CRITERI PER LA VALUTAZIONE DELL'AFFIDABILITÀ UMANA NEGLI IMPIANTI DI PROCESSO

Mario Tucci[1], Lorenzo Giagnoni[2], Marcello Mossa Verre[3], Francesca Tocchi[4]

[1] Professore Straordinario di Gestione degli Impianti Industriali, Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco"
Sezione Impianti e Tecnologie Industriali, Università di Firenze
Via C. Lombroso, n.6/17 Firenze, Italia

[2] PhD Student, Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco", Sezione Impianti e Tecnologie Industriali
Università di Firenze
Via C. Lombroso, n.6/17 Firenze, Italia

[3]Direttore del dipartimento A.R.P.A.T. di Pisa

[4] Assegnista, Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco", Sezione Impianti e Tecnologie Industriali
Università di Firenze
Via C. Lombroso, n.6/17 Firenze, Italia
francesca.tocchi@siti.de.unifi.it

Abstract

Esistono varie metodologie utilizzabile per valutare l'affidabilità umana ed il rischio connesso con le attività specifiche attribuibili agli operatori umani, ma difficilmente sono sviluppate in maniera tale da offrire un processo di analisi consistente ed esaustivo ed al tempo stesso di facile applicazione. Il presente articolo si pone lo scopo di descrivere una metodologia di valutazione dell'affidabilità umana, sviluppata presso l'Università di Firenze in collaborazione con A.R.P.A.T., utilizzabile negli impianti di processo, che riesca a conciliare sia le esigenze di consistenza dell'indagine, che la facilità di applicazione e svolgimento della stessa.

1. IL RUOLO DEL FATTORE UMANO NELLA SICUREZZA

Il problema dell'affidabilità nelle industrie a rischio d'incidente rilevante e non solo, è percepito in maniera sempre più crescente a causa dell'aumento della sensibilità in materia di sicurezza degli ambienti di lavoro. In un sistema complesso, andare a stimare quale sia l'affidabilità globale, significa andare a valutare tutti quegli aspetti che caratterizzano ed influenzano lo stato complessivo di un impianto. In questo senso è chiaro come le teorie sulla sicurezza e la prevenzione degli incidenti sul lavoro poggino su un teorema che prevede un adattamento reciproco tra le tre componenti fondamentali di un sistema costituito dall'uomo, dalla macchina e dall'ambiente. Per quanto riguarda le macchine, la prevenzione ha operato in modo da ottenere validi risultati nel campo degli impianti e nel controllo del loro corretto funzionamento. Oggi, tutte le macchine sono progettate e costruite in maniera sempre più adeguata alle esigenze psichiche e fisiche dei lavoratori e in osservanza di norme di sicurezza sempre più idonee. Per quanto riguarda l'ambiente le cose sono un po' più complicate; l'ambiente è l'insieme degli elementi che, nella complessità delle loro relazioni, costituiscono il quadro, l'habitat e le condizioni di vita dell'uomo quali sono in realtà o quali sono percepite (CEE). In altri termini, costituisce "ambiente" tutto ciò che influenza la vita dell'uomo o da questa ne sia influenzato, in un'interazione costante, sia per quanto si riferisce alla sfera fisica, sia per quanto è inerente a quella psichica. Quando la complessità dell'ambiente si combina con le multiformi caratteristiche del fattore umano all'interno di un sistema tecnologico costituito da macchine, risulta che tutta l'affidabilità del sistema uomo – ambiente – macchina ne risente notevolmente.

E' perciò evidente come il fattore umano assuma un ruolo rilevante nel processo di identificazione di potenziali rischi specialmente quando siamo di fronte ad industrie a rischio di incidente rilevante.

Ma questa realtà è presa veramente in considerazione dalle attuali metodologie di indagine? Nelle valutazioni si parla di rischio tecnologico, o meglio di rischio industriale, intendendo come rischio quella condizione che può causare infortunio alle persone, danno agli impianti o alle strutture, perdite di materiale o diminuzione della capacità di svolgere una funzione prestabilita o comunque tutto ciò che può comportare il pericolo di contrarre un effetto grave immediato o differito per l'uomo e/o per l'ambiente.

Dare una stima del rischio significa individuare gli eventi potenzialmente pericolosi che possono dar luogo ad un incidente, esaminare l'affidabilità del sistema della frequenza di accadimento dell'evento ipotizzato ed infine, analizzare le conseguenze. E' evidente quindi, come fra gli eventi potenzialmente pericolosi abbia un ruolo di primaria importanza anche il fattore umano, ed è perfettamente giustificabile il crescente interesse posto sulla necessità di realizzare interventi che tendano a neutralizzare o a ridurre al minimo il verificarsi di

comportamenti caratterizzati da inosservanza di norme regolamentari, o di comportamenti negligenti da parte d'operatori incompetenti, o non informati, o distratti o comunque poco avvertiti della grave responsabilità di favorire con un errore umano, l'insorgenza di eventi accidentali che potrebbero compromettere la propria incolumità e/o quella di altri.

Nonostante il ruolo di primo piano che il fattore umano assume nella valutazione del rischio tecnologico, l'ambito legislativo non prende in adeguata considerazione tale fattore. La legislazione così come si presenta attualmente, non prevede la verifica sistematica dell'affidabilità del fattore umano, intesa come indagine approfondita dei fattori cognitivi, ambientali e tecnologici che possono favorire l'insorgere di errori umani.

Infatti, per le industrie a rischio di incidente rilevante si fa riferimento al D. Lgs. 334/99, in cui non troviamo nessun riferimento esplicito agli errori umani o al ruolo degli operatori; per trovare espliciti riferimenti bisogna cercare nella legislazione regionale in materia di sicurezza delle aziende a rischio di incidente rilevante (affidata ad ARPAT - Agenzia Regionale per Protezione Ambientale Toscana) che, comunque, si limita alla considerazione di alcuni fattori che possono influenzare la performance degli operatori, ma che non effettua una valutazione approfondita dell'affidabilità umana.

2. HRA ED AFFIDABILITÀ DI UN SISTEMA COMPLESSO

Uno studio accurato dell'affidabilità umana richiede un notevole sforzo, ed è per questa ragione che l'area comunemente associata alla gestione ed all'analisi dell'errore umano, negli ultimi anni si è notevolmente sviluppata fornendo degli strumenti sempre più adeguati al loro scopo. Tali metodologie consentono una valutazione esaustiva dell'affidabilità umana ma, nella maggior parte dei casi, sono di difficile utilizzazione e in più, i tempi richiesti per lo sviluppo di un'analisi approfondita sono piuttosto lunghi. Se si pensa ad un'applicazione in fase di audit, sia esterno che interno ad un'azienda, si nota come, l'eventuale utilizzo di tali strumenti richiederebbe l'impiego di risorse troppo estese per poter rappresentare un valido mezzo di analisi.

