

# Visualizzazione dei programmi di controllo predittivi basati su modelli

**Nuovi principi progettuali per rappresentare i dati in diversi livelli gerarchici che supportano i compiti cognitivi del monitoraggio, della diagnosi e del controllo**

**Stephanie Guerlain**, University of Virginia, Charlottesville, Stati Uniti

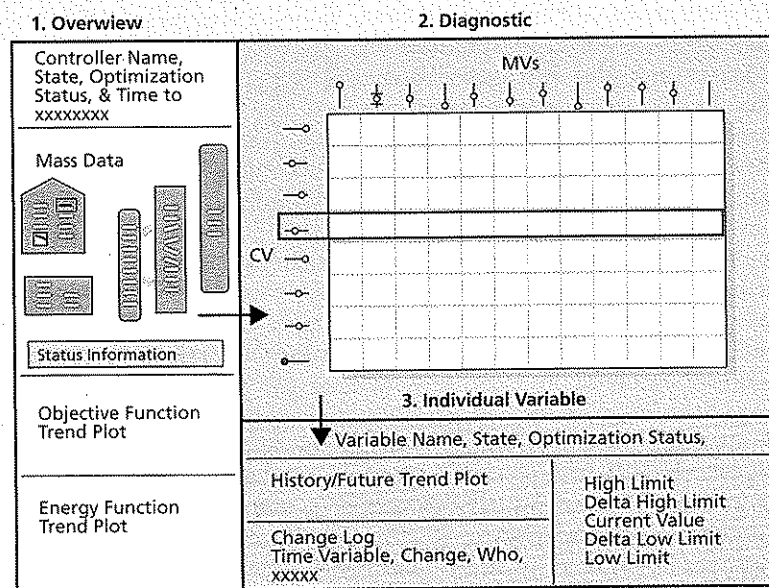
**Greg A. Jamieson**, University of Toronto, Toronto, Canada

**Peter Bullemer**, User Centered Design Services, Independence, Stati Uniti

Un problema molto comune delle schermate di dati cognitivi, soprattutto nel controllo di processo, è che i dati significativi sono spesso sparpagliati in molteplici e separati display che nascondono importanti correlazioni e non mostrano le informazioni legate agli eventi. Le schermate attualmente utilizzate dai programmi di controllo predittivi basati su modelli («model-based controllers») evidenziano i numerosi problemi generati da questo tipo di progettazione. È difficile ottenere una buona panoramica dello stato recente, attuale e futuro del controller (conoscenza della situazione), così com'è difficile prendere delle decisioni informate quando s'inseriscono delle modifiche nel programma (inserimento di dati nel contesto). Tutto ciò obbliga gli utenti a inutili navigazioni nello spazio virtuale nel tentativo di estrarre i dati necessari ad arrivare a una conclusione informata. In questo articolo applichiamo principi progettuali del tutto nuovi per dimostrare che è possibile rappresentare i dati in diversi livelli gerarchici che supportano i compiti cognitivi del monitoraggio, della diagnosi e del controllo. Questa progettazione crea uno spazio di lavoro coerente e coordinato in grado di aiutare gli utenti a orientarsi nel controller, con navigazione diretta nei dettagli indispensabili al «decision support».

I programmi di controllo basati su modelli (Mpc, ovvero Model-based predictive controllers) si stanno diffondendo sempre più nelle raffinerie petrolifere in quanto consentono di controllare e ottimizzare simultaneamente ampi segmenti del processo petrolchimico grazie all'impiego di un modello predittivo. Tuttavia le schermate attualmente in uso (grafici tendenziali e tabelle di dati) non estraggono oppure non mostrano in modo «cognitivamente compatibile» tutto quello che può essere importante per gli operatori che supervisionano e interagiscono con i programmi. Noi abbiamo visitato quattro raffinerie, parlando con ingegneri e operatori e osservando il modo in cui utilizzano gli Mpc. Le conclusioni di queste visite per quanto riguarda la progettazione e l'uso degli Mpc sono le seguenti:

1. l'operatore può solo visionare periodicamente le schermate dell'Mpc (problemi di monitoraggio/conoscenza della situazione)



**FIG. 1.** Schema dello spazio di lavoro Mpc riprogettato. Attenzione: si tratta di una rappresentazione schematica dello spazio di lavoro Mpc e non della schermata vera e propria. Esiste una relazione tra le 3 aree funzionali dello schermo, la Panoramica sulla sinistra, le Info Diagnostiche più dettagliate in alto e le informazioni sulla Singola Variabile in basso: una variabile selezionata in uno dei tre campi verrà evidenziata anche negli altri due.

