

**Norberto Piccinini, Remo Galvagni  
Claudia e Italo Ciarambino**

# **L'ANALISI DEI RISCHI**

**AIDIC** Associazione Italiana Di Ingegneria Chimica

# PROLOGO

Oggi più che mai, nel nostro Paese, la giurisprudenza ha preso consapevolezza del fatto che più infortuni e disastri nei luoghi di lavoro costituiscono il frutto, non già di carenze occasionali o meramente operative, bensì di carenze strutturali, di carenze addebitabili a scelte aziendali di fondo, a scelte di carattere generale della politica aziendale. Ed ha preso, altresì, consapevolezza del fatto che, pur a fronte di una delega corretta ed efficace delle funzioni antinfortunistiche, il datore di lavoro non potrebbe andare esente da responsabilità, allorché le carenze nella materia della sicurezza attengano a scelte di carattere generale della politica aziendale ovvero a carenze strutturali, rispetto alle quali nessuna capacità di intervento possa realisticamente attribuirsi al delegato alla sicurezza: un'ipotesi che può non infrequentemente verificarsi allorché si tratti di attività pericolose, foriere di produrre inquinamento o di porsi come cause di infortuni, malattie professionali, incendi, crolli.

In questo quadro, fondamentale diventa l'analisi dei rischi: un obbligo che il Testo Unico della Sicurezza sul Lavoro ha non a caso stabilito a carico esclusivo dello stesso datore di lavoro sia pure con la collaborazione del responsabile del servizio di prevenzione e protezione e del medico competente; e un obbligo che si considera violato non soltanto in caso di omessa redazione del documento di valutazione, bensì anche in caso di redazione di un documento di valutazione insufficiente o inadeguato o incompleto: un documento, ad esempio, che ometta di valutare un determinato rischio chimico, o che, pur valutandolo, non individui le misure di prevenzione e di protezione tecnologicamente più avanzate contro un tale rischio.

Illuminanti, per chiunque intraprenda la lettura della preziosa opera qui presentata, sono le parole della Corte di Cassazione:

“La legislazione più recente (da ultimo artt. 28 e 29 del D.Lgs n. 81/2008) ha messo in luce un primordiale aspetto della sicurezza imponendo lo strumento della valutazione dei rischi, documento che il datore di lavoro deve elaborare in collaborazione con il responsabile del servizio di prevenzione e protezione e con il medico competente, e quindi con soggetti dotati di qualificazione professionale aperta agli aspetti più propriamente scientifici della sicurezza. L'essenzialità di tale documento deriva con evidenza dal fatto che, senza consapevolezza dei rischi, non è possibile una politica della sicurezza. Proprio la speciale importanza dell'analisi dei rischi giustifica la non delegabilità di tale adempimento (artt. 16 e 17 del richiamato D.Lgs. n. 81). La disciplina legale esprime un'obiettivo **esigenza sistemica**, già evidenziata, seppure in modo meno definito sia nella più risalente normativa che in consolidati arresti giurisprudenziali. La giurisprudenza, d'altra parte, ha ripetutamente posto a carico del datore di lavoro delegante un obbligo di vigilanza che, a sua volta, presuppone logicamente la consapevolezza dei rischi da governare. La valutazione di cui si discute coinvolge tutte le competenze e le conoscenze delle figure istituzionali del sistema della sicurezza e riguarda quindi sia il datore di lavoro che i soggetti più qualificati sotto il profilo tecnico-scientifico, come il dirigente tecnico. Nell'esercizio di attività rischiose l'agente gerente ha l'obbligo di acquisire le conoscenze disponibili nella comunità scientifica per assicurare la protezione richiesta dalla legge. Diversamente argomentando si perverrebbe all'esito, evidentemente inaccettabile, di consentire a chiunque, anche inesperto, di svolgere liberamente attività rischiose che richiedono conoscenze tecniche o scientifiche, adducendo la sua ignoranza in caso di verifica di eventi avversi. Non vi è dubbio, dunque, conclusivamente, che l'obbligo di indagare il ventaglio dei rischi connessi all'attività coinvolga, a prescindere dalla delega, sia i componenti del consiglio di amministrazione che il dirigente tecnico”.

