



paolo carlizza (paolo.carlizza)

CALCOLO DELL'ERRORE UMANO IN IMPIANTI DI IRRAGGIAMENTO UTILIZZANDO IL METODO CREAM

27 May 2014

Introduzione

Esistono delle strutture che irradiano campi elettromagnetici di alta intensità allo scopo, per esempio, di sterilizzazione di materiale medico biologico, nella decontaminazione di matrici ambientali e nel campo diagnostico-terapeutico della medicina nucleare. Facendola breve, questo significa che gli operatori che lavorano attorno a questa struttura possono subire processi di contaminazione e di bruciature che possono arrivare al livello di letalità, sia per cause strettamente tecniche degli apparati, che per errori umani. Inoltre non si considera l'errore umano non dipendente dai guasti degli apparati tecnici, ma addirittura legato ed interdipendente da essi, in base alla loro complessità, ai tempi di reazione al guasto ed all'interazione uomo-macchina. In base ad una delle tecniche classiche, la CREAM, cercheremo di mettere in mostra un esempio pratico di come si calcola la sicurezza totale di un impianto, quale accennato, tenendo conto dei guasti hardware e di quelli umani, mettendoli in relazione di dipendenza tra di loro.

Ivi, mostreremo l'esempio di calcolo per questo tipo di centrali, ma non ci spingeremo nei particolari della computazione, dando solo una traccia utile, che si può approfondire nei riferimenti bibliografici, che vanno dal [4] all'[8]. Infine è da rendere noto che l'articolo in questione è stato estratto dal riferimento: **F. Castiglia, M. Giardina, F.P. Caravello - Dipartimento di Ingegneria Nucleare - Università degli Studi di Palermo, Viale delle Scienze - 90128 Palermo , Italia**

La Metodologia CREAM

Useremo questa metodologia per rappresentare in sequenza i calcoli che si fanno, per arrivare alla TE (TOP EVENT) probability, ossia quella finale che tiene conto di tutti i guasti tecnici ed umani gerarchizzati in un albero detto Fault Tree, dove le varie relazioni logiche dei vari guasti, combinate secondo le regole booleane, sono legate ed interconnesse, con schemi che usano gli operatori di AND ed OR, sia tenendo conto della contemporaneità di accadimento, che della loro sequenzialità. Alla fine, nella parte più alta dell'albero, è situato il TE, che non è altro che la totale

probabilità di guasto di tutto il sistema. Ma prima di arrivare a ciò dobbiamo rendere noti i presupposti di questa tecnica CREAM.

Si deve partire indubbiamente dalla fase detta CoCoM (Contextual Control Model), per la quale l'azione umana è dettata da fattori, come il contesto, l'esperienza sulle azioni da svolgere, l'aspettativa del risultato e la disponibilità di mezzi e strumenti, e le stime di probabilità vengono determinate a seconda dello studio del contesto in cui l'operatore effettua il suo compito. Nello SCREAM, vengono considerate le seguenti modalità di controllo, basate sulla classificazione CoCoM:

- *Scrambled*, che caratterizza una situazione non prevedibile dove l'operatore non ha potuto fare nulla per pianificare un'azione valida.
- *Opportunistic*, che definisce azioni limitate, dovute alla scarsa conoscenza e competenza del personale e anche a condizioni ambientali non standard.
- *Tactical*, che è caratterizzata da azioni e procedure pianificate dove l'operatore può portare a termine il suo compito.
- *Strategic*, in cui l'operatore ha molto più tempo disponibile, per la pianificazione del suo lavoro e potrà considerare i suoi risultati in maniera più precisa e considerare razionalmente le relazioni tra le azioni e le conseguenze.

Per questo, esiste una tabella, rappresentata in Fig. 1, dove vengono riportati gli intervalli di probabilità di errore sulla base dei vari metodi di controllo.

Modi di controllo.	Probabilità di errore nel compiere l'azione.
Strategico	$0.5 \times 10^{-5} < p < 1 \times 10^{-2}$
Tattico	$1.0 \times 10^{-3} < p < 1 \times 10^{-1}$
Opportunistico	$1.0 \times 10^{-2} < p < 0.5 \times 10^0$
Scrambled	$1.0 \times 10^{-1} < p < 0.1 \times 10^0$

Fig.1. I modi di controllo per l'analisi CREAM

Inoltre, è importantissimo sapere che la tecnica CREAM, valuta la probabilità di errore umano sulla base della classificazione sopra riportata, ricorrendo ai CPC (Common Performance Conditions), che identificano nove fattori per la identificazione del contesto:

