

## I fattori umani e organizzativi nella valutazione dei rischi di esposizione ad atmosfere esplosive

J. Geng\*, S. Murè\*, G. Camuncoli\*, M. Demichela\*\*

\*ARIA S.r.l.

\*\*SAFeR, Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia, Politecnico di Torino

### Sommario

Le metodologie adottate per la valutazione dei rischi di esposizione ad atmosfere esplosive nei luoghi di lavoro consistono per lo più in un approccio semi-quantitativo basato sulla probabilità di formazione di un'atmosfera esplosiva, sulla probabilità della presenza di una fonte di accensione efficace e sulle conseguenze di un'esplosione. In generale, la procedura di valutazione in questo ambito può essere suddivisa in quattro fasi, quali: la classificazione in zone pericolose interne ed esterne ad un'apparecchiatura, l'individuazione delle fonti di accensione efficaci, l'analisi delle conseguenze e la valutazione del rischio. Nonostante i numerosi interventi su impianti ed apparecchiature da parte degli operatori, in nessuna delle fasi sopracitate le attuali metodologie di valutazione consentono di tenere conto dell'influenza dei fattori umani e organizzativi.

Pertanto, prendendo spunto da questa carenza metodologica è stata sviluppata una metodologia avanzata per la valutazione dei rischi di esposizione ad atmosfere esplosive, che consente di tenere conto della probabilità dell'errore umano, calcolato mediante la procedura THERP (Technique for Human Error Rate Prediction).

### 1. Introduzione

La valutazione dei rischi di esposizione ad atmosfera esplosiva è obbligatoria ai sensi del Titolo XI del Decreto Legislativo 81/08 e s.m.i. quando nei luoghi di lavoro si possa verificare la presenza di un'atmosfera esplosiva, ossia una *miscela con l'aria, a condizioni atmosferiche, di sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo accensione, la combustione si propaga nell'insieme della miscela incombusta* (art.288, così come modificato dal D.Lgs. 106/09).

Lo standard CEI EN 60079-10-1, 2010: *Atmosfere esplosive, Parte 10-1: Classificazione dei luoghi. Atmosfere esplosive per la presenza di gas* [1], come principio generale di sicurezza, richiede che, *gli impianti dove vengono lavorate o depositate sostanze infiammabili devono essere progettati, eserciti e mantenuti in modo da ridurre al minimo le loro emissioni e le conseguenti estensioni dei luoghi pericolosi, sia nel funzionamento normale, sia in quello anormale, con riferimento alla frequenza, durata e quantità delle emissioni*. Quindi, nei casi in cui vi sia la possibilità di formazione di un'atmosfera esplosiva, occorre escludere la contemporanea presenza di una sorgente di accensione efficace, e laddove questo non sia possibile, occorre che siano adottate adeguate misure di protezione contro le esplosioni, così come previsto dallo standard UNI EN 1127 – 1, 2011: *Atmosfere esplosive, Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione – parte 1: concetti fondamentali e metodologia* [2].

Gli approcci metodologici di cui ai sopracitati standard e ad altri correlati, usualmente adottati per la classificazione in zone pericolose e per l'identificazione delle potenziali sorgenti di accensione, non consentono di tenere conto dell'influenza dei fattori umani e organizzativi, sebbene la valutazione dei rischi debba tenere conto, oltre che del funzionamento normale, anche della messa in servizio, delle fermate, della manutenzione e del riavvio, attività che prevedono numerosi interventi da parte degli operatori.

## 2. Analisi dell'affidabilità umana e THERP

L'affidabilità umana è la probabilità che una persona svolga correttamente alcune attività richieste da un "sistema" in un determinato periodo di tempo e non esegua alcuna attività estranea che possa degradare il sistema stesso [3]. Per l'analisi dell'affidabilità umana (HRA, Human Reliability Analysis) sono state messe a punto numerose tecniche [4][5], tra cui le più significative sono:

- HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique),
- CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method),
- NARA (Nuclear Action Reliability Assessment),
- THERP (Technique for Human Error Rate Prediction).

Tra le tecniche sopracitate, nonostante sia la meno recente, l'approccio THERP risulta essere ancora valido ed efficiente per una stima quantitativa dell'errore umano.

