

IL FATTORE UMANO NELLA VALUTAZIONE DEI RISCHI: CONFRONTO METODOLOGICO FRA LE TECNICHE PER L'ANALISI DELL'AFFIDABILITÀ UMANA

Marianna Madonna, Giancarlo Martella, Luigi Monica, Elisa Pichini Maini, Laura Tomassini

Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL), Dipartimento Tecnologie di Sicurezza, Roma

(Parole chiave: fattore umano, affidabilità umana, errore umano, probabilità di errore umano)

SINTESI

CONTESTO - Dal 15 maggio 2008 con l'entrata in vigore del D.Lgs. 81/08, decreto che ha razionalizzato ed unificato per la prima volta in un unico testo tutta la normativa in materia di sicurezza, la valutazione del rischio (art. 28) diviene ancor più l'elemento cardine del sistema di prevenzione aziendale e quindi obbligo indelegabile del datore di lavoro cui compete la responsabilità per l'effettuazione del processo di valutazione (art. 17, comma 1, lettera a). Una corretta metodologia adottata nel processo di valutazione non può prescindere dalla stima dei rischi legati al fattore umano; tale stima diventa fondamentale quando, ad esempio, si deve valutare il rischio a cui è esposto un operatore, e in genere un lavoratore, durante l'uso di un'attrezzatura di lavoro (art. 71). Le tecniche per l'analisi dell'affidabilità umana (HRA), sono state sviluppate per fornire valori di probabilità di errore umano connessi ai compiti degli operatori da inserire nel più ampio contesto di valutazione di rischio del sistema, finalizzate alla riduzione della probabilità di eventi incidentali.

OBIETTIVI - Nessuna delle tecniche presenti in letteratura può essere considerata migliore, ciascuna presenta vantaggi e svantaggi e può essere più o meno idonea a seconda del contesto da esaminare e delle risorse e competenze disponibili.

Scopo del lavoro è presentare in rassegna alcune tra le tecniche HRA che sono state sviluppate dagli specialisti di affidabilità umana effettuando un confronto metodologico al fine di porre in rilievo le caratteristiche peculiari di ciascuna e la loro efficace applicazione nella valutazione dei rischi aziendali.

METODI - Il confronto si basa sulla valutazione del modello, della tassonomia, dei dati e del metodo che vanno a caratterizzare ciascuna tecnica.

RISULTATI - È stata realizzata un'analisi critica di tali tecniche in base al modello cognitivo sottostante, alla tassonomia associata, all'attendibilità dei dati disponibili, alla semplicità o difficoltà d'uso, alla dipendenza o meno dal tempo dei compiti da svolgere da parte dell'operatore, al numero e tipo di fattori contestuali presi in considerazione che possono influenzare la performance umana, evidenziando, inoltre, i limiti di applicabilità a settori diversi da quello in cui nascono.

BOW PO/base indexing:

CIS: Fattori umani [CIS: Psah], Valutazione dei rischi [CIS: Qra], Affidabilità [CIS: Sadr]

EUOSHA OSH: Fattori umani [EUOSHA: 11321D], Valutazione del rischio [EUOSHA: 19641D], Analisi e gestione del rischio [EUOSHA: 08801A]

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, l'evoluzione tecnologica ha portato ad un decremento di incidenti dovuti a guasti di natura tecnica grazie a ridondanze e protezioni, che hanno reso i sistemi sempre più affidabili. Tuttavia non è possibile parlare di affidabilità di un sistema senza portare in conto il tasso di guasto di tutti i suoi componenti e tra questi il componente "uomo", il cui tasso di guasto/errore va a modificare i tassi di guasto dei componenti con i quali può interagire. Questo ha reso evidente, sia a livello statistico sia in termini di gravità delle conseguenze, il contributo del fattore umano nelle dinamiche degli incidenti. Le stime concordano nell'attribuire agli errori commessi dall'uomo la responsabilità nel 60-80% degli incidenti e solo per la restante parte le cause sono imputabili a carenze tecniche [1].

Pertanto, al fine di assicurare un'efficace prevenzione degli eventi dannosi, il processo di valutazione dei rischi non può ignorare il ruolo dell'uomo nella dinamica degli eventi incidentali e quindi la gravità delle conseguenze derivabili.

Lo studio dell'affidabilità umana consiste nello studio di quei fattori interni ed esterni all'uomo che influenzano l'efficienza e l'affidabilità della *performance* del lavoratore; i primi sono tutti gli eventi casuali tecnici o sistemici (dovuti all'ambiente: attrezzature di lavoro, materiali utilizzati, luogo di lavoro, organizzazione del lavoro), che influenzano e alterano le condizioni di lavoro inducendo gli operatori in comportamenti erronei; i secondi, più difficili da prevedere poiché legati a caratteristiche individuali, sono correlati alle condizioni psico-fisiche che, per loro natura, non si prestano ad essere strutturati in modelli di comportamento sistemico [2]. Appare dunque chiaro quanto complesso sia lo sforzo compiuto in letteratura di proporre modelli di comportamento umano che favoriscano valori numerici di probabilità di errore al fine di prevedere e prevenire comportamenti non sicuri.

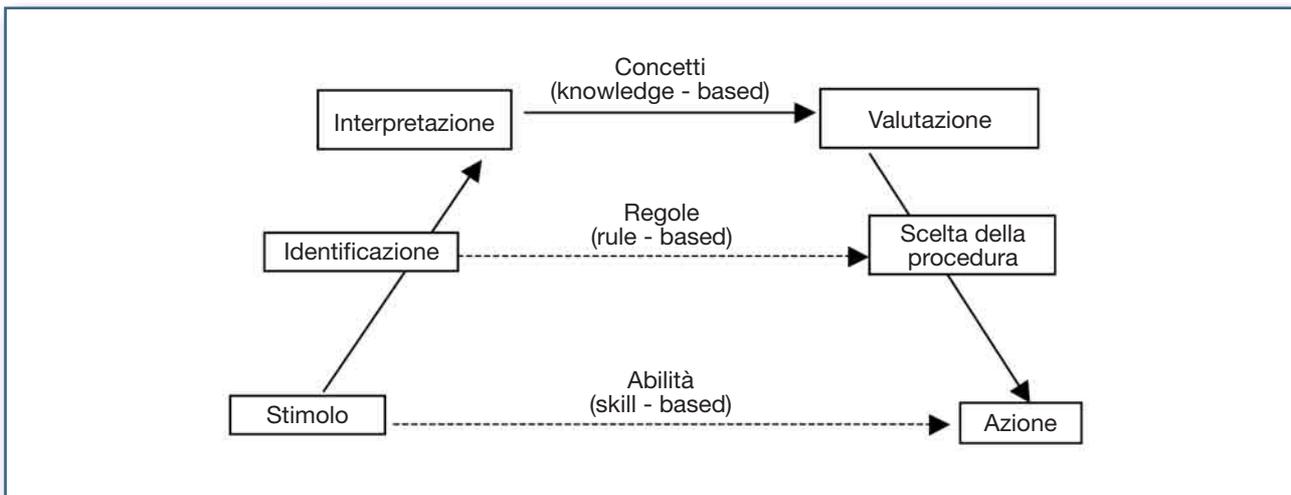
L'analisi dei fattori umani costituisce ad oggi un settore di studio fortemente interdisciplinare e non ancora ben definito, per cui non esiste una tassonomia completa ed universalmente accettata dei diversi tipi di errore umano e delle cause che li determinano. Una delle prime rappresentazioni strutturate del comportamento umano si basa su assunzioni e principi teorici della psicologia cognitiva che riconosce il processo cognitivo come dominio sul quale sono definiti gli errori umani. Tale modello è quello basato sul paradigma *information processing system* (IPS) che si riferisce alle funzioni cognitive e comportamentali fondamentali: percezione, interpretazione, pianificazione e azione [3].