- **Adeguate organizzazione**, che definisce la qualità dei ruoli e le responsabilità dei membri della squadra.
- **Condizione di lavoro**, che descrive la natura e le condizioni fisiche di lavoro, come luminosità, allarmi e rumori
- **Adeguate rapporto macchina e supporto operativo**, che definisce il rapporto interfaccia uomo-macchina, includendo le informazioni dei manuali

- **Disponibilita' di piani e procedure**, che descrive procedure e piani di lavoro, includendo procedure normali e di emergenza.
- **Numeri di scopi simultanei**, che quantifica il numero che l'operatore deve svolgere
- **Tempo disponibile**, che e' il tempo a disposizione per compiere un determinato compito.
- **Ora del giorno**, che denota l'intervallo di tempo diurno o notturno, in cui il compito e' svolto.
- **Adeguate formazione ed esperienza**, che descrive il livello di preparazione del personale e la sua esperienza, oltre la conoscenza delle nuove tecnologie
- **Qualita' del gruppo di lavoro**, che dà l'evidenza dell'attitudine del gruppo di lavoro nella collaborazione, includendo anche le componenti di clima sociale e di fiducia, che s'instaurano nell'ambiente di lavoro.

Ogni CPC e' caratterizzato da un certo numero di livelli di controllo ("veramente efficiente", "efficiente", "inefficiente", "non significante", ed altri), che definiscono qualitativamente i modi positivo, negativo o nullo gli effetti che il CPC esaminato associa sull'azione svolta. In Figura 2 sono riportati i fattori d'influenza dell'azione di controllo dei vari CPC, sotto forma tabellare.

Numero CPC	Nome CPC	Livelli/descrittori	Effetti attesi sull'affidabilità di prestazione
1	Adeguatezza di organizzazione	Deficitario Inefficiente Efficiente Molto Efficiente	Ridotto Ridotto Non significativo Migliorato
2	Condizioni di lavoro	Incompatibile Compatibile Vantaggioso	Ridotto Non significativo Migliorato
3	Adeguatezza dell'interfaccia Uomo-Macchina (MMI) e supporto operativo	Inappropriato Tollerabile Adeguito Supportante	Ridotto Non significativo Non significativo Migliorato
4	Disponibilità di procedure/piani	Inappropriato Accettabile Appropriato	Ridotto Non significativo Migliorato
5	Numero di obiettivi simultanei	Fin' della attuale capacità Corrispondente alla capacità attuale Minore della capacità attuale	Ridotto Non significativo Non significativo
6	Tempo disponibile	Continuamente adeguato Temporaneamente adeguato Adeguito	Ridotto Non significativo Migliorato
7	Tempo del giorno (circadian rhythm)	Notte Giorno	Ridotto Non significativo
8	Adeguatezza del training e dell'esperienza	Inadeguato Adeguito con esperienza limitata Adeguito con alta esperienza	Ridotto Non significativo Migliorato
9	Qualità collaborazione della squadra	Defettivo Inefficiente Efficiente Molto Efficiente	Ridotto Non significativo Non significativo Migliorato

Fig.2. Rappresentazione dei CPC nel metodo CREAM

La procedura standard e' quella di sommare per i nove CPC i livelli che contribuiscono positivamente e quelli che danno contributo negativo, ottenendo una coppia di valori che s'innescano o si fissa nel diagramma, dove sono individuate le quattro categorie dei livelli di controllo viste nella Fig. 1. Il risultato di questo step e' rappresentato in Fig. 3. Ma delle difficolta' pratiche, nelle analisi di sicurezza di tipo quantitativo, portano gli autori a proporre diversi modelli per il metodo CREAM.

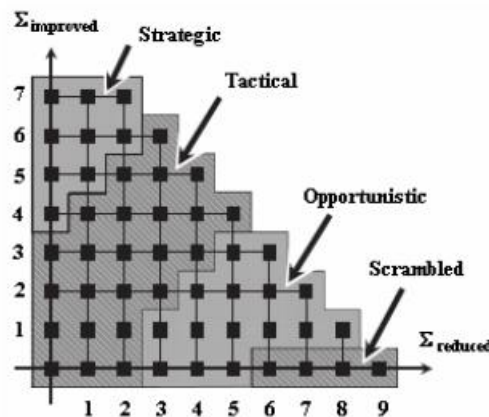


Fig.3. Relazione tra i CPC ed i modi di controllo

Metodologia CREAM sfumata

La procedura consiste nell'associare ai vari livelli di ogni CPC un intervallo "sfumato", definito da funzioni di partenza di tipo triangolare, con valori da 0 a 100, in cui gli estremi inferiore e superiore indicano la peggiore e migliore condizione nello svolgimento di un compito. Soltanto il CPC "time of day" ha un intervallo compreso tra 0 e 24, essendo correlato all'ora del giorno, in cui viene svolta l'operazione. Anche gli intervalli di probabilita' di errore, definiti con i modi di controllo in Fig. 1, vengono rappresentati con funzioni di appartenenza di tipo triangolare, come mostrato nella Fig. 4, con l'ascissa del grafico riportata in scala logaritmica.

