

I FATTORI UMANI NEL PROGETTO DI SISTEMI DI CONTROLLO E DI INTERFACCE UOMO-MACCHINA IN SISTEMI COMPLESSI ALTAMENTE AUTOMATIZZATI

Michele Piccini⁽¹⁾, Andrea Carpignano⁽²⁾

Politecnico di Torino – Dipartimento di Energetica

C.so Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 – Torino

Tel.: 011 564 4413⁽¹⁾/4450⁽²⁾ – Fax: 011 564 4499 – Email: mipiccin@polito.it, acarpignano@polito.it

SOMMARIO

Il progetto di sistemi di controllo e di interfacce uomo-macchina nel campo dei sistemi complessi e critici dal punto di vista della sicurezza resta a tutt'oggi una questione aperta, nonostante la grande evoluzione tecnologica degli ultimi anni. Il sempre crescente utilizzo dell'automazione ha incrementato l'efficienza, la sicurezza e la semplicità delle attività operative ma, allo stesso tempo, ha complicato la rappresentazione mentale del processo da parte degli operatori e ha profondamente cambiato la natura dei possibili errori operativi. L'attività di dottorato di ricerca descritta in questo articolo rappresenta un tentativo di sviluppare una struttura metodologica di supporto al progetto di sistemi di controllo e di interfacce uomo-macchina, concentrandosi in modo particolare sulla necessità di un approccio altamente ricorsivo relativo all'implementazione di aspetti sistemici ed umani nel processo di progetto di un sistema uomo-macchina inteso come Sistema Cognitivo Integrato (*Joint Cognitive System*). Un caso studio validante è stato poi eseguito, basato sulla completa applicazione della struttura metodologica al controllo del sistema turbina/alternatore di un impianto termoelettrico dell'Azienda Energetica Metropolitana di Torino.

1. INTRODUZIONE

L'attività di ricerca descritta in queste pagine rappresenta la sintesi di un'attività di Dottorato di Ricerca svolta nel triennio 1999-2002, sviluppata in cooperazione tra il Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino, il Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea di Ispra e l'Azienda Energetica Metropolitana di Torino.

Due aspetti stanno alla base della scelta del soggetto di questa attività di ricerca. Da un lato il sempre più esteso utilizzo dell'*automazione* rappresenta un aspetto altamente caratterizzante la moderna società tecnologica, con un tale impatto sull'opinione pubblica da generare la sensazione che anche il più piccolo malfunzionamento di qualche sistema di controllo automatizzato possa originare conseguenze disastrose [1]. D'altro canto, la frequente tendenza ad assegnare all'*errore umano* il ruolo di causa ultima di sequenze incidentali rappresenta un non sempre corretto ed esauritivo (e molto spesso volontariamente superficiale) processo di indagine: gli esperti nel campo dei Fattori Umani sono concordi nel ritenere che un errore operativo debba essere spesso considerato come uno degli anelli di una catena di cause/effetti originata da problemi di tipo progettuale, organizzativo e manageriale.

Perciò la situazione deve essere osservata da un punto di vista più ampio: lo sviluppo tecnologico ha effettivamente migliorato le componenti hardware e software e le configurazioni di sistema, ma gli aspetti di affidabilità umana non sono stati oggetto di un'equivalente attenzione e di un adeguato e contemporaneo sviluppo. Di conseguenza, l'elemento umano è diventato il punto relativamente più debole nei moderni sistemi altamente automatizzati, e la profonda comprensione della sempre maggiore complessità tecnologica rappresenta un passo fondamentale nel progetto di sistemi uomo-macchina.

In questa prospettiva, l'attività di ricerca descritta in queste pagine rappresenta il tentativo di sviluppare una struttura metodologica di supporto al progetto di sistemi di controllo e di interfaccia uomo-macchina, facendo convergere le più moderne teorie di controllo cognitivo di supervisione ed i principi di *human-centred design* [2, 3]. Una particolare attenzione è stata dedicata alla necessità di un approccio ricorsivo per l'implementazione di aspetti sistemici ed umani nel processo di design di un sistema uomo-macchina inteso come un "Sistema Cognitivo Integrato" (*Joint Cognitive System*) [4].

L'applicazione ad un caso reale è poi stata sviluppata: un impianto termoelettrico è stato selezionato, in cui un programma di modifica ed ammodernamento è attualmente in corso. Il caso studio è stato focalizzato sul sistema di controllo e sulle relative interfacce uomo-macchina del gruppo turbina-alternatore dell'impianto, con un duplice scopo:

- validare la struttura metodologica, al fine di raffinare i metodi di selezione delle tecniche disponibili ed i collegamenti metodologici tra le differenti fasi;

