

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PISA**  
**FACOLTA' DI INGEGNERIA**

**CORSO**  
**DI**  
**SICUREZZA ED ANALISI DI RISCHIO**

**(Prof. M. MAZZINI)**

*Diploma Universitario in Ingegneria Meccanica  
e in Ingegneria Logistica e della Produzione*

**a.a. 2000 - 2001**



## **DEDICA**

*A Enzo IANSITI<sup>+/</sup> amico e maestro indimenticato,  
ed a mia moglie, GIOVANNA, gioia e serenità della mia vita.*

## **RINGRAZIAMENTI**

Un doveroso riconoscimento è dovuto a Marco Nicola CARCASSI, Giancarlo FRUTTUOSO e Piero VIGNI, per la loro opera di revisione della bozza del testo ed i preziosi suggerimenti tesi a migliorarne la comprensibilità e la completezza.

Un sentito ringraziamento va a Dania Del Corso, che, con professionalità e pazienza, ha curato la redazione del testo, inclusa la veste tipografica, attraverso una serie di revisioni rese necessarie dalla limitatezza del tempo dedicato a questo impegno.

Marino MAZZINI

<b>INDICE</b>	<b>Pag.</b>
<b>DEDICA .....</b>	<b>I</b>
<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>II</b>
<b>ABBREVIAZIONI .....</b>	<b>V</b>
<b>1 - IL RISCHIO .....</b>	<b>1</b>
1.1 - CONCETTO DI RISCHIO E SUA EVOLUZIONE.....	1
1.2 - ARTICOLAZIONI DEL CONCETTO DI RISCHIO.....	4
1.3 - DATI DI RISCHIO IN VARIE ATTIVITÀ .....	6
1.4 - LA PERCEZIONE E L'ACCETTAZIONE DEL RISCHIO .....	10
1.5 - LINEE GUIDA DI PROTEZIONE DELL'UOMO E DELL'AMBIENTE.....	13
1.6 - UNA METODOLOGIA DECISIONALE OGGETTIVA .....	16
1.7 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	18
BIBLIOGRAFIA CAP. 1 .....	20
<b>2 - LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO .....</b>	<b>21</b>
2.1 - PROCEDURE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO .....	21
2.1.1 - Liste di controllo .....	21
2.1.2 - Analisi "what if?" .....	22
2.1.3 - "Hazard and Operability Analysis" (HAZOP) .....	25
2.1.4 - Indici di rischio .....	27
2.1.5 - Albero dei guasti .....	35
2.1.6 - Albero degli eventi.....	35
2.2 - METODOLOGIA GENERALE DI ANALISI DEL RISCHIO .....	39
BIBLIOGRAFIA CAP. 2 .....	44
<b>3 - APPLICAZIONI DELL'AFFIDABILITA' NELLE ANALISI DI SICUREZZA.....</b>	<b>45</b>
3.1 - DEFINIZIONI .....	46
3.2 - CLASSIFICAZIONE DEI GUASTI DEI COMPONENTI .....	47
3.3 - VALUTAZIONE DELLA AFFIDABILITA' DI COMPONENTI .....	49
3.4 - L'AFFIDABILITA' DI APPARECCHIATURE E SISTEMI DI PROTEZIONE E SICUREZZA.....	52
3.5 - VALUTAZIONE DELLA AFFIDABILITA' DI SISTEMI SEMPLICI .....	55
3.6 - L'INDISPONIBILITA' DI SISTEMI DI SICUREZZA E PROTEZIONE RIDONDANTI .....	59
3.7 - METODI PER LA ANALISI DELLA AFFIDABILITA' DI SISTEMI COMPLESSI .....	63
3.7.1 - Metodo dell'albero dei guasti.....	63
3.7.2 - Metodo dell'albero degli eventi .....	64
3.8 - CAUSE COMUNI DI GUASTO .....	66
3.8.1 - Analisi qualitativa .....	66
3.8.2 - Individuazione delle possibili CCF .....	67
3.8.3 - Quantificazione delle CCF .....	68
3.9 - L'AFFIDABILITA' UMANA .....	72
3.9.1 - Note introduttive.....	72
3.9.2 - Ricerca sistematica degli errori umani .....	75
3.10 - LE BANCHE DEI DATI DI AFFIDABILITA'.....	80
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI DEL CAP. 3 .....	85
<b>APPENDICE 1: RICHIAMO DI ELEMENTI FONDAMENTALI DI ALGEBRA BOLEANA .....</b>	<b>87</b>
<b>APPENDICE 2: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DELL'ALBERO DEI GUASTI AL SISTEMA DI PROTEZIONE PER ALTA PRESSIONE DI UN REATTORE CHIMICO.....</b>	<b>93</b>
<b>APPENDICE 3: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DELL'ALBERO DEGLI EVENTI AL SISTEMA DI APPENDICE 2 .....</b>	<b>97</b>

<b>4 - LA VALUTAZIONE DELLE CONSEGUENZE DEGLI INCIDENTI .....</b>	<b>99</b>
4.1 - NOTE INTRODUTTIVE .....	99
4.2 - LA DETERMINAZIONE DEL RILASCIO .....	102
4.2.1 - Rilasci istantanei.....	102
4.2.2 - Rilasci continui da serbatoio.....	106
4.2.3 - La formazione di un getto.....	112
4.2.4 - L'evaporazione da pozza.....	114
4.3 - LA DISPERSIONE ATMOSFERICA.....	116
4.3.1 - La dispersione atmosferica di gas neutrali .....	117
4.3.2 - La dispersione atmosferica di gas densi .....	123
4.4 - INCENDI ED ESPLOSIONI.....	126
4.4.1 - Incendi.....	126
4.4.2 - Esplosioni.....	128
4.5 - MODELLI DI VULNERABILITA'.....	132
4.5.1 - Sostanze tossiche.....	133
4.5.2 - Effetti fisici .....	134
BIBLIOGRAFIA CAP. 4.....	136
<b>5 - LA LEGISLAZIONE ITALIANA DI SICUREZZA INDUSTRIALE .....</b>	<b>137</b>
5.1 - NOTE INTRODUTTIVE .....	137
5.2 - LA LEGISLAZIONE DI SICUREZZA DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE.....	138
5.3 - IL D.LGS. 334/99 DI RECEPIMENTO DELLA DIRETTIVA EUROPEA "SEVESO II" .....	153
5.4 - LA NUOVA DISCIPLINA IN MATERIA DI SICUREZZA SUL LAVORO .....	166
5.4.1 - Note introduttive e collegamento con la normativa previgente .....	166
5.4.2 - Innovazioni fondamentali in tema di sicurezza e salute sul posto di lavoro .....	168
5.5 - LA VALUTAZIONE DEI RISCHI SUI LUOGHI DI LAVORO.....	173
5.6 - GLI ADEMPIMENTI DOCUMENTALI RICHIESTI DAL DECRETO LEGISLATIVO N. 626/1994 ....	178
ABBREVIAZIONI.....	188
NOTE BIBLIOGRAFICHE DEL CAP. 5.....	189
<b>6 - CONSIDERAZIONI FINALI .....</b>	<b>191</b>
6.1 - LOCALIZZAZIONE E VALUTAZIONE DEI DATI PER IL PROGETTO LEGATI AL SITO .....	192
6.2 - OTTIMIZZAZIONE E CONTROLLO DELLA SICUREZZA IN ESERCIZIO .....	193
6.3 - LIVELLO DI CULTURA DI SICUREZZA.....	196
6.4 - CONCLUSIONI.....	198
BIBLIOGRAFIA CAP. 6.....	199

## ABBREVIAZIONI

A.C.	= Autorità Competenti
AECB	= Atomic Energy Control Board
AIChE	= American Institute of Chemical Engineers
ASL	= Azienda Sanitaria Locale
BLEVE	= Boiling Liquid Expansion Vapour Explosion
CANDU	= CANadian Deuterium-Uranium reactor
CCF	= Common Cause Failures
CCR	= Centro Comune di Ricerca
CEE	= Comunità Economica Europea
CPI	= Certificato Prevenzione Incendi
D.Lgs.	= Decreto Legislativo
DL50	= Dose Letale per il 50% delle persone esposte
D.M.	= Decreto Ministeriale
DPCM	= Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri
DPR	= Decreto del Presidente della Repubblica
FE	= Frequenza di Esposizione al pericolo
FMEA	= Failure Modes and Effects Analysis
FMECA	= Failure Modes, Effects and Criticality Analysis
HAZOP	= HAZard and OPerability analysis
HEM	= Homogeneous Equilibrium Model
HRA	= Human Reliability Analysis
HRN	= Hazard Rating Number
IAEA	= International Atomic Energy Agency
ICRP	= International Commission for Radiological Protection
IDLH	= Immediately Dangerous to Life and Health
IEEE	= Institute of Electric and Electronic Engineers
INSAG	= International Nuclear Safety Advisory Group
JRC	= Joint Research Center
LDLXX	= Livello di Dose Letale per XX % delle persone esposte
LFL	= Lower Flammability Limit
MARS	= Major Accidents Reporting System

MCS	= Minimal Cut Set
MICA	= Ministero per l'Industria, il Commercio e l'Artigianato
MPL	= Massimo danno ipotizzabile
MTBF	= Mean Time Between Failures
MTTR	= Mean Time To Repair
NOP	= Nulla-Osta Provvisorio di prevenzione incendi
NP	= Numero di Persone esposte
NRC	= Nuclear Regulatory Commission
PE	= Probabilità di Esposizione al pericolo
SPP	= Servizio di Prevenzione e Protezione
STEL	= Short Term Exposure Limit
TLV	= Thresold Limit Value
TMI	= Three Miles Island
TNT	= Tri-Nitro-Tolnene
TWA	= Time Weighted Average
UFL	= Upper Flammability Limit
UK	= United Kingdom
UKAEA	= United Kingdom Atomic Energy Authority
USA	= United States of America
VIA	= Valutazione di Impatto Ambientale



## 1 - IL RISCHIO

### 1.1 - CONCETTO DI RISCHIO E SUA EVOLUZIONE

Il concetto di rischio è utilizzato nell'ingegneria per la quantificazione della sicurezza di una attività umana, di una installazione industriale, ecc.

Con il termine rischio, secondo una definizione di uso comune, si intende un danno o un pericolo incerto, cioè del quale in generale non è precisabile nè l'entità, nè il tempo di accadimento. Una tale definizione peraltro non è adatta allo scopo sopraccennato; gli ingegneri operano con e su grandezze fisiche, misurabili. In proposito è pertanto utile richiamare il concetto di rischio definito in economia e più precisamente, in economia delle assicurazioni nel XVIII secolo, quando si trattò di quantificare in termini monetari il premio che uno era disposto a pagare per garantirsi contro eventuali danni, cioè determinati rischi. Fu allora stabilito che sostanzialmente valeva il principio di equità:

**se X è un guadagno (o perdita) aleatorio e P la probabilità di X, l'importo certo che ogni persona è disposta a spendere per avere quel guadagno (o per coprirsi dal rischio di quella perdita) è dato dal prodotto di P per X; in formula:**

$$R = P \cdot X \quad (1.1)$$

Se invece di avere un unico valore di X, ne abbiamo N ed il generico  $X_i$  ha una probabilità  $P_i$  di verificarsi, si tratta di applicare la seguente relazione:

$$R = \sum_{i=1}^N P_i X_i \quad (1.2)$$

Più in generale, nel caso di distribuzione continua della probabilità di verificarsi del danno X, il rischio viene definito tramite l'integrale:

$$R = \int_0^A X f(X) dX \quad (1.3)$$

essendo  $dP(X) = f(X) dX$  la probabilità che il danno abbia un valore compreso fra X e  $X + dX$

ed A il valore massimo che X può assumere;  $f(X)$  è la densità di probabilità di danno (Fig. 1.1):

$$f(X) = \frac{dP(X)}{dX} \quad (1.4)$$

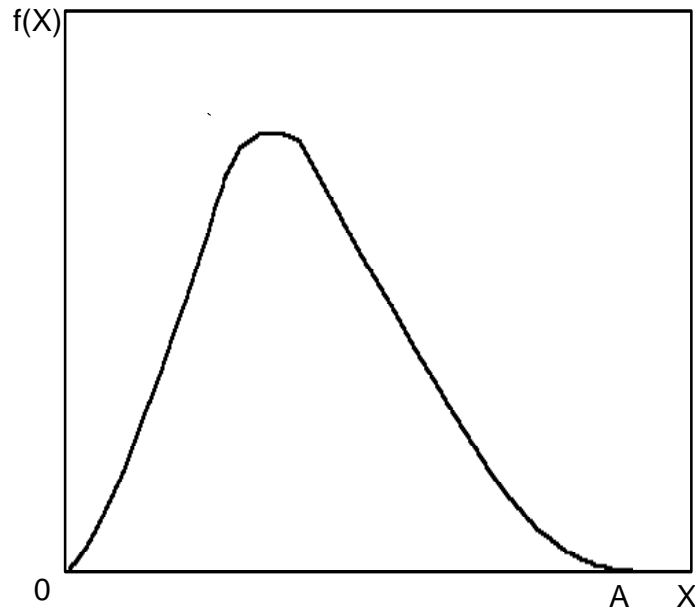


Fig. 1.1 - Andamento tipico della densità di probabilità di danno economico in funzione dell'entità di questo.

Secondo la precedente definizione, il rischio è la "speranza matematica" di un danno aleatorio o anche il valore atteso o il valor medio del danno.

Dall'economia delle assicurazioni il concetto fu esteso alla tossicologia ed epidemiologia agli inizi di questo secolo. In questo caso il rischio individuale, derivante da una determinata esposizione ad un agente dannoso, è eguale alla speranza matematica del danno derivante da tale esposizione. In questa estensione del concetto di rischio sono in generale implicite due statistiche: la prima riguardante la correlazione fra dose ed effetto dell'agente tossico, la seconda riguardante la distribuzione di tale agente fra la popolazione. Ad esempio, da queste statistiche è risultato che la probabilità di morire in conseguenza di una vaccinazione è in media  $10^{-6}$  per vaccinazione: su un milione di individui che subiscono la vaccinazione in media uno muore per tale causa.

Solo dopo la metà di questo secolo il concetto è stato esteso dalla tossicologia ed epidemiologia alla tecnologia. Una pietra miliare in proposito, per quanto concerne il nostro paese, può essere considerata la pubblicazione su L'INGEGNERE ITALIANO, nel numero di settembre 1964, dell'articolo: "Dal pericolo al rischio, una svolta storica".

Un altro esempio, negli stessi anni, è la proposta di criteri probabilistici di sicurezza in campo nucleare, da parte di Farmer in UK /1/ ed Etherington in USA. Criteri probabilistici trovarono una prima codificazione legislativa in Canada /2/, per l'autorizzazione all'esercizio degli impianti nucleari sviluppati in quel paese (CANDU).

In campo tecnologico, supposte note la frequenza di un determinato evento dannoso e le conseguenze di questo evento, si definisce rischio il prodotto della frequenza (assunta come probabilità di avere quelle determinate conseguenze) per queste conseguenze. Con un'ulteriore estensione e per applicazioni relative all'accettabilità del rischio, tale definizione è modificata secondo la seguente relazione:

$$R = P.F(C) \tag{1.5}$$

essendo  $F(C)$  una funzione delle conseguenze crescente più che linearmente al crescere di queste. Sono state realmente proposte /1/ o applicate /3/ relazioni del tipo:

$$F(C) = C^n \tag{1.6}$$

L'esponente  $n$  di questa equazione è di norma eguale ad uno, quando si considerano rischi individuali. Tutte le volte che il rischio diventa sociale, cioè c'è la possibilità che le conseguenze non riguardino singole persone, ma decine, centinaia o migliaia di persone,  $n$  è maggiore di uno ( ad es. 1.5 in /1/ e 2 in /3/). Motivi psicologici hanno un effetto amplificatore del rischio reale e ciò si traduce in definitiva in un maggiore peso delle conseguenze sociali rispetto a quelle individuali.

## **1.2 - ARTICOLAZIONI DEL CONCETTO DI RISCHIO**

Il concetto di rischio delineato nel precedente capitolo presenta una serie di sfaccettature, che a questo punto è opportuno evidenziare.

Una prima distinzione cui si è già accennato è quella fra rischi individuali e rischi sociali; l'aggettivo "sociale" indica che il rischio è corso da una comunità o da un gruppo di persone contemporaneamente. In questo caso l'entità globale del danno diventa importantissima.

Mentre non fa quasi alcuna impressione lo stillicidio di morti in incidenti automobilistici (7.000 morti all'anno nel nostro Paese!), avviene il contrario per la caduta di un aereo in cui muoiono 100/200 persone: eppure il rischio individuale di morire per incidente aereo è, a parità di percorso, inferiore a quello per incidente di auto.

L'energia nucleare, conosciuta in tutto il mondo per le conseguenze delle bombe di Hiroshima e Nagasaki, è nata con il marchio della paura per i danni sociali eventualmente connessi con il verificarsi di incidenti. La campagna di stampa contro le centrali elettriche alimentate a carbone e ad olio combustibile è paragonabile a quella contro le centrali nucleari? Eppure ogni anno negli Stati Uniti la morte di 50.000 persone è da attribuire direttamente o indirettamente agli scarichi nell'atmosfera di SO<sub>2</sub>, di particelle e di altri inquinanti per l'uso del carbone, degli oli pesanti, ecc.

Questi esempi offrono l'occasione per un'ulteriore distinzione in campo tecnologico fra due tipi di rischi: "diffusi" e "concentrati o catastrofici". Nel primo caso si tratta in realtà di danni derivanti dalle emissioni, pressochè continue, di inquinanti, aventi caratteristiche e con modalità tali da provocare l'insorgenza di effetti dannosi in una larga fetta di popolazione o nell'insieme di questa; ciò che è aleatorio è il luogo, il tempo di accadimento, le singole persone che saranno colpite, ma il loro verificarsi è certo. Nel secondo caso si tratta invece di eventi imprevedibili (ma non imprevedibili), che si manifestano all'improvviso esplicando i loro effetti su gruppi più o meno concentrati di popolazione.

Infine è opportuno evidenziare un'altra sfaccettatura del concetto di rischio: la distinzione fra rischi volontari ed involontari.

Una medesima persona accetta spesso volontariamente rischi che sono molto più elevati (anche di ordini di grandezza) di altri impostigli dalla società in senso lato (Fig.

1.2). Esempi classici di questo tipo sono il rischio derivante dal fumo, dall'esercizio di attività sportive pericolose, ecc., in confronto con quello derivante dall'esercizio di attività industriali in vicinanza della propria residenza o più in generale connesso con l'attuazione di progetti di pubblica utilità. Giocano un ruolo fondamentale in questo tipo di comportamento, apparentemente irrazionale, una serie di fattori, fra cui principalmente la conoscenza del processo dannoso, la possibilità (talvolta l'illusione) di esercitare un diretto controllo su tale processo modificandone gli esiti finali (almeno nel senso di limitare il danno), la percezione di un beneficio (spesso solo di tipo psicologico) individuale, personalizzato, derivante dal processo, che invece manca nel caso dei rischi involontari, ecc.

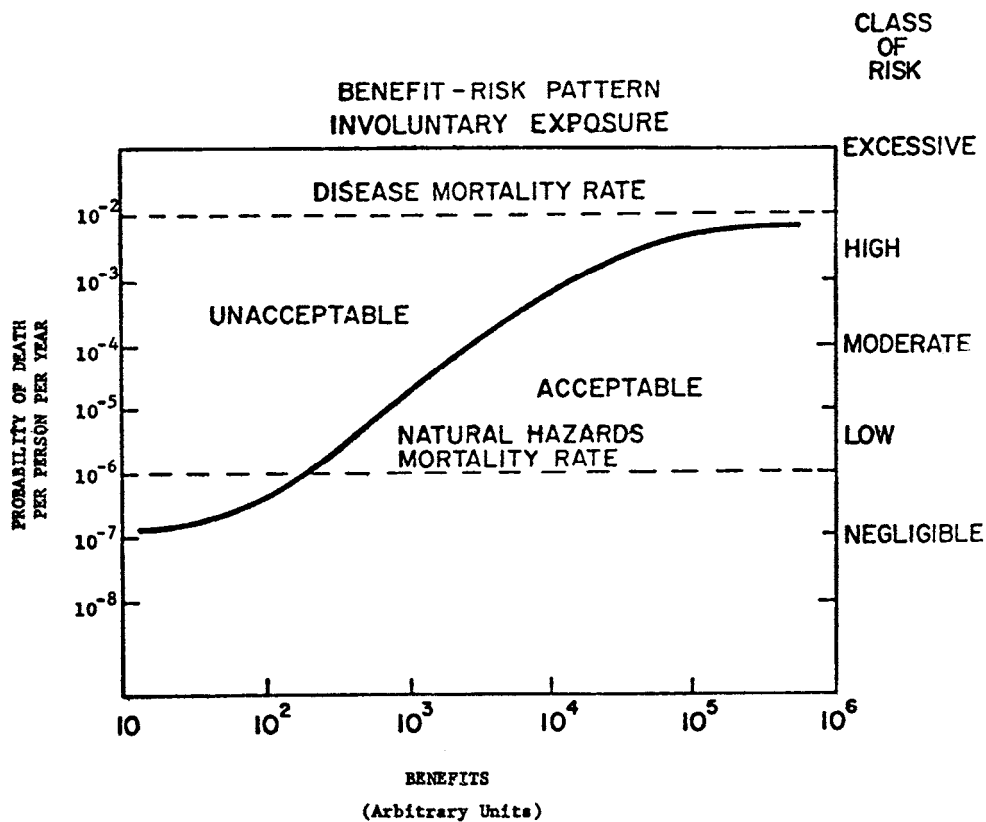


Fig. 1.2 - Andamento qualitativo delle curve di accettabilità del rischio in funzione dei benefici attesi (ripresa da "The Safety of Nuclear Power Reactors and Related Facilities" US NRC, 1973).

### 1.3 - DATI DI RISCHIO IN VARIE ATTIVITÀ

Ciascuno di noi, per il fatto di vivere su questa terra, è soggetto, volente o nolente, a rischi di vario tipo, naturali ed artificiali. Ad es. il rischio di morte accidentale è complessivamente  $\sim 5 \cdot 10^{-4}$  per anno, il che significa che su 100.000 abitanti in media in un anno ne muoiono 50 per incidenti di auto, cadute, scoppi di gas, incendi, ecc.

Una persona che non volesse rischiare, e che quindi si sottraesse volontariamente a tutta una serie di rischi (auto, elettricità, ecc.), difficilmente riuscirebbe a ridurre il rischio di morte accidentale al di sotto di  $10^{-5}$  per anno (per fulmini, avvelenamento per cause naturali, ecc.).

La Tab. 1.1 riporta le stime della spesa necessaria a salvare una vita umana in vari settori di attività: ne risultano differenze enormi, assolutamente irrazionali.

Dati di rischio estremamente significativi sono riportati nelle Tabb. 1.2 ÷ 1.4. Tali tabelle presentano essenzialmente gli stessi dati in maniera diversa:

- in Tab. 1.2 il rischio è quantificato in equivalente accorciamento medio della vita;
- in Tab. 1.3 sono messe a confronto diverse attività in modo da avere un rischio di morte di  $10^{-6}$ ;
- in Tab. 1.4 sono presentate diverse decisioni comportanti lo stesso rischio di morire in USA (principalmente per cancro).

Quest'ultima è probabilmente la tabella più significativa e conferma, da un altro angolo di visuale, quanto affermato a proposito della Tab. 1.1: c'è ancora molto da fare per un'equilibrata ripartizione dei rischi all'interno di una stessa società, per non parlare delle differenze fra paese e paese.

Per concludere questo capitolo è importante focalizzare l'attenzione sulla Fig. 1.3 e sulla Tab. 1.5, che evidenziano ulteriormente le considerazioni già svolte.

In particolare risultano evidenti:

- l'estrema piccolezza dei rischi con gli usi pacifici dell'energia nucleare (gli impianti nucleari in USA vengono progettati in modo da aggiungere non più dell'1% al rischio di morte accidentale mediamente corso dai cittadini di tale paese);
- la preponderante incidenza dei rischi da fumo, abitudini alimentari, ecc. nel rischio complessivo di morte per cancro corso da ciascuno di noi.

<b>SETTORE</b>	<b>SPESE (\$)</b>
AIUTI A PAESI SOTTOSVILUPPATI	100 - 5000
MEDICINA	30.000
COSTRUZIONE DI STRADE	80.000
PROGETTO DI AUTO	200.000
PROTEZIONE SANITARIA CONTRO LE RADIAZIONI IONIZZANTI	100.000.000
DA B.L. COHEN, HEALTH PHYSICS	

Tab. 1.1 - Mezzi finanziari necessari per salvare una vita umana.

<b>DECISIONE</b>	<b>ACCORCIAMENTO DELLA VITA (MINUTI)</b>
ACQUISTO DI UNA PICCOLA VETTURA	7000
NON ADEMPIMENTO DI VISITE MEDICHE E MISURE PREVENTIVE CONTRO IL CANCRO	6000
VIAGGIO DI 5000 KM IN AUTO	1000
VIAGGIO DI 5000 KM IN AEREO	100
DESSERT DI GELATO	50
FUMARE UNA SIGARETTA	10
10 $\mu$ Sv DI RADIAZIONI (DOSE ANNUA MEDIA AL DI FUORI DEL SITO DI UN REATTORE NUCLEARE)	1.5
ATTRAVERSAMENTO DI UNA STRADA	0,4
DA W. SCHOLLER, REAKTORTAGUNG 1980	

Tab. 1.2 - Abbreviazione della probabile sopravvivenza a causa di singole decisioni.

ATTIVITA'	QUANTITA'
FUMO	1,5 SIGARETTE
VIAGGIO IN AUTO	80 KM
VIAGGIO IN AEREO	400 KM
SCALATA	90 S
CANOA	6 MIN
LAVORO NELL'INDUSTRIA	1 - 2 SETTIMANE
DA R. FARMER, ATOM 282 APRIL 1980	

Tab. 1.3 - Confronto fra varie attività con un rischio di morte di  $10^{-6}$  (un caso su un milione).

QUANTITA'	ATTIVITA' O DECISIONE	CAUSA DELLA MORTE
1,4 SIGARETTE	FUMO	CANCRO, MALATTIA CARDIOVASCOLARE
2 MESI	VITA CON UN FUMATORE	CANCRO, MALATTIA CARDIOVASCOLARE
0,5 LITRI	VINO	CIRROSI DEL FEGATO
10 CUCCHIAIATE	BURRO DI ARACHIDE	CANCRO AL FEGATO DA AFLOTOSSINA
5 LITRI	ACQUA DI MIAMI (FLORIDA)	CANCRO DA CLOROFORMIO
30 SCATOLE	DI ACQUA DI SELTZ	CANCRO DA SACCARINA
2 MESI	VITA IN CASE DI PIETRA O DI MATTONI	CANCRO DA RADIOATTIVITA'
2 MESI	IN VISITA A DENVER	CANCRO DA RAGGI COSMICI
5.000 KM	VIAGGIO IN JET	CANCRO DA RAGGI COSMICI
1 MESE	LAVORO IN RADIODIAGNOSTICA	CANCRO DA RADIAZIONI
20 ANNI	VITA VICINO AD UNA FABBRICA DI PVC	CANCRO DA VINILCLORURO
1 GIORNO	VITA IN NEW YORK O BOSTON	INQUINAMENTO DELL'ARIA
3 H	LAVORO IN UNA MINIERA DI CARBONE	INCIDENTE
1 H	LAVORO IN UNA MINIERA DI CARBONE	PNEUMOCONIOSI
1600 KM	VIAGGIO IN JET	INCIDENTE

Tab. 1.4 - Confronto fra diverse attività o decisioni comportanti un rischio di morte di  $10^{-6}$  in USA.



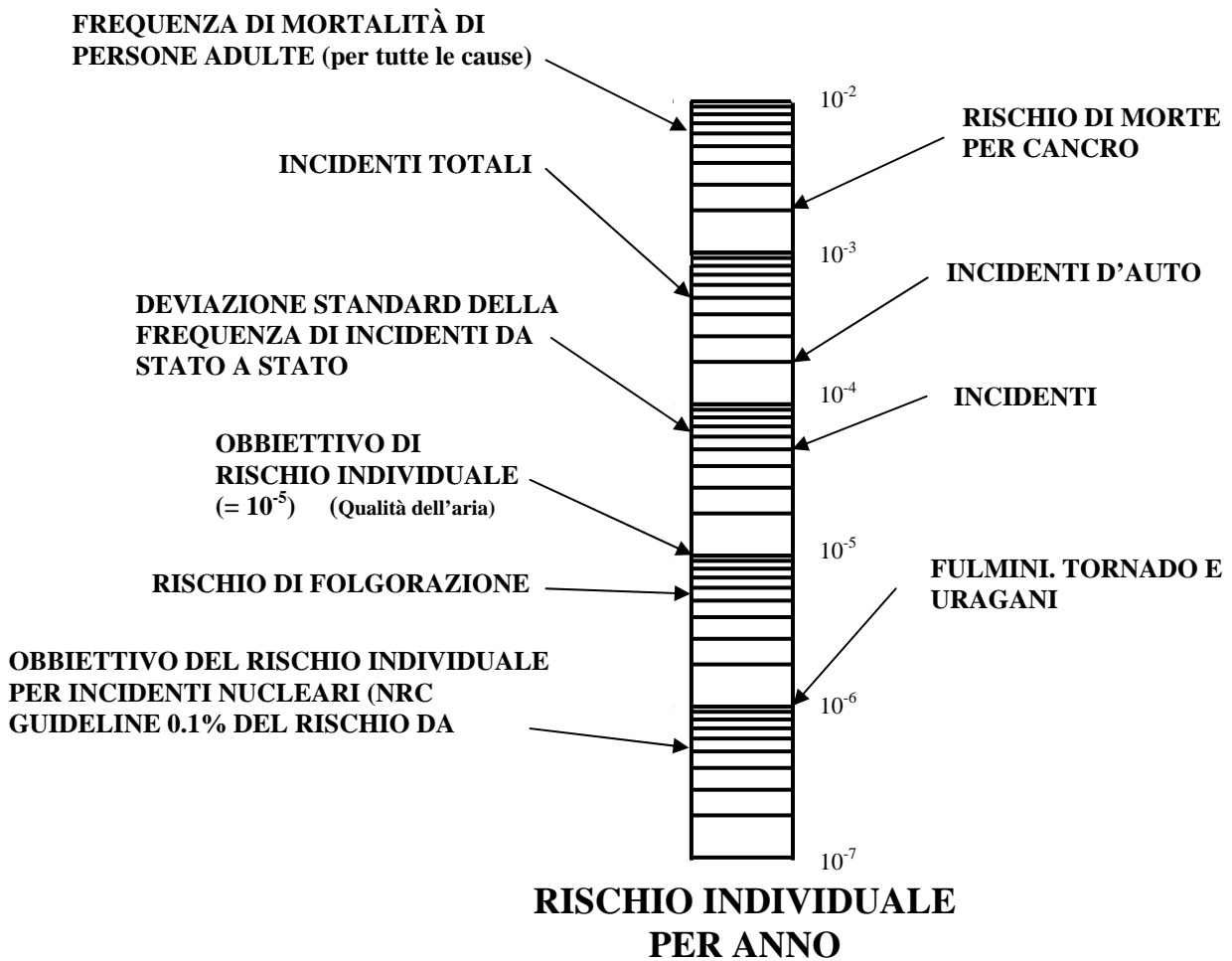


Fig. 1.3 - Confronto fra rischi medi di mortalità in USA

FATTORE O CLASSE DI FATTORI	Percentuale di tutte le morti per tumori	
	STIMA	RANGE
Tabacco	30	25-40
Alcool	3	2-4
Dieta	35	10-70
Additivi alimentari	1	5-2 <sup>(*)</sup>
Comportamento sessuale e riproduttivo	7	1-12
Occupazione	4	2-8
Inquinamento	2	1-5
Prodotti industriali	1	1-2
Farmaci e attività mediche	1	0,5-3
Fattori geofisici <sup>(**)</sup>	3	2-4
Infezioni	10?	1-?

Tab. 1.5 - Proporzioni di morti per cancro attribuibili a differenti fattori (da Dodi e Peto,

(\*) Tenendo conto del possibile effetto protettivo degli antiossidanti e di alcuni conservanti.

(\*\*) Solo l'1% sarebbe evitabile; è anche da notare che tali fattori sono causa di un gran numero di tumori non letali (ad es. melanoma).

1981).

#### 1.4 - LA PERCEZIONE E L'ACCETTAZIONE DEL RISCHIO

La discussione svolta nei precedenti paragrafi ha evidenziato diversi casi in cui aspetti di tipo psicologico intervengono a modificare, talvolta anche pesantemente, il rischio definito dalle relazioni (1.1) ÷ (1.3), amplificandone di molto la portata in alcuni casi e riducendola in altri.

Problemi di percezione del rischio derivano dall'interazione fra tre entità (Fig. 1.4):

- la situazione obiettivamente rischiosa, cioè in cui sono possibili effetti dannosi, con una determinata probabilità di verificarsi;
- le persone a rischio, con la loro cultura, abitudini, emozioni, ecc.;
- il contesto sociale in cui tali persone vivono.

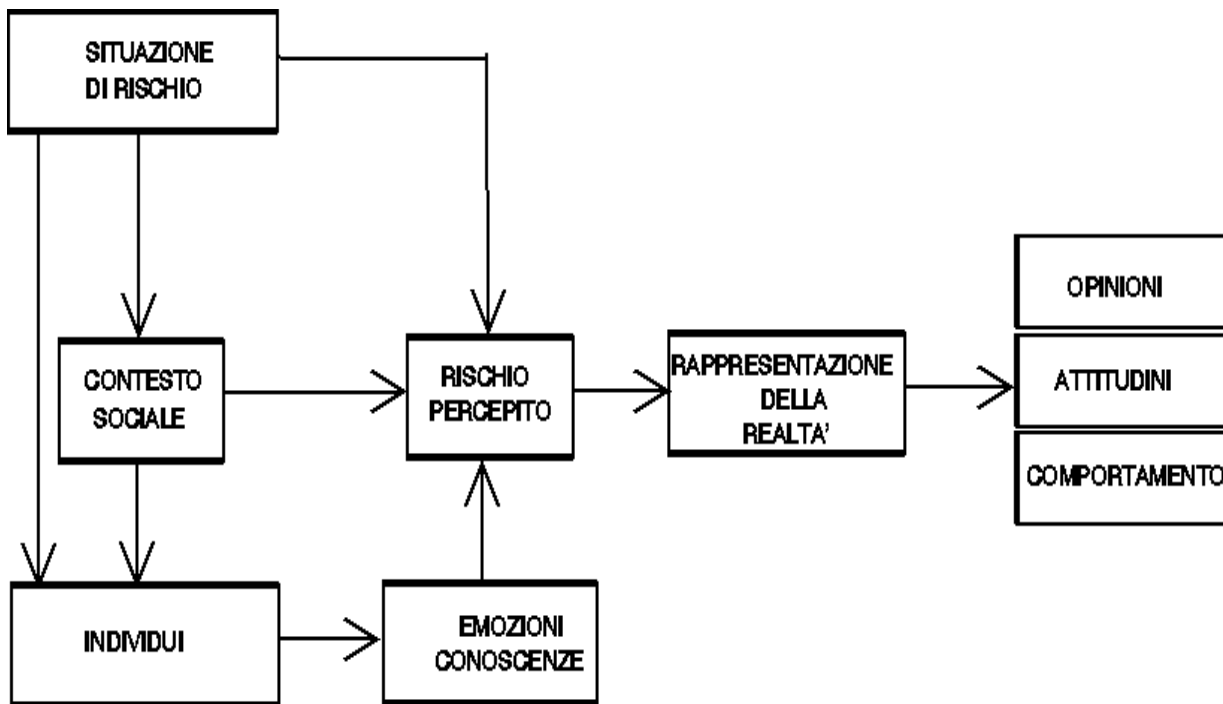


Fig. 1.4 - Schema di base sulla percezione del rischio

Sono questi ultimi fattori culturali e sociali, che in definitiva determinano il rischio percepito, più che le grandezze che ne consentono una valutazione tecnica.

La differenza fra rischio vero e percepito è evidenziata nella Fig. 1.5 che non necessita di molti commenti. Nel determinare la differenza tra valore percepito e

stima tecnica di un certo rischio, il ruolo principale è svolto dal grado di familiarità, cioè di

Fig. 1.5 -Confronto fra rischi percepiti e tecnicamente stimati.

conoscenza, con l'attività in questione che hanno le persone coinvolte. Altri fattori psicologici, magari di tipo emotivo, hanno comunque un'influenza non trascurabile (Fig. 1.6). Questi fatti non possono essere trascurati, nè liquidati "tout-court" come irrazionali e quindi imprevedibili, ingestibili. Infatti, ai fini dell'accettabilità di un rischio, non è la sua entità ad essere importante, quanto la percezione che di questo ha la popolazione e di conseguenza le autorità pubbliche, che dal consenso di quella sono legittimate.

Di tutto ciò si può tener conto, sviluppando modelli di accettazione del rischio che considerano la scala di valori della popolazione o dei gruppi coinvolti o interessati alla decisione. In definitiva, l'uso di un esponente maggiore di 1 nella relazione (1.6) corrisponde all'esplicita considerazione di fattori psicologici nella percezione di rischi sociali, involontari, al fine della determinazione del livello di rischio accettabile.

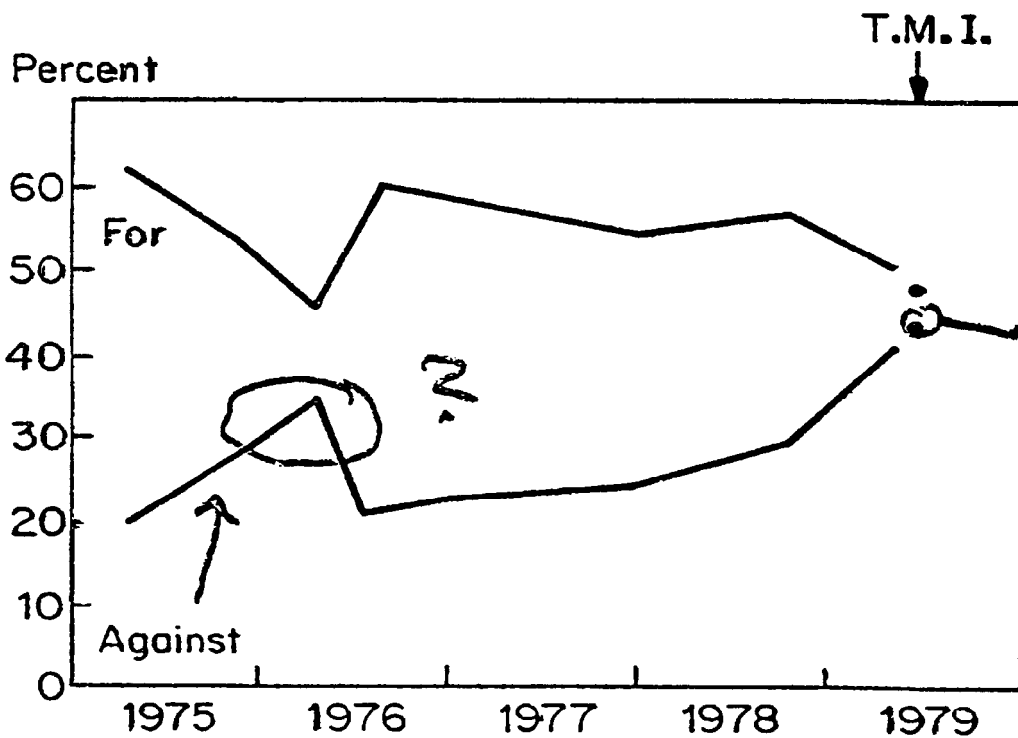


Fig. 1.6 - Curve di accettazione ed opposizione alle centrali nucleari in funzione del tempo, in USA.

## 1.5 - LINEE GUIDA DI PROTEZIONE DELL'UOMO E DELL'AMBIENTE

La protezione dell'uomo e dell'ambiente è chiaramente una questione di assoluta priorità, anche rispetto allo sviluppo economico, nelle moderne civiltà occidentali, non solo per migliorare la qualità della vita, ma addirittura per garantire la conservazione della vita. Gli appelli e gli allarmi su tale argomento vanno facendosi sempre più frequenti e preoccupati.

E' questo un tema di chiara responsabilità politica, cioè dei rappresentanti del popolo, che devono decidere i livelli di rischio e di inquinamento accettabili per tutte le attività.

A titolo di esempio si riportano in Fig. 1.7 le curve di rischio adottate dall'Ente di Controllo in Olanda nello studio di rischio dell'area di Rotterdam /3/, per quanto concerne sia il rischio individuale (singole persone) che quello sociale (gruppi più o meno grandi di persone). L'esame della Fig. 1.7 evidenzia che in entrambi i casi sono definiti due livelli di rischio:

- superiore, corrispondente alla soglia di inaccettabilità, qualunque siano i benefici attesi dallo sviluppo dell'attività;
- inferiore, accettabile senza riserve; corrisponde al principio del "de minimis" di latina memoria e quindi al caso in cui spendere altro tempo o altro denaro per ridurre ulteriormente il rischio è uno spreco indebito di risorse.

Queste risorse sono chiaramente limitate e da usare oculatamente; a tale scopo nello spazio tra le due curve, è previsto un processo di ottimizzazione nell'impiego delle risorse, secondo una metodologia le cui basi saranno poste nel prossimo capitolo.

Ci si è soffermati nell'analisi della Fig. 1.7 perchè essa illustra una maniera razionale di procedere, da estendere anche alla problematica dell'inquinamento (immissione di materia o energia nell'ambiente) da qualsiasi fonte. Anche in questo ambito dovrebbero essere indicati due limiti:

- uno superiore, con inaccettabilità del suo superamento, corrispondente a livelli fissati da normative nazionali o internazionali, in base al quadro ecologico complessivo del Paese o del mondo;
- uno inferiore, corrispondente a variazioni non superiori a qualche % del valore di fondo naturale preesistente lo sviluppo industriale dell'occidente, a cui si applica il principio del "de minimis".

Fra i due limiti, ancora una volta, dovrebbe essere operata un'ottimizzazione nell'uso delle risorse umane ed economiche disponibili.

Il riferimento alla situazione naturale preesistente l'era industriale merita qualche commento e approfondimento.

A tale situazione naturale l'uomo e più in generale la biosfera che lo circonda è certamente adatto e si è adattato in milioni di anni di preistoria e storia dell'umanità. Nella quasi completa ignoranza degli effetti ambientali che le azioni umane provocano o potrebbero provocare in futuro, situazione caratteristica di quasi tutte le attività umane a rilevante impatto ambientale, solo il costante riferimento alle condizioni naturali e la loro conservazione entro i limiti ristretti può garantire l'assenza di effetti catastrofici, imprevisti e imprevedibili. Ora, la situazione naturale preesistente è nota o può essere rilevata per tutti i parametri fisici (temperatura, livello di rumore, dose da radiazioni, campo elettrico e campo magnetico terrestre, ecc.) e chimici (concentrazione delle varie sostanze nelle matrici fondamentali dell'ecosistema: aria, acqua, suolo). Tale analisi consente di rilevare non solo il valor medio dei parametri, ma anche le deviazioni da tale valor medio che si hanno naturalmente in conseguenza della variabilità delle situazioni sulla Terra. Si pensi, ad es., alla variazione della dose da radiazioni ionizzanti da punto a punto per effetto dell'altitudine, della natura del terreno e dei materiali di costruzione delle abitazioni, ecc.; un altro esempio è la concentrazione di ossidi di zolfo, naturalmente variabile in conseguenza della presenza di vulcani o solfatare, effluenti geotermici, ecc. Una tale conoscenza dell'ecosistema costituisce in ogni caso il quadro di riferimento per la definizione dei suddetti livelli di accettabilità senza riserve e di inaccettabilità assoluta dell'inquinamento, secondo le linee sopraccennate.

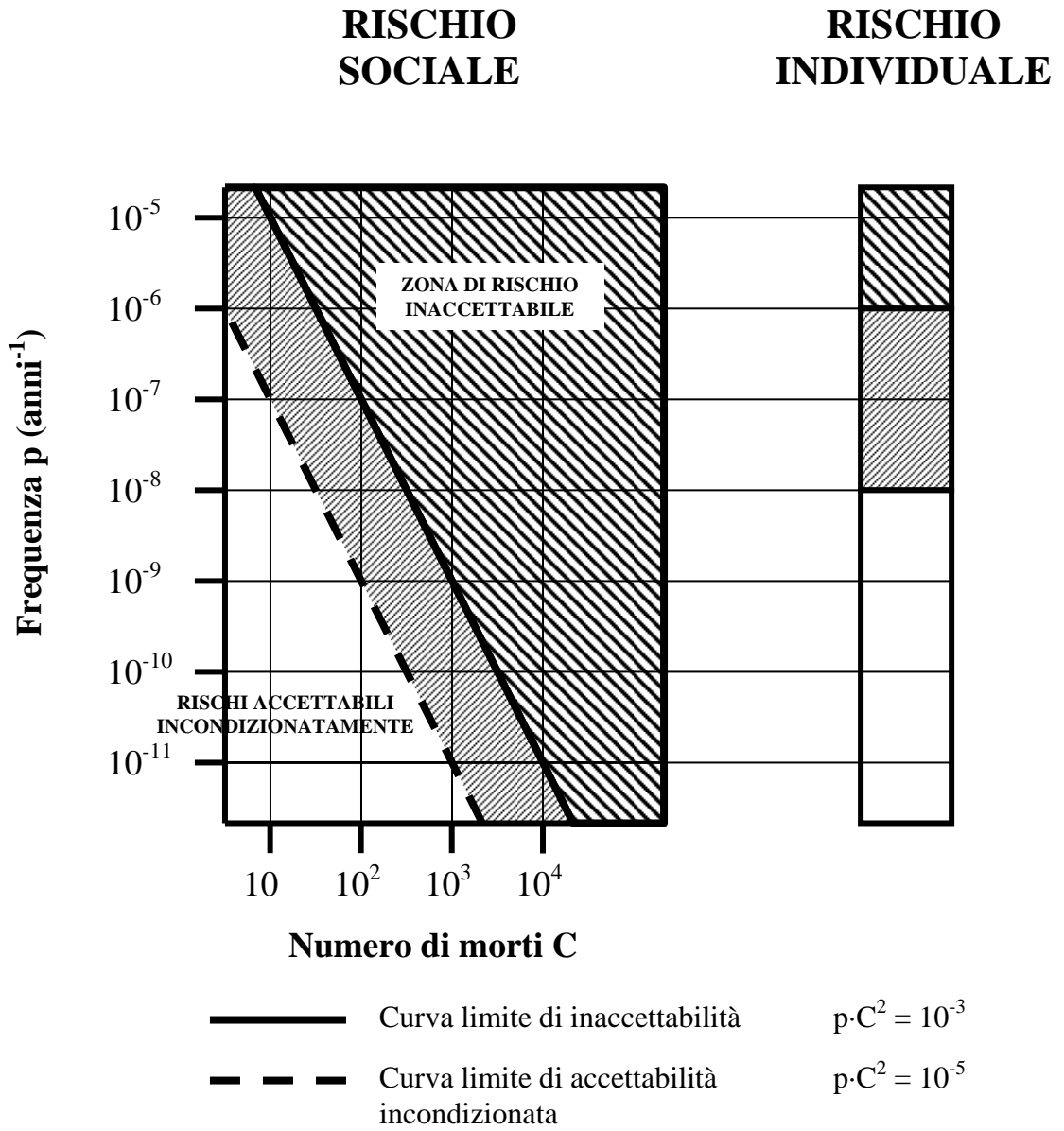


Fig. 1.7 - Curve limite di rischio adottate in Olanda

## **1.6 - UNA METODOLOGIA DECISIONALE OGGETTIVA**

L'intrapresa di una qualsiasi attività ad impatto ambientale non trascurabile dovrebbe essere autorizzata soltanto se è verificato il soddisfacimento di tre principi fondamentali, in analogia a quanto fatto per l'uso pacifico dell'energia nucleare:

### **1) Limitazione**

In nessun caso è ammissibile un'attività che, al di fuori dell'area di esercizio esclusivo della stessa, porti ad un inquinamento o a rischi per la popolazione superiori ai limiti di inaccettabilità.

### **2) Giustificazione**

Lo sviluppo dell'attività deve portare un beneficio netto e tangibile alla comunità.

### **3) Ottimizzazione**

La soluzione autorizzata per l'intrapresa deve essere quella ottimale, cioè ottimizzata quanto a consumo di risorse (ambientali, economiche, ecc.) fra le diverse soluzioni possibili prese in considerazione.

All'interno dell'area di esclusivo esercizio dell'attività (di proprietà e completa responsabilità dell' esercente) sono ammissibili limiti superiori di inquinamento e di rischio, riferendosi questi a personale professionalmente esposto; ciò ovviamente nel rispetto di un quadro di riferimento equilibrato per tutte le attività lavorative.

Le metodologie per verificare il soddisfacimento degli ultimi due principi sopraenunciati (il primo è implicito e dovrebbe essere ovvio riferendosi ad obblighi di legge) sono ormai sufficientemente ben definite ed oggetto di legislazione in materia di protezione dell'uomo e dell'ambiente:

- l'analisi costi-rischi benefici, introdotta dall'Ente di controllo dell'energia nucleare (NRC) per soddisfare i requisiti del National Environmental Policy Act, entrato in vigore in USA il 1/1/1970;
- la valutazione di impatto ambientale prevista anche nella direttiva europea di VIA,



pubblicata sulla Gazzetta della CEE il 5/7/1985.

A tali documenti fondamentali ed all'ampia bibliografia disponibile sull'argomento si rimanda per i dettagli: metodologie concretamente applicabili, problematiche ancora aperte (ad es. criteri per stabilire la scala degli effetti su ciascun carattere ambientale, per assegnare il peso relativo ai vari caratteri ambientali, ecc.).

A questo proposito occorre richiamare ancora una volta, a livello metodologico, come si opera in campo nucleare (ad es. vedasi il rapporto ICRP 26 per la concreta applicazione dei principi sopracitati in radioprotezione). E' infatti viva e fondata, nell'ambito tecnico ed industriale, la preoccupazione di limitare la discrezionalità del potere decisionale, particolarmente locale, anche per non creare situazioni di difformità di comportamento sul territorio nazionale, che dipendano dall'emotività del momento o siano dettate dalla demagogia.

## **1.7 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Per concludere questa introduzione alla problematica del rischio connesso con attività industriali, sembra opportuno soffermarsi brevemente sulla lezione derivata dai principali incidenti verificatisi nel recente passato e quindi sui principali problemi tuttora aperti in questo campo.

La breve disamina di alcuni dei principali incidenti riportata nel documento /4/ indica chiaramente che il loro verificarsi e le loro conseguenze sono il risultato di una serie di carenze, principalmente di pianificazione e gestione delle attività.

Ovviamente la causa iniziatrice dell'incidente è talvolta riconducibile ad un errore di progettazione, ad un difetto di costruzione, all'uso di strumentazione inadeguata, ma in ogni caso, se non come causa iniziatrice, certamente come aggravanti dell'incidente, hanno giocato un ruolo fondamentali "errori" umani dovuti essenzialmente a carenze di pianificazione e gestionali, cioè di garanzia della qualità. E' questa una conclusione a cui l'industria militare e quella nucleare sono giunte da decenni e che ormai va estendendosi a tutte le attività industriali. In questo campo devono quindi essere fatti gli sforzi maggiori. Mancando una chiara indicazione in proposito nella legislazione, la sola via possibile è quella della creazione di una cultura della qualità, che si imponga per i vantaggi, anche economici, che ne derivano all'industria che la fa propria e la attua come normale modo di svolgimento della propria attività.

Altre questioni, più squisitamente tecniche, sono tuttora aperte nel campo della valutazione del rischio industriale.

In aggiunta a quanto accennato nel precedente paragrafo, ad esempio si può brevemente citare la valutazione delle incertezze insite nell'analisi di rischio, che in definitiva ne possono inficiare il valore come strumento decisionale per l'accettazione dell'attività. Certamente l'analisi di rischio rimane in ogni caso uno strumento valido ed insostituibile per:

- l'ottimizzazione dell'uso delle risorse all'interno di una azienda, con l'individuazione di componenti e sistemi critici dal punto di vista della sicurezza;
- il confronto fra varie possibili soluzioni, tenendo conto di eventuali diverse possibili localizzazioni dell'impianto in cui sviluppare l'attività.