I CPC cosi' decomposti verranno rappresentati con regole "sfumate" o "fuzzy" del tipo "if-then-else" sulla base della logica CREAM, per cui ad ogni combinazione dei parametri CPC viene assegnato un output sfumato delle probabilita' di errore umano, sulla base delle modalita' di controllo. Il risultato verra' "defuzzificato" mediante l'uso di un modello, nominato "del centroide".

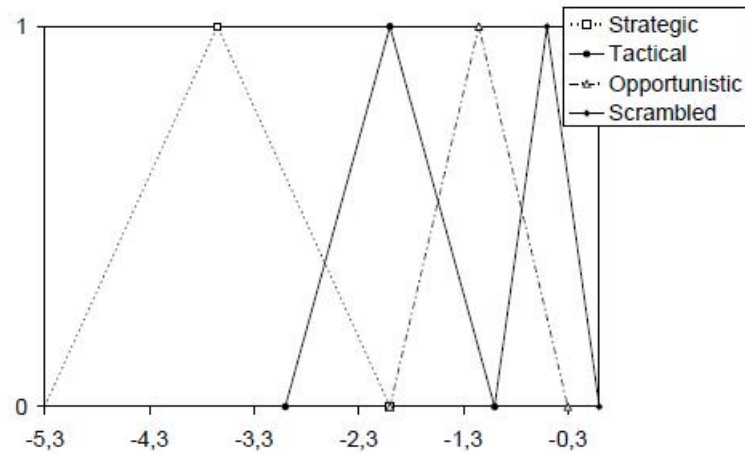


Fig.4. Output metodo CREAM sfumato

Metodologia CREAM semplificata.

Si estende la metodologia CREAM, introducendo quattro nuove funzioni cognitive (**Osservazione**, **Interpretazione**, **Pianificazione**, **Esecuzione**), cui corrispondono 13 generici tipi di guasto detti CFP_0 o Cognitive Failure Probability ed il tutto e' rappresentato in Fig. 5.

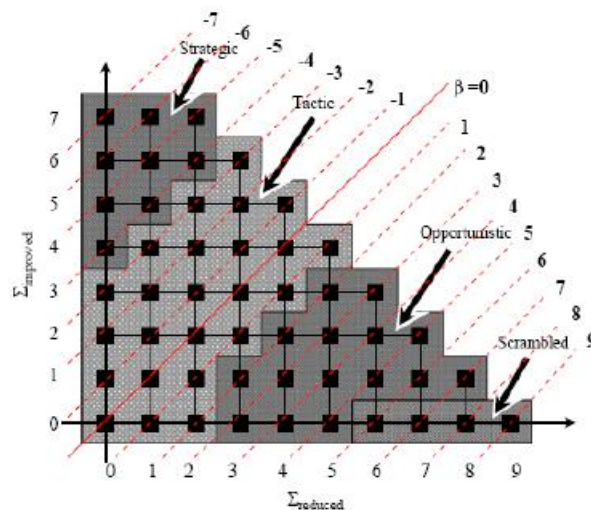


Fig. 5. Rette d'influenza del contesto che definiscono le modalita' di controllo.

La prima parte della procedura consiste nel valutare il parametro β , detto "*indice di influenza del contesto*", come differenza della somma dei livelli CPC, che comportano effetti peggiorativi dell'azione e la somma di quelli che danno effetti migliorativi.

$$\text{Ossia } \beta = X - Y = \Sigma_{\text{reduced}} - \Sigma_{\text{improved}}$$

L'insieme delle rette $Y = X \cdot \beta$, individuano le modalita' di controllo che l'operatore possiede sull'azione che deve svolgere (vedi Fig. 6). Se $\beta = 0$, significa che i livelli peggiorativi in numero sono pari a quelli migliorativi oppure sono tutti insignificanti.

