

EXPRES-TOOL

“Un tool per la rappresentazione grafica di impianti come supporto per la riconciliazione dei dati e il monitoraggio intelligente”

Autori

DI BIASE NELLO

(Sesm Via Gianturco 31/C Napoli Tel: 081 5621317 email: ndibiase@sesm.it)

ODICINO GIANLUCA

(DemagItalimpianti Via di Francia 1 Genova Tel: 010 6409941 email: italimpdue.ge@agora.stm.it)

Articolo presentato ad Automazione 1998 –Milano 24-25 Nov. 1998

Abstract

La *riconciliazione dati* è costituita da un insieme di strumenti matematici e statistici che permettono di individuare gli errori presenti in un set di misure che devono verificare bilanci di massa, di energia e correlazioni di qualunque natura; gli algoritmi di riconciliazione, ammesso che esista un grado di ridondanza nel sistema, individuano tali errori, siano essi errori sistematici o casuali, e restituiscono un set di misure ripulito dagli stessi.

L'individuazione di errori nelle misure rappresenta la base di un monitoraggio esperto; infatti la presenza di errori nelle misure dal campo può essere sintomo di:

- perdite di materiale;
- anomalie di funzionamento dell'impianto;
- starature degli strumenti.

La necessità dell'uso della riconciliazione dati risulta ancor più evidente quando le misure strumentali sono usate come valori di ingresso per modelli matematici di controllo processo; infatti i valori di ingresso ai modelli devono essere validati e corretti, altrimenti anche il miglior modello matematico, quando opera su dati non corretti, darà come risultato dei valori non corretti.

Sulla base di questa esigenza nasce, da una collaborazione tra Demag-Italimpianti e il Sesm, *EXPRES-Tool*. *EXPRES-Tool* è un tool software che si compone di due parti :

- un nucleo matematico chiamato EXPRES (EXTended Process data Reconciliation System) , basato su algoritmi del tipo minimi quadrati e sviluppato con linguaggi procedurali, per la stima di valori in un problema di riconciliazione dati;
- un interfaccia avanzata, sviluppata con la shell per SE G2 della Gensym Co., per la descrizione grafica dei sistemi fisici, la gestione delle elaborazioni, l'analisi esperta dei risultati della riconciliazione.

In questa memoria sono presentate le caratteristiche generali di *EXPRES-Tool*, e i vantaggi che derivano dalla disponibilità di un ambiente ad oggetti per la generazione, tramite interfaccia grafica, dei modelli matematici per la riconciliazione dati e la gestione esperta dei risultati.

EXPRES-TOOL

“A software tool for the graphical representation of industrial plant for application of data reconciliation and intelligent monitoring”

Authors

DI BIASE NELLO

(*Sesm Via Gianturco 31/C Napoli Tel: 081 5621317 email: ndibiase@sesm.it*)

ODICINO GIANLUCA

(*DemagItalimpianti Via di Francia 1 Genova Tel: 010 6409941 email: italimpdue.ge@agora.stm.it*)

Abstract

Data reconciliation and gross error detection are a collection of mathematical and statistical tools dedicated to the identification and estimation of measurements errors subject to mass and energy balances and physical and empirical correlations. By mean of this tools, provided that we have a proper redundancy degree, we can find gross and random errors and estimate them in order to obtain a real set of measurements.

The identification of errors on measurements is the basis for an expert monitoring, because measurements errors could be symptoms for:

- material losses
- plant malfunctioning
- instrumentation faults

The need of data reconciliation is even more evident when measurements are used as input for process control mathematical models. As a matter of fact input values to a mathematical model must be validated, otherwise even the more accurate model, will provide unreliable results.