## CONDITION MONITORING / PROGETTAZIONE

2. gli Mpc attuali visualizzano soprattutto tabelle di dati. Spesso queste tabelle vengono presentate in più pagine, sicché un operatore deve esaminarle una a una fino in fondo per «vedere» i dati rilevati dal programma di controllo (problema di navigazione; non esiste una panoramica)

3. gli operatori possono periodicamente modificare i valori di soglia, ma le modifiche non sono né documentate, né visibili (nessun tracking delle modifiche: difficoltà diagnostiche)

4. alcuni dei dati importanti per la diagnosi del comportamento del controller vengono mostrati su schermate dettagliate che spesso gli operatori non hanno tempo di studiare (problema di navigazione; difficoltà diagnostica).

**Principi progettuali.** Sulla base di queste osservazioni abbiamo sviluppato una progettazione alternativa basata sui seguenti principi progettuali:

**Principio progettuale 1: creare uno spazio di lavoro che supporti il monitoraggio, la diagnosi e il controllo.** Abbiamo diviso la schermata operativa dell'Mpc in tre aree funzionali. L'area sulla sinistra è dedicata ai dati utili a livello generale (panoramica), in modo da supportare il monitoraggio periodico delle condizioni complessive e dello stato corrente del controller. La sezione più in alto della schermata è dedicata alle informazioni diagnostiche, mentre la terza area dello schermo mostra i dati dettagliati su una singola variabile. Il lay-out generale dello spazio di lavoro viene mostrato in fig. 1.

**Principio progettuale 2: supportare il monitoraggio periodico del controller tramite la progettazione di una schermata dei dati generali.** La nostra schermata generale mostra quattro tipi d'informazioni:

1 - *info sull'attuale stato complessivo del controller.* I parametri dello stato complessivo si compongono di elementi di visualizzazione standard «etichetta: valore», indicando per esempio se il controller è attivo oppure no, se si sta «scaldando», se gestisce dei limiti o se sta ottimizzando, eccetera. Inoltre vengono mostrati elementi come il nome del modello utilizzato e la data/ora del prossimo aggiornamento

2 - *info sulle tendenze complessive più recenti.* Il programma mostra due tipi di tendenze complessive: una per il valore della funzione obiettivo contenuta nell'algoritmo di ottimizzazione e l'altra per «l'energia» spesa per mantenere nei limiti le variabili controllate. «Energia» indica la somma di tutti i movimenti effettuati in ogni intervallo di controllo. Questi grafici consentono all'operatore di vedere se i parametri chiave del controller cambiano nel tempo. Questi vengono mostrati tramite normali grafici delle tendenze, proposti su sfondi diversificati per capire se il valore attualmente misurato rientra in aree «normali» o «anormali» (le aree vengono definite dai responsabili degli impianti)

3 - *info sulle singole variabili più recenti.* Il programma rappresenta ogni variabile del controller tramite la schermata dei dati di massa (Beuthel, Boussoffara, Elzer, Zinser e TiBen, 1995). La schermata dei dati di massa presenta il vantaggio di mostrare parecchie variabili contemporaneamente in uno spazio di visualizzazione limitato, traendo vantaggio dalla ripetizione della forma per creare una relazione micro/macro di visualizzazione in cui i particolari si aggregano fino a formare delle strutture coerenti più grandi (Tuft, 1990). Ogni variabile del controller viene rappresentata nella schermata dei dati di massa da un'icona che riporta nelle sue caratteristiche quattro tipi d'informazioni:

a) il comportamento tendenziale più recente viene espresso dalle dimensioni della variabile. La variabile può avere sette dimensioni diverse, da noi chiamate: «firme del grafico tendenziale». Per classificare il comportamento recente della variabile viene usato un algoritmo, che attribuisce una delle sette rappresentazioni standard di primo e secondo ordine: stato stazionario, forte crescita, forte diminuzione, crescita in rallentamento, crescita in accelerazione, diminuzione in rallentamento e diminuzione in accelerazione.

