

LE INCERTEZZE NELL'ANALISI DI RISCHIO

Marco Caira¹, Marco Carcassi², Andrea Carpignano³, Francesco Castiglia⁴, Enrico Zio⁵

¹Università di Roma "La Sapienza", m.caira@srs.it

²Università di Pisa, carcassi@ing.unipi.it

³Politecnico di Torino, andrea.carpignano@polito.it

⁴Università di Palermo, castiglia@din.din.unipa.it

⁵Politecnico di Milano, enrico.zio@polimi.it

Autore di riferimento: carcassi@ing.unipi.it

SOMMARIO

L'analisi di rischio è ormai riconosciuta essere uno dei passi fondamentali nella progettazione di un sistema tecnologico, in quanto consente di identificare gli elementi di sicurezza da inserire e le procedure con cui gestirne il funzionamento data la complessità, e conseguente incompleta conoscenza, dei fenomeni in gioco e dei parametri che ne influenzano l'evoluzione: risulta quindi fondamentale fornire una adeguata valutazione dell'incertezza associata al processo di quantificazione del rischio di un sistema.

Molteplici sono le tipologie e le fonti d'incertezza che si incontrano nelle diverse fasi dell'analisi di rischio:

- incertezza sugli scenari incidentali da considerare;
- incertezza sul valore dei parametri che influenzano il comportamento del sistema;
- incertezza sui modelli che descrivono il comportamento del sistema;
- incertezza sui metodi di valutazione del rischio.

Vari approcci sono stati sviluppati per cercare di trattare adeguatamente tali problematiche in termini quantitativi. Forse solo gli strumenti per la trattazione quantitativa dell'incertezza sui parametri si possono considerare di maturità applicativa.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di analizzare criticamente le diverse fasi dell'analisi di rischio per identificarne le principali fonti di incertezza, distinguerne la natura e la tipologia, indicare gli strumenti per una adeguata valutazione.

L'attività che verrà presentata nel lavoro è stata sviluppata nell'ambito del Progetto "Studio degli effetti delle incertezze sulle valutazioni del rischio di sistemi tecnologici complessi" finanziato dal MIUR (PRIN 2003).

2. INTRODUZIONE

Lo scopo primario dell'Analisi del Rischio di un sistema tecnologico è quello di quantificare, con la miglior precisione possibile, una misura del rischio associato all'operazione del sistema, identificando i principali pericoli e le cause di incidente, al fine di prendere efficaci decisioni sulle protezioni, salvaguardie e cautele ingegneristiche da installare e sulle procedure operative e manutentive da impiegare.

L'analisi si focalizza su due diversi aspetti: la riduzione delle probabilità di accadimento degli eventi incidentali e la limitazione degli eventuali danni prodotti. La trattazione sistematica di queste due dimensioni del rischio comporta l'integrazione di due approcci complementari al problema, quello probabilistico e quello deterministico.

Il rischio che risulta dall'analisi viene confrontato con adeguati criteri di accettabilità per valutare l'adeguatezza del sistema rispetto alle esigenze della comunità che è disposta ad accettarne il pericolo potenziale associato in cambio del beneficio che deriva dal suo funzionamento.

L'impegno richiesto nel realizzare l'analisi di rischio di un sistema tecnologico complesso, quali quelli dei settori nucleare e chimico, è decisamente notevole, e richiede diverse fasi che vanno dalla raccolta ed organizzazione delle informazioni sui possibili eventi iniziatori di situazioni incidentali e dei dati per la loro caratterizzazione probabilistica, allo studio degli scenari incidentali che da essi possono generarsi, alla loro valutazione quantitativa in termini di probabilità e conseguenze. Alla base dell'analisi sta la capacità di valutare con sufficiente accuratezza e precisione il comportamento di un sistema in condizioni diverse da quelle di normale funzionamento.

A tal fine sono stati sviluppati vari strumenti di indagine e modelli matematici in grado di analizzare e valutare realisticamente le prestazioni di un sistema sia in condizioni operative che in corrispondenza a stati incidentali.

L'analisi di rischio è ormai riconosciuta essere uno dei passi fondamentali nella progettazione di un sistema tecnologico, in quanto consente di identificare gli elementi di sicurezza da inserire e le procedure con cui gestirne il funzionamento. Data la complessità, e conseguente incompleta conoscenza, dei fenomeni in gioco e dei parametri che ne influenzano l'evoluzione, risulta fondamentale fornire una adeguata valutazione dell'incertezza associata al processo di quantificazione del rischio di un sistema.

Molteplici sono le tipologie e le fonti d'incertezza che si incontrano nelle diverse fasi dell'analisi di rischio:

- incertezza sugli scenari incidentali da considerare;
- incertezza sul valore dei parametri che influenzano il comportamento del sistema;
- incertezza sui modelli che descrivono il comportamento del sistema;
- incertezza sui metodi di valutazione del rischio.