Secondo il Manuale di THERP, sviluppato da Swain e Guttman [6], l'uomo può essere considerato come un componente di un sistema a circuito chiuso, che riceve informazioni (input) dall'ambiente esterno in cui si trova, ad es. il luogo di lavoro, e mette in atto un processo di apprendimento che comprende una prima fase di rilevamento, seguita poi dalla differenziazione e dalla percezione delle informazioni ricevute. Il risultato finale di questo apprendimento è un'azione di risposta verso l'ambiente esterno (output), influenzato da tre diversi tipi di comportamento umano: basato sull'esperienza (skill-based behavior), sull'applicazione di regole (rule-based behavior), sulla conoscenza (knowledge-based behavior).

Per quantificare la probabilità di errore umano (HEP, Human Error Probability), THERP si basa su un albero degli eventi di tipo binario, su cui si riporta il posizionamento del successo/errore dell'uomo sullo stesso piano del successo/guasto di un qualsiasi componente di un sistema. Per ogni scelta effettuata, si calcola la probabilità di errore umano, fino ad arrivare al calcolo complessivo mediante approccio Bayesiano.

## 3. Procedura di valutazione del rischio esplosione e fattori umani e organizzativi

In accordo al Titolo XI del D.Lgs. 81/08 e s.m.i., la procedura di valutazione del rischio esplosione si compone delle seguenti quattro fasi:

- classificazione in zone pericolose, al fine di definire la probabilità e la durata della presenza di atmosfere esplosive;
- identificazione delle fonti di innesco, al fine di definire la probabilità che le fonti di accensione, comprese le scariche elettrostatiche, siano presenti e divengano attive ed efficaci;
- valutazione delle conseguenze, al fine di quantificare l'entità dei danni prevedibili;
- valutazione dei rischi, tenendo conto delle misure di prevenzione e protezione presenti.

In generale, la valutazione analitica del rischio può essere determinata in secondo la seguente formula:

$$R = P * C * D \quad (1)$$

dove:

- R è il rischio,
- P è il fattore di pericolo, ovvero la probabilità di esistenza del pericolo,
- C è il fattore di contatto, ovvero la probabilità che il pericolo P possa causare danni,
- D è il fattore di danno stesso, che rappresenta l'entità dell'eventuale danno che potrebbe verificarsi.

Nell'ambito della valutazione del rischio esplosione [7], i fattori sopra descritti assumono il significato riportato nelle tabelle seguenti:

<b>Classificazione zona pericolosa</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Indice P</b>
Zona 0/20	Luogo in cui l'atmosfera esplosiva è presente continuamente o per lunghi periodi	3
Zona 1/21	Luogo in cui l'atmosfera esplosiva è presente occasionalmente	2
Zona 2/22	Luogo in cui l'atmosfera esplosiva è presente raramente o quasi mai	1
Zona NE	Luogo in cui l'atmosfera esplosiva non è mai presente	0

Tabella 1 - fattore di pericolo P

<b>Tipologia presenza</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Indice C</b>
Sempre presente	Esistono sempre una o più sorgenti efficaci che potrebbero determinare l'accensione della nube esplosiva	3
Talvolta	Le sorgenti risultano non sempre efficaci, determinando l'accensione della nube esplosiva solo in seguito a disfunzioni o malfunzionamenti	2
Raramente	Le sorgenti potrebbero determinare raramente o quasi mai l'accensione della nube esplosiva	1
Inesistenti	Le sorgenti d'innescio non sono mai presenti e non possono determinare l'accensione della nube esplosiva	0

Tabella 2 - fattore di contatto C

<b>Classificazione zona pericolosa</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Indice D</b>
Zona 0/20	L'atmosfera esplosiva è sempre presente o per lunghi periodi	3
Zona 1/21	L'atmosfera esplosiva è presente occasionalmente	2
Zona 2/22	L'atmosfera esplosiva è presente raramente o quasi mai	1
Zona NE	L'atmosfera esplosiva non è mai presente	0

Tabella 3: fattore di danno D

A questo indice D sono sommati altri fattori che serviranno per determinare il fattore D da utilizzare per la valutazione del rischio da atmosfere esplosive, quali ad esempio la presenza dei lavoratori, il volume della nube, e così via.

Nella Figura 1 è riportato uno schema della procedura di valutazione del rischio esposizione ad atmosfere esplosive, con l'integrazione dell'approccio tradizionale con i fattori umani e organizzativi (HOFs).