b) il tipo e la funzione della variabile vengono espressi dalla posizione dell'icona in relazione alle altre icone della schermata dei dati di massa. Le variabili vengono raggruppate in base alla relativa posizione nell'impianto e il grafico sullo sfondo che comprende queste variabili rappresenta l'area in cui si trovano (ad esempio, il rigeneratore, il reattore, eccetera).

c) lo stato di prossimità al valore di soglia della variabile viene espresso con il colore della linea della «firma del grafico tendenziale». La linea sarà nera se la variabile si trova tra il limite

superiore e quello inferiore, gialla se è vicina a uno dei limiti e rossa se ha superato un limite

d) lo stato della variabile (normale/anormale) viene espresso da un'«ombra» sullo sfondo dell'icona. Lo sfondo dell'icona sarà ombreggiato se la variabile viene giudicata anormale (con la definizione dello stato di «normalità» e «anormalità» effettuata dai responsabili dell'impianto).

È importante notare che gli operatori non usano la schermata dei dati di massa per studiare i particolari delle singole variabili, ma per capire a livello generale se tutto procede come dovuto. Dato che il controller tende a spingere il processo verso i limiti, seppur mantenendo i valori su livelli prettamente stabili, la normalità viene visualizzata come uno schema comune di linee nere senza picchi e senza alcuna ombreggiatura sullo sfondo. Solo se il processo cambia o le condizioni escono dai limiti normali lo schema comincia a spezzettarsi nel modo o nei modi sopra descritti (le linee tendenziali non sono più piatte, ma assumono una delle altre sei forme, diventano gialle o rosse oppure lo sfondo della variabile assume una caratteristica ombreggiatura). La posizione della variabile non serve da notifica, come avviene con le altre tre

Uno spazio di lavoro coerente e coordinato in grado di aiutare gli utenti a orientarsi tra i problemi del controller.

mappature, ma contribuisce a identificare la posizione della variabile nel processo quando si rendono necessarie ulteriori ricerche.

**Principio progettuale 3: supportare la navigazione diretta dalla schermata generale a maggiori particolari.** Dato che la schermata generale è progettata principalmente per avvisare gli operatori di un problema, è necessario consentire l'accesso ai dettagli della variabile che necessita un approfondimento. Il nostro sistema supporta la navigazione dalla schermata dei dati di massa alle informazioni dettagliate in due modi. Il primo è tramite mouse-over, con la conseguente comparsa sulla barra di stato appena sotto la schermata dei dati di massa del nome della variabile e di qualsiasi dato anormale ad essa collegato. Il secondo è cliccando una volta sull'icona della variabile nella schermata dei dati di massa, con la conseguente comparsa dei dettagli della variabile nella finestra della Variabile Singola in basso a destra sulla schermata generale (Area 3 dello spazio di lavoro mostrato in fig. 1) e l'evidenziazione di ulteriori informazioni sulla variabile mostrate nell'Area Diagnostica (Area 2 della fig. 1).

**Principio progettuale 4: utilizzare l'aiuto grafico per rappresentare le proprietà del dominio nei corrispondenti elementi grafici.** L'applicazione di questo principio è già stata descritta nella rappresentazione dei dati di massa. Tuttavia abbiamo applicato questo principio anche alla progettazione di altri due display di dati sulle variabili ed è una di queste che descriveremo qui. Abbiamo progettato una «bolla indicatrice» che mostra l'attuale valore di una variabile in relazione ai suoi limiti e ai suoi parametri di ottimizzazione. Ogni variabile viene mostrata su una scala a lunghezza fissa, normalizzata sulla massima gamma di valori ammissibili per quella variabile (definita dai responsabili d'impianto). La scala viene rappresentata da una linea di lunghezza fissa sul piano orizzontale o verticale. I valori di soglia superiore e inferiore impostati dall'operatore vengono rappresentati da una linea nera perpendicolare rispetto all'asse principale, mentre l'attuale valore della variabile viene rappresentato da un cerchietto vuoto (bolla) e il valore target di ottimizzazione (se impostato) da una X grigio chiara. Questo consente di rappresentare in un piccolo grafico i seguenti elementi: valore massimo ammissibile, valore minimo ammissibile, soglia superiore attualmente impostata, soglia inferiore attualmente impostata, valore attuale e valore di ottimizzazione attuale. Inoltre, analizzando questi valori in una rappresentazione grafica di scala l'operatore può vedere subito quanto il valore attuale si avvicina agli altri valori e quindi capire se la variabile è stata «inchiodata» (nei casi in cui la soglia superiore e inferiore obbligano la variabile a restare in un'area molto più ristretta di quella normalmente consentita).