Il modello di riferimento più utilizzato da coloro i quali si occupano di affidabilità umana è lo *skill-rule-knowledge* (SRK) postulato da Rasmussen [4] che, insieme alla tassonomia di errori associata, è una rappresentazione specifica del paradigma IPS. Il Rasmussen propone una classificazione del comportamento dell'uomo in tre diverse tipologie:

1. *Skill-based behaviour*: comportamento di *routine* basato su abilità apprese. L'impegno cognitivo richiesto è bassissimo ed il ragionamento è inconsapevole, ovvero l'azione dell'operatore in risposta ad un *input* è svolta in maniera pressoché automatica.
2. *Rule-based behaviour*: comportamento guidato da regole di cui l'operatore dispone per eseguire compiti noti, si tratta di riconoscere la situazione ed applicare la procedura appropriata per l'esecuzione del compito. L'impegno cognitivo è più elevato poiché implica un certo livello di ragionamento noto.
3. *Knowledge-based behaviour*: comportamento finalizzato alla risoluzione di problemi in presenza di situazioni non abitudinarie e conosciute, ma nuove o imprevedute, per le quali non si hanno delle regole o procedure specifiche di riferimento. Questo tipo di comportamento è definito *knowledge-based* proprio poiché richiede un elevato impegno cognitivo nella ricerca di una soluzione efficace.

La classificazione di Rasmussen può essere semplificata secondo lo schema di Figura 1.

FIGURA 1 - Modello a gradini



Ogni azione dell'operatore è preceduta da una serie di processi cognitivi che si svolgono secondo una struttura a livelli, ciascuno dei quali contiene funzioni cognitive diverse. La sequenza non è quasi mai né lineare né completa, ma si dispone secondo una scala dove, talvolta, si salta orizzontalmente per evitare gli scalini più alti e faticosi. Il processo cognitivo che porta dallo stimolo all'azione infatti prevede tre differenti percorsi di complessità crescente che richiedono quantità di attenzione e di risorse cognitive via via maggiori.

Alla base dello schema è collocato un comportamento *skill-based* secondo il quale l'operatore, stimolato da un fatto (*input*: segnale, rumore, etc.) reagisce quasi istantaneamente eseguendo un'azione legata ad una procedura ben interiorizzata. A livello intermedio, si colloca un tipo di comportamento *rule-based* per cui l'operatore, sulla base delle informazioni ricevute ed eventualmente a valle di un comportamento *skill-based*, ordina una serie di azioni mediante l'uso di procedure e le esegue. A livello più elevato, si trova il tipo di comportamento *knowledge-based*, in cui l'operatore è chiamato a fare uso in modo creativo ed autonomo (cioè senza l'uso di procedure o di comportamenti istintivi) delle informazioni disponibili e delle sue conoscenze, al fine di produrre le valutazioni e le decisioni a cui conseguiranno le azioni opportune [5].

Sulla base del modello proposto da Rasmussen, sono state individuate tre diverse tipologie di errore:

- *Slips*: errori di esecuzione che si verificano a livello di abilità. In questa categoria vengono classificate tutte quelle azioni eseguite in modo diverso da come pianificato, cioè l'operatore sa come dovrebbe eseguire un compito, ma non lo fa, oppure inavvertitamente lo esegue in maniera non corretta.
- *Lapses*: errori di esecuzione provocati da un fallimento della memoria. In questo caso l'azione ha un risultato diverso da quello atteso a causa di un fallimento della memoria. A differenza degli *slips*, i *lapses* non sono direttamente osservabili.
- *Mistakes*: errori non commessi durante l'esecuzione pratica dell'azione. In questo caso è il piano stesso a non essere valido, nonostante le azioni si realizzano come sono state pianificate. Possono essere di due tipi: *rule-based* e *knowledge-based*.
 - *Rule-based mistakes*: errori dovuti alla scelta della regola sbagliata a causa di una errata percezione della situazione oppure nel caso di uno sbaglio nell'applicazione di una regola.
 - *Knowledge-based mistakes*: errori dovuti alla mancanza di conoscenze o alla loro scorretta applicazione. Il risultato negativo dell'azione risiede nelle conoscenze erronee che l'hanno determinata. Tale tipologia di errore è insita nella razionalità limitata o comunque nella difficoltà di dare risposte a problemi che presentano un'ampia gamma di possibili scelte [1].

1. MATERIALI E METODI

1.1 Le tecniche per l'analisi dell'affidabilità umana

In letteratura sono presenti varie tecniche per l'analisi dell'affidabilità umana (HRA), volte alla valutazione del rischio lavorativo derivante dall'errore umano.

Tali tecniche sono nate per andare incontro alle esigenze della valutazione probabilistica del rischio (PRA) al fine di quantificare il contributo dell'errore umano al verificarsi di un incidente. In quest'ottica l'approccio HRA può essere visto come una specializzazione della PRA sui fattori rilevanti dell'affidabilità umana, approccio che fornisce una valutazione più dettagliata dei rischi inerenti il sistema associati al fattore umano. Una valutazione probabilistica del rischio identifica tutti i rischi, compresi gli errori umani, a cui il sistema è esposto, dandone una stima quantitativa ed inserisce queste informazioni in un albero dei guasti o in un albero degli eventi. Lo sviluppo delle tecniche HRA è stato strettamente legato, in bene o in male, a quello dell'industria a rischio di incidente rilevante laddove gli incidenti di Seveso (1976), Three Mile Island (1979), Bhopal (1983), Chernobyl (1986), solo per citare alcuni tra i più disastrosi, hanno messo in luce il contributo sostanziale apportato dalla fallibilità umana al loro verificarsi.

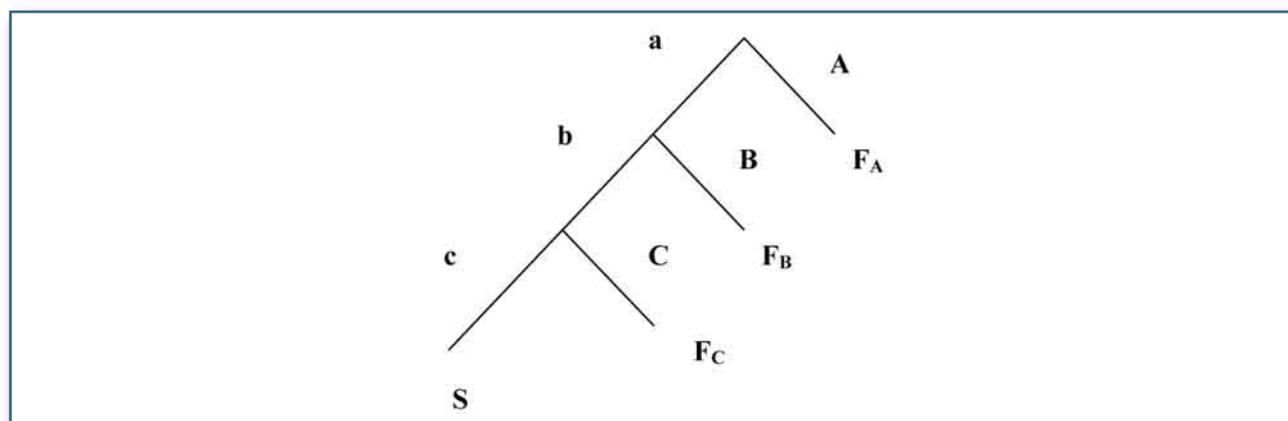
1.2 La tecnica per la predizione del tasso di errore umano (THERP)

La tecnica per la predizione del tasso di errore umano (*technique for human error rate prediction*, THERP) costituisce lo sforzo più complesso e completo di produrre metodi e dati per l'analisi sistematica dell'errore umano. Tale metodo, elaborato in *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications* da Swain e Guttman [6], consente di predire la probabilità di errore umano e di valutare le possibilità di degrado di un sistema uomo-macchina, in conseguenza di errori umani considerati da soli o in associazione con il funzionamento delle attrezzature, con le procedure e le pratiche operative, oppure con altre caratteristiche del sistema o dell'uomo, che influiscono sul comportamento del sistema. La caratteristica principale del metodo - e di molti approcci HRA - è la tecnica di decomposizione di un compito in sottocompiti, per ciascuno dei quali viene fornita la probabilità di errore umano con i corrispondenti limiti di confidenza.