E' chiaro allora, come sia necessario ricercare una metodologia consistente, ma di facile applicazione ed attuazione, seguendo la strada intrapresa fino a questo momento dalla *HRA – Human Reliability Analysis*, al fine di utilizzarne i principi base, che rendono tale area di indagine ampia ed esaustiva, ma cercando allo stesso tempo, di non appesantire la procedura di valutazione.

La *HRA* offre essenzialmente due strade da percorrere: la via quantitativa e quella qualitativa. Le metodologie a carattere quantitativo tendono a identificare l'uomo allo stesso modo di un componente meccanico, perdendone così tutti gli aspetti di interazione dinamica con l'ambiente lavorativo, inteso sia come ambiente fisico, sia come ambiente sociale. E' evidente come un approccio globale, che presuppone cioè l'interazione reciproca fra uomo, tecnologia ed organizzazione (sistema integrato *MTO – Men, Technology & Organisation*), consenta una migliore visualizzazione e considerazione della dinamicità di un sistema reale, ed è per questo che sempre più frequentemente l'indagine affidabilistica fa riferimento alle metodologie di seconda generazione, cioè quelle a maggior carattere qualitativo.

Lo studio dell'affidabilità umana, quindi, per quello che è stato detto precedentemente, deve essere in grado sia di dare un giudizio sul profilo cognitivo dell'operatore, cioè sul grado di utilizzazione delle funzioni cognitive necessarie a svolgere una determinata *performance,* sia sul contesto entro cui tale *performance* viene attuata, cioè su aspetti quali ambiente lavorativo, comunicazione, organizzazione ecc. Inoltre deve essere in grado di individuare le possibili influenze reciproche fra i due aspetti elencati precedentemente, allo scopo di determinare le criticità del sistema integrato.

Alla base della ricerca di una metodologia consistente, si pone l'individuazione e la definizione delle possibili criticità o fonti di vulnerabilità del sistema. In un impianto complesso le circostanze che possono condurre ad un evento indesiderato, sia esso un evento incidentale, un quasi incidente oppure una sequenza incidentale, sono convenzionalmente rappresentate da due tipologie di eventi:

- *Errore umano*: evento non intenzionale a causa della quale gli standard della performance vengono violati. In genere vengono distinti in *slip, lapses* e *mistakes*, in funzione del fatto che tali errori si presentino nella fase di elaborazione (*mistakes*) o di attuazione fisica di un'azione (*slip* e *lapses*).

- *Violazione*: evento intenzionale a causa del quale ci si discosta da ciò che è prescritto; in questo caso l'operatore decide autonomamente di intraprendere azioni non prescritte per effetto di particolari situazioni sia personali, sia ambientali.

3. IL METODO DI VALUTAZIONE CLASSICO

Una volta individuate le fonti di vulnerabilità teoriche del sistema, vanno ricercate quelle situazioni e quegli eventi che possono dare origine a tali vulnerabilità. Il metodo base deducibile dal *CREAM- Cognitive*

Reliability and Error Method Analysis, indica che il livello di richiesta cognitiva, e quindi le condizioni che potenzialmente possono generare delle vulnerabilità, sono individuabili attraverso il calcolo dell'*occorrenza* delle funzioni cognitive. Quindi è sufficiente contare il numero delle volte che una certa funzione cognitiva compare in una procedura ed utilizzare questi valori per la generazione del *profilo di richiesta cognitivo* associato alla stessa *performance* (figura 1).

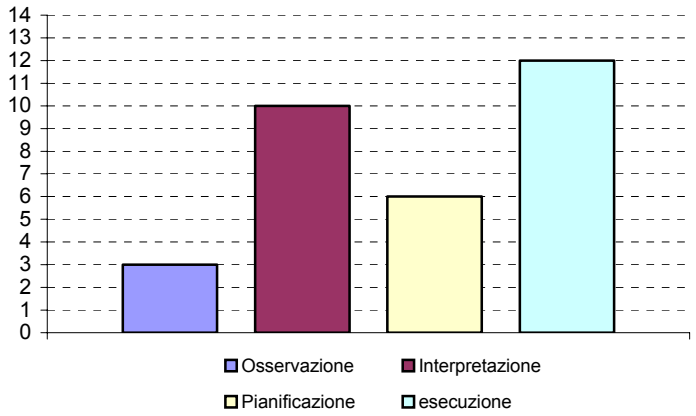


Figura 1 - Profilo di richiesta cognitivo associato ad una procedura di coordinamento del personale operativo

Una valutazione di questo tipo genera diverse difficoltà. Infatti, la valutazione del valore assoluto dell'occorrenza non fornisce un indice significativo che possa essere utilizzato per la valutazione di una *performance*. Non ci si può limitare a dire, infatti, che in una performance è maggiore la probabilità dell'errore umano, solo perché l'occorrenza delle funzioni cognitive è più elevata di quella ottenuta per un'altra *performance*.

Il passo successivo è quindi, la normalizzazione dei valori dell'occorrenza in modo da ottenere delle percentuali più facilmente confrontabili. In questo caso però il problema è l'individuazione dell'indice di normalizzazione più corretto. In genere si effettua una normalizzazione rispetto al valore massimo dell'occorrenza raggiungibile dalla stessa funzione all'interno della medesima procedura. I valori così ottenuti sono gestibili più facilmente soprattutto per quanto riguarda le operazioni di confronto. Resta però la difficoltà di ottenimento dei valori stessi poiché si richiede una procedura lunga e la normalizzazione varia da procedura a procedura; per ogni caso in esame, pur ottenendo un valore percentualizzato, l'indice di normalizzazione deve essere ridefinito al fine dell'ottenimento del profilo cognitivo teorico.

4. UNA NUOVA METODOLOGIA DI VALUTAZIONE

Dalle considerazioni precedenti risulta evidente come l'analisi cognitiva effettuata con il metodo proposto dal *CREAM* sia piuttosto laboriosa e comunque, non sia in grado di indicare in modo preciso quale sia il rischio connesso con le varie attività cognitive. Per risolvere questo problema, pur partendo dalle nozioni basilari fornite dallo stesso *CREAM*, si è cercato di elaborare una classificazione più precisa, meno laboriosa e che non necessiti d'operazioni di normalizzazione variabili da procedura a procedura. Secondo la logica di integrazione, l'analisi va quindi condotta a vari livelli in modo tale da coprire tutti gli aspetti che caratterizzano il sistema sia dal punto di vista del fattore umano, sia dal punto di vita della tecnologia e dell'organizzazione. In questo senso la metodologia proposta si compone essenzialmente di tre stadi principali:

- *Fase preliminare*
- *Fase I: Analisi Indiretta*
- *Fase II: Analisi Diretta*

4.1 Fase preliminare

Nella fase preliminare dello studio vengono analizzate tutte le possibili informazioni reperibili sul dominio di indagine attraverso la documentazione ufficiale (nel caso in esame di un'azienda a rischio di incidente rilevante si fa riferimento al Rapporto di Sicurezza). Attraverso le analisi del rischio tecnologico si possono mettere in evidenza quali sono gli ambiti aziendali più critici e tali da richiedere un'indagine più approfondita e sistematica dell'affidabilità umana, rispetto a quella che comunemente viene imposta dalle normative vigenti. Un'analisi di questo tipo si basa sulla valutazione dei risultati ottenuti attraverso tecniche di indagine affidabilistica tradizionali, come la *Fault Tree Analysis, What – If Analysis, Haz.Op*…, sulla valutazione della tipologia e del numero di personale operativo presente in determinate aree produttive, sulla gravità dei top-event caratterizzanti l'attività operativa ecc.; al termine di tale indagine saremo in grado di individuare quale area presenta un maggiore rischio potenziale e quindi sottoporla ad un'analisi sull'affidabilità umana più approfondita.