Vari approcci sono stati sviluppati per cercare di trattare adeguatamente tali problematiche in termini quantitativi. Forse solo gli strumenti per la trattazione quantitativa dell'incertezza sui parametri si possono considerare di maturità applicativa.

L'obiettivo principale di questo lavoro è un'analisi critica delle diverse fasi dell'analisi di rischio per identificarne le principali fonti di incertezza e distinguerne la natura e la tipologia.

3. IL RISCHIO: DEFINIZIONE E ANALISI QUANTITATIVA

Una definizione di rischio informativa ed operativa deve consentire di fornire una adeguata, razionale risposta ai tre quesiti fondamentali dell'analisi di rischio:

- Quali sequenze di eventi indesiderati trasformano il pericolo in danno effettivo?
- Qual è la probabilità di ognuna di queste sequenze?
- Quali sono le conseguenze di ognuna di tali sequenze?

Le risposte a queste domande portano ad una definizione di rischio in termini di triplette:

$$R = \{ \{ s_i, p_i, x_i \} \} \quad (1)$$

dove s_i è la sequenza di eventi indesiderati, p_i è la probabilità associata e x_i la conseguenza. Il risultato atteso da un'analisi di rischio è dunque una lista di scenari, che rappresenta integralmente il rischio in tutte le sue componenti (Tabella 3.1).

Tabella 3.1 – Lista di triplette

Sequenza	Probabilità	Conseguenza
s_1	p_1	x_1
s_2	p_2	x_2
...
s_n	p_n	x_n

Sulla base di queste informazioni, il progettista, il responsabile della sicurezza ed il regolatore, possono agire in modo efficace per controllare e ridurre il rischio.

4. L'ANALISI RISCHIO

La realizzazione di un'analisi di rischio per un sistema complesso richiede un'ampia base di conoscenze da parte dell'analista, nonché la capacità di organizzare le informazioni disponibili mediante l'utilizzo di diverse tecniche e metodologie di studio.

In maggior dettaglio, le fasi operative in cui si articola un'analisi di rischio possono essere rappresentate come in Figura 4.1, [1].

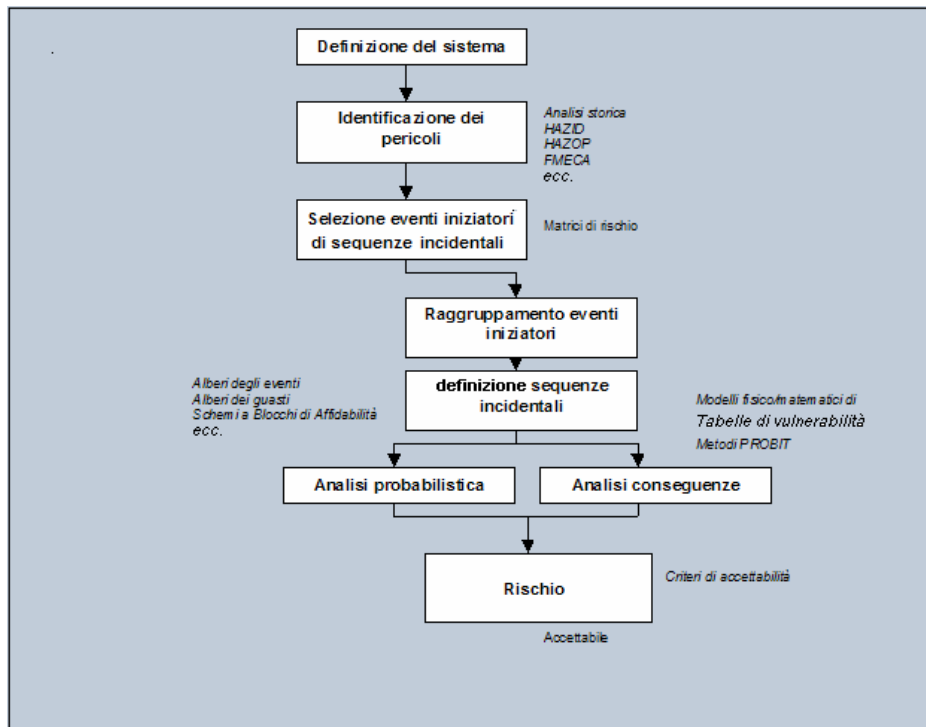


Figura 4.1 – La struttura dell'analisi di Rischio

Una prima fase (DEFINIZIONE DEL SISTEMA) consiste nel definire in modo esaustivo l'oggetto dell'analisi. Ad esempio, per un impianto è necessario definire in modo accurato il sistema dal punto di vista tecnico e funzionale (layout, componenti, sistema di controllo, procedure operative, ecc.), il sito in cui il sistema è collocato (meteorologia, demografia, presenza di infrastrutture, ecc.), le informazioni sulle procedure di gestione e manutenzione, le interfacce e i cosiddetti "limiti di batteria" del sistema.