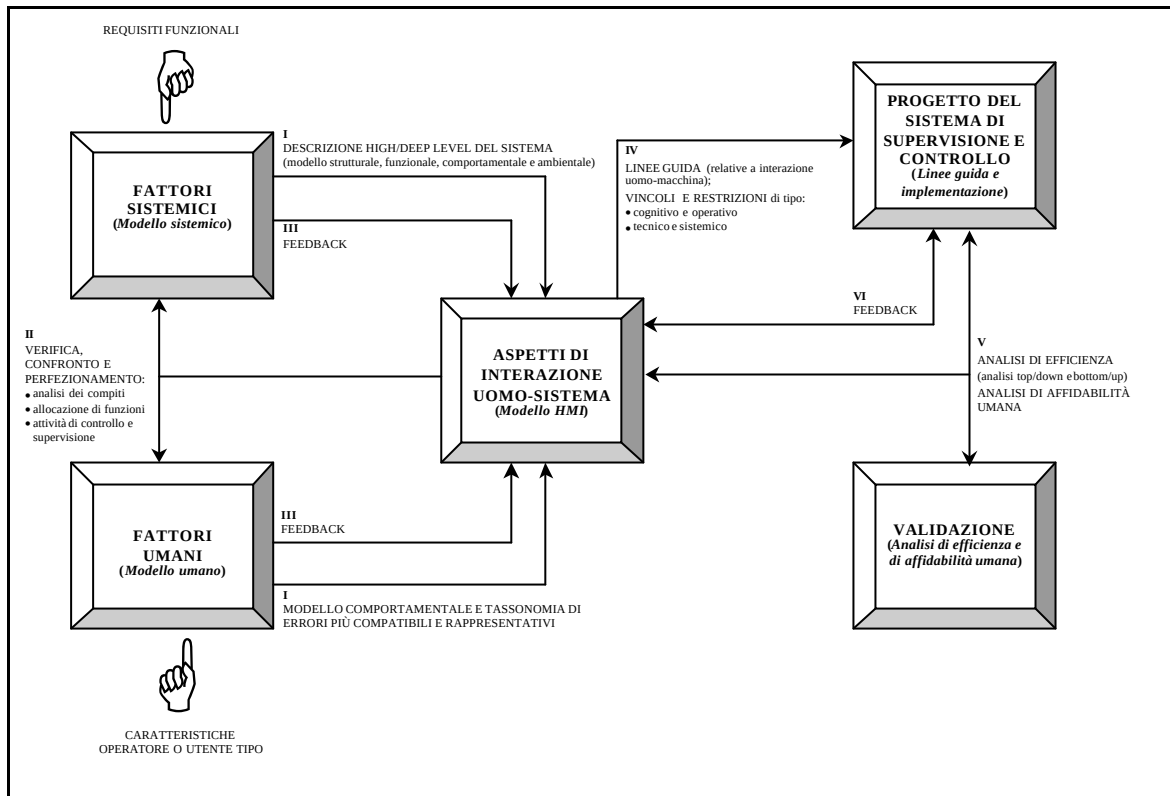


Figura 1. La struttura metodologica proposta

- fornire una revisione critica dell'attuale sistema di controllo e di interfaccia uomo-macchina, proponendo linee guida per possibili modifiche e migliorie progettuali.

Nel seguito, gli aspetti teorici fondamentali dell'attività di ricerca ed i principali risultati dell'applicazione al caso studio saranno descritti e discussi.

2. LA STRUTTURA METODOLOGICA PROPOSTA

Il fondamento teorico della presente attività di ricerca risiede nella proposta di una struttura metodologica di supporto al progetto di sistemi di supervisione e controllo, in grado di fondere gli strumenti di progettazione e sviluppo di tipo più pratico e i più innovativi fondamenti di tipo teorico. L'approccio è fondamentalmente basato su due assunzioni fondamentali, derivanti dall'ingegneria del controllo di supervisione e dall'ergonomia cognitiva [4]:

- in primo luogo si è assunto che l'interazione tra le componenti umane e i sistemi automatizzati di controllo debba essere considerata in termini di "Sistema Cognitivo Integrato" (JCS, *Joint Cognitive System*);
- in secondo luogo si è riconosciuto come il comportamento umano (e di conseguenza tutte le possibili azioni erronee) sia profondamente influenzato dal contesto socio-tecnico in cui si sviluppa.

La nozione di Sistema Cognitivo Integrato deriva fondamentalmente dalle teorie del controllo di supervisione [5]. Secondo tali teorie l'operatore rimane al vertice del sistema e può sostituirsi al sistema di controllo automatizzato quando una particolare situazione lo richieda: in queste situazioni la macchina agisce come un "assistente intelligente", il cui ruolo è supportare gli operatori nel controllo dei processi fisici. Tale nozione richiede che l'uomo e la macchina siano modellati in termini equivalenti e che un accoppiamento altamente integrato dei due modelli sia essenziale per descrivere ed analizzare il dettaglio della reciproca interazione. Inoltre, quest'assunzione è basata sulla fondamentale premessa che la cognizione umana è un processo di tipo attivo e che può essere modificato e influenzato dagli obiettivi perseguiti, dal contesto e dalla situazione: la descrizione del comportamento del sistema deve pertanto essere studiato da un punto di vista globale e non in termini di singole componenti umane o sistemiche.

La struttura metodologica complessiva è mostrata in figura 1: un dettagliato numero di strumenti, in termini di metodologie e tecniche è fornito e formalizzato al fine di supportare la costruzione di:

- un *Modello Sistemico*, al fine di permettere una modellazione approfondita del sistema dal punto di vista strutturale, funzionale ed ambientale;
- un *Modello Umano*, con selezione dei più adeguati modelli cognitivi e approcci di simulazione del comportamento e dell'errore umano, e delle corrispondenti tassonomie;
- un *Modello di Interazione Uomo-Macchina*, con selezione della più appropriata rappresentazione delle relazioni tra gli operatori e il sistema supervisionato/controllato.

I due passi finali sono ricorsivi e complementari:

- la fase di *Progetto del Sistema di Supervisione e Controllo* implementa le informazioni provenienti dalle fasi precedenti, integrandole in linee guida "generiche e di alto livello" (aspetti sintattici, semantici, contestuali ed ambientali) e linee guida "specifiche e di dettaglio" (progetto di display e controlli);
- la fase di *Validazione*, effettuata all'interno di un processo di design, si basa su analisi di tipo "top-down" e "bottom-up" e richiede una completa analisi di affidabilità umana per mezzo di tecniche di nuova generazione (approcci cognitivi).

I dettagli di ciascuna fase possono essere reperiti nelle pubblicazioni specifiche menzionate nei riferimenti bibliografici [3, 6]. In queste pagine si vogliono sintetizzare le principali caratteristiche dell'approccio metodologico e della relativa applicazione.

Le prime tre fasi della struttura metodologica devono essere considerate strettamente interconnesse: l'obiettivo comune è di investigare tutti gli aspetti sistemici ed umani nella definizione e nel progetto del sistema di controllo, e di integrare tutte le informazioni in un modello integrato che fornisca una rappresentazione completa delle caratteristiche dell'interazione uomo-macchina/sistema. Ciò deriva direttamente dalla nozione del precedentemente menzionato "paradigma JCS".

Dal punto di vista della *Modellazione Umana*, una particolare attenzione deve essere posta sull'identificazione delle caratteristiche degli operatori. Secondo studi specializzati sul progetto di sale di controllo e sugli aspetti di sicurezza correlati, gli aspetti cognitivi delle prestazioni operative non sono sufficientemente identificati ed analizzati durante le fasi di progetto [7]: ciò può condurre ad allocazioni non bilanciate di funzioni tra uomo e sistemi automatizzati o alla realizzazione di interfacce inadeguate. Un passo fondamentale in un processo di design di sistemi di controllo e di interfacce uomo-macchina è pertanto rappresentato dalla selezione di un modello umano di riferimento, che rappresenta un mezzo per la formalizzazione e l'organizzazione della conoscenza relativa al "ruolo" dell'operatore umano. Questa è un'informazione essenziale per determinare il livello di automazione e di distribuzione di compiti tra operatori e sistemi di controllo. Inoltre esso rappresenta un indicatore fondamentale circa il tipo di interfaccia richiesta in un situazione specifica [8].