**Principio progettuale 5: usare lo stesso colore di co-**

**difica in tutte le schermate per rappresentare la stessa cosa.** Il nostro programma usa in modo coerente in tutte le schermate lo stesso colore per rappresentare lo stato di «entro i limiti», «prossimità a una soglia» e «fuori dai limiti». Che si tratti della rappresentazione per icone nella schermata dei dati di massa, del cerchio usato nella «bolla indicatrice» o della linea tendenziale nel grafico delle singole tendenze, lo spazio di lavoro userà sempre la stessa codifica con i colori nero, giallo e rosso, in modo da rappresentare con coerenza lo stato della variabile.

**Principio progettuale 6: mostrare i dati sulle variabili in relazione ai limiti.** Abbiamo già descritto l'applicazione di questo principio nella progettazione della «bolla indicatrice». Procederemo ora a descrivere l'implementazione dello stesso principio nella progettazione dei grafici tendenziali. Quando viene selezionata una variabile nella schermata generale o diagnostica, la schermata di controllo mostra una tendenza storica e predittiva per quella variabile. Questo grafico delle tendenze mostra anche i limiti impostati. Si tratta di un concetto semplicissimo, ma raramente presente nelle attuali schermate dei grafici delle tendenze utilizzati nel controllo di

**Dal monitoraggio allo stato diagnostico, lavorando con il controller, la navigazione è diretta nei dettagli indispensabili.**

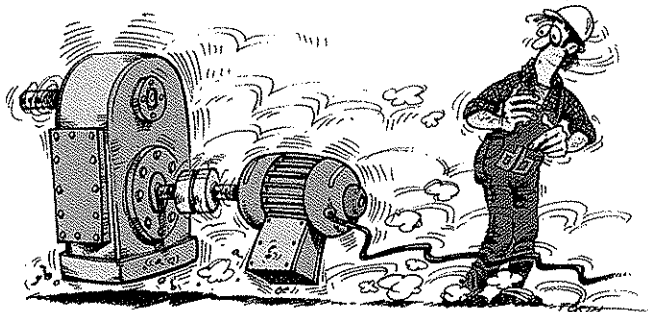
processo. In ogni caso, questo accorgimento consente all'operatore di capire subito il comportamento della variabile in relazione ai limiti e di vedere se i limiti sono stati modificati e, in caso affermativo, l'effetto delle modifiche sul comportamento della variabile. Si tratta di un'importante informazione contestuale che va perduta se questa informazione non viene trascritta.

**Principio progettuale 7: mostrare le informazioni contestuali più significative quando l'operatore modifica un limite, comprese le modifiche precedenti.** Dedicando un terzo dello schermo ai dati sulle singole variabili,

il sistema mostra automaticamente tutti i dettagli necessari ad assistere l'operatore che intende modificare i limiti in modo informato. Vengono mostrate le tendenze recenti e predittive rispetto ai limiti, la gamma di valori massimi ammissibili definiti dai responsabili d'impianto e un elenco storico delle modifiche operate su quei limiti da altri operatori. Questo elenco è legato al grafico delle tendenze, in modo che cliccando sull'elenco la schermata visualizzi il grafico in relazione a quella data e viceversa.

**Conclusioni.** Un problema comune a tutte le schermate di dati cognitivi, soprattutto nel controllo di processo, è che i dati significativi sono spesso sparpagliati in schermate diverse e separate che nascondono importanti correlazioni e non mostrano le informazioni legate agli eventi. Le schermate attualmente utilizzate dai programmi Mpc evidenziano i numerosi problemi generati da questo tipo di progettazione. È difficile ottenere una buona panoramica dello stato recente, attuale e futuro del controller (conoscenza della situazione), così com'è difficile prendere delle decisioni informate quando s'inseriscono delle modifiche nel programma (inserimento di dati nel

# Aumenta l'affidabilità

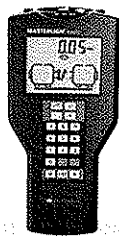


Sistemi di allineamento: per qualsiasi lavoro e budget

Le opzioni dell'investimento:

Segna 78 sulla cartolina informazioni

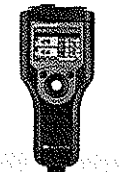
www.pruftechnik.com



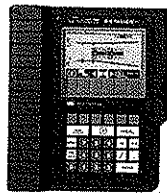
Sistema laser base per l'allineamento di alberi che fornisce valori al giunto/piedi con **MASTERLIGN®**