Cognitive function	Generic failure type	CFP ₀ basic value
Observation	O1. Wrong object observed	0.001
	O2. Wrong identification	0.007
	O3. Observation not made	0.007
Interpretation	I1. Faulty diagnosis	0.02
	I2. Decision error	0.01
	I3. Delayed interpretation	0.01
Planning	P1. Priority error	0.01
	P2. Inadequate plan	0.01
Execution	E1. Action of wrong type	0.003
	E2. Action at wrong time	0.003
	E3. Action on wrong object	0.0005
	E4. Action out of sequence	0.003
	E5. Missed action	0.003

Fig. 6. Tipi di funzioni cognitive e valori base della probabilita' di errore CFP₀.

Il parametro β e' correlato con i vari CFP, con la seguente relazione di tipo logaritmico

$$\log \left(\frac{CFP}{CFP_0} \right) = k\beta$$

Poiche' nella tecnica CREAM il massimo dei CPC peggiorativi e' $\beta_{\max} = 9$, mentre il minimo dei CPC migliorativi e' $\beta_{\min} = -7$ ed inoltre ritenendo ragionevole assumere $CFP_{\max} = 1.0$ e $CFP_{\min} = 0.0001$, si ricava che

$$k = \frac{1}{\beta_{\max} - \beta_{\min}} \cdot \log \left(\frac{CFP}{CFP_0} \right)$$

E cosi' si puo' trovare la probabilita' dell'errore, che vale

$$CFP = CFP_0 \cdot 10^{0.25\beta}$$

La procedura prevede una seconda oparte dove si provvede a sostituire il paramentro β , per attribuire valori diversificati all'influenza dei singoli livelli peggiorativi o migliorativi dei parametri CPC. Il nuovo parametro e' definito come

$\sum_i \rho_i$ dove i singoli ρ_i (Performance Influence Index), rappresentati in Fig. 7 sono stati valutati con studi e giudizi di personale esperto. Perciò l'equazione viene modificata come:

$$CFP = CFP_0 \cdot 10^{0.25 \sum_i \rho_i}$$

CPC name	Level	Performance Influence Index
Adequacy of organization	Very efficient	-0.6
	Efficient	0
	Inefficient	0.6
	Deficient	1.0
Working conditions	Advantageous	-0.6
	Compatible	0
	Incompatible	1.0
Adequacy of MMI and operational support	Supportive	-1.2
	Adequate	-0.4
	Tolerable	0
	Inappropriate	1.4
Availability of procedures/plans	Appropriate	-1.2
	Acceptable	0.0
	Inappropriate	1.4
Number of simultaneous goals	Fewer than capacity	0
	Matching current capacity	0
	More than capacity	1.2
Available time	Adequate	-1.4
	Normal	0
	Temporarily inadequate	1.0
	Continuously inadequate	2.4
Time of day	Day-time (adjusted)	0
	Night-time (unadjusted)	0.6
Adequacy of training and Preparation	Adequate, high experience	-1.4
	Adequate, low experience	0
	A little inadequate	1.0
	Inadequate	1.8
Crew collaboration quality	Very efficient	-1.4
	Efficient	0
	Inefficient	0.4
	Deficient	1.4

Fig. 6. Valori degli indici d'influenza.

Esposizione potenziale in un moderno impianto di irraggiamento.

La Fig. 8 mostra lo schema di un moderno impianto d'irraggiamento, impiegato per impartire dosi uniformi a vivande come frutta, vegetali e carni o sterilizzare oggetti di uso medico, quali siringhe, garze. I prodotti sono chiusi in pacchi di opportune dimensioni spaziali, che passano intorno uno o più volte ad una sorgente di calore. In base alla velocità ed al numero dei passaggi dei pacchi si garantisce la riuscita dell'operazione. La sorgente usata è Cobalto 60 (Co 60), situata su una rastrelliera metallica, di attività pari a circa 40 PBq. Quando l'impianto non è in funzione la sorgente viene immessa all'interno di una piscina piena di acqua, che si trova entro la stanza di radiazione (Radiation Room o RR). Un battente d'acqua funge anche da schermo contro le radiazioni. Un misuratore di livello assicura che

esso si mantiene entro un certo range d'intensita' radiativa, mentre un rilevatore di radiazioni, montato in fondo alla piscina, controlla l'esatta posizione della(e) sorgente(i).