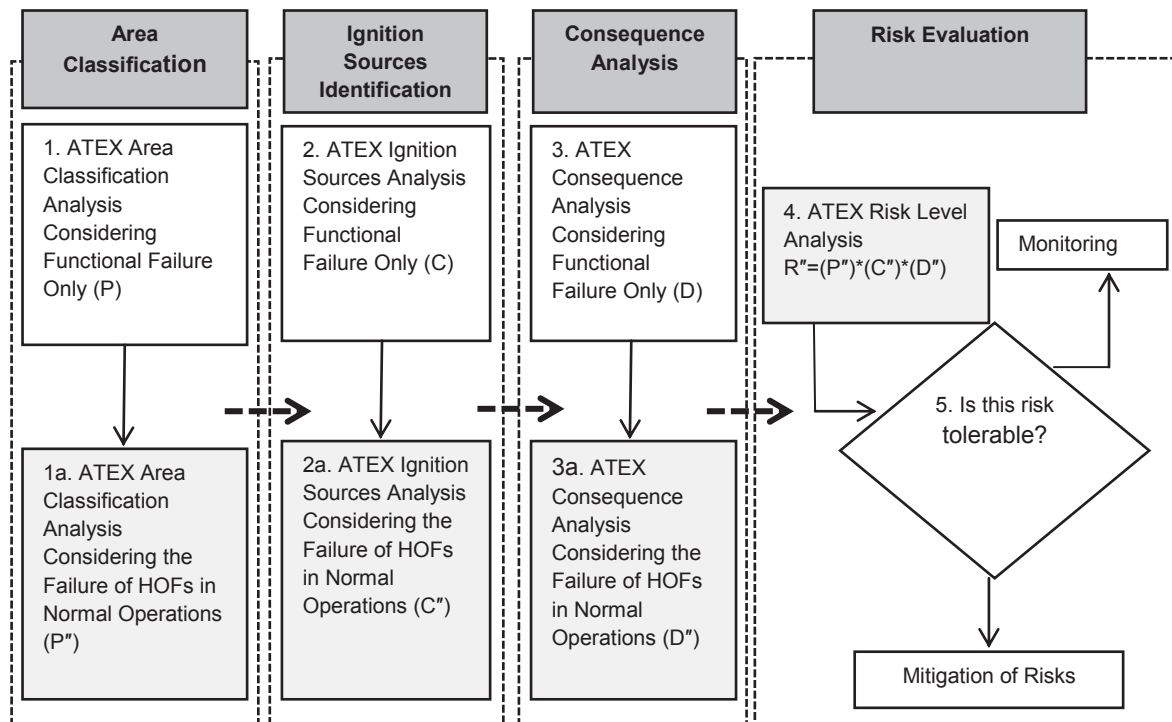


Figura 1 - Procedura di valutazione del rischio esplosione integrate con HOFs.

Nell'approccio tradizionale, s'ipotizza che i comportamenti umani siano sempre corretti e pertanto non influenzano la definizione dei fattori di rischio, P, C e D. Nell'approccio messo a punto nell'ambito di questo studio, si introduce l'analisi dell'affidabilità umana in ogni fase di valutazione. Nella valutazione del rischio ATEX sviluppato, analisi dell'affidabilità umana viene introdotto in ogni fase, al fine di identificare la probabilità di errore umano (HEP) e le conseguenze derivanti.

## 4. Caso Studio

### 4.1 Descrizione del caso studio

Partendo dalla valutazione dei rischi di esplosione con approccio tradizionale di un'azienda italiana del settore alimentare, è stato applicato il metodo integrato con i fattori umani e organizzativi e sono stati confrontati i risultati ottenuti.

Nello stabilimento oggetto di valutazione sono prodotti stabilizzanti alimentari, con uso di amidi, farine e zucchero in polvere. L'impianto di produzione si compone di tre linee e ciascuna di essa presenta una stazione di carico delle materie prime, un'unità di miscelazione e un'unità di confezionamento in sacchi del prodotto finito. Sono presenti circa una quarantina di apparecchiature con altrettante sorgenti di emissione di atmosfere esplosive.

