

# IL CONTROLLO DEI PERICOLI DI INCIDENTI RILEVANTI MEDIANTE LA PIANIFICAZIONE ISPETTIVA BASATA SUL RISCHIO

Michele Pedatella  
Dipartimento di Ingegneria Chimica e dei Materiali  
Università della Calabria – 87030 Rende (CS)  
m.pediatella@unical.it

## SOMMARIO

La sempre maggiore attenzione pubblica sui grandi rischi industriali, sulla tutela della salute e del patrimonio ambientale porta le grandi aziende ad assumere atteggiamenti proattivi, introducendo il controllo del rischio come elemento strutturale guida per le proprie attività. Il D.Lgs.334/99 prevede all'All.III che il Gestore, nell'ambito del proprio Sistema di Gestione della Sicurezza (SGS), adotti ed applichi procedure per l'identificazione sistematica dei pericoli rilevanti con valutazione di probabilità/gravità e controllo degli stessi. La pianificazione ispettiva, basata sul rischio, costituisce un interessante supporto per tale finalità, da utilizzare per il miglioramento dell'affidabilità degli impianti attraverso la messa a punto di piani manutentivi basati su criteri il più possibile oggettivi. La metodologia ivi trattata, a cui possono ricorrere le aziende, traendo riferimento dai rischi connessi con le proprie installazioni, consente di individuare le priorità nella gestione di un programma ispettivo con significativi benefici nel miglioramento della sicurezza degli impianti.

## 1. INTRODUZIONE

L'approccio metodologico ivi proposto è stato sviluppato, integrando best practices attualmente riconosciute in materia di metodi ispettivi e analisi di rischio che normalmente si eseguono nei Rapporti di Sicurezza. La combinazione di tali due aspetti ha consentito di ottenere uno strumento operativo che può apportare un valido contributo nel controllo dei pericoli di incidenti rilevanti. In un impianto che impiega sostanze pericolose, in severe condizioni di processo, spesso alla entità dei rischi corrisponde un numero relativamente limitato di apparecchiature, tuttavia con un numero non indifferente di pericoli potenziali. Da un punto di vista strategico il rischio è sempre descrivibile come opzione tra differenti tecniche di intervento e ciò consente di assegnare le priorità, individuando le attività più a rischio e pianificare la gestione delle criticità. Una attenta analisi dell'esperienza operativa eseguita in U.S.A. su incidenti rilevanti occorsi nell'arco di 30 anni nell'industria petrolifera, chimica e petrolchimica, ha evidenziato che quasi il 50 % degli eventi erano stati causati da rotture meccaniche e che l'80% di queste era riconducibile ad apparecchiature esercite in pressione. Dalla medesima analisi, il trend delle frequenze e magnitudo è risultato tendenzialmente in crescita nel periodo di tempo considerato. Da tale osservazione si evince che una adeguata pianificazione dei controlli dell'integrità strutturale, su apparecchiature più soggette a degrado, può contribuire alla riduzione del complessivo livello di rischio.

### 1.1 Risk Based Inspection e analisi di rischio

L'impiego di programmi ispettivi tradizionali concentra l'attenzione verso quelle apparecchiature contraddistinte da una frequenza di rottura statisticamente elevata. Tale limitazione si riflette, di contro, verso quelle apparecchiature che presentando una bassa frequenza di rottura possono, tuttavia, essere sorgente di eventi con magnitudo elevata. L'introduzione di una metodologia Risk Based Inspection (RBI), nelle pratiche ispettive, consente di superare il suddetto inconveniente poiché tale metodologia considera come prioritarie le apparecchiature che presentano un più alto "rischio di scenario incidentale" ( $R_S$ ), calcolato come prodotto della "frequenza della rottura all'origine dello scenario" ( $F_A$ ) e della magnitudo associata al danno ( $M$ ) che da essa può derivare:

$$R_S = F_A \times M \quad (1)$$

In particolare, si vedrà più avanti che il valore di  $F_A$  (Adjusted Frequency) può essere attendibilmente determinato partendo da valori generici disponibili in banche dati affidabilistiche, apportando opportuni "aggiustamenti" a tali valori mediante dei coefficienti o fattori correttivi.

Identificando  $K$  scenari incidentali, di medesima tipologia, in uno stesso impianto (dovuti a differenti tipologie e modalità di rottura), si può definire un valore del rischio complessivo ( $R_C$ ), associabile all'impianto in esame, come sommatoria dei singoli  $R_S$  calcolati per i  $K$  scenari:

$$R_C = \sum_{i=1}^K (R_S)_K \quad (2)$$

La suddetta relazione è ovviamente valida nel caso in cui i  $K$  scenari generino conseguenze tra di loro mutuamente esclusive. Nel caso in cui, invece, tali conseguenze fossero parzialmente sovrapponibili, il predetto calcolo di  $R_C$  dovrà essere decurtato del valore numerico risultante da tutte le intersezioni correlate agli scenari incidentali sovrapponibili. Ad esempio per 3 scenari incidentali, che presenteranno a due a due porzioni di danno comune, il rischio complessivo potrà essere calcolato per come segue:

$$R_C = \left( \sum_{i=1}^3 (R_S)_K \right) - R_{S1} \cap R_{S2} - R_{S1} \cap R_{S3} - R_{S2} \cap R_{S3} \quad (3)$$

Infine, nel caso in cui le conseguenze fossero ricomprese all'interno di uno scenario max identificato, il valore di  $R_C$  sarà calcolato come quello associabile al massimo scenario di impianto:

$$R_C = \max(R_S) \quad (4)$$

Con l'esecuzione di una tale mappatura del rischio ne consegue che le tradizionali misure di prevenzione poste in atto per la riduzione delle frequenze, integrate da un efficace controllo dell'integrità impiantistica, apportano un significativo beneficio al miglioramento dell'affidabilità complessiva dell'impianto.