*Raffaele Guariniello*

Tribunale di Torino  
Procura della Repubblica

# PREFAZIONE

In un recente articolo *review* sulle metodologie HazOp [1] si riporta una tabella con l'elenco di ben 12 tra libri e *guideline* editi tra il 1977 e il 2004 oltre, ovviamente, al dettagliato articolo di Lawley che per primo nel 1974 illustrò il metodo [2]. Per gli eventuali interessati si riportano le citazioni bibliografiche di questi volumi [3-14]. Sicuramente questo elenco non è esaustivo soprattutto se si allarga il tema alle più generali Analisi dei Rischi; a titolo esemplificativo si riportano i riferimenti di alcuni recenti volumi dalle tipiche caratteristiche del manuale universitario [15-17]. Ci si potrebbe quindi domandare se valesse la pena dare alle stampe anche questo tomo, essendoci sull'argomento già tutto quello che c'è da sapere. Inizialmente, dall'esame sia della letteratura esistente, sia dei rapporti redatti ai sensi della Direttiva Seveso, si era pensato ad un testo dal titolo: “*Come evitare gli errori più frequenti nell'Analisi dei Rischi*”. Si era cioè concepito un testo eminentemente didascalico rivolto ai giovani professionisti e agli studenti universitari. L'idea era quella di recuperare sia la lunga esperienza nell'ambito della ricerca scientifica maturata nel tempo dai diversi autori, sia la pratica di analisti sviluppata all'interno di una primaria società di progettazione di alcuni di loro.

Va da sé che per illustrare i diversi errori in cui un giovane analista può incorrere si è reso doveroso riprendere le metodologie *ab ovo* con tutta una serie di esempi assai elementari. Quelli più complessi, così come alcuni approfondimenti teorici, sono invece stati riportati in appendice.

Ma quali sono gli errori in cui più frequentemente incappano gli analisti? Alcuni sono ben definiti e facilmente individuabili, ad esempio in un Albero dei Guasti l'utilizzo della porta logica AND invece della porta INH. Altre volte invece gli errori sono più subdoli perché nascosti da quelle che sembrano corrette scelte dell'analista, come quando tra più opzioni si sceglie il “*caso peggiore*” per mettersi dal lato di “*maggior sicurezza*”. Un paio di scelte di questo tipo all'interno di un'analisi portano invariabilmente ad eventi disastrosi.

Il punto che più ci premeva è però ancora un altro: era quello di giungere a procedure che consentissero la congruenza dei risultati ottenibili con le diverse metodologie analitiche (HazOp, Albero dei Guasti, Albero degli Eventi). È infatti esperienza comune tra gli analisti accorgersi come spesso il risultato, soprattutto nelle valutazioni quantitative, dipenda dal metodo utilizzato.

Drammatici diventano poi i confronti tra i risultati di analisti diversi come hanno ben posto in evidenza le conclusioni di appositi *benchmark*. Emblematico fu quello organizzato nel lontano 1983 dalla 3ASI (Associazione degli Analisti dell'Ambiente, dell'Affidabilità e della Sicurezza industriale) [18].

Nulla può essere più frustrante del constatare risultati diversi (anche di alcuni ordini di grandezza) a seconda del metodo utilizzato dall'analista.

Con l'intento quindi di organizzare i principali e più noti metodi di analisi al fine di conseguire la congruenza delle diverse rappresentazioni impiantistiche e quindi dei risultati si è ampliato l'originario impianto del volume con il conseguente cambio di titolo.

Questo testo, com'è facilmente intuibile, non è nato come un *istant book*, ma ha avuto un parto piuttosto lungo e travagliato. Le ragioni sono molteplici, la principale essendo stata la difficoltà di uniformare l'impostazione, la simbologia e la completezza delle parti redatte dai singoli autori, eliminando le inevitabili sovrapposizioni. Il lettore attento si renderà facilmente conto che questo scopo non sempre è stato perfettamente raggiunto. Peraltro in qualche caso si è preferito mantenere una doppia simbologia per conservare una più chiara ed efficace comprensione del testo. Un caso a sé è invece quello del Cap. 10 dovuto esclusivamente alla penna di Remo Galvagni, che è apparentemente autonomo dal resto del volume, ma che invece ne rappresenta una assai avanzata conclusione. In questo capitolo è dettagliatamente descritta una metodologia (*Integrated Dynamic Decision Analysis, IDDA*) che supera di gran lunga tutte quelle più note e

diffuse riportate nel resto del volume. Trattasi praticamente della prima sintesi, pro studenti o giovani analisti, dell'ampio lavoro teorico-pratico sviluppato per decenni da Remo Galvagni che ha ottimizzato i dettagliati software indispensabili per le applicazioni pratiche di IDDA.