Operativamente, una volta identificata la tipologia di azienda (che nel caso in oggetto rientra nel D.Lgs. 334/99 e precisamente nell' art. 6), l'analisi preliminare dello stabilimento è stata effettuata partendo dallo studio del Rapporto di Sicurezza attraverso cui è stato possibile identificare gli ambiti produttivi caratteristici. Per ogni ambito è stata poi effettuata un'analisi sulle sostanze pericolose utilizzate e sugli eventi incidentali possibili e attraverso la *Fault Tree Analysis*, lavorando su aspetti quali la frequenza di accadimento del *top – event*, la dipendenza del *top – event* dall'errore umano – *EU* e dal mancato intervento dell'operatore – *MIO*, il numero di persone presenti nel reparto e la gravità delle conseguenze, è stata effettuata la scelta del reparto maggiormente critico.

Nel caso in oggetto la scelta è caduta sul reparto in cui ci si occupa della produzione di resine poliestere base e derivate. In particolare l'analisi effettiva è stata svolta sulle procedure operative riguardanti la produzione di resine base, per la quale viene utilizzato lo stirene in fase liquida, prelevato dal serbatoio di stoccaggio ed inviato mediate tubazioni fisse al reparto dove è utilizzato come solvente per la dissoluzione delle resine poliestere base.

4.2 Fase I: Analisi Indiretta

La fase di analisi indiretta si basa sulla documentazione reperibile dalla consultazione del Rapporto di Sicurezza ponendo particolare attenzione sulle procedure o disposizioni operative utilizzate in azienda, siano esse utilizzate in condizioni di normale operatività che in condizioni di emergenza. Su tale documentazione vengono effettuate le seguenti operazioni:

1. *Task Analysis*
2. *Cognitive Task Analysis*
3. *Human Risk Analysis*

4.2.1 Task Analysis

La Task Analysis è una metodologia di descrizione ed analisi delle modalità di interazione dell'operatore sia con lo stesso sistema che con altro personale presente in tale sistema. In questo modo è possibile decomporre le procedure nei loro task elementari al fine di renderle più facilmente interpretabili. Esistono molteplici tipi di Task Analysis e in questo caso è stata scelta la *HTA – Hierarchical Task Analysis*. La *HTA* consente un approccio gerarchico che descrive i task partendo dagli obiettivi a più alto livello fino al livello delle operazioni individuali. E' stata scelta poiché è una tecnica facile da applicare soprattutto in riferimento alla fase di analisi cognitiva.

Operativamente è stato necessario analizzare le procedure operative utilizzate nel reparto di produzione delle resine poliestere base, che sono risultate in forma discorsiva, e "tradurle" nel linguaggio della *TA*, ottenendo quindi dei diagrammi, diversificati sulla base del personale operativo richiesto per lo svolgimento delle procedure, identificando tutte le operazioni (Task e Operazioni elementari) che sono necessarie per il raggiungimento dell'obiettivo (Goal) della procedura stessa (figura 2).

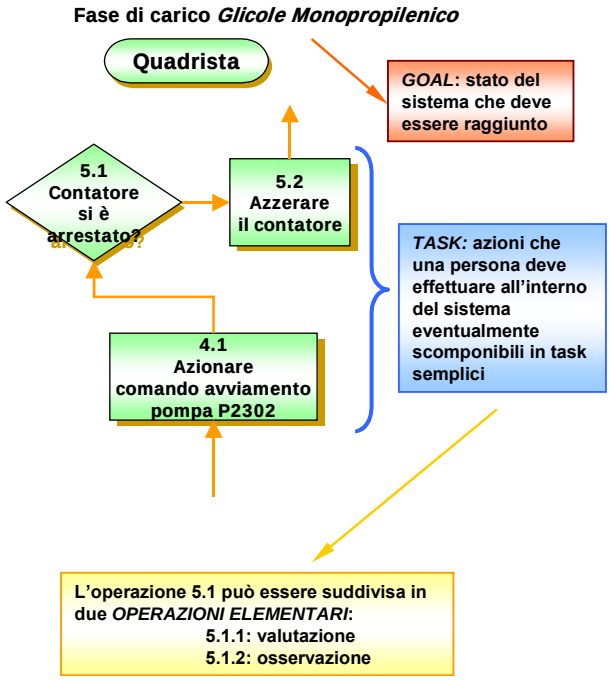


Figura 2 – estratto di TA per la procedura operativa relativa alla fase produttiva di "Carico glicole monopropilenico)"

4.2.2 Cognitive Task Analysis

Per ogni procedura viene effettuata l'analisi del carico cognitivo connesso con i *task* che la compongono. L'analisi del carico cognitivo è possibile grazie all'applicazione di un modello cognitivo la cui struttura è molto simile a quella offerta dal *CoCoM – Contextual Cognitive Model*. Da tale modello sono state riprese le quattro funzioni cognitive principali, *osservazione interpretazione*, *pianificazione* ed *esecuzione*. Tali funzioni, a differenza di ciò che propone tale modello, sono state ulteriormente diversificate grazie all'introduzione di opportuni *gradi di elaborazione* caratterizzanti ognuna di esse.

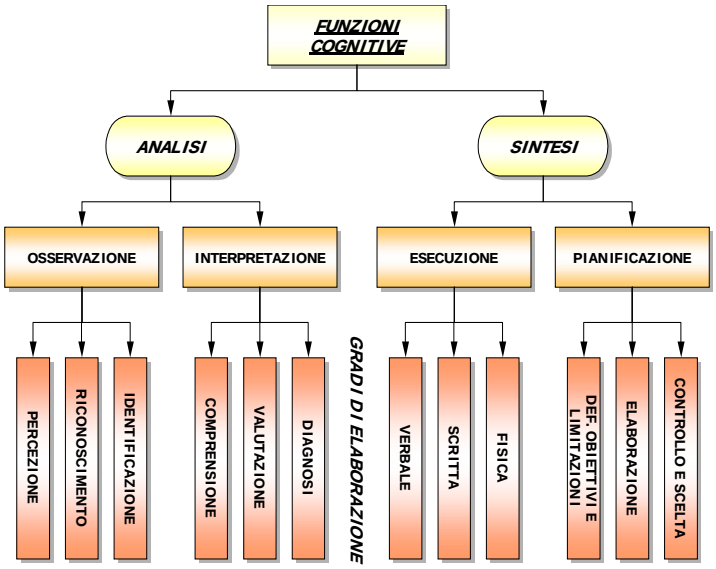


Figura 3 – Gradi di elaborazione delle funzioni cognitive

Attraverso i *gradi di elaborazione* è possibile andare a qualificare in maniera più accurata ogni singola funzione cognitiva e perciò il *task* ad essa associato, poiché offrono la possibilità di identificare il grado di correlazione che ogni funzione cognitiva ha con il dominio di lavoro. I *gradi elaborazione*, infatti, scompongono ogni funzione in tre livelli di manifestazione caratteristici che, inseriti in un determinato contesto, possono assumere una consistenza e quindi un peso più o meno elevato. Attraverso l'attribuzione