La seconda fase (IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI) è finalizzata a mettere in evidenza tutti i pericoli e gli eventi che possono essere origine di situazioni incidentali gravi [2,3]. Questa analisi deve essere sistematica e completa al fine di non trascurare nessuno dei pericoli presenti. L'approccio, di tipo qualitativo, prevede il ricorso a tecniche tabulari (HAZID, HAZOP, FMECA, ecc.) che, sistematicamente, esaminano tutti gli aspetti tecnici e funzionali del sistema in termini di componenti presenti e relativi modi di guasto, processi realizzati e possibili deviazioni, presenza di eventi esterni al sistema che possono provocare incidenti, procedure operative di gestione e/o manutenzione che in caso di errore possono scatenare eventi gravi. Un supporto a questa indagine può essere fornito dall'esame di banche dati di incidenti (analisi storica) che possono suggerire eventi aggiuntivi che si sono già rivelati pericolosi in sistemi simili [4]. Per tutti i pericoli e gli eventi identificati si procede ad una valutazione qualitativa di rischio (tramite indici qualitativi relativi alle frequenze di accadimento e al relativo danno) che consente di identificare gli eventi ritenuti più critici.

Il risultato di questa prima fase di analisi consiste in una lista di eventi iniziatori ciascuno caratterizzato da un livello di rischio in termini qualitativi. Su questo insieme di eventi, in genere, si esegue uno screening mediante matrici di rischio per definire gli eventi iniziatori che richiedono uno studio più approfondito al fine di una valutazione quantitativa del rischio. Tipicamente, la molteplicità degli eventi da considerare richiede un raggruppamento degli stessi al fine di approfondire l'analisi su un numero limitato di eventi iniziatori.

Nella terza fase (STUDIO DELLE SEQUENZE INCIDENTALI), per ogni evento iniziatore si delineano le sequenze incidentali che questo potrebbe generare, mediante strutture di tipo logico (ALBERI DEGLI EVENTI). Queste tecniche consentono di descrivere i possibili scenari di incidente che possono derivare dall'evento, a seconda che i sistemi di protezione e mitigazione intervengano correttamente o meno [5]. In questo modo si ottiene una definizione delle possibili "storie" dell'incidente che devono essere successivamente caratterizzate, in termini di frequenza di accadimento e danno associato.

La stima della frequenza di accadimento di una sequenza incidentale (ANALISI PROBABILISTICA), richiede la determinazione della frequenza di accadimento dell'Evento Iniziatore e di tutte le probabilità condizionate degli eventi che compongono la sequenza [6]. Laddove possibile, le informazioni necessarie vengono tratte da banche dati commerciali oppure si ricorre ad informazioni derivanti dall'esperienza di impianto. In pratica per i sistemi complessi che caratterizzano l'industria moderna non sono disponibili dati statistici e pertanto è necessario ricorrere a tecniche analitiche che consentono di descrivere il guasto del

sistema in termini di guasti dei suoi componenti (ALBERI DEI GUASTI, SCHEMI A BLOCCHI DI AFFIDABILITA', ALBERI DI AFFIDABILITA' UMANA, ANALISI DELLE CAUSE COMUNI DI GUASTO), eventi per i quali i dati statistici sono di più facile rintracciabilità [7].

La stima delle conseguenze (ANALISI DELLE CONSEGUENZE) prevede la simulazione, mediante opportuni modelli fisico-matematici, dei fenomeni incidentali delineati nell'albero degli eventi (rilascio di sostanza, dispersione di sostanze infiammabili o esplosive, innesco, incendio, esplosione, dispersioni di inquinanti o di sostanze tossiche, ecc.) al fine di stimare il danno relativo a ciascuna sequenza identificata. Una volta valutate le conseguenze dei diversi scenari incidentali ipotizzati, in termini dell'impatto dei fenomeni fisici (sovrappressione, irraggiamento, concentrazione di inquinante, ecc.), è possibile determinare il danno effettivo sulla popolazione, sull'ambiente, sulle strutture, ecc. Questo tipo di valutazione può basarsi semplicemente su tabelle stilate in base ad esperienze pregresse (METODI TABULARI PER LA STIMA DEL DANNO), nelle quali ad ogni tipo di evento è associato il danno corrispondente ad una determinata soglia delle conseguenze fisiche (es. per sovrappressioni superiori a 0.07 bar si ha rottura dei vetri) [8]. Alternativamente si può seguire un approccio più articolato, il METODO PROBIT, basato su considerazioni probabilistiche supportate da esperienza pregressa e sperimentale [9].

La quarta ed ultima fase (DETERMINAZIONE E VALUTAZIONE DEL RISCHIO) prevede la STIMA NUMERICA DEL RISCHIO a partire dai valori di frequenze di accadimento degli eventi incidentali e delle relative conseguenze in termini di danno, generalmente rappresentati mediante DIAGRAMMI DI TIPO F-N in cui il rischio è rappresentato in termini della distribuzione cumulativa complementare dei valori di danno [10]. Il rischio viene infine confrontato con opportuni CRITERI DI ACCETTABILITA'. In realtà, le norme attuali che regolano l'accettabilità su base probabilistica, non pongono limiti in termini di danno ma fanno riferimento a criteri che considerano separatamente la frequenza di incidente e le relative conseguenze [11]. In Italia, inoltre, non è ancora stata definita a livello nazionale una curva limite di accettabilità dei rischi: l'unica regione ad aver adottato una propria politica in merito è la regione Friuli Venezia Giulia [12].