Sistema avanzato per allineamento ideale di giunti singoli e treni di macchine con **OPTALIGN® PLUS**



Sistema di allineamento laser dedicato alle applicazioni orizzontali & verticali con **smartALIGN®**



Sistema di allineamento multifunzione per alberi ed applicazioni geometriche con **ROTALIGN® PRO**

PRUFTECHNIK S.R.L.  
Allineamento & Vibrazioni  
Trezzano sul Naviglio (MI), Italia  
Tel. 02-48463050  
eMail: info@pruftechnik.it

**db** PRUFTECHNIK

## CONDITION MONITORING

contesto). Tutto ciò obbliga gli utenti a inutili navigazioni nello spazio virtuale nel tentativo di estrarre i dati necessari ad arrivare a una conclusione informata. Woods ha definito questo aspetto come il problema della «progettazione della disponibilità dei dati» piuttosto che «della progettazione per l'estrazione di informazioni» (Woods, 1995). Noi abbiamo applicato principi progettuali del tutto nuovi per dimostrare che è possibile rappresentare i dati in diversi livelli gerarchici che supportano i compiti cognitivi del monitoraggio, della diagnosi e del controllo, oltre che progettare uno spazio di lavoro coerente e coordinato in grado di aiutare gli utenti a orientarsi tra i problemi del controller (aiutandoli a capire quando passare dallo stato di monitoraggio allo stato diagnostico lavorando con il controller) con navigazione diretta nei dettagli indispensabili. Questo lavoro vuole offrire un approccio ingegneristico cognitivo a un problema sentito nel settore della raffinazione petrolifera. Una spiegazione più dettagliata delle progettazioni descritte in questo articolo può essere reperita in Guerlain, Jamieson, Bullemer e Blair (2001). Questa ricerca è stata condotta mentre gli autori lavoravano alla Honeywell Labs (ex Honeywell Technology Center). Molti dei concetti progettuali qui descritti sono stati incorporati nella nuova versione del sistema Profit Assistant.

*Reprinted with permission from Proceedings of the XIVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association and 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society. Copyright by the Human Factors and Ergonomics Society. All rights reserved.*



### Gli Autori

**Stephanie Guerlain** ha conseguito il Bachelor of Science in psicologia ingegneristica presso la Tuft University nel 1990 e il Master of Science e il Ph.D in sistemi cognitivi presso la Ohio State University nel 1993 e nel 1995. La dottoressa Guerlain ha ricoperto l'incarico di Principal research scientist alla Honeywell Technology Center dal 1995 al 1999 ed è attualmente professore aggiunto per i fattori umani alla facoltà di Ingegneria dei sistemi/Ingegneria informatica della University of Virginia. Le sue ricerche riguardano i campi dell'interazione tra uomo e computer, sistemi di decision support, fattori umani nel controllo di processo, applicazioni mediche e militari. La dottoressa Guerlain è coordinatrice dello Human-Machine Systems Group della Ieee Systems e della Man and Cybernetics Society, oltre a far parte della Human Factor and Ergonomics Society.



**Greg A. Jamieson** ha conseguito il B.S. in Ingegneria meccanica e in Psicologia presso la University of Illinois di Urbana-Champaign nel 1996, quindi il M.A.Sc in Ingegneria meccanica e industriale nel 1998 alla University of Toronto, successivamente perfezionato in Ph.D nel 2003. Dal 1998 al 2002 ha ricoperto l'incarico di Research intern e quindi di Research scientist alla Honeywell Laboratories di Minneapolis ed è attualmente professore

aggiunto della facoltà d'ingegneria meccanica e industriale della University of Toronto e co-direttore del Cognitive Engineering Laboratory.



**Peter Bullemer** ha conseguito il Ph.D in Psicologia cognitiva alla University of Minnesota nel 1985. Il dottor Bullemer ha ricoperto l'incarico di Senior principal research scientist alla Honeywell Labs di Minneapolis ed è adesso alla guida dello User centered design services. Dirige inoltre il consorzio di ricerca e sviluppo «Abnormal situation management» ed è attivo in diversi progetti di progettazione e sviluppo d'interfacce operatore. Le sue ricerche riguardano il campo del decision support e dell'intelligent tutoring.