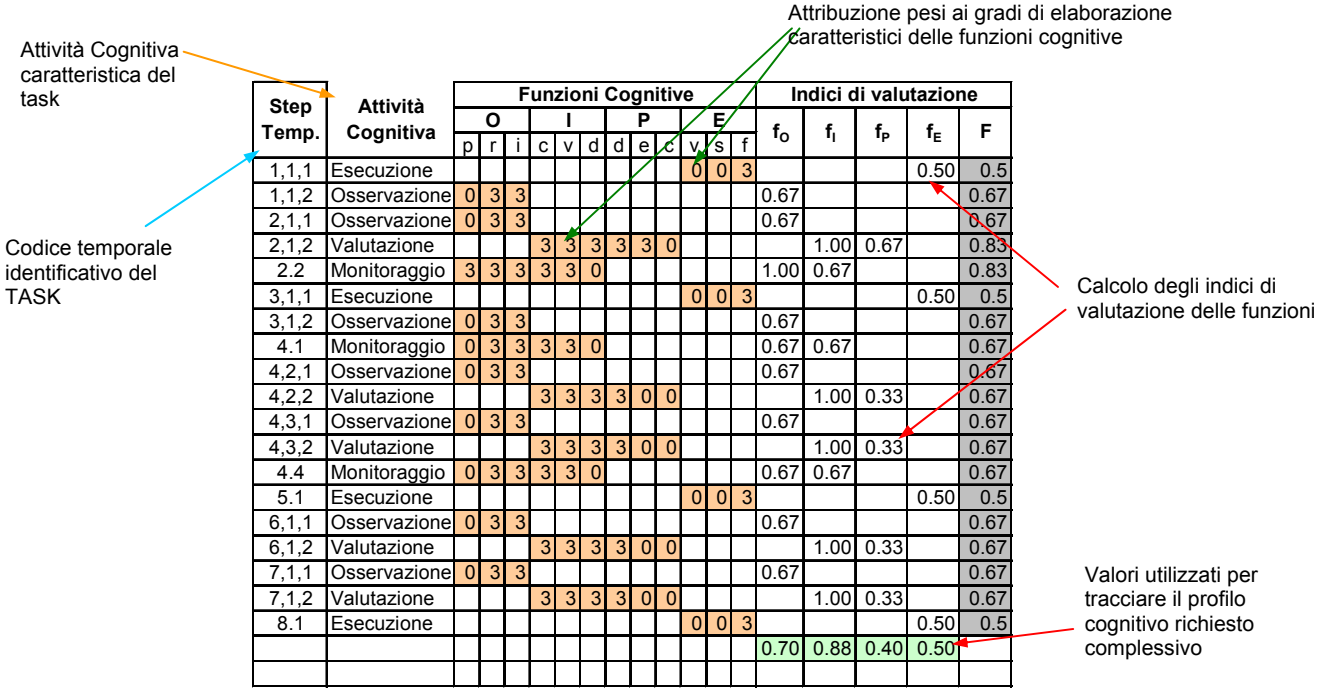
dei pesi ai gradi di elaborazione caratteristici delle funzioni cognitive correlabili ad un *task*, è possibile calcolare un *indice di valutazione caratteristico* f_x, proporzionale al carico cognitivo richiesto.

Supponendo che una funzione cognitiva sia una mescolanza dei gradi di elaborazione per essa definiti, l'***indice di valutazione della funzione f*** può essere calcolato come la media pesata dei valori attribuiti secondo la seguente formula (1):

$$f_x = \sum_{i=1}^{3} \frac{a_i}{A} \qquad (1)$$

dove:

- $\mathbf{f_x}$ = indice di valutazione delle funzioni (f_O osservazione, f_I interpretazione ed f_P pianificazione);
- $\mathbf{a_i}$ = peso attribuito al grado di elaborazione i-esimo;
- **A** = somma valori dei pesi dei tre livelli.



Step Temp.	Attività Cognitiva	Funzioni Cognitive												Indici di valutazione				
		O			I			P			E			f_O	f_I	f_P	f_E	F
		p	r	i	c	v	d	d	e	c	v	s	f					
1,1,1	Esecuzione										0	0	3				0.50	0.5
1,1,2	Osservazione	0	3	3										0.67				0.67
2,1,1	Osservazione	0	3	3										0.67				0.67
2,1,2	Valutazione				3	3	3	3	3	0					1.00	0.67		0.83
2.2	Monitoraggio	3	3	3	3	3	0							1.00	0.67			0.83
3,1,1	Esecuzione										0	0	3				0.50	0.5
3,1,2	Osservazione	0	3	3										0.67				0.67
4.1	Monitoraggio	0	3	3	3	3	0							0.67	0.67			0.67
4,2,1	Osservazione	0	3	3										0.67				0.67
4,2,2	Valutazione				3	3	3	3	0	0					1.00	0.33		0.67
4,3,1	Osservazione	0	3	3										0.67				0.67
4,3,2	Valutazione				3	3	3	3	0	0					1.00	0.33		0.67
4.4	Monitoraggio	0	3	3	3	3	0							0.67	0.67			0.67
5.1	Esecuzione										0	0	3				0.50	0.5
6,1,1	Osservazione	0	3	3										0.67				0.67
6,1,2	Valutazione				3	3	3	3	0	0					1.00	0.33		0.67
7,1,1	Osservazione	0	3	3										0.67				0.67
7,1,2	Valutazione				3	3	3	3	0	0					1.00	0.33		0.67
8.1	Esecuzione										0	0	3				0.50	0.5
														0.70	0.88	0.40	0.50	

Figura 4 – esempio di CTA per la fase di permanenza in temperatura della linea 101A (quadrista)

Tali indici, essendo una misura del carico cognitivo correlato ad una *performance*, possono agevolmente essere utilizzati come parametri di confronto sia fra diverse procedure, che tra diversi *task*, permettendo così l'individuazione di potenziali criticità

Gli indici di valutazione, oltre che essere utilizzati come parametri relativi di confronto, possono facilmente essere correlabili al carico cognitivo disponibile. Con *carico cognitivo disponibile*, intendiamo le effettive risorse che l'operatore coinvolto nell'attuazione di una *performance* possiede.