5. L'IMPORTANZA DELLA VALUTAZIONE DELL'INCERTEZZA NELL'ANALISI DI RISCHIO

Come visto precedentemente, l'analisi di rischio si basa sull'utilizzo di modelli descrittivi del sistema e dei fenomeni in gioco.

Per definizione un modello fornisce una rappresentazione di un sistema reale che dipende da un certo numero di ipotesi e di parametri ed è necessariamente approssimata. Tale modello può essere deterministico (come ad es. le leggi della dinamica di Newton o la legge di Darcy per il flusso delle acque del sottosuolo) o stocastico (come ad es. il modello di Poisson per il verificarsi nel tempo degli eventi di terremoto), e in questo caso la variabile d'interesse è descritta in termini di una distribuzione di probabilità su un intervallo di valori assegnato.

Nell'applicazione pratica dell'analisi di rischio spesso il sistema in esame non è caratterizzabile in maniera esatta e/o la conoscenza dei fenomeni in gioco è incompleta. Ne deriva un'incertezza sul valore dei parametri del modello e sulle ipotesi che ne formano la struttura. Tale incertezza si propaga nel modello dando così luogo ad una variabilità nelle risposte che lo stesso fornisce. La quantificazione e caratterizzazione dell'incertezza di output che ne risulta è di fondamentale importanza.

Infatti, essendo l'analisi di rischio uno strumento decisionale utilizzato in fase progettuale e gestionale dei sistemi tecnologici, si evidenzia la necessità di sostanziarla con una valutazione dell'incertezza, ai fini di una corretta gestione del rischio.

Le incertezze in un'analisi di rischio derivano dalla complessità dei sistemi considerati e dalla conseguente difficoltà di modellazione, dalla carenza di dati relativi a guasti ed incidenti, dalla limitatezza dei metodi utilizzati. La trattazione sistematica di tali incertezze richiede una classificazione in due diverse tipologie [13]:

- Incertezze aleatorie
- Incertezze epistemiche.

La prima tipologia riguarda quei fenomeni il cui verificarsi è intrinsecamente stocastico. Per loro natura queste incertezze possono essere descritte con un approccio probabilistico.

Le incertezze epistemiche si riferiscono ad una non completa conoscenza dei parametri e dei fenomeni. Tale "ignoranza" si riflette da una parte sull'incertezza dei valori dei parametri e dall'altra sull'incertezza dei modelli adottati per la descrizione dei fenomeni.

Per la descrizione delle incertezze epistemiche possono risultare adeguate tecniche classiche di tipo probabilistico-statistico ed approcci di logica fuzzy e di tipo possibilistico.

6. FONTI DI INCERTEZZA NELL'ANALISI DI RISCHIO

Di seguito si esaminano le incertezze che accompagnano l'analisi del rischio. Come vedremo queste incertezze sono sia di tipo aleatorio che epistemico.

Gli aspetti di aleatorietà riguardano il verificarsi degli eventi che condizionano l'evoluzione degli scenari incidentali. Questi aspetti sono adeguatamente descritti dalla caratterizzazione probabilistica del rischio, cioè dal termine probabilità (p_i) che compare nella tripletta come definita al capitolo 2.

L'incertezza epistemica, in quanto caratterizzata da incompleta conoscenza, entra in tutti e tre i componenti del rischio:

- Incompletezza e imprecisione nella definizione degli scenari (s_i).
- Incertezza dei valori di probabilità degli eventi che condizionano l'evoluzione degli scenari (p_i).
- Non completa aderenza alla realtà nella valutazione delle conseguenze (x_i).

Queste incertezze epistemiche sono dovute sia alla intrinseca incapacità dei modelli di rappresentare la realtà sia alla carenza e attendibilità dei dati che alimentano i modelli.

Un compendio schematico delle diverse forme di incertezze che caratterizzano le fasi dell'analisi di rischio, certamente non esaustivo, ma comunque sufficientemente rappresentativo, è riportato nelle seguenti Tabelle 6.1-6.3.