L'assunzione di base della THERP è quella di riportare il posizionamento del successo/errore dell'uomo sullo stesso piano del successo/guasto di un qualsiasi componente dell'apparecchiatura (dove l'errore viene ad assumere il significato di guasto). Di fatto, ogni compito dell'operatore viene analizzato allo stesso modo in cui viene valutata l'affidabilità di tali componenti, con in più degli aggiustamenti che servono a tener conto della peculiarità della prestazione umana. Le azioni errate degli operatori vengono suddivise in errori di omissione ed errori di commissione: i primi sono relativi ad un'azione assegnata che non viene svolta affatto, i secondi invece, sono quelli relativi allo svolgimento errato di una azione assegnata.

Lo strumento analitico di base è un albero degli eventi per l'analisi di affidabilità umana (HRA *event tree*), di tipo binario con l'aspetto grafico e la simbologia di Figura 2.

FIGURA 2 - Schema per la costruzione di un HRA *event tree*



In questo, ogni nodo è relativo ad una azione, la sequenza delle quali è rappresentata a partire dall'alto verso il basso. Da ogni nodo si originano due rami: il ramo verso sinistra e contrassegnato con la lettera minuscola indica il successo, l'altro, verso destra e contrassegnato con la lettera maiuscola indica l'insuccesso. Ogni azione è dunque identificata con una lettera in ordine alfabetico, ad esclusione delle lettere maiuscole S e F, usate per indicare il successo e il fallimento rispettivamente.

Completata la parte qualitativa con l'applicazione del metodo HRA *event tree*, la quantificazione consiste nell'associare a ciascun nodo dell'albero una probabilità nominale di errore umano. L'aggettivo nominale sta ad indicare che tali valori prescindono dalla situazione specifica in esame e devono, pertanto, essere a questa adattati. Per portare in conto le caratteristiche peculiari del caso in esame occorre passare dalla probabilità nominale di errore (HEP) a quella effettiva. Ciò avviene tenendo conto degli effetti dei cosiddetti fattori che strutturano la prestazione (PSF).

Il metodo identifica sette PSF e li suddivide in tre categorie principali:

- *fattori esterni*, nei quali sono inserite le caratteristiche fisiche dell'ambiente lavorativo, le procedure richieste e le informazioni a disposizione e la qualità dell'interfaccia uomo-macchina;
- *fattori interni*, che indicano caratteristiche personali dell'operatore individuale: le abilità, l'esperienza, la motivazione e le aspettative;
- *fattori di stress*, che raccolgono il tipo e la consistenza degli elementi stressanti che è possibile siano presenti all'interno di situazioni diverse.

I fattori che strutturano la prestazione sono, in effetti, la concessione più consistente che THERP prospetti per considerare l'umanità degli operatori e consentendo allo stesso tempo di risolvere in modo esplicito il problema del contesto lavorativo.

Il volume *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications* fornisce un gran numero di valori di probabilità nominale raggruppati in 27 tabelle e schemi guida per la selezione della tabella idonea al caso specifico. In questo modo i dati risultano facilmente consultabili e selezionabili, ma è essenziale per un corretto utilizzo essere a conoscenza del contesto a cui tali dati si riferiscono. Ogni tabella è suddivisa nelle componenti minime del compito e, per ciascuna di queste componenti, solitamente sono riportati due valori numerici: la HEP nominale e l'*error factor* (EF) (la radice quadrata del rapporto tra il limite d'incertezza superiore (LUB) e quello inferiore (UUB), avendo ipotizzato una distribuzione lognormale della HEP). In base al giudizio dell'esperto la HEP verrà incrementata (fino a un massimo dato da HEP nominale x EF) se le condizioni operative sono peggiori di quelle nominali, o al contrario verrà diminuita (fino ad un minimo dato da HEP nominale/EF) se le condizioni operative sono migliori di quelle di riferimento. Per quanto riguarda i limiti di incertezza della HEP, il LUB rappresenta il quinto percentile di una ipotizzata distribuzione lognormale della HEP, e l'UUB rappresenta il 95 percentile. La mediana di tale distribuzione è la HEP nominale.

Avendo definito L'EF come:

$$EF = \sqrt{\frac{UUB}{LUB}}$$

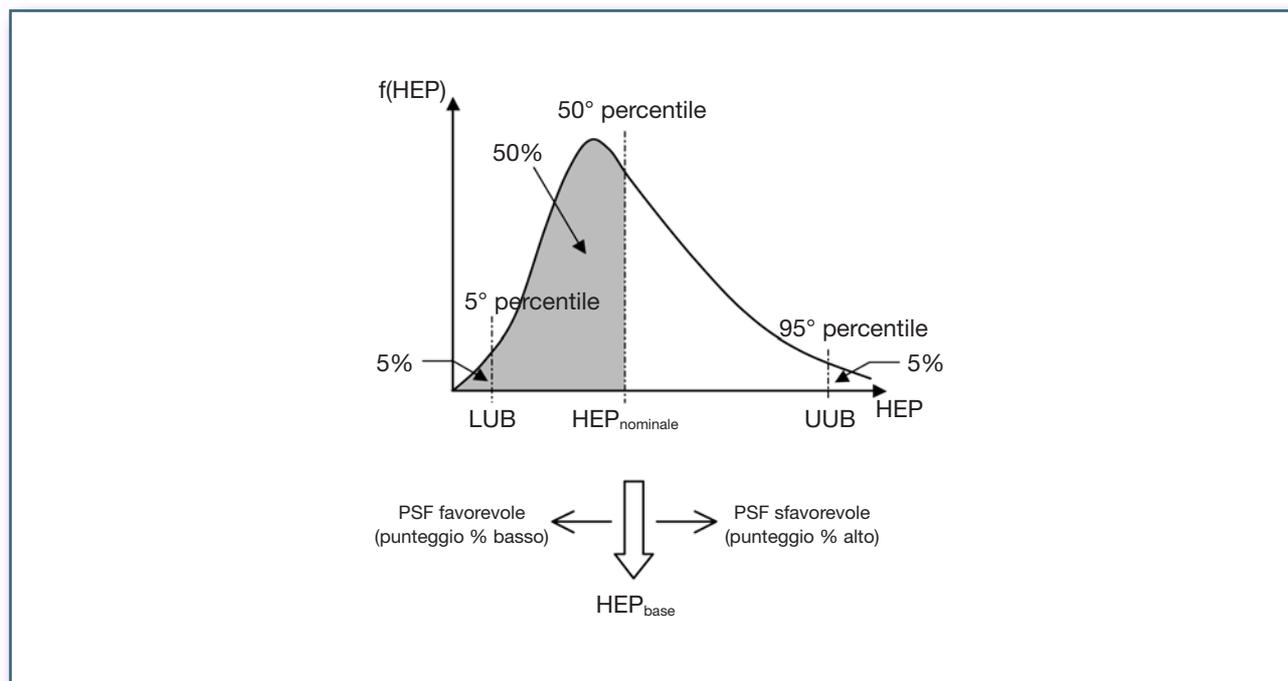
otteniamo la HEP modificando la HEP_{nominale} mediante l'EF a seconda che i PSF migliorano o peggiorano la *performance* umana, per cui avremo:

$HEP = HEP_{no\ min\ ale} \times EF$ se PSF sono sfavorevoli

$HEP = \frac{HEP_{no\ min\ ale}}{EF}$ se PSF sono favorevoli.

In Figura 3 è riportata la distribuzione lognormale della HEP. Il LUB corrisponde quasi alla miglior condizione in cui svolgere il compito (tutti i PSF immaginabili sono ottimizzati), e l'UUB corrisponde alla peggiore condizione (tutti i PSF vengono peggiorati).