Tali capacità dovranno collimare con il carico cognitivo richiesto in modo tale da non presentare eventuali carenze che potrebbero generare fonti di rischio potenziale per il sistema. Allo scopo di valutare le effettive capacità possedute da un operatore, è stata formulata una serie di domande che vanno ad investigare su quegli aspetti che possono influenzare il livello del rendimento cognitivo (Fattori personali individuali, Istruzione, Esperienza lavorativa, Conoscenza organizzazione, Inserimento nella squadra di lavoro, Condizioni al contorno). Tali aspetti, caratterizzando la singola persona, permettono di conoscere meglio la situazione fisica, lavorativa, sociale di ogni operatore e di ottenere un *indice di capacità cognitiva* caratteristico dell'operatore stesso. *L'indice di capacità cognitiva*, confrontato con gli *indici di valutazione delle funzioni*, permette l'individuazione delle eventuali carenze del personale operativo, per cui è un ottimo strumento di sviluppo, controllo e miglioramento dei programmi formativi ed informativi interni all'azienda.

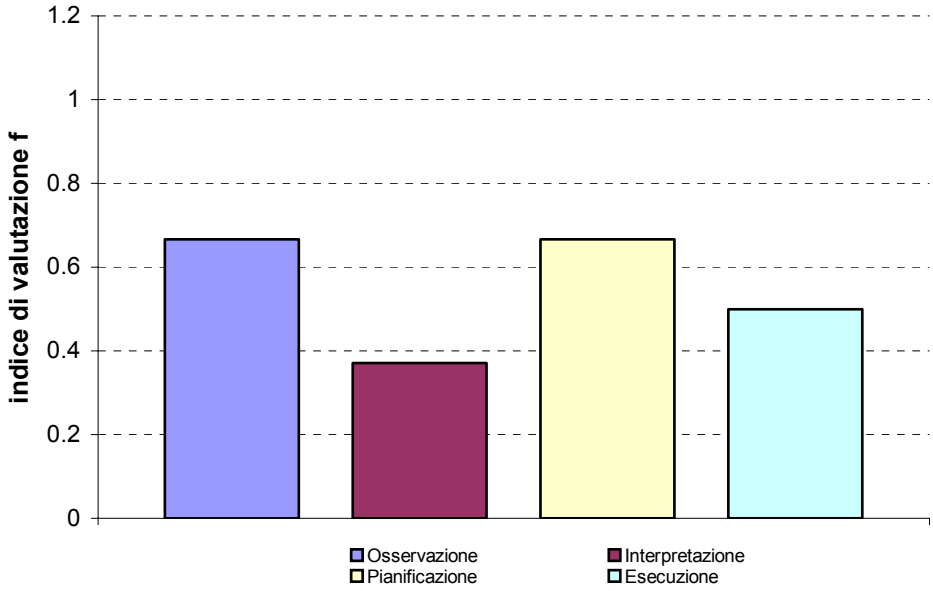


Figura 5– Profilo cognitivo richiesto associato alla figura professione capoturno per la fase preliminare al carico

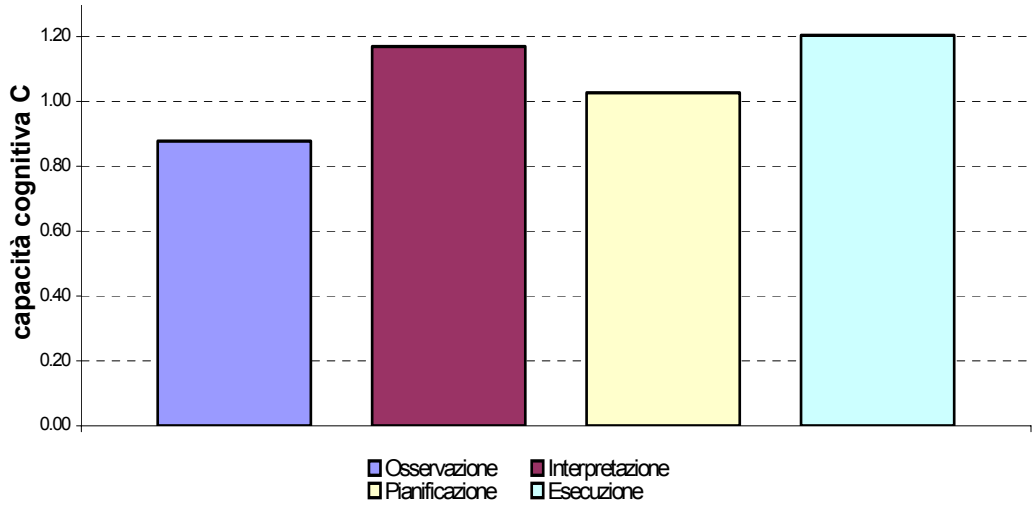


Figura 6 – profilo cognitivo disponibile relativo alla figura professionale di capoturno

In definitiva per ogni procedura sono stati tracciati dei *profili cognitivi richiesti*, oggetto di una duplice valutazione: in primo luogo sono stati esaminati come quegli elementi caratterizzanti il livello del carico cognitivo richiesto dalle procedure al fine di individuare condizioni potenziali di rischio (come sovraccarichi cognitivi, carichi troppo bassi e/o prolungati ecc.); in seguito sono stati confrontati con *i profili cognitivi disponibili* al fine di effettuare una stima coerente delle procedure correlate alle effettive modalità di applicazione derivanti dalle caratteristiche peculiari degli operatori.

Nel caso presentato nelle figg. 5 e 6, risulta come non esistano disomogeneità fra le richieste cognitive relative a funzioni diverse, tali da rilevare condizioni di criticità. Inoltre il profilo cognitivo disponibile copre interamente quello richiesto dalla specifica procedura.

4.2.3 Human Risk Analysis

La fase precedente della valutazione consente di porre l'attenzione solo sull'ambito cognitivo delle attività. Allo scopo di integrare tale aspetto alle peculiarità specifiche del dominio di lavoro, è stato introdotto un *indice di rischio indiretto R*. Tale indice è calcolato, per ogni *task*, come il prodotto di quattro parametri caratteristici utilizzando la seguente formula (2):

$$R_x = F \cdot \alpha \cdot G \cdot \tau \quad (2)$$

dove:

- **F** = caratteristica dell'operatore;
- **a** = fattore operativo;
- **τ** = tempo richiesto;
- **G** = gravità conseguenze.