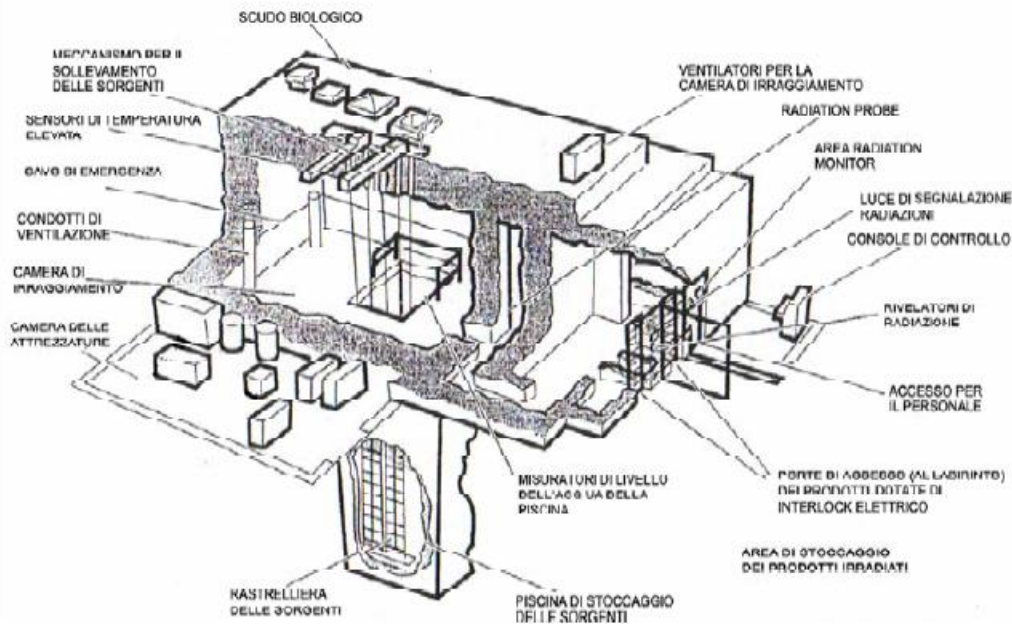


Fig. 8. Impianto d'irraggiamento.

La movimentazione di pacchi e' affidata a nastri trasportatori e prima di arrivare alla stanza d'irradiazione, i pacchi seguono un percorso labirintico per consentire l'attenuazione della radiazione diffusa nella zona d'ingresso dei pacchi. All'ingresso del labirinto vengono inserite delle catene con *interlock*, che ostruiscono il passaggio: se staccate il sistema di sollevamento della rastrelliera viene isolato elettricamente, causando il ricovero di emergenza delle sorgenti. L'ingresso della RR del materiale da irradiare e' diverso dall'uscita del materiale irradiato, lontana appositamente dall'ingresso, onde non creare situazioni disturbate. Ogni ingresso ed uscita sono dotati di porte con interlock e di rivelatori di radiazione, per evitare al personale l'ingresso nel locale d'irraggiamento in condizioni di non sicurezza. Le procedure d'avviamento prevedono che l'operatore entri nel locale d'irraggiamento per sopralluoghi che consentono di accertarsi assenza di ulteriore personale all'interno della RR ed in piu' l'avvio del sistema di sicurezza. Una luce lampeggiante ed un segnale sonoro all'ingresso, segnalano l'inizio delle operazioni di esposizioni alla sorgente. Tutte le chiavi, che consentono l'avvio delle procedure di esposizione delle sorgenti, sono controllate in modo che l'operatore abbia solamente una chiave, che viene usata per l'accesso al locale ed all'abilitazione di un timer, che determina il

tempo massimo necessario per uscire dalla camera ed avviare le operazioni dalla sala di controllo, pena l'interruzione delle procedure ed il riavviamento delle operazioni. Alla chiave e' collegato, tramite catena un rivelatore radiazioni portatile per assicurare il monitoraggio dell'operatore ad ogni ingresso della RR. Pulsanti di emergenza posti dentro la RR interrompono la proceura d'avviamento in qualunque momento. Una serie di fotosensori sulla porta producono un segnale sonoro e luminoso e causano il ricovero delle sorgenti dentro la piscina in caso d'ingresso non sicuro del personale. Infine, tutta l'area della RR viene monitorata tramite telecamera posta vicino alla porta d'ingresso.

Descrizione degli scenari incidentali esaminati e risultati ottenuti.