Based on this consideration *EXPRES-Tool* was developed in collaboration by the researchers of Demag-Italimpianti and Sesm; *EXPRES-Tool* is a software tool composed by two parts:

- a mathematical kernel, EXPRES (EXTended Process data Reconciliation System), based on minimum square algorithm and developed with procedural language, to estimate values in a reconciliation data problem.
- an innovative interface, developed using G2 by Gensym Co., a shell for Expert System, to obtain a graphic definition of the plant, the elaboration management, the expert analisys of the data reconciliation result.

In this article are presented the main feature of *EXPRES-Tool* and the benefits obtained using a object oriented development tool to generate mathematical models and to elaborate in an expert way the results.

1. INTRODUZIONE

L'aumento di efficienza nella gestione degli impianti industriali è ormai sempre più determinato dalla capacità di rendere automatici i processi lavorativi; in particolare è sempre più ricco e complesso il corredo di strumenti di misura che caratterizza l'automazione di base, e sempre più diffuso e consolidato è l'inserimento di sistemi di ottimizzazione di processo basati su modelli matematici.

Ma l'utilizzo della strumentazione sia come elemento di sorveglianza sia come input a modelli di controllo si basa sul presupposto che le misure acquisite dal campo siano verificate e validate.

Non è possibile infatti verificare il regime di sicurezza di un impianto se le misure su cui si basa tale verifica non sono affidabili; nè ha senso cercare di ottimizzare la gestione del processo attraverso modelli matematici complessi se poi gli input a tali modelli sono intrinsecamente non validi.

Da queste considerazioni è nato dal lavoro congiunto tra Sesm e Demag Italimpianti l'esigenza di dotarsi di uno strumento, *EXPRES-Tool*, con capacità di realizzare la riconciliazione on-line dei dati di un impianto.

EXPRES è un tool software, basato sugli algoritmi del tipo minimi quadrati, per la stima di valori in un problema di riconciliazione dati; *EXPRES* fornisce un set di misure riconciliate, stima le variabili non misurate e i parametri di processo. Permette, in condizioni di ridondanza, di individuare anche diversi errori sistematici. Per operare deve ricevere in input, per un dato impianto, la descrizione del layout dell'impianto stesso, dei vincoli associati ai singoli componenti e delle misure prese in considerazione.

In *EXPRES-Tool* si fondono competenze ed esperienze maturate negli anni dal Sesm e dalla Demag Italimpianti nello sviluppo di modellistica matematica, sistemi esperti di diagnosi, reti neurali e sistemi in logica fuzzy principalmente nell'area siderurgica. *EXPRES-Tool* trova la sua naturale collocazione per lo sviluppo di applicazioni software nei seguenti campi:

- ottimizzazione di processo
- monitoraggio esperto
- diagnosi automatica
- stima di variabili
- schedulazione di processo
- simulazione di processo

2. IL NUCLEO MATEMATICO

La riconciliazione dati è un metodo che combina la conoscenza del processo in termini di modelli matematici, con le informazioni statistiche sull'affidabilità delle misure in modo da identificare lo stato reale di un sistema in condizioni di stazionarietà o di quasi-stazionarietà.

L'insieme dei valori delle variabili di stato viene valutato come la combinazione di valori che obbedisce con probabilità massima alle leggi che governano il processo, condizionate dalla conoscenza delle misure disponibili.

Il problema diventa completamente definito introducendo le informazioni statistiche degli errori delle misure, che vengono solitamente considerati come gaussiani con media nulla e matrice di covarianza fissa.

Il problema viene risolto usando una tecnica di minimizzazione basata su un adattamento del metodo dei minimi quadrati in grado di trattare sistemi modellati da equazioni non lineari.

La scelta di adattare gli algoritmi esistenti al caso non lineare si è resa necessaria, come verrà evidenziato in seguito, per aumentare la ridondanza del sistema considerato.

Sfortunatamente, mentre l'ipotesi di distribuzione gaussiana della probabilità dell'errore ha solide basi e può essere adottata senza perdita di generalità, le normali condizioni di manutenzione degli impianti non consentono di ritenere valida l'ipotesi di media nulla a causa della presenza di errori sistematici sulle misure (definiti anche come gross errors).

