

Una applicazione IEC 61499, basata su ISaGRAF, per il controllo avanzato di processi manifatturieri

A. Brusafferri *Istituto delle Tecnologie per l'Automazione Industriale – CNR*
E. Carpanzano *Istituto delle Tecnologie per l'Automazione Industriale – CNR*
A. Cataldo *Istituto delle Tecnologie per l'Automazione Industriale – CNR*
G. Ceseri *Prometeo Srl (distributore italiano ISaGRAF)*
A. Fois *Prometeo Srl (distributore italiano ISaGRAF)*
G.P. Pagliarini *Istituto delle Tecnologie per l'Automazione Industriale – CNR*

Abstract

Sistemi di automazione interoperabili, portabili e scalabili sono un elemento chiave per il futuro dei sistemi manifatturieri, conseguentemente si rende necessaria la definizione di metodologie di sviluppo innovative, standard e di strumenti adeguati per la progettazione strutturata di sistemi di automazione complessi. In questo lavoro viene illustrata una metodologia di sviluppo basata su standard internazionali emergenti e che sfrutta concetti orientati agli oggetti. Per mezzo della metodologia proposta risulta essere notevolmente semplificata la definizione di sistemi di controllo e supervisione complessi, più agevolata la manutenibilità e sensibilmente facilitato il riutilizzo delle soluzioni sviluppate. In particolare l'agilità, l'interoperabilità, la portabilità e la scalabilità del sistema di automazione sviluppato sono significativamente migliorate. Al fine di sottolineare i benefici della metodologia proposta viene presentato un esempio applicativo che tratta lo sviluppo di funzioni di automazione per un impianto di produzione di calzature ed accessori di abbigliamento altamente innovativo.

1. Introduzione

Il progetto descritto in questo articolo è stato realizzato col contributo finanziario della Regione Lombardia, nel quadro di un programma atto a favorire l'innovazione tecnologica delle PMI. L'obiettivo del progetto è dimostrare che l'impiego sistematico di metodiche moderne quali lo standard IEC-61499 è oggi cruciale per compiere un reale salto qualitativo nello sviluppo di applicazioni di automazione industriale e risulta quindi strategico per potenziare la competitività delle attuali soluzioni offerte sul mercato.

2. Il Tool ISaGRAF 5 e lo Standard IEC-61499

Descrizione del Tool ISaGRAF

Il tool utilizzato per il controllo del processo industriale considerato è ISaGRAF, Versione 5 della ICS Triplex (Rockwell Automation), in quanto primo ambiente di sviluppo secondo lo standard IEC-61499 commercialmente disponibile e certificato da TÜV.

Le caratteristiche principali della piattaforma di sviluppo sono le seguenti:

1. Supporto sia dello standard IEC-61131, sia dello standard IEC-61499
2. Disponibilità di potenti funzionalità di editing, gestione librerie, simulazione e debug delle applicazioni
3. Supporto di applicazioni distribuite con binding automatico delle interfacce fra blocchi funzionali
4. Completa portabilità del run-time su qualunque piattaforma hardware e/o sistema operativo
5. Disponibilità di varie funzioni di supporto allo sviluppo: gestione delle versioni, generazione automatica della documentazione di progetto, etc.



Descrizione dello Standard IEC-1499

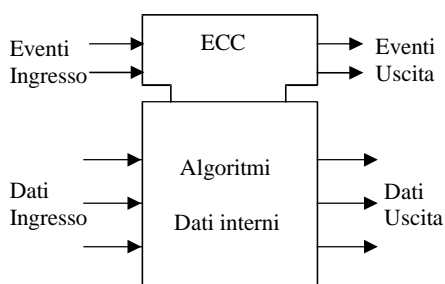


Figura 1. Modello del blocco funzionale.

La normativa IEC 61499 specifica un nuovo approccio di sviluppo per sistemi di automazione industriale orientato alla modularità, distribuzione e riuso delle soluzioni di controllo. Lo standard è basato su entità fondamentali, denominate *Functional Block* (FB), le quali rappresentano unità software funzionali associate a specifiche risorse hardware del sistema di controllo. Come mostrato in Figura 1, un'istanza di un FB è caratterizzata da: un insieme di eventi e dati di ingresso/uscita, dati interni ed uno *Schedulatore* (ECC) strutturato in stati, transizioni ed azioni, il quale invoca l'esecuzione di algoritmi come conseguenza degli eventi in ingresso; un'istanza di un FB è infine caratterizzata da un set di algoritmi associati agli stati dell'ECC.