Le principali cause di errore e di conseguente esposizione del personale possono essere viste nei seguenti scenari:

A. La sorgente e' esposta e l'operatore entra nel locale d'irraggiamento attraverso l'ingresso del personale Tale ipotesi si verifica se l'accesso nella RR e' possibile nonostante l'esposizione delle sorgenti, insieme al guasto del rivelatore di radiazione posto nella RR e del rivelatore portatile, o quest'ultimo viene ignorato. B. La sorgente e' esposta e l'operatore entra nel locale attraverso l'ingresso dei prodotti da irradiare. L'evento comporta il guasto dei sensori fotoelettrici e del sistema di chiusura della porta di ingresso dei pacchi. C. Un frammento di sorgente e' trasportato all'esterno del locale d'irradiazione e l'operatore si trova nei pressi del nastro trasportatore. Questo scenario si verifica se ha la rottura della sorgente ed il guasto del rivelatore di radiazioni posto all'uscita dei prodotti irradiati. D. La sorgente viene esposta dall'operatore che si trova nella sala di controllo mentre del personale e' presente all'interno del locale RR, oppure, per il verificarsi del guasto di sistemi di controllo di sollevamento della rastrelliera mentre l'operatore e' nella RR. Lo sviluppo dell'albero di guasto e' riportato nelle Figg. 9-13. I dati delle probabilita' di guasto dei componenti e sistemi di sicurezza dell'impianto (Figura 14) sono espressi in frazioni di tempo per domanda (fot/pd) ed evento per anno (y^{-1}). In Fig. 15 sono mostrate le probabilita' degli errori umani valutate con le metodologie CREAM, descritte in precedenza. E' stato ipotizzato che l'operatore entra dentro la RR, attraverso la porta principale, 1700 volte l'anno.

Nelle analisi effettuate utilizzando la metodologia CREAM *sfumata*, il personale e' stato considerato altamente qualificato e con un ottimo livello di addestramento, per cui i CPC, presi in considerazione con effetto peggiorativo sull'azione da svolgere sono quelli relativi al "Tempo disponibile", essendo ridotti i tempi per invertire e modificare le operazioni e l'"ora del giorno", in quanto si e' voluta considerare la condizione peggiore, in cui si trova ad operare il personale con un processo a ciclo continuo. Per quanto riguarda i CPC "Numero di scopi simultanei" le "Disponibilita' di piani e procedure" sono stati trattati "efficienti" ed "accettabili", per cui il loro

contributo non e' significativo. Ovviamente, per le analisi effettuate con la tecnica CREAM *semplificata* sono stati utilizzati gli indici di influenza corrispondenti ai livelli CPC della tecnica CREAM *sfumata*, mentre per i valori base di CFP_0 sono state utilizzate le funzioni cognitive relative alla "Osservazione" ed alla "Esecuzione". Questo perche' gli errori presi in considerazione sono da correlare ad osservazioni erronee o non eseguite, oppure, ad azioni omesse o sbagliate, o, ancora, ad operazioni intese a bypassare le procedure. Le analisi dell'albero di guasto del TE, in termini di frequenza/anno danno:

$$P(TE)_{CREAM_{sfumata}} = 0.46 \cdot 10^{-6} y^{-1}$$

$$P(TE)_{CREAM_{semplif.}} = 5.15 \cdot 10^{-6} y^{-1}$$

Le due tecniche differiscono tra loro di circa una decade. Questo, perche' le probabilita' ottenute con la CREAM *semplificata* sono piu' alte rispetto a quella *sfumata* (vedi Fig. 15). Si tenga presente che in un rapporto emesso dall'ICRP, dove la procedura di calcolo non viene dichiarata, si riporta una probabilita' del TE pari a

$$P(TE)_{ICRP} = 1.9 \cdot 10^{-6} y^{-1}$$



Fig. 9. Livello 0 dell'albero di guasto.

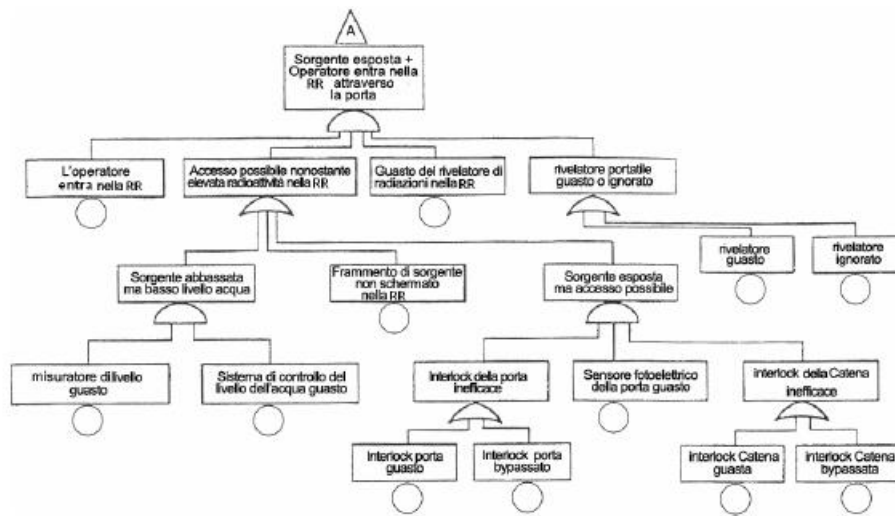


Fig. 10. Sviluppo del sottoalbero dello scenario A.