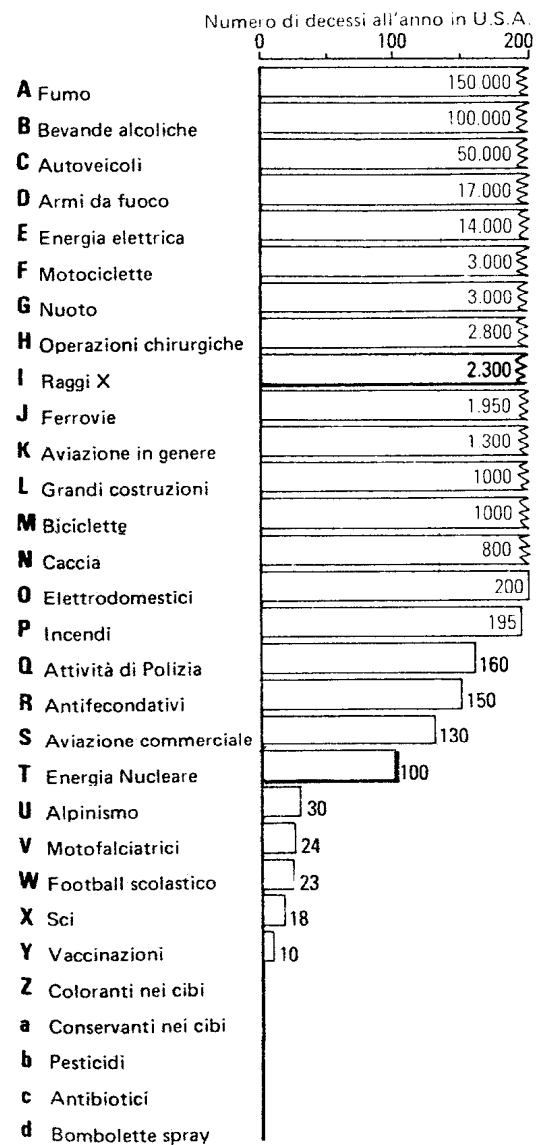
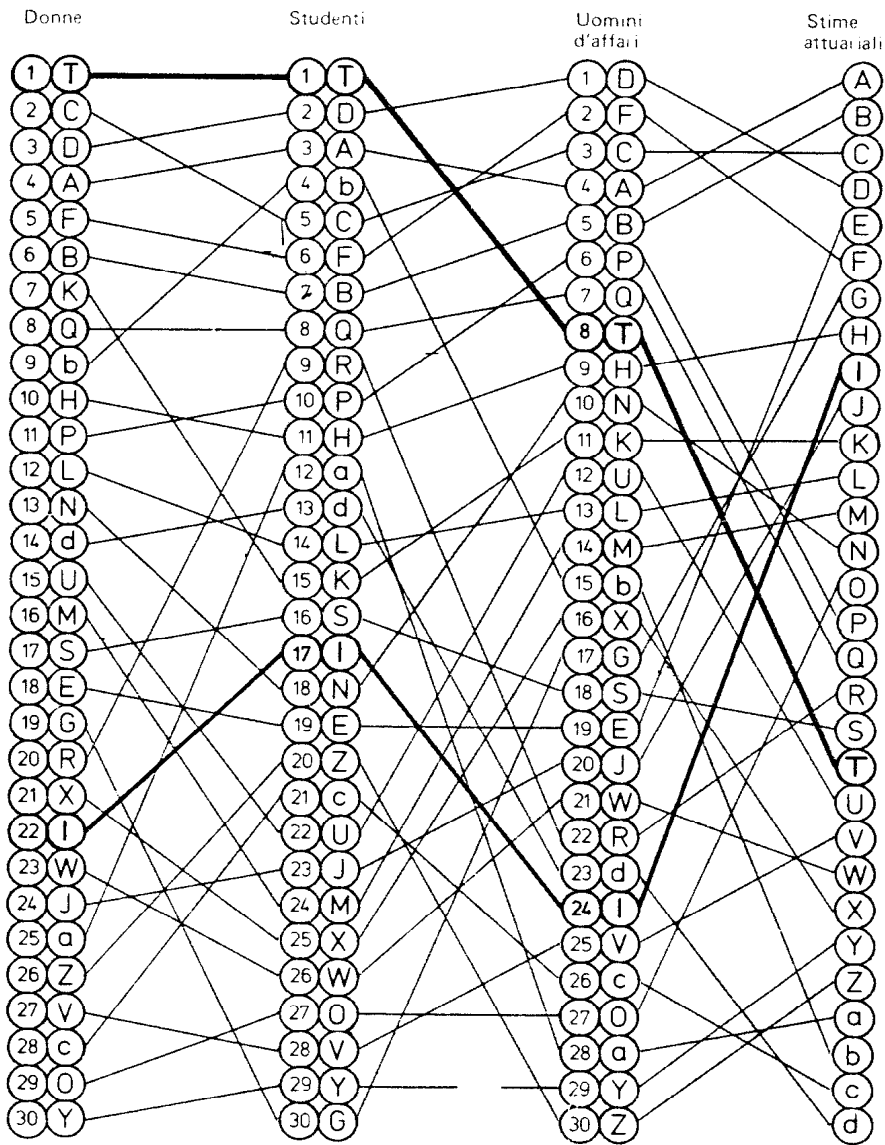
Il problema della accettazione del rischio è invece più complesso, giocando un ruolo

fondamentale anche fattori di tipo psicologico ed emotivo. Si ritiene peraltro che il problema non possa essere risolto se non attraverso la definizione di **obiettivi di sicurezza (safety goals)** validi per tutte le attività, definiti a priori, in modo che sia possibile stabilire con sufficiente chiarezza cosa è accettabile e cosa non lo è e/o necessita interventi migliorativi.

L'esempio olandese potrebbe essere un'utile base di partenza a questo proposito. Nel documento /5/ sono indicati anche criteri che potrebbero guidare la scelta di tali obiettivi in maniera chiara, trasparente e comprensibile a tutti.

## **BIBLIOGRAFIA CAP. 1**

- 1) FARMER: "Siting Criteria - A New Approach" - IAEA Conference on Containment and Siting. Vienna, April 3-7, 1967, SM - 89/34.
- 2) C. LAWRENCE: "Nuclear Power Safety in Canada" - Report AECB 1058. Ottawa, January 1972.
- 3) J. ALE: "Risk Analysis and Safety Policy" - Direzione Generale della Protezione Ambientale del Governo Olandese. L'AIA, 1986.
- 4) G. DROGARIS: "Major Accident Reporting System. Lesson Learned from Accidents Notified" - CCE Report EUR 13385EN. Ispra JRC, 1991.
- 5) M. MAZZINI: "Linee guida per la protezione dell'uomo e dell'ambiente, per la definizione di un nuovo modello di sviluppo". Atti dell'Ist. di Impianti Nucleari dell'Università di Pisa. RP 448 (80). Pisa, 1980.





## **2 - LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

### **2.1 - PROCEDURE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO**

Una rassegna completa e sistematica delle procedure di valutazione qualitativa e/o quantitativa del rischio da incidenti in impianti chimici è riportata nella "Guida alle procedure di valutazione del rischio" preparata dal Battelle Laboratory per l'American Institute of Chemical Engineers /1/. La tabella 2.1, ricavata da /1/, elenca tutte le procedure descritte in tale Guida. La Guida descrive gli scopi di ciascuna procedura, le modalità di applicazione, il tipo e la natura dei risultati ottenibili; si danno anche indicazioni sul relativo campo di applicazione e sui requisiti in termini di dati, personale, tempi e costi.

Nel seguito l'attenzione viene focalizzata solo su alcune procedure, ritenute di maggiore interesse nell'ambito di questo Corso.

#### Procedura

Process/System Checklists (Liste di controllo di processo/sistema)

Safety Review (Revisione di sicurezza)

Preliminary Hazard Analysis (Analisi preliminare di rischio)

"What If" Analysis (Analisi "What If")

Hazard and Operability Analysis (Analisi di pericolo e funzionalità)

Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis (Analisi dei modi di guasto, effetti e criticità)

Dow and Mond Hazard Indices (Indici di rischio Dow and Mond)

Fault Tree Analysis (Albero dei guasti)

Event Tree Analysis (Albero degli eventi)

Cause-Consequence Analysis (Analisi cause-conseguenze)

Human Error Analysis (Analisi degli errori umani)

Tab. 2.1 - Elenco delle procedure per analisi di rischio /1/.

#### **2.1.1 - Liste di controllo**

Liste di controllo sono usate in diversi ambiti per verificare le risposdenze a standards, normative, ecc. (VIA, Garanzia della Qualità, ecc.). Nell'ambito della valutazione del rischio da incidenti le liste di controllo sono in generale un mezzo conveniente per assicurare il livello minimo di sicurezza, da garantire in ogni caso. La principale limitazione deriva dal fatto che una lista di controllo riflette la base di esperienza di chi l'ha redatta; se questa è ampia, i risultati saranno positivi; se questa è limitata, i risultati saranno solo parziali e probabilmente inadeguati. In ogni caso le liste di controllo devono essere sottoposte a revisione ed aggiornamento con regolarità.

Molte organizzazioni usano liste di controllo standardizzate per verificare lo sviluppo di un'iniziativa in tutte le fasi, dal progetto di massima iniziale fino allo smantellamento dell'impianto; in tal caso frequentemente sono utilizzate anche come forma di approvazione da parte della direzione aziendale, prima che si passi da una fase alla successiva.

La scheda seguente illustra, sia pure in modo schematico, le caratteristiche qualificanti della procedura <sup>(c)</sup>: obiettivi, campo di applicazione, tipo e natura dei risultati, requisiti.

### **2.1.2 - Analisi "what if?"**

La procedura "what if" non è strutturata, al contrario delle successive, e richiede un adattamento dei concetti base alla specifica applicazione. Anche se non ci sono molte pubblicazioni su tale metodo, è usata spesso nell'industria e considerata adeguata.

Come indicato dal titolo, si basa sulla ricerca sistematica delle conseguenze di eventi inattesi. Questi consistono in errori di progetto, rotture di componenti, modifiche nel processo, ecc., che comportano deviazioni dal normale funzionamento dell'impianto e quindi conseguenze indesiderate.

Chiaramente i risultati in termini di analisi di rischio sono strettamente correlati all'esperienza del gruppo che applica tale analisi. Questo si pone delle domande che cominciano in ogni caso con "what if?" (cosa succede se?); ad es.:

---

<sup>(c)</sup> Un'analoga scheda di sintesi è allegata ad ogni procedura descritta nel seguito.



## **Liste di controllo**

### Caratteristiche

- a)**Obiettivo:** identificazione dei rischi più comuni e garanzia di rispondenza a standard, procedure, normative, ecc.
- b)**Campo di applicazione:**
- nel progetto in tutte le fasi, per una semplice e rapida identificazione dei rischi e delle misure con cui farvi fronte.
  - nella costruzione, per garanzia della qualità dell'impianto e sua rispondenza delle specifiche di progetto.
  - nell'avviamento, come mezzo appropriato per seguire la corretta progressione di operazioni.
  - nell'esercizio, come verifica della rispondenza alle procedure.
  - nello spegnimento dell'impianto, per minimizzare i rischi in questa fase, spesso critica per la minore attenzione del personale e l'eliminazione di sistemi di protezione automatica.
  - nello smantellamento (come per la precedente).
- e)**Tipo e natura dei risultati:** in aggiunta a quelli relativi al conseguimento dell'obiettivo, la metodologia può anche evidenziare mancanza di informazioni essenziali o situazioni che richiedono una valutazione più dettagliata. I risultati sono chiaramente di natura qualitativa (in generale comportano decisioni del tipo si/no sulla rispondenza a specifiche, standard, normative, procedure, ecc.).
- d)**Requisiti:** è richiesta esperienza, conoscenza del sistema o dell'impianto e il manuale di procedure standard. Generalmente, la lista di controllo viene preparata da uno o più esperti; viene quindi compilata da un tecnico addetto all'impianto. Un manager o un ingegnere della direzione deve revisionarla e prendere le decisioni per l'azione successiva.

**"What if?"**

### Caratteristiche

- a)**Obiettivo:** identificazione di possibili sequenze incidentali, determinandone le conseguenze, e di metodi potenzialmente in grado di ridurre il rischio.
- b)**Campo di applicazione:** l'analisi può essere usata sia per impianti esistenti, che in ogni fase del progetto, comprese le proposte di modifica di impianti esistenti.
- c)**Tipo e natura dei risultati:** i risultati sono di tipo qualitativo, in generale senza indicazioni dell'ordine di priorità.  
Consistono in generale in un elenco di potenziali scenari incidentali, relative conseguenze e possibili azioni per la riduzione del rischio.
- d)**Requisiti:** e' necessaria una dettagliata documentazione dell'impianto, del processo e delle procedure operative e, possibilmente, la collaborazione degli operatori (con interviste, ecc.). I requisiti di personale sono già stati indicati: un gruppo di 2-3 esperti per ogni area di investigazione; quelli relativi ai tempi e ai costi dell'analisi sono proporzionali alle dimensioni dell'impianto ed al numero delle aree da sottoporre ad analisi; inoltre, se la compagnia non ha mai usato tale procedura in precedenza, è necessario altro tempo per organizzare i questionari e mettere a punto la relativa documentazione. Una volta messa a punto la procedura, questa diviene molto efficiente, per continue revisioni dell'impianto (e quindi per la sua sicurezza), sia come tempi che come costi.

- cosa succede se il materiale immesso nel processo è diverso da quello specificato?
- cosa succede se la pompa A si ferma?
- cosa succede se l'operatore apre la valvola B invece della A?

Le domande sono generalmente suddivise in diverse aree di investigazione, quali la sicurezza elettrica, la protezione dal fuoco, ecc. Ciascun area è quindi esaminata da un gruppo ristretto di esperti (2 o 3), che utilizzano la documentazione di impianto (disegni, carte e diagrammi di flusso, ecc.). Se l'impianto è in esercizio, l'analisi include di norma gli aspetti relativi agli operatori.

### **2.1.3 - "Hazard and Operability Analysis" (HAZOP)**

L'analisi HAZOP è una procedura per identificare rischi e problemi di funzionalità in un impianto che potrebbero comprometterne la capacità di raggiungere gli obiettivi di progetto (anche in termini di produttività). In questo senso l'HAZOP può andare oltre l'identificazione dei rischi. Sviluppata originariamente per nuove tecnologie o processi, per i quali si ha solo una limitata esperienza, è stata applicata in maniera efficace in tutte le fasi della vita di un impianto, a partire dal progetto esecutivo finale in poi.

L'HAZOP si basa sulla costituzione di un gruppo multidisciplinare che, in una serie di riunioni, cerca di identificare rischi e problemi di funzionamento partendo da ipotesi di deviazione dagli intendimenti di progetto. Il responsabile del gruppo (con adeguata esperienza e conoscenze) guida i lavori, applicando in maniera sistematica ai punti specifici (nodi) dell'impianto una serie di "parole guida" o "parola chiave", riportate in Tab. 2.2.

I nodi sono di norma individuati dal responsabile del gruppo prima dell'inizio dei lavori di gruppo. L'applicazione delle parole chiave ai vari parametri operativi nei punti nodali del processo (ad es., la parola chiave "nessuna" al parametro "portata" dà "nessuna portata") consente al gruppo di individuare sia le potenziali deviazioni, che le possibili cause di queste (ad es., intervento dell'operatore o guasto di una valvola) e le conseguenze di tali deviazioni (ad es. modifiche alla composizione del prodotto, variazione di altri parametri operativi, quali pressione e temperatura, ecc.).

## **HAZOP**

### Caratteristiche

- a)**Obiettivo:** identificazione di rischi e di problemi funzionali.
- b)**Campo di applicazione:** ottimale per nuovi impianti con progetto esecutivo finalizzato e documentato o nel caso di importanti modifiche a impianti esistenti.
- c)**Tipo e natura dei risultati:** i risultati, di tipo qualitativo, oltre al raggiungimento dell'obiettivo, comprendono raccomandazioni per modifiche al progetto, alle procedure, ecc. (per migliorare la sicurezza), nonché per ulteriori studi nel caso di carenze di informazioni o conoscenze.
- d)**Requisiti:** è necessario disporre di una dettagliata descrizione dell'impianto (disegni, carte e diagrammi di flusso, procedure, di esercizio, ecc.); il gruppo deve avere una approfondita conoscenza del processo, della relativa strumentazione, del sistema di regolazione e controllo, ecc.. Il gruppo di studio è normalmente costituito da 5-7 esperti, con il supporto di una segreteria tecnica per la registrazione del lavoro e l'emissione dei documenti; nel caso di piccoli impianti, il gruppo può ridursi a 2-3 esperti. I tempi ed i costi di un'analisi HAZOP sono in stretta relazione alle dimensioni ed alla complessità dell'impianto. In generale, ogni componente principale richiede una riunione di circa 3 ore; a questo va aggiunto il tempo per la programmazione ed il coordinamento dei lavori e la loro documentazione (coinvolgenti il responsabile e la segreteria tecnica), che è 2-3 volte maggiore.

Parola guida		Deviazione	
Italiano	Inglese	Significato	Esempio
Nessuno	No	Negazione delle intenzioni di progetto	Nessun flusso o segnale
Inverso	Reverse	Opposto delle intenzioni di progetto	Flusso inverso
Più di	More of	Variazione quantitativa in eccesso rispetto alle intenzioni di progetto	Parametro oltre il valore normale
Meno di	Less of	Variazione quantitativa in difetto rispetto alle intenzioni di progetto	Parametro al di sotto del valore normale
Parte di	Part of	Variazione qualitativa rispetto alle intenzioni di progetto	Composizione errata
Più che	More than	Variazione qualitativa rispetto alle intenzioni di progetto	Presenza di impurità

Tab. 2.2 - Parole chiave del HAZOP.

I risultati di una analisi di questo tipo dipendono in gran parte , oltre che dalle competenze e dall'esperienza dei membri del gruppo, dalla loro "fantasia" o meglio intuizione, da cui la classificazione di tale procedura come "brainstorming".

Se le cause della deviazione sono considerate realistiche e le conseguenze significative, essa viene registrata per eventuali azioni successive, di norma condotte a latere dell'analisi HAZOP; lo stesso è fatto nel caso di conseguenze ignote (ad. es. prodotti di caratteristiche non conosciute), nel qual caso studi successivi devono essere condotti o sono comunque raccomandati dal gruppo.

#### 2.1.4 - Indici di rischio

Gli indici di rischio sono un tentativo di dare una misura al rischio che eventi incidentali provochino conseguenze dannose.

L'indice "Dow" fu elaborato dalla "Dow Chemical" per definire il rischio da incendio od esplosione in impianti che immagazzinano o trattano sostanze infiammabili. Successivamente tale indice fu modificato dalla Div. "Mond" della "Imperial Chemical" per includere i rischi da rilascio di sostanze tossiche. Sono questi gli indici di rischio ripresi dalla legislazione italiana di recepimento della Direttiva 501/82 CCE (Direttiva "Seveso") per la valutazione preliminare del rischio di un impianto.

Esistono comunque altri indici di rischio.

Per la tossicità acuta il noto manuale del Sax definisce un indice in 4 livelli (nessuna

tossicità, debole, moderata, alta), che la direttiva 82/501 CEE collega ai valori della DL<sub>50</sub> (Dose Letale per il 50% degli individui).

Per le conseguenze a lungo termine sono stati definiti dall'Associazione degli Igienisti USA i TLV (Threshold Limit Values = valori limite di soglia) di concentrazione di sostanze nocive al di sotto dei quali in generale non si osservano danni alla salute di una persona di caratteristiche medie.

In generale sono pubblicati due livelli di TLV:

- TWA (Time Weighted Average), che corrisponde alla concentrazione media ammissibile per esposizione di otto ore lavorative al giorno;
- STEL (Short Term Exposure Level), che è la concentrazione massima cui il lavoratore può essere esposto per 15 minuti.

Un altro indice usato nella pratica in alternativa a TWA è IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) del "National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)" americano, che viene spesso usato come il valore di riferimento della concentrazione dell'agente dannoso al di sopra del quale occorre in generale provvedere al trattamento ospedaliero della persona esposta.

Tali indici sono un metodo piuttosto grezzo di valutare il rischio sanitario, nell'ambiente di lavoro; essi permettono soltanto di affermare se la situazione è o non è accettabile, senza dare una misura quantitativa della qualità dell'ambiente di lavoro, dal punto di vista della sicurezza del personale.

Ritornando all'indice "Dow-Mond", il suo impiego è ottimale per l'individuazione delle parti di impianto che maggiormente contribuiscono al rischio. L'impianto viene infatti suddiviso in unità, per ciascuna delle quali viene valutato l'indice di rischio "grezzo" e quindi finale, dopo l'applicazione di una serie di fattori compensativi. Nella realtà, attraverso la valutazione dei termini indicati in Tab. 2.3, si valutano diversi indici di rischio (Tab. 2.4). Il confronto dei risultati della valutazione di ogni singola unità con la tabella di scalatura del rischio (Tab. 2.5) fornisce l'informazione richiesta. Il metodo si presta ad una analisi sistematica e tiene conto, oltre che delle caratteristiche della sostanza pericolosa, del tipo e della disposizione dell'impianto, dall'atteggiamento nei confronti della sicurezza, dei sistemi di sicurezza adottati, ecc. Un esempio della procedura di applicazione della metodologia e di suddivisione di un impianto in unità, ripreso dal DPCM applicativo dell'Art. 12 del DPR 175/88 (vedasi cap. 5), è riportato nelle Figg. 2.1 e 2.2.

### ***Indici di rischio "Dow-Mond"***

#### Caratteristiche

- a)**Obiettivo:** identificazione delle unità, aree o componenti di impianto che danno maggiori contributi al rischio.
- b)**Campo di applicazione:** nel progetto, può essere usato per identificare eventuali modifiche di impianto necessarie a ridurre il rischio.  
nell'esercizio, è uno strumento utile per identificare le unità o aree che contribuiscono maggiormente al rischio, su cui applicare quindi una analisi di incidenti più approfondita.
- c)**Tipo e natura dei risultati:** la procedura dà risultati semi-quantitativi (se i dati di base sono disponibili). In ogni caso consente di individuare le aree o unità più importanti come contributo al rischio
- d)**Requisiti:** è richiesta una conoscenza completa dell'impianto. La determinazione degli indici di rischio di una unità deve essere eseguita da un singolo analista, con la collaborazione (consultazione) di ingegneri, operatori ed altro personale che ha esperienza nel funzionamento dei componenti e sistemi inclusi nell'analisi, in modo da avere le informazioni sugli aspetti da considerare nella valutazione dei rischio. Tempi e costi di un'analisi di rischio con questo metodo dipendono in maniera fondamentale dalla complessità dei sistemi coinvolti nell'analisi, anche in relazione al livello di risoluzione richiesto. Nel caso di una piccola unità di processo, un esperto può impiegare qualche giorno o anche meno. Un grande impianto, con sistemi complessi, può richiedere settimane o mesi di lavoro di un gruppo con elevata esperienza.

- B:** **fattore sostanza:** rappresenta la misura dell'intensità di rilascio di energia da parte di un composto chimico, di una miscela di composti e di una sostanza chimica.
- M:** **rischi specifici delle sostanze:** questo fattore tiene conto di particolari proprietà della sostanza chiave (B) che possono influire sulla natura di un incidente o sulla eventualità che esso si verifichi.
- P:** **rischi generali di processo:** questo fattore tiene conto dei rischi comuni connessi al processo base o ad altre operazioni che vengono effettuate all'interno dell'unità.
- S:** **rischi particolari di processo:** questo fattore tiene conto delle caratteristiche delle operazioni di processo che aumentano i rischi già valutati con M e P. Influiscono molto, in questa valutazione, il livello delle apparecchiature di controllo e le caratteristiche di protezione.
- p:** **alta pressione:** questo fattore tiene conto dei maggiori rischi di incendio ed esplosione in unità operanti a pressione superiore a quella atmosferica.
- Q:** **rischi dovuti alle quantità:** questo fattore tiene conto dei rischi aggiuntivi connessi con l'uso di grossi quantitativi di sostanze combustibili, infiammabili, esplosive e decomponibili.
- s:** **rischi alla salute in caso di incidente.**
- t:** **temperatura** (in °C).
- K:** **quantità totale** di sostanza presente nell'unità espressa in tonnellate.
- L:** **rischi connessi al layout:** questo fattore prende in considerazione le varie configurazioni di progetto dell'unità.
- H:** **altezza** espressa in metri dell'unità.
- N:** **area normale** di lavoro dell'unità di processo espressa in m<sup>2</sup>.
- PCF:** **proprietà chimico-fisiche**
- PT -** **proprietà tossicologiche**
- PET -** **proprietà ecotossicologiche**
- BC -** **bioconcentrazione**
- PED -** **pluralità di esposizione diretta**
- DA -** **diffusione ambientale**
- PE -** **persistenza**

Tab. 2.3 - Termini da valutare per il calcolo degli indici di rischio.



INDICE DI INCENDIO:

$$F = B \cdot K/N$$

INDICE DI ESPLOSIONE CONFINATA:

$$C = 1 + (M + P + S) / 100$$

INDICE DI ESPLOSIONE IN ARIA:

$$A = B (1 + M/100) (1+p) (Q \cdot H \cdot C/100) (t + 273)/300$$

INDICE DI TOSSICITA':

$$T = \frac{(PCF + PT + PET) \cdot BC \cdot (PED + DA \cdot PE)}{976,5} \cdot 100$$

INDICE DI RISCHIO GENERALE:

$$G = D(1 + 0,2 \cdot C \cdot \sqrt{A \cdot F})$$

In quest'ultima formula **D** rappresenta l'indice equivalente Dow, che deve essere calcolato utilizzando la seguente espressione:

$$D = B \cdot (1+M/100) (1+P/100) [1+(S+Q+L+s)/100]$$

Tab. 2.4 - Formule per la valutazione degli indici di rischio.

ENTITA'	G	F	A	C	T
Lieve	0-20	0-2	0-10	0-1,5	0-5
Basso	20-200	2-5	10-30	1,5-2,5	5-10
Moderato	200-500	5-10	30-100	2,5-4	10-15
Alto I	500-110	10-20	100-400	4-6	15-20
Alto II	1100-2500	20-50	-	-	-
Molto alto	2500-12500	50-100	400-1700	>6	>20
Grave	12500-65000	100-250	>1700	-	-
Gravissimo	>65000	>250	-	-	-

Tab. 2.5 - Scala degli indici di rischio.

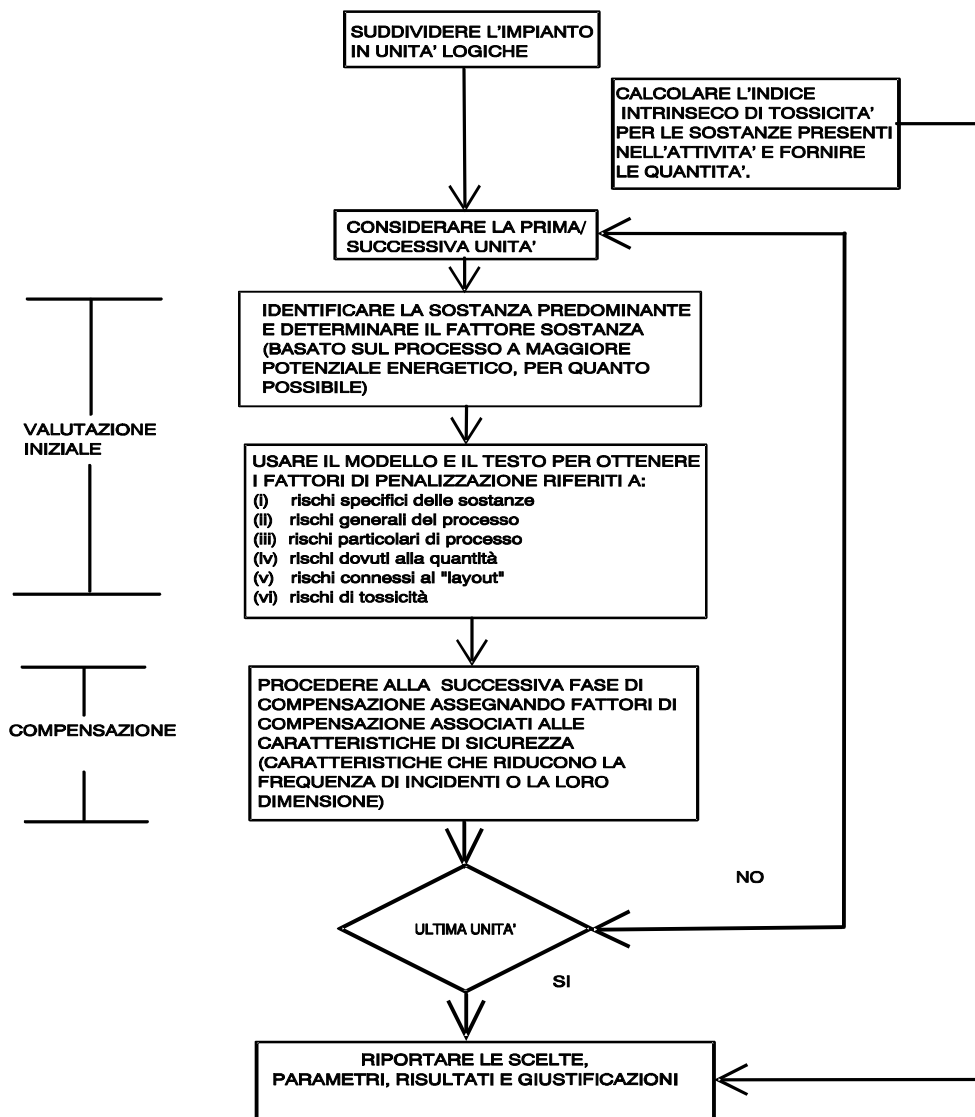


Fig. 2.1 - Il procedimento dello schema ad indici

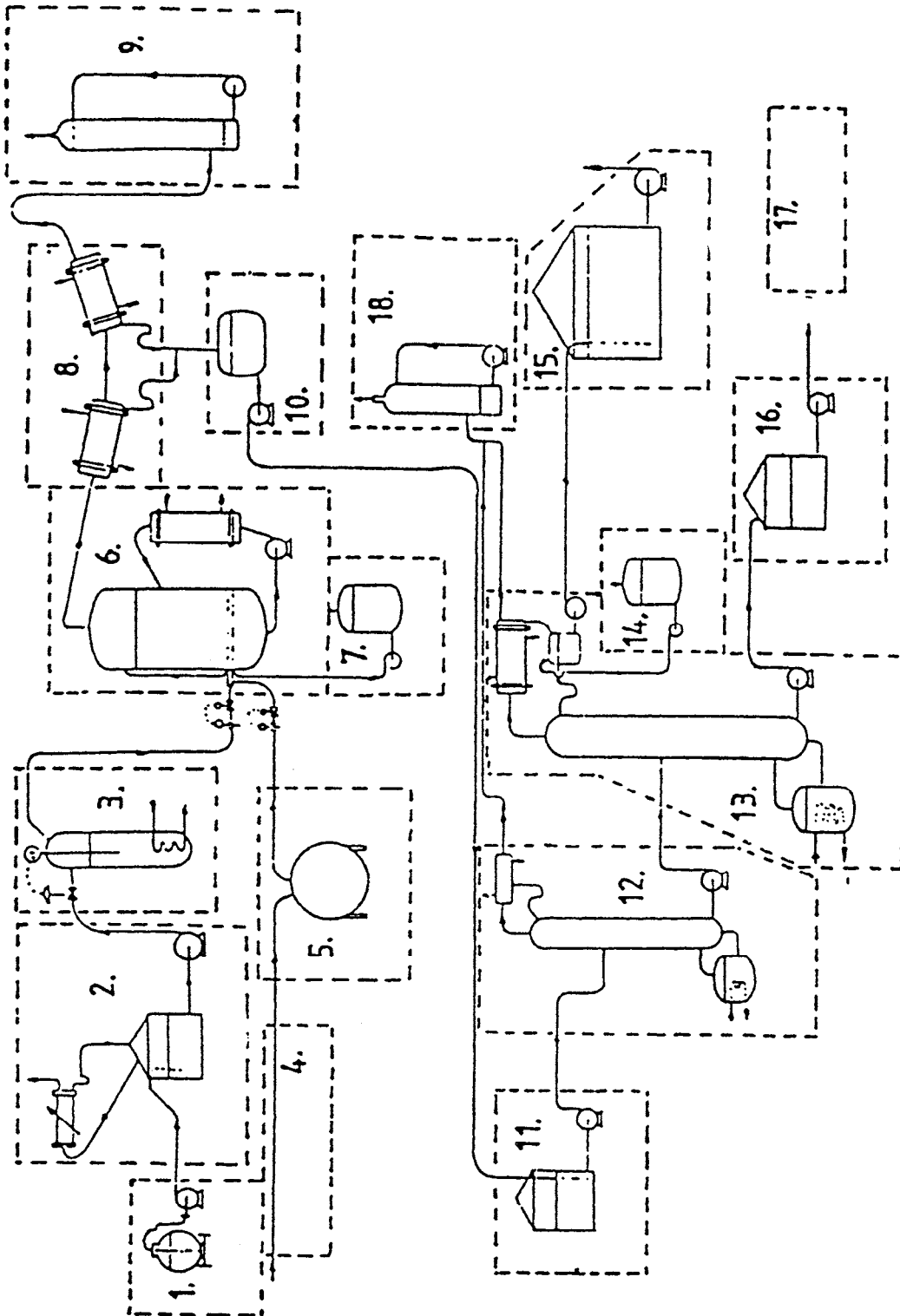


Fig. 2.2 - Esempio di suddivisione di un impianto in unità.

UNITA' INDICATE IN FIG. 2.2

ULTERIORI TIPI DI UNITA' NON MOSTRATI IN FIG. 2.2

1	Scarico su alimentazione	-	Stoccaggio
2	Stoccaggio refrigerato	-	Sezione riscaldamento/raffreddamento
3	Vaporizzatore	-	Sezione compressione
4	Condotta alimento	-	Sezione lavaggio
5	Stoccaggio gas	-	Sezione filtrazione
6	Reattore liquido-gas	-	Sezione granulazione
7	Sistema catalizzatore	-	Sezione formulazione
8	Condensatori grezzo	-	Sezione neutralizzazione
9	Estrazione sfiati	-	Sezione spegnimento
10	Raccolta grezzo	-	Sistema di abbattimento
11	Stoccaggio grezzo	-	Sezione di recupero
12	Distillazione leggeri	-	Sezione smorzamento
13	Distillazione pesanti	-	Stoccaggio in colli o alla rinfusa (bombole, fusti, bidoni, ecc.)
14	Sistema di stabilizzazione	-	Stoccaggio catalizzatore
15	Stoccaggio prodotto ( <input checked="" type="checkbox"/> all'unità di utilizzo)	-	Ponti di tubazioni
16	Stoccaggio pesanti	-	Stoccaggio stabilizzatore
17	<input checked="" type="checkbox"/> All'unità di smaltimento	-	Scarico catalizzatore
		-	Scarico stabilizzatore
		-	Camini a torcia
		-	Bacini di raccolta di drenaggi superficiali
		-	Separatori di drenaggio
		-	Trattamento effluenti liquidi
		-	Inceneritori di liquidi e solidi
		-	Aree per la decontaminazione di apparecchiature
		-	Stoccaggio di sostanze imballate
		-	Stoccaggio di prodotti imballati
		-	Circuiti di riscaldamento di forni
		-	Sistemi di sfiato e serbatoi di raccolta
		-	Smorzatori di reazioni e separatori gas-liquido
		-	Apparecchi di separazione liquido-solido
		-	Altre attrezzature di servizio di un impianto
		-	Ecc.
		-	

### 2.1.5 - Albero dei guasti

L' albero dei guasti è un diagramma logico, mutuato dalla teoria delle decisioni, che in definitiva risponde a questa domanda:

**"Che cosa deve succedere perchè si abbia un determinato guasto?"**.

Individuati i sistemi coinvolti nell'analisi e le loro parti, si va avanti nella catena di sistemi, sottosistemi, apparati, ecc., fino ad arrivare al guasto di componenti singoli per i quali si hanno dati della probabilità di guasto da utilizzare nella valutazione; una banca dati fornisce tali numeri. Questi si combinano attraverso operazioni logiche and/or, risalendo dal basso verso l'alto, fino ad arrivare a determinare la probabilità dell'evento top.

L'analisi dell'albero dei guasti consente di trattare anche il contributo al rischio derivante da errori umani, così come altre cause di guasto comuni a più sottosistemi.

E' chiaramente possibile utilizzare l'albero dei guasti anche per analisi qualitative. In tal caso ha comunque il vantaggio di evidenziare le principali cause dell'incidente, siano esse guasti di apparecchiature o errori umani; in questo modo consente di focalizzare l'attenzione sulle misure preventive per ridurre la probabilità dell'incidente.

### 2.1.6 - Albero degli eventi

Nel caso dell'albero degli eventi il processo logico è esattamente l'inverso di quello dell'albero dei guasti. Si ipotizza che si sia verificato un determinato evento (evento iniziatore) e si vanno a studiare tutte le possibili diramazioni, a seconda che intervenga o meno il primo, il secondo, il terzo sistema di protezione, etc. (Fig. 2.3). Se il primo sistema di protezione interviene, normalmente l'incidente non si sviluppa; quindi c'è una chiusura a questo punto (indicata in Fig. 2.3 con il rettangolo A), che ha una probabilità di verificarsi praticamente eguale a quella dell'evento iniziatore. Con probabilità  $10^{-2}$  o  $10^{-3}$  a volte inferiore (pari all'indisponibilità del primo sistema di protezione), l'incidente può seguire invece la linea in cui tale sistema non entra in funzione. Nel caso degli impianti nucleari c'è un secondo sistema di protezione, che di nuovo può intervenire o può non intervenire, un eventuale terzo sistema di protezione, ecc.; in definitiva si hanno diversi punti di arrivo (chiamati anche stati d'impianto), ciascuno con la sua probabilità di verificarsi. Questa è ricavata in Fig. 2.3 facendo semplicemente il prodotto della frequenza dell'evento iniziatore per l'indisponibilità dei sistemi di protezione di cui si ipotizza il non intervento per arrivare allo stato di impianto considerato.

### *Albero dei Guasti*

### Caratteristiche

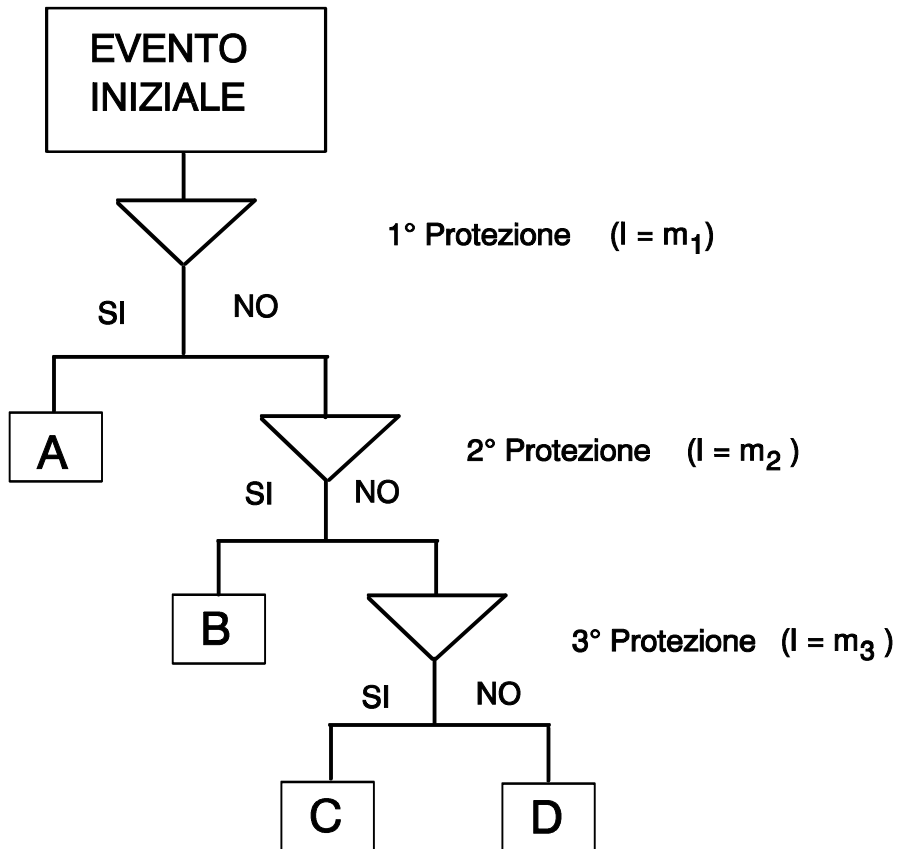
- a)**Obiettivo:** identificazione delle combinazioni di guasto dei componenti ed errori umani che sono all'origine di un incidente.
- b)**Campo di applicazione:**
- nel progetto, può essere usato per identificare modi di guasto non usuali, con riduzione del rischio.
  - nell'esercizio, è uno strumento utile per valutare la probabilità di modi di guasto del tipo comune, inclusi gli interventi dell'operatore, sia autonomi che per l'osservanza delle procedure. In generale, si usa quando si vuole determinare la probabilità di verificarsi di determinati incidenti o scenari incidentali.
- c)**Tipo e natura dei risultati:** la procedura può dare risultati sia qualitativi che quantitativi (se i dati di base sono disponibili). In ogni caso consente di individuare le combinazioni di guasto ed errore umano che originano specifici incidenti, nonché la relativa importanza come contributo al rischio
- d)**Requisiti:** è richiesta una conoscenza completa del funzionamento del sistema e dei modi di guasto di componenti e sistemi dell'impianto e dei relativi effetti (ricavabili, ad es., da un precedente studio HAZOP, FMEA o FMECA). Ogni albero deve essere predisposto da un singolo analista, con la collaborazione (consultazione) di ingegneri, operatori ed altro personale che ha esperienza nel funzionamento dei componenti e sistemi inclusi nell'analisi, in modo da avere le informazioni sui guasti che contribuiscono all'incidente. Tempi e costi di un'analisi di rischio con questo metodo dipendono in maniera fondamentale dalla complessità dei sistemi coinvolti nell'analisi, anche in relazione al livello di risoluzione richiesto. Nel caso di una piccola unità di processo, un gruppo<sup>(\*)</sup> esperto può impiegare 1 giorno o anche meno. Un grande impianto, con sistemi complessi e con diversi possibili scenari incidentali, può richiedere mesi di lavoro di un gruppo<sup>(\*)</sup> con elevata esperienza.

(\*) Un approccio di gruppo può essere preferibile nel caso si debbano eseguire diversi alberi; in tal caso, ciascun membro del gruppo dovrebbe concentrarsi principalmente su un albero. L'interazione fra i membri del gruppo e di questi con personale esperto garantisce all'analisi completezza ed esaustività.

## ***Albero degli Eventi***

### Caratteristiche

- a)**Obiettivo:** identificazione delle sequenze degli eventi conseguenti a un evento iniziatore, che si traducono in un incidente.
- b)**Campo di applicazione:**
- nel progetto, l'albero degli eventi può essere usato per identificare possibili scenari incidentali conseguenti ai postulati eventi iniziatori, in modo da verificare l'adeguatezza dei sistemi di sicurezza dell'impianto;
  - nell'esercizio, per determinare il rischio derivante dall'esercizio dell'impianto, verificando l'adeguatezza dei relativi sistemi di sicurezza.
- c)**Tipo e natura dei risultati:** chiaramente vengono identificate le sequenze di eventi potenzialmente in grado di originare gli scenari incidentali possibili; i risultati, oltre che qualitativi, possono essere quantitativi (stima della probabilità di verificarsi di determinati scenari incidentali).
- d)**Requisiti:** occorre conoscere i potenziali eventi iniziatori, le funzioni di sicurezza incorporate nell'impianto e le procedure di emergenza previste per mitigare le conseguenze dell'incidente. Anche se un singolo analista può eseguire un'analisi di rischio con la metodologia dell'albero degli eventi, in generale si opera con gruppi di 2-4 esperti, di cui uno almeno nell'applicazione del metodo ed i rimanenti con esperienza nell'esercizio dell'impianto e nel processo, nonché nel funzionamento dei vari sistemi inclusi nell'analisi.
- I requisiti di tempo e costo dipendono anche in questo caso in maniera fondamentale dalla complessità dell'impianto, cioè dal numero e complessità degli eventi iniziatori e delle funzioni di sicurezza di cui l'impianto è dotato: si va da circa 1 settimana di lavoro nel caso di una piccola unità di processo, a circa 1 mese nel caso di impianti di media complessità, a circa 1 anno equivalente per un impianto nucleare di potenza o impianti di analoga complessità.



$$\begin{aligned}
 P_A &= P_e (1-m_1) && \approx P_e \\
 P_B &= P_e m_1 (1-m_2) && \approx P_e m_1 \\
 P_C &= P_e m_1 m_2 (1-m_3) && \approx P_e m_1 m_2 \\
 P_D &= P_e m_1 m_2 m_3
 \end{aligned}$$

con:

$P_e$  = probabilità evento iniziale  
 $m_i$  = probabilità di non intervento del sistema di protezione iesimo  
 (indisponibilità I del sistema di protezione)

Fig. 2.3 - Possibili progressioni dell'incidente (albero degli eventi).



## 2.2 - METODOLOGIA GENERALE DI ANALISI DEL RISCHIO

L'analisi di rischio in campo tecnologico è ormai una disciplina scientificamente strutturata, cioè un insieme di metodologie per la determinazione della "funzione rischio", sufficientemente sviluppate e sistematizzate a livello concettuale. Lo scopo finale è sempre quello di fare da guida in un processo decisionale.

La stima del rischio derivante dall'esercizio di una determinata attività industriale viene in generale eseguita con una metodologia che partendo da dati statistici, ricavati dalla storia degli incidenti effettivamente verificatisi in impianti simili a quello oggetto dello studio, li completa con una serie di analisi specifiche, relative al particolare impianto ed al sito in cui è installato, per ricavare una stima del rischio sufficientemente accurata.

Nel caso di tecnologie mature e largamente diffuse, la statistica degli incidenti verificatisi può essere così ampia da consentire direttamente la stima realistica del rischio o almeno della probabilità di verificarsi degli incidenti ipotizzabili. La determinazione delle conseguenze dipende molto dal sito, per gli aspetti di meteorologia o idrologia, distribuzione della popolazione, ecc.; pertanto è in generale necessario almeno un adattamento dei dati statistici al particolare caso in esame. E' questo ad es. il caso degli incidenti nel trasporto di liquidi infiammabili.

Se invece non si ha una statistica sufficientemente completa a cui fare riferimento e comunque nel caso generale, si fa uso di una metodologia analitica per eseguire una valutazione del rischio su base teorica, in maniera corretta dal punto di vista scientifico.

La Fig. 2.4 rappresenta lo schema a blocchi della metodologia generale di valutazione del rischio, in cui si possono distinguere varie fasi, di cui la figura stessa evidenzia il nesso causale.

Il rischio nello svolgimento di un'attività industriale deriva dall'utilizzo di materiali potenzialmente pericolosi, che pertanto sono trattati con precauzione e in impianti dotati di sistemi di sicurezza. Come indicato in Fig. 2.4, il punto di partenza è l'individuazione delle sostanze pericolose e del processo che queste subiscono nell'impianto, oggetto dello studio; in tal modo viene individuata la sorgente del pericolo sia in campo nucleare, sia in generale in attività industriali pericolose.

Il sistema di protezione (più o meno sofisticato) dell'impianto entra in gioco a questo punto, per prevenire o almeno limitare i possibili rilasci dell'agente dannoso. Tale rilascio si verifica solo se si ha contemporaneamente l'incidente (cioè il guasto del sistema di processo che rilascia questo agente dannoso) ed il mancato funzionamento delle protezioni, cioè dei

sistemi previsti per confinare l'incidente.

A questo punto la scena cambia, si trasferisce al di fuori dell'impianto: la sostanza pericolosa viene dispersa nell'ambiente e quindi, di norma per dispersione atmosferica, ma talvolta anche per l'inquinamento delle acque, arriva ad esplicare i suoi effetti dannosi sugli individui e sulla popolazione. Considerando i fenomeni fisico-chimici che intervengono nelle varie fasi indicate in Fig. 2.4, si possono determinare quali sono le dosi a cui le persone vengono ad essere esposte e pertanto, attraverso le curve dose/danno, si è in grado di valutare gli effetti sugli individui, sui sistemi economici, sui sistemi sociali, etc.

Il punto più delicato della metodologia ora brevemente illustrata è rappresentato dal primo blocco. Per questo si opera come indicato in Fig. 2.5, attraverso:

- a) l'identificazione degli eventi che contribuiscono al rischio;
- b) la stima della probabilità di accadimento di tali eventi e delle loro conseguenze;
- c) la determinazione della funzione rischio ed il suo uso per il processo decisionale.

Per sviluppare una simile analisi occorre per prima cosa acquisire una conoscenza approfondita dell'impianto e del processo industriale attuato in questo, per la ricerca di quei guasti che costituiscono l'origine degli incidenti (eventi iniziatori).

L'analista di rischio deve quindi mettere a punto un modello di impianto che consenta l'identificazione degli stati di questo possibili a partire da ciascun evento iniziatore (albero degli eventi). Per la stima della probabilità di accadimento di ciascun stato di impianto si può far uso della tecnica dell'albero dei guasti o di altre tecniche indicate nel precedente paragrafo.

Il passo successivo è la determinazione dei rilasci associati a ciascun stato degradato dell'impianto (sequenza di eventi), eventualmente "filtrati" per l'effetto del contenimento. In campo nucleare, tali rilasci sono raggruppati in classi relativamente omogenee per entità, istante e durata del rilascio, modalità di questo, ecc. (categorie di rilascio): similmente si può operare anche in campo convenzionale.

A questo punto, per arrivare ad identificare le conseguenze per ogni categoria di rilascio, è necessario mettere a punto un modello di impatto ambientale, che descriva la dispersione dell'inquinante nell'ambiente; nota la distribuzione della popolazione sul territorio, vengono quindi determinati per ogni categoria di rilascio il tipo ed il livello di conseguenze che ne derivano e l'associata probabilità di accadimento. In questa fase, l'eventuale attuazione di un piano di emergenza esterno può assumere un ruolo determinante per la mitigazione delle conseguenze dell'incidente.

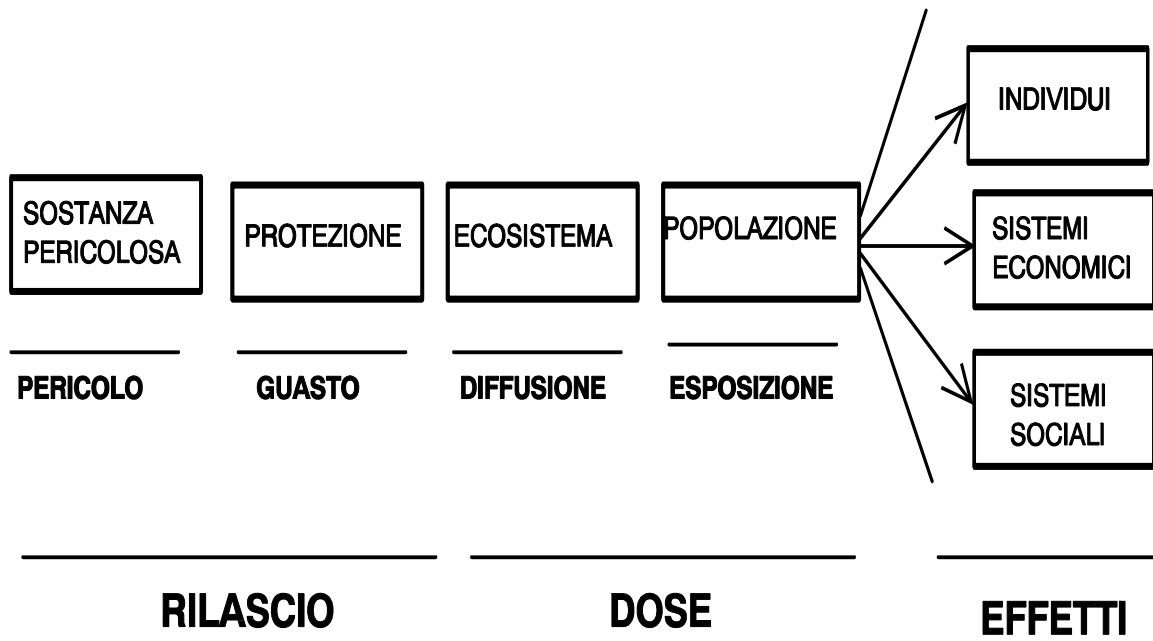


Fig. 2.4 - Livelli di analisi del rischio tecnologico

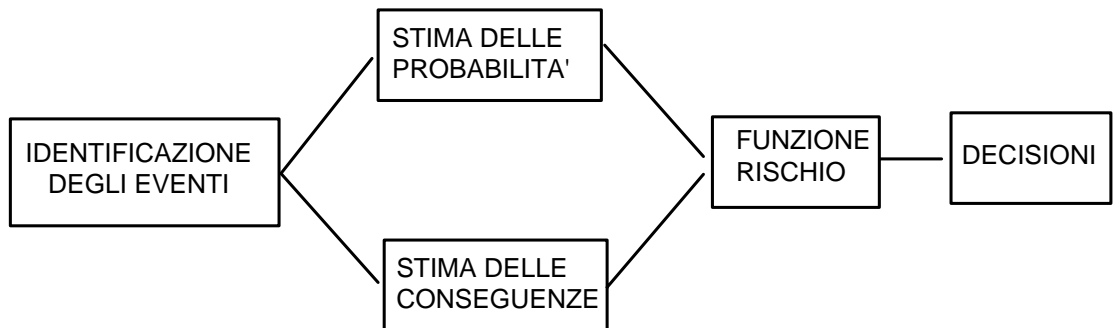


Fig. 2.5 - Procedura di analisi del rischio

Infine, l'integrazione di risultati della fase precedente sull'intero spettro delle categorie di rilascio consente la determinazione della **funzione rischio** connessa con lo svolgimento dell'attività in questione.

Normalmente è sulla base di questa funzione rischio che i decisori (politici o tecnici, a seconda della fase cui lo studio viene realmente applicato) prendono le opportune decisioni.

Ad ulteriore illustrazione dei concetti sopra esposti si consideri la Tab. 2.6, ripresa da /1/. L'esame di tale tabella indica chiaramente che la sorgente del pericolo è in ogni caso da ricercare nella presenza sull'impianto di significative quantità di sostanze infiammabili, tossiche o fortemente reattive, che possono essere rilasciate all'esterno attraverso un malfunzionamento, guasto o rottura di apparecchiature di processo (pompe, valvole, recipienti in pressione, tubazioni, guarnizioni, ecc.), un errore umano, la perdita dei sistemi di servizio fondamentali dell'impianto (energia elettrica o fluidi di servizio, quali acqua, vapore, aria compressa) o eventi esterni energetici (terremoti, trombe d'aria, inondazioni, ecc.). Il corso effettivo, dell'incidente è poi determinato dall'intervento o meno di sistemi di sicurezza (quali valvole di sfogo, dischi di rottura, recipienti di back-up, ecc.) e dell'operatore, che, con il suo comportamento, ha la potenzialità di influenzare pesantemente, nel bene e nel male, l'evoluzione dell'incidente. Ne derivano una serie di problematiche, quali l'addestramento degli operatori, la predisposizione di procedure di emergenza, ecc.; su queste si tornerà nella parte conclusiva del corso.

Tab. 2.6 - Elementi dell'analisi di incidenti.

## **BIBLIOGRAFIA CAP. 2**

- /1/ Battelle Columbus Division: "Hazard Evaluation Procedural Guide". American Institute of Chemical Engineers ISBN 0-8169-0347-6, New York (USA), 1985.

HAZARD	INITIATING EVENTS/UPSETS	INTERMEDIATE EVENTS		ACCIDENT CONSEQUENCES
		(SYSTEM AND OPERATOR RESPONSES TO UPSETS) PROPAGATING	AMELIORATIVE	
<b>Significant Inventories of</b> a) Flamable Materials b) Combustible Materials c) Unstable Materials d) Toxic Materials e) Extremely Hot or Cold Materials f) Inerting Gases (Nitrogen, Carbon Monoxide)	<b>Machinery and Equipment Malfunctions</b> a) Pumps, Valves b) Instruments, Sensors	<b>Process Parameter Deviations</b> a) Pressure b) Temperature c) Flow Rate d) Concentration e) Phase/State Change	<b>Safety Systems Responses</b> a) Relief Valves b) Back-up Utilities c) Back-up Components d) Back-up Systems	Fires Explosions Impacts
<b>Highly Reactive</b> a) Reagents b) Products c) Intermediate Products d) By-products	<b>Containment Failures</b> a) Pipes b) Vessels c) Storage Tanks d) Gaskets	<b>Containment Failures</b> a) Pipes b) Vessels c) Storage Tanks d) Gaskets, Bellows, etc. e) Input/Output or Venting	<b>Mitigation System Responses</b> a) Vents b) Dikes c) Flares d) Sprinklers	<b>Dispersion of Toxic Materials</b> Dispersion of Highly Reactive Materials
<b>Reaction Rates Especially Sensitive to</b> a) Impurities b) Process Parameters	<b>Human Errors</b> a) Operations b) Maintenance c) Testing  <b>Loss of Utilities</b> a) Electricity b) Water c) Air d) Steam  <b>External Events</b> a) Floods b) Earthquakes c) Electrical Storms d) High Winds e) High Velocity Impacts f) Vandalism  <b>Method/Information Errors</b> a) As designed b) As Comunicated	<b>Materials Releases</b> a) Combustibles b) Explosive Materials c) Toxic Materials d) Reactive Materials  <b>Ignition/Explosion</b> Operator errors a) Omission b) Commission c) Diagnosis/Decision-Making  <b>External Events</b> a) Delayed Warning b) Unwarned  <b>Method/Information Failure</b> a) Amount b) Usefulness c) Timeliness	<b>Control Responses Operator Responses</b> a) Planned b) Ad Hoc  <b>Contingency Operations</b> a) Alarms b) Emergency Procedures c) Personnel Safety Equipment d) Evacuations e) Security  <b>External Events</b> a) Early Detection b) Early Warning  <b>Information Flow</b> a) Routing b) Methods c) Timing	





### **3 - APPLICAZIONI DELL'AFFIDABILITA' NELLE ANALISI DI SICUREZZA**

#### **PREMESSA**

L'obiettivo del presente capitolo è quello di fornire gli strumenti principali per comprendere la applicazione delle tecniche affidabilistiche agli studi di sicurezza. Pertanto, dopo aver richiamato la **definizione delle principali grandezze** usate nelle analisi di affidabilità, l'attenzione sarà concentrata sulla valutazione della **affidabilità di componenti e sistemi, semplici o complessi**. Sarà anche brevemente esaminato un aspetto cruciale per le applicazioni: le cause comuni di guasto e gli errori umani. Una discussione sulle banche dati di affidabilità conclude il capitolo.