La valutazione con l'approccio cosiddetto integrato è stata condotta in particolare per una stazione di filtraggio a servizio delle linee di carico delle materie prime. Il filtro è costituito da cartucce in materiale antistatico, che periodicamente sono mantenute da personale tecnico incaricato. Le operazioni di pulizia e manutenzione del filtro avvengono sulla base di istruzioni operative redatte ad hoc e formulate avvalendosi delle indicazioni contenute nel manuale d'uso e manutenzione del fabbricante. Tuttavia, una perdita di contenimento delle cartucce per foratura o rottura e/o un errore operativo durante le fasi di pulizia e sostituzione delle stesse, potrebbe comportare la formazione di una nube di polvere esplosiva, oltre che di strati di polvere sulle apparecchiature presenti e in marcia. Pertanto, in questa condizione operativa il rischio di esplosione è influenzato dai fattori umani.

#### 4.2 Classificazione in zone e HOFs

Dalla classificazione in zone del filtro con la procedura tradizionale, risulta che il filtro ha la seguente classificazione:

Sorgente di emissione	Grado di emissione	Zona generata
Filtro a cartucce	Secondo	Interno lato sporco: 20 Interno lato pulito: 22 Esterno: 22

Al fine di valutare la probabilità di guasto dell'operatore, occorre scomporre l'attività di pulizia e sostituzione delle cartucce, dapprima in azioni cosiddette "immediate", come per esempio la verifica della necessità di sostituire la cartuccia in base alla frequenza di utilizzo del filtro e poi nelle azioni da seguire "passo passo" per effettuare l'intervento con successo.

Si riporta di seguito quindi un elenco delle azioni da effettuare per questo tipo di intervento solo dopo aver effettuato la messa in sicurezza dell'impianto:

##### Azioni immediate:

1. Verificare la necessità di sostituire le cartucce in base alla frequenza di utilizzo.
2. Verificare se l'azione di sostituzione è stata fatta o no.

##### Azioni step by step:

Passi rilevanti di "Azioni di follow-up" per garantire il successo di fare la sostituzione:

3. in caso di necessità procedere con la sostituzione delle cartucce:
  - 3.1 togliere il coperchio delle cartucce ed eventualmente aspirare la polvere;
  - 3.2 estrarre le cartucce e sostituirle, facendo attenzione al collegamento della traccia di rame presente sulle stesse;
  - 3.3 verificare le elettrovalvole di sparo;
  - 3.4 verificare la pulizia del quadro elettrico.

Le azioni sopra elencate sono precedute da altre per la messa in sicurezza dell'impianto prima dell'intervento.

#### 4.3 Analisi dell'affidabilità umana

Il calcolo della probabilità di errore umano avviene secondo la procedura, basata sulla tecnica degli alberi degli eventi e su metodo Bayesano, descritta nel Manuale [6].

Nella Figura 2 si riporta l'albero degli eventi adottato per il caso studio, dove sono presenti tre rami, quante sono le azioni individuate al paragrafo 4.2, e quattro nodi per ciascun ramo, quanto è il numero di persone che si suppone costituiscano mediamente un team operativo per questo tipo di intervento.