L'esecuzione degli algoritmi è invocata dall'ECC (il quale è fondamentalmente un automa di Moore) di un'istanza di FB, a seguito di eventi in ingresso. Quando l'esecuzione di un algoritmo è schedata, vengono letti i valori dei dati in ingresso e dei dati interni, quindi possono essere computati nuovi valori per i dati in uscita e per dati interni. Non appena termina l'esecuzione degli algoritmi, l'ECC può generare appropriati eventi in uscita. Collegando opportunamente più FB si definisce una specifica applicazione e la configurazione viene eseguita distribuendo l'applicazione tra le risorse hardware costituenti il sistema di automazione. Ciascun dispositivo usa la relazione causale specificata dall'applicazione al fine di generare opportune risposte associate agli eventi. Inoltre, nello standard IEC 61499 una risorsa è considerata come una suddivisione logica all'interno della struttura software e hardware del dispositivo, la quale ha un controllo indipendente delle sue operazioni. Ciascuna istanza di FB è associata ad una singola risorsa. Con le definizioni date, l'architettura di un sistema di automazione manifatturiero può essere modellata come una collezione di dispositivi, divisi in risorse, interconnessi e comunicanti l'uno con l'altro attraverso uno o più canali di comunicazione, mentre le funzioni implementate da tale sistema sono modellate come applicazioni.

3. Applicazione ad un caso industriale (ITIA)

La Fabbrica ITIA-CNR: Architettura della Linea Molecolare



Figura 2. Impianto Calzaturiero ITIA CNR

Al fine di mostrare l'applicabilità ad un caso industriale ed evidenziare i vantaggi derivanti dall'utilizzo dello standard IEC 61499 basato su piattaforma ISaGRAF, è stata utilizzata la linea di trasporto molecolare situata presso la fabbrica manifatturiera (Figura 2) innovativa per la produzione di calzature ed accessori di abbigliamento, di proprietà dell'Istituto di Tecnologie Industriali ed Automazione del Consiglio Nazionale delle Ricerche, illustrato nella figura a lato.

Scopo di tale sistema logistico è il trasporto flessibile, da una cella di lavorazione all'altra, dei semilavorati e delle forme sopra le quali vengono montate le scarpe. L'architettura modulare è costituita da sei Terne (Figura 3), ciascuna delle quali è a sua volta composta da tre dispositivi rotanti chiamati Tavola, Isola e Manipolatore (Figura 4).

La Tavola possiede 12 slots ed è utilizzata sia per la movimentazione dei semilavorati verso i vari gruppi di lavorazione, sia per il rientro delle forme verso il magazzino. L'Isola possiede 24 slots ed attorno ad essa sono dislocate le varie macchine operatrici. Il Manipolatore possiede 3 slots e serve per spostare sulle varie Tavole e Isole i semilavorati e le forme.

Dal punto di vista del comportamento meccanico non vi è alcuna differenza tra i vari Manipolatori perché i comandi di rotazione ed i segnali di retroazione sono identici per ogni Manipolatore, indipendentemente dal senso di rotazione del dispositivo; la differenza è localizzata solamente nella gestione delle informazioni degli slots. Alcune Isole ruotano in senso orario, a differenza di tutte le altre, in quanto il layout delle macchine operatrici disposte attorno a queste Isole è tale per cui le lavorazioni seguono in sequenza un senso orario attorno all'Isola stessa, da cui la rotazione opposta rispetto le altre Isole. Anche per le Isole non vi è alcuna differenza dal punto di vista del comportamento meccanico perché i comandi di rotazione ed i segnali di retroazione sono identici per ogni Isola, indipendentemente dal senso di rotazione del dispositivo; inoltre dal punto di vista della gestione delle informazioni degli slots non vi è alcuna differenza in quanto la relativa numerazione segue la rotazione meccanica. Gli scambi di semilavorati tra gli elementi della linea vengono eseguiti per mezzo di cilindri pneumatici denominati spintori.