Un doveroso ringraziamento va ai colleghi ed amici che hanno generosamente consentito un ampio utilizzo di loro pubblicazioni. In particolare ci piace ricordare i professori Antonio Lovati, Gigliola Spadoni, Carlo Socco, Mario Patrucco estensore del glossario inglese/italiano e l'ingegnere Sergio Contini del JRC (Ispra). Un ringraziamento particolare va all'ingegnere Micaela Demichela che in qualità di allieva e ricercatrice ha pazientemente sopportato uno degli autori.

## BIBLIOGRAFIA

1. J. Dunj6, J.A. Vilchez, V.M. Fthenakis and J. Arnaldos, *HAZard and OPERability (HAZOP) Analysis. A Literature Review*, J. Hazard Mat., **173**, 19-32, 2010.
2. H.G. Lawley, *Operability Studies And Hazard Analysis*, Chem. Eng. Progress, **70**, 45-56, 1974.
3. CIA, *A Guide to Hazard and Operability Studies*, Imperial Chem. Ind. & Chem. Ind. Associations Ltd. London, UK, 1977.
4. R.E. Knowlton, *Hazards and Operability Studies, the Guideword Approach*, Chemetics Int. Company, Vancouver, 1981.
5. F.P. Lees, *Loss Prevention in Process Industries Hazard Identification, Assessment and Control*, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1996.
6. HSE, *Guidance on HAZOP procedures for computer-controlled plants*, London, 1991.
7. CCPS, *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*, 2nd Ed., CCPS, New York, 1992.
8. P.F. Nolan, *Application of HAZOP and What-if Safety Reviews to the Petroleum, Petrochemical and Chemical industries*, Westwood (USA), 1994.
9. G. Wells, *Hazard Identification and Risk Assessment*, Inst. of Chem. Eng., Rugby, UK, 1996.

## INDICE

<b>PROLOGO .....</b>	<b>I</b>
<b>PREFAZIONE.....</b>	<b>III</b>
BIBLIOGRAFIA.....	V
<b>ACRONIMI .....</b>	<b>VII</b>
<b>GLOSSARIO .....</b>	<b>VIII</b>
BIBLIOGRAFIA.....	XVI
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>1 LA VALUTAZIONE DEI RISCHI .....</b>	<b>7</b>
1.1 PREMESSA.....	7
1.2 CONCETTO DI RISCHIO .....	9
1.3 IL FATTORE DI UTILITÀ.....	14
1.4 IL RISCHIO TECNOLOGICO .....	15
1.4.1 Frequenza di un evento.....	16
1.4.2 Magnitudo delle conseguenze di un evento.....	18
1.5 ESTENSIONE DELLA DEFINIZIONE DI RISCHIO .....	19
1.6 RISCHIO INDIVIDUALE, DI GRUPPO, COLLETTIVO.....	21
1.7 ANALISI DEI RISCHI.....	23
1.8 IL RISCHIO D'AREA.....	26
1.9 TOLLERABILITÀ DEI RISCHI.....	31
1.10 LA MATRICE DEI RISCHI.....	34
1.11 RISCHI, IMPATTI E PROGETTAZIONE AMBIENTALE .....	38
1.11.1 Dal concetto di opera al concetto di modificazione ambientale.....	38
1.11.2 La progettazione ambientale.....	38
1.11.3 La tipologia degli effetti ambientali .....	40
1.11.4 Formalizzazione del requisito di compatibilità ambientale.....	45
1.11.5 Un punto cruciale: il bilancio tra effetti positivi e negativi.....	48
1.12 BIBLIOGRAFIA .....	50
<b>2 FUNZIONI E PARAMETRI AFFIDABILISTICI.....</b>	<b>53</b>
2.1 AFFIDABILITÀ DI UN COMPONENTE.....	53
2.2 TEMPO DI MISSIONE .....	58
2.3 DISTRIBUZIONE DEL PRIMO GUASTO DI UN COMPONENTE .....	61
2.4 EVENTI DI GUASTO.....	66
2.4.1 Eventi casuali.....	66
2.4.2 I dati affidabilistici.....	69
2.4.3 Eventi stocasticamente dipendenti.....	74
2.5 PARAMETRI AFFIDABILISTICI DI UN COMPONENTE .....	75
2.6 RIPARABILITÀ DEI COMPONENTI .....	80
2.6.1 Componenti non riparabili.....	80
2.6.2 Componenti riparabili.....	82
2.7 FUNZIONI DELLA COMPONENTISTICA DI PROCESSO.....	87
2.8 FUNZIONI DELLA COMPONENTISTICA DI PROTEZIONE .....	91
2.8.1 Componenti non riparabili.....	93
2.8.2 Componenti riparabili dopo una prova di test .....	94