Tale ridondanza è quindi il fattore chiave nella determinazione dello stato reale del sistema.

Risulta quindi fondamentale tenere conto di tutti i modelli matematici affidabili che descrivono il processo; le correlazioni fisiche, ricavate sulla base di considerazioni teoriche ed euristiche dovranno essere aggiunte ai bilanci di massa e di energia. Queste correlazioni possono essere rappresentate da equazioni o da reti neurali nel caso in cui tale correlazione non abbia una sua rappresentazione simbolica.

2.1 LINEE GUIDA PER LA RICONCILIAZIONE DATI E LA STIMA DEGLI ERRORI SISTEMATICI

La riconciliazione dei dati e la stima degli errori sistematici sono metodi matematici dedicati a:

- eliminazione degli errori casuali sulle misure
- identificazione e stima degli errori sistematici sulle misure
- stima di variabili non misurate e di parametri di processo

Questi obiettivi possono essere raggiunti seguendo alcune linee guida:

1. Il modo migliore di determinare il valore di una variabile è la sua misura diretta. Solo in casi in cui questa variabile sia non misurabile (ad. es. parametro di processo), difficilmente misurabile (ad. es. difficoltà nel posizionamento del sensore) oppure troppo costosa bisogna affidarsi ai calcoli.
2. E' importante conoscere la precisione delle misure dirette.
3. I metodi di identificazione e stima degli errori sistematici sono molto efficaci; tuttavia dovrebbero essere usati insieme ad altre conoscenze (anche empiriche) sul processo che viene misurato (ad. es. insieme ad un sistema esperto).
4. I modelli matematici usati nella riconciliazione dati devono esseri preferibilmente esatti e lineari. I modelli fortemente non lineari e non molto precisi dovrebbero essere usati con cautela.
5. E' necessario fare una analisi di osservabilità per identificare su quali misure sia possibile stimare un eventuale errore sistematico e di verificare quali variabili non misurate possano essere stimate.

2.2 ANALISI DI OSSERVABILITÀ

Introduciamo alcune definizioni:

Variabile non osservabile: è una variabile non misurata il cui valore non può essere calcolato usando altre misure.

Variabile ridondante: è un variabile misurata che, se rimossa, non causa alcuna perdita di osservabilità sul sistema.

Variabile osservabile: è una variabile misurata non ridondante oppure una variabile non misurata il cui valore può essere calcolato usando altre misure.

Sistema osservabile: è un sistema che contiene solo variabili osservabili.

Sistema non osservabile: è un sistema che contiene almeno una variabile non osservabile.

Sistema ridondante: è un sistema contenente almeno una variabile ridondante.

Sulla base di queste definizioni possiamo affermare che è possibile stimare tanti errori sistematici in un sistema quanto è il suo grado di ridondanza. Il grado di ridondanza di un sistema non è altro che la somma delle variabili misurate e del numero di equazioni che modellano il sistema diminuita del numero di variabili complessive del sistema (comprese quelle misurate).

Da ciò risulta chiaro che ridondanze sulle misure (ad es. variabile misurata da due sensori) e ulteriori modelli non fanno altro che incrementare il grado di ridondanza del sistema consentendo quindi di stimare un maggior numero di errori sistematici e di variabili non misurate.