Tabella 6.1 – compendio schematico delle diverse forme di incertezze delle fasi dell'analisi di rischio (1 di 3)

Fasi dell'analisi di rischio(1 di 3)	Tecniche e metodologie coinvolte nell'approccio classico	Fonti e tipologie di incertezze associate
<i>Definizione e modellazione del sistema</i>	<p>Analisi accurata della documentazione tecnica del sistema (P&ID, Layout)</p> <p>Analisi funzionale e comportamentale del sistema (procedure operative e di manutenzione)</p> <p>Analisi del sito e delle caratteristiche ambientali</p>	<p>o Imprecisioni associate a dati e informazioni relative al sistema, ed alla disponibilità dei dati necessari per lo sviluppo del relativo modello di impianto: questo tipo di imprecisione diventa particolarmente importante nel caso di impianti in fase di progettazione.</p> <p>o Incertezze relative alla modellazione del sistema da studiare; la modellazione di un sistema complesso richiede infatti una "semplicizzazione" della realtà che può portare a incertezze anche rilevanti nella valutazione. E' la competenza specifica dell'analista che deve saper catturare gli aspetti importanti per non inficiare la valutazione.</p> <p>o Particolarmente critica la trattazione di sistemi fortemente ridondanti (es. reti magliate) per le quali non esiste una tradizione nell'analisi di rischio</p>
<i>Identificazione dei pericoli</i>	<p>Analisi storica</p> <p>Hazard Identification (HAZID)</p> <p>Hazard and Operability Study (HAZOP)</p> <p>Failure Mode, Effect and Criticality Analysis (FMECA)</p> <p>Matrici di rischio</p>	<p>Incertezze/imprecisioni possono essere associate all'incompletezza nell'identificazione dei pericoli a causa di:</p> <p>o Analisi storica effettuata con banche dati poco affidabili o non aggiornate o non specifiche per il tipo di sistema in esame.</p> <p>o Utilizzo non sistematico delle tecniche di identificazione dei pericoli (applicazione limitata a parti del sistema, livello di dettaglio eccessivamente grossolano, analisi non completa delle fasi operative, trattamento superficiale degli errori umani e software, non completa valutazione degli eventi esterni che possono essere iniziatori di incidente)</p> <p>o Imprecisa definizione delle classi qualitative di frequenza e danno da applicarsi per le valutazioni mediante matrici di rischio</p>
<i>Studio delle sequenze incidentali</i>		<p>Raggruppamento approssimativo degli eventi iniziatori di incidente per la definizione delle sequenze incidentali da studiare con tecniche quantitative.</p>

Tabella 6.2 – compendio schematico delle diverse forme di incertezze delle fasi dell'analisi di rischio (2 di 3)

Fasi dell'analisi di rischio(1 di 3)	Tecniche e metodologie coinvolte nell'approccio classico	Fonti e tipologie di incertezze associate
<i>Analisi probabilistica</i>	Alberi degli eventi Alberi dei guasti Schemi a blocchi di affidabilità Tecniche Monte Carlo Modelli Markoviani Alberi di affidabilità umana Analisi delle Cause Comuni di Guasto	<p>L'incertezza delle valutazioni può derivare dall'incertezza sui dati che vengono inseriti nei modelli, in particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Incertezze sono insite a livello dei dati statistici e probabilistici (ratei di guasto, ratei di riparazione, probabilità di guasto su domanda, probabilità di errori umani, frequenze e probabilità di accadimento di eventi di tipo fenomenologico e di eventi esterni) utilizzati come dati di input alle fasi di analisi di tipo probabilistico: l'incertezza dei dati può essere rappresentata per mezzo di distribuzioni al fine di permetterne una corretta propagazione controllata. Per i dati caratterizzati tramite distribuzione è necessario identificare le caratteristiche di distribuzione più corretta, il che è spesso un'operazione che passa attraverso operazioni di expert judgement e manipolazione di tipo statistico/matematico. o Per quanto riguarda i dati di tipo sistemico l'incertezza è associata alla quantità di informazioni di tipo statistico disponibili e alle metodologie applicate per ricavarne dati di tipo probabilistico. Questo si riflette in seconda battuta nell'incertezza associata all'utilizzo di diverse fonti/database per l'acquisizione di dati relativi a componenti simili, che portano a differenze nei dati di input delle analisi spesso non trascurabili o Per quanto riguarda i dati relativi alle probabilità di errore umano una particolare quota di incertezza è relativa alla ristretta quantità di dati disponibili ed alla notevole difficoltà di raccolta e trattamento degli stessi. o Una notevole imprecisione/incertezza è poi associata alla valutazione delle probabilità e delle frequenze di accadimento di eventi di tipo fenomenologico (es. probabilità di innesco immediato e ritardato) e gli eventi di origine esterna (es. terremoti, inondazioni, ecc.). o Altre incertezze/imprecisioni possono essere generate da informazioni incomplete a livello di caratteristiche dei profili di missione, di attività di test e di manutenzione, di dettagli relativi a sequenze e procedure operative e di emergenza. <p>La modellazione delle sequenze incidentali e del comportamento di impianto, richiedendo una semplificazione della realtà, possono contribuire pesantemente all'incertezza delle valutazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Incertezze/imprecisioni di base sono relative a quanto le metodologie disponibili di modellazione siano effettivamente in grado di rappresentare le effettive condizioni associate al comportamento del sistema in condizioni incidentali. Ad esempio l'event tree ed il fault tree prevedono un approccio logico binario, la realtà impiantistica passa invece attraverso diverse gradazioni di malfunzionamenti anche parziali o eventi complessi che coinvolgono condizioni operative degradate. Queste due tecniche inoltre non sono in grado di tenere in adeguata considerazione evoluzioni fisiche dipendenti dal tempo e di rappresentare le caratteristiche dinamiche dei sistemi e dei fenomeni associati. o Incertezze/imprecisioni sono anche associate al modo in cui diversi analisti applicano le stesse tecniche e metodologie e quanto competente, esperto ed abile egli sia nel rappresentare l'impianto con il metodo di modellazione adottato. o Incertezze particolari sono poi insite nell'inesattezza e inevitabile approssimazione dei modelli di descrizione del comportamento umano, nell'identificazione dei possibili fattori di influenza della prestazione, delle relative interazioni ed effetti, nella variabilità di comportamenti di diversi individui nella stessa situazione, e nelle difficoltà di descrizione delle interazioni/relazioni di operazione in team. Oggi i modelli disponibili sono fortemente semplificati, di tipo comportamentale ed analizzano unicamente gli scostamenti o i ritardi rispetto ad una procedura prestabilita e non sono in grado di modellare l'improvvisazione dell'operatore. o Ancora carenti, oggi, le tecniche per l'analisi dell'affidabilità dei software di controllo che talvolta possono essere origine di incidenti gravi; proprio per la carenza metodologica, oggi spesso questi aspetti vengono trascurati durante l'analisi o Incertezze talvolta rilevanti possono nascere da una non corretta trattazione delle cause comuni di guasto che, se trascurate, possono illudere l'analista circa l'indipendenza di eventi di guasto portando a sottostime anche rilevanti delle frequenze di incidente