2.8.3	Componenti riparabili con tempo medio di ripristino $\tau$ .....	95
2.9	BIBLIOGRAFIA .....	96
<b>3</b>	<b>L'IMPIANTO COME SISTEMA .....</b>	<b>97</b>
3.1	COME FOTOGRAFARE UN SISTEMA .....	99
3.2	SUDDIVISIONE DI UN IMPIANTO IN SOTTOSISTEMI .....	100
3.3	FUNZIONI DI PROCESSO, D'INTERVENTO E DI PROTEZIONE.....	103
3.4	MODALITÀ DI GUASTO DI COMPONENTI .....	104
3.4.1	Definizione di componente.....	104
3.4.2	Tipologie dei guasti .....	105
3.5	ELEMENTI GENERATORI DI UN INCIDENTE.....	107
3.5.1	Misure minime per il contenimento dei rischi.....	109
3.6	BIBLIOGRAFIA .....	112
<b>4</b>	<b>INDIVIDUAZIONE DELLE PERICOLOSITÀ E DEI MALFUNZIONAMENTI....</b>	<b>113</b>
4.1	PROCEDURE DI TIPO QUALITATIVO .....	113
4.2	L'ANALISI DI OPERABILITÀ .....	119
4.2.1	Modulo.....	124
4.3	L'ANALISI DI OPERABILITÀ RICORSIVA.....	126
4.3.1	Prima fase - Descrizione del sistema .....	128
4.3.2	Seconda fase - Individuazione delle deviazioni e dei Top Event .....	128
4.3.3	Terza fase - Il controllo di congruenza e completezza .....	136
4.3.4	Quarta fase - Il Diagramma delle Sequenze Incidentali .....	136
4.3.5	Schema per lo sviluppo di un'Analisi di Operabilità Ricorsiva .....	140
4.4	BIBLIOGRAFIA .....	149
<b>5</b>	<b>ASPETTI LOGICI PRESENTI IN UN'ANALISI.....</b>	<b>151</b>
5.1	L'ALGEBRA LOGICA.....	151
5.2	TIPOLOGIA DI EVENTI.....	157
5.3	OPERAZIONI LOGICHE .....	159
5.3.1	Somma .....	159
5.3.2	Prodotto.....	161
5.4	IL DIAGRAMMA LOGICO CONSEGUENZA/CAUSE.....	162
5.5	L'ANALISI DI TIPO LOGICO DELL'ALBERO DEI GUASTI.....	167
5.5.1	Differenze tra OR esclusivo e OR inclusivo.....	174
5.5.2	L'operatore "Negazione" .....	176
5.6	ANALISI PROBABILISTICA .....	177
5.6.1	Dipendenza tra eventi .....	180
5.6.2	Valutazione quantitativa delle proposizioni logiche .....	182
5.7	COMPONENTI RIDONDANTI .....	185
5.8	BIBLIOGRAFIA .....	188
<b>6</b>	<b>RAPPRESENTAZIONI LOGICHE CONSEGUENZA-CAUSE.....</b>	<b>189</b>
6.1	L'ALBERO DEI GUASTI.....	189
6.2	PRIMI APPROCCI DI TIPO QUANTITATIVO.....	195
6.3	GLI ERRORI DI TIPO LOGICO .....	196
6.4	IL DSI QUALE STRUMENTO PER GENERARE ALBERI DEI GUASTI .....	200
6.5	COME RICAVARE IL DSI DIRETTAMENTE DALL'AOR .....	207
6.6	VANTAGGI DERIVANTI DAI DSI ESTRATTI DA UN'AOR.....	209