Fig. 11. Sviluppo del sottoalbero dello scenario B.



Fig. 12. Sviluppo del sottoalbero dello scenario C.



Fig. 13. Sviluppo del sottoalbero dello scenario D.

Evento Primario	Dato	Evento Primario	Dato
Guasto rivelatore di radiazioni della RR	1×10^{-3} pd	Guasto del sistema di controllo del livello dell'acqua	1×10^{-4} fot
Frammento di sorgente non schermato nella RR	4×10^{-7} fot	Guasto del sensore fotoelettrico della porta di ingresso della RR	5×10^{-3} pd
Elevata radioattività nella RR	8×10^{-4} fot	Guasto del rivelatore portatile	1×10^{-2} pd
Guasto del misuratore di livello	1×10^{-3} pd	Operatore dentro la camera RR	5×10^{-2} fot
La porta di ingresso dei prodotti non si chiude	1×10^{-4} pd	Guasto dei sistemi di controllo di sollevamento sorgente	3×10^{-1} /y
Operatore nei pressi del nastro trasportatore	8×10^{-1} fot	Interlock della catena inefficace	1×10^{-2} pd
Rottura della sorgente con frammentazione	6×10^{-4} /y	Guasto dell'interlock della porta	5×10^{-3} fot
Frammento di sorgente trasportato dal nastro	2×10^{-1} pd	Guasto allarme "sorgente in movimento"	1×10^{-4} pd
Guasto rivelatore di radiazioni uscita prodotti	1×10^{-3} pd	Interlock della catena guasto	5×10^{-3} fot

Fig. 14. Dati di probabilit  dei componenti e sistemi di sicurezza dell'impianto.

Evento Primario	CREAM sfumata	CREAM semplificata
Interlock della porta bypassato	2.19×10^{-3}	1.178×10^{-2}
Rivelatore di radiazioni portatile ignorato	1.71×10^{-2}	6.67×10^{-3}
L'operatore tenta di entrare nella RR attraverso l'ingresso prodotti	1.00×10^{-2}	1.63×10^{-2}
La persona all'interno della RR non bada all'allarme	2.19×10^{-3}	1.178×10^{-2}
Interlock della catena bypassato	2.19×10^{-3}	1.178×10^{-2}
Stop di emergenza non attuato	2.19×10^{-3}	1.178×10^{-2}
L'operatore non nota una persona all'interno della RR	3.60×10^{-3}	2.13×10^{-2}
La chiave di start-up non � tenuta da chi � nella RR	2.19×10^{-3}	1.178×10^{-2}

Fig. 15. Probabilit  errori umani valutati con tecnica CREAM sfumata e semplificata

N� MCS	Percentuale %	Frequenza	Descrizione eventi dei MCS
5	72.14	3.29×10^{-7}	- Guasto dei sistemi di controllo di sollevamento sorgente - Operatore dentro la camera RR - Interlock della catena inefficiente - Stop di emergenza non attuato
4	21.05	9.60×10^{-8}	- Operatore nei pressi del nastro trasportatore - Frammento di sorgente trasportato dal nastro - Rottura della sorgente con frammentazione - Guasto rivelatore di radiazioni uscita prodotti
2	2.54	1.16×10^{-8}	- Operatore entra nella RR - Guasto rivelatore di radiazioni della RR - Rivelatore delle radiazioni portatile ignorato - Frammento di sorgente nella camera RR non schermata
3	0.8	4.0×10^{-9}	- Elevate radioattivit� nella RR - Operatore entra dall'ingresso prodotti - Guasto del sensore fotoelettrico - Porta ingresso prodotti non chiusa

Fig. 16. MCS valutati dall'analisi FT in cui   stat usata la tecnica CREAM sfumata

N° MCS	Percentuale %	Frequenza	Descrizione eventi dei MCS
5	51,8	$2,67 \times 10^{-6}$	- Guasto dei sistemi di controllo di sollevamento sorgente - Operatore dentro la camera RR - Interlock della catena inefficiente - Stop di emergenza non attuato
8	39,2	$2,02 \times 10^{-6}$	- L'operatore non nota la persona all'interno della RR - Stop di emergenza non attuato - Operatore dentro la camera RR - La persona all'interno della RR non bada all'allarme - La chiave di start-up non è tenuta da chi è nella RR
12	3,6	$1,8 \times 10^{-7}$	- Operatore entra nella RR - Interlock della porta bypassato - Guasto del sensore fotoelettrico della porta di ingresso della RR - Interlock della catena bypassato - Guasto rivelatore di radiazioni della RR - Rivelatore di radiazioni portatile ignorato
4	1,9	$9,60 \times 10^{-8}$	- Operatore nei pressi del nastro trasportatore - Frammento di sorgente trasportato dal nastro - Rottura della sorgente con frammentazione - Guasto rivelatore di radiazioni uscita prodotti

Fig. 17. MCS valutati dall'analisi FT in cui è stata usata la tecnica CREAM sfumata e semplificata.

