\pi} \end{cases}$$

versione modificata della distribuzione utilizzata

$$MTFR(x; t', \omega')$$

La localizzazione dei difetti è eseguita seguendo l'acquisizione del segnale reference, corrispondente alla saldatura ottimale e il calcolo dell'energia associata alla distribuzione tempo-frequenza del segnale mediante la formula:

$$E_i = \sum_{i=1}^N RSPWVD(i, \omega_{inf} + j, \Delta\omega)$$

con  $i = 1:N$ , (N numero di campioni)

$$M = \left( \frac{\omega_{sup} - \omega_{inf}}{\Delta\omega} \right) \cdot \Delta\omega = \left( \frac{2\pi N}{f_{inf}} \right)$$

dove

$$\omega_{sup}, \omega_{inf}$$

sono le frequenze superiori e inferiori tra cui si vuole calcolare l'energia puntuale del segnale.

Da ultimo, confronto dell'energia  $E_i$  calcolata istante per istante con quella del segnale di riferimento. Nel caso in cui

$$E_i > \max(E_{i,reference})$$

si viene a localizzare il difetto.

## Fpga

Il peso computazionale del software impiegato per l'analisi dei segnali dipende sia dal numero di campioni  $N$  considerati per l'analisi, sia dall'ampiezza della banda di frequenze ( $\Delta\omega$ ) di analisi. Per poter gestire l'analisi del

getto National Instruments LabView Fpga in grado di scambiare i dati tra la scheda di acquisizione, l'architettura dedicata e il microprocessore CompactRIO. Al microprocessore sono stati rimandati tutti i calcoli che, a seconda del tipo di segnale acquisito, richiedono una veloce modifica della programmazione (per esempio le soglie di accettabilità e i controlli del Fpga). Per i test del sistema è stata realizzata un'apposita interfaccia grafica su un PC esterno connesso a CompactRIO tramite cavo Ethernet che, grazie allo scambio di informazioni tra i componenti di NI CompactRIO, permette al programmatore di controllare in tempo reale il corretto funzionamento di tutta l'architettura Vhdl realizzata. Per il normale funzionamento del sistema di monitoraggio è stata prevista una seconda interfaccia grafica che permette all'operatore di gestire le soglie di accettabilità e la visione degli eventuali messaggi di allarme. A tale scopo è stato utilizzato un video touchscreen TPC 2006 posto in prossimità dell'operatore in grado di colloquiare con NI CompactRIO.



I modelli CompactRIO 9215 e TPC 2006 di National Instruments

sta una seconda interfaccia grafica che permette all'operatore di gestire le soglie di accettabilità e la visione degli eventuali messaggi di allarme. A tale scopo è stato utilizzato un video touchscreen TPC 2006 posto in prossimità dell'operatore in grado di colloquiare con NI CompactRIO.

## In conclusione

Il sistema di monitoraggio realizzato è stato testato e applicato in ambiente produttivo per la valutazione della qualità dei segnali provenienti dal processo

processo in tempo reale è necessario eseguire i calcoli, quanto più velocemente possibile, nel dominio tempo-frequenza per ogni  $N$  campioni acquisiti in una banda sufficientemente ampia in modo da poter considerare tutte le frequenze di interesse. Questo vincolo è fortemente restrittivo e impossibile da rispettare, anche utilizzando i moderni processori (Pentium 4 con 2 GB di RAM). L'unica soluzione è adottare un'architettura hardware dedicata e programmata 'ad hoc' per eseguire in maniera ottimizzata i calcoli richiesti. L'utilizzo di CompactRIO di National Instruments con una Fpga da 3 M Gates è risultata la soluzione ottimale in termini di prestazioni, efficienza e gestione dei risultati dell'analisi.



## Considerazioni...

I calcoli richiesti per l'analisi congiunta tempo-frequenza sono stati implementati con un'architettura dedicata scritta in linguaggio Vhdl, la quale è stata inserita in un pro-

di saldatura laser. In particolare, l'utilizzo dell'analisi congiunta tempo-frequenza tramite un'architettura embedded dedicata ha consentito di ottenere prestazioni e risultati altrimenti impossibili. Per rendere meglio l'idea delle prestazioni che si ottengono, utilizzando

Dati Elaborati	$\Delta$ (Hz)	TFPOA VirtexII 3Mgates (ms)	Tprocessore Pentium 200 MHz 64 MB DRAM (ms)	Tdual processor Intel Xeon 2,8 GHz 3,5 GB RAM (ms)	TDSP Share 2106x 64 MB DRAM (ms)
4096	300	32.9812	Out of Memory	554	11220
4096	200	22.7387	Out of Memory	357	7511
4096	150	17.6175	4854	293	5637
4096	128	15.36410	3700	265	4798
2048	128	7.60727	1846	126	2341
1024	128	3.76722	981	71	1171
4096	30	5.32648	1306	88	1120
2048	30	2.58723	622	62	573
1024	30	1.25598	304	27	278

l'architettura embedded, a titolo di esempio, è stato analizzato un segnale a lunghezza variabile utilizzando la distribuzione di Margenau-Hill, eseguendo i calcoli su diverse piattaforme hardware, la cui formula è:

$$MH(t,\omega) = \mathfrak{R} [ x(t)X^*(\omega) e^{-j\omega t} ]$$

Come si può notare dalla tabella, i tempi di calcolo eseguiti con l'Fpga sono ridotti rispetto a quelli eseguiti con

altri processori. Inoltre l'utilizzo di un video touchscreen ha permesso di rendere 'user-friendly' tutto il sistema di monitoraggio, consentendone l'utilizzo in ambiente produttivo. ■

\* Centro ricerche Fiat

**National Instruments readerservice.it n. 36**

FOOD  
BEVERAGE  
PHARMACEUTICAL  
**PERSONAL CARE**  
HOME CARE  
TISSUE AND PAPER  
DAIRY  
TOBACCO  
OTHER

Visitateci a:



**Padiglione 5 – Stand D19**

Purtroppo non la conosciamo... e nemmeno sappiamo quali prodotti per il corpo usi.  
**Conosciamo invece perfettamente come riempire il flacone della sua crema in modo veloce e preciso.**

ELAU. Gli specialisti del packaging di Schneider Electric



www.elau.it