FIGURA 3 - Funzione ipotizzata della densità di probabilità lognormale di HEP e della variazione di HEP nominale



1.3 La tecnica empirica per la stima degli errori degli operatori (TESEO)

La tecnica empirica per la stima degli errori degli operatori (TESEO) [7] è un tipico esempio di modello ad indici di semplice e immediata applicazione orientato alla valutazione delle probabilità di errore dell'operatore addetto al controllo di un sistema complesso.

Il metodo TESEO determina la probabilità di errore P_e dell'operatore tramite il prodotto di cinque fattori, ciascuno caratterizzante un aspetto del sistema (uomo, impianto, ambiente, etc.):

$$P_e = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5$$

dove:

K_1 è il fattore relativo al tipo di attività che quantifica il grado di routine: se l'attività è abituale per il lavoratore, la probabilità di un possibile errore che porta ad infortunio tende ad essere bassa.

K_2 è il fattore di stress legato al tempo necessario per svolgere l'attività (di routine e non di routine) e al tempo disponibile: un aumento di stress tende a tradursi in maggiore possibilità di rischio di infortunio.

K_3 è il fattore relativo al tipo di operatore assegnato in conseguenza al livello occupazionale, al grado di esperienza ed alla formazione: una maggiore esperienza lavorativa comporta una riduzione drastica della possibilità d'errore.

K_4 è il fattore di ansietà relativo all'attività dipendente dalla situazione lavorativa, da una grave emergenza, da un'emergenza potenziale o da condizioni non effettive, ma possibili.

K_5 è il fattore che tiene conto delle condizioni ambientali e dell'ergonomia delle attrezzature-apparecchiature con cui il lavoratore entra in contatto.

I cinque fattori rappresentano in sostanza dei PSF quantificati in corrispondenza di diverse situazioni. Di seguito, vengono riportati degli estratti delle tabelle con i valori di alcuni fattori per l'applicazione del modello. Se risulta $P_e > 1$, allora si assume $P_e = 1$.

TABELLA 1 - Valori dei fattori del modello TESEO

Fattore tipo di attività (K_1)		
Tipo di attività	K_1	
Semplice, di routine	0,001	
Di routine, richiede attenzione	0,01	
Non di routine	0,1	
Fattore di stress per attività di routine (K_2)		
Tempo a disposizione (sec)	K_2	
2	10	
10	1	
20	0,5	
Fattore di stress per attività non di routine (K_2)		
Tempo a disposizione (sec)	K_2	
3	10	
30	1	
45	0,3	
60	0,1	
Fattore relativo alle condizioni ambientali e all'ergonomia (K_5)		
Microclima	Interfaccia con l'impianto	K_5
Ottimo	Ottima	0,7
Buono	Buona	1
Discreto	Discreta	3
Discreto	Scadente	7
Cattivo	Scadente	10

Fonte: Vestrucci, 1990 [5]

1.4 La tecnica di affidabilità con riferimento al tempo (OATS)

L'albero delle azioni dell'operatore (OATS) è stato sviluppato da John Wreathall [8] in modo specifico per considerare gli errori degli operatori quando costoro sono chiamati ad intervenire per il verificarsi di condizioni anormali. L'OATS è stato elaborato per fornire una categorizzazione dei tipi di errore e dei valori probabilistici a questi associati che possono essere usati nelle PRA.

Il metodo si basa su un albero logico, detto albero delle azioni di base dell'operatore, che identifica le modalità di fallibilità possibili, da parte del lavoratore, dopo che si è verificato un incidente.

La OATS identifica tre tipologie di errori a carattere prettamente cognitivo:

- *errore nel percepire* che si è verificato un incidente;
- *errore nel diagnosticare* la natura dell'incidente e nell'identificazione delle azioni necessarie a porvi rimedio;
- *errore nella valutazione* temporale della messa in atto dei corretti comportamenti.

La stima della probabilità nominale di errore è strettamente legata all'intervallo di tempo necessario per prendere una decisione quando viene rilevata un'anomalia. Tale intervallo formalmente può essere scritto:

$$T = t_1 - t_2 - t_3$$

dove:

T è l'intervallo necessario a prendere la decisione;

t_1 è l'intervallo di tempo che intercorre tra l'inizio dell'incidente e la fine delle azioni che ad esso si relazionano;

t_2 è il tempo che passa tra l'inizio dell'incidente e la pianificazione mentale dell'intervento;

t_3 è il tempo necessario per mettere in atto ciò che si è pianificato in t_2 .

1.5 Il metodo di affidabilità cognitiva umana (HCR)

Il metodo di affidabilità cognitiva umana (HCR), sviluppato da Hannaman, Spurgin e Lukic, è specificatamente orientato a modellare compiti (o azioni) per i quali il tempo a disposizione T è il vincolo principale e il cui corretto svolgimento implichi aspetti cognitivi [9].

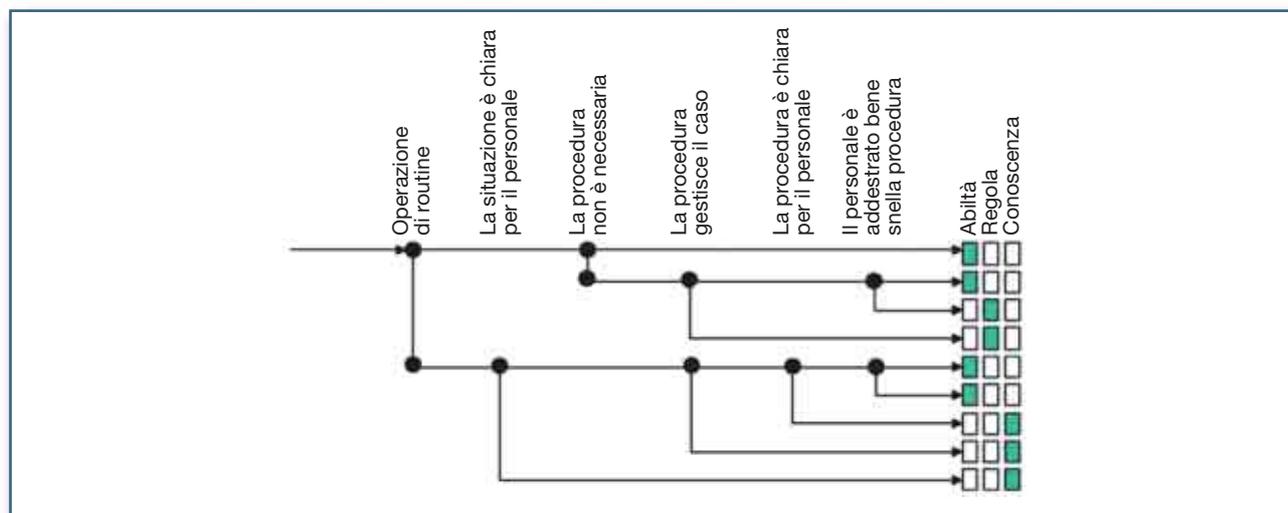
In particolare, il metodo fornisce la probabilità d'errore (detta anche probabilità di non risposta entro il tempo T), $P_e(T)$, dovuta a uno svolgimento troppo lento del compito assegnato e non comprende l'errore di percezione dell'anomalia né l'errore di scelta del provvedimento da prendere.

Il metodo si sviluppa secondo i seguenti passi:

1. classificazione del compito;
2. determinazione del valore nominale del tempo mediano $T^*_{1/2}$;
3. conversione di $T^*_{1/2}$ con i PSF in $T_{1/2}$;
4. determinazione del tempo T a disposizione;
5. applicazione del metodo HCR per ottenere $P_e(T)$.

Stabilito con il metodo HRA *event tree* il livello di decomposizione e con esso i sottocompiti per i quali la dipendenza dal tempo è essenziale, occorre classificare ciascun sottocompito a seconda del tipo di processo cognitivo che esso implica. Tale classificazione viene facilitata dall'utilizzo di un albero logico riportato in Figura 4, partendo dall'inizio dell'albero e rispondendo alle domande in testa ad ogni nodo, si perviene alla classificazione del processo cognitivo implicato che risente della classificazione SRK di Rasmussen, che fornisce un criterio di classificazione dei tipi di errore umano.