In particolare

- la *caratteristica dell'operatore F* viene calcolata come media aritmetica degli *indici di valutazione delle funzioni cognitive* correlate ad un *task*, e permette la valutazione del carico cognitivo (3)

$$F = \sum_{i=1}^{n} \frac{f_x}{n} \quad (3)$$

- il *fattore operativo* a, che consente la valutazione delle modalità di esecuzione dei *task* in funzione del numero di operatori destinati al suo svolgimento e dalle tipologie di interazione che sussistono fra di essi. Se un *task* deve essere messo in atto da un solo operatore senza collaborazioni o effettivi aiuti operativi, è maggiore la probabilità che un eventuale errore umano non sia rilevato. Viceversa se un operatore è coadiuvato da altro personale o se allo stesso *task* sono destinate più persone, esiste un meccanismo di controllo reciproco che abbassa la probabilità di non rilevare un eventuale errore.
- il *fattore temporale* t, che consente di determinare in maniera qualitativa il tempo richiesto dalle procedure per attuare determinate azioni. Rilevando quanto sia il tempo a disposizione dell'operatore per portare a termine il *task*, si evidenzia la probabilità che lo stesso operatore compia un errore. Nel caso si abbia a disposizione un tempo breve, e quindi che l'azione debba essere immediata, il rischio di commettere un errore è più elevato rispetto al caso in cui l'operatore non abbia vincoli di tempo.
- il *fattore gravità delle conseguenze G*, che stima la gravità delle conseguenze derivanti da un eventuale errore su un *task*. La gravità è facilmente ricavabile dalla *What - If Analysis* e dalla *Fault Tree Analysis* disponibili dal rapporto di sicurezza. L'attribuzione dell'indice di gravità è effettuata in base alle conseguenze sulla sicurezza e sulla produzione.

Step Temp.	Quadrista									
	Attività Cognitiva	Indici di valutazione					Fattori di rischio			
		f_O	f_I	f_P	f_E	F	a	t	G	R
1.1	escuzione				0.50	0.5	2	1.5	4	6.00
2.1	escuzione				1.00	1	2	1.5	3	9.00
3.1	valutazione		1.00	0.67		0.83	2	1.5	4	10.00
3.2	escuzione				1.00	1	2	1.5	4	12.00
4.1	escuzione				1.00	1	2	1.5	4	12.00
5.1	escuzione				1.00	1	2	1.5	4	12.00
6,1,1	osservazione	0.67				0.67	2	1.5	5	10.00
6,1,2	identificazione		1.00			1	2	1.5	5	15.00
6.2	escuzione				0.50	0.5	2	1.5	5	7.50
7,1,1	osservazione	1.00				1	2	1.5	3	9.00
7,1,2	valutazione		1.00	1.00		1	2	1.5	4	12.00
7.2	esecuzione				1.00	1	2	1.5	4	12.00
8,1,1	osservazione	1.00				1	2	1	3	6.00
8,1,2	valutazione		1.00	0.33		0.67	2	1	4	5.33
9.1	verifica	1.00	0.33			0.67	2	2	4	10.67
10,1,1	osservazione	1.00				1	2	1	5	10.00
10,1,2	identificazione		1.00			1	2	1.5	5	15.00
10.2	esecuzione				1.00	1	2	1.5	5	15.00
11.1	esecuzione				0.50	0.5	2	1.5	5	7.50
12,1,1	valutazione		1.00	0.67		0.83	2	1.5	5	12.50
12,1,2	pianificazione			1.00		1	2	1.5	5	15.00
13.1	esecuzione				0.50	0.5	2	1.5	3	4.50
14.1	monitoraggio	1.00	0.67			0.83	2	2	4	13.33
14.2	esecuzione				1.00	1	2	1.5	4	12.00
15,1,1	monitoraggio	1.00	0.67			0.83	2	1.5	4	10.00
15,1,2	comparazione		1.00			1	2	1.5	3	9.00
16,1,1	monitoraggio	1.00	0.67			0.83	2	1.5	4	10.00
16,1,2	comparazione		1.00			1	2	1.5	3	9.00
17.1	esecuzione				0.50	0.5	2	1.5	4	6.00

Figura 7 – Esempio di compilazione tabelle di valutazione del rischio umano (fase produttiva di salita in temperatura)

Ad ognuno di questi indici, ad esclusione del primo, calcolato attraverso i risultati ottenuti dall'analisi cognitiva, sono stati attribuiti dei pesi caratteristici, che assumono valori differenti per ognuno di essi, ma che sono stati definiti in modo tale che a situazioni di rischio più elevato, corrispondano valori numerici maggiori. In questo modo l'*indice di rischio diretto*, è utilizzabile come parametro di individuazione di quei *task* maggiormente a rischio (valori numerici elevati corrispondono a rischi più elevati), non solo dal punto di vista cognitivo, ma anche da un punto di vista dell'ambiente di lavoro globale, all'interno del quale operano più persone che interagiscono fra di loro e con mezzi ed attrezzature meccaniche di varia natura e forma.

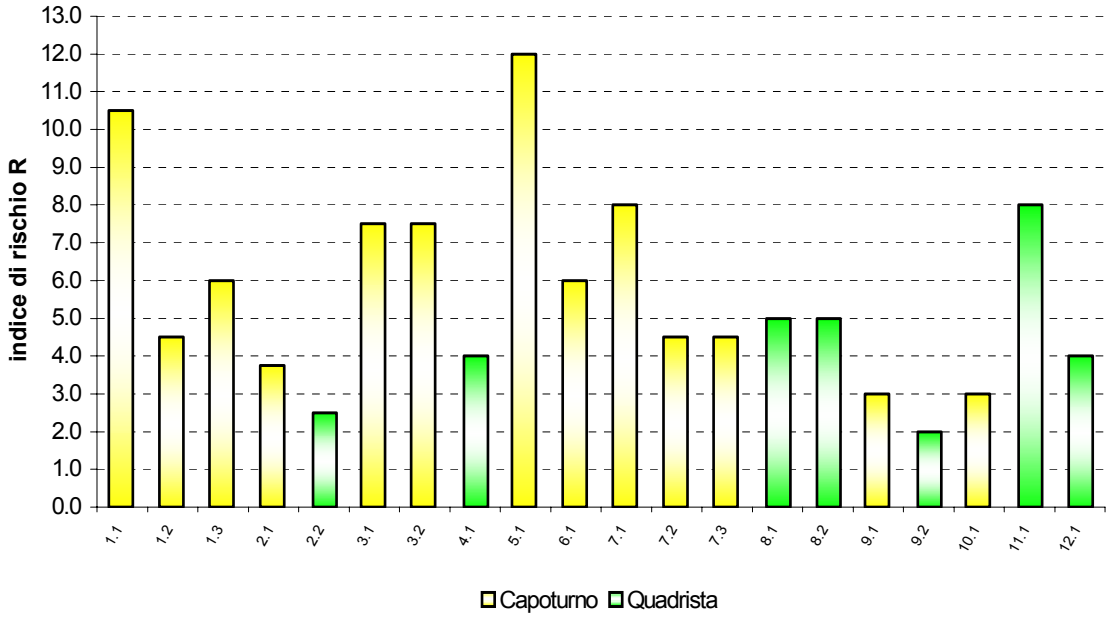


Figura 8 – andamento dell'indice di rischi diretto per la fase preliminare al carico