6.7	COME EVITARE LA GENERAZIONE DI LOOPS NELLA COSTRUZIONE DI ALBERI DEI GUASTI.....	210
6.7.1	Aspetti metodologici.....	210
6.7.2	Approccio empirico-formale.....	211
6.7.3	Approccio logico-sostanziale.....	214
6.8	BIBLIOGRAFIA .....	221
<b>7</b>	<b>RAPPRESENTAZIONI LOGICHE CAUSA-CONSEGUENZE.....</b>	<b>223</b>
7.1	VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA DI UN IMPIANTO AL VERIFICARSI DI GUASTI O MALFUNZIONAMENTI.....	223
7.2	L'ALBERO DEGLI EVENTI .....	224
7.3	DERIVAZIONE DI UN ALBERO DEGLI EVENTI DALL'AOR.....	227
7.4	ALTRI STRUMENTI LOGICO-PROBABILISTICI DI TIPO INDUTTIVO .....	232
7.4.1	L'Albero degli Eventi e il problema dell'esplosione binaria .....	232
7.4.2	L'Analisi Decisionale Dinamica Integrata .....	233
7.5	APOLOGO.....	238
7.6	BIBLIOGRAFIA .....	240
<b>8</b>	<b>STIMA DEL VERIFICARSI DI UN TOP EVENT .....</b>	<b>241</b>
8.1	CONDIZIONI DI APPLICABILITÀ DEGLI ALBERI DEI GUASTI .....	241
8.1.1	Ipotesi d'indipendenza stocastica tra gli eventi.....	243
8.1.2	Ipotesi di eventi «atemporali» .....	244
8.2	RISOLUZIONE NUMERICA DI UN FT .....	244
8.2.1	La porta logica NOT .....	244
8.2.2	La porta logica INH .....	245
8.3	OPERAZIONI SUGLI EVENTI .....	251
8.3.1	Somma logica .....	252
8.3.2	Prodotto logico.....	256
8.4	QUANTIFICAZIONE DELL'ALBERO DEI GUASTI .....	263
8.5	L'EVENTO ALEATORIO .....	267
8.6	INDIVIDUAZIONE GRAFICA DEGLI MCS .....	269
8.7	ERRORI PRODOTTI DAL MANCATO USO DELLA PORTA INH.....	272
8.8	UN ERRORE CHE DERIVA DALLA MANCATA APPLICAZIONE DEL TEOREMA DI DE MORGAN .....	290
8.9	BIBLIOGRAFIA .....	295
<b>9</b>	<b>L'ANALISI DEI RISCHI QUALE STRUMENTO DECISIONALE.....</b>	<b>297</b>
9.1	DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO .....	298
9.2	ANALISI QUANTITATIVA .....	301
9.3	DERIVAZIONE DEGLI ALBERI LOGICI.....	301
9.4	DISCUSSIONE DEI RISULTATI .....	303
9.5	ANALISI INTEGRATA QUALI-QUANTITATIVA.....	309
9.6	BIBLIOGRAFIA .....	311
<b>10</b>	<b>LA LOGICA DELLA PROBABILITÀ E I SUOI STRUMENTI APPLICATIVI.....</b>	<b>313</b>
10.1	RUOLO LOGICO DELLA TEORIA DELLA PROBABILITÀ.....	313
10.2	LO STRUMENTO PER LA DESCRIZIONE DI UN UNIVERSO DI EVENTI .....	316
10.3	UN ESEMPIO DI APPLICAZIONE PRATICA.....	325
10.3.1	Prima fase del modello: Descrizione del sistema .....	325

10.3.2	Seconda fase del modello: Stima della probabilità del verificarsi di un Top Event.....	333
10.3.3	Terza fase del modello: Introduzione degli aspetti fenomenologici.....	337
10.3.4	Considerazioni sull'Analisi dei rischi.....	346
10.3.5	Quarta fase del modello: Protezione per basso livello.....	351
10.4	CONCLUSIONI.....	356
10.5	BIBLIOGRAFIA .....	358

**APPENDICE A1**

MATRICE DECISIONALE API

**APPENDICE A2**

VALUTAZIONI PROBABILISTICHE CHE DIPENDONO DALLA MODALITÀ DELLA SPERIMENTAZIONE

**APPENDICE A3**

GRF PER RETI DI DISTRIBUZIONE GAS: STUDIO DI DISPONIBILITÀ

**APPENDICE A4**

GRF PER RETI DI DISTRIBUZIONE GAS: STUDIO DI SICUREZZA

**APPENDICE A5**

DOT CHART ANALYSIS

**APPENDICE A6**

ETHYLENE OXIDE REACTOR

**APPENDICE A7**

ESEMPLIFICAZIONE DI OR INCLUSIVO

**APPENDICE A8**

PREVISIONE DEL NUMERO DI SUCCESSI SU N PROVE EFFETTUATE

**APPENDICE A9**

PROBABILISTIC ANALYSIS OF TRANSIENT EVENTS BY AN EVENT TREE