Ovviamente non si intende fare una trattazione completa della teoria della affidabilità e delle tecniche di applicazione alla analisi di sistemi complessi, ma solo introdurre questa tematica, con elementi sufficienti alla comprensione del suo impiego nelle analisi di sicurezza. Per approfondimenti e maggiori dettagli si rimanda ai libri citati nelle referenze.

### 3.1 - DEFINIZIONI

**Tasso di guasto  $\lambda$  (t) :** frazione di componenti che si guastano per unità di tempo

**Affidabilità R (t) :** probabilità che una apparecchiatura svolga il compito affidatole per un determinato intervallo di tempo (0-t), in determinate condizioni ambientali

**Inaffidabilità Q (t) :** probabilità che l'apparecchiatura si sia guastata durante l'intervallo di tempo (0-t) considerato (non svolga la funzione affidatole all'istante t, per un guasto verificatosi in un qualunque istante durante l'intervallo 0-t)

**Disponibilità A ( $\tau$ ) :** probabilità che il sistema sia correttamente operativo per il tempo di missione  $\tau$

**Indisponibilità I ( $\tau$ ):** probabilità che il sistema non sia in grado di svolgere la sua funzione durante il tempo di missione  $\tau$ , ovvero frazione di  $\tau$  per cui in media il sistema è guasto

### 3.2 - CLASSIFICAZIONE DEI GUASTI DEI COMPONENTI

Per la determinazione dell'affidabilità di componenti prodotti industrialmente in grande quantità (ad es. componenti elettrici, quali resistenze, condensatori, transistor, ecc.), si immagini di fare un esperimento /1/, mettendone in funzione contemporaneamente un gran numero  $N_0$  nelle medesime condizioni, secondo le specifiche del produttore (vedi Fig. 3.1).

Come mostrato nella parte superiore di Fig. 3.1, il numero di componenti in funzione si riduce rapidamente nella fase iniziale dell'esperimento; quindi il ritmo di diminuzione si stabilizza per un lungo periodo di tempo ad un valore minimo, per poi tornare ad aumentare verso la fine della vita dei componenti. Il grafico evidenzia chiaramente i tre periodi suddetti e la loro denominazione /1/:

- $0 - t_1$ , "rodaggio";
- $t_1 - t_2$ , "vita utile";
- $>t_2$ , "usura" o "vecchiaia".

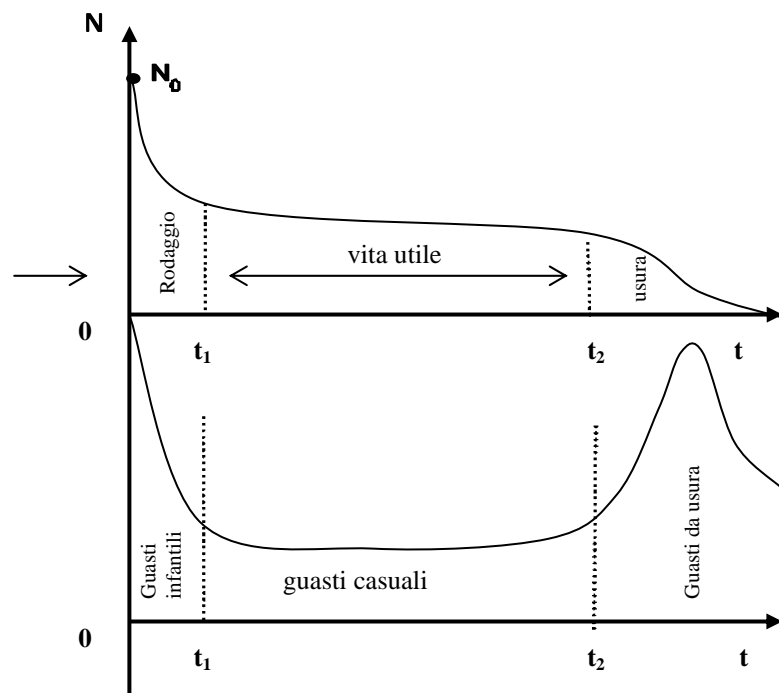


Fig. 3.1 Periodi caratteristici di funzionamento e corrispondente classificazione dei guasti dei componenti.

In base alla definizione riportata al paragrafo precedente, si può tracciare facilmente il corrispondente andamento del rateo di guasto  $\lambda$  in funzione del tempo, riportato nella parte bassa della stessa Fig. 3.1; è la ben nota curva a "vasca da bagno", che consente di classificare i guasti dei componenti /1/ in:

- "**infantili**", dovuti a difetti ed imperfezioni di costruzione che si evidenziano prontamente durante il periodo di rodaggio, portando all'esclusione dall'uso dei componenti che ne sono affetti;
- "**casuali**", durante il periodo di vita utile, corrispondenti ad un rateo di guasto minimo e pressochè costante;
- "**da usura**", durante il periodo corrispondente e dovuti al deteriorarsi delle caratteristiche del componente per le sollecitazioni cui è stato sottoposto durante il funzionamento.

Le precedenti osservazioni implicano che per avere un'affidabilità ottimale, è necessario fare un rodaggio adeguato dei componenti, utilizzando gli stessi soltanto durante il periodo di vita utile; di conseguenza è anche necessario eseguire operazioni di manutenzioni programmata, sostituendo i componenti arrivati alla fine della loro vita utile. Solo operando in tal modo si può contare su un rateo di guasto minimo e (pressochè) costante nel tempo per i componenti utilizzati.

### 3.3 - VALUTAZIONE DELLA AFFIDABILITA' DI COMPONENTI

#### A. Componenti non riparabili

Ammettendo, come prassi usuale nell'ingegneria, di poter approssimare la probabilità con la frequenza osservata (ipotesi accettabile se la base statistica è sufficientemente ampia), l'affidabilità è data dalla relazione:

$$R(t) = N / N_0 \quad (3.1)$$

dove N è il numero di componenti "sopravvissuti" al tempo t, ed N<sub>0</sub> la dimensione del campione iniziale.

Analogamente, la inaffidabilità viene espressa dalla relazione:

$$Q(t) = 1 - R(t) = N_g / N_0 \quad (3.2)$$

dove N<sub>g</sub> è il numero di componenti guastatisi tra l'istante iniziale ed il tempo t generico.

E' da notare che le due relazioni sopra riportate sono valide per componenti **non riparabili**, ovvero che, una volta guasti, permangono in stato di guasto per tutta la durata della osservazione.

La definizione del tasso di guasto può essere tradotta nella relazione:

$$\lambda = \frac{1}{N} \left| \frac{dN}{dt} \right| \quad (3.3)$$

da cui, in base alla (1), si ricava immediatamente:

$$\lambda = - \frac{1}{R} \frac{dR}{dt} \quad (3.3')$$

Risolvendo:

$$R = \exp \left( - \int_0^t \lambda dt \right) \quad (3.4)$$

e nella ipotesi che  $\lambda$  sia costante nel tempo:

$$R = e^{-\lambda t} \simeq 1 - \lambda t \quad \text{se} \quad \lambda t \ll 1 \quad (3.4')$$

In base al teorema fondamentale della teoria delle probabilità si ha quindi:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \simeq \lambda t \quad \text{se} \quad \lambda t \ll 1 \quad (3.5)$$

Nello studio di un sistema composto da componenti non riparabili (es. missile, ecc.), la probabilità che il sistema si guasti nel tempo di missione  $\tau$  sarà data dalla  $Q(\tau)$ . Inoltre:

$$A(\tau) = R(\tau) \qquad I(\tau) = Q(\tau)$$

L'ipotesi di rateo di guasto costante (e minimo) è in generale valida per unità <sup>(9)</sup> che hanno subito il rodaggio (eliminazione dei difetti "infantili", cioè dovuti a malformazioni nella costruzione, errori banali, ecc.) e sono impiegate durante il periodo di "vita utile", prima che sopraggiunga l'usura. Utilizzando sempre unità nel periodo di vita utile (e quindi facendo manutenzione programmata con sistematica sostituzione delle unità alla fine del loro periodo di vita utile), l'intervallo di tempo medio fra due guasti successivi (MTBF - Mean Time Between Failures) è pari a  $1/\lambda$ . Più in generale si dimostra la validità della seguente relazione:

$$\text{MTBF} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3.6)$$

valida qualunque sia l'espressione matematica della  $R(t)$ .

Le precedenti definizioni e relazioni si estendono facilmente al caso di unità di processo con funzionamento ciclico, con la sostituzione del MTBF con il numero medio di cicli di corretto funzionamento "c" (da porre nelle precedenti relazioni al posto di  $1/\lambda$ ).

### B. Componenti riparabili

A differenza del caso precedente (e nella maggioranza dei casi di interesse della industria), il componente guasto viene riparato (o sostituito) e messo di nuovo in esercizio. Diventa allora importante il concetto di **tempo medio di riparazione (MTTR)**, ovvero l'intervallo di tempo durante il quale il componente rimane in stato di guasto. Analogamente al tasso di guasto, si può definire un tasso di riparazione m:

$$m = 1/\text{MTTR} \quad (3.7)$$

Per componenti riparabili la disponibilità viene pertanto definita come:

$$A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \quad (3.8)$$

ed analogamente la indisponibilità come:

$$I = 1 - A = \text{MTTR} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) = \frac{\lambda}{\lambda + m} \quad (3.9)$$

---

<sup>(c)</sup> In questo capitolo con il termine "unità" si intende indifferentemente componente, apparecchiatura o sistema.

### 3.4 - L'AFFIDABILITA' DI APPARECCHIATURE E SISTEMI DI PROTEZIONE E SICUREZZA

Per le apparecchiature ed i sistemi di protezione e sicurezza occorre premettere un'ulteriore classificazione delle tipologie di guasto:

- guasti in favore della sicurezza (fail safe), che cioè comportano l'intervento delle unità in assenza di una situazione di pericolo. In conseguenza di un intervento "fail safe", l'impianto cambia stato, passando da quello di normale esercizio ad una situazione di maggiore sicurezza; ciò automaticamente rivela il guasto dell'unità;
- guasti a sfavore della sicurezza (fail to danger), che comportano la non disponibilità dell'unità nel caso venisse chiamata ad operare in conseguenza di un guasto (domanda) del sistema di processo.

I guasti fail to danger possono essere rivelati (ed in tal caso prontamente riparati) o non rivelati; in quest'ultimo caso essi possono essere evidenziati solo da una domanda del sistema di processo (che non può essere soddisfatta e si traduce pertanto in un incidente) o da una prova ad hoc alla fine del tempo di missione. Chiaramente, poichè il rischio di incidenti deriva essenzialmente dal verificarsi di guasti fail to danger, il progettista pone una certa cura nel ridurre al minimo il relativo rateo di guasto, particolarmente per i guasti non rivelati.

Si è già accennato al fatto che un incidente in un impianto ad elevata pericolosità si ha soltanto per il concomitante verificarsi di un guasto al sistema di processo (domanda) e mancato intervento del sistema di protezione e sicurezza. Da qui la definizione di **"indisponibilità"** di un sistema di protezione, come probabilità di non intervento a seguito di una richiesta del sistema di processo. In tale modo la probabilità di verificarsi di un incidente viene ad essere data dal prodotto della probabilità di guasto del sistema di processo per l'indisponibilità del sistema di protezione.

Per guasti al sistema di protezione "fail to danger" non rivelati, si dimostra facilmente che l'indisponibilità per un tempo di missione  $\tau$  (intervallo fra due prove successive, in grado di rivelare il guasto del sistema di protezione) è data dalla relazione

$$I = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} Q(t) dt \quad (3.10)$$



In definitiva tale relazione esprime il fatto che  $I$  è pari al valore medio di  $Q(t)$  nell'intervallo di missione.  $I$  è anche pari al tempo morto relativo, cioè alla frazione del tempo  $\tau$  per cui in media il sistema di protezione è guasto:

$$I = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} (\tau - t) dQ \quad (3.11)$$

Nella precedente relazione  $dQ = \frac{dQ}{dt} dt$  è la probabilità che il sistema di protezione si guasti al generico istante  $t$ , nel qual caso resta guasto per il restante intervallo  $(\tau - t)$ .

Nel caso di un sistema di protezione ad affidabilità esponenziale:

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \simeq \lambda t \quad \text{se} \quad \lambda t \ll 1$$

e

$$I = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} (1 - e^{-\lambda t}) dt \simeq \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \lambda t dt = \frac{1}{2} \lambda \tau \quad (3.12)$$

Nella precedente relazione si è implicitamente ammesso che le prove siano tutte perfette e di durata infinitesima (cioè trascurabile rispetto a  $\tau$ ). Con tale ipotesi basterebbe ridurre l'intervallo di tempo fra due prove per ridurre di conseguenza quanto si vuole l'indisponibilità del sistema di protezione, in accordo alla (3.12). Al limite, facendo tendere  $\tau$  a zero, anche  $I$  tenderebbe a zero, contro l'ovvia conclusione che un sistema di protezione costantemente in prova non è mai disponibile a svolgere la sua funzione (e quindi ha indisponibilità pari a 1).

Introducendo la durata delle prove  $\tau_t$  (comprensiva della quota parte del tempo di riparazione quando la prova rivela un guasto), la precedente relazione diviene:

$$I = \frac{1}{2} \lambda \tau + \frac{\tau_t}{\tau} \quad (3.13)$$

dato che durante la prova il sistema non è disponibile e la sua  $Q$  vale 1. Quest'ultima relazione

si presta ad un'ottimizzazione dell'intervallo fra due prove successive; I è minima per:

$$\frac{dI}{d\tau} = \frac{1}{2}\lambda - \frac{\tau_t}{\tau^2} = 0 \quad (3.14)$$

$$\tau_o = \sqrt{\frac{2\tau_t}{\lambda}} \quad (3.15)$$

Sostituendo nella (3.13), si ha:

$$I_m = \lambda\tau_o = \sqrt{2\lambda\tau_t} \quad (3.16)$$

Anche l'altra ipotesi di prove perfette (che non introducono guasti) può essere rimossa, ammettendo che  $\lambda$  sia funzione del numero delle prove, crescente all'aumentare di questo:

$$\lambda = \lambda_o \cdot f(\tau) \quad (3.17)$$

La più semplice espressione per la (3.17) è

$$\lambda = \lambda_o \cdot \left(1 + \frac{K}{\tau}\right) \quad (3.17')$$

che, sostituendo nella (3.13), porta alla relazione:

$$I = \frac{1}{2}\lambda_o\tau + \frac{\tau_t}{\tau} + \frac{K\lambda_o}{2} \quad (3.18)$$

Per concludere questo paragrafo rimane da trattare il caso di guasti fail to danger rivelati. La soluzione del problema è immediata, ricordando che l'indisponibilità è pari al tempo morto relativo e quindi vale la relazione (3.9), già vista nel caso di componenti riparabili. E' implicita l'ipotesi che l'impianto continui ad essere esercito durante la riparazione. Nel caso di impianti ad elevata pericolosità, ciò può essere ammesso solo se ci sono altri sistemi di sicurezza in grado di svolgere la funzione svolta dal sistema in riparazione.

### 3.5 - VALUTAZIONE DELLA AFFIDABILITA' DI SISTEMI SEMPLICI

I casi di calcolo della affidabilità e della indisponibilità più comuni nell'ambito delle relazioni di sicurezza sono quelli schematizzabili con le logiche serie e parallelo.

#### A. Sistema serie (Fig. 3.2):

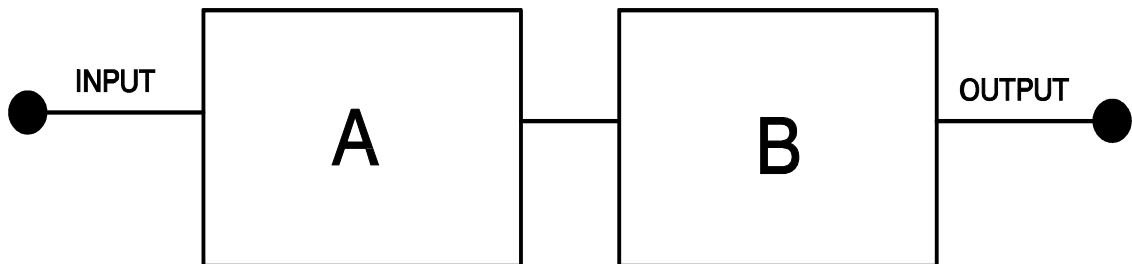


Fig. 3.2 - Schema di un sistema a logica serie

Nel caso di componenti non riparabili, la affidabilità del sistema nel tempo  $t$  è data da:

$$R_S = R_A \cdot R_B \quad (3.19)$$

e la inaffidabilità da:

$$Q_S = Q_A + Q_B - Q_A Q_B \quad (3.20)$$

Più in generale nel caso di  $N$  unità, poichè per avere il funzionamento del sistema occorre che tutte le unità funzionino correttamente, l'affidabilità del sistema è data semplicemente dal prodotto della affidabilità delle singole unità:

$$R_S = \prod_{i=1}^N R_i \quad (3.19')$$

Se le singole unità hanno affidabilità esponenziale, anche il sistema ha affidabilità esponenziale, con rateo di guasto pari alla somma di quelli delle singole unità; infatti la

(3.19) diviene:

$$R_s = \prod_i e^{-\lambda_i t} = \exp(-t \sum_i \lambda_i) = e^{-\lambda_s t} \quad (3.19'')$$

avendo posto:

$$\lambda_s = \sum_i \lambda_i \quad (3.21)$$

**B. Sistema parallelo** (Fig. 3.3):

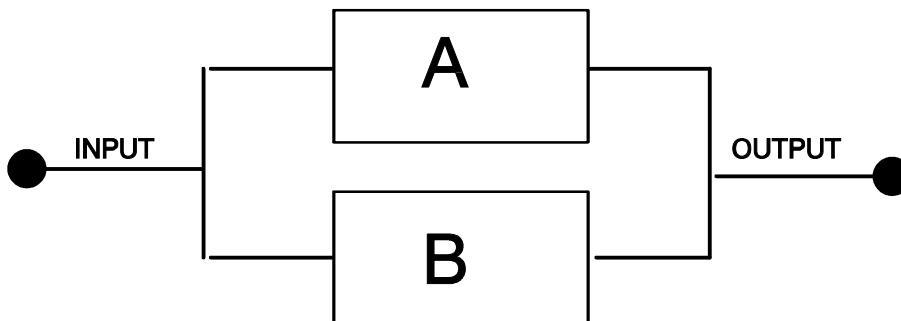


Fig. 3.3 - Schema di un sistema a logica parallelo.

Nel caso di componenti non riparabili, la affidabilità del sistema nel tempo  $t$  è data da:

$$R_p = R_A + R_B - R_A * R_B \quad (3.22)$$

e la inaffidabilità da:

$$Q_p = Q_A * Q_B \quad (3.23)$$

Infatti in questo caso, occorre che tutte le unità costituenti il sistema (e funzionanti contemporaneamente) si guastino poichè il sistema non svolga la sua funzione.

Nel caso di  $n$  unità con logica parallelo si ha:

$$Q_p = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (3.23')$$

Se le unità hanno affidabilità esponenziale, la precedente relazione diviene:

$$Q_p = \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \cong t \prod_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.23'')$$

$$R_p = 1 - Q_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) = 1 - t \prod_{i=1}^n \lambda_i \quad (3.22')$$

Nel caso di particolare interesse pratico, di  $n$  unità eguali costituenti il sistema, con  $\lambda t \ll 1$ , la relazione (3.23'') diviene:

$$Q_p = (\lambda t)^n \quad (3.23''')$$

Anche se i componenti A e B hanno rateo di guasto costante, il sistema parallelo è caratterizzato da un rateo di guasto funzione del tempo: nullo all'istante iniziale, va poi aumentando fino a raggiungere più o meno rapidamente il valore corrispondente a quello del componente più affidabile (a minore  $\lambda$ ).

### C. Sistemi con logica maggioritaria:

Un terzo caso di logica elementare di notevole interesse pratico per la realizzazione di sistemi di sicurezza è quello della logica maggioritaria. Con tale logica si conservano i vantaggi della logica parallelo, minimizzando il numero di interventi spuri del sistema per guasti "fail safe".

L'affidabilità di un sistema con logica maggioritaria  $m/n$  (cioè in cui per il funzionamento del sistema è richiesto il funzionamento corretto di  $m$  unità su  $n$  disponibili) si ricava immediatamente dallo sviluppo del binomio di Newton:

$$(R + Q)^n = 1$$

$$R^n + \binom{n}{1} R^{n-1} Q + \dots + \binom{n}{m} R^{n-m} Q^m + \dots + Q^n = 1 \quad (3.24)$$

Se  $R$  e  $Q$  sono l'affidabilità e l'inaffidabilità della singola unità, nell'ultima espressione il primo termine è la probabilità che tutte le unità funzionino correttamente, il

secondo quello che (n-1) unità funzionino correttamente ed una qualsiasi si guasti, ecc.; pertanto l'affidabilità del sistema con logica m/n è data dalla somma dei primi (m+1) termini della (3.24), mentre l'inaffidabilità è data dalla somma dei restanti (n-m) termini:

$$R_{m/n} = R^n + \binom{n}{1} R^{n-1} Q + \dots + \binom{n}{m} R^{n-m} Q^m \quad (3.25)$$

Se si indica con  $r = n-m+1$  il numero minimo delle unità che si devono guastare perchè il sistema si guasti si ha:

$$Q_{m/n} = \binom{n}{r} R^{n-r} Q^r + \dots + Q^n \quad (3.26)$$

Nella solita ipotesi di unità ad affidabilità esponenziale, con  $\lambda t \ll 1$ , la (3.26) si può approssimare con il primo termine:

$$Q_{m/n} = \binom{n}{r} (\lambda t)^r \quad (3.26')$$

Un caso particolarmente importante è quello della logica 2/3; in tal caso la (3.26') diviene:

$$Q_{2/3} = 3\lambda^2 t^2 \quad (3.27)$$

### 3.6 - L'INDISPONIBILITA' DI SISTEMI DI SICUREZZA E PROTEZIONE RIDONDANTI

Per sistemi con logica serie, quanto detto al punto del precedente paragrafo rende immediatamente applicabili le considerazioni svolte nel paragrafo 3.4 per il caso di singole apparecchiature.

L'indisponibilità per guasti fail to danger non rivelati di sistemi con logica parallelo o maggioritaria è ricavabile applicando la relazione generale (3.10); ad esempio, nel caso della logica parallelo 1/2 e con le usuali approssimazioni (valide per  $\lambda t \ll 1$ ), si ha:

$$I_{1/2} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \lambda^2 t^2 dt = \frac{1}{3} \lambda^2 \tau^2 \quad (3.28)$$

Analogamente nel caso 1/3, si ottiene immediatamente:

$$I_{1/3} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \lambda^3 t^3 dt = \frac{1}{4} \lambda^3 \tau^3 \quad (3.29)$$

Tenendo conto del contributo delle prove e delle manutenzioni, la (3.28) diviene <sup>(9)</sup>:

$$I_{1/2}^{pc} = \frac{1}{3} \lambda^2 \tau^2 + \frac{\tau_t}{\tau} \quad (3.30)$$

nel caso di prove e manutenzioni (di durata media  $\tau_t$ ) eseguite contemporaneamente alla fine del tempo di missione  $\tau$ .

Tale caso è in realtà solo teorico e sostanzialmente irrazionale; avendo a disposizione due unità, conviene sfalsare le prove di queste, in modo da avere sempre almeno un'unità funzionante. La più piccola indisponibilità si ottiene sfalsando le prove di  $\tau/2$ ; in tal caso (Fig. 3.4), l'inaffidabilità della prima unità è data dalla relazione usuale  $Q' = \lambda t$ , mentre quella della seconda (messa in funzione dopo la prova all'istante  $-\tau/2$ ) è  $Q'' = \lambda (t + \tau/2)$ , da cui:

$$Q_p = \lambda^2 t(t + \tau/2) \quad (3.31)$$

nell'intervallo in cui entrambe le unità funzionano,

$$e Q_p = \lambda t \quad \text{quando un'unità è in prova.}$$

La valutazione dell'indisponibilità può essere fatta con riferimento all'intervallo  $0 - \tau/2$ , essendo la situazione chiaramente ripetitiva (Fig. 3.4):

$$I_{1/2}^{ps} = \frac{2}{\tau} \left\{ \int_0^{\tau/2 - \tau_t} \lambda^2 t(t + \frac{\tau}{2}) dt + \int_{\tau/2 - \tau_t}^{\tau/2} \lambda t dt \right. \quad (3.32)$$

Sviluppando la (3.32) ed a meno di infinitesimi di ordine superiore, si ottiene:

$$I_{1/2}^{ps} = \frac{5}{24} \lambda^2 \tau^2 + \lambda \tau_t \quad (3.33)$$

Confrontando tale relazione con la (3.30), si vede immediatamente che il termine dovuto ai guasti fail to danger non rilevati delle due unità è ridotto di un fattore 8/5, mentre il contributo delle prove e manutenzioni è ridotto di alcuni ordini di grandezza.

Operando in maniera analoga nel caso di logica 1/3, si dimostra facilmente che, nel caso di prove e manutenzione contemporanee nelle 3 unità, l'indisponibilità è data dalla relazione:

$$I_{1/3}^{pc} = \frac{1}{4} \lambda^3 \tau^3 + \frac{\tau_t}{\tau} \quad (3.34)$$

mentre con prove sfalsate ad intervalli pari a  $\tau/3$ , si ottiene:

$$I_{1/3}^{ps} = \frac{1}{12} \lambda^3 \tau^3 + \frac{4}{9} \lambda^2 \tau \tau_t \quad (3.35)$$

<sup>(c)</sup>In questa e nelle successive relazioni l'apice "pc" sta ad indicare "prove contemporanee", l'apice "ps" prove



minore rispetto alla precedente di un fattore 3 per la parte dovuta ai guasti delle varie unità e di svariati ordini di grandezza per quanto concerne il contributo delle prove e manutenzioni.

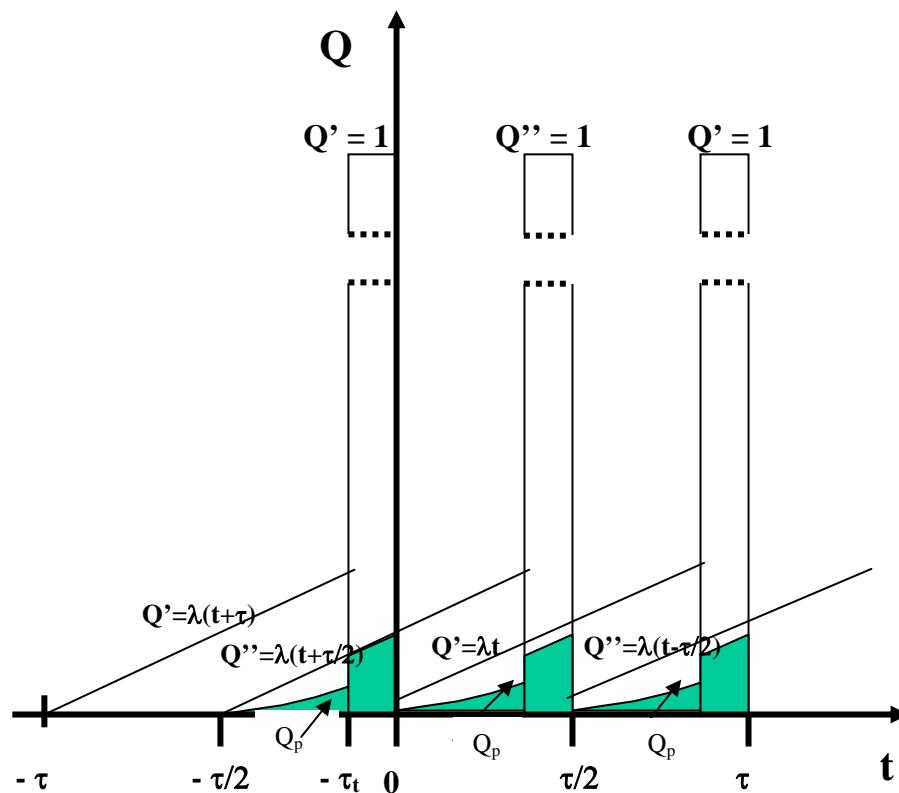


Fig. 3.4 - Rappresentazione grafica dell'inaffidabilità e dell'indisponibilità (aree tratteggiate) di un sistema di protezione con logica parallelo 1/2 e prove sfalsate di  $\tau/2$ .

Infine, nel caso di sistemi con logica maggioritaria 2/3, ricordando che  $Q_{2/3} \simeq 3\lambda^2 t^2$ , si ha:

$$I_{2/3}^{pc} = \lambda^2 \tau^2 + \frac{\tau t}{\tau} \quad (3.36)$$

nel caso (teorico) di prove e manutenzioni contemporanee di tutte le unità alla fine dell'intervallo di missione.

Al solito migliori risultati si hanno sfalsando le prove ad intervalli di  $\tau/3$ . Si lascia al lettore la soluzione, peraltro semplice, del problema di determinazione dell'indisponibilità

sfalsate.

in tale caso, avvertendo che si dovranno considerare, durante le prove e manutenzioni, due possibilità:

- l'unità in prova è esclusa e la logica diventa 2/2; quindi il sistema viene ad avere inaffidabilità somma di quelle delle unità residue:

$$Q = \lambda t + \lambda(t + \tau/3) = 2\lambda t + \lambda\tau/3;$$

- l'unità in prova è sostituita da un segnale in posizione di scatto, per cui la logica delle unità residue diventa 1/2:

$$Q = \lambda^2 t (t + \tau/3).$$

Un'osservazione merita esplicitare riguardo al fatto che le relazioni (3.33) e (3.35), valide per prove sfalsate, sembrerebbero non consentire l'ottimizzazione dell'intervallo  $\tau$  fra le prove di una unità, contrariamente al caso di prove contemporanee (relazioni (3.30), (3.34) e (3.36)). In proposito si può affermare che:

- sfalsando le prove, il problema dell'ottimizzazione di  $\tau$  è meno importante dato che, durante la prova di un'unità, una (o più delle altre) unità rimane operativa;
- l'ottimizzazione è ancora possibile, ma nello sviluppo delle relazioni (3.33), (3.35) o analoghe occorre inserire i termini infinitesimi di ordine superiore.

Per completare questo paragrafo è opportuno evidenziare che le formule precedenti (3.33), (3.35) e (3.36) (e le analoghe in caso di logica 1/4, 2/4, ecc.) presuppongono la completa indipendenza fra le varie unità, mai realizzabile completamente. Si hanno dipendenze per unitarietà del progetto, della costruzione e montaggio, per la posizione sull'impianto, ecc., che in definitiva si traducono in una probabilità finita di guasti di tipo comune o comunque contemporanei; tale probabilità è ordini di grandezza maggiore di quella calcolata nell'ipotesi di completa indipendenza delle varie unità. Indicazioni operative su questo argomento (peraltro fondamentale per le analisi di rischio) sono date nel successivo paragrafo 3.8.

### 3.7 - METODI PER LA ANALISI DELLA AFFIDABILITA' DI SISTEMI COMPLESSI

Allo scopo di studiare la probabilità di guasto di un sistema complesso sono stati sviluppati diversi metodi che, oltre a costituire un (relativamente) semplice strumento di calcolo per ottenere tale grandezza, forniscono sempre anche informazioni **qualitative** di notevole importanza per la conoscenza del sistema e per poter quindi prendere decisioni basate su una conoscenza per quanto possibile completa e corretta del sistema in esame.

Le principali tecniche usate a questo scopo, su cui si soffermerà brevemente nel seguito a livello applicativo, sono già state introdotte nel precedente capitolo: l'albero dei guasti e l'albero degli eventi, diagrammi logici mutuati dalla teoria delle decisioni.

#### 3.7.1 - Metodo dell'albero dei guasti

L'albero dei guasti è una tecnica **deduttiva**, che analizza un particolare evento ("Top Event") per individuarne le cause.

Per una costruzione corretta dell'albero dei guasti di un sistema complesso è opportuno l'ausilio di tecniche quali la Analisi di Operabilità (HAZOP) o la FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), che consentono di identificare i "Top Events" e la struttura logica che li determina attraverso una analisi completa e congruente del sistema.

La analisi mediante albero dei guasti procede attraverso i seguenti passi:

- **costruzione dell'albero;**
- **analisi qualitativa:** soluzione della logica dell'albero mediante la applicazione delle regole dell'algebra di Boole, per ottenere gli "insiemi minimi di taglio" ("Minimal Cut Sets-MCS") del sistema;
- **analisi quantitativa:** espressione della indisponibilità del "Top Event" o del numero atteso di eventi nel tempo di missione, come somma delle indisponibilità o del numero di eventi dei singoli "MCS".

Un insieme minimo di taglio (MCS) rappresenta una combinazione di eventi non ulteriormente suddivisibile (da cui l'aggettivo "minimo") il cui verificarsi comporta il verificarsi del "Top-Event". La analisi dell'albero dei guasti consente di individuare

eventuali eventi che possono direttamente condurre al "Top Event" (MCS del primo ordine), i MCS di ordine 2 (per i quali è richiesto il verificarsi di 2 eventi indipendenti), ecc.; alla fine è anche possibile listare i diversi "Minimal Cut Sets" in ordine di importanza relativa (contributo alla probabilità di verificarsi del "Top Event").

Le regole della algebra di Boole sono richiamate nell'Appendice 1, mentre un esempio di applicazione dell'albero dei guasti è mostrato in Appendice 2.

L'albero dei guasti è attualmente lo strumento forse più usato nell'ambito delle analisi di sicurezza per lo studio delle cause degli incidenti, per la identificazione dei componenti più critici, per la valutazione degli effetti di diverse politiche di manutenzione (intervalli di tempo fra le prove, ecc.) e per la quantificazione delle probabilità di incidente.

**Nota bene:** l'albero dei guasti presuppone che tutti gli eventi di base riportati siano **indipendenti**. Nella realtà ciò non è sempre vero (es. componenti la cui probabilità di guasto dipende dallo stato di guasto o di funzionamento di un altro componente, oppure dipendenze causate dalla manutenzione). Di tali cause di dipendenza occorre tener conto con la adozione di tecniche opportune (ved. paragrafo successivo 3.8).

### 3.7.2 - Metodo dell'albero degli eventi

A differenza dell'albero dei guasti, l'albero degli eventi è un metodo **induttivo** che, dalla conoscenza dei possibili stati di componenti, consente di costruire l'insieme di tutte le possibili "storie" del sistema.

Il processo logico parte dall'ipotesi che si sia verificato un determinato evento (evento iniziatore) e si vanno a studiare tutte le possibili diramazioni, a seconda che intervengano e meno i vari sistemi di protezione.

Le storie costruite mediante l'albero degli eventi sono mutuamente esclusive e sono causate dal contemporaneo verificarsi di tutti gli eventi appartenenti al ramo dell'albero che le definisce. La loro probabilità è allora esprimibile come prodotto delle probabilità dei nodi dell'albero; la probabilità di più storie è la somma delle probabilità del verificarsi di ogni singola storia.

A differenza dell'albero dei guasti, l'albero degli eventi consente di trattare con maggiore flessibilità dipendenze tra gli eventi e di simulare la variazione della probabilità

di un evento in funzione del verificarsi o meno di eventi precedenti. In proposito si veda l'esempio esplicativo riportato in App. 3.

Nell'ambito delle analisi di sicurezza, attualmente l'albero degli eventi trova anche applicazione nella analisi delle fenomenologie conseguenti ad un evento (es. studio della probabilità dei diversi possibili scenari derivanti da un determinato rilascio, in dipendenza della presenza di innesco, di particolari condizioni atmosferiche, etc.).

### 3.8 - CAUSE COMUNI DI GUASTO

Con il termine "cause comuni di guasto" (Common Cause Failures, CCF) si intendono eventi in grado di indurre un guasto in tutti i componenti o sistemi interessati.

Ad esempio:

- **dipendenza funzionale.** Perdita di un input funzionale comune a più componenti (es. alimentazione elettrica, segnale di controllo, etc.). Questo tipo di dipendenza può essere rilevata dalla analisi logica dell'albero dei guasti o dell'albero degli eventi mediante la quale si esplicitano tutti gli eventi comuni a più rami dell'albero;
- **evento esterno.** Tutti i sistemi sono soggetti ad uno stesso evento anomalo esterno (ad es. allagamento, incendio, etc.), in grado di metterli contemporaneamente fuori servizio;
- **cause legate al fornitore.** Ad esempio difetti comuni a più apparecchiature dello stesso lotto provenienti dallo stesso fornitore;
- **cause legate a fattori operativi.** Tutti i componenti sono soggetti a vibrazioni, alte temperature, etc., ovvero sono soggetti a manutenzione da parte della stessa squadra con le stesse procedure (quindi potenzialmente sottoposti agli stessi errori).

Solo in alcuni casi particolari è possibile studiare tali effetti comuni (estremamente importanti poichè possono mettere fuori servizio catene di protezione altrimenti ritenute ridondanti) mediante la analisi diretta dell'albero dei guasti o dell'albero degli eventi.

Nella maggioranza dei casi è possibile solo stimare l'influenza di tali effetti ricorrendo ad una quantificazione approssimata della dipendenza.

#### 3.8.1 - Analisi qualitativa

Il metodo consiste nel dimostrare con argomenti di tipo qualitativo che nel progetto di un impianto sono state prese adeguate misure contro il manifestarsi di CCF.

Per esempio:

- le procedure di Garanzia della Qualità per evitare errori nel progetto, nella costruzione e

nell'installazione;

- le prove a cui sono sottoposti i componenti ed i sistemi prima della messa in funzione dello impianto a livello operativo, per evidenziare eventuali errori di installazione o di dimensionamento;
- la diversificazione dei fornitori, dei tipi di componenti e dei materiali, per evitare guasti dovuti ad errori di produzione o difetti di materiali;
- una particolare cura nell'isolare topologicamente i diversi componenti, per evitare che particolari condizioni ambientali o incidentali agiscano nello stesso modo su componenti appartenenti a diversi canali ridondanti;
- l'applicazione della Garanzia della Qualità nelle procedure di manutenzione, per evitare che l'operatore non si avveda di posizioni non corrette di interruttori o valvole dopo gli interventi, etc.

### 3.8.2 - Individuazione delle possibili CCF

Identificati i componenti il cui guasto simultaneo può dare luogo al Top Event, è possibile listare tali eventi in una matrice le cui righe rappresentino possibili categorie di causa comune di guasto. Ad es.:

<b>Componente</b> <b>Categoria</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Localizzazione	L101	L104	L101
Fabbricante	F1	F1	F2
Vibrazioni	V1	-	-
Temperatura	-	T100	T100
Manutenzione, ecc.	M1	-	M1

Attribuendo codici ai diversi effetti è possibile vedere quali componenti sono potenzialmente soggetti a cause comuni ( ad esempio: A e C sono posti nella stessa area L101 e sono soggetti a manutenzione secondo la stessa procedura M1; A e B sono fabbricati dallo stesso fornitore F1; B e C sono soggetti alla stessa temperatura T100.

Una volta identificate possibili classi di cause comuni, si può verificare se sono possibili misure per evitare questi effetti e si può stimare la influenza degli effetti non eliminabili.

### 3.8.3 - Quantificazione delle CCF

Sono stati proposti numerosi metodi per quantificare l'effetto delle cause comuni di guasto.

Per eventi esterni quantificabili (ad es. probabilità di allagamento, o di incendio, o probabilità di perdita di un servizio o di un input comune) si introduce nell'albero la corrispondente probabilità.

Nel caso di fattori non direttamente quantificabili (es. difetti di fabbricazione, sensibilità agli stessi parametri ambientali, etc., per i quali non siano disponibili informazioni da altra fonte, si ricorre a stime. Si riportano di seguito due metodi molto semplici, in grado però di fornire una stima della influenza dell'effetto, basata sulla esperienza e sul giudizio dell'analista.

#### *A. Metodo del cut-off*

L'esperienza e il buon senso suggeriscono l'osservazione che il processo di aumentare le ridondanze per migliorare l'affidabilità deve avere un limite; in altri termini è impossibile raggiungere un grado di sicurezza assoluto. Su tale principio si basa la regola del cut-off (taglio o soglia, in italiano; Fig. 3.5), che in definitiva equivale all'applicazione di un criterio di ragionevolezza e buon senso: per ogni livello di qualità di un sistema di sicurezza, c'è un valore di indisponibilità minima raggiungibile (cut-off), peraltro difficile da stabilire.

L'applicazione della regola ad un progetto specifico può effettuarsi solo attraverso l'uso del giudizio ingegneristico e dei pochi dati disponibili dall'esperienza passata, che però non sempre è direttamente trasferibile ad impianti di nuovo tipo.

Una guida all'uso del cut-off è data in Fig. 3.6, che si basa sull'esperienza accumulata dal Safety and Reliability Directorate dell'UKAEA, attraverso la compilazione dei dati derivanti da impianti, sia nucleari che industriali.

#### *B. Il Coefficiente Beta*

La tecnica di cut-off non tenta di rappresentare i fattori che determinano le dipendenze.



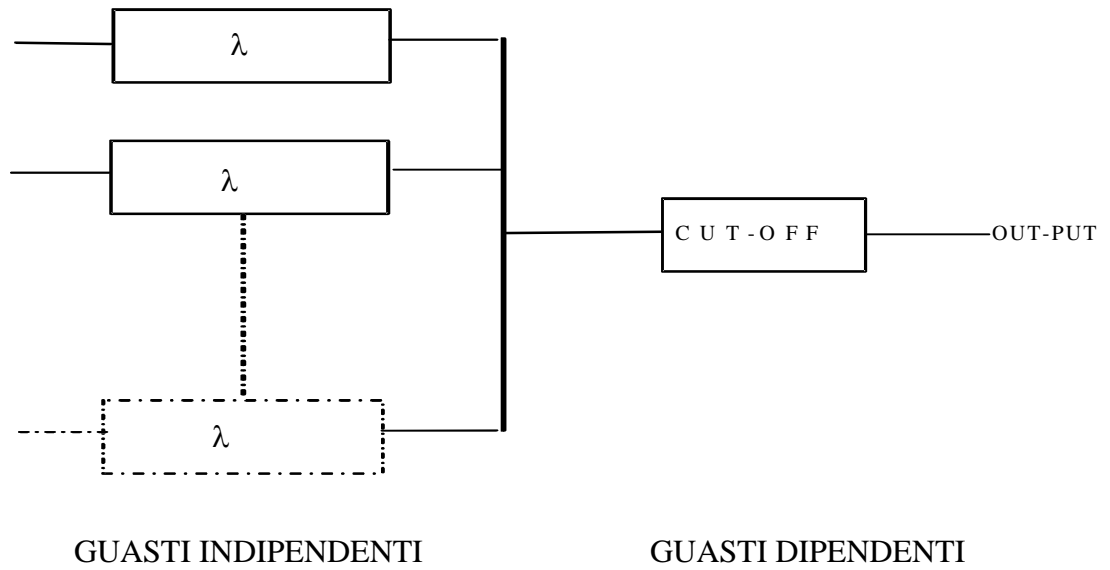
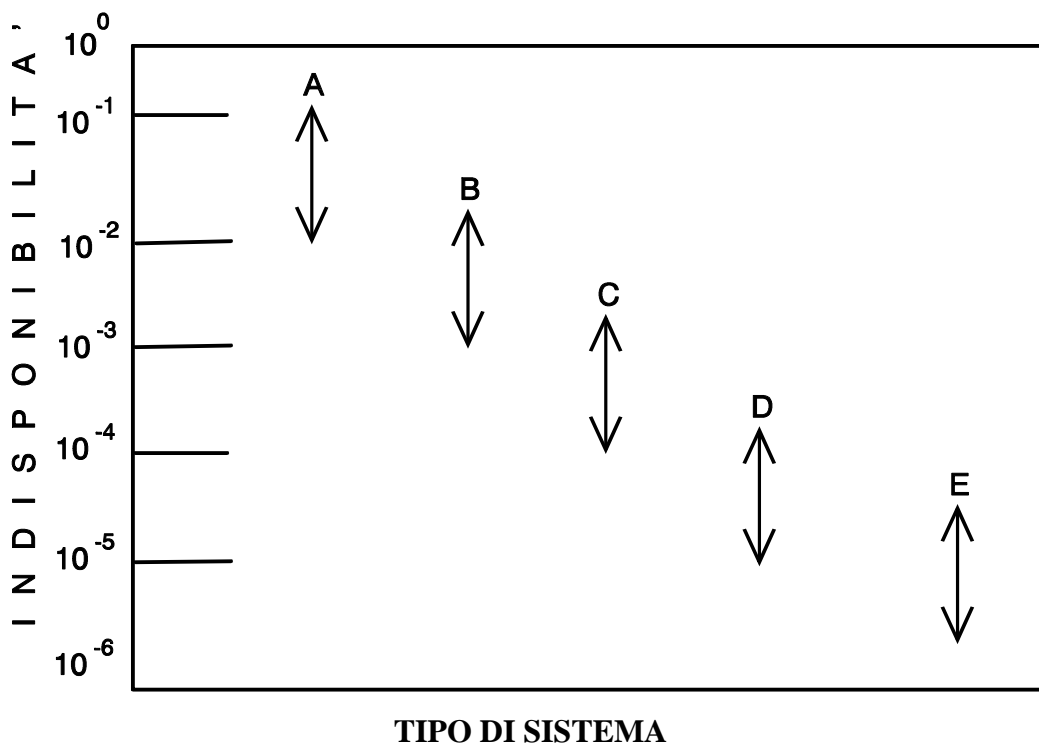


Fig. 3.5 - Il metodo del cut-off



Tipo di sistema:

- A     semplice, sistema unico
- B     semplice, sistema ridondante
- C     sistema parzialmente diversificato
- D     sistema completamente diversificato
- E     due sistemi separati, ciascuno diversificato

Fig. 3.6 - Guida ai possibili intervalli di indisponibilità dei sistemi di sicurezza.

Un passo successivo nello sviluppo di modelli è quello di cercare di descrivere come qualche importante caratteristica influenzi il contributo delle dipendenze nei guasti all'affidabilità globale del sistema. Il modello, detto "coefficiente  $\beta$ ", assume i ratei di guasto dei componenti singoli come una caratteristica significativa del progetto, supponendo che il rateo di guasto totale per ciascuna unità (ridondante) sia composto dai contributi dei guasti dipendenti e di quelli indipendenti:

$$\lambda = \lambda_i + \lambda_c \quad (3.37)$$

dove:

- $\lambda_i$  è il tasso di guasto per guasti indipendenti
- $\lambda_c$  quello attribuibile ai guasti dipendenti

Il fattore  $\beta$  è definito come:

$$\beta = \frac{\lambda_c}{\lambda_i + \lambda_c} = \frac{\lambda_c}{\lambda} \quad (3.38)$$

e rappresenta il contributo relativo dei guasti dipendenti ai guasti dell'unità (vedi Fig. 3.7).

L'affidabilità del sistema può essere espressa in termini di  $\lambda$  e di  $\beta$ . L'ipotesi cruciale è che il fattore  $\beta$  ricavato per condizioni di impianti esistenti sia ancora valido per impianti di nuova progettazione. Dati dall'esperienza operativa possono essere utilizzati per calcolare i valori di  $\lambda$  e di  $\beta$ . Dall'esperienza di reattori nucleari americani, ad esempio, è stato ricavato per le pompe un valore di  $\beta = 0,15$ ; per altri tipi di componenti sono stati utilizzati valori di  $\beta = 0.01 - 0.1$ .

I dati da usare includono tutti gli esempi di rotture multiple, indipendentemente dal fatto che queste siano o no seguite dal guasto del sistema. Questo uso dei dati viene fatto per la scarsità degli stessi, ma anche perchè il modello non distingue tra i diversi livelli di ridondanza.

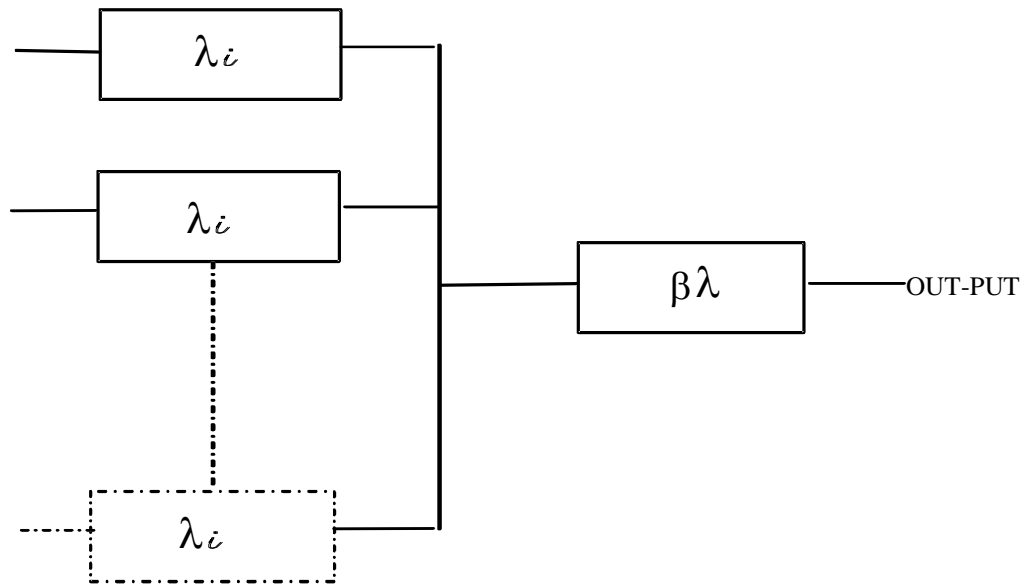


Fig. 3.7 - Il metodo del fattore  $\beta$

### 3.9 - L'AFFIDABILITA' UMANA

#### 3.9.1 - Note introduttive

La problematica della affidabilità umana è complessa ed allo stato attuale non esiste una metodologia universalmente riconosciuta adeguata per la analisi di questo fattore.

Storicamente, il primo approccio sistematico a tale problematica è dovuto a Rasmussen che, per lo studio di rischio dei primi 100 impianti nucleari di potenza in USA (WASH 1400) /2/, analizzò il ruolo dell'operatore dell'impianto; a questi vengono richieste determinate operazioni a seguito di un particolare addestramento ed a partire da precise istruzioni, sotto forma di procedure scritte e con l'ausilio di un interfaccia appositamente predisposta per rendere più agevoli e corretti gli interventi. Limitatamente a questa sfera di indagine il ruolo che l'operatore svolge è duplice: da una parte è chiamato, a prestabiliti intervalli di tempo, ad effettuare operazioni di manutenzione e serie di prove sul corretto funzionamento di componenti importanti; dall'altra a sorvegliare il corretto funzionamento dell'impianto durante l'esercizio a regime, a sorvegliare o a pilotare il processo o lo spegnimento dell'impianto, a intervenire durante un transitorio accidentale o almeno a diagnosticare l'incidente e a vegliare sul corretto funzionamento dei sistemi di sicurezza, nel caso di impianti altamente automatizzati. Sulla base dell'analisi dei compiti richiesti all'operatore, Rasmussen introdusse la seguente classificazione dei diversi possibili tipi di intervento, a seconda che questi fossero basati su:

- a) l'abilità (**skill based**);
- b) l'uso di regole o procedure scritte (**rule based**);
- c) la conoscenza (**knowledge based**).

Gli interventi di tipo a) consistono in azioni semplici (ad es., azionare un interruttore), che l'operatore compie in modo quasi automatico, senza quasi accorgersene, al verificarsi di determinate condizioni; la maggior parte delle azioni che ciascuno di noi compie nel guidare un'automobile è di questo tipo. Sono queste azioni molto semplici, in cui l'uomo è effettivamente quasi un'automa, quelle per cui è anche relativamente semplice predisporre dei tests per estrarre dati di probabilità di azione corretta in funzione dei diversi fattori che condizionano il comportamento umano.

Al livello intermedio b) sono le azioni che richiedono un processo più complicato,

quale per esempio il riconoscere il tipo di intervento necessario (ad es., il tipo di incidente) e scegliere pertanto la procedura corretta, che descriva le azioni da compiere in sequenza.

Il livello superiore è quello "cognitivo" c). La diagnosi è fatta non in base a scenari descritti nelle procedure o comunque prefigurati, ma per "conoscenza" del processo fisico e dopo un'analisi accurata dell'evoluzione della situazione.

A livello cognitivo o intuitivo, l'uomo è anche capace di porre rimedio a situazioni impreviste, mentre al contrario, per errori interpretativi, distrazione o inavvertenza, o per mancanza di conoscenza adeguata può escludere sistemi di sicurezza altrimenti indipendenti, provocando sequenze di eventi assolutamente inattesi e indescrivibili a priori.

In definitiva, l'uomo, nell'ambito dell'impianto, è un componente tutto particolare, cui sono assegnati molti compiti, normali (frequenti) o eccezionali (non frequenti). A differenza degli altri componenti fisici dell'impianto ha queste particolarità:

- è molto sensibile alle condizioni esterne;
- è un componente adattativo; in funzione delle condizioni e dell'esperienza tende a modificare il compito assegnatogli;
- svolge molte funzioni contemporaneamente, per cui può spostare l'attenzione da una funzione ad un'altra;
- è un'elaboratore di informazioni "olistico", cioè vede l'insieme, distingue forme (l'uomo è profondamente diverso, come elaboratore di informazioni, da un computer);
- in relazione alla ripetitività delle azioni e allo stato di stress agisce in base a procedure psicologiche basate sulle abilità memorizzate (skill-based), su regole programmate (rule-based) o sulla conoscenza (knowledge based).