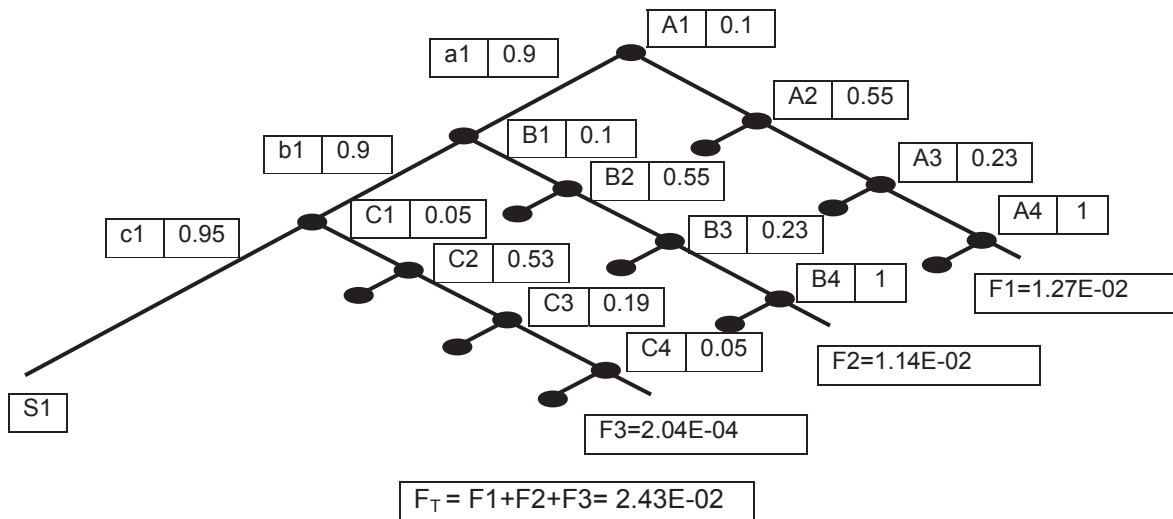


Figura 2 - Procedura di valutazione del rischio esplosione integrate con HOFs

Nella Tabella 4 si riportano i risultati della stima di HEP per ciascun nodo:

Riferimento guasto percorso e persona	Stima HEP e sorgente	Task Explanation
A1	0.1	RO non diagnostica correttamente la necessità di sostituire le cartucce del filtro GV5 sulla base della frequenza di utilizzo.
A2	0.55	SRO non diagnostica correttamente la necessità di sostituire le cartucce del filtro GV5 sulla base della frequenza di utilizzo.
A3	0.23	SS non diagnostica correttamente la necessità di sostituire le cartucce del filtro GV5 sulla base della frequenza di utilizzo.
A4	1	STA non diagnostica correttamente la necessità di sostituire le cartucce del filtro GV5 sulla base della frequenza di utilizzo.
B1	0.1	RO non verifica se la sostituzione delle cartucce è stata fatta o no.
B2	0.55	SRO non corregge l'errore di RO
B3	0.23	SS non corregge l'errore di RO
B4	1	STA non coinvolto in questa attività
C1	0.05	RO non esegue correttamente l'operazione di sostituzione
C2	0.53	SRO non corregge l'errore di RO
C3	0.19	SS non corregge l'errore di RO
C4	0.05	STA non valuta correttamente le azioni da intraprendere a seguito di un fallimento delle azioni precedenti.

dove:

RO (Reactor Operator) è l'addetto all'apparecchiatura;

SRO (Senior Reactor Operator) è l'addetto senior all'apparecchiatura;

SS (Shift Supervisor) è il capoturno;

STA (Shift Technical Advisor) è il consulente tecnico.

Tabella 4 - Descrizione albero degli eventi di Figura 2

#### 4.4 Risk Evaluation

Nell'ambito della valutazione del rischio di esposizione ad atmosfere esplosive, come descritto al Capitolo 3, si applica la seguente equazione:

$$R = P \cdot C \cdot D + (\text{altri fattori}) \quad (1 \text{ bis})$$

Nella Tabella 5 sono riportati i criteri "tradizionali" utilizzati per i fattori della funzione del rischio, P, C e D, mentre nella Tabella 6 sono riportati i criteri tradizionali per il rischio R e quelli adottati da U.S. Military Standard [8] che prendono in considerazione i fattori umani.

Valori per P e D				Valore per C	
Classificazioni e zona pericolosa	Probabilità di atmosfera esplosiva in 365 giorni (CEI 31-56, 2007)	P	D	Presenza	C Valore
Zona 0/20	$P > 10^{-1}$	3	3	Sempre presente	3
Zona 1/21	$10^{-1} \geq P > 10^{-3}$	2	2	Talvolta	2
Zona 2/22	$10^{-3} \geq P > 10^{-5}$	1	1	Raramente	1
Zona NE	$10^{-5} > P$	0	0	Inesistenti	0

Tabella 5 - Criteri tradizionali fattori della funzione di rischio

Senza HOFs			Con HOFs		
Livello di rischio	Livello	Valore del rischio	Livello di rischio	Livello	HEP
Alto	Frequente	$R \geq 18$	Alto	Frequente	$> 10^{-1}$
Medio	Probabile	$9 \leq R < 18$	Medio	Probabile	$10^{-1}$ to $10^{-3}$
Basso	Occasionale	$1 < R < 9$	Basso	Occasionale	$< 10^{-3}$
Trascurabile	Impossibile	$R \leq 1$	Trascurabile	Impossibile	$< 10^{-4}$

Tabella 6 - Criteri adottati per il rischio.