## 1.2 Gli standard RBI

Dopo il recepimento in Italia della Direttiva Comunitaria "Severo I" (DPR-175/88) lo standard RBI di riferimento più conosciuto era stato messo a punto nel 1991 dall'American Society of Mechanical Engineers (ASME), con la pubblicazione "Risk Based Inspection – Development of Guidelines, Vol.1 – General Document". Successivamente l'American Petroleum Institute (API) ha avviato nel 1993 gli studi RBI con il contributo dell'esperienza storica di grandi aziende diffuse in tutto il mondo. L'API al completamento di tali studi nel 1996 ha proposto in via sperimentale e più recentemente ha pubblicato in "API Publication 581 – Risk-Based Inspection – Base Resource Document" (1ª edizione maggio 2000), una interessante metodologia, con il principale obiettivo di ottimizzare le attività ispettive effettuate sugli impianti di processo, tenendo conto del rischio insito negli stessi. La metodologia è stata specificamente messa a punto per processi chimici e petroliferi, con l'obiettivo di razionalizzare la frequenza e invasività degli interventi ispettivi e manutentivi dedicando un aumento delle risorse specialistiche alle apparecchiature a rischio elevato e una riduzione degli interventi in caso di rischio trascurabile. La RBI è anche applicabile in altre tipologie industriali e costituisce uno strumento utile ai fini della prevenzione degli incidenti rilevanti.

## 2. SVILUPPO DI UN METODO COMBINATO

Le fasi per lo sviluppo di una pianificazione ispettiva che si avvale delle consolidate analisi di rischio, supportate dalla metodologia RBI (ad esempio secondo lo Standard API-581), possono essere sintetizzate per come segue:

- Definizione del sistema con suddivisione dell'impianto in unità elementari, identificazione e selezione di quelle a più alto rischio;
- Analisi delle possibili modalità di rottura dei singoli componenti costituenti ogni singola unità elementare, determinazione delle relative frequenze, delle relative magnitudo ed elaborazione di curve isorischio;
- Identificazione delle strategie ispettive per ridurre le probabilità di accadimento di un disservizio, con definizione delle priorità e ottimizzazione dei piani di ispezione e manutenzione.

## 2.1 Definizione fisica del sistema

In tale fase vengono definiti i limiti fisici del sistema, intesi come veri e propri contorni strutturali e gestionali dell'impianto o all'interno di esso. Il metodo di cui ci si avvale consiste nella suddivisione dell'impianto in Unità Elementari (UE). Lo schema di identificazione delle UE consiste nel suddividere in più parti separate (o potenzialmente separabili) l'impianto oggetto di analisi. Con tale criterio una UE può essere contraddistinta da ogni altra per la tipologia del processo, la natura e quantità delle sostanze contenute e le sue condizioni di esercizio. Un impianto complesso sarà quindi costituito da più UE e per ognuna di esse dovranno essere raccolte tutte le informazioni tecniche che le caratterizzano, in maniera da costruire in via preliminare un Data Base per l'impianto. In generale il concetto di UE può essere assimilato a quello di "unità logica" definito dal DPCM 31/03/89 (Applicazione dell'art.12 del DPR 17/05/88, N°175, concernente rischi rilevanti connessi a determinate attività industriali). Occorrerà, quindi, reperire tutte le informazioni che di norma vengono adoperate per la determinazione degli indici di rischio di cui al predetto DPCM, che consentiranno l'esecuzione dell'analisi preliminare per l'individuazione delle aree critiche. Le suddette informazioni dovranno essere integrate con quelle relative all'ingegneria di dettaglio della UE ed in particolare con quelle ricavabili dalle registrazioni di interventi ispettivi e manutentivi che si sono susseguiti nella vita operativa dell'impianto, dalle quali si possono desumere i comportamenti dei materiali costruttivi, tipologie e modalità di degrado degli stessi, osservate nel corso del tempo.

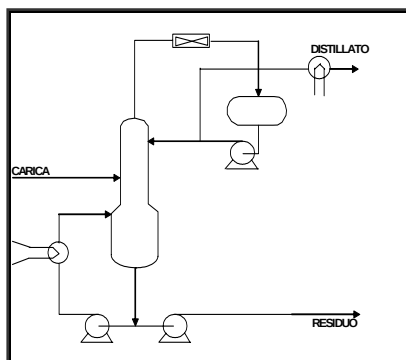


Figura 1. Esempio di Unità Elementare

## 2.2 Individuazione delle Unità Elementari Critiche

Per tutte le UE identificate, si determina l'Indice di Rischio Generale ( $G$ ) e il suo corrispondente valore compensato ( $G'$ ), secondo le modalità previste dal DPCM 31/03/89. Tale indicatore permetterà di definire le UE più critiche (quelle a valore relativamente più elevato). A tal punto verrebbe spontaneo domandarsi quale tra i due predetti Indici ( $G$ ,  $G'$ ) debba essere adoperato per le finalità di tale applicazione e quale possa essere la relativa soglia oltre la quale la UE possa ricadere nel campo critico.

Se da una parte un  $G$  (intrinseco) può non essere rappresentativo della effettiva criticità dell'Unità (che possiede le sue compensazioni), dall'altra un  $G'$  (compensato) potrebbe non essere rappresentativo a seguito, per esempio, di una accidentale indisponibilità di alcune compensazioni. Pertanto appare ragionevole introdurre un Indice di Rischio Generale Mediato ( $G_M$ ), ottenuto come valore medio dei contributi numerici di  $G$  e  $G'$ :

$$G_M = \frac{G + G'}{2} \quad (5)$$

Il valore di  $G_M$  può essere, quindi, impiegato per la categorizzazione del rischio generale associato alla UE e pertanto l'assegnazione della categoria alla medesima, può essere eseguita secondo i valori consolidati come in Tabella 1:

| <b>Indice di Rischio Generale Medio (<math>G_M</math>)</b> |                            |
|------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Campo dei valori</i>                                    | <i>Categoria assegnata</i> |
| 0 - 20                                                     | Lieve                      |
| 20 - 100                                                   | Basso                      |
| 100 - 500                                                  | Moderato                   |
| 500 - 1100                                                 | Alto (grado I)             |
| 1100 - 2500                                                | Alto (grado II)            |
| 2500 - 12500                                               | Molto alto                 |
| 12500 - 65000                                              | Grave                      |
| > 65000                                                    | Gravissimo                 |

Tabella 1. Categorizzazione dell'Indice di Rischio Generale Medio

Quindi occorre stabilire la soglia dei valori di  $G_M$  oltre la quale una UE possa essere ritenuta tra quelle relativamente più critiche e quindi tra quelle (prioritarie) sulle quali sviluppare le successive analisi. Per continuità di metodo si può definire tale soglia come Indice di Rischio Complessivo Medio dell'impianto ( $G_C$ ), ottenuto come media di tutti gli indici  $G_M$  delle  $n$  singole UE:

$$G_C = \frac{\sum_{i=1}^n (G_M)_i}{n} \quad (6)$$

In definitiva tutte le UE che presenteranno  $G_M \geq G_C$ , potranno essere ritenute tra quelle più critiche rispetto il livello di rischio complessivo medio dell'intero impianto. Distingueremo tali Unità con la terminologia Unità Elementari Critiche ( $UE_C$ ).