Sulla base della discussione precedente, si può considerare l'errore umano come il corrispondente del guasto di un componente fisico. Quindi anch'esso deve essere riferito a una precisa funzione e a un predeterminato livello di prestazione. Poichè la funzione svolta dall'operatore è costituita in generale da diverse "azioni" (tasks), anche l'errore dovrà essere riferito alla specifica azione. Si possono distinguere due categorie di errori: errori di comportamento ed errori dovuti alla predeterminazione di un livello di prestazioni non compatibile con la capacità dell'uomo. Più in particolare è possibile classificare gli errori umani secondo tre tipologie:

- **errori random:** corrispondono alla naturale fluttuazione di prestazioni dell'uomo di fronte ad azioni ripetute;

- **errori sistematici:** possono appartenere alle due categorie prima indicate, cioè possono essere dovuti ad un comportamento errato, dovuto per esempio alla "selettività" dell'uomo, alla sua tendenza a farsi un proprio "modello di impianto" ed in particolare a ipotizzare situazioni già sperimentate (stereotipi), ecc.;
- **errori sporadici:** sono legati alla grande variabilità del comportamento umano; sono eccezionali e per la loro natura poco trattabili.

Dati di probabilità per errori umani possono essere derivati dalla esperienza nel caso di errori random, cioè nel caso di azioni ben definite e ripetibili. La Tab. 3.1 riporta esempi di questo tipo di dati, in generale ottenuti in base ad esperimenti condotti in ambito militare.

DESCRIZIONE EVENTO	I
OPERATORE NON SEGUE LE ISTRUZIONI RICEVUTE	5E-2
ERRORE DI LETTURA STRUMENTO	5E-3
OMMISSIONE DI AZIONE PREVISTA DALLE PROCEDURE	2E-3
OMMISSIONE DI AZIONE NON PREVISTA ESPLICITAMENTE DALLE PROCEDURE	1E-2
ERRORE DI CONNESSIONE PARTI MOBILI	3E-3
ERRORE DI CALCOLO ARITMETICO	3E-2
ERRORE IN AZIONE MANUALE	5E-3
ALLARME ACUSTICO E VISIVO IGNORATO	3E-4
INTERVENTO MANUALE OPERATORE, SENZA INDICAZIONI, ALLARMI E TELECOMANDI	1E-1
INTERVENTO MANUALE OPERATORE, CON INDICAZIONI, SENZA ALLARMI E TELECOMANDI	5E-2
INTERVENTO MANUALE OPERATORE, CON INDICAZIONI E ALLARMI, SENZA TELECOMANDI	1E-2
INTERVENTO MANUALE OPERATORE, CON INDICAZIONI, ALLARMI E TELECOMANDI	1E-3

Tab. 3.1 - Dati sulla probabilità di errore umano (ripresi dal Manuale di Dossier Ambiente citato nel testo)

Nel caso di errori sistematici dovuti a comportamento errato dell'uomo è possibile una quantificazione quando esistano nella azione considerata delle possibilità di

retroazione e di correzione, che abbiano a loro volta carattere definito, ripetitivo, ecc.

Il problema più complesso è posto dagli errori di squilibrio tra le esigenze della macchina e la capacità dell'uomo. Gli errori dovuti a questa situazione sono imputabili sia alla macchina, sia all'uomo. La situazione suggerisce il modello centrale della teoria della affidabilità strutturale: l'interferenza tra carico e resistenza, peraltro la "resistenza" dell'uomo è spesso, e in modo non lineare, influenzata dal carico, cioè dallo stato di tensione nervosa (stress) in cui l'uomo si viene a trovare.

### 3.9.2 - Ricerca sistematica degli errori umani

Per la analisi e la valutazione sistematica di compiti divisibili in azioni ben definite in USA è stata proposta e applicata generalmente la tecnica dell'albero degli eventi dell'affidabilità umana (HRA = Human Reliability Analysis), il cui schema generale è illustrato in Fig. 3.8.

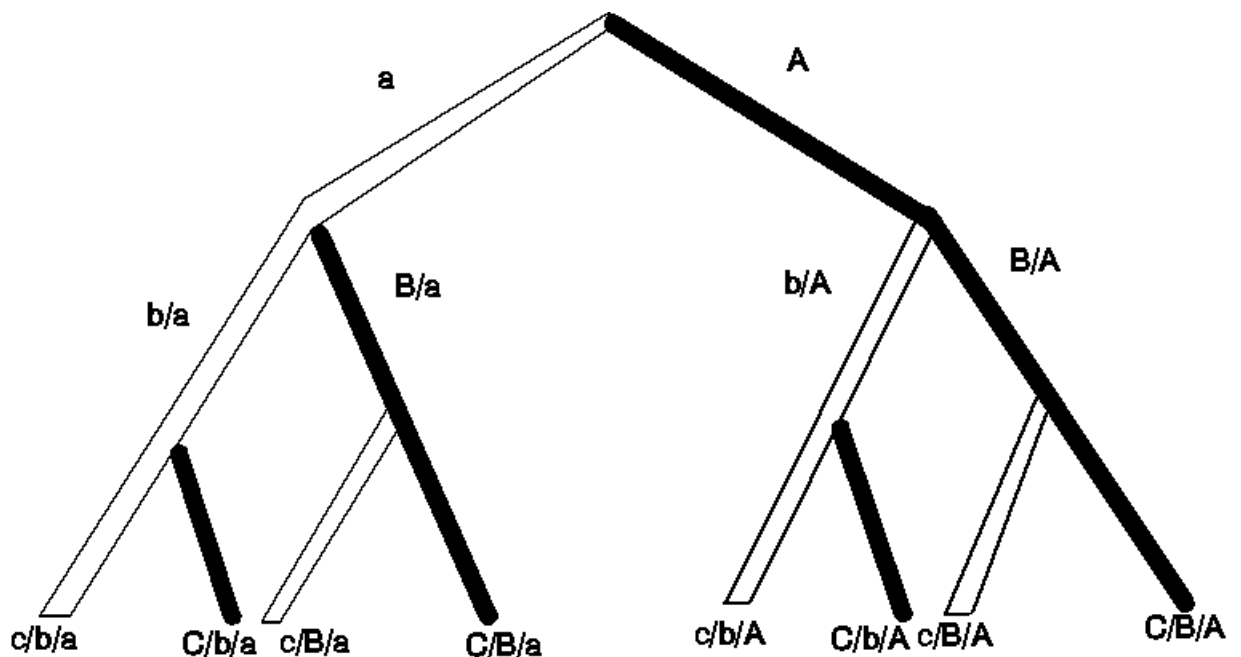


Fig. 3.8 - Albero degli eventi che mostra le possibili sequenze di un intervento dell'operatore a 3 tasks, dal completo successo (linea solida) al completo insuccesso (doppia linea).

Lo stesso approccio può essere applicato per la valutazione dell'affidabilità di un operatore, che abbia la possibilità di riconoscere il proprio errore e quindi correggerlo in

tempo. Ad es. si riporta in Fig. 3.9 l'albero degli eventi per tale caso, quando c'è anche un supervisore che, sovrintendendo all'operazione, ha un'ulteriore possibilità di azione correttiva. L'albero di Fig. 3.9 è semplificato rispetto a quello di Fig. 3.8, non avendo senso tutte le possibili sequenze a valle di un'azione corretta dell'operatore o del supervisore. In definitiva, la situazione di pericolo si ha solo in caso di fallimento di tutte le azioni, con probabilità in generale molto minore rispetto a quella di errore umano nella prima operazione. Nella stessa figura sono riportati dati indicativi a tale proposito.

Il dato di errore umano, così analizzato tramite lo "HRA event tree", è poi considerato come un evento primario in un albero dei guasti che comprende i guasti fisici dei componenti.

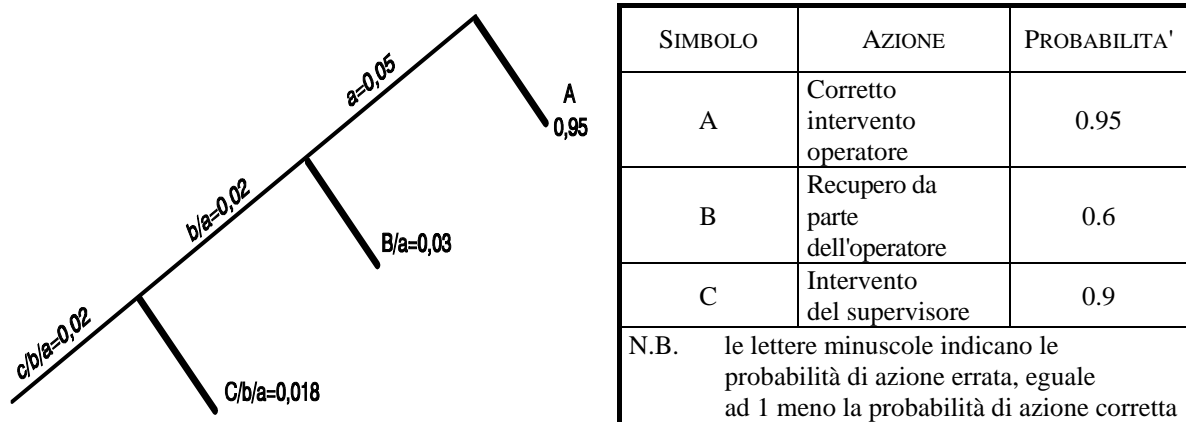


Fig. 3.9 - Albero degli eventi per l'intervento di un operatore, con possibilità di recupero e intervento di un supervisore.

Gli errori in compiti non ulteriormente divisibili vanno cercati e valutati tenendo conto delle condizioni ambientali in cui il compito deve essere svolto: prossimità topologica di operazioni, tempo disponibile per eseguire l'azione (il tempo è per esempio un fattore importante per eventuali azioni correttive), carico psicologico (memoria richiesta), ecc.

Occorre tener conto anche di possibili condizioni di "prossimità psicologica", cioè della similitudine di operazioni o segnalazioni coinvolte nel compito assegnato. E' questa una circostanza che riveste grande importanza per la possibilità di interazione tra due eventi legati all'interferenza tra un intervento umano e l'altro o tra un intervento umano ed un fattore esterno. La dipendenza aumenta se:



- gli eventi sono vicini fra di loro in termini di spazio ed in termini di tempo, come può essere il caso della taratura di due strumenti, eseguite l'una dopo l'altra su due apparecchi contigui;
- c'è un collegamento funzionale tra due eventi;
- se gli eventi sono frutto dell'operato di due persone diverse, la dipendenza aumenta se le due persone hanno caratteristiche simili o se sono di stessa estrazione, o se hanno seguito lo stesso addestramento, o se sono influenzate dagli stessi fattori fisici e/o psicologici.

Il campo di dipendenza è variabile con continuità; per ragioni pratiche, esso è reso usualmente discretizzato e diviso in 5 parti uguali: completamente indipendenti, a bassa, media, alta dipendenza ed infine completamente dipendenti. Indicando con  $p_x$  la probabilità di errore umano in una certa incombenza (operazione x), si ammette che la probabilità  $p_{x+1}$  che fallisca anche la successiva operazione sia:

$$p_{x+1} = p_x \quad \text{in caso di assoluta indipendenza}$$

$$p_{x+1} = \frac{1+3p_x}{4} \quad \text{in caso di bassa dipendenza}$$

$$p_{x+1} = \frac{2+2p_x}{4} \quad \text{in caso di media dipendenza}$$

$$p_{x+1} = \frac{3+p_x}{4} \quad \text{in caso di alta dipendenza}$$

$$p_{x+1} = 1 \quad \text{in caso di assoluta dipendenza}$$

Un altro metodo, proposto ed applicato per la valutazione della probabilità di errore degli operatori in sala controllo di impianti chimici, è quello del modello semiempirico TESEO (Tecnica Empirica per la Stima degli Errori Operazionali).

La probabilità di insuccesso (a causa di errore dell'operatore)  $P_{oper}$  è valutata come prodotto di cinque fattori  $K_i$ , tenendo conto del tipo di attività (K1), del tempo a disposizione per eseguire l'operazione (K2), delle caratteristiche comportamentali dell'operatore (K3), dello stato emozionale di questi (K4) e delle caratteristiche ergonomiche dell'ambiente di lavoro (K5):

$$P_{oper} = K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4 \cdot K5 \quad (3.39)$$

I valori numerici forniti dall'autore per i vari  $K_i$  sono riportati nella Tab. 3.2.

Si noti che la probabilità di errore dell'operatore assume valori del tutto trascurabili ( $3 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4}$ ) in condizioni ottimali (prodotto dei valori minimi dei vari  $K_i$ ), mentre diventa praticamente unitaria nelle condizioni peggiori. A tale proposito è appena il caso di osservare che l'applicazione diretta della relazione (3.39) non è corretta nei casi in cui il prodotto dei 5 fattori sia maggiore di 0,1; in tal caso occorre applicare direttamente la relazione esponenziale:

$$P_{oper} = 1 - \exp \left[ - \left( \prod_{i=1}^5 K_i \right) \right] \quad (3.40)$$

Fattore	Aspetto considerato	Caratteristica	Valore numerico
K1	Tipo d'attività	Routine semplice	0,001
		Routine complessa	0,01
		Non di routine	0,1
K2	Tempo a disposizione	Routine > 20 s	0,5
		10 s	1
		2 s	10
		Non di routine > 60 s	0,1
		45 s	0,3
		30 s	1
K3	Caratteristiche operatore	Molto esperto	0,5
		Mediamente esperto	1
		Poco esperto	3
K4	Situazione operativa	Normale	1
		Potenzialmente di emergenza	2
		Di emergenza	3
K5	Condizioni ambientali	Ottime	0,7
		Buone	1
		Discrete	3
		Cattive	7
		Pessime	11

Tab. 3.2 - Fattori del Modello TESEO (ripresa da Bello /3/, 1980)

La ricerca di errori possibili in sequenze complesse può essere eseguita tramite adeguate simulazioni. I dati disponibili sono piuttosto scarsi, anche se si trovano esempi di applicazioni in diversi settori: per impianti nucleari, nel settore militare (in USA), in campo aeronautico, ecc. In particolare, è in corso un po' dovunque una ricerca di dati sulla base della esperienza di funzionamento di reattori nucleari e con l'uso di simulatori.

**Poichè l'errore umano è un importante origine di guasti comuni, ricerca di errori umani e ricerca di guasti comuni sono strettamente connesse.**

Infine alcune considerazioni di ergonomia

Ovviamente, se si vogliono evitare errori o comunque ridurre la probabilità, l'operatore va messo nelle migliori condizioni di svolgere il proprio lavoro. Regole generali, se si vuole banali, ma non sempre osservate, sono:

- evitare di riportare in sala controllo centinaia e centinaia di segnalazioni e di allarmi che provocano un gran numero di chiamate false o comunque di scarsa importanza. Gli operatori, assillati da tali chiamate, sono spinti a tacitare i più queruli, ma il loro sistema nervoso, che dovrebbe restare lucido, ne è in ogni caso scosso. Nell'eventualità di effettivo incidente poi, quando buona parte delle segnalazioni e degli allarmi viene attivata, la confusione aumenta e ciò non aiuta certamente a tenere la situazione sotto controllo. Se numerose segnalazioni ed allarmi si susseguono in un intervallo di tempo molto breve, la possibilità di non rilevare correttamente il messaggio segue la legge del raddoppio: cioè se è  $10^{-2}$  la probabilità di errore al secondo segnale, la probabilità di errore al terzo segnale sarà di  $2 \cdot 10^{-2}$ , al quarto segnale sarà di  $4 \cdot 10^{-2}$  e così via;
- predisporre chiare ed indelebili targhe di identificazione e di istruzione sui componenti oggetto di intervento e di manutenzione;
- rendere agevoli e se possibile anche confortevoli (luce, spazio, protezione contro il freddo, la pioggia, ecc.) i luoghi in cui è prevedibile la presenza di operatori, anche in via saltuaria ed eccezionale; studiare la disposizione di impianto in modo da facilitare gli interventi per manutenzione, controllo, taratura strumenti, ecc.;
- curare l'ubicazione degli strumenti e l'intelligibilità delle scale di lettura, che vanno tarate nelle unità di misura familiari all'operatore.

### 3.10 - LE BANCHE DEI DATI DI AFFIDABILITA'

Quanto detto nei precedenti paragrafi sarebbe poco più di un'esercitazione di fisica-matematica se non si disponesse di dati sul rateo di guasto o indisponibilità di componenti, apparecchiature, sistemi, che consentano applicazioni pratiche della teoria svolta.

Tali dati sono contenuti in banche dati di affidabilità che raccolgono notizie e riportano i risultati sul comportamento tenuto da componenti (e sistemi), in generale nel corso del loro impiego in campo ovvero nel corso di prove. Tali registrazioni, opportunamente elaborate e classificate, forniscono un importante aiuto in fase di progetto od in occasione di modifiche:

- nella scelta, fra le possibili alternative, della soluzione che si presenta come la più favorevole dal punto di vista della sicurezza dell'impianto, del personale e della popolazione;
- nella previsione quantitativa di massima del rischio connesso con l'esercizio;
- per aumentare la produttività dell'impianto.

Sostanzialmente oggi sono ormai disponibili ed utilizzate due tipi di banche dati di affidabilità:

- specifica, di proprietà dell'Ente o Industria che l'ha messa a punto sulla base delle rivelazioni fatte sui propri impianti;
- generiche, di dominio pubblico, messe a punto da vari Enti ed Istituzioni (ad es., IEEE per componenti, apparecchiature e sistemi elettrici ed elettronici) per consentire un uso generale dell'affidabilità, come caratteristica del progetto o della realizzazione di una determinata apparecchiatura.

Una banca del primo tipo contiene informazioni preziose, direttamente applicabili nell'ambito dell'azienda che l'ha messa a punto, a parte l'opportunità di tener conto del progresso tecnologico e dell'avanzamento delle conoscenze nell'applicazione dell'esperienza pregressa alla realizzazione di nuovi impianti o processi.

Le banche del secondo tipo sono basate su esperienze molto diversificate e raramente contengono dati singoli (ad es., il valore del rateo di guasto di un componente); più spesso indicano gli estremi dell'intervallo in cui, con il 90% di probabilità, si colloca il dato cercato. Alternativamente questo è dato sotto forma di mediana, insieme al fattore per cui moltiplicarlo o dividerlo per avere rispettivamente i valori massimo (con probabilità 95%

di non superamento) e minimo (corrispondente a una probabilità del 5%) del dato cercato. Tale fattore è quindi un indicatore dell'incertezza con cui sono noti i dati di affidabilità ed è raramente inferiore a 3; in generale si applica un fattore 10, mentre talvolta si arriva a valori di 30 o superiori. In definitiva ciò significa avere rispettivamente incertezze di 1, 2 o 3 ordini di grandezza nel dato numerico applicato. Un simile grado di incertezza è giustificato dalla variabilità delle circostanze di impiego dei componenti, apparecchiature, sistemi, nonché dall'influenza sulla capacità di questi di:

- normative applicate nel progetto, nella costruzione, ecc.
- eventuale adozione di un rigoroso programma di garanzia della qualità dalla fase di progetto fino all'esercizio compreso (che può eliminare anche i guasti infantili)
- manutenzione preventiva (che può eliminare i guasti dovuti all'usura)
- sollecitazioni trasmesse dall'impianto in cui l'unità è inserita e dall'ambiente circostante (temperatura, pressione, tensione elettrica, vibrazioni, urti, corrosione, ecc.).

Nelle banche dati uno spazio importante hanno sempre occupato i componenti elettronici e ciò si deve, in larga parte, all'esteso e massiccio impiego che di essi si fa già da tempo nelle industrie aerospaziali e belliche.

Ovviamente i dati di cui si fa uso nelle applicazioni numeriche in questo corso sono ricavate da banche dati di tipo generico. Esse sono derivate essenzialmente dal campo nucleare ed in particolare dal citato lavoro del Gruppo del prof. Rasmussen per il WASH 1400. Comunque da qualche tempo sono oggetto di attenzione anche altri impianti, particolarmente quelli chimici.

A titolo di esempio, si riporta in Tab. 3.3 una compilazione di dati di affidabilità, ripresa dal "Manuale per la prevenzione, la limitazione e la gestione del rischio industriale rilevante", pubblicato su "Dossier Ambiente" n. 20 del giugno 1994.

L'incertezza dei dati raccolti nelle banche dati generiche, conseguenza della diversità delle situazioni investigate, implica in generale analoghe o maggiori incertezze nell'analisi quantitativa della probabilità di incidenti. Ciò vale a meno che l'analisi non venga svolta a livello aziendale, partendo da dati certi entro ragionevoli livelli di fiducia; dati di questo tipo possono essere solo quelli che si ricavano da prove su componenti identici a quello di cui si deve anticipare il comportamento, immerso in un campo di sollecitazioni identico a quello cui sarà sottoposto il componente in questione.

DESCRIZIONE EVENTO	F
ROTTURA CATASTROFICA TUBAZIONE DIAMETRO <= 2" (occ/anno/metro)	1E-6
ROTTURA CATASTROFICA TUBAZIONE DIAMETRO <= 2" (occ/anno/settore)	1E-5
ROTTURA CATASTROFICA TUBAZIONE 2" <DIAMETRO <= 6" (occ/anno/metro)	3E-7
ROTTURA CATASTROFICA TUBAZIONE 2"<DIAMETRO <= 6" (occ/anno/settore)	3E-6
ROTTURA CATASTROFICA TUBAZIONE DIAMETRO >6" (occ/anno/metro)	1E-7
ROTTURA CATASTROFICA TUBAZIONE DIAMETRO >6" (occ/anno/settore)	1E-6
PERDITA DA TUBAZIONE DIAMETRO <=2" (occ/anno/metro)	1E-5
PERDITA DA TUBAZIONE DIAMETRO <=2" (occ/anno/settore)	1E-4
PERDITA DA TUBAZIONE 2"<DIAMETRO <=6" (occ/anno/metro)	6E-6
PERDITA DA TUBAZIONE 2"<DIAMETRO <=6" (occ/anno/settore)	6E-5
PERDITA DA TUBAZIONE DIAMETRO <=6" (occ/anno/metro)	3E-6
PERDITA DA TUBAZIONE DIAMETRO <=6" (occ/anno/settore)	3E-5
PERDITA RILEVANTE DA TUBO FLESSIBILE MOLTO SOLLECITATO (occ/anno)	4E-1
PERDITA RILEVANTE DA TUBO FLESSIBILE POCO SOLLECITATO (occ/anno)	4E-2
ROTTURA CATASTROFICA BRACCIO DI CARICO (occ/anno)	3E-4
PERDITE RILEVANTI DA BRACCIO DI CARICO (occ/anno)	3E-3
ROTTURA CATASTROFICA RECIPIENTE A PRESSIONE (occ/anno)	1E-5
PERDITE RILEVANTI DA RECIPIENTE A PRESSIONE (occ/anno)	5E-5
ROTTURA CATASTROFICA RECIPIENTE ATMOSFERICO (occ/anno)	6E-6
PERDITE RILEVANTI DA RECIPIENTE ATMOSFERICO (occ/anno)	1E-4
ROTTURA CATASTROFICA RECIPIENTE A DOPPIO CONTENIMENTO (occ/anno)	1E-6
PERDITE RILEVANTI DA RECIPIENTE A DOPPIO CONTENIMENTO (occ/anno)	2E-5
AVARIA POMPA CENTRIFUGA (occ/anno)	1E-1
AVARIA VALVOLA DI CONTROLLO (occ/anno)	5E-2
AVARIA VALVOLA MANUALE (occ/anno)	1E-2
AVARIA STRUMENTAZIONE DI LIVELLO (occ/anno)	2E-1
AVARIA STRUMENTAZIONE DI PRESSIONE E PORTATA (occ/anno)	3E-1
AVARIA STRUMENTAZIONE DI TEMPERATURA (occ/anno)	1E-1
AVARIA STRUMENTAZIONE DI ANALISI (occ/anno)	2E+0
AVARIA COMPRESSORE (occ/anno)	3E-1

Tab. 3.3a) -Frequenze attese degli eventi iniziatori di sequenze anomale (ripresa dal manuale di Dossier Ambiente citato nel testo).

DESCRIZIONE EVENTO	I
SISTEMA DI BLOCCO AUTOMATICO NON RIDONDANTE E NON ISPEZIONATO REGOLARMENTE	5E-2
SISTEMA DI BLOCCO AUTOMATICO NON RIDONDANTE E ISPEZIONATO REGOLARMENTE	1E-3
SISTEMA DI BLOCCO AUTOMATICO RIDONDANTE E ISPEZIONATO REGOLARMENTE	5E-4
SISTEMA DI BLOCCO AUTOMATICO NON RIDONDANTE E NON ISPEZIONATO REGOLARMENTE + INTERVENTO MANUALE ASSISTITO	1E-4
SISTEMA DI BLOCCO AUTOMATICO RIDONDANTE E ISPEZIONATO REGOLARMENTE + INTERVENTO MANUALE ASSISTITO	1E-5
VALVOLA DI NON RITORNO	1E-1
VALVOLA DI ECCESSO DI FLUSSO	1E-1
VALVOLA AUTOMATICA DI BASSA PRESSIONE	5E-2
VALVOLA DI ECCESSO DI FLUSSO + VALVOLA AUTOMATICA DI BASSA PRESSIONE	1E-2
VALVOLA DI SICUREZZA REGOLARMENTE VERIFICATA	1E-3
VALVOLA DI SICUREZZA DOPPIA	1E-4
DISCO DI ROTTURA	1E-2
DISCO DI ROTTURA DOPPIO	1E-3
VALVOLA DI SICUREZZA + DISCO DI ROTTURA	5E-4
VALVOLA DI SICUREZZA + VALVOLA AUTOMATICA DI SFIATO PER ALTA PRESSIONE	5E-4
IMPIANTO SCHIUMA INTERNO AL CONTENITORE	1E-2
IMPIANTO SCHIUMA ESTERNO	1E-1
BUNKERIZZAZIONE	1E-3
BARRIERE DI DILUIZIONE FORZATA	1E-1
FIREPROOFING	1E-2
CONVOGLIAMENTO A BLOWDOWN	1E-2
CONVOGLIAMENTO A COLONNA SCRUBBER	1E-2
CONVOGLIAMENTO IN SERBATOI O BACINI DI RACCOLTA	1E-2
BACINO DI CONTENIMENTO	1E-2
BACINO DI CONTENIMENTO + PAVIMENTAZIONE IN PENDENZA + FOSSA DI RACCOLTA	5E-3
CORDOLATURE ANTISPANDIMENTO	1E-1
TUMULAZIONE	1E-2
INTERRAMENTO	1E-2
DOPPIO CONTENIMENTO	1E-3
PANNE GALLEGGIANTI	1E-1
PARETI TAGLIAFUOCO	1E-1

Tab. 3.3b) - Indisponibilità di sistemi di sicurezza e protezione (ripresa dal manuale di Dossier Ambiente citato nel testo).

Quando si possono escludere i guasti infantili e quelli per usura, l'avaria è causata

dall'impossibilità di riscontro tra le sollecitazioni applicate in maniera accidentale e la capacità di risposta del componente a queste sollecitazioni: quindi è veramente tipica della natura del componente e della sua ubicazione. La grave limitazione delle banche dei dati, almeno per una valutazione di carattere quantitativo, sta proprio in questo: non è legittimo attribuire ad una ben individuata unità, che ha una propria fisionomia, una propria storia ed un suo specifico collocamento, i risultati riscontrati su altre unità funzionalmente uguali, ma le cui caratteristiche di impiego e le condizioni ambientali di esercizio possono essere sostanzialmente diverse.

Queste considerazioni sono alla base del fatto che, in tutte le banche dati di uso generale, accanto ai dati sono sempre riportate le fonti bibliografiche da cui questi sono derivati ed inoltre è strettamente raccomandato di verificare sul lavoro originale le condizioni di applicabilità degli stessi, onde evitare grossolani errori nelle conclusioni dell'analisi. A questo scopo è possibile e può essere utile adottare fattori moltiplicativi dei dati "medi" o "consigliati", se le sollecitazioni ambientali sono particolarmente gravose; la correzione sarà più o meno importante a seconda del tipo e del livello delle sollecitazioni. La Tab. 3.4 riporta dati validi per una applicazione del tipo generale. Si tratta di coefficienti assolutamente indicativi, che danno una conferma di quanto possa variare il comportamento di un sistema al variare delle condizioni al contorno in cui è chiamato ad operare.

<b>Condizioni ambientali</b>	<b>K<sub>1</sub></b>	<b>Livello di prestaz. rispetto al valore nominale</b>	<b>K<sub>2</sub></b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>K<sub>3</sub></b>
Condizioni ideali	0,1	20%	0,1	0	1
Ambiente controllato, assenza di vibrazioni	0,5	40%	0,2	20	1
Condizioni normali	1	60%	0,3	40	1,3
Montaggio su nave	2	80%	0,6	60	2
Montaggio su mezzo stradale	3	100%	1	80	4
Montaggio su mezzo ferroviario	4	120%	2	100	10
Montaggio su aereo	10	140%	4	120	30

Tab. 3.4 - Coefficienti indicativi da applicare ai ratei di guasto per cause accidentali al variare delle condizioni di impiego (da /4/).



### **RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI DEL CAP. 3**

1. Bazovsky: "Principi e metodi dell'affidabilità". ETAS KOMPASS, Milano (I), 1969.
2. N. Rasmussen et al.: "An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants", US NRC Report WASH 1400, Washington (USA), 1975.
3. G.C. Bello, V. Colombari: "The Human Factors in Risk Analyses of Process Plants: the Control Room Operator Model TESEO - Reliability Engineering", 1, 3 (1980).
4. S. Ragusa: "Introduzione all'Analisi di rischio nell'industria", Safety Improvements S.r.l., Milano (I), 1986.

Oltre ai riferimenti specifici sopraindicati e richiamati nel testo, tra la vasta letteratura sulla affidabilità, si segnalano alcuni testi, senza pretesa di completezza, per l'approfondimento degli aspetti trattati in questo capitolo:

Henle-Kumamoto: "Reliability Engineering and Risk Assessment". Prentice Hall Ed., 1981.

F.P. Lees: "Loss Prevention in the Process Industries", Butterworths Ed., 1980.



## **APPENDICE 1**

### **Richiamo di elementi fondamentali di algebra Booleana**

## DIAGRAMMI DI VENN

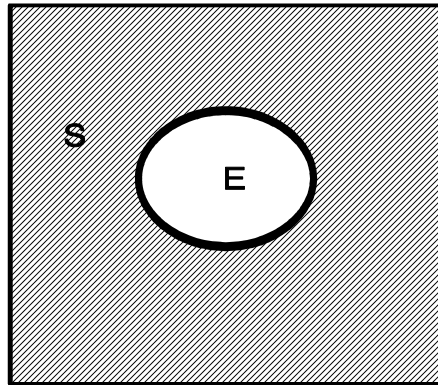


Fig. A1.1

- S - INSIEME UNIVERSALE
- E - INSIEME DEGLI EVENTI DI INTERESSE
- $\bar{E}$  - INSIEME DI TUTTI GLI EVENTI DIVERSI DA E
- $\emptyset$  - INSIEME VUOTO (NESSUN EVENTO)
- P(E) - PROBABILITA' DEGLI EVENTI E
- P(S) = 1

**GLI INSIEMI NON POSSONO ESSERE SOMMATI O MOLTIPLICATI, SOLO  
LE PROBABILITA' POSSONO ESSERE SOMMATE O MOLTIPLICATE**

## ELEMENTI DI ALGEBRA BOLEANA

UNIONE DEGLI INSIEMI Fig. A1.2

$$E1 \cup E2$$

$$E1 + E2$$

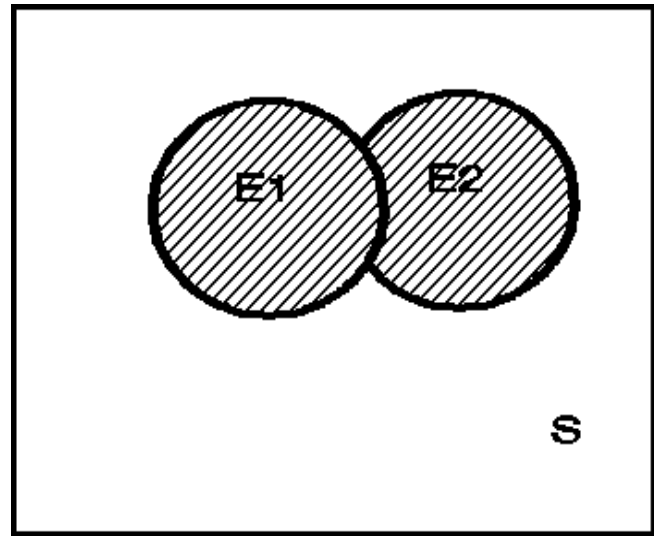


Fig. A1.2

OPERAZIONE **OR**

$$P(E1 + E2) = P(E1) + P(E2) - P(E1 \cdot E2)$$

PER EVENTI MUTUAMENTE ESCLUDENTISI, GLI INSIEMI E1 ED E2 NON SI INTERSECANO (Fig. A1.3)

$$P(E1 + E2) = P(E1) + P(E2)$$

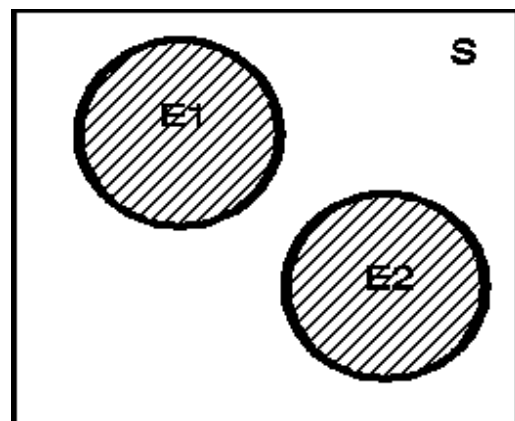


Fig. A1.3

$$E1 + E1 = E1$$

$$E1 + \bar{E}1 = S$$

$$P(E1 + \bar{E}1) = P(E1) + P(\bar{E}1) = 1$$

INTERSEZIONE DEGLI INSIEMI (Fig. A1.4)

$$E1 \cap E2$$

$$E1 \cdot E2$$

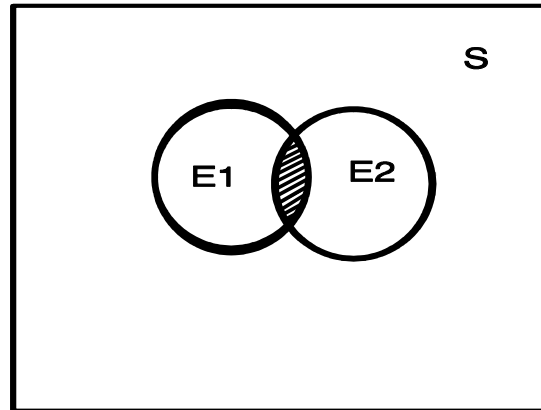


Fig. A1.4

$$P(E1 \bullet E2) = P(E1/E2) \cdot P(E2) = \\ = P(E2/E1) P(E1)$$

$P(E1/E2)$  = PROBABILITA' CONDIZIONATA DI E1 DATO E2

$$E1 \cdot E2 = E2 \cdot E1$$

$$E1 \cdot \bar{E}1 = \emptyset$$

SE E1 e E2 SONO INDIPENDENTI

$$P(E1/E2) = P(E1)$$

$$P(E1 \cdot E2) = P(E1) \cdot P(E2)$$

**TEOREMA BAYES**

$$P(E1.E2) = P(E1|E2).P(E2) = P(E2|E1).P(E1)$$

$$P(E1/E2) = \frac{P(E2/E1)P(E1)}{P(E2)}$$

$$P(E1) = P(E1/E2)P(E2) + P(E1/\bar{E}2)P(\bar{E}2)$$

ESERCIZI:

DIMOSTRARE CHE:

I)  $P(A+B) = P(A) + P(B) - P(A.B)$

Si può scrivere:

$$A = A(B + \bar{B}) = A.B + A.\bar{B}$$

$$B = B(A + \bar{A}) = B.A + B.\bar{A}$$

$$A + B = A.B + A.\bar{B} + B.A + B.\bar{A}$$

Essendo  $A.B = B.A$  ed  $A.B + A.B = A.B$

$$\bar{B} = S - B$$

$$\bar{A} = S - A$$

$$A+B = A.B + A.S - A.B + B.S - A.B$$

$$P(A+B) = P(A).P(S) + P(B).P(S) - P(A).P(B)$$

$$P(S) = 1$$

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(A).P(B)$$

II)  $\overline{A+B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$





## **APPENDICE 2**

**Esempio di applicazione dell'albero dei guasti al sistema di protezione per alta pressione di un reattore chimico**

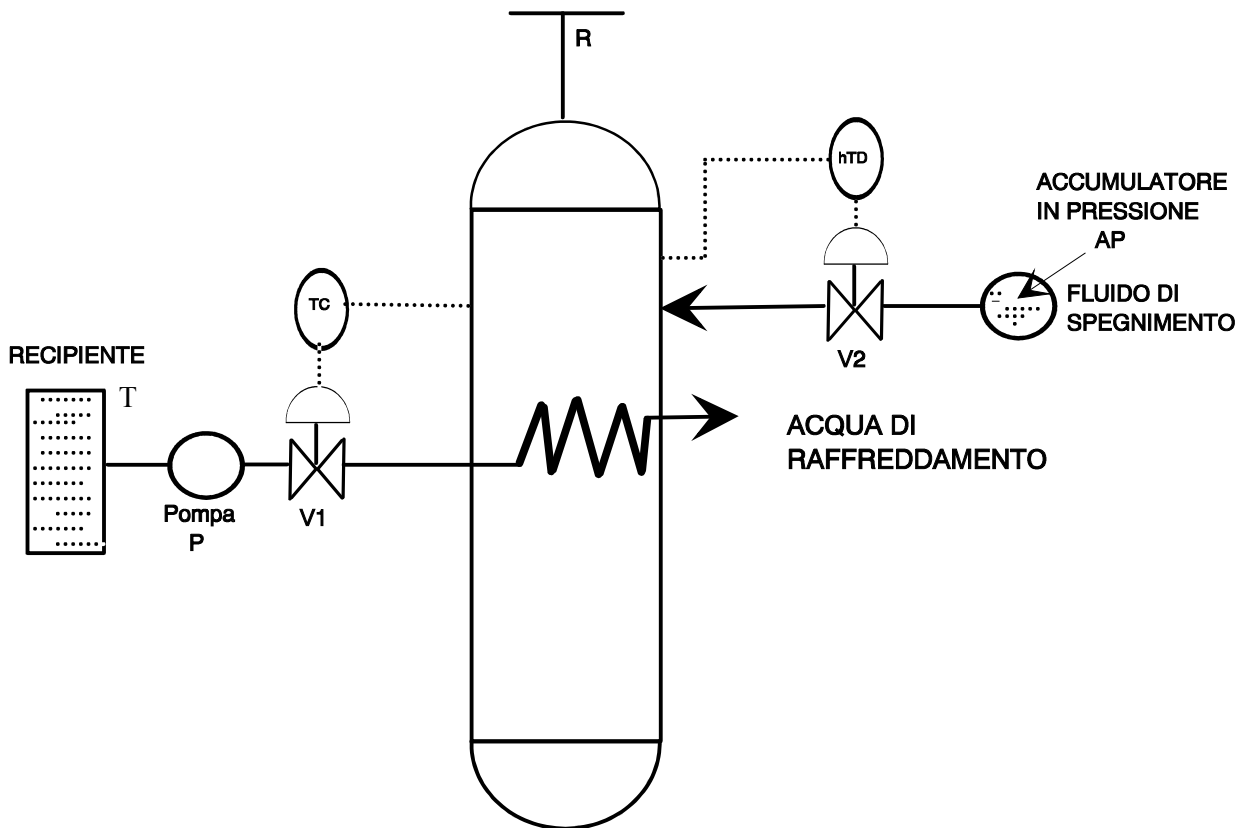


Fig. A2.1 - Schema del reattore e relativi sistemi di protezione.

La temperatura nel reattore è regolata da TC e dalla valvola V1.

In caso di alta temperatura, il sensore hTD apre la valvola V2 del fluido di spegnimento.

In caso di mancato spegnimento, il disco di rottura R apre.

Considerare il guasto (di tipo comune) della alimentazione elettrica, che influenza i componenti attivi (pompe e valvole) ed i sensori.

Si vuole studiare il Top Event: pressione nel reattore superiore a quella di progetto.

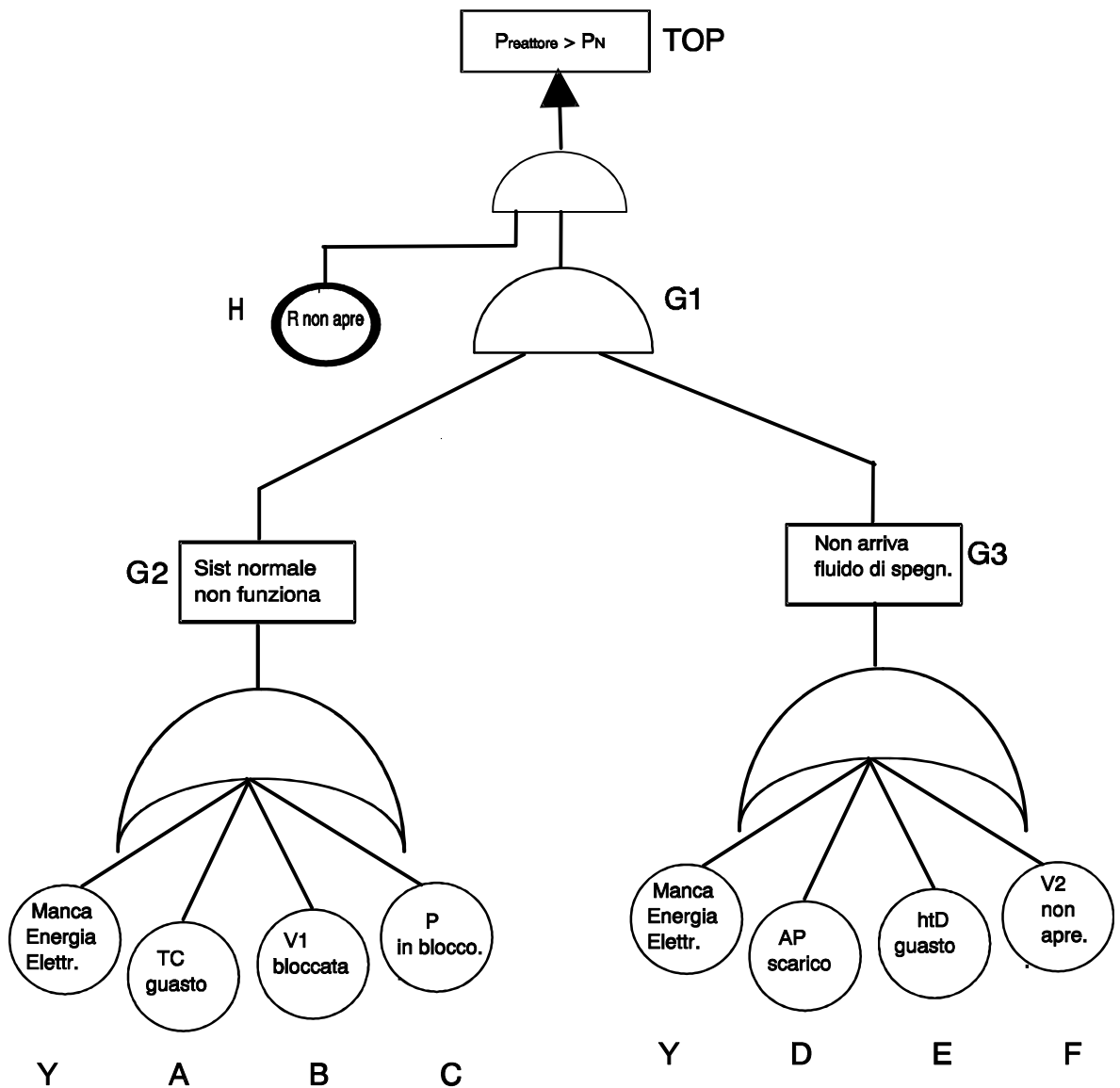


Fig. A2.2 - Albero dei guasti dell'impianto di Fig. A2.1

**Analisi logica**

$$TOP = H * G1$$

$$G1 = G2 * G3$$

$$G2 = A+B+C+Y$$

$$G3 = D+E+F+Y$$

Sviluppando:

$$G1 = (A+B+C+Y)*(D+E+F+Y) = AD+AE+AF+AY+BD+BE+BF+BY+CD+CE+CF+CY + YD+YE+YF+YY$$

Essendo:

$$YY = Y; Y+AY+BY+CY+YD+YE+YF = Y$$

Si ha:

$$G1 = AD+AE+AF+BD+BE+BF+CD+CE+CF+Y$$

$$TOP = H * G1 = ADH + AEH+AFH+BDH+BEH+BFH+CDH+CEH+CFH+YH$$

MCS di ordine 2: YH

MCS di ordine 3: tutti gli altri

Numericamente, ammesso:

$$A = 10^{-1} \text{ occ/anno}$$

$$B = 5 \cdot 10^{-2} \text{ occ/anno}$$

$$C = 10^{-1} \text{ occ/anno}$$

$$Y = 10^{-1} \text{ occ/anno} \quad (\text{con eguale valore numerico di indisponibilità nel sistema automatico di spegnimento del reattore})$$

$$D = 10^{-2}$$

$$E = 10^{-3}$$

$$F = 10^{-2}$$

$$H = 10^{-3}$$

Si ha:

$$YH = 10^{-4} \text{ occ/anno}$$

$$ADH = 10^{-6} \text{ occ/anno}; AEH = 10^{-7} \text{ occ/anno}; AFH = 10^{-6} \text{ occ/anno}$$

$$BDH = 5 \cdot 10^{-7} \text{ occ/anno}; BEH = 5 \cdot 10^{-8} \text{ occ/anno}; BFH = 5 \cdot 10^{-7} \text{ occ/anno}$$

$$CDH = 10^{-6} \text{ occ/anno}; CEH = 10^{-7} \text{ occ/anno}; CFH = 10^{-6} \text{ occ/anno}$$

$$TOP = 1 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \text{ occ/anno}$$

Il contributo fondamentale è quello del MCS di ordine 2: YH.

## **APPENDICE 3**

### **Esempio di applicazione dell'albero degli eventi al sistema di Appendice 2**

Nell'esempio riportato in App. 2 è stata considerata, come causa comune di guasto, la mancanza di energia elettrica.

Questo evento potrebbe essere trattato in modo più semplice con l'albero degli eventi, come mostrato in Fig. A3.1.

L'evento TOP è dato dagli eventi  $E_2$  ed  $E_5$ , con una probabilità totale pari a  $\sim 1,1 \cdot 10^{-4}$  occ/anno, mentre negli altri casi ( $E_1$ ,  $E_3$  ed  $E_4$ ) la pressione nel reattore è tenuta sotto il valore di progetto.

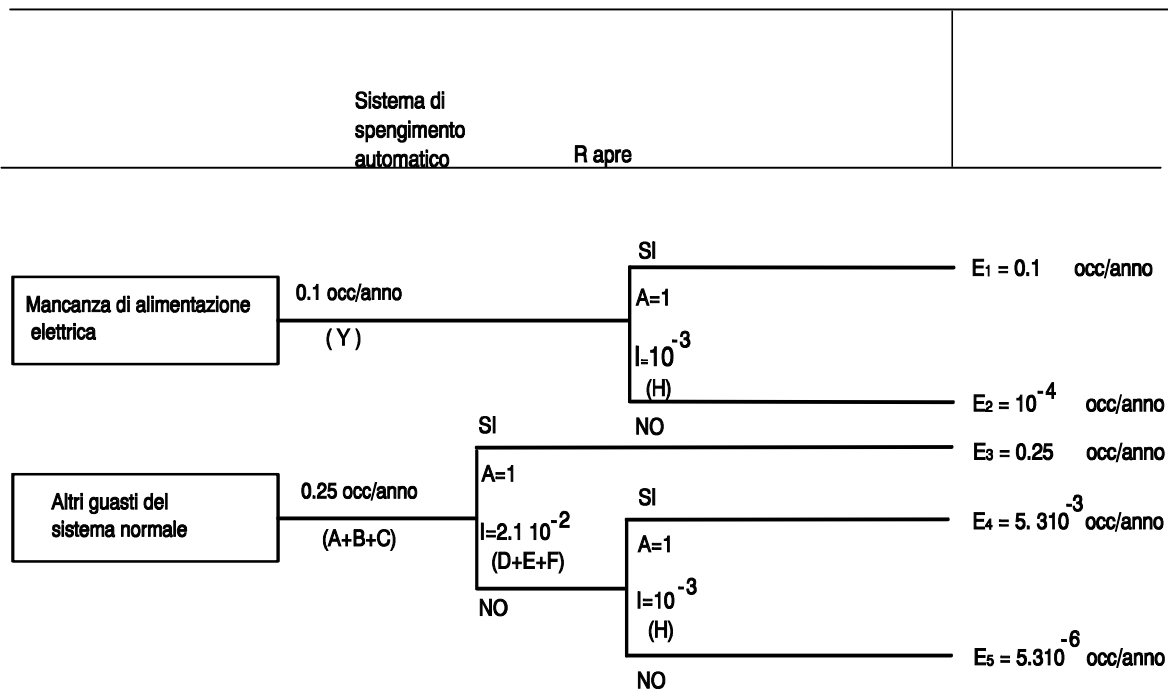


Fig. A3.1 - Albero degli eventi del sistema di Fig. A2.1.

## 4 - LA VALUTAZIONE DELLE CONSEGUENZE DEGLI INCIDENTI

### 4.1 - NOTE INTRODUTTIVE

Uno schema generale che illustra le fenomenologie di possibile sviluppo degli effetti di un incidente è riportato in Fig. 4.1, ripresa dal regolamento applicativo del DPR 175/88 (la legge di recepimento della Direttiva "Seveso I", discussa nel prossimo capitolo).

La figura in questione evidenzia come all'origine di un incidente c'è sempre o quasi il rilascio da un impianto di una sostanza pericolosa. A seconda della natura della sostanza, si possono avere:

- se la sostanza è infiammabile od esplosiva, direttamente effetti nocivi per incendio od esplosione;
- se la sostanza è invece tossica, gli effetti nocivi sono provocati dalla sua dispersione nell'ambiente con la contaminazione di questo e l'assunzione di dosi più o meno elevate da parte delle persone.

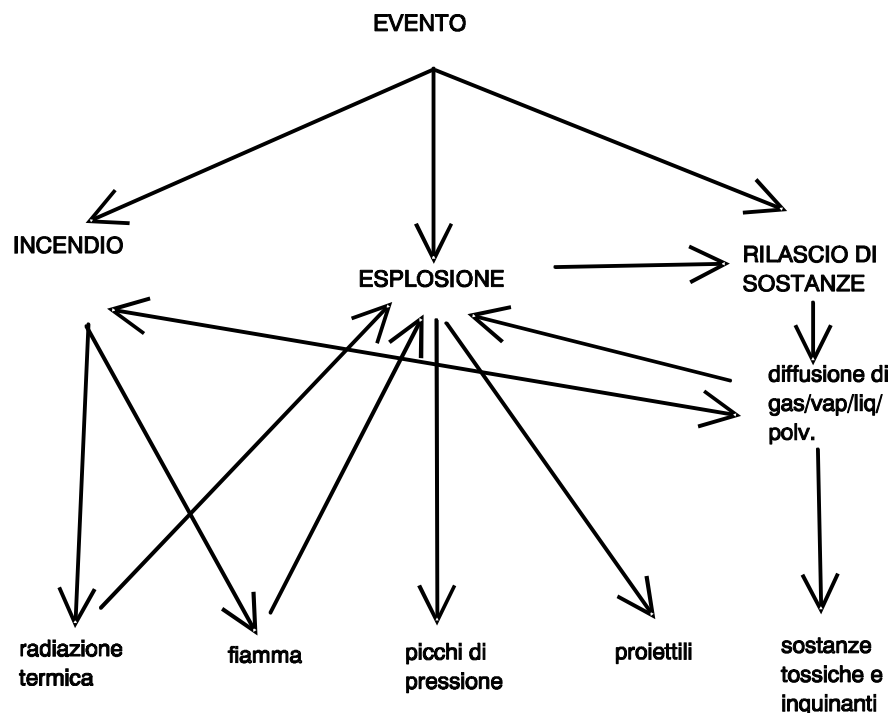


Fig. 4.1 - Possibili fenomenologie incidentali e loro effetti.

L'ultima tipologia di effetti dannosi si può avere anche nel caso di incendio, per la tossicità dei prodotti della combustione (fumi, gas o vapori).

In realtà, il quadro delle possibili fenomenologie da considerare per la valutazione degli effetti di situazioni accidentali è molto più complesso, rispetto a quello ora sopraddelineato. Un'idea è data dalla Fig. 4.2, ripresa dalla stessa fonte. Senza scendere per il momento in ulteriori dettagli, i principali fenomeni di interesse saranno chiariti almeno parzialmente nei successivi paragrafi, in cui sono richiamate le basi fisiche dei modelli che descrivono tali fenomenologie. Tali paragrafi trattano il rilascio della sostanza pericolosa, la dispersione atmosferica, gli incendi, le esplosioni ed i modelli con cui sono valutati i danni provocati dai suddetti eventi. Ovviamente, la trattazione è semplificata e non esaustiva, tendente più ad inquadrare concettualmente la problematica della valutazione delle conseguenze di incidenti, che ad indicare i dettagli secondo cui si fa tale valutazione.