La terza e fondamentale fase del processo di modellazione è rappresentato da un'attività di integrazione degli input provenienti dai passi precedenti e dalla definizione delle basi di riferimento dell'interazione uomo-macchina per le successive attività di progetto. La così definita "triade modellistica" deve essere affrontata in modo altamente ciclico e ricorsivo, ove gli output di ciascuna fase rappresentano fondamenti e feedback per confronti, controlli e attività di raffinamento. Tutti questi elementi contribuiscono alla costruzione di un *Modello Complessivo di Interazione Uomo-Macchina/Sistema*, supportata da attività essenziali di allocazione di funzioni (di tipo statico e dinamico) e di analisi dei compiti (di tipo classico e cognitivo).

La fase di *effettiva progettazione* è un processo di traduzione di tutte le informazioni strutturate e formalizzate relative all'Interazione Uomo-Sistema, e la relative implementazione in un processo di design di un sistema di controllo ed interfaccia. Questo deve essere effettuato attraverso lo sviluppo di linee guida generiche e di alto livello (aspetti sintattici, relativi all'interazione uomo-computer; aspetti semantici, relativi all'interazione uomo-sistema; aspetti ambientali e contestuali) e linee guida specifiche e di dettaglio (effettivo progetto di display e controlli).

La fase di *validazione* deve essere condotta parallelamente a tutte le fasi precedentemente descritte e può richiedere attività di revisione e riprogettazione: il suo contributo diventa cruciale non solo come attività finale per un sistema completamente definito, ma anche e soprattutto come indagine complementare di un sistema in evoluzione. La struttura metodologica identifica tre fasi principali (analisi "top-down" e "bottom-up" e analisi di affidabilità umana), che dovrebbero includere valutazioni di natura qualitativa e quantitativa, in grado di rappresentare gli aspetti cognitivi della prestazione umana, come pure i collegamenti e le dipendenze con il sistema di controllo e le relative interfacce [4, 9, 10].

Ciascuna fase della struttura metodologica è caratterizzata da un insieme di tecniche e metodologie offerte dalla letteratura specializzata e da attività di ricerca precedenti realizzate in questo ambito specifico. La selezione delle tecniche e metodologie più appropriate in relazione al caso particolare in corso di studio è effettuato definendo e mettendo in relazione i *requisiti dell'utente del sistema* (aspetti cognitivi ed operativi) e i *vincoli e le restrizioni di design* (aspetti di tipo tecnico e tecnologico).

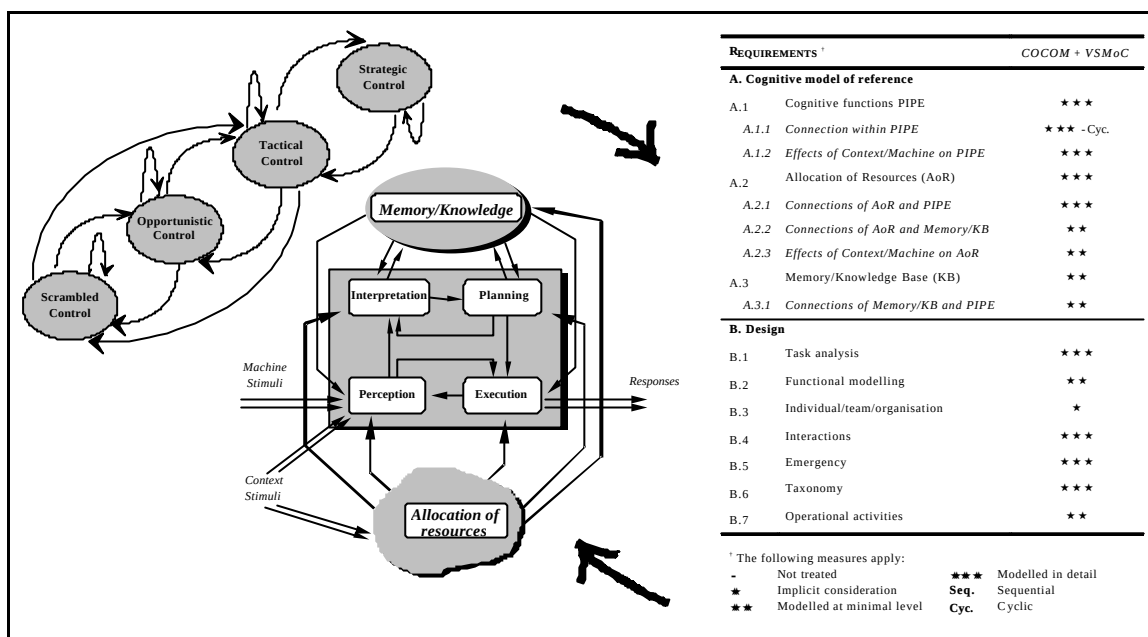


Figura 2. Un esempio di matrice di selezione: il caso di un modello di comportamento umano (COCOM/VSMoC)

Queste fasi di selezione ed aggiustamento sono state strutturate in criteri di selezione e valutazione, e matrici di supporto alla decisione, la cui verifica e validazione ha rappresentato uno degli scopi primari dell'applicazione al caso studio. La figura 2 mostra un esempio di possibile applicazione di matrice di selezione per un modello cognitivo di comportamento umano. In questo caso specifico la selezione è effettuata in relazione alla capacità di ciascun modello di rappresentare le relazioni tra le funzioni cognitive (Percezione, Interpretazione, Pianificazione, Esecuzione) e i processi cognitivi (Memoria/Base di Conoscenza e Allocazione di Risorse) di un modello cognitivo di riferimento, supportando specifiche tipologie di attività relative al processo di design. Il modello preso come esempio è COCOM/VSMoC [4]: un approccio simile è stato proposto per ciascun passo caratterizzante le differenti fasi della metodologia.

3. IL CASO STUDIO: IL SISTEMA DI CONTROLLO DI UN GRUPPO TURBINE-ALTERNATORE DI UN IMPIANTO TERMOELETTRICO

3.1 La modellazione dell'Interazione Uomo-Macchina/Sistema

Il sistema selezionato, oggetto della fase applicativa dell'attività di ricerca, è rappresentato dal gruppo principale a vapore di un impianto termoelettrico cogenerativo gestito dall'Azienda Energetica Metropolitana di Torino, destinato alla produzione di potenza elettrica (142 MW_{el}) e all'alimentazione termica di una rete di teleriscaldamento (200 MW_{th}). In particolare, l'applicazione della struttura metodologica è stata focalizzata sul sistema di supervisione e controllo del gruppo turbine/alternatore, con particolare enfasi sull'approccio di modellazione basato sulla "triade JCS" precedentemente descritto: una rappresentazione dettagliata dell'interazione uomo-macchina è stata ottenuta, permettendo in primo luogo di testare e validare tutte le fondamentali fasi metodologiche, e in secondo luogo di tradurre tutte le rappresentazione qualitative e quantitative in linee guida a diversi livelli (design di sistema di controllo e interfacce uomo-macchina, problemi di tipo ambientale e contestuale, aspetti organizzativi e gestionali).