3.3 Fase II: Analisi Diretta

Fino a questo momento tutta l'analisi è stata condotta senza una visione diretta delle aree in cui. si attuano le procedure analizzate e in mancanza, quindi, di un giudizio obiettivo sulla natura e sulla qualità del loro stato attuale. Una valutazione di questo tipo, svincolata dall'effettivo stato del dominio di lavoro, potrebbe risultare non corretta, ed è per questo motivo che si intraprende un'ultima fase dell'analisi. L'analisi diretta ha lo scopo di mettere in luce le caratteristiche reali dell'ambiente lavorativo e sociale andando a considerare tutti quegli aspetti che possono rappresentare delle cause di errore. Facendo riferimento alla teoria offerta dal *CREAM*, sulla base della struttura offerta dagli schemi di classificazione (strumento di identificazione sistematica delle possibili cause di errore umano), è stata elaborata una serie di quesiti mirati alla rappresentazione del dominio di lavoro reale. In questo caso il dominio di lavoro è facilmente rappresentabile facendo riferimento al sistema integrato *MTO - Man Technology & Organisation.* La categoria *uomo* fa riferimento alle caratteristiche psicologiche e personali degli operatori; la categoria *tecnologia* si riferisce all'insieme di tutti i mezzi fisici con cui l'operatore interagisce durante lo svolgimento del proprio lavoro: ed infine la categoria *organizzazione* si riferisce all'insieme delle interazioni con ambiente e persone che interessano gli operatori. Nella formulazione delle check-list sono state prese in considerazione principalmente le categorie tecnologia ed organizzazione in particolare tale operazione è stata effettuata per le seguenti aree di interesse: interfacce, comunicazione, formazione, procedure, ambiente lavorativo, condizioni ambientali, organizzazione ed equipaggiamento. In particolare:

1. *Equipaggiamento*: questo gruppo si riferisce gli elementi puramente tecnologici come i componenti meccanici ed elettronici
2. *Interfacce*: in questo caso si fa riferimento alle funzionalità presentazione delle informazioni e alle opzioni di controllo del processo effettuabili attraverso le interfacce uomo – macchina.*Procedure*: sequenze di azioni codificate da eseguire per ottenere un risultato corretto durante lo svolgimento dei compiti*Comunicazione*: si fa riferimento alla

qualità dei mezzi di comunicazione e dei flussi comunicativi*Organizzazione*: in questa categoria sono inclusi manutenzione, qualità, amministrazione, progetto ed allocazione delle risorse.

6. *Formazione:* in questo gruppo si fa riferimento alla preparazione specifica degli operatori, in particolare ci si assicura che i lavoratori abbiano abilità e conoscenze richieste per attuare un task.
7. *Condizioni ambientali:* questa categoria caratterizza le condizioni ambientali in riferimento a parametri quali temperatura, rumore ed illuminazione.*Condizioni lavorative:* in questo caso si fa riferimento alle condizioni dell'ambiente lavorativo e sociale percepite dall'operatore.

Per ogni area i quesiti sono stati formulati in modo tale da mettere in evidenza sia gli aspetti oggettivi sia quelli soggettivi della valutazione. Più precisamente si è cercato di descrivere lo stato attuale del sistema ponendo l'attenzione sull'oggettività delle cose e quindi rilevando eventuali guasti, mancanze, difetti o carenze del sistema; inoltre si è anche cercato di dare una certa rilevanza alla percezione del dominio di lavoro che ogni operatore sviluppa, chiedendo di esprimere giudizi personali attraverso cui è possibile diversificare e caratterizzare meglio il rapporto uomo – dominio. Il questionario formulato è stato compilato dagli operatori direttamente coinvolti nelle fasi produttive attraverso delle interviste dirette, modalità che garantisce una migliore comprensione delle domande da parte degli operatori e una maggiore attenzione nel dare le risposte. Associando ad ogni possibile risposta dei pesi caratteristici (valori crescenti corrispondono a rischi crescenti), è possibile il calcolo di indici di valutazione relativi alle aree di interesse scelte, per ogni figura operativa significativa.

Figura professionale	***Indici di valutazione diretta Q_i***							
	Sala quadro	***Interfacce***	***Comunicazione***	***Organizzazione***	***Procedure***	***Formazione***	***Cond. ambientali***	***Cond. lavorative***
Capoturno	*0,59*	*0,36*	*0,45*	*0,68*	*0,25*	*0,58*	*0,55*	*0,33*
Quadrista vicequadrista	*0,53*	*0,2*	*0,42*	*0,61*	*0,23*	*0,66*	*0,52*	*0,39*
Operatore esterno	*n.r.*	*n.r.*	*0,45*	*0,64*	*0,24*	*0,59*	*0,55*	*0,39*

Figura 9 – esempio di calcolo degli indici di valutazione diretta

Gli indici così ottenuti forniscono uno strumento di valutazione diretta, facilmente utilizzabile per il controllo e il miglioramento dello stato del dominio di lavoro qualora fossero individuate delle condizioni critiche. Inoltre, sono utili mezzi di integrazione dell'analisi indiretta, perfezionando l'andamento dell'*indice di rischio indiretto R*. La correzione è funzione della figura operativa specifica e può apportare significative modifiche ai valori calcolati attraverso l'analisi indiretta per cui, sull'*indice di rischio indiretto D* dovranno essere effettuate considerazioni analoghe a quelle già fatte per l'*indice R*. In questo caso però la valutazione sarà più completa poiché considera il ruolo del fattore umano, della tecnologia e dell'organizzazione, nella generazione di potenziali fonti di vulnerabilità.

4. CONCLUSIONI

La metodologia proposta quindi si presenta come un compromesso fra le esigenze di consistenza dell'analisi e di facilità di attuazione. Si fa carico di tutto il bagaglio teorico offerto dei modelli sviluppati nell'ambito dell'*HRA* sfruttando tutti quegli strumenti che sono stati applicati con successo in analisi precedenti, come la *HTA*. Inoltre integra tale metodologia descrittiva con i modelli cognitivi tipici delle *metodologie di II generazione* al fine di mettere in luce come l'uomo, con tutti i suoi aspetti tipicamente interiori, possa modificare significativamente l'andamento degli eventi e quindi possa essere una causa potenziale di incidente. L'aspetto cognitivo però utilizza un approccio differente da quello utilizzato, per esempio, dal *CREAM*. Infatti, il metodo classico offerto da tale metodologia consente il calcolo di valori significativi difficilmente utilizzabili per dei confronti. Parametri come l'occorrenza delle funzioni cognitive,