### 2.3 Identificazione delle tipologie e meccanismi di degrado

In generale le curve isorischio, determinate in funzione di frequenze e magnitudo di cui alla relazione (1), come è noto, possono essere rappresentate mediante una curva sul piano cartesiano. La quantificazione del rischio complessivo per l' $UE_C$ , può essere calcolata tramite la relazione (2) a seguito della quale si può altresì associare il calcolo di un Rischio Complessivo Mediato ( $R_{CM}$ ), per come segue:

$$R_{CM} = \frac{R_C}{K} \quad (7)$$

Ne consegue che tutti i valori di  $R_S > R_{CM}$ , ovvero tutti i punti ricadenti al di sopra della curva  $R_{CM}$ , potranno essere considerati quelli prioritari poiché tali valori sono associabili agli scenari che presentano un livello di rischio superiore a quello complessivo medio calcolato per la  $UE_C$ . Le apparecchiature ed installazioni sede di scenari aventi tali valori di  $R_S$ , potranno essere considerate quelle relativamente più critiche e quindi oggetto di approfondimento per le successive valutazioni.

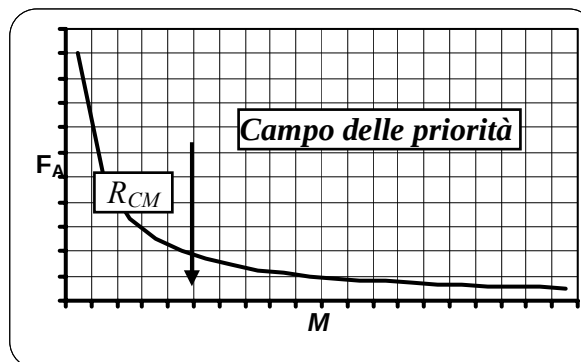


Figura 2. Priorità ispettiva rispetto  $R_{CM}$

La costruzione di un tale diagramma oltre che a fornire una indicazione del livello puntuale del rischio, rappresentativo della criticità dell'Unità, può essere considerata come ulteriore strumento per il miglioramento continuo dell'attività. Si osservi in Figura 2 che gli interventi atti a ridurre le frequenze di

rottura  $F_A$ , quindi dei vari valori di  $R_S$  (e di  $R_{CM}$ ), si traducono nel miglioramento del livello di sicurezza dell'Unità esaminata. Nei futuri cicli di miglioramento si prenderà come base di comparazione un livello di  $R_{CM}$  sempre più basso, con ovvi benefici sulla sicurezza dell'impianto. Una volta realizzata tale mappatura del rischio, ed identificate all'interno di una medesima  $UE_C$  le apparecchiature più a rischio, la fase successiva è quella di identificare tramite metodologie di tipo HAZOP/FMEA le possibili deviazioni (intese come tipologie di degrado) e le relative cause (intese come meccanismi di degrado) di seguito sintetizzate in Tabella 2:

| <b>Deviazioni (tipologie di degrado)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Cause (Meccanismi di degrado)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Assottigliamento degli spessori dei materiali;</li> <li>• Cricche interne e superficiali;</li> <li>• Microvuoti e microfessure interne;</li> <li>• Variazioni metallurgiche e microstrutturali;</li> <li>• Variazioni dimensionali;</li> <li>• Fenomeni di blistering;</li> <li>• Variazioni delle proprietà chimico-fisiche e meccaniche dei materiali;</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrosione;</li> <li>• Tensocorrosione;</li> <li>• Attacco da idrogeno;</li> <li>• Fenomeni correlati all'idrogeno;</li> <li>• Sollecitazioni termiche anomale;</li> <li>• Sollecitazioni meccaniche anomale;</li> <li>• Condizioni metallurgiche;</li> <li>• Condizioni ambientali;</li> </ul> |

Tabella 2. Elenco di possibili tipologie e meccanismi di degrado

## 2.4 Analisi delle frequenze di rottura

Le maggior parte delle banche dati affidabilistiche ha storicamente registrato delle informazioni provenienti da realtà molto spesso differenti tra loro e pertanto i vari ratei di rottura ivi desumibili possono non trovare un riscontro obiettivo nelle varie attività che ne fanno uso. Per tale motivo tali ratei di rottura (occasioni/anno) rappresentano delle "frequenze generiche" di rottura ( $F_G$ ) di ogni specifica apparecchiatura. Si riassumono in Tabella 3 i valori di  $F_G$  suggeriti dalla pubblicazione API-581:

| <b>Tipo di apparecchiatura</b>      | <b>Frequenza generica di rottura: <math>F_G</math> (occasioni/anno)</b> |                       |                       |                      |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
|                                     | <b>Fori da ¼ inch</b>                                                   | <b>Fori da 1 inch</b> | <b>Fori da 4 inch</b> | <b>Rottura</b>       |
| Pompa centrifuga a tenuta singola   | $6.0 \times 10^{-2}$                                                    | $5.0 \times 10^{-4}$  | $1.0 \times 10^{-4}$  |                      |
| Pompa centrifuga a tenuta doppia    | $6.0 \times 10^{-3}$                                                    | $5.0 \times 10^{-4}$  | $1.0 \times 10^{-4}$  |                      |
| Colonna di processo                 | $8.0 \times 10^{-5}$                                                    | $2.0 \times 10^{-4}$  | $2.0 \times 10^{-5}$  | $6.0 \times 10^{-6}$ |
| Compressore centrifugo              |                                                                         | $1.0 \times 10^{-3}$  | $1.0 \times 10^{-4}$  |                      |
| Compressore alternativo             |                                                                         | $6.0 \times 10^{-3}$  | $6.0 \times 10^{-4}$  |                      |
| Filtro                              | $9.0 \times 10^{-4}$                                                    | $1.0 \times 10^{-4}$  | $5.0 \times 10^{-5}$  | $1.0 \times 10^{-5}$ |
| Scambiatore di calore ad aria       | $2.0 \times 10^{-3}$                                                    | $3.0 \times 10^{-4}$  | $5.0 \times 10^{-8}$  | $2.0 \times 10^{-8}$ |
| Scambiatore di calore lato mantello | $4.0 \times 10^{-5}$                                                    | $1.0 \times 10^{-4}$  | $1.0 \times 10^{-5}$  | $6.0 \times 10^{-6}$ |
| Scambiatore di calore lato tubi     | $4.0 \times 10^{-5}$                                                    | $1.0 \times 10^{-4}$  | $1.0 \times 10^{-5}$  | $6.0 \times 10^{-6}$ |
| Tubazione da 0.75 inch (per metro)  | $3.3 \times 10^{-5}$                                                    |                       |                       | $9.8 \times 10^{-7}$ |
| Tubazione da 1 inch (per metro)     | $1.6 \times 10^{-5}$                                                    |                       |                       | $1.6 \times 10^{-6}$ |
| Tubazione da 2 inch (per metro)     | $9.8 \times 10^{-6}$                                                    |                       |                       | $2.0 \times 10^{-6}$ |
| Tubazione da 4 inch (per metro)     | $3.0 \times 10^{-6}$                                                    | $2.0 \times 10^{-6}$  |                       | $2.3 \times 10^{-7}$ |
| Tubazione da 6 inch (per metro)     | $1.3 \times 10^{-6}$                                                    | $1.3 \times 10^{-6}$  |                       | $2.6 \times 10^{-7}$ |
| Tubazione da 8 inch (per metro)     | $9.8 \times 10^{-7}$                                                    | $9.8 \times 10^{-7}$  | $2.6 \times 10^{-7}$  | $6.6 \times 10^{-8}$ |
| Tubazione da 10 inch (per metro)    | $6.6 \times 10^{-7}$                                                    | $9.8 \times 10^{-7}$  | $2.6 \times 10^{-7}$  | $6.6 \times 10^{-8}$ |
| Tubazione da 12 inch (per metro)    | $3.3 \times 10^{-7}$                                                    | $9.8 \times 10^{-7}$  | $9.8 \times 10^{-8}$  | $6.6 \times 10^{-8}$ |
| Tubazione da 16 inch (per metro)    | $3.3 \times 10^{-7}$                                                    | $6.6 \times 10^{-7}$  | $6.6 \times 10^{-8}$  | $6.6 \times 10^{-8}$ |
| Tubazione > 16 inch (per metro)     | $2.0 \times 10^{-7}$                                                    | $6.6 \times 10^{-7}$  | $6.6 \times 10^{-8}$  | $3.3 \times 10^{-8}$ |
| Recipiente in pressione             | $4.0 \times 10^{-5}$                                                    | $1.0 \times 10^{-4}$  | $1.0 \times 10^{-5}$  | $6.0 \times 10^{-6}$ |
| Reattore                            | $1.0 \times 10^{-4}$                                                    | $3.0 \times 10^{-4}$  | $3.0 \times 10^{-5}$  | $2.0 \times 10^{-5}$ |
| Pompa alternativa                   | $7.0 \times 10^{-1}$                                                    | $1.0 \times 10^{-2}$  | $1.0 \times 10^{-3}$  | $1.0 \times 10^{-3}$ |
| Serbatoio di stoccaggio atmosferico | $4.0 \times 10^{-5}$                                                    | $1.0 \times 10^{-4}$  | $1.0 \times 10^{-5}$  | $2.0 \times 10^{-5}$ |

Tabella 3. Frequenze generiche di rottura per tipologie di apparecchiature

Nei più recenti studi RBI si è convenuto nel fatto che una “frequenza generica” debba essere convertita in una “frequenza corretta” ( $F_A$ ), per essere adeguatamente utilizzata. La determinazione di  $F_A$  è quindi ottenibile come prodotto di  $F_G$ , e di due fattori correttivi: un “fattore determinato in funzione dell’apparecchiatura” ( $F_E$ ) ed un “fattore determinato in funzione dei sistemi di gestione” ( $F_M$ ):

$$F_A = F_G \times (F_E \times F_M) \quad (8)$$

Il calcolo dei fattori correttivi  $F_E$  e  $F_M$  (correttivi di  $F_G$ ), costituisce un procedimento complesso, ma se è eseguito correttamente consente di “tarare” le frequenze generiche di rottura, allo specifico caso in esame.

#### 2.4.1 Determinazione del fattore $F_E$ (Equipment Factor)

Il fattore  $F_E$  dipende dalle specifiche condizioni dell’apparecchiatura in esame. Esso è ottenuto analizzando 4 subfattori fondamentali:

- ⇒ Modulo Tecnico: ricavato dal rateo di danneggiamento dei materiali costruttivi in relazione all’ambiente operativo e l’efficacia dei programmi ispettivi attuati;
- ⇒ Condizioni generali: comune a tutte le UE dell’impianto e ricavato tenendo conto dello stato di conservazione delle apparecchiature, efficacia dei programmi manutentivi, lay-out, condizioni ambientali particolari (neve, ghiaccio etc.) e caratteristiche di sismicità del territorio;
- ⇒ Considerazioni meccaniche: Complessità delle apparecchiature (n° di bocchelli, connessioni, valvole etc), codici di progettazione e costruzione (conoscenze maturate con l’esperienza), ciclo di vita dell’apparecchiatura (vita utile dell’apparecchiatura stimata tenendo conto di corrosione e fatica), fattori di sicurezza (determinati in funzione di temperatura e pressione), monitoraggi vibrometrici (per usura componenti di macchinari rotanti);
- ⇒ Influenze di processo: considera ottimali i processi continui, la continuità di esercizio, la stabilità di processo e l’efficienza delle protezioni, ritenendo i transitori, le fermate e gli avviamenti momenti critici dell’operatività di apparecchiature e tubazioni