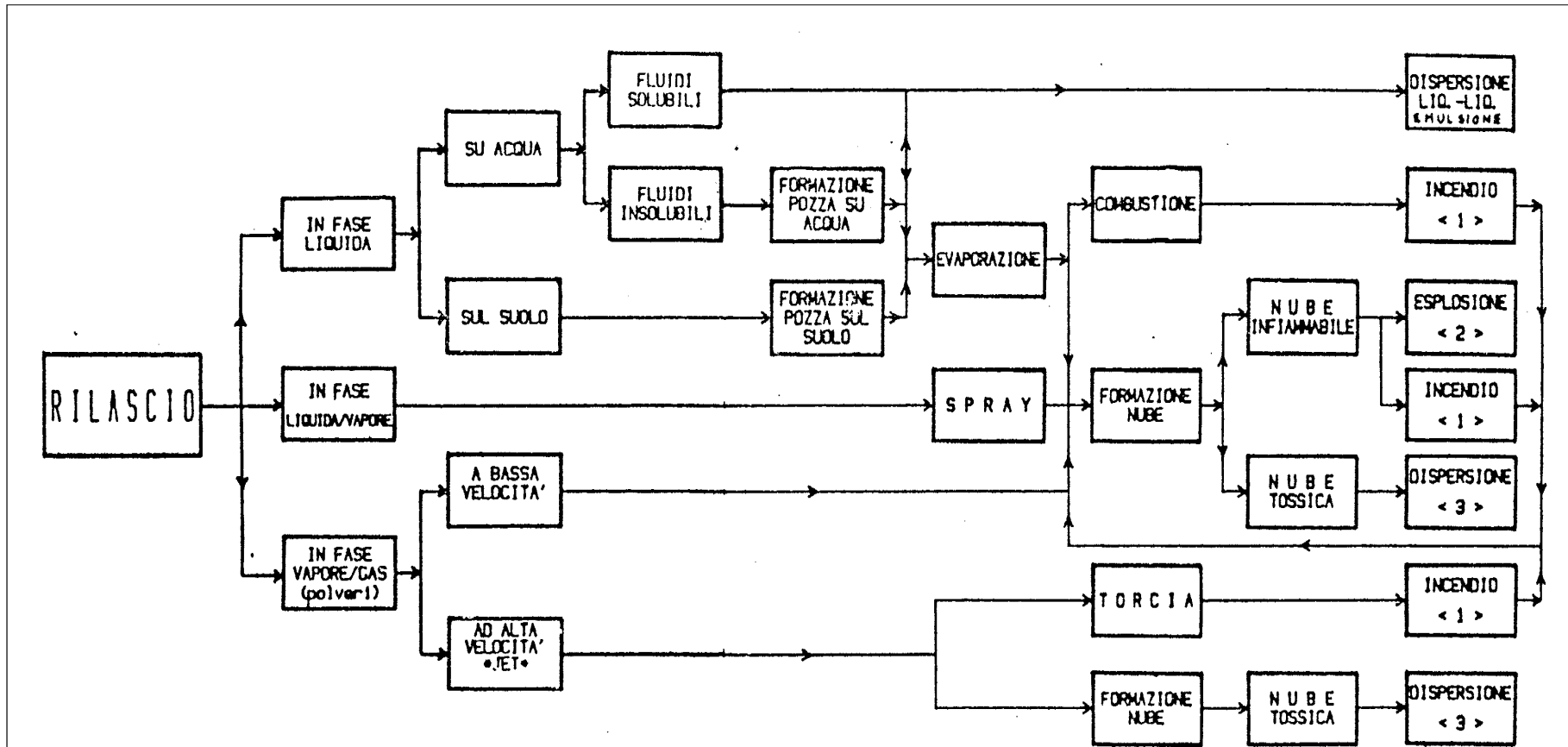


Fig. 4.2 - Indicazione schematica delle fenomenologie che possono avere origine dal rilascio di fluidi pericolosi.

## 4.2 - LA DETERMINAZIONE DEL RILASCIO

I casi di maggior interesse pratico di determinazione dei rilasci accidentali di fluido si possono schematizzare in due grandi categorie:

- istantanei o a puff;
- continui.

Nel primo caso si ha il rilascio dell'intero contenuto di un recipiente, per rottura catastrofica ed istantanea di questo. E' in realtà un'astrazione, dato che il rilascio avviene sempre in un tempo finito; peraltro se tale tempo è breve rispetto a quello in cui si manifestano i successivi effetti dell'incidente, può essere trascurato, senza perdita di validità delle successive valutazioni.

Il secondo tipo di rilascio si ha quando l'apertura che si viene a creare nel recipiente è piccola rispetto al volume di questo; da essa fuoriesce quindi una portata in generale variabile con continuità che permane per centinaia di secondi o anche per ore. Un'analogia situazione si può verificare dopo un rilascio a puff, per l'instaurarsi di una nuova situazione quasi stazionaria: ad es., l'evaporazione di una pozza di liquido, formatasi a seguito del rilascio iniziale.

Le situazioni di maggior interesse pratico sono schematizzate in Fig. 4.3, per rilasci sia istantanei che continui.

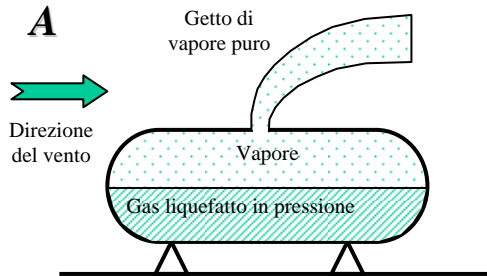
Le relazioni utilizzabili per valutare l'entità del rilascio dipendono ovviamente dalla natura e dalle caratteristiche del fluido rilasciato: gas o vapori, liquido, miscele di liquido e vapore (bifase). Il quadro complessivo ne risulta ovviamente complicato, ma i pacchetti di calcolo, anche commerciali, con cui si eseguono le valutazioni sono oggi in grado di trattare facilmente tutte le possibili tipologie di rilascio. Ovviamente tali modelli sono affetti da incertezze più o meno grandi, a seconda della complessità dei fenomeni fisici coinvolti; qualche indicazione in questo senso è data nel seguito, ove opportuno.

### 4.2.1 - Rilasci istantanei

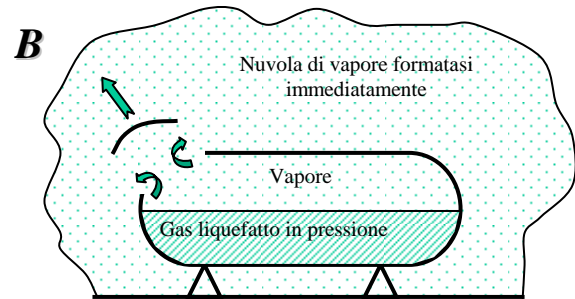
Nel caso di rottura catastrofica di un recipiente, l'intero contenuto di questo viene rilasciato ed è immediatamente disponibile per la successiva valutazione degli effetti del

rilascio (Fig. 4.3 B).

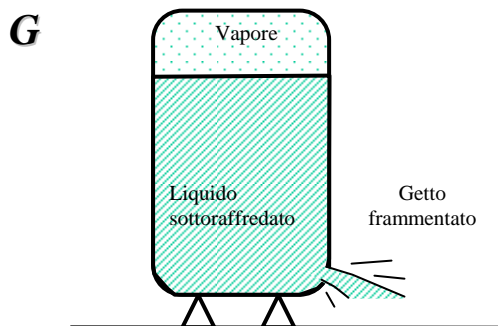
Se la sostanza è un liquido sottoraffreddato (cioè a temperatura inferiore al punto di ebollizione a pressione atmosferica), essa si disperde sul suolo (Fig. 4.3E) o sull'acqua (Fig.



**A**  
Piccolo foro nel recipiente in pressione  
nella zona di raccolta del vapore



**B**  
Rottura fragile del recipiente in pressione



**G**  
Getto ad alta velocità da recipiente  
contenente liquido sottoraffreddato

4.3F).

Fig. 4.3 - Possibili situazioni di rilascio di fluidi pericolosi (ripresa da /1/).

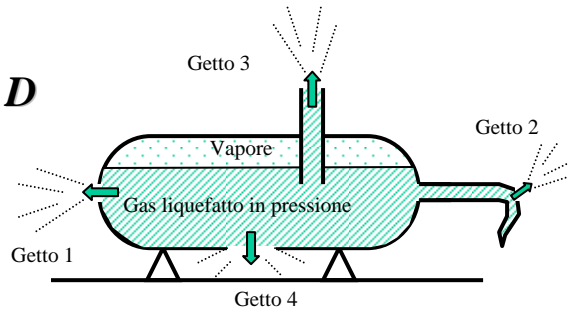


**C**



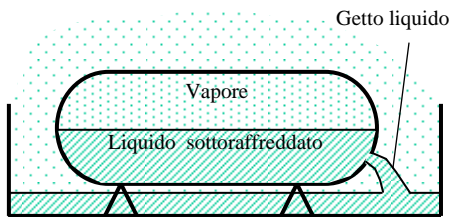
**Foro di dimensioni intermedie nel recipiente in pressione nella zona di raccolta del vapore**

**D**



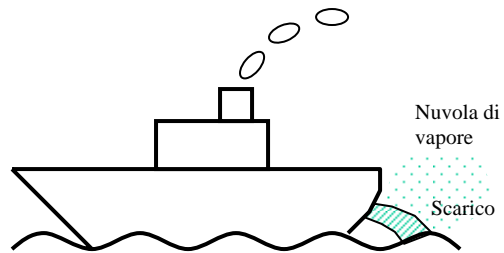
**Perdite di gas liquefatto dal recipiente in pressione**

**E**



**Scarico di liquido sottoraffreddato in bacino**

**F**



**Scarico di liquido sottoraffreddato in acqua**

Il caso più comune di rilascio di liquidi sottoraffreddati è quello in cui attorno al recipiente o all'impianto c'è una vasca di contenimento (Fig. 4.3E), in modo da limitare la superficie disponibile per i successivi effetti (evaporazione, incendio).

Nel caso di gas o vapori in pressione, il rilascio pressochè istantaneo di tutto il contenuto origina una nube (Fig. 4.3B), avente forma, dimensioni e caratteristiche (ad es., densità) estremamente variabili al variare delle modalità con cui avviene realmente il rilascio e della geometria dell'impianto. Ulteriori indicazioni utili in proposito saranno date nel successivo paragrafo in cui si tratterà la dispersione dei gas di densità maggiore di quella dell'aria.

In questa sede viene brevemente discusso un caso di notevole interesse pratico, il BLEVE (acronimo inglese che significa Boiling Liquid Expansion Vapour Explosion). La fenomenologia del BLEVE è quella che meglio approssima le condizioni ideali del rilascio a puff. Essa si può avere nel caso di un serbatoio contenente un liquido in pressione, a temperatura  $T$  superiore al punto di ebollizione  $T_b$  (e quindi in presenza del proprio vapore a pressione pari a quella di saturazione alla temperatura  $T$ ); se una sorgente di energia (in generale esterna) riscalda il recipiente, questo fa aumentare la pressione di vapore, finchè, al raggiungimento della pressione di rottura del recipiente, si verifica il cedimento catastrofico di questo. L'intero contenuto viene quindi proiettato in aria, disperdendosi in un volume approssimativamente sferico, tanto più grande quanto maggiore è la massa del recipiente. Data la presenza di una grande sorgente di calore, se la sostanza è infiammabile ne deriva anche una "sfera di fuoco" ("fire-ball"), i cui effetti saranno discussi nel successivo paragrafo sugli incendi.

Trattandosi di un rilascio bifase, solo una parte della sostanza è in forma di vapore; il resto è in forma di goccioline, peraltro di piccole dimensioni e finemente disperse nella miscela, per cui è l'intera massa contenuta nel recipiente che prende parte al fenomeno.

La frazione di liquido che vaporizza in conseguenza del rilascio (da aggiungere alla quantità di vapore inizialmente presente nel recipiente) è valutabile con la relazione:

$$x = 1 - e^{-C_t (T_i - T_b)/r} \quad (4.1)$$

ove:  $C_t$  = calore specifico della sostanza (J/Kg. K)

$T_i$  = temperatura media del liquido al momento della rottura (K)

$T_b$  = punto di ebollizione della sostanza (K)

$r$  = calore latente di vaporizzazione della sostanza (J/Kg)

La relazione (4.1) equivale ad ammettere che la trasformazione subita dalla sostanza sia un'adiabatica e quindi la vaporizzazione avvenga a spese del calore sensibile del liquido stesso; l'ammissione è pienamente plausibile vista la rapidità del fenomeno. Peraltro immediatamente dopo, l'intimo miscelamento con l'aria e l'elevata velocità delle gocce favoriscono la trasmissione del calore per convezione dall'una all'altra sostanza e quindi l'ulteriore vaporizzazione del liquido.

Un fenomeno analogo al BLEVE si può avere anche in caso di rottura catastrofica di un serbatoio di gas in pressione, anche se in questo caso l'aumento di pressione che porta alla rottura non è legato all'ebollizione di un liquido, ma direttamente alla compressione del gas (per aumento di temperatura o per sovralimentazione da compressori esterni).

In questo caso, il parametro di maggiore interesse da cui dipendono le conseguenze successive, è l'energia  $E$  liberatosi per la rottura catastrofica del recipiente. Ammettendo che il gas subisca una espansione adiabatica fra la pressione  $p$  a cui avviene la rottura e la pressione ambiente  $p_a$ ,  $E$  si può calcolare con la relazione:

$$E = K (p - p_a) V / (\gamma - 1) \quad (4.2)$$

ove:

$K$  è una costante, comprendente il fattore di conversione fra unità di misura;

$\gamma$  è il rapporto fra il calore specifico a pressione costante e quello a volume costante (esponente dell'adiabatica):

$V$  è il volume del recipiente ( $m^3$ ).

Esprimendo  $p$  e  $p_a$  in kPa, ed assumendo  $K = 1.4 \cdot 10^{-6}$ , si valuta  $E$  direttamente in tonnellate equivalenti di TNT.

#### **4.2.2 - Rilasci continui da serbatoio**

I vari casi di interesse pratico sono già stati accennati nella parte introduttiva del presente paragrafo e sono schematizzati in Fig. 4.3.

**A) Rilascio di un liquido sottoraffreddato (Fig. 4.3E).**

Nel caso di efflusso da parete sottile, la portata rilasciata può essere valutata con la formula di Bernoulli:

$$G_{\ell} = K \rho_{\ell} A \cdot \sqrt{2gh} \quad (4.3)$$

con:

$K$  coefficiente di scarico (assume di solito valori compresi fra 0.8 e 1)

$\rho_{\ell}$  densità del liquido

$A$  area della sezione di rilascio

$g$  accelerazione di gravità

$h$  altezza del battente di liquido nel serbatoio

Come noto, essa si ottiene determinando la velocità nella sezione di uscita dall'equazione di bilancio fra l'energia cinetica e la variazione di energia potenziale del liquido che fuoriesce.

Se il fluido all'interno del serbatoio è a pressione  $p_o$ , la (4.3) può essere generalizzata con la formula:

$$G_{\ell} = KA \rho_{\ell} \cdot \sqrt{2[(p_o - p_a) / \rho_{\ell} + gh]} \quad (4.3')$$

ove  $p_a$  è la pressione atmosferica (= 101.3 kPa).

In generale, il termine relativo al battente idrostatico è trascurabile e la relazione precedente diviene

$$G_{\ell} = KA \sqrt{2 \rho_{\ell} (p_o - p_a)} \quad (4.3'')$$

**B) Rilascio di un gas o vapore (Fig. 4.3A o 4.3C).**

La portata di un gas o vapore (ad es., in uscita dalla valvola di sicurezza o da un disco di rottura nella parte alta del serbatoio) può essere determinata analogamente con la formula valida nel caso di gas perfetti:

$$G_g = C_D A \sqrt{\frac{2\gamma p_o \rho_o}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{p_a}{p_o} \right)^{2/\gamma} - \left( \frac{p_a}{p_o} \right)^{(\gamma+1)/\gamma} \right]} \quad (4.4)$$

ove, rispetto alla (4.3), è stato introdotto il coefficiente  $C_D$  di "vena contratta" (=0.6 per un gas perfetto ed efflusso da un foro circolare a bordi vivi) al posto del coefficiente di scarico  $K$ ;  $\gamma$  è il coefficiente di espansione adiabatica, che dipende dal numero di atomi che formano la molecola del gas e vale 1,67 per gas monoatomici ed 1,4 nel caso di gas biatomici, quali ad es. si può considerare l'aria.

La principale differenza fra i due tipi di fluido risiede nel fatto che la compressibilità del gas non può essere in alcun caso trascurata (a differenza dei liquidi); questo limita l'applicabilità della (4.4) al caso di un piccolo salto di pressione ( $p_o - p_a$ ), in genere minore di  $p_a$  stesso. Se la pressione  $p_o$  è maggiore di circa  $2 p_a$ , nella sezione critica (quella della vena contratta) la velocità diventa pari alla velocità del suono nel gas che si considera e la portata raggiunge il suo valore massimo, pari alla portata critica (relazione 4.5); nella sezione ristretta la pressione diventa la pressione critica, che può essere calcolata con la relazione (4.6).

$$G_c = C_D A \sqrt{\gamma p_o \rho_o \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad (4.5)$$

$$p_c = p_o \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad (4.6)$$

La velocità del suono nel gas è determinabile con la relazione:

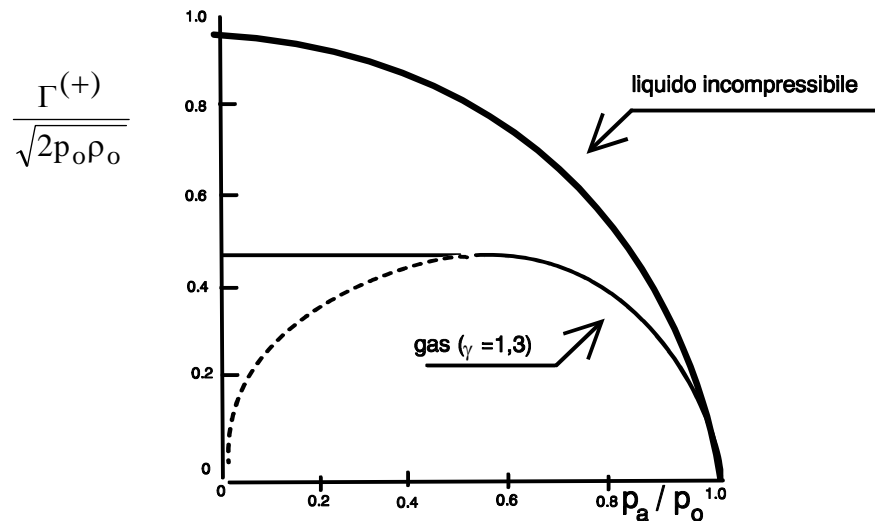
$$a = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} = \sqrt{\gamma p_o / \rho_o} \quad (4.7)$$

I valori del rapporto  $p_o / p_c$  al variare del coefficiente  $\gamma$  sono comunque dell'ordine di 2.

Questo significa che in tutti i casi in cui  $p_o$  è superiore al doppio della pressione



atmosferica (cioè a  $\sim 200$  kPa) si ha efflusso critico <sup>(\*)</sup>. In pratica si deve per prima cosa calcolare  $p_c$  e, come mostrato in Fig. 4.4, calcolare quindi la portata di gas con la (4.4) ovvero con la (4.5), a seconda che sia  $p_a \geq p_c$ .



(+)  $\Gamma$  è la portata di massa per unità di area di efflusso ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )

Fig. 4.4 - Andamento della portata di efflusso al variare del rapporto fra le pressioni a valle ed a monte dell'orifizio.

### C) Rilascio di una miscela bifase (Fig. 4.3D).

Le caratteristiche fisiche di un fluido bifase sono chiaramente intermedie fra quelle di un liquido e quelle di un gas. Non fa quindi alcuna sorpresa l'affermazione che un modello generico per il calcolo della portata di una miscela bifase adotta l'uno o l'altro dei modelli visti nei precedenti punti A) o B), a seconda che prevalgano condizioni di quasi liquido (titolo <sup>(\*)</sup>  $x < 0.02$ ) ovvero di fluido a compressibilità paragonabile a quello di un gas ( $x > 0.1$ ). In quest'ultimo caso, si può adottare la formula (4.3''), sostituendo  $p_a$  con  $p_c$  (determinato con la relazione (4.6)), se si ha efflusso critico ed inoltre con la sostituzione di  $\rho_\ell$  con:

$$\rho_m = x\rho_g + (1-x)\rho_\ell \quad (4.8)$$

<sup>(\*)</sup> Nel caso di un liquido, la validità della (4.3'') si estende invece a qualsiasi valore del rapporto  $p_a/p_0$ .

<sup>(\*)</sup> Per titolo si intende il rapporto fra la massa di vapore e la massa totale di una miscela bifase.

Tali sostituzioni equivalgono ad ammettere che le due fasi siano costantemente in condizioni di equilibrio termico e meccanico (modello HEM = Homogeneous Equilibrium Model) ed, in particolare, che nella sezione critica il liquido ed il vapore siano alla temperatura di saturazione corrispondente a  $p_C$  ed abbiano la stessa velocità. Quest'ultima ammissione è la più grossolana, dato che il vapore tende ad accelerare più del liquido; in alcuni modelli essa viene rimossa introducendo il fattore  $s$  di scorrimento tra le fasi (slip, in inglese), con una formulazione un po' più complicata rispetto alle precedenti, anche per l'equazione aggiuntiva necessaria a determinare il parametro  $s$ .

In realtà le cose nel caso bifase sono molto più complicate rispetto al quadro ora presentato, anche dal punto di vista fenomenologico.

Ad es. la velocità  $a$  in bifase non ha un andamento lineare fra quelle in puro vapore ( $x=1$ ) e nel liquido ( $x=0$ ). L'enorme differenza di densità fra le fasi (2-3 ordini di grandezza alla temperatura di ebollizione) fa sì che la compressibilità vari in maniera fortemente non lineare e quindi la velocità del suono diminuisca da quella tipica nel liquido (dell'ordine di 1km/s) a poche decine di m/s per valori del titolo poco superiori a zero, per poi risalire lentamente all'aumentare di  $x$ , fino ad arrivare al valore per vapore puro (dell'ordine di alcune centinaia di m/s) per  $x$  tendente ad 1. Nella Fig. 4.5 è mostrato tale andamento in funzione del grado di vuoto  $\alpha$  (invece che del titolo)<sup>(oo)</sup>, a seconda del modello utilizzato.

Le maggiori difficoltà riguardano comunque la determinazione delle condizioni a monte della rottura, che a sua volta determinano la portata attraverso questa. L'ipotesi di assumere tali condizioni eguali a quelle medie nel recipiente (assunzione zerodimensionale) è valida nel caso di transitori rapidi, quando la rapida depressurizzazione provoca una violenta ebollizione di massa che tende ad omogeneizzare le condizioni (Fig. 4.3C).

Se invece il transitorio è lento e l'apertura in alto (Fig. 4.3A), il livello del liquido non arriverà all'apertura, da cui continuerà pertanto ad uscire vapore, con portata calcolabile con la formula (4.4) o (4.5), al più aumentata secondo un fattore  $1.3 \div 1.5$  per il trasporto di gocce che si liberano dalla superficie liquida (fenomeno di "entrainment"). Viceversa se la rottura è in basso (Fig. 4.3D) da essa continuerà ad uscire liquido per quasi tutto il transitorio (formula

<sup>(oo)</sup> Le due grandezze titolo  $x$  e grado di vuoto  $\alpha$ , in condizioni di equilibrio omogeneo HEM sono legate

$$\text{dalla relazione: } \alpha = \frac{xv_g}{xv_g + (1-x)v_\ell}$$

essendo  $v_g$  e  $v_\ell$  i volumi specifici rispettivamente del vapore e del liquido.

4.3')), salvo la parte finale di questo, quando il livello residuo sarà ormai tanto basso da consentire al vapore di provocare un vortice e fuoriuscire dalla rottura (fenomeno del "pull-through").

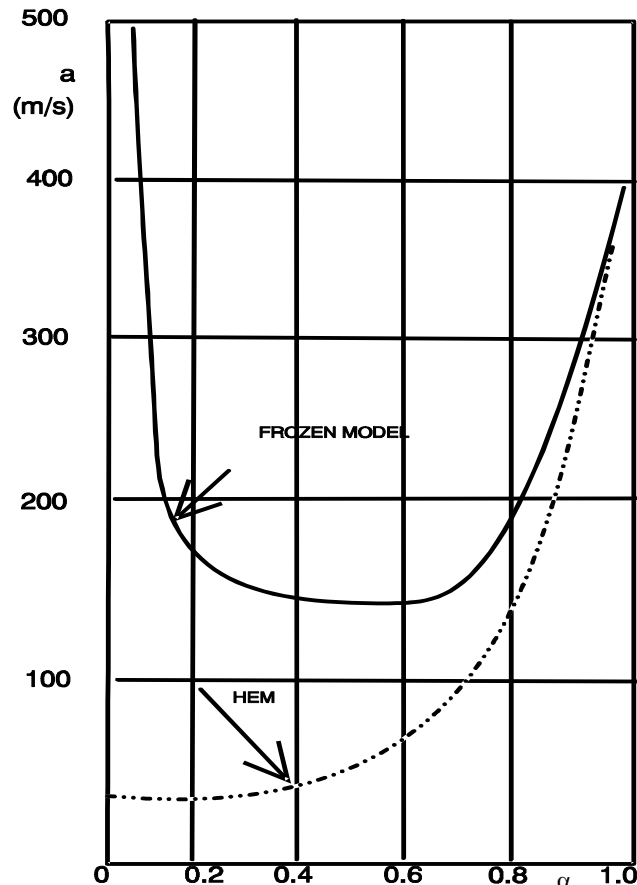


Fig. 4.5 - Velocità critica in fluidi bifase, secondo due approcci.

Concludendo questa parte si ritiene opportuno fare un'ultima osservazione di carattere generale ed indicare una regola mnemonica.

L'osservazione riguarda il fatto che le formule discusse in precedenza consentono di calcolare, anche manualmente, la portata che fuoriesce dalla rottura all'istante iniziale. Lo stesso rilascio provoca poi una modifica delle condizioni all'interno del recipiente (discusse nel caso bifase), che vengono a dipendere dalla portata fuoriuscita. Questa viene quindi a variare continuamente per un meccanismo di retroazione ed il suo calcolo, istante per istante, richiede la soluzione di un sistema di equazioni differenziali, più o meno complicato a seconda dei fenomeni che occorre e si è in grado di considerare. Il caso più semplice è quello in cui si possono considerare uniformi le condizioni all'interno del recipiente (caso zerodimensionale); le equazioni di bilancio della massa e dell'energia scritte per il contenuto

del recipiente consentono in tal caso la soluzione del problema, considerato semistazionario. Questa passa in ogni caso attraverso l'uso di un programma di calcolo, dovendosi ripetere la valutazione delle condizioni e quindi della portata ad ogni passo temporale.

La regola mnemonica consente ad un qualsiasi tecnico di giudicare la validità dei risultati dei calcoli eseguiti e quindi l'assenza di grossolani errori nei dati di input al programma. E' la regola del 4: per un recipiente ad una determinata pressione  $p_0$ , la portata di liquido è 4 volte maggiore di quella di fluido bifase e questa supera di un altro fattore 4 la portata di gas.

### 4.2.3 - La formazione di un getto

Se la valutazione delle conseguenze di un rilascio accidentale interessa la zona prossima al punto di rilascio, l'informazione sulla portata rilasciata può non essere sufficiente.

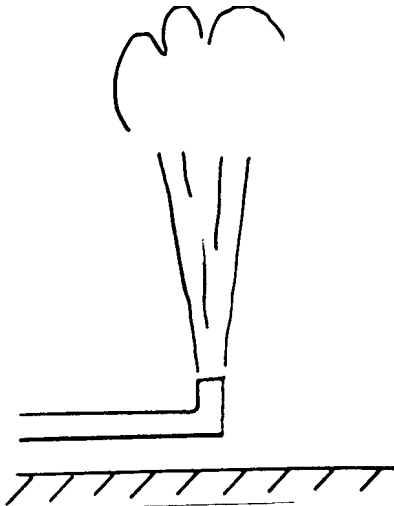
E' questo il caso di rilascio di un fluido infiammabile che, a seguito di innesco, origina un getto infuocato.

In questi casi, la prima cosa da definire è la direzione dell'asse del getto (Fig. 4.6), che potrà essere diretto verso il terreno, verso l'alto, parallelo al terreno o in un'altra direzione intermedia. Se il rilascio avviene da un tronchetto, da una valvola o da una tubazione ben definita, sarà altrettanto definita la direzione del getto. Quando invece l'apertura di rilascio può aversi in qualunque posizione sulla superficie del recipiente, altrettanto indeterminata sarà la direzione del getto. In tal caso potrà essere necessario eseguire una serie di analisi di sensibilità, per determinare la variazione dello spettro delle conseguenze al variare della posizione di rottura (spesso anche delle dimensioni di questa) o almeno la posizione in grado di produrre le conseguenze più gravi.

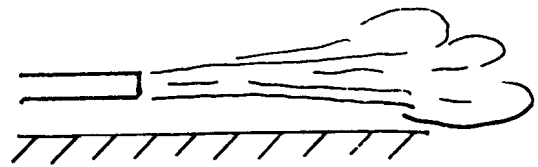
La storia del getto dipende ovviamente dalle caratteristiche del fluido rilasciato. Se questo è un liquido, la successiva traiettoria è determinabile applicando la legge di gravità, eventualmente tenendo anche conto della resistenza dell'aria. Se si ha a che fare con un gas perfetto (sempre per efflusso da un foro a parete sottile) il getto è conico con angolo di apertura di 9 gradi. Infine se il fluido è bifase, l'angolo di apertura iniziale del cono è più piccolo (ad es. 4 gradi) e poi aumenta gradatamente man mano che l'ingresso di aria (entrainment) nel getto ne provoca la diluizione, fino ad arrivare al valore tipico dei gas

perfetti.

Nel caso di un getto bifase si verificano altri fenomeni, in generale di maggior interesse nelle analisi di rischio. Ad es., si può porre il problema della storia delle gocce di liquido contenute nella miscela bifase: si separano, cadendo a terra ed originano una pozza, o sono trasportate dal getto, evaporando successivamente man mano che lo scambio termico con l'ambiente fornisce il necessario calore di vaporizzazione? La risposta a tale domanda può condizionare l'analisi della fase successiva dell'incidente, determinando ad es., il comportamento della nube nella fase di dispersione atmosferica (rispettivamente come gas neutrale o più pesante dell'aria). Peraltro le condizioni al contorno possono originare altri fenomeni, determinando o comunque influenzando il comportamento della miscela; ad es., l'urto del getto contro il terreno o contro ostacoli può provocare la separazione delle gocce, ecc.



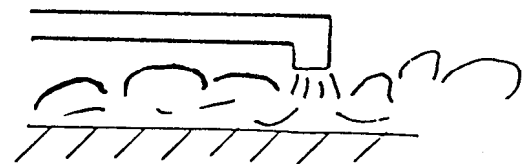
a) verso l'alto



b) orizzontale



d) contro una parete



c) verso il basso

Fig. 4.6 - Rappresentazione schematica di alcune possibili direzioni del getto e sua interazione con l'ambiente.

#### 4.2.4 - L'evaporazione da pozza

Una pozza, formatasi a seguito del rilascio di un liquido sottoraffreddato o per separazione del liquido da un fluido bifase, può originare una nube di vapori tossici o infiammabili per il fenomeno di evaporazione. In generale si fa l'ipotesi di condizioni di temperatura uniformi in tutto il volume della pozza, ipotesi abbastanza realistica per quanto concerne le dimensioni sul piano orizzontale ed ammissibile in direzione verticale se lo spessore dello strato è relativamente piccolo. Il rateo di evaporazione  $\Gamma$  è determinato attraverso il bilancio di energia, dal semplice rapporto:

$$\Gamma = Q/r \quad (4.9)$$

ove:

$Q$  è la potenza che arriva al fluido per unità di superficie ( $W/m^2$ )

$r$  il calore latente di evaporazione ( $J/Kg$ )

$\Gamma$  rateo di evaporazione ( $Kg/m^2 s$ )

Il problema è quello di determinare  $Q$ , in generale esprimibile con la relazione:

$$Q = S + A + I + \dot{E} \quad (4.10)$$

avendo indicato con:

$S$  la potenza scambiata per conduzione con il suolo ( $W/m^2$ )

$A$  la potenza scambiata per convezione con l'atmosfera ( $W/m^2$ )

$I$  la potenza che arriva allo strato direttamente per irraggiamento solare ( $W/m^2$ )

$\dot{E}$  è la variazione di energia interna del liquido nella pozza ( $W/m^2$ ).

Nell'equazione (4.10)  $I$  è l'unico termine certamente positivo (anche se di notte diverrebbe negativo, considerando l'irraggiamento della terra verso l'universo). Gli altri termini variano di segno, a seconda che la temperatura del liquido aumenti o diminuisca ( $\dot{E}$ ), ovvero sia maggiore o minore della temperatura rispettivamente del suolo e dell'aria ambiente. In valore assoluto, fra i termini della (4.10) è preponderante l'uno o l'altro a

seconda del valore di un gran numero di parametri che entrano nella loro determinazione: temperatura ambiente, conducibilità e calore specifico del terreno, velocità del vento, ecc.

Il caso di maggior interesse pratico è forse quello di una sostanza che forma una pozza di liquido a temperatura pari al suo punto di ebollizione  $T_b$ , nettamente inferiore alla temperatura ambiente  $T_a$ . In questo caso, il termine  $S$  dell'equazione (4.10) è valutabile con la relazione:

$$S = \frac{K_S(T_a - T_b)}{\sqrt{\pi\alpha_S t}} \quad (4.11)$$

ove  $K_S$  ed  $\alpha_S$  sono rispettivamente la conducibilità termica (W/mK) e la diffusività termica ( $m^2/s$ ) del terreno e  $t$  (s) è il tempo. Tale equazione si ottiene dalla soluzione dell'equazione di Fourier in geometria monodimensionale (a lastra seminfinita), ammettendo note e costanti le caratteristiche termiche del terreno. La relazione (4.11) esprime il fatto che via via che l'onda termica di raffreddamento penetra nel terreno ( $t$  aumenta), diminuisce la quantità di calore che il terreno trasmette al liquido e quindi il rateo di evaporazione di questo.

### 4.3 - LA DISPERSIONE ATMOSFERICA

La valutazione delle conseguenze del rilascio di gas o vapori in aria implica la considerazione dei fenomeni di dispersione atmosferica al fine di determinare l'andamento spaziale della concentrazione della sostanza pericolosa.

Nel caso di sostanze infiammabili e/o esplosive, le concentrazioni di interesse sono quelle comprese fra i limiti superiore ed inferiore di infiammabilità (UFL e LFL), in generale corrispondenti a qualche decina di % e a qualche % in volume. Uno degli intervalli più estesi è quello dell'idrogeno ( $H_2$ ), che ha UFL = 80% e LFL = 4%; peraltro, l'acetilene è infiammabile in tutto il campo di concentrazioni superiori all'1% in volume.

In definitiva è richiesta una diluizione al più di un fattore 100 della concentrazione nel punto di rilascio (100% in volume), per scendere al di sotto del limite inferiore di infiammabilità e quindi per escludere ulteriori pericoli di incendio; una tale diluizione in generale si verifica entro qualche centinaio di m dal punto di rilascio.

Molto più estesa territorialmente può essere la pericolosità di un rilascio tossico, dato che, a seconda della sostanza considerata, concentrazioni di 1000 ppm (ad es. di cloro) possono essere letali per una singola inalazione e comunque concentrazioni di 10 ppm possono essere ancora pericolose. In definitiva si richiedono diluizioni di un fattore  $10^5$  o anche maggiori, la qualcosa implica distanze dal punto di rilascio dell'ordine di qualche Km o anche decine di Km. Da questa osservazione si capisce immediatamente come la valutazione della dispersione atmosferica sia particolarmente critica nel caso di rilascio tossico.

In tutti i casi, alla base del fenomeno della dispersione c'è l'azione del vento e la turbolenza atmosferica.

Il vento è la forza motrice del trasporto (advezione) dell'inquinante a grandi distanze dal punto di rilascio, oltre che una componente fondamentale della diluizione.

Solo in caso di assoluta calma di vento il centro di massa della nube rimarrebbe nella posizione iniziale, senza alcuno spostamento; questa situazione è peraltro irrealistica, dato che, anche in caso di calma, raramente la velocità del vento scende al di sotto di 0,25 m/s, magari con direzione continuamente variabile.

Per quanto riguarda la turbolenza atmosferica, è opportuno distinguere quella di origine meccanica da quella di origine termica. La turbolenza meccanica dipende essenzialmente dalla velocità del vento e dalla rugosità del suolo (altezza media degli ostacoli).



La turbolenza termica è invece in relazione agli scambi termici fra l'atmosfera, il suolo e lo spazio extraterrestre, scambi che condizionano la stabilità dell'atmosfera. In proposito, Pasquill definì 6 classi di stabilità denominate con le lettere da A (forte instabilità) ad F (forte stabilità), determinabili in base alla semplice osservazione del cielo ed alla misura della velocità del vento; Gifford modificò leggermente tale classificazione, suddividendo ulteriormente l'ultima classe di stabilità atmosferica, secondo lo schema di Fig. 4.7. Ad es., di giorno con forte insolazione e bassa velocità del vento (<2 m/s) l'atmosfera è fortemente instabile (classe A): il riscaldamento del suolo provoca moti convettivi che tendono a ridistribuire l'energia verso l'alto, con grande turbolenza termica. Di notte, nella stessa situazione di cielo aperto e bassa velocità del vento, l'atmosfera è caratterizzata invece da una forte stabilità (classe G): l'irraggiamento terrestre provoca infatti il raffreddamento del suolo e degli strati più bassi dell'atmosfera, con un gradiente termico positivo, in funzione dell'altezza  $z$ ; in alto l'aria è più calda rispetto a quella sottostante e pertanto stratifica, senza alcuna turbolenza termica.

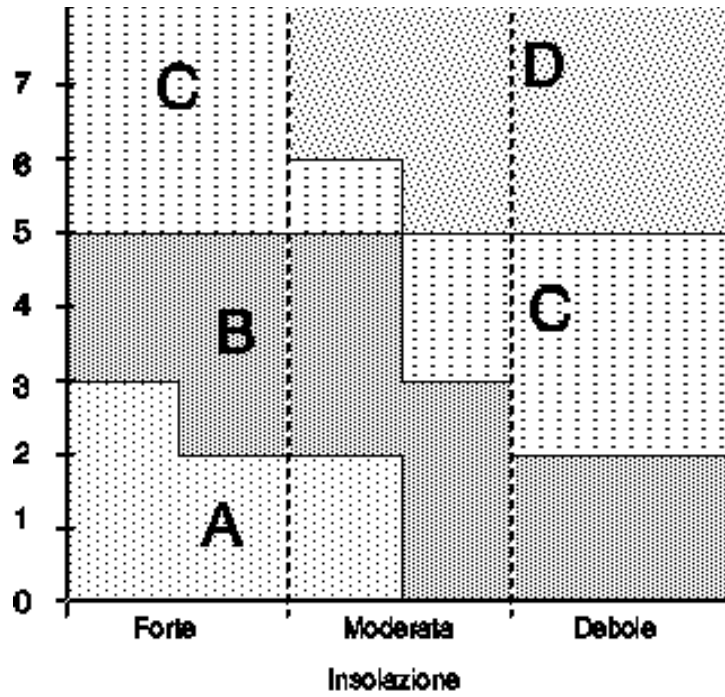
Dopo questi cenni introduttivi alla fenomenologia della dispersione atmosferica, è possibile affrontare la discussione dei modelli utilizzati per la sua valutazione, distinguendo i due casi di gas neutrale e di gas pesante, a seconda che la densità dell'inquinante rilasciato sia rispettivamente eguale (o minore) ovvero maggiore della densità dell'aria ambiente.

Per quanto concerne il tipo di rilascio, si farà riferimento essenzialmente ai rilasci a puff, di maggiore interesse nel caso di incidenti. Peraltro rilasci continui possono essere trattati ipotizzando una successione di puff ed applicando il principio di sovrapposizione degli effetti. In tal modo si ha il vantaggio di poter considerare anche i casi di direzione del vento variabile durante il transitorio (traiettoria del centro di massa curvilinea) e di calma di vento, senza alcuna differenza concettuale nella modellistica utilizzata allo scopo.

#### **4.3.1 - La dispersione atmosferica di gas neutrali**

Il modello normalmente usato per descrivere la dispersione atmosferica di gas a densità minore o eguale a quella dell'aria ambiente è quello gaussiano, denominato anche di Pasquill-Gifford. Assunto un sistema di riferimento come indicato in Fig. 4.8, con

a) di giorno



b) di notte

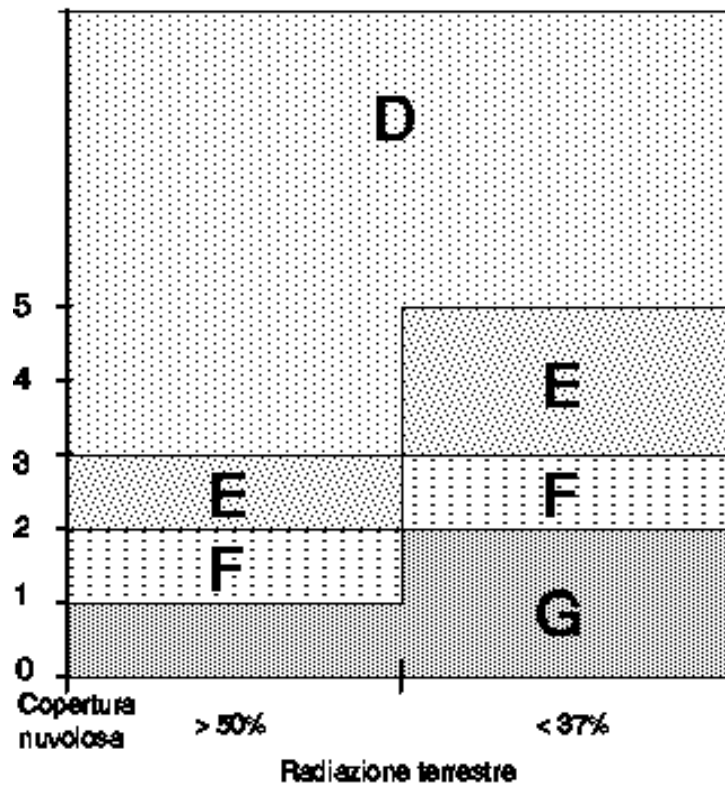
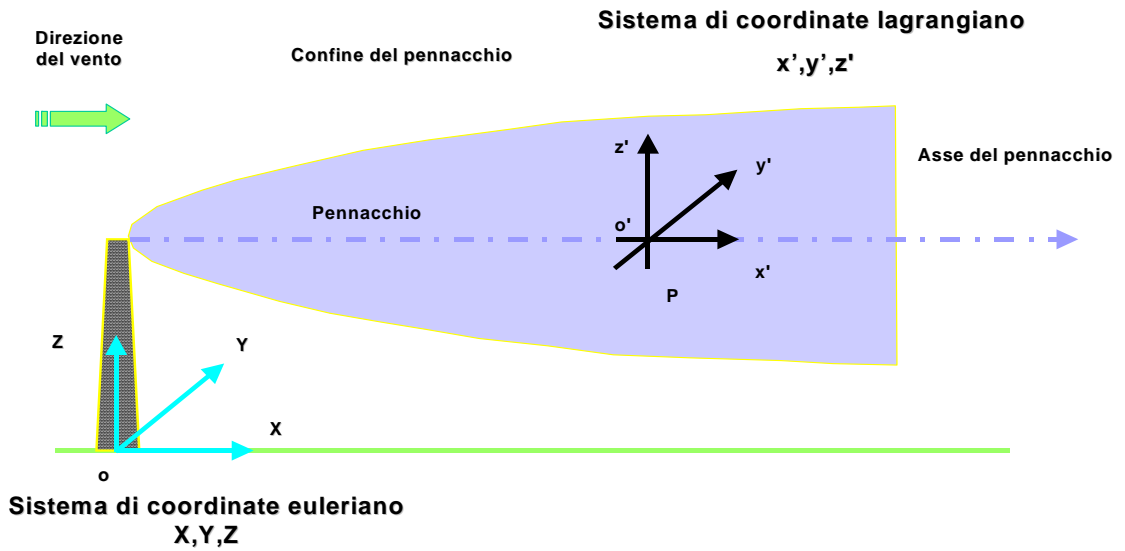
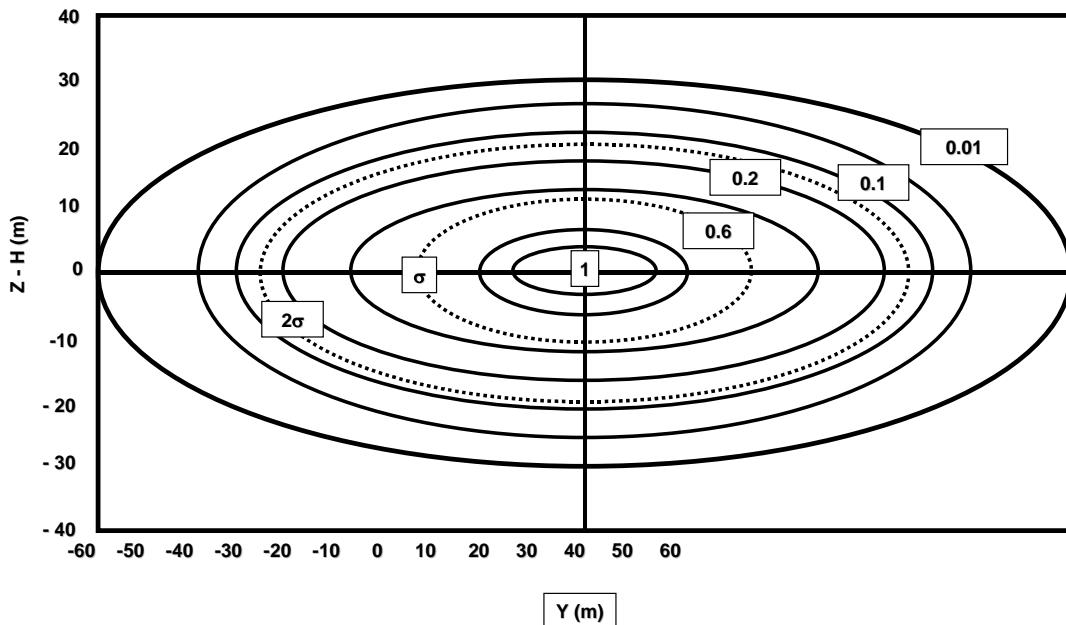


Fig. 4.7 - Categorie di stabilità atmosferica di Pasquill-Gifford.

l'origine nel punto di rilascio, l'asse x nella direzione della velocità del vento, l'asse y nella direzione ortogonale a questa sul piano orizzontale e l'asse z in direzione verticale verso l'alto. Il centro di massa del puff si sposta nel tempo t lungo x di un tratto pari ad  $ut$ , essendo u la velocità del vento al suolo (assunta convenzionalmente pari a quella a 10 m di altezza).



a) sistema di riferimento e principali parametri



b) sezione retta di una nube gaussiana ( con  $\sigma_y = 20$  m,  $\sigma_z = 10$  m)

Fig. 4.8 - Tipica schematizzazione di una nube gaussiana.

In un sistema di riferimento Lagrangiano ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ), la cui origine rimane sempre

coincidente con il centro di massa della nube (e quindi con  $x'=x-ut$ ,  $y'=y$ ,  $z'=z$ ), per un rilascio a livello del suolo, la concentrazione varia in funzione delle coordinate del punto considerato secondo la legge gaussiana

$$C = \frac{2Q_0}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left( \frac{x'^2}{\sigma_x^2} + \frac{y'^2}{\sigma_y^2} + \frac{z'^2}{\sigma_z^2} \right) \right\} \quad (4.12)$$

I valori di concentrazione dati da tale relazione sono raddoppiati rispetto ai valori teorici della legge gaussiana, ammettendo il suolo perfettamente riflettente; in tal modo si tiene conto dell'impossibilità dell'inquinante di diffondere nel sottosuolo.

La relazione (4.12) è schematicamente rappresentata nella stessa Fig. 4.8; essa equivale ad ammettere che la dispersione atmosferica segue la legge della diffusione, secondo coefficienti di diffusione dati dalla relazione:

$$K_i = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_i^2}{dt} \quad (4.13)$$

ovvero:

$$\sigma_i^2 = 2K_i t \quad (4.13')$$

avendo supposto  $K_i$  costante (indipendente dal tempo). Quest'ultima ammissione vale per la diffusione molecolare; la sua applicabilità alla dispersione in atmosfera deriva dalle caratteristiche di turbolenza di questa, estremamente caotiche.

In generale si ammettono eguali i coefficienti di dispersione del piano orizzontale <sup>(c)</sup> ( $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_H$ ). Essi, così come  $\sigma_z$ , sono funzione della categoria atmosferica, oltre che della distanza  $x$ , come mostrato in Fig. 4.9. Per l'esecuzione dei calcoli, è comodo esprimere i dati di Fig. 4.9 con formule matematiche del tipo:

$$\sigma_y = a x^b \quad \sigma_z = c x^d \quad (4.14)$$

<sup>(c)</sup> Il pedice H nel seguito sta per "Horizontal".

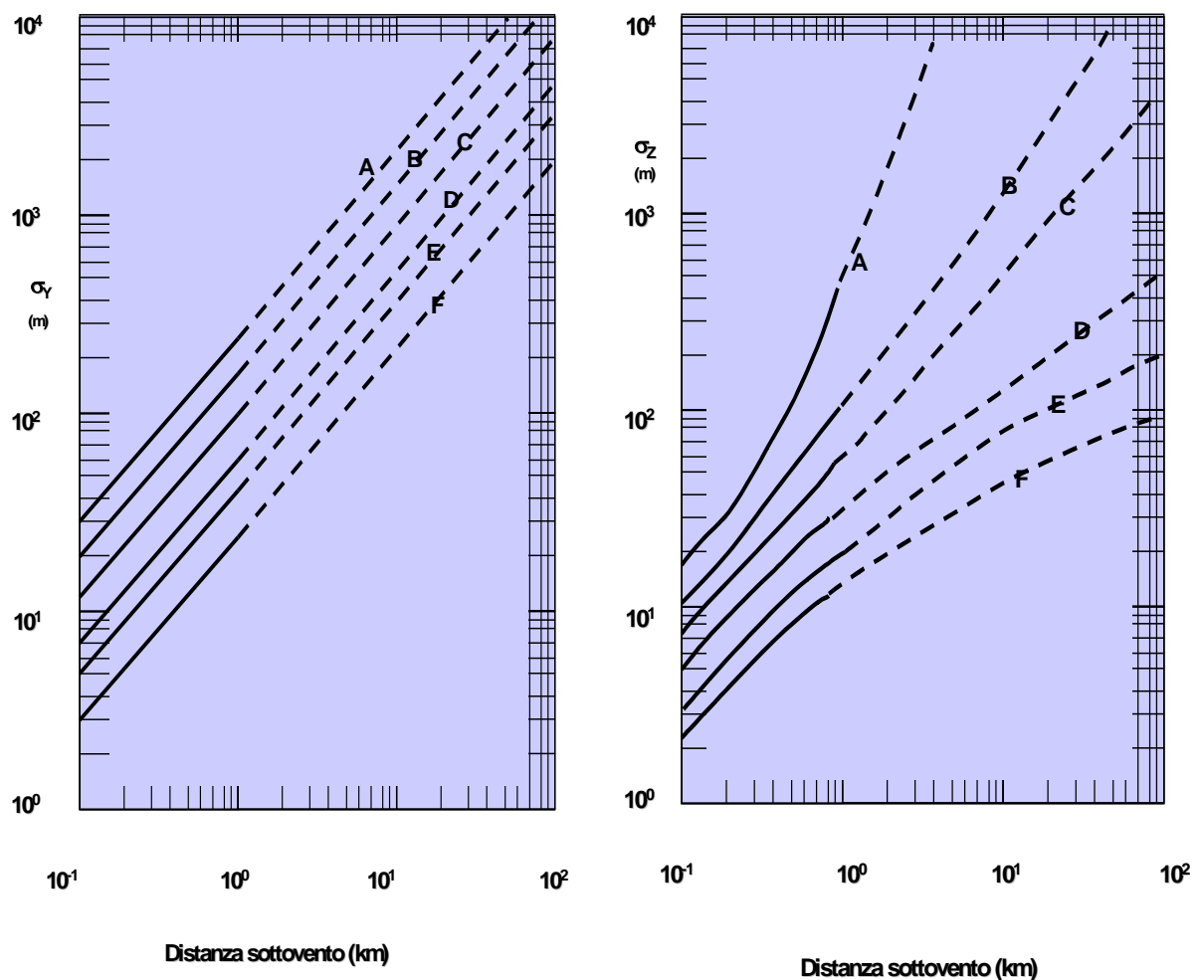


Fig. 4.9 - Valori di  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  nelle varie categorie meteorologiche, dati da Pasquill e Gifford.

Valori dei coefficienti a, b, c, d validi nel caso di rilasci continui, corrispondenti agli andamenti dei coefficienti di dispersione riportati in Fig. 4.9 sono riportati in Tab. 4.1. Sono peraltro possibili altre formulazioni, un po' diverse dalla (4.14), come indicato in Tab. 4.2 a), b), ripresa da /2/. L'esame di quest'ultima tabella mette in evidenza l'effetto di aumento della dispersione provocato dalla presenza di zone urbane e dovuto sia all'aumento della turbolenza meccanica (altezza degli ostacoli maggiore di almeno un ordine di grandezza rispetto al caso di campagna pianeggiante cui si riferiscono i dati di Fig. 4.9), che all'isola di calore urbana.

Per rilasci accidentali, in generale si considerano solo 3 categorie atmosferiche: instabile (A+B+C), neutra (D) e stabile (E+F+G) o addirittura solo le ultime 2 (D ed F). I parametri di dispersione atmosferica  $\sigma_H$  e  $\sigma_z$  possono essere valutati con formule approssimate del tipo delle (4.14), ma con un valore del coefficiente a dimezzato rispetto al

caso di rilasci continui. Ciò deriva principalmente dal fatto che nel caso di rilasci a puff il passaggio della nube sul punto di osservazione è molto più breve e gli effetti della turbolenza atmosferica non si esplicano appieno, particolarmente sul piano orizzontale. I valori di Tab. 4.1 si riferiscono a tempi di osservazione di 10 min. Se il tempo  $\Delta t$  per cui interessa calcolare la concentrazione media è diverso, si consiglia di applicare a  $\sigma_y$  un fattore correttivo  $f = \left(\frac{\Delta t}{10}\right)^q$ , con  $q = 0,2 \div 0,3$ , a seconda di  $\Delta t$ .

Categoria atmosferica	Sigla	a	b	c	d
Molto instabile	A	0.527	0.865	0.28	0.90
Instabile	B	0.371	0.866	0.23	0.85
Leggermente instabile	C	0.209	0.897	0.22	0.80
Neutra	D	0.128	0.905	0.20	0.76
Stabile	E	0.098	0.902	0.15	0.73
Fortemente stabile	F	0.065	0.902	0.12	0.67

Tab. 4.1 - Coefficienti per il calcolo dei parametri di dispersione atmosferica (dal manuale del codice EFFECTS del TNO).

Classe di Pasquill	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
A	$0.22 x (1+0.0001 x)^{-1/2}$	$0.20 x$
B	$0.16 x (1+0.0001 x)^{-1/2}$	$0.12 x$
C	$0.11 x (1+0.0001 x)^{-1/2}$	$0.08 x (1+0.0002 x)^{-1/2}$
D	$0.08 x (1+0.0001 x)^{-1/2}$	$0.06 x (1+0.0015 x)^{-1/2}$
E	$0.06 x (1+0.0001 x)^{-1/2}$	$0.03 x (1+0.0003 x)^{-1}$
F	$0.04 x (1+0.0001 x)^{-1/2}$	$0.016 x (1+0.0001 x)^{-1}$

a) terreno aperto e pianeggiante

Classe di Pasquill	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_z$ (m)
A - B	$0.32 x (1+0.0004 x)^{-1/2}$	$0.24 x (1+0.0001 x)^{-1/2}$
C	$0.22 x (1+0.0004 x)^{-1/2}$	$0.20 x$
D	$0.16 x (1+0.0004 x)^{-1/2}$	$0.14 x (1+0.0003 x)^{-1/2}$
E - F	$0.11 x (1+0.0004 x)^{-1/2}$	$0.08 x (1+0.00015 x)^{-1/2}$

b) zone urbane

Tab. 4.2 - Formule di Briggs (1973) per il calcolo dei parametri di dispersione atmosferica

### 4.3.2 - La dispersione atmosferica di gas densi

Nel caso di rilascio di gas più densi dell'aria le osservazioni sperimentali hanno evidenziato come la fase di dispersione discussa al punto precedente sia preceduta da due fasi, denominate rispettivamente:

- a) caduta ed allargamento ("slumping") gravitazionale della nube;
- b) dispersione stratificata.