Ciascun aspetto della metodologia è stato completamente applicato, selezionando le metodologie e le tecniche più adatte e applicando in modo completo tutte le fasi di modellazione.

Un'approfondita *analisi sistemica* è stata effettuata, attraverso la raccolta e lo studio di tutta la documentazione disponibile, colloqui con operatori esperti, familiarizzazione diretta con le sale controllo e con le interfacce di supervisione: questa fase ha permesso non solo di acquisire una conoscenza approfondita di tutte le caratteristiche del sistema di controllo (la cui struttura è parzialmente visualizzata in figura 3), ma anche di raccogliere un vasto ammontare di informazioni circa le caratteristiche ambientali, identificando i principali "stimoli dal contesto" che possono influenzare le prestazioni operative.

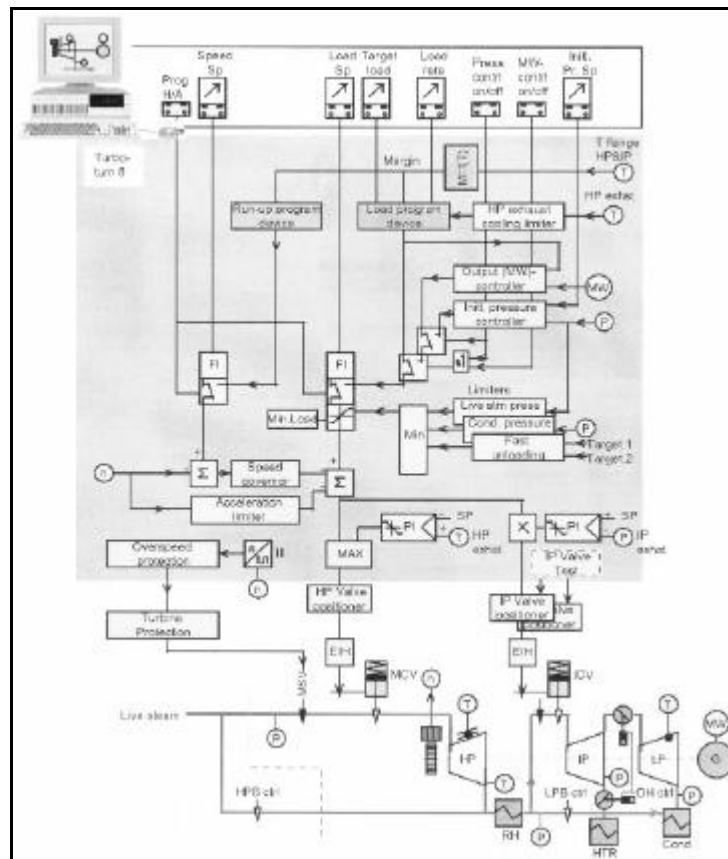


Figura 3. Porzione del sistema di controllo del gruppo turbine/alternatore

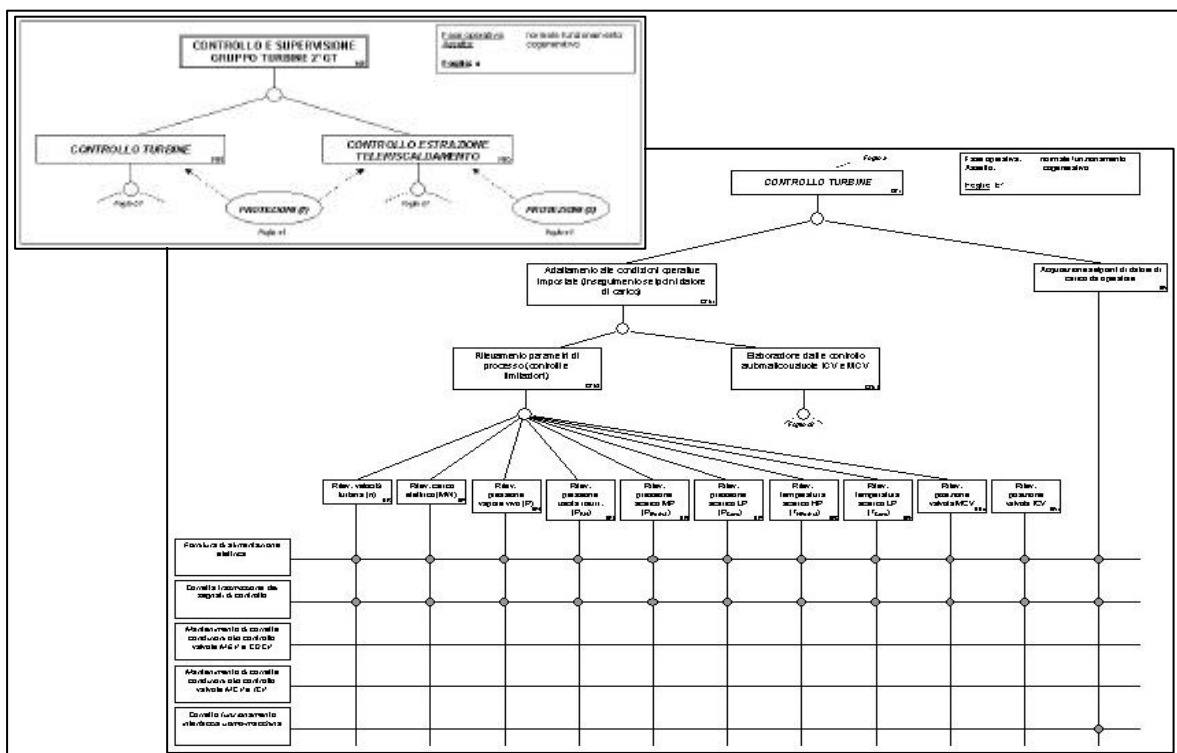


Figura 4. Porzione dell'albero funzionale

In questa fase un'attenzione particolare è stata dedicata all'analisi funzionale del sistema: una tecnica specificamente sviluppata per impianti termo-elettrici [3] è stata utilizzata, modellando con un approccio altamente strutturato e decompositivo tutte le caratteristiche relative alle gerarchie ed eterarchie funzionali, ai cicli di controllo, alle effettive soluzioni di allocazione uomo-macchina, ai principali parametri di controllo e supervisione. Una ristretta porzione dell'ampio albero funzionale è visualizzato in figura 4.