FIGURA 4 - Albero logico



Fonte: Hannaman, Spurgin, Lukic, 1985 [10]

Il secondo passaggio consiste nel determinare il tempo mediano nominale, ovvero quel valore del tempo a disposizione per cui si ha esattamente il 50% di probabilità di successo e di fallimento nello svolgere un determinato compito. L'aggettivo nominale sta ad indicare che il valore si riferisce ad una situazione media, non specifica del caso in esame. I modi per determinare $T_{1/2}^*$ sono gli usuali: esperienza operativa, simulatori, giudizi degli esperti, etc.

Il valore nominale viene corretto per tenere conto della specificità della situazione in esame e tale correzione viene fatta facendo ricorso a tre PSF: *addestramento*, *stress*, *qualità dell'impianto*.

A ciascun PSF è associato un coefficiente K_i , $i = 1,2,3$ e il tempo mediano $T_{1/2}$ è stimato tramite la relazione:

$$T_{1/2} = T_{1/2}^*(1+K_1) (1+K_2) (1+K_3)$$

Il valore dei coefficienti, determinati sperimentalmente e i criteri per la scelta sono riportati in Tabella 2 [10]. Scegliendo i valori di K_1 , K_2 e K_3 più appropriati si perviene alla correzione desiderata di $T_{1/2}^*$ in $T_{1/2}$.

TABELLA 2 - PSF e valori dei coefficienti per la determinazione di $T_{1/2}$

i	PSF _i	Situazioni	Criteri	K _i
1	Addestramento	Avanzato	Personale qualificato con più di 5 anni di esperienza	-0,22
		Buono	Personale qualificato con più di 6 mesi di esperienza	0,00
		Iniziale	Personale qualificato con meno di sei mesi di esperienza	0,44
2	Condizioni di stress	Grave emergenza	Situazione di grande stress; emergenza con personale sotto pressione	0,44
		Carico di lavoro pesante / emergenza potenziale	Situazione media, di potenziale emergenza, con alto carico di lavoro richiesto	0,28
		Condizioni ottimali/normali	Il personale è impegnato ad operare piccoli aggiustamenti ed interventi	0,00
		Problemi di vigilanza (stress molto basso)	Problemi di attenzione; il personale deve fare fronte ad una emergenza improvvisa	0,28
3	Qualità della sala di controllo e dell'impianto	Eccellente	Sono disponibili strumenti avanzati per aiutare il personale nelle emergenze	-0,22
		Buona	Le informazioni sono ben organizzate ed integrate	0,00
		Sufficiente	I visori sono ben progettati, ma il personale deve integrare le informazioni	0,44
		Povera	I visori sono disponibili, ma male progettati (non sono pensati con criteri di affidabilità umana)	0,78
		Estremamente povera	I visori per allertare il personale non sono direttamente visibili agli operatori	0,92

Fonte: Vestrucci, 1990 [5]

Per ciascuna situazione occorre determinare il tempo a disposizione T dell'operatore per svolgere l'intervento prima che abbia luogo un significativo e indesiderato cambiamento dello stato del sistema. Il tempo disponibile T può essere determinato dall'analisi di transitorio dell'impianto, da situazioni simili già accadute o esaminate e dal giudizio degli esperti del processo.

Il modello HCR è una correlazione matematica di dati ottenuti tramite simulatore e riferiti al contesto di impianti nucleari di potenza. Esso è costituito da tre curve, ciascuna delle quali relativa ad un tipo di processo cognitivo (SRK). I dati sperimentali sono stati approssimati con delle distribuzioni (cumulate) di Weibull, che forniscono la probabilità di non risposta in funzione del tempo a disposizione T (Tabella 3):

$$P_e(t) = \exp\left(-\left(\frac{t/T_{1/2}-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right)$$

dove:

t è la variabile indipendente tempo,

$T_{1/2}$ è il tempo mediano,

γ, η, β sono i coefficienti di correlazione associati al tipo di processo cognitivo predominante.

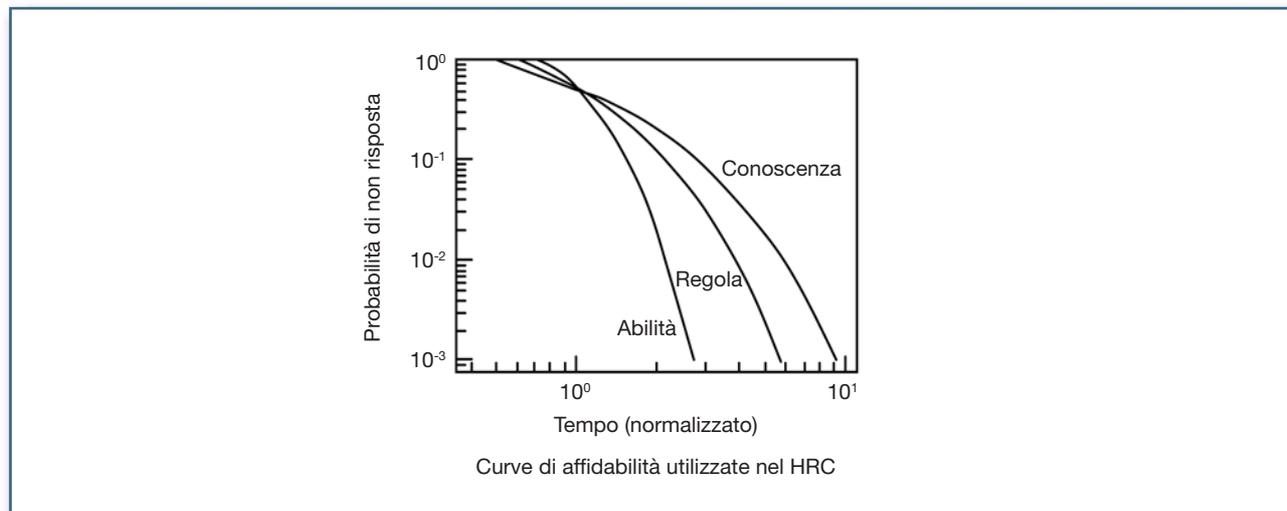
TABELLA 3 - Coefficienti di regressione per il modello HCR

Tipo di processo cognitivo	β_i	γ_i	η_i
Abilità	1,2	0,7	0,407
Regola	0,9	0,6	0,601
Conoscenza	0,8	0,5	0,791

Fonte: Vestrucci, 1990 [5]

In Figura 5 sono riportate le tre curve del modello (eventualmente utilizzabili per stimare graficamente la probabilità) in funzione del tempo normalizzato e cioè di $t/T_{1/2}$.

FIGURA 5 - Probabilità di non risposta secondo il modello HCR



Fonte: Hannaman, Spurgin, Lukic, 1985 [10]

Come si evince dalla Figura le curve sono definite a partire da un certo valore del tempo. Infatti è immediato rilevare dalla espressione analitica che $P_e(t)=1$ per $t_0=\gamma T_{1/2}$, detto tempo morto. Il significato fisico di tale tempo è da mettere in relazione alla parte completamente manuale del compito; in altre parole, esso rappresenta il tempo che è necessario per lo svolgimento del compito a prescindere dagli aspetti prettamente cognitivi.

A questo punto, basterà inserire il tempo T nell'espressione analitica del modello e determinare l'ordinata corrispondente a $T/T_{1/2}$ e si otterrà il valore ricercato della probabilità di non risposta.