Nella fase a), la nube formatasi a seguito del rilascio di un gas denso continua ad allargarsi per effetto della gravità, appiattendosi al suolo. Il miscelamento con aria, al bordo sul piano orizzontale e sulla parte superiore, contribuisce alla diluizione della nube. Successivamente interviene la dispersione stratificata, in cui la concentrazione della nube si riduce ulteriormente, finché la sua densità non diviene praticamente eguale a quella dell'aria circostante. A questo punto, il comportamento della nube diventa quello di un gas neutrale, discusso al punto precedente.

Un modello, relativamente semplice, che riproduce abbastanza fedelmente la fenomenologia ora brevemente descritta, è quello proposto da Colebrander, tradotto (con piccole differenze e qualche modifica concettuale nei codici di calcolo EGADAZ e DEGADIS /3/, DENZ /4/, ecc.) In sostanza è un modello a "box", che ipotizza che inizialmente si formi una nube cilindrica, a concentrazione uniforme, già molto piatta; infatti si ammette che il rapporto h/D (altezza/diametro) sia tipicamente 1/10.

La concentrazione del gas rilasciato nella nube, e quindi la densità di questa, sono peraltro funzione delle caratteristiche del gas (oltre che delle modalità di rilascio), che influenzano la quantità di aria inglobata nella nube in questa fase iniziale. La Tab. 4.3 riporta per i gas di maggiore interesse valori tipici del rapporto fra il volume di gas rilasciato ed il volume di aria e quindi della densità della nube iniziale. Tali dati sono ricavati da osservazioni sperimentali ed usati nelle applicazioni di DENZ /4/; in questo modo è possibile ricavare lo stato iniziale della nube, nota la massa M di gas rilasciata in aria.

Quindi inizia la fase a) di "slumping" gravitazionale, in cui le dimensioni della nube si accrescono, in base all'equazione:

$$\frac{dR}{dt} = K \sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho_a} gh} \quad (4.15)$$

ricavabile con il classico bilancio fra energia cinetica ed energia potenziale.

Sostanza	Ammoniaca	Cloro	LNG	Propano	Butano	Acido fluoridico
<b>Proprietà</b>						
Densità relativa all'aria	- (°)	2.5	- (°)	1.5	2.0	- (°)
T <sub>b</sub> (°C)	-33.	-35	- 161.	-45.	-2.0	+19.
Massa nella nube (kg)	M	M	M	M	0.8 M	M
Aria inglobata	9.6 M	4M	13 M	11.2 M	2.8 M	5.2 M
Massa nube	10.6 M	5 M	14 M	12.2 M	3.6 M	6.2 M
Densità nube (kg/m <sup>3</sup> )	1.68	1.71	1.52	1.41	1.64	1.33
Temperatura nube (°C)	- 50.	-45	- 66.	-16.	-45.	-7.
Volume nube (m <sup>3</sup> )	6.63 M	2.92 M	9.21 M	8.65 M	2.19 M	4.68 M

(°) In condizioni normali tali gas sono più leggeri dell'aria, ma rilasciati da serbatoi refrigerati o in pressione possono originare nubi dense per la presenza di goccioline di liquido o, nel caso di HF, per la presenza di dimeri (H<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) o esameri (H<sub>6</sub>F<sub>6</sub>)

Tab. 4.3 - Dati empirici sulle caratteristiche iniziali della nube, per rilascio di gas densi (usati nello studio /5/).

L'ingresso di aria nella nube è valutato con un modello descrivibile tramite l'equazione:

$$\frac{dM_a}{dt} = f(\alpha', u) + f\left(\alpha'', \frac{dR}{dt}\right) \quad (4.16)$$

ove:  $\alpha$  costante di entrainment rispettivamente sopra ( $\alpha'$ ) e lateralmente ( $\alpha''$ ) alla nube;

$u$  velocità del vento

$dR/dt$  velocità radiale di espansione della nube.

La densità della nube diminuisce sia per l'ingresso di aria, che per il contemporaneo scambio di energia con l'ambiente (suolo, atmosfera, irraggiamento solare).



Nel modello EGADAZ /3/, la fase a) termina quando il numero di Richardson <sup>(9)</sup> assume un valore pari a 40.

Inizia quindi la fase b) in cui il centro di massa della nube si sposta per effetto del vento e la concentrazione della nube continua a diminuire per i due effetti sopracitati; l'ingresso di aria nella nube è valutato con una relazione analoga al primo termine dell'equazione (4.16). Tale fase prosegue finchè  $R_i = 1$  o la differenza di densità con l'aria è inferiore a  $1\text{g/m}^3$ . Quando si raggiunge questa condizione la nube diventa neutrale e si applica il modello descritto al punto precedente.

---

<sup>(9)</sup> Il numero di Richardson è in questo caso definito come proporzionale al rapporto fra l'energia potenziale della nube e l'energia cinetica (turbolenza meccanica) dell'aria circostante: 
$$R_i = \frac{\Delta\rho \cdot g \cdot h}{\rho_a u^2} \cdot \frac{2R}{h}$$

## 4.4 - INCENDI ED ESPLOSIONI

Se la sostanza rilasciata in un incidente è infiammabile o esplosiva, in presenza di una sorgente di ignizione si ha l'innescò della reazione di combustione della sostanza che si trova mescolata con aria a concentrazione compresa fra UFL e LFL.

Si parla di incendi o esplosioni a secondo che i danni maggiori derivino rispettivamente dagli effetti termici o meccanici della reazione, anche se spesso i danni per "esplosioni" sono accompagnati da effetti termici più o meno importanti. Non è invece vero il viceversa.

### 4.4.1 - Incendi

In generale si distinguono varie tipologie di incendio, corrispondenti a diverse fenomenologie di incidente e quindi con diversità di effetti:

- a) incendio di una pozza di liquido (pool fire)
- b) incendio di vapori (flash fire)
- c) getto incendiato (jet fire)
- d) sfera di fuoco (fire ball).

Ovviamente il fatto che si verifichi l'una o l'altra delle fenomenologie accennate dipende sia dalle caratteristiche della sostanza che dalle modalità del rilascio. Ad es., il rilascio di idrocarburi liquidi originerà uno dei primi 3 fenomeni a seconda della violenza dello stesso (si ha o no il "getto") e dell'ignizione immediata o no. Se il liquido non prende fuoco, originerà una pozza, dalla cui evaporazione potrà aver origine una nube, che magari si incendierà ad una certa distanza dal luogo dell'incidente (fenomenologia b)). Analogamente, nel caso di rilascio di un gas o di una miscela bifase si potrà avere, a seconda delle modalità di rilascio, una delle fenomenologie b), c), d).

In tutti i casi gli effetti "termici" potranno essere valutati in base ad una relazione del tipo:

$$Q_T = F \tau \alpha_T Q_s \quad (4.17)$$

ove si è indicato con

- $Q_T$  il flusso termico sul bersaglio ( $W/m^2$ )
- $F$  il fattore di vista (angolo solido secondo cui il bersaglio vede la superficie dell'incendio)
- $\tau$  le trasmissività dell'atmosfera
- $\alpha_T$  il coefficiente di assorbimento del bersaglio
- $Q_S$  il flusso termico sulla superficie della sorgente ( $W/m^2$ ).

Usualmente si assume  $\alpha_T = 1$  e, cautelativamente, anche  $\tau = 1$ . Quindi noti  $Q_S$  (che dipende dalla tipologia dell'incendio) e  $Q_T$  (che dipende dal tipo di danno considerato, si vede il successivo paragrafo 4.5), la relazione (4.17) consente di determinare la distanza a cui si avrà il danno considerato.

La geometria della superficie della fiamma si assume cilindrica, con asse inclinato in direzione del vento e con rapporto altezza/diametro ( $h/D$ ) che assume valori compresi fra 1 (per una pozza con  $D=10m$ ) e 0.4 (per una pozza di 1 Km di diametro); l'andamento di  $h/D$  fra tali valori si può assumere lineare, su scala semilogaritmica. Tali dati consentono il calcolo di  $F$ , al variare della distanza  $x$  del bersaglio dalla superficie della pozza.

Ad es. nel caso dell'incendio di una pozza di idrocarburi, valori tipici di  $Q_S$  sono compresi nell'intervallo 40-170  $kW/m^2$ .

Nel caso di una sfera di fuoco,  $Q_S$  può arrivare a 350  $kW/m^2$ . Il raggio  $R$  della sfera di fuoco si può calcolare con la semplice relazione /5/:

$$R = 3 M^{1/3} \quad (4.18)$$

essendo  $R$  in m ed  $M$  la massa rilasciata, in Kg. In questo caso, molto semplicemente, si ha

$$F = \pi \left( \frac{R}{x} \right)^2 \quad (4.19)$$

e quindi, con le ammissioni già fatte,:

$$x = R \sqrt{\pi Q_S / Q_T} \quad (4.20)$$

#### 4.4.2 - Esplosioni

Nella sua forma più generale un'esplosione è definita come un rapido rilascio dell'energia immagazzinata in un sistema (sorgente). Tale energia può essere presente sotto varie forme (nucleare, chimica, elettrica e così via). Le onde di pressione che comunque accompagnano un'esplosione rappresentano il meccanismo fisico attraverso il quale l'energia rilasciata dalla sorgente viene trasportata lontano, dapprima attraverso la sorgente stessa, poi nel mezzo circostante.

Gli effetti delle esplosioni sono sufficientemente conosciuti su base sperimentale nel caso di esplosivi in forma condensata (dinamite o TNT).

In questo caso, la sovrappressione massima dell'onda d'urto provocata dall'esplosione ad una certa distanza R dipende dalla massa di TNT che è esplosa, oltre che da R, secondo quanto mostrato in Fig. 4.10. In particolare, fissato un valore del picco di pressione che provoca un determinato danno (vedasi par. 4.5), la distanza R (m) entro cui si hanno danni eguali o maggiori è legata alla massa di esplosivo W (Kg) dalla semplice relazione:

$$R = a W^{1/3} \quad (4.21)$$

essendo a una costante.

Tale relazione è esplicitata in Fig. 4.11 per una sovrappressione di 7 kPa (1 psig).

Nel caso di esplosioni conseguenti alla combustione di gas o vapori (ma anche di dispersioni di gocce o polveri) di materiali combustibili, in generale si considerano due classi di fenomeni: le deflagrazioni e le detonazioni.

Si ha una deflagrazione, quando la velocità di propagazione della combustione (fronte di fiamma) è limitata al più a qualche decina di m/s. In una deflagrazione è la stessa energia liberata dalla combustione che provoca l'aumento di temperatura nel gas incombusto in prossimità del fronte di fiamma; quando la temperatura supera un determinato valore (detto temperatura di ignizione), avviene la reazione ed il fronte di fiamma avanza.

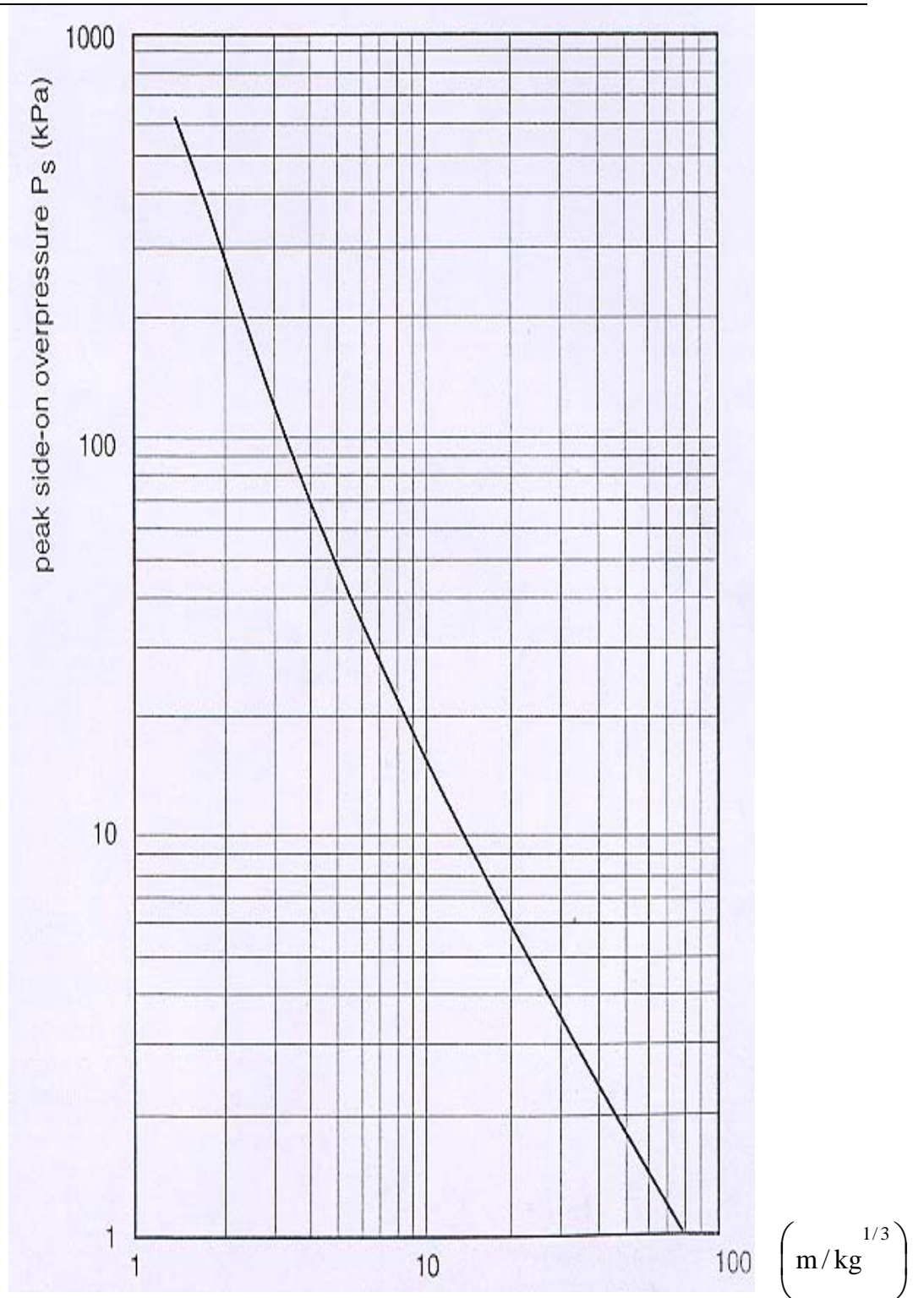


Fig. 4.10 - Picco di sovrappressione (positivo incidente) dell'onda d'urto per l'esplosione di TNT in atmosfera, a livello del suolo (Marshall, 1976).

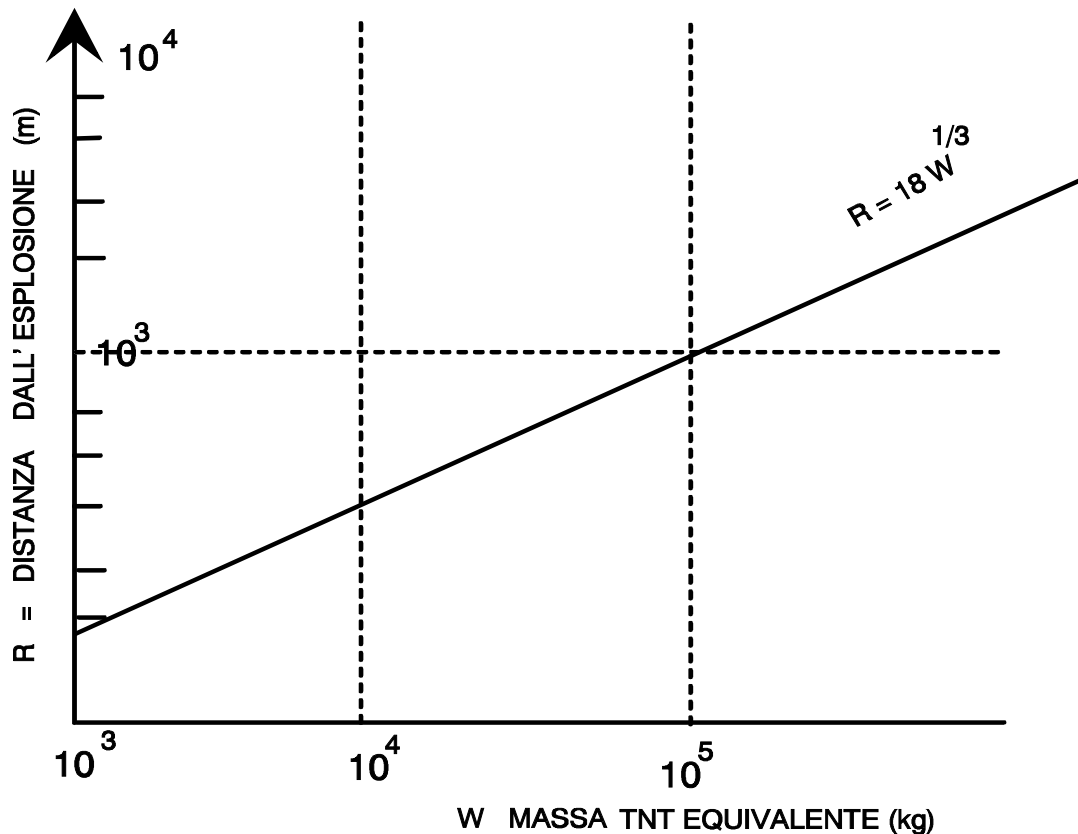


Fig. 4.11 - Distanza fino a cui l'esplosione provoca un picco di pressione  $\geq 7$  KPa (1 psig), in funzione della massa di TNT.

Nel caso di detonazione, è la stessa onda di pressione generatasi durante l'esplosione che propagandosi con la velocità del suono nel mezzo combusto, provoca, per compressione adiabatica, l'ignizione del gas incombusto all'interfaccia fra i due mezzi. Dato che la velocità del suono nel mezzo combusto, per l'aumento di temperatura conseguente alla reazione, è molto maggiore di quella nel mezzo incombusto (vedasi la relazione (4.7)), talvolta si parla impropriamente di propagazione dell'esplosione (in realtà dell'onda di pressione) a velocità supersonica.

Dal punto di vista spaziale, le esplosioni si possono verificare in ambiente aperto (esplosioni inconfinate) o limitato (esplosioni confinate). Quest'ultimo caso non presuppone necessariamente un ambiente chiuso, ma solo la presenza di ostacoli che possono modificare la propagazione del fronte di fiamma e dell'onda d'urto (presenza di manufatti, recipienti, ecc.); tale presenza influenza, tramite gli effetti della turbolenza, anche la velocità di propagazione del fronte di fiamma e può causare il passaggio da

deflagrazione a detonazione.

Non è possibile approfondire in questa sede tale tematica, per cui ci si limita ad indicare la usuale soluzione ingegneristica, ottenuta schematizzando il problema nella determinazione della massa di TNT equivalente, come effetti, alla situazione di interesse. Ciò è fatto usualmente in base all'energia liberata dalla reazione e convertita in energia meccanica:

$$W = \frac{\eta ME}{E_{\text{TNT}}} \quad (4.22)$$

In questa relazione:

- $M$  è la massa di materiale infiammabile che prende parte alla reazione (Kg);
- $E$  è l'energia rilasciata per combustione dell'unità di massa dalla sostanza (J/Kg);
- $E_{\text{TNT}}$  è l'energia rilasciata dall'esplosione di 1kg di TNT (=  $\sim 4.4 \div 4.8$  MJ/Kg);
- $\eta$  include sia l'efficienza della reazione di combustione che quella di trasformazione dell'energia termica in energia meccanica (onda d'urto); i valori tipici sono compresi fra 0.01 e 0.1, con un valore massimo atteso di 0,3.

#### 4.5 - MODELLI DI VULNERABILITA'

Fra le varie tipologie di danno possibili (morte, ferite, danni economici, ecc.), nel presente paragrafo per brevità si considera solo il caso di morte precoce della persona esposta; ovviamente questo è anche il tipo danno in generale di maggiore importanza.

Trattandosi di danni acuti, la curva che da la probabilità di danno in funzione della "dose"  $D$  dell'agente pericoloso che la provoca ha la forma ad S riportata in Fig. 4.12. Questa evidenza che si ha sempre un valore "soglia", al di sotto del quale non si hanno effetti acuti, se non per la concomitanza di una situazione di particolare vulnerabilità in una frazione molto piccola ( $< 1\%$ ) delle persone esposte.

All'aumentare di  $D$ , la probabilità di danno aumenta molto rapidamente, finché non si arriva al valore della mediana (DL 50), cioè della dose corrispondente alla probabilità 50% di danno alle persone esposte.

Oltre tale valore la curva presenta un flesso e va quindi in saturazione (probabilità = 1) quando  $D$  supera determinati valori.

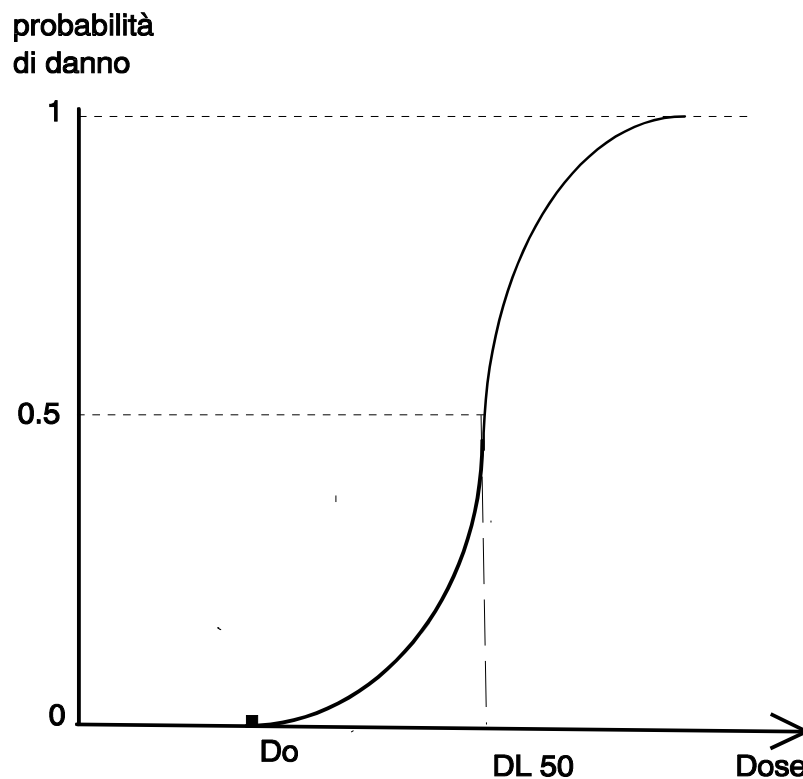


Fig. 4.12 - Andamento tipico della probabilità di determinati danni acuti in funzione della dose dell'agente tossico.



#### 4.5.1 - Sostanze tossiche

I dati a disposizione per determinare le curve di Fig. 4.12 per le varie sostanze tossiche sono realmente scarsi, ottenuti in generale da prove su animali e quindi estrapolati all'uomo sulla base della massa corporea; ciò è ammissibile se la fisiologia della cavia e dell'uomo sono simili, ma rimangono egualmente incertezze per la diversità dei meccanismi di difesa e recupero. La sola sostanza per cui si hanno sufficienti dati statistici degli effetti direttamente applicabili all'uomo è probabilmente il cloro, per il suo uso come arma chimica nella prima guerra mondiale (e anche successivamente, in alcuni conflitti locali).

I dati disponibili per le varie sostanze sono rappresentati in tabelle del tipo di Tab. 4.4, ripresa da /5/, in cui, per vari tempi di esposizione, sono indicati i valori di concentrazione corrispondenti alle probabilità di morte del 50% delle persone esposte. Per le applicazioni tali dati sono approssimati con espressioni del tipo:

$$LDL50 = k \cdot t \cdot C^n \quad (4.23)$$

t (min)	Concentrazione in aria (kg/m <sup>3</sup> )	
	HF	NH <sub>3</sub>
1	1.5 · 10 <sup>-3</sup>	-
5	4. · 10 <sup>-4</sup>	7. · 10 <sup>-3</sup>
15	-	3.5 · 10 <sup>-3</sup>
30	-	1.2 · 10 <sup>-3</sup>
60	4. · 10 <sup>-5</sup>	5. · 10 <sup>-4</sup>

Tab. 4.4 - Correlazione fra la concentrazione corrispondente alla scelta per il 50% delle persone esposte e durata della esposizione.

Più in generale si fa uso di espressioni chiamate Probit, per il calcolo del logaritmo naturale della probabilità di avere il danno in questione; l'espressione generale di una probit è

$$Pr = A + B \ln (C^n \cdot t) \quad (4.24)$$

La Tab. 4.5 riporta i valori di A, B, n per una serie di sostanze; è peraltro da osservare che diversi autori quotano valori diversi, a seconda anche del tratto della curva di

Fig. 4.11 cui è fatto riferimento. I dati di Tab. 4.5 fanno riferimento alla LDL01, cioè al valore di dose letale per l'1% delle persone, in generale utilizzata per definire il limite della zona in cui si ha effettivamente una situazione pericolosa.

Sostanza	A	B	n
Acido solfidrico	-31.42	3.008	1.43
Acrilonitrile	-29.42	3.008	1.43
Acroleina	-9.931	2.049	1
Ammoniaca	-35.9	1.85	2
Biossidi di azoto	-13.79	1.4	2
Biossido di zolfo	-15.67	2.1	1
Bromo	-9.04	0.92	2
Cloro	-8.29	0.92	2
Formaldeide	-12.24	1.3	2
Isocianato di metile	-5.642	1.637	0.653

Tab. 4.5 - Valori dei parametri per l'equazione di Probit (ripresa da /6/).

Prendendo invece a riferimento il valore di LDL50, ad es., Lees per l'ammoniaca fornisce la seguente espressione:

$$Pr = -30.6 + 1.385 \ln (C^{2.75} \cdot t) \quad (4.25)$$

Come osservazione finale è opportuno rilevare che una equazione che approssima dati puntuali non può essere più accurata dei dati da cui è stata ricavata; pertanto, se possibile, si consiglia di far ricorso direttamente ai dati originali (ad es. quelli di Tab. 4.4).

#### 4.5.2 - Effetti fisici

Anche se sono state proposte e vengono talvolta usate probit per valutare gli effetti di irraggiamento termico o sovrappressione, vale la osservazione finale del punto precedente. Pertanto si riportano rispettivamente nelle Tabb. 4.6 e 4.7 (riprese da /5/) dati che consentono di valutare direttamente i suddetti effetti per i due casi citati. Le due tabelle sono autoesplicative. E' da osservare, al solito, che in letteratura si trovano valori diversi, a

seconda della fonte utilizzata per la loro definizione; in ogni caso da ciò derivano incertezze sulle valutazioni numeriche conseguenti.

<b>Q (kW/m<sup>2</sup>)</b>	<b>t</b>	<b>Effetti</b>
4	grande (> 1 min)	Flusso termico di sicurezza per l'uomo
12.6	grande	Flusso termico che produce incendi secondari
6.5	~ 20 s	Bruciatura della pelle
11	~ 10 s	Bruciatura della pelle
20	~ 5 s	Bruciatura della pelle

Tab. 4.6 -Dati per la valutazione degli effetti di irraggiamento termico<sup>(\*)</sup>.

<b>Sovrapressione di picco</b>		<b>Effetti sull'uomo</b>
<b>(psi)</b>	<b>(kPa)</b>	
5	34	Soglia di danneggiamento dell'orecchio
10	69	Soglia di danneggiamento dei polmoni
40	276	Soglia di mortalità

Tab. 4.7a -Dati sugli effetti di esplosioni sull'uomo.

<b>Sovrapressione di picco</b>		<b>P<sup>(°)</sup></b>	<b>Effetti sulle strutture</b>
<b>(psi)</b>	<b>(KPa)</b>	<b>(%)</b>	
<1	<7	0	Rottura di finestre
1-3	7-21	10	Collasso di pareti
3-5	21-34	25	Distorsioni di strutture rinforzate Cedimento di recipienti di stoccaggio
5-7	34-48	70	Rovesciamento di vagoni e componenti di impianto
>7	>48	95	Danni estesi

(°) P = percentuale delle persone ferite gravemente o morte

Tab. 4.7b -Dati sugli effetti di esplosioni.

(\*) Per confronto, si noti che nel periodo estivo l'irraggiamento del sole è di circa 1kW/m<sup>2</sup>.

## **BIBLIOGRAFIA CAP. 4**

- /1/ Center for Chemical Process Safety: "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis". American Institute of Chemical Engineers, New York (USA), 1989.
- /2/ G.A. Briggs: "Diffusion Estimation for Small Emission". Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory (USA), Contribution File n. 79, 1973.
- /3/ R.A. Cox, R.J. Carpenter: "Further Development of a Dense Vapor Cloud Dispersion Model for Hazard Analysis". Proceedings of Symposium on Heavy Gas and Risk Assessment, Frankfurt (Germany), September 3-4, 1979, D. Reidel Ed., Dordrecht (NL).
- /4/ L.S. Fryer, G.D. Keiser: "DENZ - A Computer Programme for the Calculation of the Dispersion of Dense, Toxic or Explosive Gases in the Atmosphere". SRD Report R 152, London (UK), July 1979.
- /5/ Health and Safety Executive: "Canvey: a Second Report". London (UK), 1981.
- /6/ R. Graziani: "Metodo indicizzato per l'analisi dei rischi intrinseci sugli impianti e la valutazione delle conseguenze di eventi incidentali". In *Attività Industriali con Rischio di Incidente Rilevante ed Emergenze Ambientali*; pagg. 239B - 263B, Centro Scientifico Internazionale, Milano, 1992.





## **5 - LA LEGISLAZIONE ITALIANA DI SICUREZZA INDUSTRIALE**

### **5.1 - NOTE INTRODUTTIVE**

Non è certamente possibile trattare in questa sede tutto il complesso di norme che costituiscono il corpo della legislazione di sicurezza industriale. Esistono interi volumi dedicati a tale scopo, alcuni citati nella bibliografia alla fine del presente capitolo. Pertanto l'attenzione viene focalizzata su due normative relativamente recenti e che in definitiva hanno rappresentato e rappresentano un vero e proprio salto di qualità rispetto alle norme operanti in precedenza:

- la legislazione di recepimento delle Direttive Seveso I e II della Comunità Europea (DPR 175/88 e relativo regolamento di attuazione, D.Lgs. 334/99);
- il D. Lgs. 626/94 e relative modifiche ed integrazioni, che recependo tutta una serie di Direttive Europee, ha profondamente innovato la legislazione di sicurezza sul posto di lavoro.

## **5.2 - LA LEGISLAZIONE DI SICUREZZA DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE**

La legge quadro che regolamentava la sicurezza degli impianti a rischio di incidente rilevante<sup>(c)</sup>, fino al 1999, era il DPR 175/88 ed il relativo regolamento di attuazione, emanato circa un anno dopo la legge quadro, con il DPCM 31/3/89. Con tali leggi, sia pure con alcuni anni di ritardo, era stata recepita anche nel nostro Paese la Direttiva Europea 82/501 sullo stesso argomento, nota come Direttiva "Seveso", in quanto emanata sotto la spinta di questo e di altri gravi incidenti industriali. Dal 1999 la situazione è profondamente cambiata, a seguito della pubblicazione sulla G.U. del D.Lgs. 334/99, di recepimento della Direttiva Europea 96/82/CE (la cosiddetta "SEVESO II").

L'obiettivo delle Direttive Seveso e della relativa legislazione italiana che le ha recepite è principalmente la sicurezza della popolazione, perseguita attraverso la prevenzione degli incidenti rilevanti; ovviamente quanto fatto a tale scopo ha riflessi positivi sia sulla sicurezza industriale/economica, che su quella degli operatori addetti all'impianto; quest'ultimi aspetti sono peraltro marginali rispetto all'obiettivo fondamentale delle Direttive.

Nel seguito vengono prima discussi, sia pure in maniera schematica, i principali aspetti del DPR 175/88, anche se questo è stato abolito dal D.Lgs. 334/99, e del relativo regolamento di attuazione (che è invece ancora in vigore, finchè non sarà emanata la serie di Decreti attuativi del D.Lgs. 334/99). In questo modo si ritiene che possa essere più chiaro il quadro delle norme attualmente in vigore ed, in particolare, le principali novità introdotte dal D.Lgs. 334/99.

### **A) Le premesse della legge DPR 175/88**

Questa parte, cui in generale viene data una importanza relativa, è invece fondamentale (particolarmente nell'originale Direttiva Europea) al fine di aver ben chiari gli obiettivi ed i principi informatori della norma.

---

<sup>(c)</sup>Qui e nel seguito, i due termini "pericolosi" ed "a rischio di incidente rilevante" sono usati come sinonimi, per indicare impianti in cui esiste la possibilità di incidenti in grado di provocare gravi conseguenze sull'ambiente e fra la popolazione che vive nelle vicinanze dell'impianto.



Per prima cosa, viene stabilito che l'esercizio di attività industriali pericolose, che ricadono nel campo di applicazione della Direttiva, richiede che ciascuno Stato Membro individui al proprio interno, le Autorità Competenti (A.C.) ad esercitare il controllo su tali attività industriali, definendo i compiti e le responsabilità delle A.C.

Viene anche stabilito, per la prima volta nel campo industriale in generale, che la responsabilità ultima e indelegabile in materia di sicurezza è sempre dell'esercente l'attività (in quanto "fabbricante", secondo la definizione della legge). Tale responsabilità non è in alcun modo diluita dalla presenza delle Autorità di Controllo, che, esaminando il rapporto di sicurezza inviato dall'esercente, possono richiedere interventi aggiuntivi, modifiche di impianto, ecc. Parimenti, essa non è diminuita dalle specifiche responsabilità che hanno il progettista, il costruttore, eventuali altri soggetti che intervengono sull'impianto (ad es. per la manutenzione di questo) per errori da loro commessi nell'esercizio del loro lavoro.

La responsabilità finale è in ogni caso del fabbricante, che pertanto deve mettersi in grado di poter dimostrare in ogni momento che ha fatto quanto possibile per garantire la sicurezza della popolazione, incluse attività di revisione indipendente e supervisione del lavoro fatto da altri. Ciò vale per esercenti impianti o attività "pericolose" (ved. Tab. 5.1) qualunque siano le quantità trattate o detenute, anche al di sotto della soglia minima per cui scattano gli adempimenti formali, oggetto della normativa.

E' questo un principio mutuato direttamente dal campo nucleare, in cui si opera in tal modo fin dall'inizio dello sviluppo civile dell'energia nucleare.

## **B) Gli adempimenti formali e le attività soggette**

Il DPR 175/88 prevede che gli impianti indicati nell'All. 1 (vedi Tab. 5.1) in cui sono trattate, processate o prodotte le sostanze indicate nell'All. 3, in quantità superiore ai limiti precisati nello stesso All. 3 (ved. Tab. 5.3), ovvero i depositi in cui sono stoccate quantità superiori ai limiti precisati nell'All. 2 dello stesso DPR 175/88 (ved. Tab. 5.2), siano soggette a notifica ai Ministeri dell'Ambiente e della Sanità, con comunicazione al MICA e copia alla Regione territorialmente competente . Analoghi obblighi sussistono in caso di sostanze non comprese nell'elenco dell'All. 3, ma classificate cancerogene, molto tossiche, tossiche, infiammabili o esplosive ai sensi della legge sull'etichettatura di sostanze pericolose, se vengono superati i limiti indicati nell'All. 4.

Se le quantità trattate sono inferiori ai suddetti limiti, ma superiori a 1/5 degli stessi, l'attività è soggetta a "dichiarazione" e l'autorità competente diventa la Regione, con copia

alla Prefettura territorialmente competente.

La dichiarazione a sua volta si distingue in "semplice" (per quantità comprese fra 1/5 e 3/5 dei limiti citati) o "completa" (nel caso di quantità comprese fra 3/5 ed il valore limite sopradefinito). Analoghe disposizioni valgono nel caso dei depositi, con limiti differenziati per le varie sostanze (ved. Tab. 5.2); in particolare la dichiarazione completa scatta per quantità superiori a circa 1/3 del valore soggetto a notifica.

In Fig. 5.1 si riporta una lista di controllo messa a punto dall'Associazione Industriali Veneta, che era un'utile guida agli adempimenti formali richiesti dal DPR 175/88.

In tutti i casi, i suddetti adempimenti formali prevedono che l'esercente invii all'Autorità di controllo, oltre ad una serie di dati identificativi dell'esercente stesso e dell'impianto oggetto degli adempimenti, un vero e proprio rapporto di sicurezza (vedasi al punto successivo).

<p>1. Impianti per la produzione, la trasformazione o il trattamento di sostanze chimiche organiche o inorganiche in cui vengono a tal fine utilizzati, tra l'altro, i seguenti procedimenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alchilazione;</li> <li>- amminazione con ammoniaca;</li> <li>- carbonilazione;</li> <li>- condensazione;</li> <li>- deidrogenazione;</li> <li>- esterificazione;</li> <li>- alogenazione e produzione di alogeni;</li> <li>- idrogenazione;</li> <li>- idrolisi;</li> <li>- ossidazione;</li> <li>- polimerizzazione;</li> <li>- solfonazione;</li> <li>- desolfonazione, fabbricazione e trasformazione di derivati solforati;</li> <li>- nitratura e fabbricazione di derivati azotati;</li> <li>- fabbricazione di derivati fosfati;</li> <li>- formulazione di antiparassitari e di prodotti farmaceutici;</li> <li>- distillazione;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- estrazione;</li> <li>- solubilizzazione;</li> <li>- miscelazione.</li> </ul> <p>2. Impianti per la distillazione o raffinazione, ovvero altre successive trasformazioni, del petrolio o dei prodotti petroliferi.</p> <p>3. Impianti destinati all'eliminazione totale o parziale di sostanze solide o liquide mediante combustione o decomposizione chimica.</p> <p>4. Impianti per la produzione, la trasformazione o il trattamento di gas energetici, per esempio gas di petrolio liquefatto, gas naturale liquefatto e gas naturale di sintesi.</p> <p>5. Impianti per la distillazione a secco di carbon fossile e lignite.</p> <p>6. Impianti per la produzione di metalli o metalloidi per via umida o mediante energia elettrica.</p>
--	---

Tab. 5.1 - DPR n. 175/88 - Allegato I: impianti industriali contemplati dall'articolo 1 della direttiva CE n. 82/501.

Fig. 5.1 - Schema di controllo per gli adempimenti richiesti dal DPR 175/88.

Sostanze o categorie di sostanze	Ai fini dell'applicazione dell'articolo 6 (dichiarazione)	Ai fini dell'applicazione dell'articolo 4 (notifica)	Ai fini della dichiarazione completa
	Quantità (t) $\geq$	Quantità (t) $\geq$	Quantità (t) $\geq$
1. Gas infiammabili conformi all'allegato IV c) i)	50	300	105
2. Liquidi facilmente infiammabili conformi all'allegato IV c) ii)	10.000	100.000	35.000
3. Acrilonitrile	350	5.000	1.750
4. Ammoniaca	60	600	210
5. Cloro	10	75	26
6. Biossido di zolfo	20	500	175
7a) Nitrato di ammonio <sup>(1)</sup>	350	2.500	875
7b) Nitrato di ammonio sotto forma di fertilizzante <sup>(2)</sup>	1.250	10.000	3.500
8. Clorato di sodio	25	250	87
9. Ossigeno liquido	200	2.000	700
10. Triossido di zolfo	15	100	35

(1) Include sia il nitrato di ammonio che i miscugli di nitrato di ammonio in cui il contenuto d'azoto derivato dal nitrato di ammonio è superiore al 28% in peso, sia le soluzioni acquose di nitrato di ammonio in cui la concentrazione di nitrato di ammonio è superiore al 90% in peso.

(2) Si applica ai fertilizzanti semplici di nitrato di ammonio che sono conformi alla direttiva 80/876/CEE e ai fertilizzanti composti in cui il contenuto di azoto derivato dal nitrato di ammonio è superiore al 28% in peso (un fertilizzante composto contiene nitrato di ammonio insieme a fosfati e/o potassa).

Tab. 5.2 - DPR n. 175/88 - Allegato II: deposito in impianti diversi da quelli di cui all'allegato I (deposito separato).

ELENCO DELLE SOSTANZE AI FINI DELL'APPLICAZIONE DELL'ARTICOLO 4 (NOTIFICA)		AI FINI DELLA DICHIARAZIONE (art. 3 e 6 del DPCM 31/3/89)		
Le quantità menzionate in appresso si intendono per impianto o complesso di impianti di un medesimo fabbricante quando la distanza tra gli impianti non è sufficiente per evitare, in circostanze prevedibili, un aggravamento dei rischi di incidenti rilevanti. In ogni caso queste quantità si intendono per complesso di impianti di un medesimo fabbricante se la distanza tra essi è inferiore a circa 500 metri.		Le quantità si intendono per complesso di impianti di un medesimo fabbricante se la distanza tra essi è inferiore a 100 metri.		
N.	Nome	Notifica	Dich. completa	Dich. semplificata
		Quantità (≥)	Quantità (>)	Quantità (≥)
1.	4-Aminobifenile	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
2.	Benzidina	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
3.	Benzidina sali	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
4.	Dimetilnitrosamina	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
5.	2-Naftilamina	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
6.	Berillio (polveri e/o composti)	10 Kg	6 Kg	2 Kg
7.	Bis (clorometil) etere	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
8.	1,3-Propansultone	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
9.	2, 3, 7, 8-Tetraclorodibenzo-p-diossina	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
10.	Anidride arsenica, acido (V) arsenico e suoi sali	500 Kg	300 Kg	100 Kg
11.	Anidride arseniosa acido (III) arsenioso e suoi sali	100 Kg	60 Kg	20 Kg
12.	Arsenico idruro (Arsina)	10 Kg	6 Kg	2 Kg
13.	N, N-dimetilcarbomoil cloruro	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
14.	N-cloroformilmorfolina	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
15.	Cloruro di carbonile (Fosgene)	750 Kg	450 Kg	150 Kg
16.	Cloro	25 t	15 t	5 t
17.	Idrogenato solforato	50 t	30 t	10 t
18.	Acilonitrile	200 t	120 t	40 t
19.	Acido cianidrico	20 t	12 t	4 t
20.	Solfuro di carbonio	200 t	120 t	40 t
21.	Bromo	500 t	300 t	100 t
22.	Ammoniaca	500 t	300 t	100 t
23.	Acetilene (Etino)	50 t	30 t	10 t
24.	Idrogeno	50 t	30 t	10 t
25.	Ossido di etilene	50 t	30 t	10 t
26.	Ossido di propilene	50 t	30 t	10 t
27.	2-Cian-propan-2-olo (Acetoncianidrina)	200 t	120 t	40 t
28.	2-Propenal (Acroleina)	200 t	120 t	40 t
29.	2-Propen-1-olo (Alcool allilico)	200 t	120 t	40 t
30.	Allillamina	200 t	120 t	40 t
31.	Antimonio idruro (Stibina)	100 Kg	60 Kg	20 Kg
32.	Etilenimina	50 t	30 t	10 t
33.	Formaldeide (concentrazione ≥ 90%)	50 t	30 t	10 t
34.	Idrogeno fosforato (Fosfina)	100 Kg	60 Kg	20 Kg
35.	Bromuro di metile (Monobromometano)	200 t	120 t	40 t
36.	Isocianato di metile	150 Kg	90 Kg	30 Kg
37.	Ossidi d'azoto	50 t	30 t	10 t
38.	Selenito di sodio	100 Kg	60 Kg	20 Kg
39.	Bis-(2-cloroetil) solfuro	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
40.	Phosazetim	100 Kg	60 Kg	20 Kg
41.	Piombo-tetraetile	50 t	30 t	10 t
42.	Piombo tetrametile	50 t	30 t	10 t
43.	Promurit (3,4-diclorofenil-azotiurea)	100 Kg	60 Kg	20 Kg

Tab. 5.3 - DPR n. 175/88 - Allegato III: elenco delle sostanze ai fini della notifica e della dichiarazione.

N.	Nome	Notifica	Dich. completa	Dich. semplificata
		Quantità (≥)	Quantità (>)	Quantità (≥)
44.	Clorfenvinfos	100 Kg	60 Kg	20 Kg
45.	Crimidina	100 Kg	60 Kg	20 Kg
46.	Clorometil-metil-etere	1 Kg	0,6Kg	0,2 Kg
47.	Dimetilamide dell'acido cianosforico	1 t	0,6 t	0,2 t
48.	Carbofenothion	100 Kg	60 Kg	20 Kg
49.	Dialifos	100 Kg	60 Kg	20 Kg
50.	Ciantoato	100 Kg	60 Kg	20 Kg
51.	Amiton	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
52.	Oxidisulfon	100 Kg	60 Kg	20 Kg
53.	0,0-Dietil-S-(etilsulfinil-metil)-tiofosfato	100 Kg	60 Kg	20 Kg
54.	0,0-Dietil-S-(etilsulfonyl-metil)tiofosfato	100 Kg	60 Kg	20 Kg
55.	Disulfoton	100 Kg	60 Kg	20 Kg
56.	Demeton	100 Kg	60 Kg	20 Kg
57.	Forate	100 Kg	60 Kg	20 Kg
58.	0,0-Dietil-S-(etilbiometil)-tiofosfato	100 Kg	60 Kg	20 Kg
59.	0,0-Dietil-S-(isopropiltiometil) ditiofosfato	100 Kg	60 Kg	20 Kg
60.	Pirazoxon	100 Kg	60 Kg	20 Kg
61.	Fensulfothion	100 Kg	60 Kg	20 Kg
62.	Paraoxon (0,0-dietil, 0-p-nitrofenil fosfato	100 Kg	60 Kg	20 Kg
63.	Paration	100 Kg	60 Kg	20 Kg
64.	Azinphos-etile	100 Kg	60 Kg	20 Kg
65.	0,0-Dietil S-(propiltiometil)-ditiofosfato	100 Kg	60 Kg	20 Kg
66.	Thionazin	100 Kg	60 Kg	20 Kg
67.	Carbofuran	100 Kg	60 Kg	20 Kg
68.	Fosfamidone	100 Kg	60 Kg	20 Kg
69.	Tirpate (2,4-dimetil-1,3-ditiolan-2-carbossaldeide-esame tilfosforotriamide)	100 Kg	60 Kg	20 Kg
70.	Mevinfos	100 Kg	60 Kg	20 Kg
71.	Paration-metile	100 Kg	60 Kg	20 Kg
72.	Azinphos-metile	100 Kg	60 Kg	20 Kg
73.	Cicloesimide	100 Kg	60 Kg	20 Kg
74.	Diphacinone	100 Kg	60 Kg	20 Kg
75.	Tetrametilendisulfotetramina	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
76.	EPN	100 Kg	60 Kg	20 Kg
77.	Acido 4-fluorobutirrico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
78.	Sali dell'acido 4-fluorobutirrico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
79.	Esteri dell'acido 4-fluorobutirrico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
80.	Amidi dell'acido 4-fluorobutirrico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
81.	Acido 4-fluorocrotonico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
82.	Sali dell'acido 4-fluorocrotonico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
83.	Esteri dell'acido 4-fluorocrotonico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
84.	Amidi dell'acido 4- fluorocrotonico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
85.	Acido monofluoroacetico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
86.	Sali dell'acido monofluoroacetico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
87.	Esteri dell'acido monofluoroacetico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
88.	Amidi dell'acido monofluoroacetico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
89.	Fluometil	100 Kg	60 Kg	20 Kg
90.	Acido 4-fluoro-2-idrossibutirrico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
91.	Sali dell'acido 4-fluoro-2-idrossibutirrico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
92.	Esteri dell'acido 4-fluoro-2-idrossibutirrico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg

Tab. 5.3 - DPR n. 175/88 - Allegato III: elenco delle sostanze ai fini della notifica e della dichiarazione (cont.).

N.	Nome	Notifica	Dich. completa	Dich. semplificata
		Quantità (≥)	Quantità (>)	Quantità (≥)

93.	Amidi dell'acido 4-fluoro-2-idrossibutirrico	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
94.	Acido fluoridrico	50 t	30 t	10 t
95.	Idrossiacetonitrile (Nitrile dell'acido glicolico)	100 Kg	60 Kg	20 Kg
96.	1,2,3,7,8,9,-Esaclorodibenzo-p-diossina	100 Kg	60 Kg	20 Kg
97.	Isodrin	100 Kg	60 Kg	20 Kg
98.	Esametilfosfotriamide	1 Kg	0,6 Kg	0,2 Kg
99.	Juglone (5-idrossi-1,4-naftachinone)	100 Kg	60 Kg	20 Kg
100.	Warfarin	100 Kg	60 Kg	20 Kg
101.	4,4-Metilen-bis-(2-cloroanilina)	10 Kg	6 Kg	2 Kg
102.	Ethion	100 Kg	60 Kg	20 Kg
103.	Aldicarb	100 Kg	60 Kg	20 Kg
104.	Nichel carbonile	10 Kg	6 Kg	2 Kg
105.	Isobenzan	100 Kg	60 Kg	20 Kg
106.	Pentaborano	100 Kg	60 Kg	20 Kg
107.	1-Propen-2-cloro-1,3-diol-diacetato	10 Kg	6 Kg	2 Kg
108.	Propilenimina	50 t	30 t	10 t
109.	Ossido di fluoro	10 Kg	6 Kg	2 Kg
110.	Dicloruro di zolfo	1 t	0,6 t	0,2 t
111.	Esafluoruro di selenio	10 Kg	6 Kg	2 Kg
112.	Selenio idruro	10 Kg	6 Kg	2 Kg
113.	TEPP	100 Kg	60 Kg	20 Kg
114.	Sulfotep	100 Kg	60 Kg	20 Kg
115.	Dimefox	100 Kg	60 Kg	20 Kg
116.	Tricicloesil-stannil-1H-1,2,4-triazolo	100 Kg	60 Kg	20 Kg
117.	Trietilenmelamina	10 Kg	6 Kg	2 Kg
118.	Metallo, ossidi, carbonati, solfuri di cobalto sotto forma di polveri	1 t	0,6 t	0,2 t
119.	Metallo, ossidi, carbonati, solfuri di nichel sotto forma di polveri	1 t	0,6t	0,2 t
120.	Anabasina	100 Kg	60 Kg	20 Kg
121.	Tellurio esafluoruro	100 Kg	60 Kg	20 Kg
122.	Triclorometilsulfenil cloruro	100 Kg	60 Kg	20 Kg
123.	Dibromoetano (Bromuro di etilene)	50 t	30 t	10 t
124.	Gas infiammabili totali (all.IV, lett. c i)	200 t	120 t	40 t
125.	Liquidi facilmente infiammabili totali (all. IV lett. c i)	50.000 t	30.000 t	10.000 t
126.	Diazodinitrofenolo	10 t	6 t	2 t
127.	Dietilenglicol dinitrato	10 t	6 t	2 t
128.	Sali di dinitrofenolo	50 t	30 t	10 t
129.	1-guanil-4-nitrosamino-guanil-1-tetrazene	10 t	6 t	2 t
130.	Bis (2,4,6-trinitrofenil) amina	50 t	30 t	10 t
131.	Nitrato di idrazina	50 t	30 t	10 t
132.	Nitroglicerina	10 t	6 t	2 t
133.	Tetranitropentaeritrite	50 t	30 t	10 t
134.	Ciclotrimetilen-trinitroamina	50 t	30 t	10 t
135.	Trinitoanilina	50 t	30 t	10 t
136.	2,4,6-Trinitroanisolo	50 t	30 t	10 t
137.	Trinitrobenzene	50 t	30 t	10 t
138.	Acido trinitrobenzoico	50 t	30 t	10 t
139.	Trinitroclorobenzene	50 t	30 t	10 t
140.	N-Metil-N2,4,6-tetranitroanilina	50 t	30 t	10 t
141.	2,4,6-Trinitrofenolo	50 t	30 t	10 t

Tab. 5.3 - DPR n. 175/88 - Allegato III: elenco delle sostanze ai fini della notifica e della dichiarazione (cont.).

N.	Nome	Notifica	Dich. completa	Dich. semplificata
		Quantità (≥)	Quantità (>)	Quantità (≥)

142.	Trinitrocresolo	50 t	30 t	10 t
143.	2,4,6-Trinitrofenetolo	50 t	30 t	10 t
144.	2,4,6-Trinitroresorcinolo (acido stiftico)	50 t	30 t	10 t
145.	2,4,6-Trinitrotoluene (TNT)	50 t	30 t	10 t
146.	a) Nitrato di ammonio <sup>(1)</sup>	2.500 t	1.500 t	500 t
146.	b) Nitrato di ammonio sotto forma di fertilizzanti <sup>(2)</sup>	5.000 t	3.000 t	1.000 t
147.	Nitrocellulosa (contenente più del 12,6 per cento di azoto)	100 t	60 t	20 t
148.	Anidride solforosa	250 t	150 t	50 t
149.	Acido cloridrico (gas liquefatto)	250 t	150 t	50 t
150.	Liquidi infiammabili totali (all. IV, lett. c iii)	200 t	120 t	40 t
151.	Clorato di sodio	250 t	150 t	50 t
152.	Terz-butil perossiacetato (concentrazione ≥ 70%)	50 t	30 t	10 t
153.	Terz-butil-perossi-isobutirato (concentrazione ≥ 80%)	50 t	30 t	10 t
154.	Terz-butil-perossi-maleato (concentrazione ≥ 80%)	50 t	30 t	10 t
155.	Terz-butil-perossi-isopropilcarbonato (concentrazione ≥ 80%)	50 t	30 t	10 t
156.	Dibenzil-perossi-dicarbonato (concentrazione ≥ 90%)	50 t	30 t	10 t
157.	2,2-di-terz-butilperossibutano (concentrazione ≥ 70%)	50 t	30 t	10 t
158.	1,1-di-terz-butilperossicicloesano (concentrazione ≥ 80%)	50 t	30 t	10 t
159.	Di-sec-butilperossidicarbonato (concentrazione ≥ 80%)	50 t	30 t	10 t
160.	2,2-diidroperossipropano (concentrazione ≥ 30%)	50 t	30 t	10 t
161.	Di-n-propilperossidicarbonato (concentrazione ≥ 80%)	50 t	30 t	10 t
162.	2,3,6,6,9,9-Esametil-1,2,4,5-tetraossaciclononano (concentrazione ≥ 75%)	50 t	30 t	10 t
163.	Metiletilchetone perossido (concentrazione ≥ 60%)	50 t	30 t	10 t
164.	Metil-isobutilchetone perossido (concentrazione ≥ 60%)	50 t	30 t	10 t
165.	Acido peracetico (concentrazione ≥ 60%)	50 t	30 t	10 t
166.	Azoturo di piombo	50 t	30 t	10 t
167.	Trinitroresorcinato di piombo	50 t	30 t	10 t
168.	Fulminato di mercurio	10 t	6 t	2 t
169.	Ciclotetrametilen-tetranitramina	50 t	30 t	10 t
170.	2,2,4,4,6,6-Essanitrossilbene	50 t	30 t	10 t
171.	1,3,5-Triamino-2,4,6-Trinitrobenzene	50 t	30 t	10 t
172.	Etilenglicol dinitrato	10 t	6 t	2 t
173.	Nitrato di etile	50 t	30 t	10 t
174.	Pierammato di sodio	50 t	30 t	10 t
175.	Bario azoturo	50 t	30 t	10 t
176.	D-isobutirril perossido (concentrazione ≥ 50%)	50 t	30 t	10 t
177.	Etile perossidicarbonato (concentrazione ≥ 30%)	50 t	30 t	10 t
178.	Terz-butil-perossipivalato (concentrazione ≥ 77%)	50 t	30 t	10 t
179.	Ossigeno liquido ≥ 77%)	2.000 t	1.200 t	400 t
180.	Triossido di zolfo	75 t	45 t	15 t

Tab. 5.3 - DPR n. 175/88 - Allegato III: elenco delle sostanze ai fini della notifica e della dichiarazione (cont.).