Dal punto di vista della *modellazione umana*, un'attenzione particolare è stata dedicata agli aspetti cognitivi della prestazione operativa: la selezione del modello di comportamento e della classificazione dei comportamenti erranei è stata effettuata tenendo in considerazione le potenzialità e le caratteristiche delle funzioni mentali interne e della rappresentazione mentale dei processi. In questa prospettiva la scelta è caduta sul modello cognitivo COCOM/VSMoC [4] e sulla tassonomia associata alla metodologia HERMES [11]. Sulla base di tali elementi un'accurata analisi dei compiti è stata effettuata, focalizzata non soltanto su tutti gli aspetti tecnici ed operativi, ma anche sulle caratteristiche cognitive associate, permettendo il raggiungimento di risultati modellistici fondamentali:

- identificazione e descrizione approfondita delle attività operative fondamentali ed elementari costitutive delle sequenze di normale funzionamento e di emergenza;
- costruzione di uno specifico profilo di carico cognitivo associato alle sequenze operative, con riferimento ad una lista di attività cognitive critiche e ad una matrice di associazione di attività e requisiti cognitivi;
- identificazione di possibili deviazioni e comportamenti erranei e di radici causali di tipo cognitivo associati a ciascuna attività operativa.

L'esecuzione dell'analisi dei compiti sistemico/cognitiva è stata condotta, dal punto di vista formale, attraverso un approccio gerarchico e tabulare (mostrato in figura 5). I principali risultati di tipo cognitivo sono stati organizzati in diagrammi riferiti alle differenti fasi operative delle sequenze di normale funzionamento e di emergenza, rappresentanti le relative caratteristiche in termini di sollecitazioni delle funzioni cognitive e di percorsi di comportamenti erranei.

Fase: 3.2 Descrizione: Presa di carico [2]									
ID azione	Esecutore		Descrizione		Profilo di carico cognitivo		Comportamenti erranei		Commenti ulteriori
	Op.	Sap.	Generale	Dettaglio	Attiv. Cognitive	Func. Cognitive	Classi	Eventi, cause esterne spec.	
3.2.4		X	Ordine di avvio sequenza di presa di carico fino a valore di carico massimo	comunicazione orale all'operatore dell'ordine di attuazione	Coordinazione	Planificazione Esecuzione	B1	Proc_Gen, Int_Con, Int_Dis	
3.2.5	X		Attuazione sequenza di presa di carico fino al valore desiderato (carico elettrico) e verifica di corretta esecuzione	a) impostazione di un adeguato valore del datore di carico (attivabile tramite il testo "RIF. MW. MOD. AUTO")	Regolazione	Osservazione Esecuzione	B3/B4	Aut_Mer_Obb; Inf_Amb; Proc_Gen, Int_Dis	La regolazione del carico elettrico è ad anello aperto
				b) verifica della corretta apertura delle valvole di regolazione turbine (CV e MCV); corretto inseguimento del set-point (leggibile da "RIF. MW. MOD. AUTO") da parte del carico effettivo (leggibile da "RIF. MW. MOD. MAN")	Regolazione	Osservazione Esecuzione	B3/B4	Aut_Mer_Obb; Inf_Amb; Proc_Gen, Int_Dis	
				c) verifica dell'aumento di carico elettrico leggibile da interfaccia in corrispondenza dell'istimatore	Monitoraggio	Osservazione Interpretazione	A2/A4	Proc_Gen, Int_Dis	
				d) verifica dei corretti valori di vibrazioni, dilatazione differenziale e temperatura fango (la differenza di temperatura tra vapore immesso in turbina e fango interno deve mantenersi < 150°C)	Scansione	Osservazione	A1	Proc_Gen, HMI_Foc; HMI_Dis, HMI_Fram, Int_Dis	I dati tecnici di AP sono monitorabili da interfaccia Turbotur, quelli di MP e BP da Advant
				e) verifica della mancata attuazione di innalzazione o bloccati	Scansione	Osservazione	A1	Proc_Gen, Int_Dis, Int_Inc	
				f) verifica della completa chiusura delle valvole di bypass in corrispondenza del 30% del carico (circa 42MW elettrico)	Monitoraggio	Osservazione Interpretazione	A2	Proc_Gen, Int_Dis	Il grado di apertura del bypass AP è visualizzabile anche sull'interfaccia Turbotur, ma il controllo viene effettuato da Advant
				g) aggiustamento del valore del datore di carico (giunto b) fino al raggiungimento del valore desiderato di carico elettrico	Coordinazione	Planificazione Esecuzione	B3/B4	Aut_Mer_Obb; Inf_Amb; Proc_Gen, Int_Dis	La regolazione del carico elettrico è ad anello aperto
3.2.6		X	Verifica stato sistema al termine della sequenza di presa di carico	interrogazione operatore e supervisione interfaccia in vista di attuazione fase successiva di innalzamento telescaldamento	Comunicazione Scansione	Osservazione Esecuzione	A3	Proc_Gen, Int_Con, Int_Dis	

Figura 5. Analisi dei compiti sistemico/cognitiva

Tutte le descrizioni qualitative e quantitative finora descritte, hanno contribuito allo sviluppo di un modello complessivo ed integrato dell'Interazione Uomo-Macchina/Sistema secondo un approccio JCS, permettendo:

- di formalizzare di tutti gli aspetti funzionali, strutturali, dinamici ed operativi del sistema di supervisione e controllo;
- di evidenziare le caratteristiche cognitive legate all'operazione del sistema;
- di identificare e categorizzare problemi progettuali di carattere sistemico ed umano.

3.2 Sviluppo di linee guida di progetto

Tutto l'ammontare di indicazioni qualitative e quantitative derivanti dalle fasi di modellazione precedentemente descritte, è stato tradotto in un insieme di indicazioni e di linee guida che possono essere categorizzate come segue.

Linee guida generali

Diverse lacune e problemi dal punto di vista dei Fattori Umani, relativi ad aspetti gestionali, organizzativi, contestuali/ambientali sono stati evidenziati: soluzioni specifiche sono state proposte per ciascuno degli aspetti identificati.

Linee guida specifiche relative all'attuale interfaccia uomo-macchina

Tutti i display dell'attuale interfaccia uomo-macchina sono stati sottoposti a un'analisi approfondita, specialmente durante la fase di analisi sistemico/cognitiva dei compiti. Come mostrato in figura 6, la fase di modellazione ha permesso di rilevare diversi problemi di natura sintattica e semantica nelle caratteristiche del controllo e della supervisione del sistema, dal punto di vista di un errato raggruppamento funzionale, della mancanza di coerenza nella rappresentazione numerica e qualitativa di dati e nella rappresentazione grafica di parametri, dell'errato frazionamento di controlli su diversi sistemi di controllo, ecc. Un processo di riprogettazione di tutti i pannelli e display di supervisione e controllo è stato effettuato: in figura 7 è visualizzata una soluzione proposta per il display precedentemente mostrato in figura 6.