L’analisi dei suddetti 4 subfattori si completa con la determinazione di un valore numerico per ciascuno di essi. La sommatoria di questi ultimi è normalmente compresa nel range da -10 a +20, e consente di pervenire al calcolo di  $F_E$  secondo il seguente schema:

| <i>Se la sommatoria dei 4 subfattori è .....</i> | <i>ad <math>F_E</math> si associa.....</i>                                                            |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $< -1$                                           | Il reciproco del valore assoluto della sommatoria<br>(es. sommatoria = - 5 $\rightarrow F_E = 0.20$ ) |
| $-1 \div +1$                                     | Il valore unitario 1.0<br>(es. sommatoria = 0 $\rightarrow F_E = 1.0$ )                               |
| $> +1$                                           | Il valore della sommatoria<br>(es. sommatoria = 7 $\rightarrow F_E = 7$ )                             |

Tabella 4. Determinazione del fattore  $F_E$

#### 2.4.2 Determinazione del fattore $F_M$ (Management Factor)

Il fattore  $F_M$  dipende dal Sistema di Gestione. Esso è ottenuto valutando la gestione dell’impianto dal punto di vista della sicurezza. La determinazione di tale fattore si ricava attraverso 101 domande che compongono una check-list di 13 sezioni (in sintesi riportate in Tabella 5). Il massimo punteggio che si può ottenere è pari a 1000 e rappresenta il massimo attualmente riconosciuto nell’attuazione della gestione della sicurezza. Alcuni quesiti della Check List possono essere composti da più parti (a,b,c, etc...) e la maggior parte richiedono una sola risposta SI o NO. In caso affermativo, ovvero nel caso in cui è completamente attuato quanto richiesto dalla domanda, si assegna il punteggio che compete. In caso negativo il punteggio è nullo. Può anche accadere che quanto richiesto in domanda sia parzialmente verificato: in tal caso il punteggio assegnato è ottenuto in relazione alla % di attuazione del corrispondente requisito e quindi come % del singolo punteggio spettante. In Tabella 6 di riporta un esempio di compilazione della Sezione 1.

| <i>Sez.</i> | <i>Descrizione</i> | <i>N° Quesiti in Check List</i> | <i>Punteggio max</i> |
|-------------|--------------------|---------------------------------|----------------------|
|-------------|--------------------|---------------------------------|----------------------|

|    |                                                 |     |      |
|----|-------------------------------------------------|-----|------|
| 1  | Organizzazione e Leadership                     | 6   | 70   |
| 2  | Informazioni sulla sicurezza del processo       | 10  | 80   |
| 3  | Analisi dei pericoli di processo                | 9   | 100  |
| 4  | Gestione delle modifiche                        | 6   | 80   |
| 5  | Procedure operative di esercizio                | 7   | 80   |
| 6  | Procedure e pratiche di sicurezza               | 7   | 85   |
| 7  | Formazione e addestramento del personale        | 8   | 100  |
| 8  | Verifica integrità meccanica apparecchiature    | 20  | 120  |
| 9  | Controllo e revisione di sicurezza sul progetto | 5   | 60   |
| 10 | Gestione delle emergenze                        | 6   | 65   |
| 11 | Analisi degli incidenti                         | 9   | 75   |
| 12 | Selezione e valutazione dei contractors         | 5   | 45   |
| 13 | Verifiche periodiche e Safety Audits            | 4   | 40   |
|    | TOTALE                                          | 101 | 1000 |

Tabella 5. Costituzione della Check List per la determinazione di  $F_M$

| Sez.<br>1 | <b>Direzione Aziendale ed Organizzazione:<br/>La Politica Direzionale e dell'Organizzazione<br/>è considerata di fondamentale sostentamento<br/>negli sforzi della gestione della sicurezza</b>                                                                                                                               | <b>Max<br/>Punteggio<br/>ottenibile</b> | <b>SI</b>        | <b>NO</b> | <b>PARZ<br/>(%)</b> | <b>Punteggio</b>      |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|-----------|---------------------|-----------------------|
| 1.1       | L'organizzazione della Società e/o il sito, possiede un documento della Politica aziendale riferito alla gestione della sicurezza ?                                                                                                                                                                                           | 10                                      | X                |           |                     | 10                    |
| 1.2       | Il documento della Politica:<br>a. E' contenuto in manuali ?<br>b. E' affisso in vari punti del sito ?<br>c. Costituisce parte integrante di altre norme ed è incluso in opuscoli ?<br>d. Costituisce riferimento nei programmi di formazione e addestramento personale ?<br>e. E' utilizzata per altre finalità (descriz.) ? | 2<br>2<br>2<br>2<br>2                   | X<br>X<br>X<br>X |           |                     | 2<br>2<br>2<br>2<br>0 |
| 1.3       | Le responsabilità di tutte le funzioni e mansioni dell'organizzazione correlate alla sicurezza sono chiaramente identificate e descritte in un apposito mansionario ?                                                                                                                                                         | 10                                      |                  |           | 50                  | 5                     |
| 1.4       | Gli obiettivi prefissati annualmente per il miglioramento della sicurezza, sono monitorati e riesaminati periodicamente per verificarne l'avanzamento e l'attuazione ?                                                                                                                                                        | 15                                      | X                |           |                     | 15                    |
| 1.5       | Qual è la % del Management che ha partecipato ad appositi corsi di formazione sulla gestione della sicurezza negli ultimi 3 anni ?                                                                                                                                                                                            | 10                                      |                  |           | 70                  | 7                     |
| 1.6       | Esiste un servizio o un comitato di sicurezza di sito o equivalente ?<br>a. Il suddetto servizio è strutturato nell'organizzazione a supporto dei vari livelli organizzativi ?<br>b. Il suddetto servizio esamina ed emana dei documenti con le raccomandazioni da implementare per il miglioramento della sicurezza ?        | 5<br>5<br>5                             | X<br>X<br>X      |           |                     | 5<br>5<br>5           |
|           | <b>PUNTEGGIO TOTALE SEZ. 1</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 70                                      |                  |           |                     | <b>60</b>             |