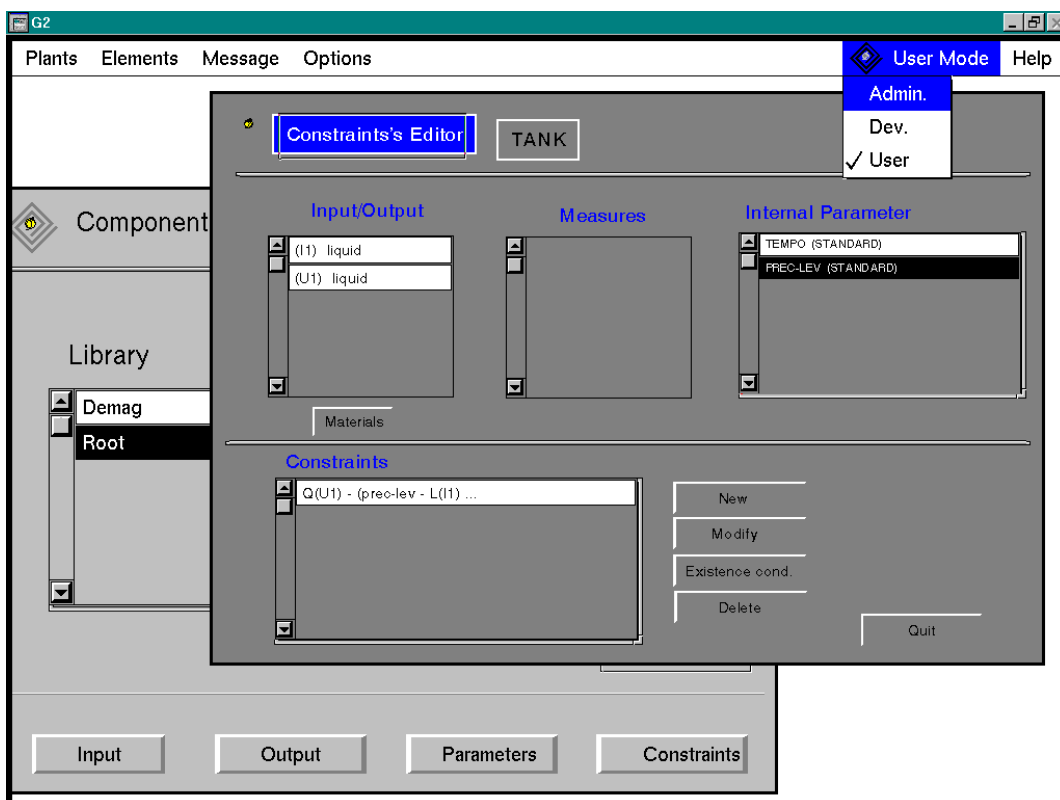
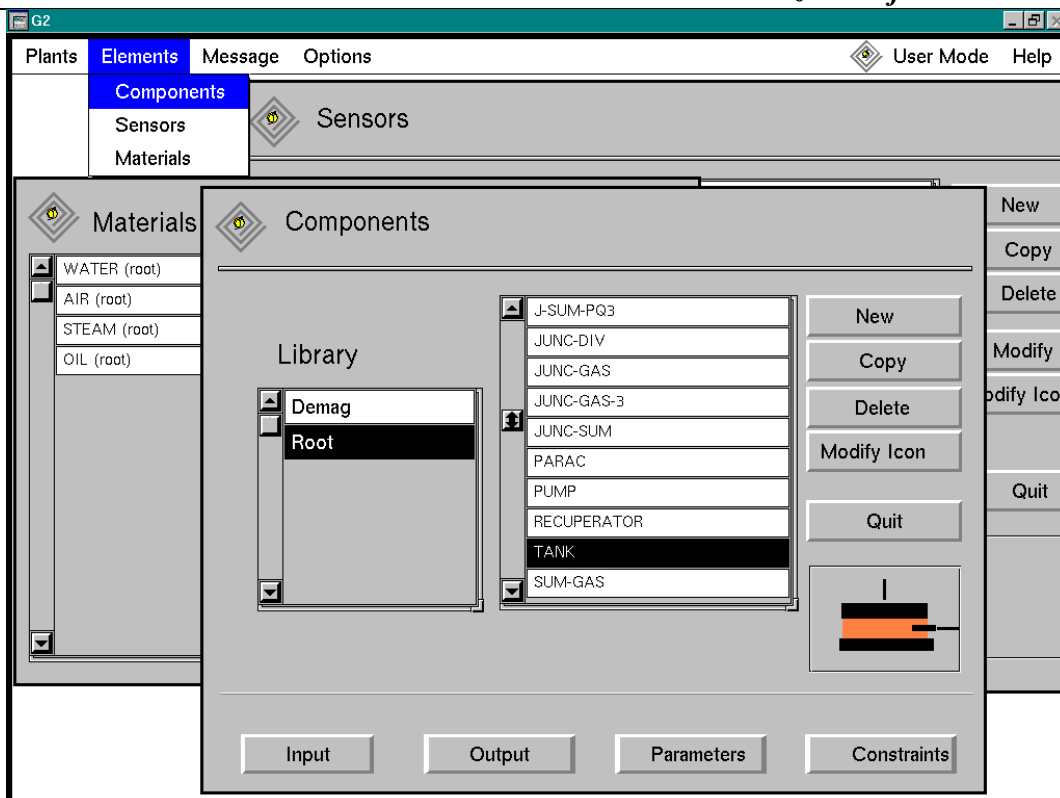
3. CARATTERISTICHE E FUNZIONALITÀ DELL'INTERFACCIA