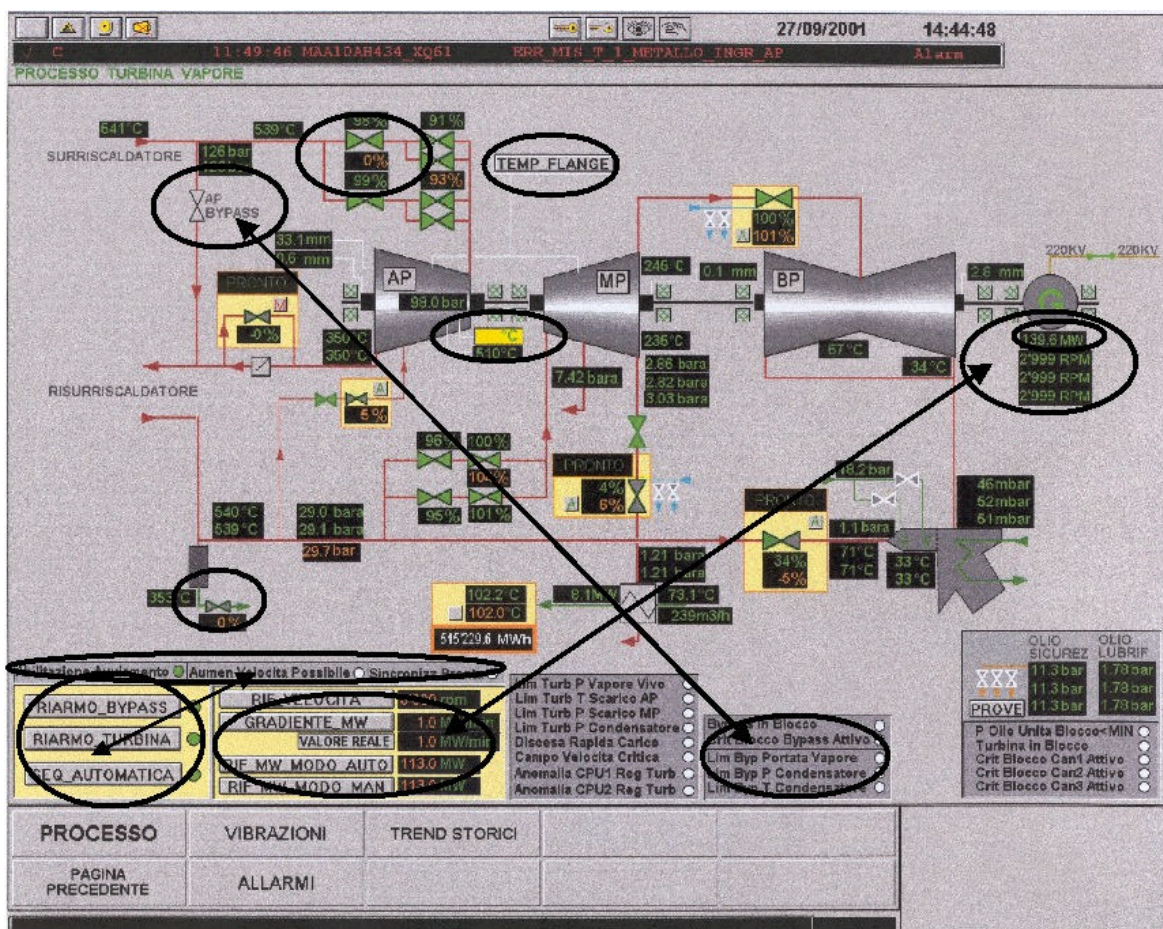


Figura 6. Problemi evidenziati su uno dei display dell'attuale sistema di interfaccia uomo-macchina

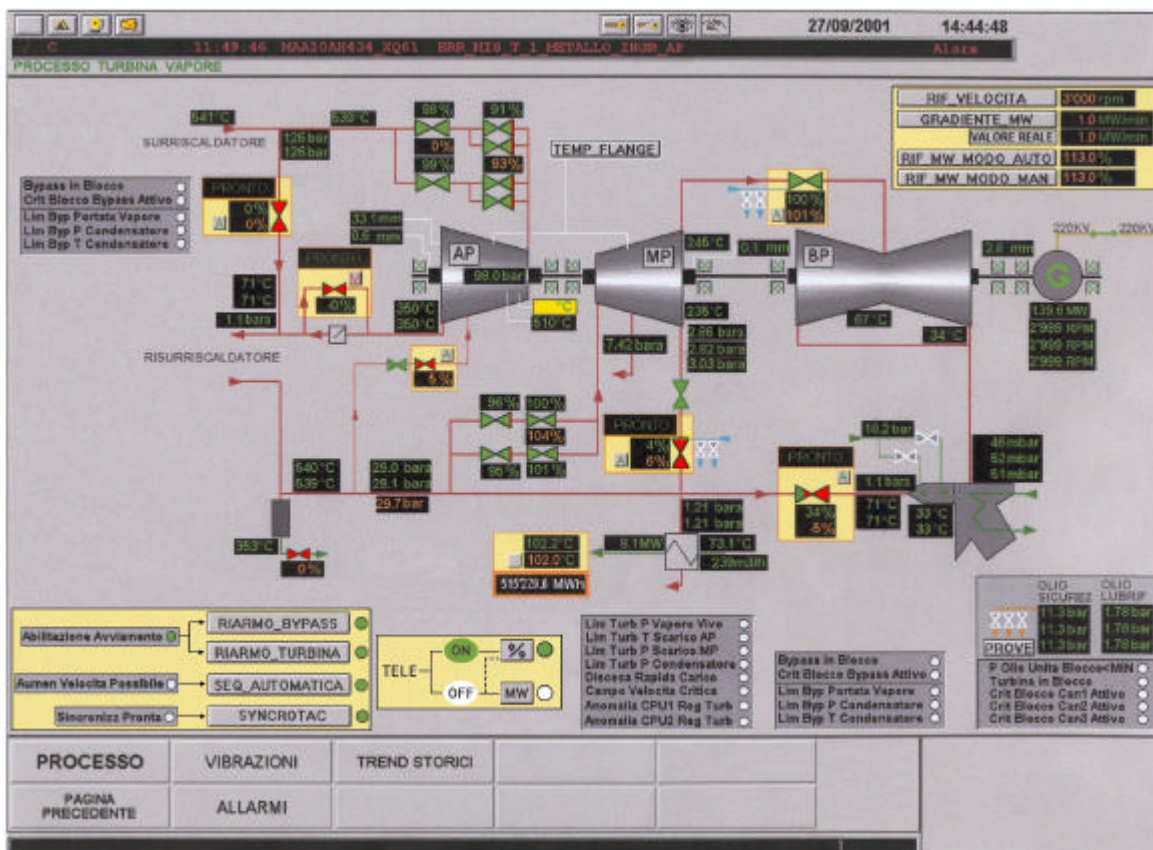


Figura 7. Proposte per la riprogettazione del display in figura 6

Linee guida specifiche relative al livello di automazione e alle caratteristiche di allocazione di funzioni