Tabella 6.3 – compendio schematico delle diverse forme di incertezze delle fasi dell'analisi di rischio (3 di 3)

Fasi dell'analisi di rischio(1 di 3)	Tecniche e metodologie coinvolte nell'approccio classico	Fonti e tipologie di incertezze associate
<i>Analisi delle conseguenze</i>	Modelli di simulazione di eventi incidentali Metodi tabulari per la stima del danno Metodo Probbhit	<p>Anche l'incertezza associata all'analisi delle conseguenze può derivare dall'incertezza dei dati inseriti nei modelli:</p> <ul style="list-style-type: none"> o Incertezze/imprecisioni possono riguardare i dati di input dell'analisi, che spesso sono solo parzialmente disponibili o affetti da imprecisioni dovute alle fonti da cui sono tratti. Inoltre tali dati possono essere di tipo "certo" (es. volumi di serbatoi, diametri di tubazioni, ecc.), con "distribuzione discreta" (es. direzione del vento) o con "distribuzione continua" (es. dimensione di rottura, velocità del vento); in particolare, molti input presentano distribuzione uniforme su un intervallo (gran parte delle caratteristiche fisico-chimiche delle sostanze). La rappresentazione dei dati con distribuzione discreta può avvenire a mezzo di istogrammi; per i dati caratterizzati da una distribuzione continua è invece necessario identificare le caratteristiche di distribuzione più corretta, il che è spesso un'operazione che passa attraverso operazioni di expert judgement e manipolazione di tipo statistico/matematico. o Una problematica ulteriore consiste nella definizione delle proprietà chimico fisiche per le sostanze e in particolare per le miscele che non sempre sono disponibili. <p>La modellazione dei fenomeni, spesso molto complessi introduce anch'essa un'incertezza:</p> <ul style="list-style-type: none"> o I fenomeni studiati nella fase di valutazione delle conseguenze sono particolarmente complessi: una fonte notevole di incertezza e imprecisione è dovuta alla maggiore o minore capacità da parte dei modelli fisico/matematici e/o di tipo parametrico utilizzati, nel rappresentarne le evoluzioni fisiche e le relative interazioni di tipo dinamico. Raramente permettono un dettaglio preciso del contesto ambientale in cui il fenomeno si realizza (Geometria, condizioni meteo/ambientali). Tali modelli sono inoltre necessariamente sensibili alle ipotesi e alle assunzioni semplificative che ne caratterizzano le diverse fasi di applicazione. I modelli raramente presentano una flessibilità tale da poter caratterizzare le specifiche condizioni incidentali. o anche la valutazione del danno può essere affetta da fenomeni di incertezza: l'analisi di vulnerabilità è la parte che introduce maggiori incertezza per una carenza di modellistica: Esistono modelli statistici o tabelle di vulnerabilità basate su soglie ma sono rari i modelli in grado di modellare accuratamente la fisica del danno (modelli strutturali di urto e rottura, modelli di vulnerabilità sull'uomo, modelli di deterioramento delle strutture irraggiate da incendio, ecc.). L'analisi di vulnerabilità è inoltre strettamente legata al contesto in cui l'incidente si realizza (presenza o meno di persone, presenza di barriere anche fortuite tra fenomeno e bersaglio, ecc.). Tali problemi si ripercuotono anche sulla difficoltà di definire e studiare accuratamente gli effetti domino. o la simulazione di sequenze complesse può richiedere la concatenazione di diversi modelli di simulazione, ciascun modello introduce un'incertezza pertanto la simulazione di sequenze "lunghe" può portare ad una "esplosione" dell'incertezza associata.
<i>Determinazione e Valutazione del rischio</i>	Stima numerica del rischio Diagrammi di tipo F-N Criteri di accettabilità del rischio	<p>La fase di determinazione e di valutazione del rischio risente chiaramente di tutte le forme di incertezze/imprecisioni introdotti e propagati a diversi livelli in tutte le fasi di analisi precedenti, che si ripercuoteranno pertanto in tutti i dati di output forniti dall'analisi di rischio.</p> <p>Dal punto di vista modellistico e metodologico la fase di stima e discussione del rischio risente della mancanza di criteri consolidati per valutarne l'accettabilità. Tale operazione inoltre risente fortemente di influenze di tipo sociale, in primo luogo legate alle diverse considerazioni di accettabilità del rischio legate a sistemi diversi.</p>