Per consentire un rapido sviluppo di applicazioni di riconciliazione dati, si è sviluppato un tool che permette la definizione grafica del layout di impianto utilizzando elementi presenti in libreria.

Questo ambiente, *EXPRES-Tool*, è basato sulla shell per SE G2 della Gensym Co. e presenta le seguenti funzionalità:

- definizione grafica dell'impianto utilizzando i componenti presenti in libreria;
- inserimento di nuovi componenti e/o sensori in libreria;
- definizione delle grandezze e dei relativi vincoli matematici che caratterizzano i componenti;
- generazione automatica in codice C dei modelli matematici utilizzati dal nucleo matematico per la riconciliazione;
- gestione dell'acquisizione dati da processi esterni;
- gestione esperta dei risultati della riconciliazione ai fini diagnostici.

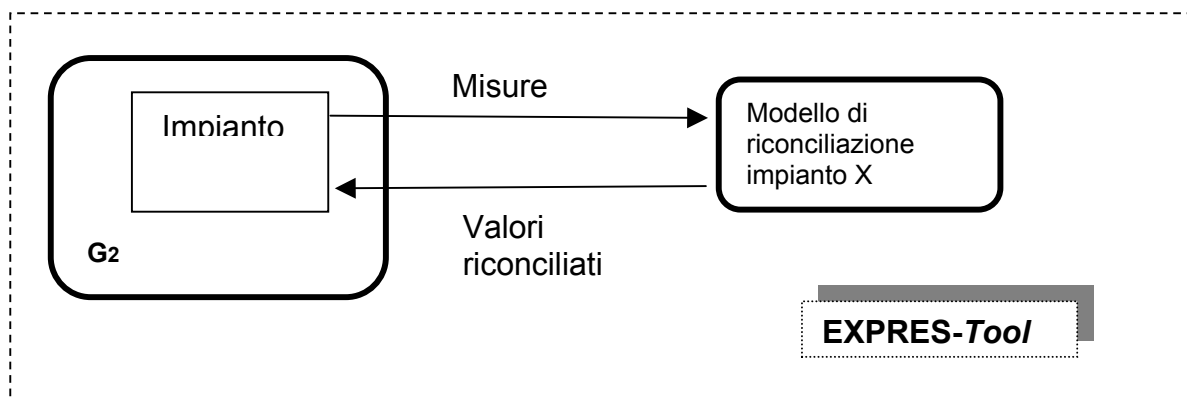
L'utente crea un impianto caratterizzandolo con gli elementi che lo costituiscono siano essi sensori, macchine, organi di regolazione; tali oggetti sono già presenti in libreria caratterizzati dalle informazioni strutturali.