- (1) Include sia il nitrato di ammonio e i miscugli di nitrato di ammonio, il cui contenuto d'azoto derivato dal nitrato di ammonio è superiore al 28% in peso, sia le soluzioni acquose di nitrato di ammonio in cui la concentrazione di nitrato di ammonio è superiore al 90% in peso.
- (2) Si applica ai fertilizzanti semplici di nitrato di ammonio che sono conformi alla direttiva n. 80/876/CEE e ai fertilizzanti composti il cui contenuto di azoto derivato dal nitrato di ammonio è superiore al 28% in peso (un fertilizzante composto contiene nitrato di ammonio insieme a fosfati e/o potassa).



<b>Notifica</b>	<b>Dichiarazione completa</b>	<b>Dichiarazione semplificata</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dati identificativi e ubicazione dell'impianto</li> <li>• Dati generali</li> <li>• Localizzazione e identificazione dell'impianto</li> <li>• Informazioni relative all'impianto</li> <li>• Struttura organizzativa</li> <li>• Descrizione dell'attività</li> <li>• Analisi preliminare per individuare aree critiche di attività industriale</li> <li>• Sicurezza dell'impianto</li> <li>• Sanità e sicurezza dell'impianto</li> <li>• Reazioni incontrollate</li> <li>• Dati meteorologici e perturbazioni geofisiche meteomarine e cerauniche</li> <li>• Interazioni con altri impianti</li> <li>• Analisi della sequenza degli eventi incidentali</li> <li>• Stima delle conseguenze degli eventi incidentali</li> <li>• Descrizione delle precauzioni assunte per prevenire gli incidenti</li> <li>• Precauzioni progettuali e costruttive</li> <li>• Sistemi di rilevamento</li> <li>• Situazioni critiche, condizioni di emergenza e relativi apprestamenti</li> <li>• Sostanze emesse</li> <li>• Effetti indotti su impianti ad alto rischio da incendi o esplosioni</li> <li>• Sistemi di contenimento</li> <li>• Manuale operativo</li> <li>• Segnaletica di emergenza</li> <li>• Fonti di rischio mobili</li> <li>• Misure per evitare cedimenti catastrofici</li> <li>• Sistemi di prevenzione ed evacuazione in caso di incidente</li> <li>• Restrizioni per l'accesso agli impianti</li> <li>• Misure contro l'incendio</li> <li>• Situazioni di emergenza e relativi piani</li> <li>• Impianti di trattamento, smaltimento e abbattimento</li> <li>• Trattamento e depurazione reflui</li> <li>• Smaltimento e stoccaggio rifiuti</li> <li>• Abbattimento effluenti gassosi</li> <li>• Misure assicurative e di garanzia per i rischi</li> <li>• Identificazione degli incidenti</li> <li>• Lista di controllo per limiti di batteria</li> <li>• Lista di controllo per impianto/deposito</li> <li>• Studi di dettaglio</li> <li>• Analisi storica</li> <li>• Analisi di sicurezza</li> <li>• Valutazione delle probabilità degli eventi incidentali</li> <li>• Valutazione del livello di probabilità degli eventi incidentali</li> <li>• Valutazione delle conseguenze</li> <li>• Individuazione degli scenari incidentali</li> <li>• Modellistica di simulazione</li> <li>• Valutazione conservativa delle conseguenze</li> <li>• Elementi per la predisposizione dei piani di emergenza esterna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dati identificativi e ubicazione dell'impianto</li> <li>• Dati generali</li> <li>• Localizzazione e identificazione dell'impianto</li> <li>• Informazioni relative all'impianto</li> <li>• Struttura organizzativa</li> <li>• Descrizione dell'attività</li> <li>• Analisi preliminare per individuare aree critiche di attività industriale</li> <li>• Sicurezza dell'impianto</li> <li>• Sanità e sicurezza dell'impianto</li> <li>• Reazioni incontrollate</li> <li>• Dati meteorologici e perturbazioni geofisiche meteomarine e cerauniche</li> <li>• Interazioni con altri impianti</li> <li>• Analisi della sequenza degli eventi incidentali</li> <li>• Stima delle conseguenze degli eventi incidentali</li> <li>• Descrizione delle precauzioni assunte per prevenire gli incidenti</li> <li>• Precauzioni progettuali e costruttive</li> <li>• Sistemi di rilevamento</li> <li>• Condizioni di emergenza e relativi apprestamenti</li> <li>• Sostanze emesse</li> <li>• Effetti indotti su impianti ad alto rischio da incendi o esplosioni</li> <li>• Sistemi di contenimento</li> <li>• Manuale operativo</li> <li>• Segnaletica di emergenza</li> <li>• Fonti di rischio mobili</li> <li>• Misure per evitare cedimenti catastrofici</li> <li>• Sistemi di prevenzione ed evacuazione in caso di incidente</li> <li>• Restrizioni per l'accesso agli impianti</li> <li>• Misure contro l'incendio</li> <li>• Situazioni di emergenza e relativi piani</li> <li>• Misure assicurative e di garanzia per i rischi</li> <li>• Identificazione degli eventi</li> <li>• Lista di controllo per limiti di batteria</li> <li>• Lista di controllo per impianto/deposito</li> <li>• Analisi di sicurezza</li> <li>• Valutazione delle conseguenze</li> <li>• Individuazione degli scenari incidentali</li> <li>• Modellistica di simulazione</li> <li>• Elementi per la predisposizione dei piani di emergenza esterna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dati identificativi e ubicazione dell'impianto</li> <li>• Dati generali</li> <li>• Localizzazione e identificazione dell'impianto</li> <li>• Informazioni relative all'impianto</li> <li>• Struttura organizzativa</li> <li>• Descrizione dell'attività</li> <li>• Analisi preliminare per individuare aree critiche di attività industriale</li> <li>• Sicurezza dell'impianto</li> <li>• Sanità e sicurezza dell'impianto</li> <li>• Reazioni incontrollate</li> <li>• Dati meteorologici e perturbazioni geofisiche meteomarine e cerauniche</li> <li>• Interazioni con altri impianti</li> <li>• Analisi della sequenza degli eventi incidentali</li> <li>• Stima delle conseguenze degli eventi incidentali</li> <li>• Descrizione delle precauzioni assunte per prevenire gli incidenti</li> <li>• Precauzioni progettuali e costruttive</li> <li>• Sistemi di rilevamento</li> <li>• Condizioni di emergenza e relativi apprestamenti</li> <li>• Sostanze emesse</li> <li>• Effetti indotti su impianti ad alto rischio da incendi o esplosioni</li> <li>• Sistemi di contenimento</li> <li>• Manuale operativo</li> <li>• Segnaletica di emergenza</li> <li>• Fonti di rischio mobili</li> <li>• Misure per evitare cedimenti catastrofici</li> <li>• Sistemi di prevenzione ed evacuazione in caso di incidente</li> <li>• Restrizioni per l'accesso agli impianti</li> <li>• Misure contro l'incendio</li> <li>• Situazioni di emergenza e relativi piani</li> <li>• Misure assicurative e di garanzia per i rischi</li> </ul>

Tab. 5.4 - Contenuti della notifica e della dichiarazione secondo le "linee guida" previste dal DPCM 31 marzo 1989.

### C) Il rapporto di sicurezza degli impianti a rischio di incidente rilevante

Il DPR 175/88 all'Art. 5, per le attività industriali che rientrano nel suo campo di applicazione prefigura sostanzialmente un'analisi di rischio completa, del tipo delineato nel precedente capitolo 2.

In realtà il regolamento di attuazione del suddetto DPR 175/88 riserva l'applicazione della filosofia dell'analisi di rischio nella forma delineata in tale capitolo alle attività soggette a notifica. Per queste, infatti, la prima parte del rapporto di sicurezza ricalca le fasi tipiche dell'analisi di rischio, attraverso la descrizione dell'impianto e del processo che vi si svolge, l'individuazione degli eventi accidentali con la stima delle relative conseguenze, ecc. L'indice delle "LINEE GUIDA PER LA PRESENTAZIONE DEL RAPPORTO DI SICUREZZA" (riprodotto in Tab. 5.4) e la Fig. 5.2 (ripresa dall'All. 1 del suddetto regolamento) sono abbastanza esplicativi in proposito.

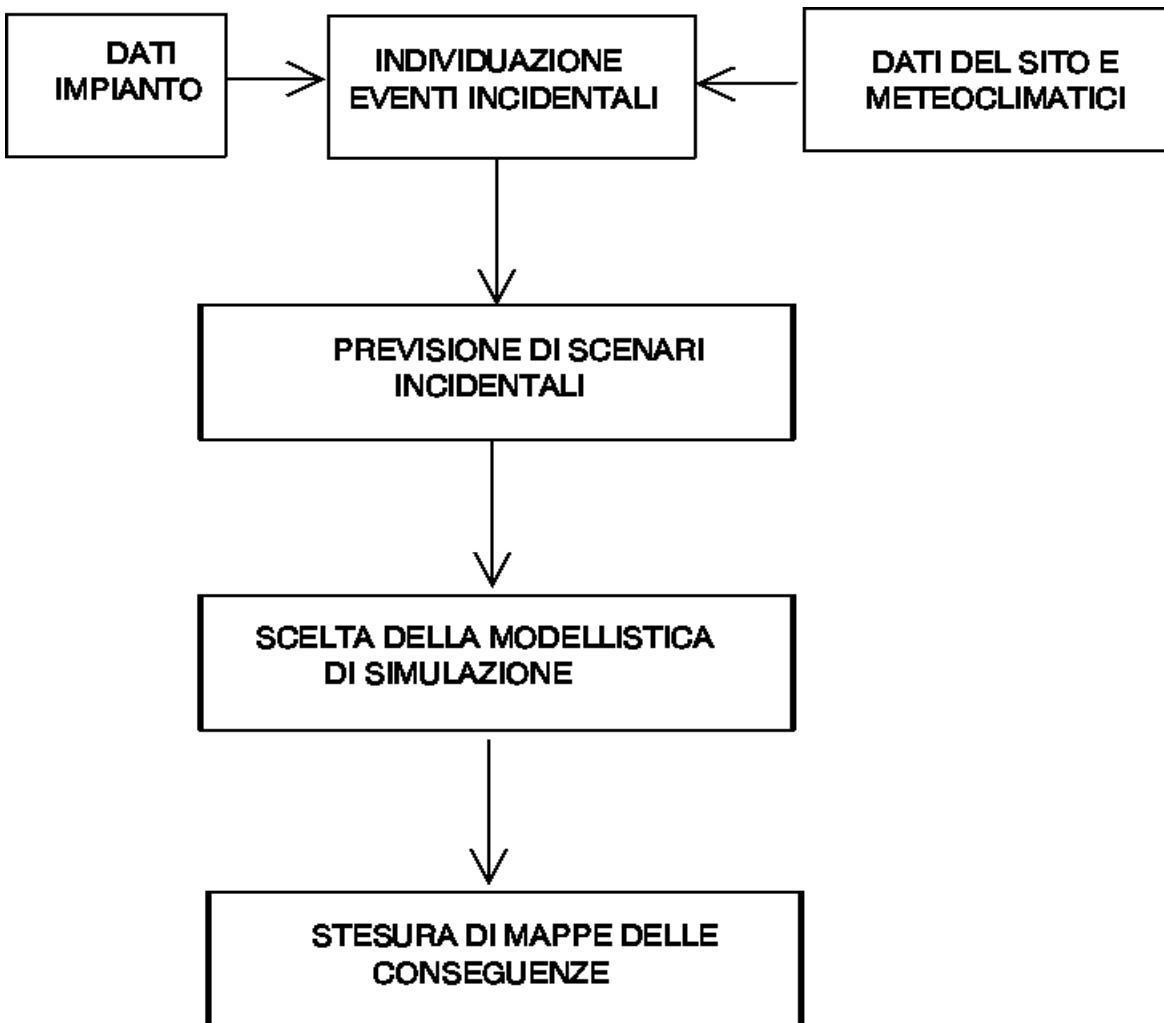


Fig. 5.2 - Schema per lo studio di valutazione delle conseguenze.

Per individuare gli eventi iniziatori e le sequenze incidentali dominanti, viene indicata la metodologia degli indici di rischio, già introdotta nel capitolo 2 e riprodotta integralmente nell'All. 2 del citato regolamento di attuazione, salvo le tabelle conclusive di valutazione dei vari indici di rischio e di giudizio sull'entità di questo. Peraltro l'applicazione del metodo ad indici costituisce solo la fase preliminare del rapporto, formalmente riconducibile a quella di decomposizione del problema nelle sue parti più rilevanti. Definendo i vari fattori di rischio numerico per la sostanza che contribuisce maggiormente al rischio, in ciascuna unità o area dell'impianto, per la quantità trattata o stoccata, ecc., nonché per la predisposizione di misure di protezione e sicurezza (volte a ridurre la probabilità degli incidenti o a mitigarne le conseguenze), si individuano i componenti e gli scenari incidentali che contribuiscono maggiormente al rischio per la popolazione.

Questi devono poi essere analizzati secondo la metodologia delineata in Fig. 5.2, determinandone la probabilità di verificarsi e l'entità delle conseguenze, con i metodi già visti nei precedenti capitoli 3 e 4. In particolare, va anche analizzato il "top event", una sorta di massimo incidente credibile: lo scenario con le conseguenze più gravi fra quelli possibili, sia pure con bassissima probabilità di verificarsi. Questo è poi considerato per stabilire i presupposti del piano di emergenza (vedasi il successivo punto E).

In maniera analoga si procede nel caso di attività soggette a dichiarazione completa salvo la valutazione numerica delle probabilità di accadimento degli incidenti ed altre informazioni sul trattamento e smaltimento dei rifiuti (ved. Tab. 5.4).

Invece, in caso di dichiarazione semplice il Rapporto di Sicurezza (RdS), a parte le informazioni generali sull'impianto e sull'ambiente, viene a coincidere con l'applicazione del metodo ad indici, senza una vera e propria valutazione quantitativa del rischio o almeno delle conseguenze di possibili incidenti (ved. Tab. 5.4). E' peraltro richiesta anche in questo caso l'individuazione degli scenari incidentali per la pianificazione dell'emergenza interna od esterna.

**Il rapporto di sicurezza deve essere aggiornato su richiesta motivata della A.C., ovvero in caso di modifica degli impianti; in ogni caso tale aggiornamento deve essere effettuato ogni tre anni.**

#### **D) L'informazione delle popolazione**

Una delle novità più importanti, dal punto di vista istituzionale del DPR 175/88 è la

previsione all'art. 11, di una procedura di informazione della popolazione, a cura dei sindaci dei comuni interessati allo svolgimento dell'attività industriale, su quanto fatto per prevenire i rischi connessi con tale attività e sul comportamento da tenere in caso di incidente.

Anche se non mancano nel nostro Paese esempi di simili iniziative, particolarmente in campo nucleare, è la prima volta che una tale procedura viene istituzionalizzata, sull'esempio di quanto avviene da decenni nel mondo anglosassone. E' certamente il segno di un profondo cambiamento dei tempi, di un tentativo di crescita culturale, civile e democratica del nostro Paese, che nel lungo periodo non potrà che avere effetti positivi. Perplessità e dubbi furono invece legittimamente avanzati fin dalla pubblicazione della legge per quanto concerne l'applicazione di tale norma nel breve periodo, a causa dell'insufficienza della base culturale di partenza su cui il processo veniva innestato. L'esempio del nucleare, ancora una volta, è estremamente significativo in proposito e indicativo delle notevoli difficoltà che tale norma comporta, o meglio comporterebbe, nell'intrapresa di nuove iniziative industriali nei campi interessati; la lezione del caso nucleare è importante al fine di evitare di ripetere gli errori che hanno portato all'attuale situazione.

In definitiva, per quasi un decennio tale norma è stata sostanzialmente ignorata, salvo pochissimi casi di attuazione più formale che sostanziale o in cui l'informazione è stata data in un ambito più vasto (vedasi ad es. il caso dell'area industriale di Ravenna, per cui è stato fatto uno studio completo di rischio d'area, adeguatamente pubblicizzato).

Rendendosi conto di tale situazione, il legislatore, in sede di sanatoria di una serie lunghissima di decreti legge emanati fra il gennaio 1994 ed il settembre 1996 e non convertiti, ha approvato la legge 19/5/97 n. 137, che in sostanza impone ai fabbricanti la compilazione e l'invio al sindaco ed al prefetto, oltre che alle A.C. (entro 60 giorni nel caso di impianti esistenti soggetti a notifica, entro 1 anno, per quelli soggetti a dichiarazione), di una scheda, articolata in 9 sezioni secondo uno schema unificato. Devono essere immediatamente distribuite alla popolazione, a cura del sindaco, le sezioni 1 (generalità del fabbricante e dell'impianto), 3 (descrizione delle attività), 4 (sostanze suscettibili di causare incidente rilevante), 5 (natura dei rischi), 6 (effetti per la popolazione e l'ambiente e misure di sicurezza adottate) e 7 (mezzi di segnalazione e di comunicazione di incidenti, comportamento da seguire e presidi di pronto soccorso), integrate con le informazioni della sezione 2 (responsabili dell'informazione pubblica, del

primo intervento e del piano di emergenza esterno).

Anche questo modo di procedere non sembra adeguato come dimostrano indagini sociologiche condotte in varie situazioni rappresentative delle diverse realtà del nostro Paese (piccoli centri sorti intorno ad una grande industria, città di dimensioni medie o grandi, con importanti flussi turistici o localizzate all'interno della Regione, località del Centro-Nord o del Sud d'Italia..

### **E) La pianificazione dell'emergenza**

Correttamente ed analogamente alla prassi seguita in campo nucleare, la legge distingue due tipi di emergenza: interna ed esterna. Si tratta di emergenza interna nel caso di incidenti minori, le cui conseguenze sono limitate all'interno dello stabilimento industriale. In tal caso sia la predisposizione del piano di emergenza che la sua attuazione in caso di incidente sono demandate integralmente all'esercente dell'attività, che deve predisporre allo scopo strumentazione e mezzi di intervento adeguati, addestrare il personale, ecc.

Se invece le conseguenze dell'incidente sono più gravi e travalicano i confini dello stabilimento, l'emergenza viene dichiarata esterna e l'autorità competente a pianificare ed attuare gli interventi diviene il sindaco, se le conseguenze sono limitate al territorio comunale, o il prefetto, nel caso queste interessino il territorio di più comuni. Si tratta delle autorità che, su base rispettivamente comunale o provinciale, rappresentano al più alto livello lo Stato, con potere di mobilitare in caso di necessità altri Organi e Corpi dello Stato, requisire mezzi e beni, sia pubblici che privati, ecc. In tal caso il compito dell'esercente è quello di fornire i dati utili alla pianificazione dell'emergenza, oltre a dare, in caso di incidente, le informazioni necessarie per attuare prontamente gli interventi adeguati. Una tale impostazione del problema, anche se formalmente corretta, sarebbe rimasta essenzialmente teorica, senza alcuna rilevanza pratica o quasi, come gli interventi di informazione della popolazione di cui si è discusso al punto precedente; questi sono del resto strettamente connessi con l'emergenza, certamente non gestibile in maniera corretta senza una adeguata informazione preventiva della popolazione potenzialmente coinvolta.

E' immaginabile un'azione per cui i sindaci di tutti i Comuni italiani (o almeno quelli di industrie pericolose) fanno predisporre ai propri uffici il piano di emergenza per incidenti che possono verificarsi nel territorio del proprio Comune, andando quindi ad individuare le risorse in uomini e mezzi per la sua attuazione?

Tale situazione si è andata successivamente modificando attraverso norme inserite

nelle leggi riguardanti la Protezione Civile (P.C.) ed in particolare tese a rendere operativi i compiti del Dipartimento di Protezione Civile (ora sostituito dall'Agenzia per la P.C.). Senza entrare in eccessivi dettagli, è possibile affermare che il quadro all'inizio del 1999 era più chiaro con:

- la suddivisione dei compiti fra la Prefettura, incaricata del coordinamento e della supervisione degli interventi, ed il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco, che ne costituisce il braccio operativo, con compiti di intervento e gestione attiva sul sito dell'impianto;
- la emanazione di linee guida (il cosiddetto metodo speditivo) per la pianificazione dei vari possibili interventi di emergenza da parte di tali Enti;
- la predisposizione di una sala operativa della protezione civile in ogni Provincia, in cui raccogliere informazioni e dati territoriali sulle attività a rischio di incidente rilevante e relativi scenari incidentali, sulle risorse impiegabili in caso di emergenza, ecc.; queste sale potranno svolgere un ruolo importante sia per la pianificazione che per la gestione dell'emergenza, una volta che saranno completamente operative.

#### **F) La banca dati europea sugli incidenti rilevanti**

Il fabbricante deve immediatamente notificare il verificarsi di eventuali incidenti rilevanti alle Autorità Competenti Nazionali, che dovranno a loro volta darne comunicazione alla Commissione.

La Commissione deve registrare le comunicazioni ricevute in un apposito documento in modo che tutti gli Stati Membri possano trarre profitto dalla conoscenza dei fatti avvenuti per rivedere e potenziare, se ritenuto necessario, le misure di sicurezza già adottate per impianti simili, in esercizio all'interno dei rispettivi Paesi.

Quanto sopra è stato concretizzato realizzando presso il CCR di Ispra una banca dati denominata MARS (Major Accidents Reporting System), a cui confluiscono le accennate informazioni in base ad un formato prestabilito. Tali informazioni, tolti eventuali dati coperti da segreto industriale e quelli identificativi dell'impianto in cui si è avuto l'incidente, sono poi analizzate e pubblicate periodicamente.

### **5.3 - IL D.LGS. 334/99 DI RECEPIMENTO DELLA DIRETTIVA EUROPEA "SEVESO II"**

Tenendo conto dell'esperienza acquisita nei 15 anni trascorsi dall'emanazione della Direttiva 82/501 e delle attività svolte in tutta la Comunità in tale periodo, l'Unione Europea ha maturato il convincimento che fosse opportuno apportare alcune modifiche sostanziali ai contenuti della Direttiva "Seveso".

La nuova Direttiva, approvata dal Consiglio alla fine del 1996, è stata pubblicata nella Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee all'inizio del 1997 e come già detto, recepita nella legislazione italiana con il D.Lgs. 334/99.

Le novità più rilevanti concernono due aspetti di particolare importanza, in relazione alla necessità di:

- una adeguata pianificazione dell'uso del territorio, in modo da ridurre la vulnerabilità dell'ambiente coinvolto nell'evoluzione di possibili eventi incidentali;
- dare attuazione ad una vera politica complessiva per la sicurezza industriale, che coinvolga tutti i possibili attori, pubblico compreso, non limitata soltanto agli aspetti tecnici, ma riguardante anche quelli organizzativi e gestionali, le cui carenze sono state le cause principali della maggior parte degli incidenti rilevanti notificati alla Commissione.

Comunque le novità introdotte dalla "SEVESO II" non si limitano a questi aspetti; esse riguardano la stessa impostazione del problema della sicurezza della popolazione, come si cercherà di evidenziare nei punti successivi, trattando:

- a) le attività soggette alla normativa, individuate per classi di sostanze pericolose, ivi incluse quelle dannose per l'ambiente;
- b) la valutazione del livello di sicurezza dell'intero stabilimento, piuttosto che dei singoli impianti, con maggiore attenzione alle situazioni che potrebbero portare al cosiddetto effetto "Domino" fra impianti o stabilimenti vicini;
- c) gli adempimenti formali previsti e le modalità con cui il D.Lgs. 334/99 cerca di recuperare quanto fatto per il DPR 175/88;
- d) il passaggio di responsabilità alle nuove A.C. individuate dal legislatore;

#### **A) Le attività soggette e gli adempimenti previsti dal D.Lgs. 334/99**

Sono soggetti al D.Lgs. 334/99 tutti gli stabilimenti produttivi in cui sono presenti (o possono essere generate in caso di incidente) sostanze pericolose per l'uomo o per l'ambiente in quantità superiore a quella indicata nell'All. 1 allo stesso decreto (vedasi la

Fig. 5.3 e la Tab. 5.5); nel caso la quantità presente sia inferiore alla soglia indicata nell'All.1, si applicano comunque le disposizioni generali in materia di sicurezza dettate all'Art. 5, commi 1 e 2.

E' questa la prima novità sostanziale del D.Lgs. 334/99: non si fa più alcun riferimento ai processi chimici che si attuano negli impianti, ma solo alle sostanze pericolose comunque presenti all'interno dello stesso, senza nessuna differenziazione tra quelle utilizzate o prodotte durante il processo (anche in caso di anomalia di funzionamento o di incidente) e quelle eventualmente immagazzinate in depositi separati. Inoltre, le sostanze pericolose sono in generale specificate per classi in base alla normativa sull'etichettatura (Fig. 5.3); solo per una trentina di sostanze (Tab. 5.5) si specificano i valori per cui sono richiesti i vari adempimenti (contro le 180 sostanze indicate nella precedente Direttiva - ved. Tab. 5.3).

All'art. 5, commi 2 e 3, il legislatore cerca di recuperare il quadro normativo preesistente, imponendo che il gestore<sup>(c)</sup>:

⇒ Per gli **stabilimenti con attività di cui all'Allegato A (che coincide con l'Allegato I del DPR 175/88, cioè con la Tab. 5.1), ma con sostanze pericolose in quantità inferiori a quelle di cui all'Allegato 1**

- integri la valutazione dei rischi di cui al D.Lgs. 626/94 con l'individuazione dei rischi di incidenti rilevanti;
- proceda alla applicazione del D.M. 16/03/98 (informazione, formazione, addestramento ed equipaggiamento dei lavoratori in situ).

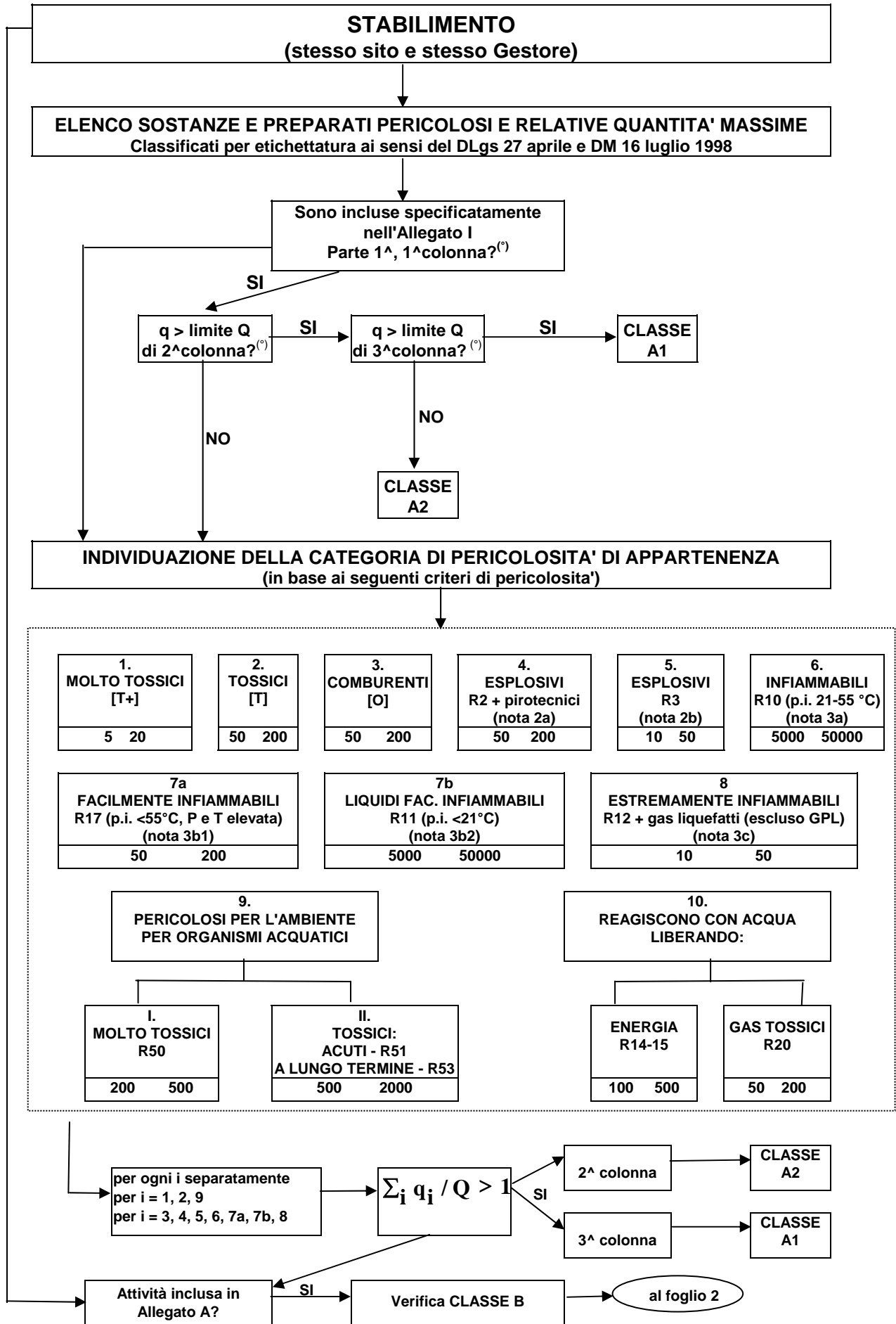
⇒ Per gli **stabilimenti di cui all'Allegato A in cui sono presenti sostanze pericolose in quantità superiori ai valori di soglia dell'Allegato B, punto 3** (vale a dire le attuali soglie di Dichiarazione di cui all'Allegato II Parte 2<sup>a</sup> del DPR 175/88, modificato col D.M. 1/2/96)

- a) produca una *Relazione* redatta con la struttura del DPCM 31/3/89 (di fatto il vecchio RdS),
- b) trasmetta la *Scheda di Informazione* di cui all'Allegato 5 al D.Lgs. 334/99,
- c) adempia agli obblighi di cui al D.M. 16/3/98 per i lavoratori in situ,
- d) predisponga il *Piano di Emergenza* con le modalità ed i contenuti di cui all'Allegato 11 al D.Lgs. 334/99.

---

<sup>(c)</sup> E' questa la nuova denominazione adottata per individuare il responsabile dello stabilimento (e quindi della sicurezza della popolazione), che sostituisce la precedente definizione di "fabbricante".





<sup>(\*)</sup> vedasi Tab. 5.5.

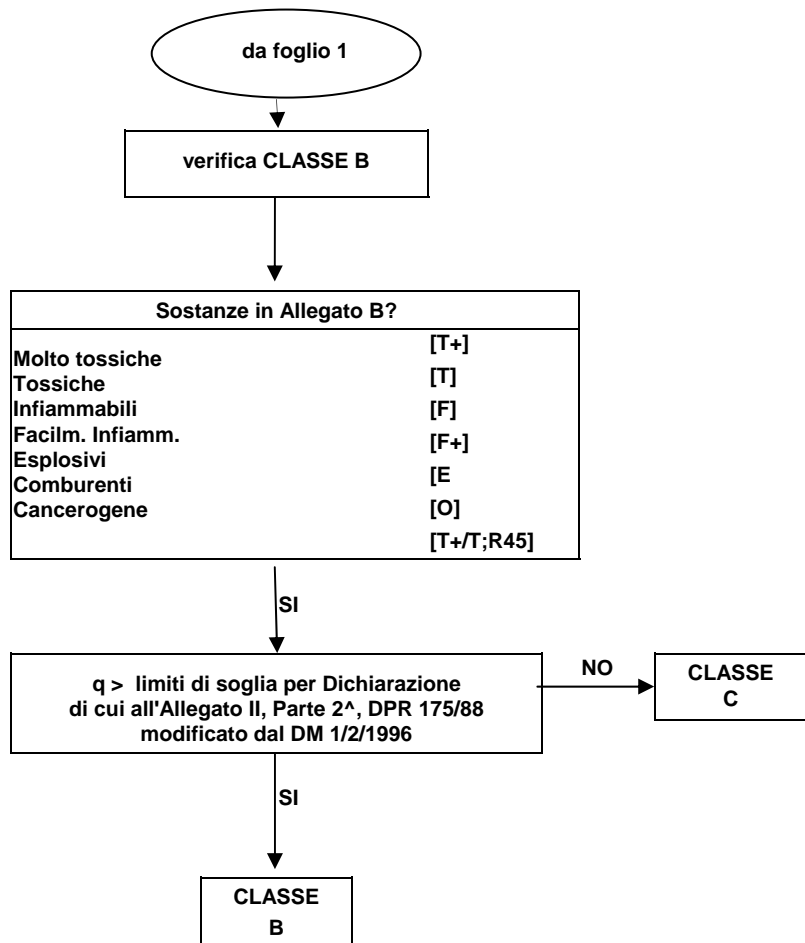


Fig. 5.3 - Schema di controllo per la classificazione degli stabilimenti soggetti al D.Lgs. 334/99

Colonna 1	Colonna 2	Colonna 3
Sostanze pericolose	Quantità limite (tonnellate) ai fini dell'applicazione	
	degli articoli 6 e 7	dell'articolo 8
Nitrato di ammonio <sup>(1)</sup>	350	2500
Nitrato di ammonio <sup>(2)</sup>	1250	5000
Anidride arsenica, acido (V) arsenico e suoi sali	1	2
Anidride arseniosa, acido (III) arsenioso e suoi sali	0,1	0,1
Bromo	20	100
Cloro	10	25
Composti del nichel in forma polverulenta inalabile (monossido di nichel, biossido di nichel, solfuro di nichel, bisolfuro di nichel, triossido di nichel)	1	1
Etilenimina	10	20
Fluoro	10	20
Formaldeide (concentrazione $\geq$ 90%)	5	50
Idrogeno	5	50
Acido cloridrico (gas liquefatto)	25	250
Alchili di piombo	5	50
Gas liquefatti estremamente infirmabili e gas naturale	50	200
Acetilene	5	50
Ossido di etilene	5	50
Ossido di propilene	5	50
Metanolo	500	5000
4,4-metilen-bis-(2-cloroanilina) e/o suoi sali in forma polverulenta	0,01	0,01
Isocianato di metile	0,15	0,15
Ossigeno	200	2000
Diisocianato di toluene	10	100
Cloruro di carbonile (fosgene)	0,3	0,75
Triiduro di arsenico (arsina)	0,2	1
Triiduro di fosforo (fosfina)	0,2	1
Dicloruro di zolfo	1	1
Triossido di zolfo	15	75
Poli-cloro-dibenzofurani e poli-cloro-dibenzodiossine (compresa la TCDD), espressi come TCDD equivalente <sup>(3)</sup>	0,001	0,001
Le seguenti sostanze CANCEROGENE: 4-amminobfenile e/o suoi sali, benzidina e suoi sali, ossido di bis-(clorometile), ossido di clorometile e di metile, cloruro di dimetilcarbamoile, dimetilnitrosammina, triammide esametilfosforica, 2-naftilammina e/o suoi sali, 1.3-propansultone e 4-nitrodifenile	0,001	0,001
Benzina per autoveicoli e altre essenze minerali	5000	50000

## NOTE

<sup>(1)</sup> Nitrato di ammonio (350/2500)

Include sia il nitrato di ammonio e le miscele contenenti nitrato di ammonio, il cui tenore di azoto derivato dal nitrato di ammonio è superiore al 28% in peso (diversi da quelli di cui alla nota 2), sia le soluzioni acquose di nitrato di ammonio in cui la concentrazione di nitrato di ammonio è superiore al 90% in peso.

<sup>(2)</sup> Nitrato di ammonio (1250/5000)

Si applica ai fertilizzanti semplici a base di nitrato di ammonio conformi alla direttiva 80/76/CEE e ai fertilizzanti composti il cui tenore di azoto derivato dal nitrato di ammonio è superiore al 28% in peso (un fertilizzante composto contiene nitrato di ammonio combinato con fosfato e/o potassio).

<sup>(3)</sup> Per stabilire le quantità di TCDD equivalente si applicano i fattori di ponderazione indicati in Tab. 5.6

Tab. 5.5 - Sostanze specificate singolarmente nell'All. 1, Parte 1<sup>^</sup> al D. Lgs.334/99.

Fattori Tossici Equivalenti Internazionali (ITEF) per i cogeneri di interesse (NATO/CCMS)				
2,3,7,8 - TCDD	1	2,3,7,8 - TCDF	0,1	
1,2,3,7,8 - PeCDD	0,5	2,3,4,7,8 - PeCDF	0,5	
		1,2,3,7,8 - PeCDF	0,05	
1,2,3,4,7,8 - HxCDD		1,2,3,4,7,8 - HxCDF		
1,2,3,6,7,8 - HxCDD	0,1	1,2,3,7,8,9 - HxCDF	0,1	
1,2,3,7,8,9 - HxCDD		1,2,3,6,7,8 - HxCDF		
		2,3,4,6,7,8 - HxCDF		
1,2,3,4,6,7,8 - HpCDD	0,01	1,2,3,4,6,7,8 - HpCDF	0,01	
		1,2,3,4,7,8,9 - HpCDF		
OCDD	0,001	OCDF	0,001	
(T = tetra	Pe = penta	Hx = hexa	Hp = hepta	O = octa)

Tab. 5.6 - Fattori di peso di poli-cloro-dibenzofurani e poli-cloro-dibenzodiossine

E' da notare che l'obbligo NON si applica più alle attività di solo deposito, che non siano connesse ad attività di cui all'Allegato A.

⇒ Nel caso di stabilimenti con **sostanze in quantità maggiori alle soglie indicate nell'Allegato 1**, il gestore deve:

**1) trasmettere al Ministero dell'Ambiente (M.A.), alla Regione, alla Provincia, al Comune, al Prefetto ed al Comitato Tecnico Regionale:**

a) una **Notifica**<sup>(\*)</sup>, sottoscritta come autocertificazione (legge 15/1968), almeno 6 mesi prima dell'inizio della costruzione per i nuovi stabilimenti ed entro 1 anno per gli esistenti o per quelli soggetti a seguito di modifiche apportate all'Allegato 1 od a disposizioni di legge che comportino la riclassificazione delle sostanze o la introduzione di nuove sostanze soggette, contenente:

- informazioni generali sullo stabilimento (nome e ragione sociale, sede e domicilio, nome e funzione del responsabile)
- le sostanze pericolose (quantità e forma fisica)
- le attività
- l'ambiente immediatamente circostante con la individuazione degli elementi che potrebbero causare ed aggravare le conseguenze

b) contestualmente trasmettere al M.A., Regione, Sindaco e Prefetto la **Scheda di Informazione** di cui all'Allegato 5 al D.Lgs. 334/99, allegando eventualmente le certificazioni ed autorizzazioni previste dalla normativa vigente e l'eventuale

<sup>(\*)</sup> E' da notare che in generale NON è quindi richiesto esplicitamente un RdS.

c) adesione EMAS, EcoAudit o a norme tecniche internazionali.

**2) entro 6 mesi provvedere a:**

- d) redigere un **Documento di Politica di Prevenzione di Incidenti Rilevanti (MAPP)**, da mantenere a disposizione delle Autorità competenti, depositato presso lo stabilimento, da riesaminare ogni 2 anni;
- e) sviluppare un **programma di attuazione del Sistema di Gestione della Sicurezza (SGS)** allegato al Documento citato al punto c);
- f) **attuare il SGS** (previa consultazione dei Rappresentanti dei Lavoratori per la Sicurezza-RLS), secondo i criteri individuati nel MAPP. Il M.A. doveva provvedere ad emanare entro 3 mesi le *Linee Guida* per l'attuazione del SGS, a cui ci si deve adeguare entro la prima revisione del Documento di Politica di Prevenzione degli Incidenti Rilevanti.

Per i nuovi Stabilimenti l'attuazione del SGS è all'inizio dell'attività.

⇒ Per gli Stabilimenti in cui sono **superati i limiti di quantità indicati nella 3° colonna dell'Allegato 1** per le sostanze pericolose ivi elencate, il gestore deve redigere il RdS, da trasmettere al Comitato Tecnico Regionale (CTR):

- per i nuovi stabilimenti prima dell'inizio dell'attività,
- entro 1 anno per chi era soggetto al DPR 175/88,
- entro 2 anni per chi fosse soggetto per la 1<sup>a</sup> volta, non essendo stato soggetto al DPR 175/88.

Il RdS deve essere aggiornato con cadenza biennale o su richiesta della Regione e comunque ad ogni riesame periodico del Documento di Politica di Prevenzione (MAPP) di cui è parte integrante, con particolare riferimento a:

- adozione SGS;
- individuazione pericoli, adozione misure adeguate e sicurezza tecnica;
- predisposizione del Piano di Emergenza Interno (PEI);
- fornire gli elementi per la redazione del Piano di Emergenza Esterno (PEE);
- informazioni sull'uso del territorio circostante.

I criteri, contenuti e modalità di redazione del RdS saranno stabiliti da un prossimo Decreto M.A. che terrà conto del DPCM 31/3/89, attualmente ancora valido.

Il M.A. dispone altresì la *possibilità di limitare le informazioni da fornire nel RdS* in caso di sostanze che non possono determinare un rischio di incidente rilevante,

secondo i criteri di cui all'Allegato 7, previa comunicazione al CTR.

Come si evince da quanto sopra esposto, la situazione è piuttosto complicata e parzialmente contraddittoria, come evidenziato nella Fig. 5.3 ed in Tab. 5.7 che cercano di inquadrarla schematicamente, riassumendo gli adempimenti previsti nei vari casi.

## **B) Aspetti organizzativi e gestionali**

Il gestore, con pieno convincimento, deve definire una chiara politica per la sicurezza (esplicitandola nel già citato MAPP) e, coerentemente con questa, deve mettere in atto anche a livello organizzativo e gestionale gli interventi e le azioni necessarie per il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza prefissati e resi pubblici. Da qui l'obbligo, sostanzialmente generalizzato di dotarsi di un Sistema di Gestione della Sicurezza (SGS), che in definitiva deve garantire che le esigenze di sicurezza sono tenute in debito conto in ogni fase dell'attività, dalla progettazione, all'esercizio ed alla manutenzione. Ciò è ottenuto attraverso:

- l'esplicitazione degli obiettivi di politica aziendale in materia di sicurezza;
- l'analisi di tutti i fattori, esterni ed interni, che la influenzano;
- una adeguata organizzazione interna che garantisca che i temi della sicurezza sono sempre seguiti con continuità e adeguata priorità;
- la piena pianificazione e l'implementazione di azioni e procedure operative, sistemi e dispositivi di sicurezza, ecc.
- il controllo e la revisione periodici, sistematici e documentati dei risultati ottenuti attraverso l'individuazione di indicatori e la conseguente raccolta di informazioni e dati sulle situazioni di pericolo e di rischio generate nell'attività.

Si tratta chiaramente dell'estensione al campo industriale della prassi e della pratica da anni seguita in campo nucleare.

L'attenzione, concentrata nel passato quasi esclusivamente sul miglioramento delle caratteristiche tecniche delle apparecchiature, anche se indubbiamente importante, si è dimostrata non sufficiente per il raggiungimento degli obiettivi previsti. Deve essere posta, pertanto, maggiore attenzione sugli aspetti organizzativi e gestionali, nell'ambito di una vera e propria cultura aziendale per la sicurezza, secondo quanto sarà accennato nel capitolo conclusivo del corso.

Tab. 5.7 - Schema riassuntivo delle classi di attività soggette al DLgs 334/99 e dei relativi adempimenti

### **C) Pianificazione dell'uso del territorio, con riferimento al pericolo di incidenti rilevanti**

E' questa probabilmente la principale novità introdotta dalla SEVESO II, all'origine fra l'altro del ritardo con cui la Direttiva è stata recepita nella legislazione del nostro Paese.

La pianificazione territoriale da parte delle Autorità locali deve garantire che la situazione degli insediamenti urbani in un'area di adeguate dimensioni intorno a stabilimenti a rischio di incidente rilevante non venga a modificarsi nel tempo in maniera sostanziale, per tutta la durata dell'esercizio dell'attività industriale. In campo nucleare, prima come prassi ed ora in USA come imposizione normativa, tale principio è stato sempre applicato, evitando che la densità di popolazione in un raggio di 8 km dall'impianto possa più che raddoppiare nei 30 - 40 anni previsti per l'esercizio di questo. Modifiche di maggiore entità potrebbero infatti ridurre l'efficacia dei piani di emergenza inizialmente previsti, se non addirittura precluderne la fattibilità.

Per poter affrontare in modo efficace questo non facile problema è necessario:

- ampliare, soprattutto a livello locale, il numero e le competenze delle Autorità interessate, che devono essere pienamente coinvolte nelle decisioni sulla compatibilità di nuovi insediamenti industriali;

garantire una maggiore partecipazione della popolazione nella determinazione dei processi decisionali. Il pubblico, oltre ad essere correttamente informato sui pericoli conseguenti alla presenza di insediamenti industriali ad alto rischio e ad avere accesso alla documentazione relativa alla sicurezza, deve esercitare un ruolo attivo nella definizione dei limiti e delle condizioni necessarie per uno sviluppo industriale compatibile con il rispetto dell'ambiente, nel quadro di una politica complessiva definita a livello nazionale.

### **D) L'effetto "domino" e le aree ad elevata concentrazione industriale**

La problematica dell'effetto "domino", trattata all'Art. 12 del D.Lgs. 334/99, non è una novità assoluta, essendo già prevista nel DPR 175/88 per sequenze incidentali all'interno di uno stesso stabilimento o coinvolgenti stabilimenti diversi a distanza minore di 500 m l'uno dall'altro. Essa è ora estesa ad altri casi, con la delega al Ministero dell'Ambiente, sentita la Regione ed il Comitato Tecnico Regionale, di

- a) individuare gli stabilimenti in cui si possono generare maggiori rischi,
- b) accertare che i gestori si scambino informazioni al fine della modifica del proprio SGS,



RdS e PEI, in relazione a tale problematica, garantendo anche una adeguata informazione alla popolazione.

I gestori di tali stabilimenti trasmettono entro 4 mesi al Prefetto ed alla Provincia territorialmente competenti le **informazioni necessarie per il PEE (Art. 20) per far fronte ad effetti domino.**

**Per le aree ad elevata concentrazione industriale**, il D.Lgs. 334/99, all'art. 13 assegna al M.A., sentita la Regione e il Comitato Tecnico Regionale, il compito di:

- a) individuare le aree ad elevata concentrazione secondo i criteri stabiliti con apposito Decreto;
- b) coordinare i gestori degli stabilimenti interessati in relazione agli obblighi di Notifica (Art. 6) e RdS (Art. 8) per quanto attiene a:
  1. **scambio reciproco delle informazioni** per la valutazione del rischio d'area compresi studi di sicurezza relativi ad altri Stabilimenti in cui sono presenti sostanze pericolose, ma non soggetti (quantità minori alla soglia dell'Allegato 1)
  2. predisposizione da parte dei gestori interessati (in Consorzio) di **uno Studio di Sicurezza Integrato (SSI)**, da trasmettere al CTR con i tempi previsti per il RdS (Art. 8, comma 6: entro 1 anno per quelli già esistenti e soggetti o 2 anni per quelli non soggetti al DPR 175/88, subito per i nuovi) rivisti ogni 2 anni assieme all'SGS;
- c) predisporre un **Piano di Intervento d'Area.**

Al comma 2 dell'Art. 13 si prevede che il M.A. determini, con propri decreti:

- a) i criteri per individuazione e la perimetrazione delle aree ad elevata concentrazione di cui al comma 1;
- b) le procedure di scambio di informazioni fra i Gestori;
- c) le procedure per la diffusione delle informazioni alla popolazione;
- d) le linee guida per Piani di Intervento d'Area (PIA).

## **E) Il passaggio di competenze fra le Autorità di Controllo**

Anche da questo punto di vista il D. Lgs. 334/99 presenta novità fondamentali, con il passaggio di tutte le competenze del M.A. (e della Sanità) alla Regione territorialmente competente.

Il meccanismo instaurato dal DPR 175/88, formalmente corretto, ma impraticabile, aveva già mostrato la sua insufficienza: in quasi 10 anni, le pratiche per impianti soggetti a notifica che avevano completato l'istruttoria secondo la procedura inizialmente prevista si

contano sulle dita di una mano, a fronte di oltre 400 impianti soggetti. Dato che molte Regioni avevano invece fatto la loro parte per gli impianti di loro competenza (quelli soggetti a dichiarazione), facendo fare l'istruttoria tecnica ai Comitati Regionali Prevenzione Incendi - CRPI (opportunamente allargati con rappresentanti della Regione, dell'ANPA, dell'ISPESL e della USL territorialmente competente), la citata legge 137/97 aveva demandato a tali organismi anche l'istruttoria per gli impianti soggetti a notifica. I risultati sono stati complessivamente soddisfacenti ed in 2 anni gran parte delle istruttorie sono state completate. Su tale base di fatto e rivendicando le relative competenze costituzionali, le Regioni hanno preteso con il D. Lgs. 334/99 la titolarità delle competenze in materia, con istruttoria tecnica affidata al CTR. Questi organismi sono analoghi ai CRPI (che peraltro continuano ad esercitare a pieno le loro funzioni in tema di prevenzione incendi e quindi per la maggior parte delle attività soggette al D. Lgs. 334/99), e sono composti, in base all'Art. 19 del Decreto Legislativo, da tecnici competenti (con eventuale supplente) in rappresentanza di:

- l'ARPA (2 membri),
- l'ISPESL (2 membri),
- la Regione (1 membro),
- la Provincia (1 membro),
- il Comune (1 membro),
- Il Comandante Provinciale VV.F.

Il ruolo dei VVF, che avevano assicurato il successo della situazione precedente, viene fortemente ridimensionato (almeno formalmente) nella nuova situazione, anche se lo stesso D.Lgs. prevede meccanismi di gradualità e di raccordo nel suddetto passaggio di competenze. In particolare:

- i CRPI continueranno a svolgere le funzioni precedenti finchè i CTR non saranno insediati formalmente;
- le Regioni<sup>(9)</sup> assumeranno le nuove competenze solo se avranno emanato la legislazione regionale che le regola sulla base del D.Lgs. 334/99, se l'ARPA sarà completamente funzionante e se sarà firmato con il M.A. un apposito accordo di programma per il passaggio di competenze tecnico-amministrative e relativi supporti economici (una sorta di procedura di accreditamento della Regione a svolgere i nuovi

---

<sup>(9)</sup>Per inciso la Regione Toscana è stata la prima a darsi una nuova legge regionale in materia e dovrebbe concludere entro il 2000 l'accordo di programma con il M.A.

compiti);

- le Regioni dovranno definire il coordinamento dei soggetti che procedono all'Istruttoria tecnica, raccordando le funzioni dell'ARPA con quelle del CTR e degli altri organismi tecnici coinvolti.

Al M.A. rimarranno le competenze che classicamente sono dello Stato federale istituzionalizzato:

1. emissione di Norme Tecniche di sicurezza valide per l'intero territorio nazionale;
2. recepimento di ulteriori Direttive in materia di rischi di incidente rilevante;
3. comunicazione delle informazioni di interesse transfrontaliero ai paesi interessati; Informazione alla Commissione Europea su incidenti rilevanti (Allegato 6) e presentazione alla stessa di una relazione triennale sugli stabilimenti soggetti;
4. aggiornamento, tramite l'ANPA, della Banca Dati sugli stabilimenti soggetti e sugli esiti dei RdS e SGS in essere nelle varie realtà.

Il M.A. ha anche funzioni di indirizzo per quanto attiene la semplificazione dei procedimenti di istruttoria tecnica di competenza del CTR e, come già detto, stabilisce criteri per individuare:

- a) gli stabilimenti per cui considerare gli effetti domino
- b) le aree ad elevata concentrazione industriale, per le quali deve essere redatto, a cura del Prefetto, in collaborazione con la Regione e gli Enti Locali interessati, un Piano di Emergenza di Area (PEA).

## 5.4 - LA NUOVA DISCIPLINA IN MATERIA DI SICUREZZA SUL LAVORO

### 5.4.1 - Note introduttive e collegamento con la normativa previgente

Il decreto legislativo 19 settembre 1994, n. 626, ha recepito otto direttive della Comunità europea <sup>(*c*)</sup> riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sui luoghi di lavoro ed è stato modificato, successivamente, dal decreto legislativo 19 marzo 1996, n. 242, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 104 del 6 maggio 1996, dal D.Lgs. 4 agosto 1999 n. 359<sup>(\*)</sup>, dal D.M. 12/XI/1999 che modifica l'Allegato XI del Decreto relativo all'elenco degli agenti biologici classificati e più recentemente, dal D.Lgs. 25 Febbraio 2000, n. 66, in attuazione della Direttiva 97/42/CE e 99/38/CE in materia di protezione contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti cancerogeni o mutogeni durante il lavoro.

Il titolo I, derivante dalla direttiva quadro, disciplina la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori definendo i principi cardine dell'organizzazione della sicurezza del lavoro nell'azienda.

Tali principi segnano il passaggio da un sistema di prevenzione di tipo tecnologico-settoriale, quale era quello previsto dalla normativa previgente (DPR 27 aprile 1955 n. 547, contenente norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro, DPR 19 marzo 1956 n. 302, contenente norme di prevenzione degli infortuni, integrative di quelle del DPR n. 547/1955, e DPR 19 marzo 1956 n. 303, contenente norme generali per l'igiene del lavoro) a un sistema di prevenzione di tipo globale, rivolto a promuovere il miglioramento della sicurezza e della salute del lavoratore, anche attraverso l'affermazione del principio dell'autotutela del singolo.