Tabella 6. Esempio di valutazione (Sez. 1) del Sistema di Gestione

Il punteggio ottenuto limitatamente all'esempio della Tabella 6 è quindi circa l'86 %. Medesima cosa si esegue per le successive sezioni. La % del punteggio complessivamente raggiunto, con tutti i quesiti di tutte le sezioni, rispetto il massimo ottenibile (1000), consente di determinare, tramite interpolazione nel diagramma di Figura 3, il valore di  $F_M$ . Tale diagramma è stato costruito sulla base di una estesa indagine eseguita in U.S.A. su impianti petrolchimici, nella quale è stato osservato che il punteggio medio calcolato si collocava intorno al 50 % e al quale è stato assegnato convenzionalmente il valore di  $F_M = 1$ . In base a ciò ne deriva che i Sistemi di Gestione con punteggio inferiore al 50 % presenteranno un aggravio del fattore  $F_M$ . Un miglioramento di  $F_M$  si avrà, invece, per quei punteggi superiori al 50 %.

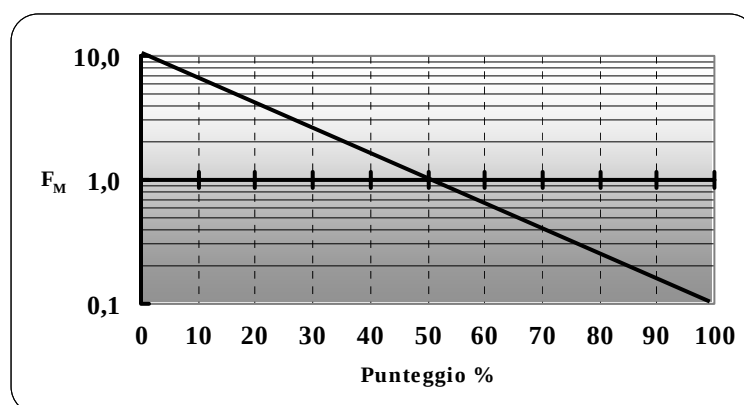


Figura 3. Determinazione del Fattore di Valutazione dei Sistemi di Gestione ( $F_M$ )

#### 2.4.3 Valori limite dei fattori $F_E$ e $F_M$

In definitiva i casi limite, che si possono presentare per i coefficienti correttivi precedentemente descritti, risultano come sotto indicato in Tabella 7:

| <i>Tenuta Impianto</i>     | <i>Buona</i> | <i>Scadente</i> | <i>Buona</i>    | <i>Scadente</i> |
|----------------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>Sistema di gestione</i> | <i>Buono</i> | <i>Buono</i>    | <i>Scadente</i> | <i>Scadente</i> |
| $F_E$                      | 0.1          | 20              | 0.1             | 20              |
| $F_M$                      | 0.1          | 0.1             | 10              | 10              |
| $(F_E \times F_M)$         | $10^{-2}$    | 2               | 1               | $2 \times 10^2$ |

Tabella 7. Valori limite dei fattori  $F_E$  ed  $F_M$

Ciò significa che se si volesse determinare una  $F_A$  in maniera speditiva occorrerebbe moltiplicare le frequenze generiche di Tabella 3, per il valore di  $(F_E \times F_M)$  selezionato il Tabella 7.

#### 2.5 Analisi delle magnitudo

Nella relazione (1) è stata indicata con  $M$  la magnitudo dell'evento, intesa come ampiezza del danno conseguente. Nelle comuni analisi di rischio si associa, spesso, a tale grandezza una estensione, calcolata come distanza (in m) o una superficie (in mq) che sebbene fornisca utili informazioni per la pianificazione dell'emergenza, non consente l'acquisizione dell'effettiva entità delle conseguenze, ovvero dell'entità del rischio propriamente detto. Il rischio associato all'evolversi di un medesimo scenario, può ad esempio comportare danni differenti che dipendono dalla ubicazione planimetrica/cartografica dell'evento. Appare, pertanto, necessario far seguire al calcolo delle distanze di danno una stima del valore (ad esempio economico) imputabile alla predetta magnitudo. Un calcolo del genere risulta ottenibile una volta identificate le mappe di danno e potrà essere rappresentativamente stimato sommando i seguenti termini:

- 1) Valore di rimpiazzo di apparecchiature o porzioni di impianto danneggiate;
- 2) Valore economico derivante dalla perdita di prodotto/produzione;
- 3) Valorizzazione dell'impatto ambientale ottenuta come costi da sopportare per la messa in sicurezza, bonifica e/o ripristino ambientale delle aree interessate agli effetti dell'evento;

In realtà ai suddetti termini potrebbero essere aggiunte altre voci, quasi sempre di non facile predeterminazione (valorizzazione del danno prodotto alle persone, costo associato ad effetti ambientali irreversibili/differiti, valore del danno all'immagine dell'azienda, problematiche connesse ai rapporti con il territorio, etc.). Tuttavia ai fini dell'applicazione del metodo ivi presentato le tre voci di danno sopra elencate ci consentono di pervenire a dei valori sufficientemente rappresentativi dei vari  $R_S$ , tra loro omogenei e comparabili. In definitiva si potrà pervenire al calcolo di  $R_S$  per ogni scenario incidentale identificato, utilizzando come base di partenza le informazioni già normalmente disponibili nei Rapporti di Sicurezza.