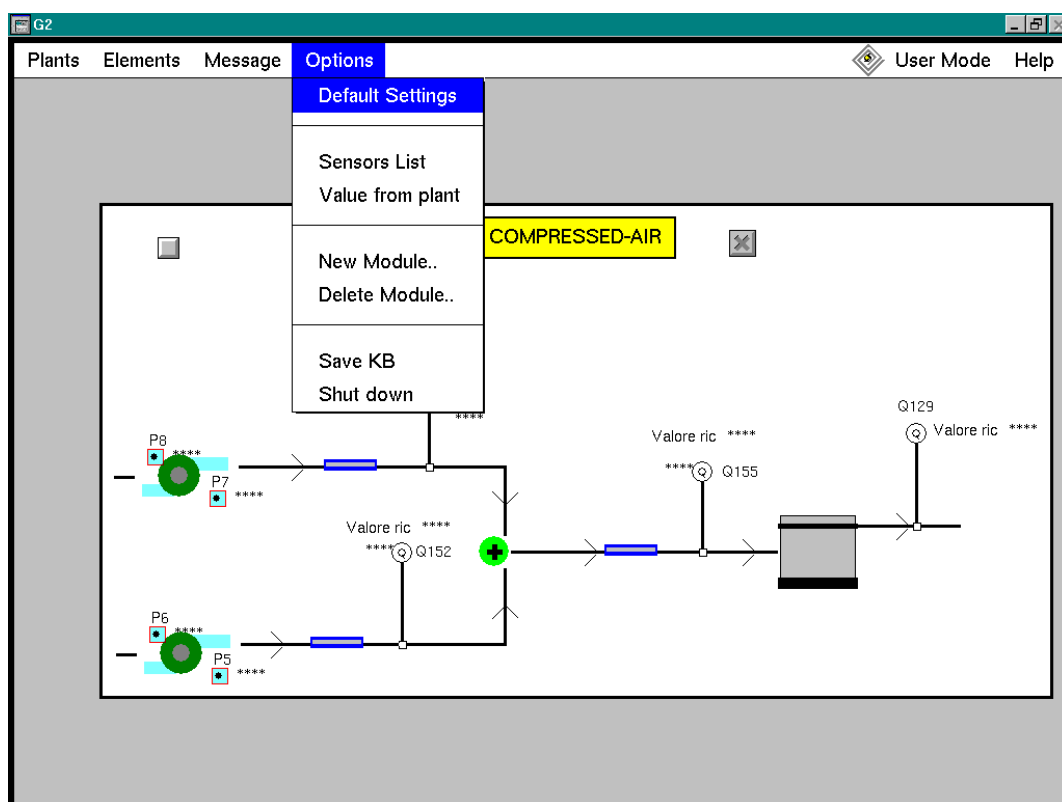
Nuovi oggetti possono essere inseriti in libreria attraverso un ambiente di editing dedicato.

Per ogni impianto basandosi sulle informazioni strutturali di ogni elemento viene prodotto il codice C rappresentativo dei modelli matematici usati dalla riconciliazione.

Questo codice, dipendente dall'impianto, compilato e linkato insieme al nucleo matematico risolutivo viene mandato in esecuzione come processo esterno alla shell G2 e comunica con questa ricevendo in ingresso le misure per i sensori e restituendo in uscita il set di misure riconciliate con i valori dei gross-error.



Per i valori gestiti nel processo di riconciliazione *EXPRES-Tool* evidenzia il valore misurato, il valore riconciliato e i gross-error stimati.



EXPRES-Tool è stato sviluppato su piattaforma WindowsNT utilizzando la shell G2 per sistemi esperti e il linguaggio C per il nucleo matematico. Ciò garantisce l'esportabilità dei

sorgenti dei modelli usati dalla riconciliazione sulle piattaforme Unix e Vms e consente un agevole collegamento in rete con le macchine dedicate all'acquisizione dei dati da campo.