1.6 Il metodo dell'affidabilità cognitiva e dell'analisi dell'errore (CREAM)

Il metodo dell'affidabilità cognitiva e dell'analisi dell'errore (*cognitive reliability and error analysis method*, CREAM), sviluppato da Hollnagel [11], è un metodo di II generazione rispetto a quelli presentati finora. Il distacco dei metodi di II generazione da quelli di I generazione è evidente nell'enfasi posta sull'influenza del contesto sulla performance umana. Inoltre, mentre nelle metodologie di I generazione la definizione di errore si basa sul dualismo *omission/commission*, derivante dalla funzione logica di *successo/non successo* che descrive il comportamento degli elementi meccanici nelle analisi di affidabilità, le metodologie di II generazione si basano su un modello che tiene conto delle funzioni cognitive dell'operatore. Inoltre, il modello cognitivo di CREAM ben si presta ad indagini di tipo retrospettivo e prospettico. Un'indagine retrospettiva parte dalla valutazione degli eventi quali: incidenti, quasi incidenti e situazioni di pericolo, cercando di ricostruire la sequenza incidentale per risalire alle cause primarie al fine di sviluppare misure di prevenzione. Un'indagine prospettica consiste nella predizione e nella valutazione dei rischi e delle conseguenze derivanti da sequenze incidentali di vari livelli di gravità, derivanti da diversi eventi iniziatori e da diverse interazioni uomo-macchina, con l'obiettivo di contribuire allo sviluppo di sistemi di controllo e di protezione degli impianti. Una delle finalità dell'analisi prospettica è quella di fornire un valore quantitativo dell'affidabilità umana nel contesto della PRA. Al fine di delineare l'ambiente lavorativo nel suo senso più generale, il metodo CREAM identifica nove *common performance conditions* (CPC). In Tabella 4, si riporta una *checklist* nella quale a ciascuna CPC è associato un livello qualitativo e da cui emerge quali fattori contestuali influenzano negativamente la *performance* umana.

TABELLA 4 - Common Performance Conditions (CPC)

CPC - Common Performance Conditions	Livello qualitativo
Livello di adeguatezza dei compiti svolti dall'organizzazione	Molto efficiente
	Efficiente
	Inefficiente
	Inadeguato/Insufficiente
Condizioni dell'ambiente di lavoro	Vantaggiose
	Compatibili
	Incompatibili
Adeguatezza dell'interazione uomo-macchina e dei supporti operativi	Adeguate
	Tollerabile
	Inappropriata
Fattibilità delle procedure e delle pianificazioni	Appropriata
	Accettabile
	Inappropriata

Continua

Segue Tabella 4

CPC - Common Performance Conditions	Livello qualitativo
Quantità dei compiti contemporaneamente svolti dall'operatore	Minore della capacità
	Adeguate
	Pari alla capacità
	Più della capacità
Tempo a disposizione	Adeguate
	Normale
	Temporaneamente inadeguate
	Continuamente inadeguate
Periodo del giorno in cui viene svolta l'attività	Di giorno
	Di notte
Idoneità dell'addestramento e della preparazione	Adeguate, alta esperienza
	Adeguate, bassa esperienza
	Leggermente inadeguate
	Inadeguate
Livello di collaborazione ed interazione del personale del reparto	Molto efficiente
	Efficiente
	Inefficiente
	Insufficiente

Fonte: Hollnagel, 1998 [11]

Il modello cognitivo usato nel CREAM è il *contextual control model* (CoCoM) il quale si basa sull'ipotesi che il comportamento dell'uomo è regolato da due principi fondamentali: la natura ciclica della cognizione umana e la dipendenza dei processi cognitivi dal contesto e dall'ambiente di lavoro.

Il modello fa riferimento al paradigma *information processing system* (IPS) e considera separatamente le funzioni cognitive con i loro meccanismi di collegamento (modello delle competenze) e i processi cognitivi che ne regolano l'evoluzione (modello del controllo) [12].

Il modello delle competenze prende in considerazione le quattro funzioni cognitive fondamentali del comportamento dell'uomo ed include la conoscenza e l'abilità della persona. Rappresenta la parte più classica del modello CoCoM, in quanto costituisce in sostanza il paradigma IPS nella sua completezza, ma se ne differenzia per la ciclicità presente tra le funzioni cognitive.

Il modello del controllo rappresenta la parte più innovativa di CoCoM in quanto costituisce una sorta di modello metacognitivo che gestisce l'evoluzione dei processi decisionali e comportamentali in funzione delle condizioni contestuali in cui queste avvengono. Il modello prevede quattro livelli diversi di controllo: strategico (*strategic*), tattico (*tactical*), opportunistico (*opportunistic*) e impulsivo (*scrambled*). Questi rappresentano gli atteggiamenti di un operatore nei confronti della sua competenza e determinano in ultima analisi, la sequenza dei processi cognitivi e delle azioni. L'evoluzione del contesto ambientale influisce sul modello del controllo attraverso due parametri indipendenti fondamentali: il risultato delle azioni o compiti precedenti e la nozione soggettiva del tempo a disposizione.

Nella tassonomia associata al modello CoCoM viene rigorosamente mantenuta la suddivisione logica tra gli elementi fondamentali del processo che porta alle azioni errate, ovvero la suddivisione tra cause, effetti-manifestazioni e conseguenze degli errori umani. Le conseguenze sono il risultato dell'interazione uomo-macchina e sono implicitamente ottenute dagli eventi reali. Le cause di comportamenti errati, dette

anche genotipi, sono le ragioni che determinano il verificarsi di certi comportamenti. Queste possono essere ulteriormente suddivise in cause interne, dipendenti dalla persona, e cause esterne, dipendenti dal sistema uomo-macchina. Gli effetti e le manifestazioni, dette anche fenotipi, sono infine rappresentati rispettivamente dalle forme errate del processo cognitivo e dalle vere e proprie espressioni esterne del comportamento errato, ovvero dalle azioni inappropriate. La distinzione tra cause ed effetti-manifestazioni deve essere chiaramente rispettata nell'analisi di interazione uomo-macchina, in modo da permettere un collegamento logico tra di esse nella ricerca e nell'identificazione delle cause primarie che hanno dato origine alle manifestazioni erronee in termini di azioni umane.

1.7 I limiti delle metodologie di analisi degli errori umani

Alla luce di quanto si è presentato, lo sviluppo di una metodologia di analisi degli errori umani richiede la combinazione di quattro elementi fondamentali:

1. lo sviluppo e/o l'applicazione di un modello di riferimento di comportamento umano;
2. lo sviluppo e/o l'applicazione di una classificazione, o tassonomia, di comportamenti erronei, da accoppiarsi al modello di riferimento di comportamento umano per la rappresentazione strutturata degli errori umani;
3. la disponibilità di fonti di dati sull'affidabilità umana che siano qualitativamente e quantitativamente significativi;
4. la descrizione di un metodo dove siano esplicitati i passi da seguire per l'applicazione dell'analisi.

Le tecniche sopra esposte si basano su modelli di comportamento umano che cercano di descrivere il processo cognitivo dell'uomo e di evidenziarne il legame con la *performance* umana [13].

Il modello cognitivo, che agisce come paradigma di riferimento per la rappresentazione del comportamento dell'uomo, necessita del supporto di una corrispondente tassonomia capace di rappresentare in maniera ordinata e strutturata le azioni errate. Una tassonomia è una classificazione, vale a dire un insieme di categorie in cui vengono raccolti dei dati. Harwood e Sanderson osservano che c'è una impellente necessità di un vocabolario interdisciplinare per comunicare sul ruolo dell'uomo [14]. Al fine di modellare il comportamento umano sono state proposte in letteratura diverse classificazioni di azioni errate ma, come evidenziato precedentemente, la classificazione di Rasmussen sembra rispondere, più delle altre, a questa esigenza fornendo un insieme universale di schemi verbali.