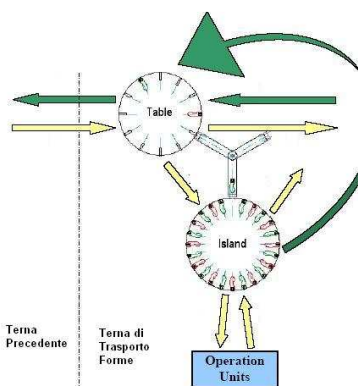


Figura 4. Terna.

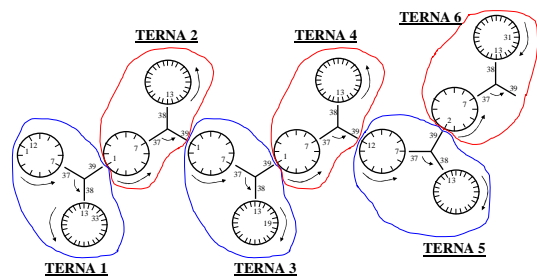


Figura 3. Linea di Trasporto Molecolare.

Gli scambi di semilavorati tra gli elementi della linea vengono eseguiti per mezzo di cilindri pneumatici denominati spintori.

Il Dimostratore in Scala: Architettura di HW e del SW di Controllo

Al fine di ridurre tempi e costi di commissioning, le logiche di controllo progettate vengono verificate in una piattaforma di simulazione "hardware-in-the-loop" appositamente realizzata. L'architettura hardware e software complessiva del sistema viene evidenziata in Figura 5. L'Area Sistema di Controllo emula il controllo e si interfaccia all'Area Simulatore di Processo, che invece emula il comportamento fisico dell'impianto reale. Mediante opportuni

modelli viene simulato il comportamento del processo manifatturiero che si intende automatizzare e quindi controllare. Lo scopo del simulatore di processo è quello di verificare la correttezza delle logiche di controllo progettate, mediante il relativo diretto interfacciamento con il sistema di controllo stesso. Permettere lo scambio di informazioni tra l'area del sistema di controllo e l'area del simulatore di processo significa quindi creare l'infrastruttura adatta a trasferire rispettivamente tra le due aree i segnali fisici dovuti alle azioni di controllo ed i conseguenti feedback. Occorre precisare che i modelli utilizzati nel simulatore dell'impianto, per accurati che siano, approssimano il comportamento fisico dei vari dispositivi presenti nell'impianto reale come, per esempio, possibili malfunzionamenti di attuatori o sensori. Quindi in alcuni casi, non previsti e quindi non modellati nel simulatore di processo, non è possibile testare il conseguente comportamento delle logiche di controllo. Per far fronte a ciò, risulta utile disporre, come in questo caso, di un Dimostratore Tecnologico dell'impianto reale, vale a dire un prototipo fisico in scala dell'impianto, costituito da parti meccaniche ed elettriche che riproduce identicamente il comportamento funzionale dell'impianto stesso. Tale dimostratore infatti non può prescindere dalla fisica dei componenti di cui è costituito, e quindi è anch'esso soggetto a quelle situazioni reali non facilmente modellabili in un simulatore software. Una terza *Area Dimostratore Tecnologico* è quindi presente nella struttura del laboratorio, area che si interfaccia fisicamente a quella del sistema di controllo esattamente come avviene per l'area del simulatore di processo.