Nella CREAM sfumata con i Minimal Cut Set identificati con i numeri 5 e 4, che risultano avere maggior peso nel verificarsi della probabilità TE, riguardano i seguenti scenari:

- esposizione dell'operatore presente nella RR, causato dal guasto del sistema di controllo di sollevamento delle sorgenti e dell'"interlock" della catena e dal non azionamento del pulsante di emergenza che interrompe le operazioni di avvio;
- rottura della sorgente con frammentazione e trasporto al di fuori della camera RR mentre un operatore si trova nei pressi del nastro trasportatore.

Nella CREAM semplificata si ritrovano gli MCS 5 ed 8. Quest'ultimo è legato alla distrazione dell'operatore, il quale avvia le procedure di esposizione delle sorgenti non avendo notato la presenza del personale dentro la RR, mentre l'operatore dentro la RR non nota la segnalazione luminosa e sonora dei sistemi di allarme e pertanto non aziona i dispositivi di sicurezza e di emergenza all'interno della sala (pulsante di emergenza e l'interlock della catena del labirinto). Comunque l'uso delle due tecniche denotano una certa coerenza nei risultati: la tecnica CREAM *semplificata* calcola comunque una probabilità del TE più elevata, mentre alcuni eventi critici legati all'errore umano sono risultati diversi da quelli calcolati con la CREAM *sfumata*.

Conclusioni.

Usando la metodologia FTA degli alberi di guasto, e' stata fatta un'analisi di sicurezza su uno scenario incidentale, identificantesi con l'esposizioni di operatori all'interno di un moderno impianto di irraggiamento. Poiche' le modalita' di esposizione sono condizionate da molteplici fattori, oggettivi, quali l'organizzazione del posto di lavoro, soggettivi, come l'addestramento e il livello di distrazione, per esempio, si sono usate due distinte formulazioni della metodologia CREAM. Le analisi sono state ottenute con l'uso del codice TREEZZY. Si puo' infine notare che nella tecnica CREAM sfumata hanno maggior peso errori dell'operatore dovuti all'omissione, mentre per quella semplificata sono determinanti gli errori di omissione, accompagnati a quelli di esecuzione e distrazione. Per questo la seconda risulta piu' cautelativa, perche' analizza uno spettro piu' ampio nelle tipologie di errore umano.

Bibliografia.

- [1] ICRP Publication 76, *Protection from exposures*, International Commission on Radiological Protection, *Annals of the ICRP*, vol. 27 N°2, 1997
- [2] ICRP Publication 86 (*Annals of the ICRP*, Vol 30, N°3, 2000)
- [3] ICRP Publication 97 (*Annals of the ICRP*, Vol 35, N°2, 2005)
- [4] S. Bellini, M. C. Casamirra, F. Castiglia, M. Giardina, *TREEZZY2, a Fuzzy Logic Computer Code for Fault Tree and Event Tree Analyses*, 7th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management, 14-18/06/2004, Berlin, Germany.
- [5] M. Konstandinidou, Z. Nivolianitou, C. Kiranoudisa, N. Markatos, *A fuzzy modelling application of CREAM methodology for Human reliability analysis*, *Reliability Engineering and System Safety*, 91, 706-716, 2006.
- [6] X. He, Y. Wang, Z. Shen, X. Huang, *A simplified CREAM prospective quantification process and its application*, *Reliability Engineering and System Safety*, 93, 298-306, 2008.
- [7] E. Hollnagel, *Cognitive reliability and error analysis method (CREAM)*. Amsterdam: Elsevier Science Ltd., 1998.
- [8] Hollnagel E, Cacciabue PC. *Cognitive modelling in system simulation*. Proceedings of the Third European Conference on Cognitive Science Approaches to Process Control, Cardiff, 2-6 September 1991.

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Paolo.carlizza:calcolo-dell-errore-umano-in-impianti-di-irraggiamento-utilizzando-il-metodo-cream>"