4. BENEFICI

I principali benefici derivanti dall'uso di Expres sono:

- **Analisi corretta dei dati di produzione e processo.**
Il gestore del processo ha la disponibilità di un set di valori ripuliti dai fattori di incertezza e ciò gli consente di avere un'analisi dei consumi e della produzione più preciso.
- **Ottimizzazione dei sistemi automatici di controllo processo.**
I sistemi di controllo processo possono operare con un set di valori che rispettano bilanci di energia o di massa.
- **Manutenzione della strumentazione.**
La capacità di *EXPRES-Tool* di identificare errori nelle misure permette al personale di manutenzione di valutare in linea lo stato di funzionamento dei sensori.
- **Supporto alla diagnostica.**
Le informazioni prodotte da *EXPRES-Tool* sono essenziali per la diagnosi dei malfunzionamenti. Questo in particolare se si fa operare *EXPRES-Tool* in combinazione con un sistema esperto di diagnosi on-line, ottenendo così un sistema diagnostico ibrido e complesso fondato sulla modellistica matematica e l'analisi euristica.

5. SETTORI DI APPLICAZIONE

EXPRES-Tool trova la sua naturale collocazione in tutti i contesti in cui differenti flussi di materiali interagiscono fra loro; per cui i settori industriali più interessati sono:

- Chimico
- Petrolchimico
- Distribuzione Gas
- Gestione acque
- Industria del Cemento
- Siderurgia

6. REFERENZE

Di seguito sono descritte le principali applicazioni in cui è stato utilizzato *EXPRES-Tool*.

Forno a Longheroni Falck Milano

La riconciliazione dati per il forno di Falck è relativa al recuperatore di calore e fornisce al sistema di diagnosi preventiva del forno, basato su G2, informazioni preziose sugli

scostamenti di un insieme di misure da i valori reali. Expres è pertanto un modulo del sistema di diagnosi.

Impianto Dissalazione Acque Al Taweelah (UAE)

Il sistema di ottimizzazione del dissalatore utilizza i valori riconciliati delle misure fondamentali del processo per il calcolo dei set-point che minimizzano l'utilizzo di vapore, energia elettrica ed additivi chimici per una gestione "ottima" del processo di dissalazione. Expres è pertanto un modulo del sistema di ottimizzazione.

Afo2 Ilva Taranto

Per l'altoforno 2 di Taranto i modelli di riconciliazione contribuiscono all'individuazione di gross error nelle misure del circuito di raffreddamento piastre; costituisce un modulo di un sistema più ampio di diagnostica, basato su sistema esperto e reti neurali.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Mah, R. S. H., A. C. Tamhane, "Observability and Redundancy in Process Data Estimation", *Chemical Engineering Science*, **36**, 259 (1981).
2. Mah, R. S. H., A. C. Tamhane, "Detection of Gross Errors in Process Data", *AIChE Journal*, **28**, 828 (1982).
3. Tamhane A. C., R. S. H. Mah, "Data Reconciliation and Gross Error Detection in Chemical Process Networks", *Technometrics*, **27**, 409 (1985).
4. Lawrence, P. J., "Data Reconciliation: Getting Better Information", *Hydrocarbon Processing*, 55, (June 1989).
5. Darouach M., M. Zasadzinski, "Data Reconciliation in Generalized Linear Dynamic Systems", *AIChE Journal*, **37**, 193 (1991).
6. Verneuil V. S. Jr., P. Yang, F. Madron, "Banish Bad Plant data", *Chemical Engineering Progress*, 45, (October 1992).
7. Rivista Manutenzione – Giugno 1996 pag. 25 – 28 – F. Manzo, N. Di Biase, et alii "Un sistema on-line per la diagnosi precoce e la manutenzione predittiva"
8. Rivista Automazione e strumentazione – Febbraio 1997, pag. 73-75 – N. Di Biase, V. Violante, et alii "DIMMI: sistema per la diagnosi industriale "