Una serie di problemi relativi al grado di automazione è stata identificata durante la fase di modellazione, specialmente grazie all'interazione tra le fasi di modellazione funzionale e di task analysis sistemico/cognitiva. In figura 8 è mostrato un possibile esempio di proposta di variazione progettuale a livello di automazione e allocazione di funzioni. Esso rappresenta una potenziale soluzione volta a modificare l'attuale approccio per la regolazione della potenza elettrica in output basata su un ciclo ad anello aperto in cui l'operatore deve impostare la configurazione delle valvole di controllo e non l'effettivo valore in output: questo può richiedere diverse iterazioni di controllo/comando da parte dell'operatore ed un conseguente ingente carico cognitivo che può favorire azioni erranee. Una nuova configurazione basata su un controllo ad anello chiuso è stata proposta, in cui l'operatore può impostare l'effettivo valore di carico elettrico in output e può seguire l'adattamento automatico della configurazione effettuata dal sistema di controllo.

Linee guida specifiche relative a nuove interfacce di supervisione

Diversi problemi sono stati rilevati durante la costruzione del modello di interazione uomo-macchina, specialmente in relazione alle capacità di supportare fondamentali attività di monitoraggio e diagnosi (in condizioni normali e, soprattutto durante situazioni di emergenza). L'analisi cognitiva dei compiti ha infatti messo in evidenza come l'attuale struttura del sistema di supervisione (visione topologica, elevato dettaglio nella visualizzazione di dati e parametri, basso livello di astrazione) sia più adatto per supportare attività di controllo e regolazione. Alcune possibili soluzioni al fine di risolvere questa lacuna, molto seria dal punto di vista del profilo di carico cognitivo, sono state proposte. In figura 9, ad esempio, è mostrato un pannello avanzato per monitoraggio e diagnosi basato sull'approccio MDD (Mass Data Display): tale approccio è imperniato su una struttura ad elevato raggruppamento funzionale e su una rappresentazione fuzzy dello stato dei principali parametri identificati durante le fasi di modellazione (attraverso 9 differenti sfumature cromatiche dal rosso al verde). Questo approccio, teorizzato durante altre attività di ricerca nel campo dei Fattori Umani [12], permette all'operatore una visione continua ed immediata, ed una percezione

complessiva dello stato globale del sistema, favorendo l'identificazione di possibili condizioni anomale incipienti di parametri fondamentali anche se ancora distanti da stati di allarme o da condizioni di intervento di sistemi di protezione.

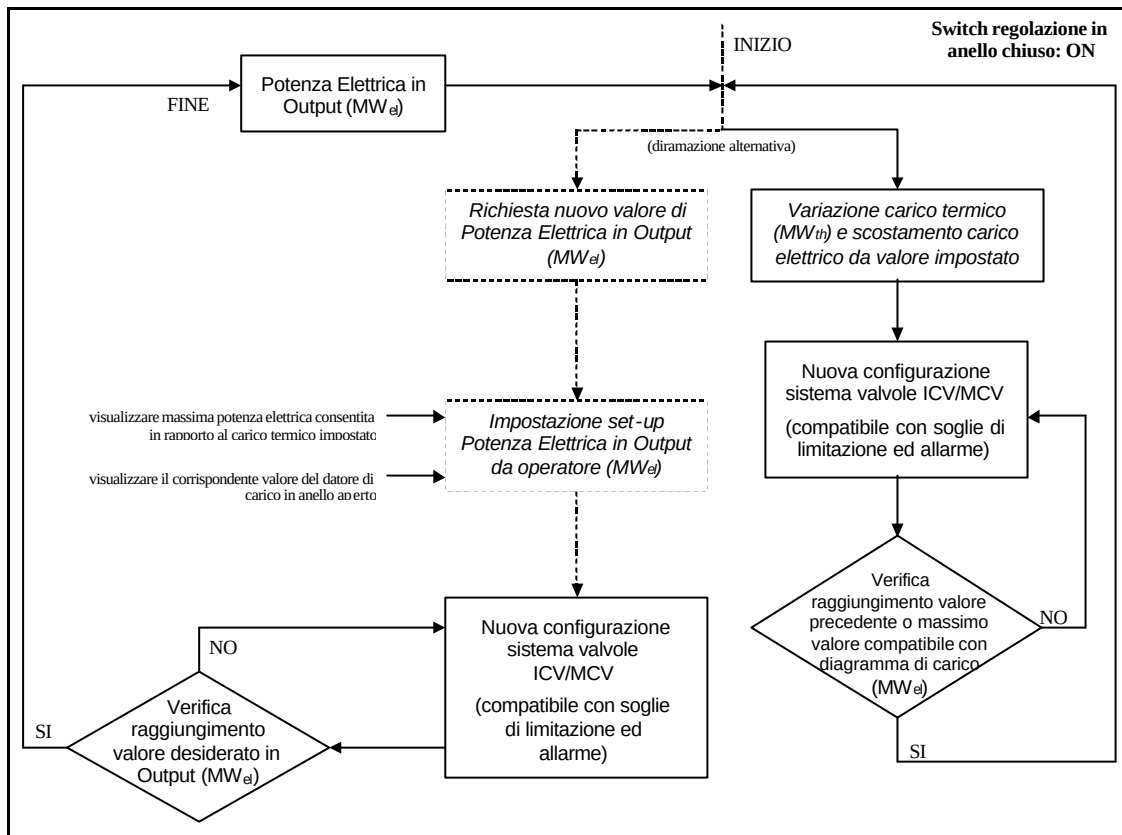


Figura 8. Esempio di modifiche proposte al livello di automazione ed all'allocazione di funzioni