## 2.6 Quantificazione del rischio

In base a quanto fino ad ora esposto si riporta di seguito un esempio di calcolo su due ipotetici Top Event, che possono accadere in una medesima UE, su due differenti apparecchiature A o B. Per semplificazione assumiamo che i rispettivi Top Event abbiano fornito, con l'analisi dell'albero degli eventi, una probabilità di Pool Fire del 100 %. Assumiamo, altresì, che il calcolo abbia fornito medesimi  $F_E$  e  $F_M$  e che tali scenari non presentino danni comuni:

|                                             | U.M.     | TOP-A<br>Foro su linea da ¾ inch,<br>(Lunghezza = 10 m), con<br>rilascio liquido<br>infiammabile | TOP-B<br>Foro da 1 inch su pompa<br>centrifuga a tenuta singola<br>con rilascio liquido<br>infiammabile |
|---------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Scenario con probabilità 100 %</b>       |          | Pool Fire                                                                                        | Pool Fire                                                                                               |
| <b>Analisi delle Frequenze</b>              |          |                                                                                                  |                                                                                                         |
| Frequenza generica $F_G$                    | occ/anno | $10 \times 3,3 \times 10^{-5}$                                                                   | $5,0 \times 10^{-4}$                                                                                    |
| Fattore $F_E$                               |          | 2                                                                                                | 2                                                                                                       |
| Fattore $F_M$                               |          | 0,65                                                                                             | 0,65                                                                                                    |
| <b>FREQUENZA CORRETTA <math>F_A</math></b>  | occ/anno | $4,3 \times 10^{-4}$                                                                             | $6,5 \times 10^{-4}$                                                                                    |
| <b>Analisi delle Magnitudo</b>              |          |                                                                                                  |                                                                                                         |
| Distanza a 12,5 KW/mq                       | m        | 8                                                                                                | 20                                                                                                      |
| Valore rimpiazzo impianto                   | €/occ    | 3.000.0000                                                                                       | 500.000                                                                                                 |
| Valore mancata produzione                   | €/occ    | 800.000                                                                                          | 800.000                                                                                                 |
| Valore impatto ambientale                   | €/occ    | 100.000                                                                                          | 30.000                                                                                                  |
| <b>MAGNITUDO</b>                            | €/occ    | 3.900.000                                                                                        | 1.330.000                                                                                               |
| <b>RISCHIO SCENARIO <math>R_S</math></b>    | €/anno   | 1677                                                                                             | 865                                                                                                     |
| <b>RISCHIO COMPLESSIVO <math>R_C</math></b> | €/anno   | 2542                                                                                             |                                                                                                         |

Tabella 8. Esempio di valorizzazione del rischio per due Top Event

Si osserva dall'esempio, che lo scenario associato al TOP-A, sebbene presenti:

- Minore frequenza;
- Minore distanza di danno;

rispetto il TOP-B, comporta una entità del rischio di circa il doppio di quest'ultimo, è ciò soprattutto in virtù della valorizzazione delle conseguenze prodotte. Si può quindi affermare che l'apparecchiatura sorgente A, presenta un livello di criticità superiore all'apparecchiatura sorgente B. Ai fini della pianificazione dei controlli ispettivi sarà quindi ragionevole ritenere l'apparecchiatura A, prioritaria rispetto l'apparecchiatura B. I controlli ispettivi tradizionali, sviluppati sulla base delle sole frequenze di rottura possono quindi, trarre in inganno l'utente. Il calcolo del rischio, invece, contribuisce a concentrare l'attenzione su gli item obiettivamente più critici.

### 3. Definizione delle strategie ispettive

Una volta identificate all'interno delle UE<sub>C</sub> le apparecchiature oggetto di priorità occorre definire le tecniche ispettive più efficaci, in funzione delle varie tipologie e meccanismi di degrado cui possono essere soggette. Occorre anche tenere presente che tali attività eseguite con gli impianti in esercizio (ove possibile) ottimizzano i tempi nelle fasi di pianificazione e programmazione interventi. La Tabella 9 sintetizza le tecniche ispettive che risultano più efficaci in relazione alle possibili deviazioni su cui indagare:

| <b>Tecnica Ispettiva</b>           | <b>Riduzione di spessore</b> | <b>Cricche superficiali</b> | <b>Cricche interne</b> | <b>Microfessure Microvuoti</b> | <b>Variazioni Metallografiche</b> | <b>Variazioni Dimensionali</b> | <b>Blistering</b> |
|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Esame visivo                       | 1-3                          | 2-3                         | X                      | X                              | X                                 | 1-3                            | 1-3               |
| Ultrasuoni raggio dritto           | 1-3                          | 3-X                         | 3-X                    | 2-3                            | X                                 | X                              | 1-2               |
| Ultrasuoni raggio trasversale      | X                            | 1-2                         | 1-2                    | 2-3                            | X                                 | X                              | X                 |
| Particelle magnetiche fluorescenti | X                            | 1-2                         | 3-X                    | X                              | X                                 | X                              | X                 |
| Liquidi penetranti                 | X                            | 1-3                         | X                      | X                              | X                                 | X                              | X                 |
| Emissione acustica                 | X                            | 1-3                         | 1-3                    | 3-X                            | X                                 | X                              | 3-X               |
| Correnti indotte                   | 1-2                          | 1-2                         | 1-2                    | 3-X                            | 3-X                               | X                              | X                 |
| Flusso disperso                    | 1-2                          | X                           | X                      | X                              | X                                 | X                              | X                 |
| Radiografia                        | 1-3                          | 3-X                         | 3-X                    | X                              | X                                 | X                              | X                 |
| Misure dimensionali                | 1-3                          | X                           | X                      | X                              | X                                 | 1-2                            | X                 |
| Metallografia                      | X                            | 2-3                         | 2-3                    | 2-3                            | 1-2                               | X                              | X                 |

1= Molto efficace; 2=Moderatamente efficace; 3=Di possibile efficacia; X=Normalmente non utilizzata

Tabella 9. Tecniche ispettive applicabili e tipologie di degrado

L'applicazione di più tecniche di indagine per l'identificazione di una tipologia di degrado consente strategicamente il raggiungimento di conclusioni più rappresentative poiché i risultati di una tecnica sono avvalorati o confermati dai risultati di un'altra.

#### 3.1 La pianificazione ispettiva

La conoscenza del sistema in tutte le sue parti, integrata con un opportuno programma ispettivo, consente di concentrare l'attenzione su quelle apparecchiature relativamente più critiche. L'analisi fino ad ora esposta si dovrebbe, quindi, completare con la messa a punto di un piano di controlli periodici da definire caso per caso. Per fare ciò appare interessante definire la frequenza ispettive in relazione alla stima della "Vita Residua" ( $V_R$ ), espressa in anni, dell'apparecchiatura oggetto di esame:

$$V_R = \frac{D_{\max}}{V_{\max}} \quad (9)$$

$D_{\max}$  = Massima tipologia di degrado ammissibile

$V_{\max}$  = Velocità massima dell'avanzamento del degrado

In altri termini, il valore determinato per  $V_R$  rappresenta un parametro significativo per stimare il periodo temporale entro cui una apparecchiatura si può ritenere sicura e/o per definire tipologie e periodicità delle attività ispettive che massimizzano la disponibilità ed affidabilità dell'impianto.