8. PRINCIPALI ATTIVITA' DI RICERCA A LIVELLO INTERNAZIONALE

Diverse attività di ricerca sia a livello nazionale sia internazionale sono state condotte negli ultimi anni al fine di identificare le principali fonti di incertezza di cui sono affette le tecniche di analisi più utilizzate per l'analisi di rischio.

Tra le principali attività di ricerca che sono state svolte a livello internazionale ricordiamo il NUREG, l'analisi svolta dall'Associazione 3ASI, lo studio promosso dal Joint Research Centre di Ispra, il progetto ASSURANCE e il progetto ITERE.

Il NUREG [14], (Probabilistic Risk Assessment Procedure Guide, 1983) rappresenta il documento di riferimento per l'approccio al Probabilistic Risk Assessment in ambito nucleare. Il documento per ogni fase dell'analisi descrive accuratamente le tecniche da adottare ed evidenzia le incertezze che possono accompagnare le valutazioni. Il documento tratta essenzialmente le incertezze connesse ai dati che alimentano i modelli affidabilistici.

L'Associazione degli Analisti di Affidabilità e Sicurezza Italiani (3ASI) ha avviato nel 1985 un esercizio di paragone (CIR – Caso Italiano di Riferimento) [15] per valutare le tecniche e i modelli al tempo disponibili per l'analisi di rischio di impianti industriali. L'esercizio ha permesso di mettere a punto un metodo generale per l'analisi del rischio, in quegli anni ancora assente, identificando alcune delle difficoltà che caratterizzavano lo studio.

Nel 1988-1990, il Joint Research Centre (JRC) di Ispra, ha promosso uno studio di ricerca [16] basato sulla realizzazione di 11 analisi di rischio da parte di enti di ricerca, società di ingegneria, autorità e industrie, per uno stesso impianto di stoccaggio di ammoniaca, al fine di valutare lo stato dell'arte delle metodologie di analisi e ottenere una stima dell'incertezza associata alle analisi di rischio.

Le conclusioni dello studio hanno messo in luce come non soltanto le assunzioni fatte per i possibili modi di guasto e le relative frequenze di accadimento contribuiscono all'incertezza dei risultati, ma anche i modelli che intervengono in fase di analisi delle conseguenze hanno un'influenza significativa sulle differenze riscontrate nelle valutazioni. Il principale risultato dello studio è stato, non tanto la valutazione delle differenze numeriche riscontrate negli output, ma il contributo apportato nell'identificazione delle principali cause di tali differenze.

Il progetto ASSURANCE (ASSessment of Uncertainty in Risk ANalysis of Chemical Establishment) [17], è nato per approfondire la comprensione dell'incertezza nell'analisi di rischio di stabilimenti industriali attraverso un esercizio di benchmark che ha coinvolto nove istituzioni europee: Risø National Laboratory (DK), JRC, Ispra (I), DNV (UK), HSE (UK), INERIS (F), NCSR Demokritos (GR), TNO (NL), Università di Bologna (I), and VTT (FIN), con il coordinamento di Risø e JRC.

E' stato proposto ai partner del progetto di eseguire un'analisi di rischio di un impianto di stoccaggio dell'ammoniaca assunto come caso studio, al fine di valutare le discrepanze nei risultati dell'analisi. In particolare si è inteso evidenziare gli effetti delle diverse filosofie nazionali in merito al problema della valutazione del rischio, così come l'impatto risultante dalla scelta dei modelli per la simulazione dei fenomeni incidentali.

Il Progetto I.T.E.R.E. [18] è stato sviluppato negli anni 2000-2001 e finanziato dall'Unione Europea, dal Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale e dalla Regione Sicilia. Hanno partecipato al progetto il Consorzio 2i Map Sud (società di ricerca e formazione specialistica), il Joint Research Centre (sito di Ispra della Commissione Europea), il Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Processi e dei Materiali dell'Università di Palermo, il Dipartimento di Scienze Statistiche dell'Università di Padova, l'Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Sicilia e la società di consulenza ARTES pscarl (ora RAMS&E pscarl).