intesa sia come valore assoluto che come valore normalizzato, sono specifici delle singole procedure, non consentono una facile valutazione dei singoli *task* e non permettono di individuare, per esempio, quale fra due procedure sia la più critica dal punto di vista del rischio. Con una descrizione più accurata delle singole funzioni cognitive è stato possibile ottenere degli indici significativi in grado di offrire possibilità di confronto e correlazione più ampie e semplificate. L'analisi non si ferma però solo alla considerazione dell'aspetto cognitivo, poiché gli operatori si muovono in un contesto dinamico con il quale interagiscono costantemente durante lo svolgimento dei loro compiti, e da cui sono continuamente influenzati. Si introducono allora due tipologie di correlazioni dipendenti dal dominio di lavoro: una indiretta e una diretta. Attraverso la generazione dell'*indice di rischio indiretto R* si presuppone che ogni *task* abbia una proprio identità all'interno del dominio di lavoro: non è detto, infatti, che più *task*, pur essendo correlati alle stesse funzioni cognitive e a cui è attribuibile lo stesso carico cognitivo, siano fonti di un rischio identico. Il rischio connesso con i *task* è stato, infatti, correlato alle modalità operative, al tempo a disposizione dell'operatore e alla gravità delle eventuali conseguenze, parametri che vanno sia a determinare la specifica identità di ogni *task*, sia e delineare in maniera esaustiva l'andamento del rischio connesso ad una *performance*. A ciò è stato aggiunta l'ulteriore correlazione con il dominio di lavoro che, attraverso l'*indice di rischio diretto D*, va invece a tracciarne le caratteristiche reali percepite dagli operatori.

La consistenza dell'analisi è quindi garantita da un utilizzo organico delle teorie basilari associabili all'area di gestione dell'errore umano, completate con opportune integrazioni che garantiscono una più facile attività di valutazione e comparazione fra *task* e procedure differenti. Valutando la difficoltà ed i tempi di attuazione della metodologia il punto critico rimane la fase di schematizzazione delle procedure. In questa fase, infatti, si incontrano molteplici difficoltà sia nel reperire una documentazione organica ed aggiornata delle procedure operative, sia nel far collimare in maniera coerente ciò che è predisposto dalle procedure è ciò che nella realtà viene attuato. Inoltre i tempi di realizzazione di una *Task Analysis* significativa possono essere piuttosto lunghi. Le fasi di analisi cognitiva e di analisi di rischio indiretto, una volta che si hanno a disposizione le procedure schematizzate, sono semplici da attuare: non richiedono, infatti, calcoli particolarmente elaborati e il procedimento è piuttosto automatico.

In conclusione il criterio di valutazione che è stato proposto assume un carattere multivalente, poiché è in grado di fornire dei mezzi diversificati fra di loro per operare una valutazione esaustiva sia sugli aspetti cognitivi degli operatori e delle procedure, sia sugli aspetti "oggettivi" del sistema lavorativo. E' bene evidenziare come l'analisi sarebbe notevolmente ridotta nei tempi se si possedesse un adeguato strumento informatico di supporto. Come già detto la struttura di tutto il processo di valutazione non è estremamente complicato ed ha permesso la creazione di un *database* tramite l'applicazione *Microsft Access*, che facilita le operazioni di schematizzazione e compilazione dei fogli di calcolo. Si potrebbe comunque pensare allo sviluppo di un futuro strumento di supporto più potente e maggiormente generalizzabile. Da notare anche come la valutazione possa essere, e debba essere, aggiornata soprattutto per quanto riguarda la formulazione dei test: si devono ciò modificare ed aggiungere quesiti al fine di rendere l'indagine sempre più organica ed approfondita.

5.ELENCO SIMBOLI

a	Fattore operativo
CoCoM	Contextual Cognitive Model
CREAM	Cognitive Reliability and Error Method Analysis
EU	Errore Umano
G	Fattore Gravità conseguenze
HRA	Human Reliability Analysis
HTA	Hierarchical Task Analysis
MIO	Mancato Intervento Operatore
MTO	Men, Technology & Organisation
R	indice di rischio indiretto
TA	Task Analysis
τ	Tempo richiesto

5. BIBLIOGRAFIA

[1] Erik Hollnagel - Cognitive Reliability and Error Analysis Method CREAM - Elsevier, 1998

[2] James Reason - Human Error – Cambridge University Press, 1990

[3] James Reason - Managing the Risks of Organizational Accidents - Ashgate, 1997

[4] Barry Kirwan - A Guide to PRACTICAL HUMAN RELIABILITY ASSESSMENT –

Taylor&Francis, 1994.
[5] Kunihide Sasou, James Reason - Teams errors: definition and taxonomy - Reliability Engineering and System Safety, 1998
[6] Mario Tucci, Gianni Bettini, Lorenzo Giagnoni - Analisi di affidabilità degli operatori e valutazione delle procedure operative - Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco" Sezione Impianti e Tecnologie Industriali, Università di Firenze
[7] Giagnoni L., Rinaldi R. - Human factor in risk analysis: reliability and safety evaluation applied to the organization management of a petrochemical plant – Convegno ESREL 2001 European Safety & Reliability International Conference TOWARDS A SAFER WORLD, Torino, Italy, September, 16-20, 2001
[8] Cacciabue, P.C. - Modelling and Simulation of Human Behaviour in System Control - London: Springer-Verlag, 1998
[9] P.C. Cacciabue, F. Decortis, B. Drozdowicz, G. Mancini, M. Masson & J.P. Nordvik - A cognitive model in a blackboard architecture: Synergism of AI and psychology - Synergism of AI and Psychology. Reliability Engineering and Systems Safety – Elsevier, 1992
[10] Vicente, K.J. (1999). Cognitive Work Analysis: Toward Safe, Productive, and Healthy Computer-based Work - Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc., 1999
[11] Vicente K.J. - Wanted: psychologically relevant, device- and event-independent work analysis techniques - Cognitive Engineering Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada,1998
[12] Roth, E. M., Patterson, E.S. & Mumaw, R. J. Cognitive Engineering: Issues in User-Centred System Design. In J. J. Marciniak (Ed.), Encyclopedia of Software Engineering, 2nd Edition. New York: Wiley-Interscience, John Wiley & Sons
[13] Robert G. Eggleston - Cognitive Systems Engineering at 20-Something: Where Do We Stand? - U.S. Air Force Research Laboratory
[14] Kirwan, B. & Ainsworth, L. K. (eds.) - A Guide to Task Analysis - London, Taylor &Francis, Ltd. 1992
[15] Degani, A., Shafto, M., and Kirlik, A - Modes in Human-Machine Systems: Constructs, Representation, and Classification - The International Journal of Aviation Psychology-9(2), 125-138. (1999)
[16] Janet E. Miller Dayton, Emily S. Patterson, David D. Woods - Critiquing as a cognitive task analysis (CTA) methodology
[17] Denis Javaux – Human errors, safety and systems development in aviation – Reliability Engineering and System Safety,115-119, 2002
[18] Wayne W. Zachary, Joan M. Ryder, James H. Hicinbothom - Cognitive Task Analysis and modelling of decision making in complex environments - To Be Published In J. Cannon-Bowers & E. Salas (Eds.), Decision making under stress: Implications for training and simulation
[19] Gabrielle de Brito - Human error in procedure following: A first classification