Dalla valutazione con i criteri tradizionali risulta che il rischio per la zona esterna al filtro GV5 è trascurabile, in quanto i parametri P, C e D assumano valore 1. Come specificato dal D.Lgs. 81/08 e s.m.i., negli standard tecnici per la classificazione in zone ATEX e ricordato già in questo lavoro, nella valutazione dei rischi occorre tenere conto di tutte le condizioni operative normali, che includono anche la pulizia, la manutenzione e i guasti prevedibili, al fine di valutare se in queste condizioni la formazione di atmosfera esplosiva non sia più gravosa che durante la marcia. Nel caso della manutenzione e pulizia, occorre inoltre tenere conto anche del comportamento umano e del suo contributo nel calcolo della probabilità di formazione di un'atmosfera esplosiva, nonostante l'adozione di procedure ad hoc e la presenza di personale formato e addestrato adeguatamente. Pertanto, la funzione del rischio diventa:

$$R = (P+HEP)*C*D + (\text{altri fattori}) \quad (2)$$

Il nuovo valore di P è dato dalla somma della probabilità di formazione di atmosfera esplosiva per zona 22 ( $10^{-3} \geq P > 10^{-5}$ ) e dalla probabilità di errore umano ( $2.43 \times 10^{-2}$ ), con un nuovo range di variabilità della probabilità complessiva tra  $10^{-1}$  e  $10^{-3}$ , corrispondente ad una zona 21, ad un fattore P pari a 2 e ad un valore del rischio pari a 4, a parità degli altri fattori di rischio, come riportato nella Tabella 7.

Apparecchiatura	Grado di emissione	Zona	Condizioni aggiuntive rispetto analisi tradizionale	Nuova classificazione in zone	HEP	Livello di rischio
GV5	Secondary	Esterno: 22	Sostituzione cartucce filtro in modo scorretto	Esterno: 21	2.43E-02	Medio

Table 7 - Risultati con HOFs.

## 5. Conclusioni

Le tecniche tradizionali di valutazione dei rischi ATEX consentono di valutare il rischio di esposizione ad atmosfere esplosive in condizioni operative cosiddette normali, senza tenere conto però dell'influenza del comportamento umano nella definizione delle probabilità di formazione atmosfere esplosive e di fonti di accensione efficaci, nonostante gli operatori siano coinvolti in attività normali, quali la pulizia, la manutenzione, ecc..

Nell'ambito di questo studio, si è proposta quindi l'integrazione delle tecniche tradizionali per la valutazione del rischio ATEX con l'approccio THERP per il calcolo dell'affidabilità dell'errore umano (HEP), al fine di stimare la probabilità di formazione di un'atmosfera esplosiva.

Dall'applicazione della metodologia integrata ad un caso studio, è emerso come il comportamento umano influenza la probabilità di formazione di atmosfere esplosive, aumentandone significativamente il valore.

Lo stesso approccio potrebbe essere esteso al calcolo della probabilità di formazione di fonti d'innescio efficaci, dove il comportamento umano potrebbe influenzare la probabilità di innescio nonostante l'utilizzo di procedure ad hoc e di personale formato e addestrato.

## 6. Bibliografia

- [1] CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87) "Atmosfere esplosive - Parte 10 - 1: Classificazione dei luoghi. Atmosfere esplosive per la presenza di gas" e la relativa guida CEI 31 – 35, e successive modificazioni.
- [2] EN 1127-1:2011 "Atmosfere esplosive. Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione. Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia" e successive modifiche.
- [3] Evans R. A., 1976, Reliability Optimization, pp 117-131 in E. J. Henley and J. W. Lynn (eds), Generic Techniques in Systems Reliability Assessment, Leyden, The Netherlands: Noordhoff International Publishing.
- [4] NASA (National Aeronautics and Space Administration), 2010, NASA Human Error Analysis, <[www.hq.nasa.gov/office/codeq/rm/docs/hra.pdf](http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/rm/docs/hra.pdf)> accessed 08.10.2013
- [5] HSL (Health and Safety Laboratory), 2009, Review of human reliability assessment methods < <http://www.hse.gov.uk>> accessed 20.11.2013.
- [6] Swain A.D., Guttman H.E., 1983, Handbook of Human Reliability Analysis with emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CE-1278. Washington, DC: US Nuclear Regulatory Commission.
- [7] A. Cavaliere e P. Scardamaglia, Guida all'applicazione delle direttive ATEX, edizione EPC Libri, 2005.
- [8] MIL-STD-882, 1993, System Safety Program Requirements, U.S. Department of Defense.