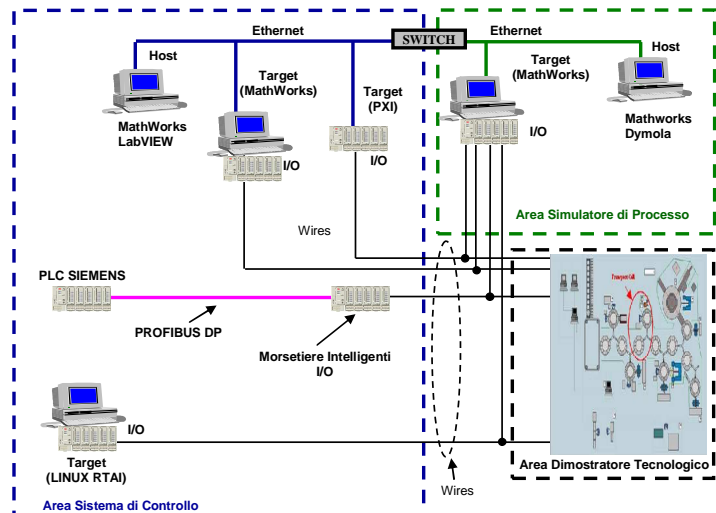


Figura 5: Architettura Hardware e Software complessiva del Laboratorio Controlli

4. Sviluppo del controllo della Linea Molecolare secondo standard IEC-61499

Il sistema di controllo della linea molecolare è stato sviluppato secondo il paradigma *object-oriented* proposto dallo standard IEC 61499 rispettando l'architettura modulare intrinseca del sistema meccatronico. In primo luogo è stata effettuata un'analisi di tipo *top-down* al fine di individuare le classi di dispositivi costituenti. Successivamente si è passati allo sviluppo dei blocchi funzionali mediante approccio *bottom-up*, partendo dai gruppi di controllo dei dispositivi fisici. In particolare sono stati sviluppati i moduli relativi ai sistemi di spinta e di rotazione i quali presentano caratteristiche del tutto analoghe. Entrambi, come evidenziato in Figura 6, contengono una macchina a stati che in seguito alla ricezione di un evento di esecuzione scatena l'algoritmo di controllo opportuno a seconda del valore dei dati in ingresso e delle condizioni interne riscontrate. Di conseguenza, se il sistema si trova in stato normale, verrà attivato il ciclo di esecuzione automatico o le funzioni di movimentazione manuale in base a quanto indicato dal supervisore. In caso di presenza di malfunzionamenti, il dispositivo eseguirà le logiche di gestione del guasto in attesa dell'intervento di ripristino.

Come si può notare, all'interno del blocco sono state incapsulate tutte le funzionalità di controllo relative al dispositivo assegnate a specifici stati in modo da strutturare il codice fornendo una più immediata leggibilità. L'obiettivo è quello di ottenere soluzioni facilmente riutilizzabili all'interno della applicazione mediante istanza e connessione delle porte di input ed output. Per la stessa ragione, si è scelto di mantenere separate le logiche dagli I/O specifici. Successivamente si è passati allo sviluppo dei moduli di livello superiore mediante composizione dei blocchi di base in reti incapsulate all'interno di function block di tipo composito. I moduli di controllo di Tavola, Isola e Manipolatore comprendono le istanze dei blocchi di controllo dei dispositivi fisici ed un blocco base di coordinamento dell'esecuzione, come evidenziato in Figura 7. L'oggetto Terna a sua volta comprende le istanze dei blocchi di controllo di Tavola, Manipolatore ed Isola ed un blocco base di supervisione.

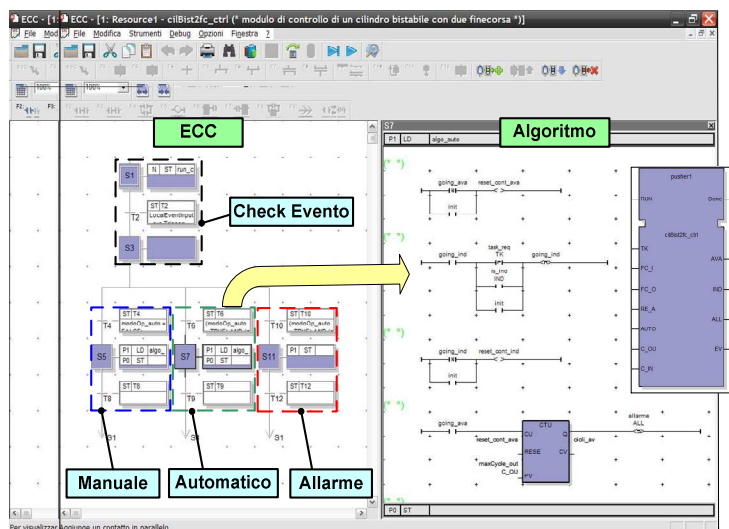


Figura 6: Execution Control Chart e Algoritmo del Modulo di Controllo Spintore

Quest'ultimo si occupa della gestione delle relazioni fra le stazioni e delle richieste che giungono da entità esterne (unità operative connesse, operatore, ecc.) ed include i meccanismi di scelta della politica ottimale di movimentazione e di sorpasso delle parti all'interno dell'area operativa.