L'obiettivo del progetto era lo studio di tecniche innovative per l'analisi di rischio industriale a livello locale e la formazione di tecnici da inserire nel contesto industriale siciliano. Tra le attività svolte, particolare rilevanza ha avuto l'esame della propagazione e l'amplificazione dell'incertezza nella concatenazione dei modelli fenomenologici per la simulazione delle sequenze incidentali.

9. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono state analizzate criticamente le diverse fasi dell'analisi di rischio per identificarne le principali fonti di incertezza, distinguerne la natura e la tipologia, indicare gli strumenti per una adeguata valutazione.

Il lavoro rientra in un'attività di ricerca sviluppata nell'ambito del Progetto "Studio degli effetti delle incertezze sulle valutazioni del rischio di sistemi tecnologici complessi" finanziato dal MIUR (PRIN 2003).

Il prosieguo di tale ricerca prevede l'analisi dettagliata di alcuni degli aspetti evidenziati, con riferimento ad adeguate applicazioni, al fine di contribuire alla identificazione dei fattori più importanti caratterizzanti l'incertezza nell'analisi di rischio e, ove possibile, la loro quantificazione. In questa ottica si prevede di suddividere la ricerca in diverse attività, ciascuna finalizzata a porre in rilievo alcune delle componenti dell'incertezza. In particolare, per affrontare gli aspetti dell'incertezza legata alla complessità del sistema, si prevede di affrontare il problema della stima dell'affidabilità e disponibilità di sistemi a rete magliata (ad esempio per la distribuzione di gas o calore), nei quali si pensa che possa risultare fondamentale la componente di incertezza legata alla semplificazione del modello e ai parametri che lo caratterizzano. Altro

soggetto di studio realistico e' il monitoraggio e la diagnostica incidentale sulla base di dati che spesso presentano lacune sia a livello qualitativo che quantitativo; si investiga, pertanto, la possibilità di sviluppare una metodologia per diagnostica incidentale in presenza di imprecisioni negli strumenti di misura.

Per quanto riguarda le metodologie di analisi, ci si propone di esaminare principalmente metodologie che permettono di prendere in considerazione quantitativamente la soggettività dei valori di probabilità e l'imprecisione nelle informazioni disponibili (Fault Tree con logica Fuzzy, in particolare con applicazioni alle esplosioni di gas in ambienti chiusi), e l'influenza dell'evoluzione dinamica del sistema durante un incidente sulla sua probabilità di guasto (Event Tree di tipo dinamico, con applicazioni agli incendi).

10. BIBLIOGRAFIA

[1] Carpignano A., Il rischio tecnologico, in: Pianificazione del Territorio e Rischio Tecnologico, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Politecnico e Università di Torino, CELID, 2002.

[2] Kletz T., HAZOP & HAZAN, The Institution of Chemical Engineering, England, 1986.

[3] Knowlton R.E., Hazard and Operability Studies – the guide word approach, Chemetics International.

[4] ESReDA, Directory of Accident Databases, European Communities, 1997, ISBN 92-9174-000-4.

[5] NUREG, PRA Procedure Guide, NUREG/CR-2300 Vol.1 e 2, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1983.

[6] NUREG, PRA Procedure Guide, NUREG/CR-2300 Vol.1 e 2, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1983.

[7] OREDA, NPRD, EIREDA, THERP.

[8] TNO, Methods for the determination of possible damage (Green Book), TNO Committee for the prevention of disasters, Voorburg, 1989.

[9] TNO, Methods for the determination of possible damage (Green Book), TNO Committee for the prevention of disasters, Voorburg, 1989.

[10] Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, AIChE, 1989.

[11] Ball D.J., Floyd P.J., Societal Risk, HSE, 1998.

[12] Progetto ARTIS, Eidos, 1990.

[13] Special Issue of Reliability Engineering & System Safety, Volume 85, Issues 1-3, Pages 1-369, July - September 2004.

[14] NUREG, PRA Procedure Guide, NUREG/CR-2300 Vol.1 e 2, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1983.

[15] Messina S., Piccinini N., Cappellini G., Valutazione probabilistica di rischio, 3ASI, 1987.

[16] Amendola A., Contini S., Ziomas I., Uncertainties in chemical risk assessment: results of a European benchmark exercise, Journal of Hazardous Materials, 29 (1992), 347-363.

[17] Lauridsen K., Christou M., Amendola A., Markert F., Kozine I., Fiori M., Assessing the uncertainties in the process of risk analysis of chemical establishment: Part I, European Safety & Reliability International Conference ESREL 2001, Torino, settembre 2001.

[18] Trevisani, Capelo, Modeling incidental sequences in high environmental risk industries plants: some simulation experiments. Progetto ITERE, 2000