Un modello o un metodo per produrre risultati validi necessita di dati di ingresso significativi, nel senso che ogni dato andrebbe correlato di una serie di attributi che specificino le condizioni ambientali, le caratteristiche degli strumenti, l'addestramento del personale. I dati di probabilità di errore umano possono essere ottenuti da statistiche storiche, da esperienze di laboratorio o da giudizi di esperti del settore. Nel primo caso i dati sono desunti direttamente dall'esperienza operativa degli impianti, per cui sono i più realistici ma anche i più complessi e costosi da ottenere ed elaborare. Un modo più controllato ed economico di produrre dati di affidabilità umana è quello basato su esperimenti condotti in laboratorio. Il limite principale dei dati così ottenuti è il notevole grado di artificialità rispetto alle reali condizioni ambientali ed umane di un contesto industriale ed operativo [5]. In alternativa ai due precedenti approcci, che seppur differenti sono entrambi di tipo sperimentale (in campo o in laboratorio), a volte si preferisce produrre dati di errore umano attraverso il giudizio di esperti. Tale metodo da un lato evita l'utilizzo di dati non sempre facilmente reperibili e di difficile applicazione, dall'altro favorisce la soggettività della valutazione del caso specifico.

Nelle analisi delle interazioni uomo-macchina, inoltre, la formalizzazione di un metodo rappresenta un passo metodologico essenziale per la messa in pratica dei modelli del comportamento umano, delle tassonomie e dei dati raccolti nell'ambiente lavorativo.

Una caratteristica di cui tener conto nella valutazione di un metodo è la sua capacità di ricondurre la complessità dei fattori che influenzano il comportamento umano all'interno di modelli relativamente semplici. Si possono dunque ordinare i vari modelli in una gerarchia di complessità: avremo bassa complessità quando, operando una particolare scelta modellistica, parte del tipo o della qualità d'informazione andrà perduta. Inoltre

possiamo distinguere due tipologie di modelli, quelli che considerano il tempo come grandezza fondamentale per la stima dell'errore umano e quelli che per pervenire a tale stima considerano i fattori che principalmente influenzano le azioni umane (le difficoltà, i PSF, le condizioni ambientali, le informazioni, etc.). Tale distinzione parte dalla considerazione che l'errore umano non è solo collegabile ad azioni errate, ma può essere relativo ad un comportamento corretto ma troppo lento. A tal fine distinguiamo tra condizioni stazionarie, ovvero quelle che si riferiscono alle situazioni in cui le probabilità non dipendono dal tempo a disposizione (ad es. test di routine) e condizioni dipendenti dal tempo - quelle che si riferiscono alle situazioni in cui un dato compito deve essere svolto entro un tempo prefissato - onde evitare conseguenze indesiderate (ad es. decisioni da prendere in caso di emergenza).

Tuttavia, il limite dei modelli del comportamento umano rimane quello di non riuscire a tenere in dovuta considerazione l'influenza che il contesto esercita sulla *performance* umana. Quasi tutti i modelli presentati cercano di tener conto dei cosiddetti fattori contestuali, in maniera più o meno dettagliata, introducendo dei coefficienti che in qualche modo pesano l'influenza di un fattore piuttosto di un altro sull'esecuzione di un compito da parte dell'operatore. Ovviamente ciò avviene andando a considerare di volta in volta lo specifico contesto lavorativo.

2. RISULTATI

Di seguito, per ciascuna delle tecniche esaminate si evidenziano i vantaggi e gli svantaggi e come possono essere più o meno idonee ad essere applicate ad un caso o ad un altro.

2.1 THERP

Ambito di applicazione

Il metodo THERP nasce come strumento di progettazione, di analisi di affidabilità e di rischio all'interno degli impianti per la produzione di energia nucleare. Allo stato attuale, il metodo THERP viene considerato uno dei metodi più completi oltre a costituire l'unica fonte di dati disponibile in riferimento alle probabilità di errore umano.

Limiti/Vantaggi

Uno dei limiti di questa tecnica è quello di modellizzare (considerare) il comportamento dell'uomo alla stessa stregua di un qualsiasi componente meccanico, in quanto essa è strutturata secondo l'impostazione delle tecniche di analisi e valutazione di rischio impiegate per i componenti e per gli impianti.

La tecnica THERP ignora, inoltre, quelli che vengono abitualmente definiti errori cognitivi lavorativi, cioè l'insieme di quegli errori derivanti da processi cognitivi quali il ragionamento, la formulazione di soluzioni, la selezione di strategie, considerando solo errori di tipo *ommission/commission*. Per questo motivo Swain e i suoi collaboratori hanno di seguito cercato di rielaborare la tecnica originale in modo da tener conto degli errori cognitivi di livello superiore, allontanandosi dalla posizione esclusivamente comportamentista.

Uno dei vantaggi del metodo THERP è quello di poterlo sviluppare sotto forma di procedure e quindi si presta ad essere applicato in settori diversi fra loro (ambito nucleare, chimico, sanitario).

Per quanto attiene alla valutazione dell'affidabilità umana in riferimento ai compiti procedurali, THERP, così come strutturato, può essere considerato un metodo di riferimento, pur richiedendo, per il suo impiego, la formazione di personale esperto e una quantità non trascurabile di risorse.

2.2 TESEO

Ambito di applicazione

Il metodo TESEO può essere impiegato per effettuare una classificazione ed una valutazione veloce della probabilità di errore. Infatti, pur essendo applicabile alla singola azione e quindi a valle di un'analisi qualitativa

anche fortemente sviluppata e con il compito da analizzare decomposto in tutte le azioni elementari, esso può essere vantaggiosamente usato per valutazioni globali di probabilità di errore di un compito nel suo complesso.

Limiti/Vantaggi

La struttura matematica di questo modello ben si presta per quantificare il grado di affidabilità degli operatori umani in situazioni specifiche. È relativamente semplice da usarsi e i suoi dati in uscita sono ragionevolmente in accordo con le valutazioni fornite da giudici esperti. Anche in questo caso, comunque, i valori numerici su cui si basa la tecnica sono tratti da valutazioni fornite da esperti.

Tra gli svantaggi c'è la mancanza di un vero fondamento teorico, soprattutto in relazione ai dati usati per lo sviluppo del metodo, e il fatto che i cinque fattori vengono definiti una volta per tutte.

2.3 OATS

Ambito di applicazione

Tale metodo nasce con lo scopo di considerare gli errori commessi nel corso di un incidente ed in condizioni di emergenza, in particolare di valutare il tempo a disposizione dell'operatore per mettere in atto le procedure per il ripristino del malfunzionamento. Insieme all'HCR, si differenzia dagli altri metodi in quanto prende in considerazione l'aspetto dinamico dell'interazione uomo-macchina e la dipendenza temporale delle probabilità di eventi di guasto o di errori umani.

Limiti/Vantaggi

Secondo Hannaman, Spurgin e Lukic [9] la procedura di valutazione OATS gode del grosso pregio di fornire valutazioni d'errore svincolate dal tipo di compito che il lavoratore esegue e quindi in linea generale può essere esportata ad ambienti di lavoro eterogenei, è semplice da usarsi con valori definiti e ha una guida per l'applicazione.

OATS e THERP vengono considerati le "congetture migliori", in quanto i dati sono ottenuti da giudizi di esperti oppure da studi condotti in laboratorio. Il difetto maggiore sta nel non considerare adeguatamente le naturali differenze temporali, in termini di t_1 , t_2 e t_3 , esistenti tra attività lavorative differenti: ciò rende il valore predittivo del rischio di infortunio, derivabile dalle funzioni di efficacia d'intervento, un dato alquanto fragile.

2.4 HCR

Ambito di applicazione

La tecnica HCR è stata sviluppata in ambito nucleare al fine di quantificare, in funzione del tempo, la probabilità di non risposta ad una situazione accidentale.

Limiti/Vantaggi

Limite di tale metodo è, quindi, quello di essere calibrato su dati che si riferiscono al contesto dell'industria nucleare per cui l'impiego in altre situazioni è arbitrario. Dall'analisi della letteratura riguardante HCR, si ricava che è probabilmente una delle tecniche migliori per la quantificazione dei tempi di intervento ma, di contro, poco prevede la possibilità d'errore. Il suo maggior difetto consiste nel dare troppo peso ai casi in cui il lavoratore non attua la corretta procedura anti-situazione incidentale dimenticandosi dei casi in cui il lavoratore esegue una procedura in tempi sbagliati o compie deliberatamente una violazione delle procedure di sicurezza stabilite. Il numero dei PSF considerato per modificare il tempo mediano nominale è molto limitato.