L'applicazione complessiva di controllo della linea è strutturata secondo una rete di istanze di function block di tipo Terna. L'esecuzione dell'applicazione è di tipo *event-based*, ossia i blocchi vengono richiamati in base alle connessioni esplicite degli ingressi ed uscite di tipo evento. In aggiunta è stato integrato un blocco standard IEC 61499 di tipo E_CYCLE il quale genera eventi secondo un tempo di ciclo impostato al fine di scatenare in modo deterministico l'esecuzione delle funzioni di monitoraggio e diagnostica necessarie. La scelta è motivata dalla necessità di determinismo delle funzioni di monitoraggio e diagnostica.

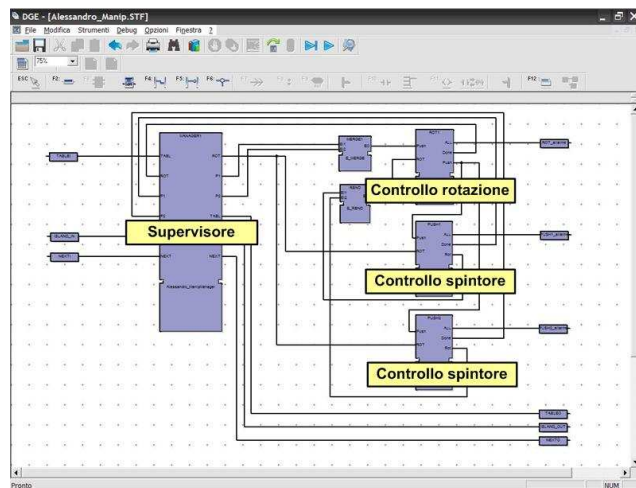


Figura 7: Architettura del Controllo della Tavola

5. Conclusioni

Il progetto illustrato presenta caratteristiche estremamente interessanti dal un punto di vista del processo di sviluppo, di collaudo e di messa a punto di una moderna applicazione di automazione. Il processo controllato è stato "suddiviso" iterativamente in sotto-processi a cui corrispondono singoli moduli software sotto forma di FB. Grazie a tale approccio è stato possibile realizzare un'applicazione estremamente modulare, portabile e riutilizzabile. A puro titolo di esempio si evidenziano infatti alcuni tipi di modifiche di impianto che potrebbero essere effettuate con impatti minimi sull'applicazione qui descritta, ma che invece richiederebbero interventi "stravolgenti" in un'applicazione sviluppata secondo i paradigmi tradizionali dello standard IEC 61131:

1. la modifica della struttura dell'impianto con aggiunta di nuove terne, richiederebbe semplicemente la istanziazione e l'interconnessione di ulteriori FB;
2. la modifica dall'architettura hardware attuale verso un'architettura di controllo distribuito non richiederebbe alcuna modifica dell'applicazione, ma semplicemente l'attribuzione di FB a risorse diverse: ISaGRAF stesso, attraverso l'automatic binding, si farebbe carico della corretta gestione dell'interscambio delle informazioni necessarie;
3. l'adozione di nuove piattaforme hardware o di sistema operativo risulterebbe assolutamente trasparente per l'applicazione ISaGRAF che è eseguita su "virtual machine";
4. la modifica di elementi meccanici particolari presenta impatti minimi: cambiare, ad esempio degli spintori, richiederebbe banalmente la sostituzione ed il collaudo del solo elemento di libreria che ne esegue il controllo.

Tutto questo non sarebbe stato possibile senza un ambiente di sviluppo IEC-61499 evoluto come ISaGRAF.

Sviluppi futuri

La Piattaforma di Controllo ISaGRAF illustrata sarà a breve disponibile come parte integrante di una più ampia ed integrata Architettura di Controllo Modulare di tipo PC-Based con Sistema Operativo Linux-RTAI - *Motion & Logic Control Platform* - pensata per la Modellazione, la Simulazione ed il Controllo Real-Time di Macchine Utensili, Celle di Lavorazione e Processi Industriali. Tale ambiente di sviluppo consentirà la simulazione integrata Real-Time per la progettazione e la implementazione di algoritmi avanzate per controllo del moto e di processo di sistemi mecatronici, grazie alla disponibilità di librerie standard dedicate alla pianificazione e generazione delle traiettorie utensili, al calcolo delle trasformazioni cinematiche, al controllo in retroazione di sistemi elettromeccanici con architetture più o meno complesse, all'interazione con *Virtual Machine* ISaGRAF in esecuzione ed alla creazione di nuovi moduli funzionali con cui far fronte a specifiche problematiche di automazione.