Ad esempio se si volesse applicare la relazione (9) per la stima della vita residua di una apparecchiatura soggetta all'assottigliamento degli spessori causato da fenomeni corrosivi, si può procedere con una relazione del seguente tipo:

$$V_{RC} = \frac{Th_{act} - Th_{min}}{V_C} \quad (10)$$

$V_{RC}$  = Vita Residua dell'apparecchiatura (anni);

$Th_{act}$  = Spessore ultimo rilevato (mm);

$Th_{min}$  = Spessore minimo ammissibile (mm);

$V_C$  = Velocità di corrosione (mm/anno).

Il calcolo di un tale indicatore presuppone che nel Data Base, costruito nella fase iniziale di analisi, siano riportati i valori storici dei controlli ispettivi registrati nel corso della vita operativa dell'impianto. Qualora non sempre tali valori fossero disponibili, si potrebbero adoperare opportuni programmi per simulare il comportamento dei materiali nel tempo.

In conclusione, la metodologia sopra esposta consentirà di definire le tipologie e le frequenze ispettive come frazione della  $V_R$  calcolata per ogni apparecchiatura, all'interno di una UE individuata come critica, per la quale predisporre un opportuno programma manutentivo.

#### 4. CONCLUSIONI

I Rapporti di Sicurezza elaborati per le aziende a rischio di incidenti rilevanti, dispongono all'origine di informazioni di base che integrate dall'applicazione di una metodologia RBI contribuiscono alla messa a punto di una interessante/strategica gestione del rischio dell'intera attività. L'applicazione di una metodologia come quella sopra presentata evidenzia al gestore che è possibile traguardare importanti risultati ai fini del miglioramento continuo, in attuazione della propria Politica, tra i quali:

- Identificazione delle apparecchiature relativamente ed obiettivamente più critiche su cui concentrare l'attenzione;
- Razionalizzazione delle frequenze ispettive per i casi a più elevato livello di rischio calcolato;
- Mantenimento della massima affidabilità e continuità nell'esercizio dei processi;
- Sistemica valutazione dell'efficacia del Sistema di Gestione;
- Periodica riduzione del livello di rischio complessivo e quindi mantenimento costante del processo di miglioramento della sicurezza;
- Ottimizzazione dei programmi di manutenzione con significativo snellimento dei costi di gestione.

## 5. ELENCO SIMBOLI E SUFFISSI

|            |                                                                                                 |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $D_{max}$  | Massima tipologia di degrado ammissibile                                                        |
| $F_A$      | Adjusted Frequency (Frequenza di rottura corretta)                                              |
| $F_E$      | Equipment Factor (Fattore correttivo della frequenza di rottura, funzione dell'apparecchiatura) |
| $F_G$      | Generic Frequency (Frequenza generica di rottura)                                               |
| $F_M$      | Management Factor (Fattore di valutazione del Sistema di Gestione)                              |
| $G$        | Indice di Rischio Generale Intrinseco                                                           |
| $G'$       | Indice di Rischio Generale Compensato                                                           |
| $G_C$      | Indice di Rischio Complessivo Medio                                                             |
| $G_M$      | Indice di Rischio Generale Medio                                                                |
| $K$        | Numero di scenari incidentali identificati                                                      |
| $M$        | Magnitudo delle conseguenze                                                                     |
| $n$        | Numero di Unità Elementari                                                                      |
| $RBI$      | Risk Based Inspection                                                                           |
| $R_C$      | Rischio complessivo calcolato per una Unità Elementare                                          |
| $R_{CM}$   | Rischio complessivo medio calcolato per una Unità Elementare                                    |
| $R_S$      | Rischio calcolato per singolo scenario incidentale                                              |
| $Th_{act}$ | Spessore di una apparecchiatura ultimo rilevato                                                 |
| $Th_{min}$ | Spessore di una apparecchiatura minimo ammissibile                                              |
| $UE$       | Unità Elementare                                                                                |
| $UE_C$     | Unità Elementare Critica                                                                        |
| $V_C$      | Velocità di corrosione                                                                          |
| $V_{max}$  | Velocità massima dell'avanzamento del degrado                                                   |
| $V_R$      | Vita residua di una apparecchiatura generica                                                    |
| $V_{RC}$   | Vita residua di una apparecchiatura soggetta a fenomeni corrosivi                               |

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] J.B. Wintle, B.W. Kenzie, G.J. Amphlett, S. Smalley, *Best practice for risk based inspection as a part of plant integrity management*, HSE Books, (Contract Research Report 363/2001).
- [2] American Society of Mechanical Engineers, *Risk Based Inspection – Development of Guidelines-General Document*, Vol. 20-1 (1991).
- [3] American Petroleum Institute, *Risk-Based Inspection – Base Resource Document*, API Publication 581, First Edition (May 2000).
- [4] J.T. Reynolds, *The API Metodology for Risk-Based Inspection (RBI) for the petroleum and Petrochemical Industry*, International Conference on Reliability and Risk Management, San Antonio, (1998).
- [5] P. Barrien, *Optimising Refinery Dependability and Turnaround costs by the application of a Risk-Based Inspection Program*, Corrosion 98, Paper N°588.
- [6] R. Binetti, F. Cappelletti, R. Graziani, G. Ludovisi, A. Sampaolo, *Metodo indicizzato per l'analisi e la valutazione del rischio di determinate attività industriali*, ISPESL (1988/89).
- [7] GdL Network "Corrosione", *Guida alla Ispezione Basata sul Rischio*, Eni SpA, Arti Grafiche Antica Porziuncola (PG), (2000).
- [8] G. Gavetta, P. Cavassi, *Il costo della corrosione*, TPoint – Notiziario di EniTecnologie (marzo 2001).