Di contro, il modello presenta il vantaggio di essere relativamente semplice da acquisire e da utilizzare. La dipendenza temporale è modellata in modo esplicito e rilevante e permette il collegamento con l'evoluzione fenomenologica dell'impianto.

2.5 CREAM

Ambito di applicazione

Il metodo CREAM rientra nelle tecniche di valutazione dell'affidabilità umana cosiddette di II generazione, in quanto si focalizza sul contesto operativo ed è basato sulla *task analysis*.

Limiti/Vantaggi

Il modello permette una rappresentazione precisa, approfondita e soprattutto, dinamica delle interazioni uomo-macchina, in quanto è in grado di seguire il processo temporale e logico che conduce a manifestazioni di comportamento inadeguato. Tuttavia non è in grado di inquadrare tutta la sequenza di un incidente, nel quale si verificano diversi episodi di errore e/o malfunzionamento che si combinano per dare origine alle conseguenze indesiderate di un incidente.

Collocandosi tra le tecniche di valutazione dell'affidabilità umana di seconda generazione, basate sulla *task analysis* e focalizzate sul contesto operativo, CREAM è una tecnica sufficientemente flessibile da poter essere applicata anche alla valutazione dei rischi in contesti diversi da impianti tecnologicamente complessi. Nella Tabella 5 è riportato il confronto tra le varie tecniche HRA in precedenza esaminate.

TABELLA 5 - Confronto fra tecniche HRA

Metodo	Modello	Classificazione azioni	Fattori contestuali	Dipendenza dal tempo	Dati	Complessità
ThERP	SKR	Omission/commission	7 PSF	No	Banca dati molto vasta	Elevata
TESEO	Assente	Successo/fallimento	5 Fattori ben definiti	No	I valori numerici si basano su valutazioni degli esperti	Bassa
OATS	Assente	Successo/fallimento	Nessuno	Si	Dati ottenuti da esperti o da studi condotti in laboratorio	Media
HCR	SKR	Slips, Lapses, Mistakes	Num. limitato di PSF	Si	Non richiede valori definiti	Elevata
CREAM	CoCoM	Fenotipi/genotipi	9 CPC	No	Non richiede valori definiti	Elevata

3. CONCLUSIONI

Dopo aver esaminato alcune delle tecniche per l'analisi dell'affidabilità umana, si rende necessario porre in rilievo le incertezze che ancora sussistono quando si sceglie questo tipo di approccio al fattore umano. L'utilizzo dei principi e dei metodi propri dell'affidabilità dei componenti riporta, infatti, la stima della probabilità di errore umano sullo stesso piano di quella di guasto.

Tali metodologie, inoltre, prediligendo modelli a base psicologica, rimangono ancorati alla fase interiore del processo cognitivo, non evidenziano il legame con le condizioni esterne. Nel considerare le influenze che il contesto esercita sulla performance umana, bisogna dare un peso adeguato anche a quelli che vengono considerati gli errori latenti del sistema. Si tratta di quelle falle del sistema che rimangono latenti per un determinato periodo di tempo, ma che in connessione con altri fattori eziologici possono dare origine ad un incidente di cui l'uomo è l'ultimo casuale anello di una catena di errori e *deficit* relativi al contesto in cui opera. Un ulteriore spunto di riflessione nello studio del comportamento umano e della propensione all'errore è relativo al sistema valoriale e agli stereotipi che ciascun individuo porta come proprio bagaglio culturale e che si riflettono sulla sua percezione del rischio: essendo quest'ultima una sintesi di dati sensoriali che giungono al

soggetto operata dal soggetto stesso alla luce della sua conoscenza (formazione/informazione) ed esperienza (cultura/valori), non può che essere soggettiva. Da qui la difficoltà a prevedere con esattezza le reazioni di ciascun individuo che percepisca, o meno, di trovarsi in situazione di pericolo; da qui anche la difficoltà a vincere la propensione verso quei comportamenti intrinsecamente poco sicuri saldamente ancorati alla cultura di una persona.

Sarebbe auspicabile quindi, per un corretto dimensionamento del sistema di prevenzione aziendale, applicare le tecniche per l'analisi dell'affidabilità umana in un percorso integrato alla progettazione, sempre più a misura d'uomo, degli ambienti di lavoro e alla condivisione diffusa, da parte di tutta l'organizzazione, di valori della sicurezza.

Molte delle ricerche più avanzate delle scienze del comportamento, in particolare la *behaviour based safety* (BBS), riguardano proprio la possibilità di prevedere esattamente le reazioni degli individui sottoposti a determinati stimoli. Obiettivo di tale metodologia scientifica è quello di promuovere nell'ambito dell'organizzazione aziendale una cultura della sicurezza che non mira tanto a castigare i comportamenti sbagliati quanto a premiare - e dunque nel tempo rinforzare - talvolta con riconoscimenti verbali, talvolta con gratificazioni tangibili, tutti i comportamenti che concorrono a limitare i rischi [15]. Proponendosi come scienza, la BBS si dice in grado: di studiare un sistema aziendale fino a capire il motivo per cui in determinate situazioni i lavoratori non hanno avuto un comportamento corretto; di modificare tali comportamenti attivando processi di collaborazione fattiva e di reciproca valorizzazione tra le persone. Senza entrare nel merito della BBS si può certo affermare che quelle scelte aziendali che considerino l'uomo (con il suo bagaglio conoscitivo e valoriale) e la relazione tra le persone elementi di primaria importanza nella messa a punto di processi aziendali, non possono che considerarsi a favore della sicurezza dell'intero sistema.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Reason J. L'errore umano. Bologna: Il Mulino; 1994, (Sistemi intelligenti; vol 9)
2. Mantovani G. Ergonomia - Lavoro, sicurezza e nuove tecnologie. Bologna: Il Mulino; 2000
3. Neisser U. Cognitive Psychology. New York: Appleton Century Crofts; 1967
4. Rasmussen J. Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering. Wiley; 1986
5. Vestrucci P. Modelli per la valutazione dell'affidabilità umana. Milano: Franco Angeli; 1990
6. Swain AD, Guttmann HE. Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications. NUREG/CR-1278, US Nuclear Regulatory Commission. Washington, DC; 1983
7. Bello GC, Colombari V. Empirical technique to estimate operator's error (TESEO). Reliab Eng 1980;1(3):3-24
8. Hall RE, Fragola JR, Wreathall J. Post event human decision errors: Operator action tree/time reliability correlation. US Nuclear Regulatory Commission. Washington, DC; 1982
9. Hannaman GW, Spurgin AJ, Lukic YD. Human cognitive reliability model for PRA analysis. Palo Alto CA: Electronic Power Research Institute; 1984
10. Hannaman GW, Spurgin AJ, Lukic YD. A model for assessing human cognitive reliability in PRA studies. Proceeding of the IEEE third Conference on Human Factors and Nuclear Safety. Monterey CA. 1985
11. Hollnagel E. Cognitive reliability and error analysis method: CREAM. Elsevier; 1998
12. Hollnagel E. Human reliability analysis: Context and control. Academic Press; 1993
13. Cacciabue PC. Guide to Applying Human Factors Methods. London UK: Springer; 2004
14. Harwood K, Sanderson P. Skill, Rules and Knowledge: a discussion of Rasmussen's classification. In: Human Factor Society. A Cradle for Human Factors. Proceedings of the Human Factors Society 30th Annual Meeting. 1986 Sept 29-Oct 3; Dayton (OH) USA. p.1002
15. Tosolin F, Gatti M, Algarotti E. Behavior Based Safety: costruire comportamenti per ottenere risultati. Ambiente e Sicurezza - Il Sole 24 Ore 5 febbraio 2008