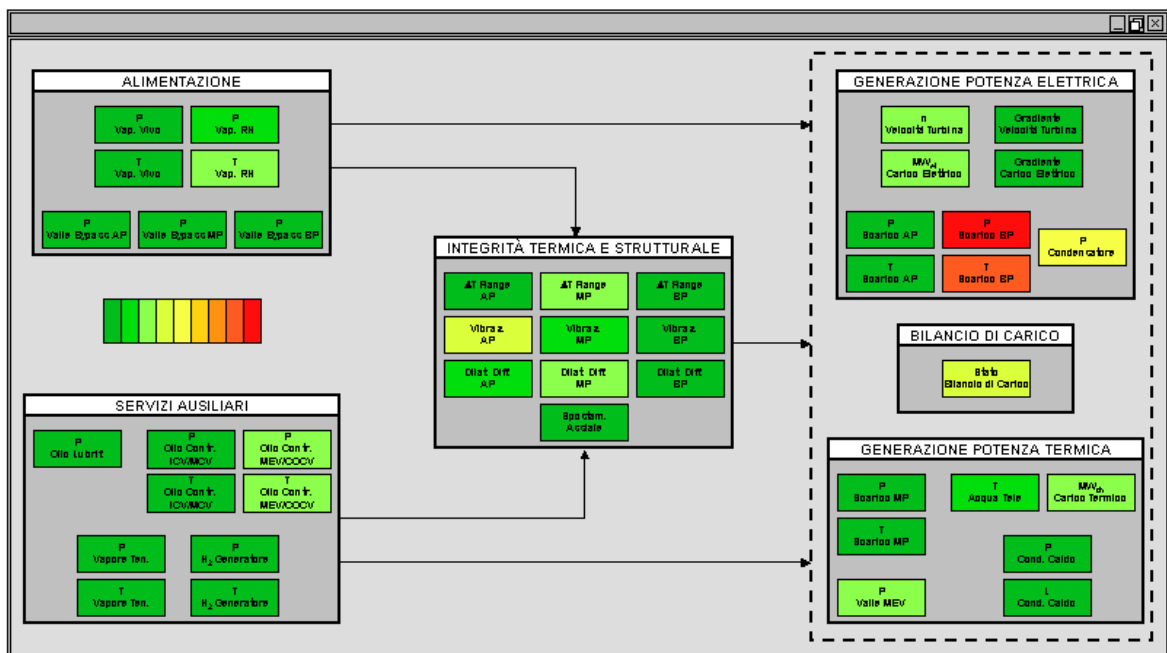


Figura 9. Esempio di nuova interfaccia di supervisione: un pannello avanzato di tipo MDD per il monitoraggio e la diagnosi

4. CONCLUSIONI

Lo scopo principale dell'attività di Dottorato di Ricerca (1999-2002) presentata in questo articolo è stato lo sviluppo di una struttura metodologica di supporto al progetto di sistemi di interazione uomo-macchina. Per mezzo di una serie di fasi articolate e dettagliatamente formalizzate, la metodologia si propone di fornire al progettista una guida strutturata attraverso tutti gli aspetti teorici e quelli più pratici che devono essere affrontati durante un'attività di progetto di questo tipo. La metodologia offre una serie di linee guida ed un compendio di tecniche per il progetto e lo sviluppo di sistemi di supervisione, controllo ed interfaccia, fondate sui concetti base del cosiddetto paradigma del *Joint Cognitive System*.

Nella seconda fase dell'attività di ricerca è stata affrontata l'applicazione ad un caso reale: l'oggetto dello studio è stato il controllo del sistema turbine/alternatore di un impianto termoelettrico. I risultati forniti dal caso studio sono stati di natura duplice: in primo luogo la struttura metodologica e il suo approccio altamente ricorsivo sono stati validati, con particolare riferimento alle fasi di modellazione e alla valutazione della relativa applicabilità ad un caso reale; in secondo luogo l'applicazione ha permesso di proporre diverse modifiche di carattere progettuale che sono richieste per rispondere adeguatamente ai requisiti di un approccio cognitivo, in vista di un rinnovamento del sistema di controllo basato sia su metodi ingegneristici di tipo classico ma anche su criteri avanzati e principi di *Human Centred Design*.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Li K. and Wieringa P.A., Understanding perceived complexity in human supervisory control, *International Journal of Cognition, Technology and Work*, Springer-Verlag London, UK, vol. 2(2) 2000, pp. 75-88.
- [2] Hollnagel E. and Cacciabue P.C., Cognition, Technology and Work: an introduction, *International Journal of Cognition Technology and Work*, Springer-Verlag London, UK, vol. 1(1) 1999, pp. 1-6.
- [3] Piccini M., *I fattori umani nel progetto di sistemi di controllo e interfaccia uomo-macchina in sistemi complessi altamente automatizzati*, Tesi di Dottorato in Energetica, Politecnico di Torino, Italia, 2001.
- [4] Hollnagel E., *Cognitive Reliability and Error Analysis Method: CREAM*, Elsevier Oxford, UK, 1998.
- [5] Sheridan T.B., Human supervisory control, in: *Handbook of Systems Engineering and Management* (A.P. Sage and W.B. Rouse, Eds.), J. Wiley & Sons New York, USA, 1999, pp. 591-628.
- [6] Piccini M. and Cacciabue P.C., Designing advanced supervisory and control systems: an integrated and human-centred approach, in: *proceedings of the 8th European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control (CSAPC'01)*, Munich, Germany, September 24-26, 2001, pp. 157-166.
- [7] Cacciabue P.C. and Hollnagel E., Human factors methods for safety assessment in highly automated environments: task analysis, modelling and data, in: *Probabilistic Safety Assessment and Management* (A. Mosleh and R.A. Bari Eds.), Springer-Verlag London, UK, 1998, pp. 741-745.
- [8] Sørensen M.U., Application of functional modelling in the design of industrial control systems, *Reliability Engineering and System Safety*, Elsevier London, UK, vol. 64 1999, pp. 301-315.
- [9] Cacciabue P.C., Modelling and simulation of human behaviour for safety analysis and control of complex systems. *Safety Science*, Elsevier London, UK, vol. 28(2) 1998, pp. 97-110.
- [10] Carpignano A. and Piccini M., Cognitive theories and engineering approaches for safety assessment and design of automated systems: a case study of a power plant. *International Journal of Cognition Technology and Work*, Springer-Verlag London, UK, vol 1(1) 1999, pp. 47-61.
- [11] Cacciabue P.C., *Affidabilità dinamica e fattori umani in sistemi nucleari*, Tesi di Dottorato in Scienze e Tecnologie degli Impianti Nucleari, Politecnico di Milano, Italia, 1994, EUR 15988 IT.
- [12] Riera B., Specification, design and evaluation of an advanced human-adapted supervisory system, *International Journal of Cognition Technology and Work*, Springer-Verlag London, UK, vol. 3(1) 2001, pp. 53-65.