Le disposizioni contenute nella legislazione precedente, salvo i casi di espressa abrogazione, restano però in vigore, costituendo pertanto un termine di riferimento per l'attuazione delle specifiche misure di sicurezza; la maggior parte di esse è ancora in vigore.

Le innovazioni portate dalle nuove norme tendono ad istituire nelle aziende un sistema di gestione delle attività permanente e organico, volto all'individuazione, alla valutazione, alla riduzione e al controllo dei fattori di rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori

---

<sup>(*c*)</sup> Si tratta delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/679/CEE.

<sup>(\*)</sup> Attuativo della direttiva 95/63/CE modifica della 89/655/CE, in materia di requisiti di sicurezza e salute per l'uso di attrezzature di lavoro da parte dei lavoratori.

mediante:

- la programmazione delle attività di prevenzione, in linea a principi e misure prestabiliti;
- l'informazione, la formazione e la consultazione dei lavoratori e dei loro rappresentanti;
- l'organizzazione di un Servizio di Prevenzione e Protezione (SPP), i cui compiti sono espletati da una o più persone designate dal datore di lavoro, tra cui il responsabile del servizio.

In definitiva, il D. Lgs. 626/94 ha imposto l'organizzazione di un sistema di prevenzione e protezione, che si fonda sulla partecipazione attiva di tutte le componenti che hanno un ruolo nell'attività della azienda; esse devono perseguire - ognuna per la parte di competenza - l'obiettivo comune della sicurezza sui luoghi di lavoro.

A conclusione di questo primo paragrafo, si riassumono in Tab. 5.8 le principali norme che definiscono l'attuale sistema normativo nazionale in materia di sicurezza e igiene sul lavoro. In particolare è da notare, per la stretta connessione alla materia, il decreto legislativo 15 agosto 1991, n. 277, che recepì le direttive n. 80/107/CEE, n. 82/605/CEE, n. 83/477/CEE, n. 86/188/CEE e n. 88/642/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti chimici, fisici e biologici durante il lavoro. Tale decreto legislativo introdusse, per la prima volta nel nostro Paese, precisi limiti e procedure di valutazione dei rischi connessi all'esposizione al piombo, all'amianto e al rumore, che possono così riassumersi:

- valutazione del rischio derivante dall'esposizione ai suddetti agenti chimico-fisici, mediante idonee misurazioni da confrontare con valori-limite prefissati;
- informazione dei lavoratori relativamente al rischio e ai mezzi di protezione personale;
- adozione di idonee misure igieniche;
- attuazione di misure tecniche e organizzative, ivi compresa la fornitura di mezzi di protezione individuale;
- effettuazione di visite sanitarie periodiche per i lavoratori maggiormente esposti;
- iscrizione dei lavoratori esposti su appositi registri, in modo da tenere sotto controllo l'evoluzione delle singole situazioni;
- segnalazioni agli organi di vigilanza (ASL) territorialmente competenti.

A parte piccole differenze, si tratta di un'estensione di quanto da decenni codificato ed attuato in radioprotezione. Il D.Lgs. 626/94 tende ad estendere ulteriormente tale modo di procedere a tutte le attività lavorative, pubbliche e private.

Costituzione: artt. 32, 35, 41	Statuto dei lavoratori: legge n. 300/1970
Codice civile: art. 2087	Riforma sanitaria: legge n. 833/1978
Codice penale: artt. 437, 451, 589, 590	
Normativa tecnica specifica (*)	Recepimento normativa Comunitaria:
DPR n. 547/1955 (Prevenzione infortuni)	DPR n. 175/1988 (Rischi di incidenti rilevanti)
DPR n. 303/1956 (Igiene del lavoro)	D. Lgs. n. 277/1991 (Rumore, amianto, piombo)
	D. Lgs. n. 626/1994 (Sicurezza e salute)
	D. Lgs. n. 624/1996 (Industrie estrattive)
	D. Lgs. n. 494/1996 (Sicurezza e salute cantieri)
	DPR n. 459/1996 (Sicurezza macchine)
	D. Lgs. n. 359/1999 (Attrezzature di lavoro)
	D. Lgs. n. 66/2000 (Agenti cancerogeni o mutageni)

(\*) Dà prescrizioni tecniche su:

- Impianti, macchine e apparecchiature elettriche
- Materiali e prodotti pericolosi e nocivi
- Mezzi personali di protezione e soccorsi d'urgenza
- Servizi sanitari e igienico-assistenziali
- Ambienti, posti di lavoro e passaggi
- Protezione delle macchine
- Mezzi e apparecchi di sollevamento e trasporto

Tab. 5.8 - Sistema normativo nazionale in materia di sicurezza e igiene sul lavoro.

#### 5.4.2 - Innovazioni fondamentali in tema di sicurezza e salute sul posto di lavoro

La principale innovazione concettuale introdotta dal D. Lgs. 626/94 è probabilmente il riconoscimento dell'importanza della figura del lavoratore per quanto attiene alla propria e all'altrui salute e sicurezza, nonché l'affermazione della responsabilità e dei datori di lavoro e, nell'ambito delle rispettive attribuzioni e competenze, dei dirigenti e dei preposti in materia di sicurezza sui luoghi di lavoro, nonostante l'adozione delle misure e l'assolvimento degli obblighi, anche sostanziali, introdotti dalla stessa normativa. Fra questi, uno fondamentale non delegabile da parte del datore di lavoro è quello di redigere il documento sulla sicurezza dell'azienda, che deve contenere:

- una valutazione dei rischi di qualsiasi natura cui i lavoratori sono esposti;

- l'individuazione delle misure di prevenzione e protezione adottate e da adottare in tale ambito;
- il programma di realizzazione dei provvedimenti ritenuti necessari od opportuni per il miglioramento dei livelli di sicurezza.

I principi guida a cui il datore di lavoro dovrà fare riferimento per il conseguimento dell'obiettivo "prevenzione" sono definiti dall'art. 3 del D. Lgs. 626/1994, che stabilisce le misure generali per la protezione della salute e per la sicurezza dei lavoratori. Esse assumono il carattere di parametri di riferimento per valutare nei casi di danno (infortunio, ecc.) la condotta del datore di lavoro ai fini dell'accertamento della colpa per negligenza o imperizia.

Tali principi sono stati così identificati dal legislatore:

- valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza;
- eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non sia possibile, loro riduzione al minimo;
- riduzione dei rischi alla fonte;
- programmazione della prevenzione, mirando ad un complesso che integri in modo coerente nella prevenzione le condizioni tecniche, produttive e organizzative dell'azienda, nonché l'influenza dei fattori dell'ambiente di lavoro;
- sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è o che risulti meno pericoloso;
- rispetto dei principi ergonomici nella concezione dei posti di lavoro, nella scelta delle attrezzature e nella definizione dei metodi di lavoro e produzione, anche per attenuare il lavoro monotono e quello ripetitivo;
- priorità delle misure di protezione collettiva rispetto alle misure di protezione individuale;
- limitazione al minimo del numero dei lavoratori che sono, o che possono essere, esposti al rischio;
- utilizzo limitato degli agenti chimici, fisici e biologici sui luoghi di lavoro;
- controllo sanitario dei lavoratori in funzione dei rischi specifici ai quali risultano esposti;
- allontanamento del lavoratore dall'esposizione a rischio, per motivi sanitari inerenti la sua persona;
- misure igieniche;
- misure di protezione collettiva e individuale;

- misure di emergenza da attuare in caso di pronto soccorso, di lotta antincendio, di evacuazione dei lavoratori e di pericolo grave e immediato;
- uso di segnali di avvertimento e di sicurezza;
- regolare manutenzione di ambienti, attrezzature, macchine e impianti, con particolare riguardo ai dispositivi di sicurezza in conformità all'indicazione dei fabbricanti;
- informazione, formazione, consultazione e partecipazione dei lavoratori, ovvero dei loro rappresentanti, sulle questioni riguardanti la sicurezza e la salute sul luogo di lavoro;
- istruzioni adeguate ai lavoratori.

Per il conseguimento dell'obiettivo fondamentale della sicurezza e salute sui luoghi di lavoro, il datore di lavoro è coadiuvato da un Servizio di Prevenzione e Protezione (SPP) dai rischi, costituito dall'insieme "delle persone, sistemi e mezzi esterni o interni all'azienda finalizzati all'attività di prevenzione e protezione dai rischi professionali nell'azienda" ovvero nell'unità produttiva.

Il datore di lavoro ha il compito di designare - previa consultazione del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza - gli addetti al servizio di prevenzione e protezione dai rischi e il responsabile del servizio, che devono essere in possesso di attitudini e capacità adeguate.

L'organizzazione del servizio di prevenzione e protezione è, comunque, obbligatoria all'interno dell'azienda o dell'unità produttiva nei seguenti casi:

1. nelle aziende industriali di cui all'art. 1 del DPR 17 maggio 1988, n. 175 (recante attuazione della direttiva 82/501/CEE relativa ai rischi di incidenti rilevanti connessi a determinate attività industriali), e successive modifiche, soggette all'obbligo di dichiarazione o notifica, ai sensi degli artt. 4 e 6 del decreto stesso;
2. nelle centrali termoelettriche;
3. negli impianti e nei laboratori nucleari;
4. nelle aziende per la fabbricazione e il deposito separato di esplosivi, polveri e munizioni;
5. nelle aziende industriali con oltre 200 lavoratori dipendenti;
6. nelle industrie estrattive con oltre 50 lavoratori dipendenti;
7. nelle strutture di ricovero e cura, sia pubbliche che private.

I compiti attribuiti al Servizio di Prevenzione e Protezione possono essere così sintetizzati:

- individuazione e valutazione dei fattori di rischio;
- individuazione delle misure da mettere in atto per assicurare la salubrità e la sicurezza



degli ambienti di lavoro, nel rispetto della normativa vigente e sulla scorta della specifica conoscenza dell'organizzazione aziendale;

- elaborazione delle misure preventive e protettive sulla scorta della valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza, delle attrezzature di protezione da utilizzare, nonchè dei sistemi di controllo di tali misure;
- elaborazione delle procedure di sicurezza per le diverse attività aziendali;
- proposizione di programmi di informazione e formazione dei lavoratori;
- partecipazione alle consultazioni in materia di tutela della salute e della sicurezza disciplinate dall'art. 11 del D. Lgs. n. 626/1994;
- conferimento di informazioni al lavoratore in relazione:
  - ai rischi per la sicurezza e la salute connessi all'attività dell'azienda in generale;
  - alle misure e alle attività di protezione e prevenzione adottate;
  - ai rischi specifici cui è esposto in relazione all'attività svolta, alle normative di sicurezza e alle disposizioni aziendali in materia;
  - ai pericoli connessi all'uso delle sostanze e dei preparati pericolosi sulla base dei dati delle schede di sicurezza previste dalla normativa vigente e dalle norme di buona tecnica;
  - alle procedure che riguardano il pronto soccorso, la lotta antincendio e l'evacuazione dei lavoratori;
  - al responsabile del servizio di prevenzione e protezione e al medico competente;
  - ai nominativi dei lavoratori incaricati di applicare le misure di cui all'art. 12, relative al pronto soccorso, al salvataggio, alla prevenzione incendi, alla lotta antincendio e alla gestione dell'emergenza, e quelle di cui all'art. 15, relative all'attuazione dei provvedimenti necessari in materia di pronto soccorso e di assistenza medica di emergenza.

Il datore di lavoro può svolgere direttamente i compiti del SPP nonché di responsabile per la prevenzione incendi e di responsabile dell'emergenza, in caso di attività produttive di piccole dimensioni e di aziende di servizi anche di media dimensione, previa frequenza di un apposito corso di formazione in materia di sicurezza e salute sui luoghi di lavoro, i cui contenuti sono stati fissati nel D.M. 16.01.97 del Ministero della Sanità e del Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale.

Altre novità sostanziali del D. Lgs. 626/94 riguardano:

- l'introduzione della figura del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza, con diritto

di accesso a tutti i luoghi di lavoro, alla documentazione pertinente, ecc.;

- la previsione di un'adeguata informazione e formazione di tutti i lavoratori su tale materia, in modo da responsabilizzarli, per quanto concerne sia la propria che l'altrui salute e sicurezza (**principio dell'autotutela** già citato), e da garantire un comportamento adeguato in tutto il periodo di permanenza in azienda;
- l'istituzione di un servizio di pronto soccorso e la pianificazione di un vero e proprio piano di emergenza interna per gli eventi accidentali identificati come possibili nel documento sulla sicurezza;
- la previsione della figura del "medico competente", con relative attribuzioni (visite preventive periodiche di accertamento dell'idoneità dei lavoratori, schede sanitarie dei lavoratori, valutazione dei rischi, sia individuali che ambientali, ecc.), in una serie di casi in cui sussista il rischio da agenti fisici, chimici e biologici;
- l'introduzione di una specifica normativa di protezione della salute dei lavoratori per la movimentazione manuale dei carichi ed il lavoro con attrezzature munite di videoterminali, sostanzialmente assenti nella precedente normativa.

## 5.5 - LA VALUTAZIONE DEI RISCHI SUI LUOGHI DI LAVORO

Nell'ambito di applicazione della legislazione sulla salute e sicurezza del lavoro rientrano tutte le tipologie di rischio, di qualsiasi natura ed origine (meccanica, elettrica, chimica, biologica, ecc.). A tale proposito può essere utile, per meglio comprendere la materia, introdurre la seguente classificazione delle tipologie di rischio, proposta da S. Zanelli:

- *rischi convenzionali*, che sono connessi alle attività lavorative, alle apparecchiature e agli impianti; hanno frequenza piuttosto elevata, tanto da dare luogo alla maggiore percentuale di infortuni; interessano mediamente una o due persone;
- *rischi specifici*, che sono connessi all'utilizzo di sostanze o prodotti chimici e/o all'esposizione ad agenti fisici che per loro natura possono condurre a patologie in tempi brevi o lunghi; hanno una frequenza piuttosto elevata e producono danni molto variabili (da semplici disturbi alla morte), in funzione dell'agente al quale si è esposti;
- *grandi rischi*, che sono connessi a eventi particolari, i quali danno origine in tempi brevi a nubi di prodotti tossici o infiammabili in quantità così grandi da interessare vaste aree, anche all'esterno dell'unità produttiva; hanno una frequenza molto bassa, ma producono danni enormi sia all'uomo che all'ambiente.

Il D.Lgs. 626/94 e successive modifiche ed integrazioni riguarda principalmente le prime due tipologie di rischio, mentre la terza è coperta dalla normativa di recepimento delle Direttive SEVESO I e II. Peraltro le due legislazioni si intersecano e sono spesso complementari, come indicato più volte nei paragrafi precedenti, derivando essenzialmente dalla stessa filosofia di base.

La valutazione dei rischi prevista dalla legislazione sulla sicurezza sul lavoro si può articolare fondamentalmente in quattro fasi per:

- 1) l'individuazione delle situazioni di pericolo;
- 2) l'identificazione delle persone esposte alle situazioni di pericolo;
- 3) la valutazione dei corrispondenti rischi, con la formulazione di un giudizio di accettabilità;
- 4) l'adozione delle misure di prevenzione rivolte a ridurre i rischi non eliminabili.

Un diagramma di flusso riepilogativo delle competenze e delle fasi attraverso cui si arriva alla valutazione dei rischi è riportato in Fig. 5.4.

Per quanto attiene alle procedure da seguire per la valutazione dei rischi, il legislatore aveva previsto l'introduzione di procedure standardizzate, per consentire di effettuare l'analisi

dei rischi nelle diverse situazioni per le quali è richiesta, ed in particolare per facilitare e uniformare l'approccio alla risoluzione del problema per le piccole e medie aziende, mediante l'emanazione di appositi decreti ministeriali; questo, anche se doveva essere fatto entro il 31 marzo 1996, non è ancora avvenuto.

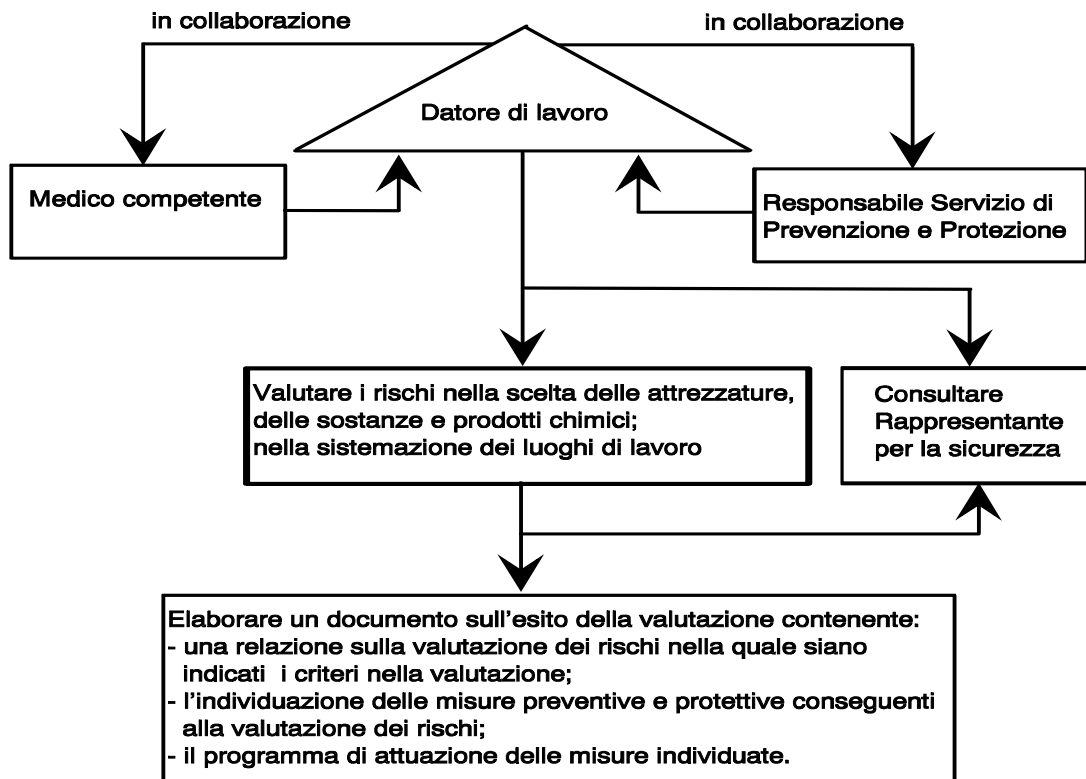


Fig. 5.4 - Schema a blocchi del procedimento di valutazione dei rischi secondo il D. Lgs. 626/94.

Per il momento, la valutazione dei rischi è in genere effettuata attraverso liste di controllo, tradotte in apposite schede che consentono in particolare un'esecuzione sistematica delle fasi 1) e 2) sopraindicate. La compilazione di queste schede è in generale effettuata da un tecnico del SPP, con l'ausilio di personale che ha responsabilità sull'attività effettivamente svolta in ciascun luogo di lavoro (caposquadra o caposervizio).

L'analisi della documentazione raccolta in queste schede è effettuata dal responsabile del SPP, o comunque da un esperto in tema di sicurezza del lavoro, eventualmente con l'ausilio di un apposito software (sistema esperto).

In generale si arriva in tal modo alla individuazione dei rischi. Per la loro valutazione e la programmazione degli interventi volti al miglioramento dei livelli di sicurezza, sono

disponibili metodologie semiquantitative, sviluppate sulla base della filosofia discussa nei precedenti capitoli ed introdotta in particolare nel cap. 2. Fra queste è da citare la metodologia proposta in "Dossier Ambiente" n. 29, di facile ed immediata applicazione, basata su una valutazione "matriciale" del rischio attraverso due scale, relative una al danno ed una alla probabilità di verificarsi di questo.

Una metodologia più completa è quella proposta da Chris Steel e denominata Hazard Rating Number (HRN). Essa appare in grado, da una parte di "quantificare" in maniera semplice i pericoli attraverso stime quali/quantitative di alcuni fattori di riferimento, dall'altra di valutare, a seguito di eventuali interventi o accorgimenti adottati, l'effettivo miglioramento del livello finale di rischio. Ai due fattori della metodologia proposta da Dossier Ambiente n. 29, Steel aggiunge la valutazione di due ulteriori fattori relativi uno alla frequenza di esposizione e l'altro al numero di persone coinvolte.

La scelta di quattro parametri di riferimento consente di stabilire anche il "parametro critico", ovvero quello a cui indirizzare prioritariamente gli interventi migliorativi.

In definitiva il metodo HRN per la stima dei rischi coinvolge i seguenti fattori:

1. probabilità di esposizione al pericolo;
2. frequenza di esposizione al pericolo;
3. massimo danno ipotizzabile;
4. numero di soggetti esposti.

Ai quattro fattori sono assegnati dei valori numerici attraverso una scala di sette valori ciascuno per i primi tre termini e di cinque valori per il quarto, con diverso peso in relazione all'importanza appunto del fattore. Queste scale numeriche, proposte da Steel e riportate nelle successive tabelle 5.9 - 5.12, appaiono più realistiche rispetto a quelle del Dossier Ambiente n. 29, dato che la scala dei valori è "amplificata" in maniera diversa in relazione al parametro considerato.

Il valore del HRN viene calcolato sulla base della seguente equazione, attraverso la semplice moltiplicazione dei quattro fattori ora definiti:

$$\text{HRN} = \text{PE} \times \text{FE} \times \text{MPL} \times \text{NP} \quad (5.1)$$

Al di là della validità in termini assoluti, l'utilizzo della metodologia consente di individuare le azioni prioritarie da intraprendere in relazione ai valori calcolati per l'HRN per tutti i pericoli individuati, sulla base delle indicazioni contenute in Tab. 5.13.

<b>INDICE PE</b>	<b>INDICAZIONE QUALITATIVA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
0	impossibile	non può avvenire in nessuna circostanza
1	improbabile	evento remoto, ma comunque possibile
2	possibile	evento insolito
5	fortuito	può accadere
8	probabile	non crea sorpresa
10	molto probabile	evento atteso
15	certo	senza dubbio

Tab. 5.9 - Probabilità di accadimento dell'evento (PE).

<b>INDICE FE</b>	<b>INDICAZIONE QUALITATIVA</b>
0.1	rara
0.2	annuale
1.0	mensile
1.5	settimanale
2.5	giornaliera
4.0	oraria
5.0	costante/continua

Tab. 5.10 - Frequenza di esposizione al pericolo (FE).

<b>INDICE MPL</b>	<b>DANNO IPOTIZZATO</b>
15	morte
8	perdita di due arti/occhi o grave danno permanente per la salute
4	perdita di un arto/occhio o grave danno temporaneo per la salute
2	rottura ossa principali o minore danno permanente per la salute
1	rottura ossa secondarie o minore danno temporaneo per la salute
0.5	lacerazione o danno moderato per la salute
0.1	graffio/contusione

Tab. 5.11 - Massimo danno ipotizzabile (MPL).

<b>INDICE NP</b>	<b>NUMERO DI PERSONE ESPOSTE</b>
1	1÷2 persone
2	3÷7 persone
4	8÷15 persone
8	16÷50 persone
12	oltre 50

Tab. 5.12 -Numero di soggetti esposti (NP).

Come già detto, un aspetto importante della valutazione risiede nell'individuazione di quale (o quali) tra i quattro fattori presenta livelli più critici. In definitiva, l'esame non solo dell'HRN risultante, ma anche dei singoli fattori che portano al risultato finale, consente di individuare il fattore per il quale l'eventuale intervento ha maggiore efficacia per il miglioramento delle condizioni di sicurezza. Peraltro i rimedi proposti dovranno essere valutati attraverso una analisi costi-benefici, per verificarne la compatibilità aziendale.

Segnalata l'atipicità dell'approccio in termini probabilistici, dal momento che operare affinché la probabilità di accadimento dell'evento (PE) sia zero porterebbe all'eliminazione del rischio, è da dire che di solito è estremamente difficile rendere un evento impossibile, mentre appare opportuno e consigliato portare comunque la sua probabilità di accadimento a valori molto bassi (prevenzione).

Un'altra possibilità è offerta dalla riduzione della frequenza di esposizione (FE) dei lavoratori, ad esempio con l'introduzione di sistemi automatizzati, riduzione del tempo di esposizione, modifiche della disposizione di impianto che facilitano la manutenzione, ecc.

La riduzione del massimo danno ipotizzabile (MPL) può essere ottenuta attraverso la riduzione dell'energia (massa coinvolgibile in caso di incidente, ecc.) o l'introduzione di sistemi di protezione collettiva (quali ad esempio impianto antincendio, impianto di aspirazione, insonorizzazione, ...) e individuale (quali ad esempio maschere antipolvere o antigas, cuffie o inserti auricolari,...).

Infine la riduzione del numero degli esposti (NP) appare sempre consigliabile (in combinazione con gli altri metodi), anche se non sempre possibile.

<b>HRN</b>	<b>PROGRAMMAZIONE INTERVENTI</b>
0÷1	campo di accettabilità del rischio
1÷5	rischio accettabile, azioni migliorative da valutare in fase di programmazione
5÷10	azioni correttive e/o migliorative da programmare nel medio termine
10÷50	azioni correttive e/o migliorative da programmare nel breve termine
50÷100	azioni correttive da programmare con urgenza
100÷500	azioni da intraprendere immediatamente
500÷1.000	azioni da intraprendere immediatamente, finalizzate anche al blocco programmato dell'attività
oltre 1.000	blocco dell'attività in attesa dell'attuazione dei necessari provvedimenti

Tab. 5.13 - Valutazione del rischio con il metodo HRN, con indicazioni sulla programmazione degli interventi correttivi.

## **5.6 - GLI ADEMPIMENTI DOCUMENTALI RICHIESTI DAL DECRETO LEGISLATIVO N. 626/1994**

L'articolo 4, comma 2, del D. Lgs. 626/1994 pone a carico del datore di lavoro l'elaborazione del documento (o piano) della sicurezza, che deve essere articolato in tre parti:

- la relazione sulla valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute durante il lavoro, nella quale devono essere specificati i criteri adottati per la valutazione stessa;
- l'indicazione delle misure di prevenzione e di protezione da attuare a seguito della valutazione dei rischi, nonchè dei dispositivi di protezione individuale da fornire ai lavoratori;
- il programma di attuazione delle misure di sicurezza.

Tale documento conterrà, quindi:

- la descrizione dei rischi, sia generici sia specifici, individuati negli ambienti di lavoro dell'azienda;
- il numero di soggetti esposti a ciascun rischio;
- i riferimenti seguiti per la stima dei rischi e quelli per l'espressione del giudizio di idoneità circa le misure di sicurezza già adottate;
- le nuove misure di sicurezza che si rendono necessarie per eliminare le carenze riscontrate e per ridurre ulteriormente i rischi presenti;
- il registro degli infortuni, che deve essere utilizzato per valutare l'efficacia delle misure di sicurezza già presenti;
- i rapporti di valutazione delle diverse esposizioni (rumore, polveri, ecc.);
- il programma di attuazione delle misure di prevenzione e di protezione che si rendono necessarie per il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza e salute dei lavoratori.

In questo modo l'obiettivo di salvaguardia della sicurezza e della salute dei lavoratori viene ad essere concretizzato, con l'individuazione e l'attuazione dei necessari provvedimenti.

Il documento sulla sicurezza viene generalmente redatto in modo da analizzare gli elementi sottoelencati, di cui vengono schematicamente delineati i contenuti:

### **A) Insediamento produttivo**



Bisogna descrivere gli edifici che compongono l'insediamento e le loro destinazioni, gli spazi destinati alla viabilità, al parcheggio e al verde, facendo riferimento alla planimetria generale ed alle caratteristiche tipologico-costruttive dei singoli edifici.

E' necessario indicare anche le potenzialità energetiche installate (termica in kCal/h, elettrica in kW), individuando rispetto alla planimetria l'ubicazione della centrale termica e della cabina di trasformazione.

### **B) Processo produttivo**

Descrivere accuratamente il processo produttivo, scindendo le diverse fasi della lavorazione che consentono il passaggio dalle materie prime ai prodotti e focalizzando l'attenzione, in particolare, sull'impiego di agenti biologici, fisici, chimici e cancerogeni, per i quali devono essere descritte le precauzioni già adottate per l'impiego, la conservazione, la manipolazione e l'esposizione.

### **C) Caratteristiche dei locali di lavoro**

Descrivere le caratteristiche tipologico-costruttive e i requisiti igienico-sanitari dei locali di lavoro in relazione al loro utilizzo, facendo riferimento alla planimetria dei singoli ambienti. Individuare le porte di uscita, le vie di esodo, le uscite di emergenza e le scale.

### **D) Microclima**

Il clima in un luogo confinato (microclima) è determinato dai valori della temperatura, dell'umidità e dal numero dei ricambi d'aria. Valori estremi di una o più di tali variabili possono produrre condizioni insalubri o comunque di malessere negli ambienti di lavoro. Occorre, quindi, procedere alla specifica valutazione di tali parametri per assumere i provvedimenti necessari al fine di garantire le condizioni di benessere fisiologico dei lavoratori; ad esempio:

- nei posti di lavoro che espongono a temperature elevate (forni di cementifici, altiforni, ecc.) sarà necessario fornire ai lavoratori abbigliamento protettivo, cabine schermate con condizionamento dell'aria e bevande per prevenirne la disidratazione;
- nei posti di lavoro che espongono a temperature basse, sarà necessario fornire loro una stanza riscaldata per le pause, abbigliamento protettivo e bevande calde;
- nei posti di lavoro in cui si producono polveri o fumi dovrà essere previsto uno specifico impianto di aspirazione per questi agenti fisici e un impianto d'areazione per

assicurare il regolare ricambio d'aria al locale.

### **E) Illuminazione**

E' noto che nei locali in cui si realizzano condizioni d'illuminazione naturale insufficiente, anche se integrata con illuminazione artificiale, i presenti avvertono sensazioni di stanchezza e stress, che inducono all'errore. Queste sensazioni dipendono, oltre che dall'intensità, anche dal tipo di luce (calda, fredda, ecc.) e dalla zona illuminata in relazione al lavoro da svolgere.

Occorre, quindi, procedere alla valutazione del livello d'illuminazione a cui sono esposti gli operatori nei singoli locali, distinguendo il tipo e la provenienza della luce:

- a) naturale, (tener conto del numero di finestre e delle superfici vetrate);
- b) artificiale, (tener conto dei tipi di lampade, della potenza installata e dell'intensità luminosa in lux);
- c) diretta;
- d) indiretta.

Sulla scorta di tale valutazione, occorre predisporre le necessarie misure di adeguamento.

Bisognerà anche analizzare l'impianto di illuminazione di emergenza, accertandosi che esso abbia una funzionalità adeguata e sia completato da un impianto di segnalazione delle vie di sfollamento.

### **F) Descrizione degli impianti produttivi, delle macchine e delle attrezzature**

Descrivere gli impianti produttivi, le macchine e le attrezzature in relazione:

- all'installazione, al tipo, ai principi tecnici (ad esempio, comandi di avviamento e di arresto d'emergenza, circuiti idraulici, ecc.);
- alla sicurezza (ad esempio, individuando i punti pericolosi in altezza, larghezza, ecc.);
- alle protezioni (ad esempio, dispositivi contro l'avviamento accidentale, protezioni delle parti mobili e degli organi rotanti a mezzo di carter, griglie, ecc.);
- ai dispositivi di sicurezza;
- alla manutenzione e alla riparazione.

### **G) Descrizione degli impianti tecnologici di servizio**

Descrivere:

- gli impianti elettrici, evidenziandone le caratteristiche in relazione alle norme vigenti

(ad esempio sicurezza dei circuiti, presenza di interruttori differenziali, conformità alle norme CEI, qualità dei componenti), schermi, cabine di trasformazione, quadri elettrici, procedure di manutenzione, ecc.;

- l'impianto di terra (caratteristiche costruttive, omologazioni e verifiche obbligatorie effettuate, con riferimento alle schede di denuncia e al verbale di verifica);
- gli impianti termici (caratteristiche costruttive, omologazioni e verifiche effettuate);
- l'impianto di protezione dalle scariche atmosferiche (caratteristiche, omologazioni e verifiche, manutenzione);
- gli impianti contenenti fluidi in pressione e gli altri impianti eventualmente presenti.

## **H) Prevenzione incendi**

Descrivere, facendo riferimento alle piante dei diversi piani dell'edificio/degli edifici:

- le attività a rischio in relazione alle norme vigenti in materia;
- le caratteristiche delle strutture ai fini della sicurezza antincendio (compartimentazioni verticali e orizzontali<sup>(\*)</sup>, scale di sicurezza, segnaletica, resistenza al fuoco di porte, muri e solai, carico d'incendio);
- le vie di esodo e le uscite di sicurezza;
- gli impianti di rivelazione e di segnalazione d'incendio (rivelatori di fumo, di fiamme, ecc.);
- il sistema di illuminazione di emergenza;
- gli impianti (passivi ed attivi) di lotta antincendio: impianti di estinzione fissi (ad esempio rete di idranti, impianti di spruzzamento, impianti CO<sub>2</sub>, ecc.) e mobili (ad esempio estintori mobili, portatili, ecc.);
- il piano di emergenza e la sua operatività.

Dare relazione della situazione in merito al CPI o, in mancanza, al NOP, alle operazioni di controllo periodico delle attrezzature di estinzione, alle esercitazioni di evacuazione e alla formazione del personale addetto alla prevenzione incendi e alla lotta antincendio.

## **I) Riscontro del registro degli infortuni**

---

<sup>(\*)</sup> Il ricorso alla compartimentazione di un edificio consiste nell'evitare, per un certo tempo, il proporgarsi di un incendio sia nel senso verticale sia in quello orizzontale, cioè nell'impedire che le fiamme e i fumi invadano i piani superiori o si propaghino da una zona a un'altra di uno stesso piano. In pratica, si tratta di sezionare l'edificio in tante parti separate o separabili, in modo ermetico, all'insorgere dell'incendio con opportuni elementi costruttivi, quali muri e porte tagliafuoco, nel caso di compartimentazione orizzontale, e solai resistenti al fuoco, scale e ascensori protetti, ovvero a prova di fumo, nel caso di compartimentazione verticale.

Analizzare gli infortuni sul lavoro occorsi negli ultimi tre anni per l'individuazione delle cause che li hanno determinati, seguendo i passi individuati nel diagramma di flusso di cui alla Fig. 5.5.

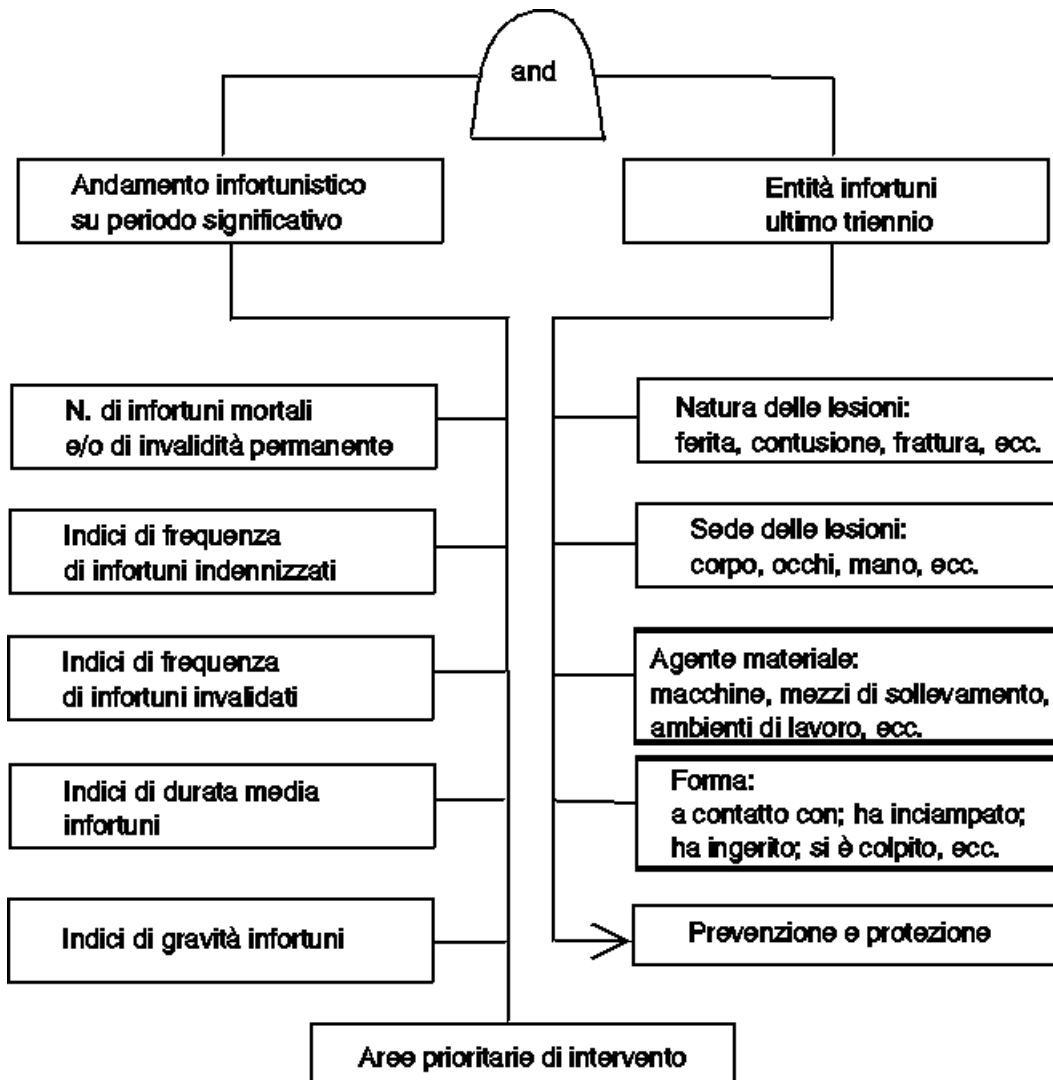


Fig. 5.5 - Analisi degli infortuni.

### L) Rilevamento dei rischi

I rischi, come già accennato possono essere distinti in:

- rischi infortunistici (strutturali, meccanici, elettrici, esplosioni e incendi);
- rischi igienico-ambientali (agenti chimici, ad esempio, polveri, fumo, ecc.; agenti fisici, ad esempio, rumore, vibrazioni, microclima, ecc.; agenti biologici, ad esempio, infezioni per manipolazione di batteri, virus, muffe, infezioni per esposizioni ai microrganismi degli impianti di condizionamento, ecc.; sostanze pericolose, ad

esempio, corrosive, caustiche, irritanti, ecc.);

- rischi dovuti ad altre cause, quali l'organizzazione del lavoro (ad esempio, turni notturni, festivi, ecc.; sistemi di gestione per l'organizzazione, la pianificazione, il monitoraggio e il controllo della sicurezza) e i fattori psicologici (monotonia, stress, isolamento).

L'analisi del registro degli infortuni e più in generale quello delle cause di assenza o allontanamento dal posto di lavoro consente di avere un riscontro sui rischi effettivamente presenti sui posti e nei luoghi di lavoro. Gli esempi riportati di seguito, relativi al rumore e alle vibrazioni, (due fra i rischi maggiormente presenti nelle realtà lavorative), consentono di chiarire questi aspetti ed i relativi provvedimenti preventivi e mitigativi.

Il rumore può essere causa di danni uditivi ed extrauditivi (effetti psichici, quali l'alterazione delle funzioni cognitive, la difficoltà di concentrazione, ecc.; effetti biologici, quali l'aumento di adrenalina e dei livelli plasmatici del cortisolo, ecc.; effetti sulle funzioni psicomotorie). Seguendo la procedura descritta nel decreto legislativo n. 277/1991, devono essere valutati i livelli di esposizione dei singoli lavoratori e, in rapporto ai valori rilevati, attuati i provvedimenti per la loro limitazione, che possono essere di tre tipi:

- riduzione del rumore alla sorgente (ad esempio, prevedendo l'installazione di silenziatori);
- trattamento acustico della singola macchina (ad esempio, prevedendo di installare una cabina afona che la racchiuda) o del locale (ad esempio, prevedendo di installare dei pannelli fonoassorbenti sospesi al soffitto o opportunamente disposti nelle diverse zone, in modo da creare ambienti acusticamente protetti);
- protezione dei lavoratori con mezzi individuali di protezione dell'udito (ad esempio, inserti auricolari o cuffie).

Le vibrazioni negli ambienti di lavoro possono essere di due tipi:

- vibrazioni sul corpo intero;
- vibrazioni mano-braccio.

Le prime vengono trasmesse al corpo intero mediante le superfici che lo sorreggono (i piedi, le natiche, la schiena, ecc.), le seconde direttamente alla mano e al braccio da potenti attrezzature funzionanti a mano.

Le conseguenze, nel primo caso, si manifestano attraverso danni all'apparato respiratorio o

alla colonna vertebrale, nel secondo, mediante danni alle articolazioni e alla circolazione del sangue nelle dita.

Occorre, pertanto, procedere alla valutazione delle vibrazioni e all'adozione di provvedimenti che in genere comportano l'installazione delle macchine su supporti speciali antivibranti o su pavimentazioni galleggianti e l'applicazione di dispositivi antivibranti alle attrezzature funzionanti a mano.

#### **M) Specificazione dei criteri adottati per la valutazione dei rischi individuati**

Tenendo presente - come già detto - che il rischio relativo a ciascun fenomeno pericoloso considerato è funzione della gravità del danno possibile per quel fenomeno pericoloso e della probabilità che si verifichi il relativo danno (cioè dipende da frequenza e durata di esposizione, probabilità di accadimento di un evento pericoloso, possibilità di evitare o di limitare il danno), nella valutazione si fa in generale riferimento a:

- legislazione vigente (norme prescrittive);
- norme tecniche applicate per consuetudine;
- istruzioni dei costruttori delle apparecchiature e degli impianti;
- esperienza e buon senso;
- principi gerarchici della prevenzione;
- rilevazione dati dal registro degli infortuni relativamente all'ultimo triennio.

#### **N) Individuazione delle misure di protezione e prevenzione**

Le misure di protezione sono da individuare nei seguenti principi:

- evitare i rischi eliminando gli elementi di causalità;
- ridurre i rischi se non è possibile evitarli;
- sostituire ciò che è pericoloso con ciò che non lo è o lo è di meno;
- ridurre i rischi alla fonte;
- mantenere i rischi residui sotto controllo;
- limitare il numero dei lavoratori esposti al rischio;
- limitare l'uso degli agenti chimici, fisici, biologici sui luoghi di lavoro.

Le misure di prevenzione sono da individuare nei seguenti principi:

- informare e formare i lavoratori sui rischi;
- consultare i lavoratori su questioni che riguardano la sicurezza e la salute sui luoghi di lavoro;
- allontanare i lavoratori dall'esposizione al rischio per motivi sanitari;

- organizzare i mezzi per attuare i provvedimenti necessari (misure di prevenzione tecniche, organizzative, procedurali e igieniche);
- effettuare controlli sanitari sui soggetti esposti in funzione dei rischi;
- privilegiare la scelta di misure di protezione collettiva;
- adottare misure di protezione individuale qualora il rischio non sia evitabile in un altro modo;
- attuare le seguenti misure di emergenza:
  - pronto soccorso;
  - antincendio;
  - evacuazione;
  - pericolo grave e immediato;
  - disporre la segnaletica (orizzontale e verticale) di avvertimento e di sicurezza;
  - effettuare la manutenzione periodica di ambienti, macchine, impianti e dispositivi di sicurezza.

**O) Programma di attuazione degli interventi di prevenzione e protezione.**

Il programma di attuazione dovrà realizzare dapprima le misure di prevenzione e protezione che possano ridurre i rischi di maggiore entità e le situazioni di pericolo più probabili.

Risulta, quindi, peculiare dell'azienda; tuttavia si possono fornire alcune indicazioni sulle misure che bisogna prevedere di realizzare prima delle altre:

- informazione e formazione dei lavoratori sui rischi derivanti dallo svolgimento delle attività lavorative;
- organizzare il pronto soccorso, equipaggiandolo adeguatamente in funzione dei rischi aziendali e tenendo conto delle informazioni fornite ai lavoratori sull'ubicazione dei mezzi di pronto soccorso e sulle persone da contattare in caso di infortunio, nonché degli orari di lavoro, dei luoghi, delle persone e delle specifiche condizioni di lavoro;
- organizzare il piano di gestione dell'emergenza, comprendente, se del caso, l'evacuazione dei lavoratori, in caso di pericolo grave e immediato, le operazioni di salvataggio e di lotta antincendio;
- organizzare il servizio di prevenzione incendi e di lotta antincendio;
- fornire ai lavoratori i dispositivi di protezione individuale indicati nel documento di valutazione dei rischi.

### **P) Scadenario per la realizzazione dei lavori necessari**

Lo scadenario conterrà le seguenti indicazioni:

- interventi, in ordine di esecuzione;
- l'oggetto della valutazione (macchinari, impianti, microclima, ecc.);
- la data della valutazione;
- la durata presunta dell'intervento;
- la data di inizio dei lavori;
- la data presunta della fine dei lavori.

### **Q) Allegati**

Bisognerà, infine, allegare gli elaborati esplicativi necessari, quali:

- la planimetria generale dell'azienda e le planimetrie dei singoli ambienti in scala 1:100 o 1:150, che dovranno contenere le indicazioni relative all'utilizzo di ciascun ambiente (uffici, reparti, magazzini, ecc.), l'individuazione dei percorsi di sfollamento e dei dispositivi antincendio, il posizionamento schematico degli impianti, delle macchine e delle attrezzature impiegate nei singoli processi produttivi, che costituiscono le fonti di rischio;
- le schede specifiche di indicazione dei pericoli e di individuazione dei rischi (Tab. 5.14);
- il rapporto di valutazione dell'esposizione dei singoli lavoratori al rumore e alle vibrazioni (D. Lgs. 227/1991) per le attività che dovessero comportare tali rischi;
- gli altri elaborati che si rendessero necessari.



SCHEDA N. \_\_\_\_\_

AZIENDA \_\_\_\_\_

Ambiente di lavoro \_\_\_\_\_

Attività svolta \_\_\_\_\_

Caratteristiche strutturali:

- Superficie - S = mq
- Volume - V = mc
- Altezza - h = m
- Sup. finestre - SF = mq

<b>Rischi igienico-ambientali</b>	<b>Rischi infortunistici</b>	<b>Rischi dovuti ad altri fattori</b>
-	-	-
-	-	-
<b>Rilevamenti effettuati</b>	<b>Rilevamenti effettuati</b>	<b>Rilevamenti effettuati</b>
-	-	-
<b>Misure di sicurezza</b>	<b>Misure di sicurezza</b>	<b>Misure di sicurezza</b>
a) già presenti:	a) già presenti:	a) già presenti:
-	-	-
-	-	-
b) immediate:	b) immediate:	b) immediate:
-	-	-
-	-	-
c) breve termine:	breve termine:	breve termine:
-	-	-
-	-	-
d) medio termine:	d) medio termine:	d) medio termine:
-	-	-
-	-	-
<b>Formazione</b>	<b>Formazione</b>	<b>Formazione</b>
-	-	-
-	-	-
<b>Informazioni</b>	<b>Informazioni</b>	<b>Informazioni</b>
-	-	-
-	-	-

Tab. 5.14 - Scheda di individuazione dei rischi e di definizione delle misure di sicurezza.

## ABBREVIAZIONI CAP. 5

A.C.	Autorità Competente
ANPA	Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente
ARPA	Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente
ASL	Azienda Sanitaria Locale
CCR	Centro Comune di Ricerca
CE	Commissione Europea
CEE	Comunità Economica Europea
CPI	Certificato Prevenzione Incendi
CRPI	Comitato Regionale Prevenzione Incendi
CTR	Comitato Tecnico Regionale (Art. 21, comma 1)
D.Lgs.	Decreto Legislativo
DM	Decreto Ministeriale
DNA	Dichiarazione di Non Aggravio dei rischi
D.P.C.M.	Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri
D.P.R.	Decreto del Presidente della Repubblica
FE	Frequenza di Esposizione al pericolo
G.U.	Gazzetta Ufficiale
HRN	Hazard Rating Number
ITEF	International Toxicity Equivalent Factor
ISPESL	Istituto Superiore Prevenzione e Sicurezza del Lavoro
M.A.	Ministero dell'Ambiente
MAPP	Major Accident Prevention Policy document: Documento di Politica di Prevenzione dei Rischi di Incidente rilevante (Art. 7)
MARS	Major Accidents Reporting System
M.I.	Ministero degli Interni
MICA	Ministero dell'Industria, Commercio ed Artigianato
M.L.P.	Ministero dei Lavori Pubblici
MPL	Massimo danno ipotizzabile
NOF	Nulla Osta di Fattibilità
NOP	Nulla Osta Provvisorio di prevenzione incendi
NP	Numero di Persone esposte
P.C.	Protezione Civile
PE	Probabilità Evento
PEA	Piano di Emergenza d'Area
PEE	Piano di Emergenza Esterno
PEI	Piano di Emergenza Esterno
PG	Perizia Giurata
PIA	Piano di Intervento d'Area ad alta concentrazione
PP	Progetto Particolareggiato
RdS	Rapporto di Sicurezza
RLS	Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza
Sdl	Scheda di Informazione (Allegato 5)
SF	Superficie Finestre
SGS	Sistema di Gestione della Sicurezza (Allegato 3)
SSI	Studio di Sicurezza Integrato d'area ad alta concentrazione
SSP	Servizio Prevenzione e Protezione

USA	United States of America
USL	Unità Sanitaria Locale
VVF	Vigili del Fuoco

## **NOTE BIBLIOGRAFICHE DEL CAP. 5**

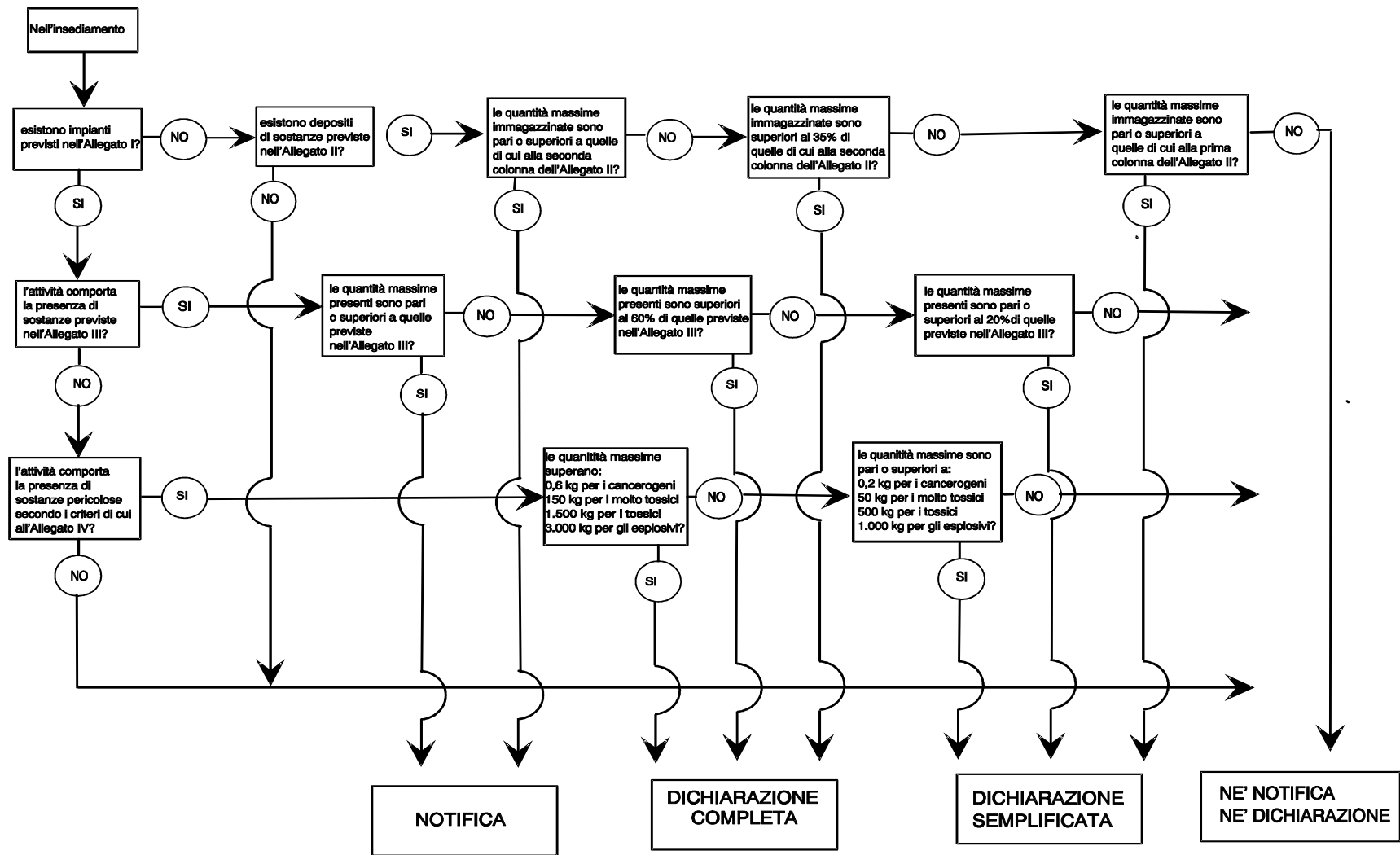
Il contenuto dei paragrafi 5.4 - 5.6 è in gran parte ripreso, sia pure con modifiche ed integrazioni, dal volume di Raffaele GIGANTE:

"Manuale della Sicurezza del Lavoro", Ed. HOEPLI, Milano, 1997.

A tale testo si rimanda quindi per eventuali approfondimenti.













## **6 - CONSIDERAZIONI FINALI**

A conclusione del corso, che in definitiva costituisce una introduzione all'analisi di sicurezza degli impianti industriali, appare opportuno focalizzare l'attenzione sui principali aspetti su cui si può agire per ottimizzare la sicurezza di un impianto:

- 1 - localizzazione e valutazione dei dati per il progetto legati al sito;
- 2 - ottimizzazione e controllo della sicurezza in esercizio.
- 3 - riscontro che il livello di cultura di sicurezza dell'azienda è adeguatamente elevato.

## **6.1 - LOCALIZZAZIONE E VALUTAZIONE DEI DATI PER IL PROGETTO LEGATI AL SITO**

Le caratteristiche del sito, che hanno fondamentale influenza sul livello di sicurezza dell'impianto, concernono:

- a) le possibilità o meno di eventi di origine esterna contro cui non è possibile proteggere l'impianto e che possono innescare gravi incidenti. Questi eventi gravi possono essere:
  - naturali (forti terremoti ed importanti inondazioni);
  - legati ad attività umane (possibilità di esplosioni o incendi dovuti alla prossimità di depositi di sostanze infiammabili ed esplosive, nubi tossiche, ecc.);
- b) la garanzia che le conseguenze di un incidente non vengono rese più gravi delle condizioni locali. Rientrano in questo gruppo:
  - le caratteristiche di distribuzione di popolazione intorno all'impianto;
  - quelle di dispersione di sostanze tossiche in aria e nelle acque superficiali e sotterranee;
  - la fattibilità del piano di emergenza per l'incidente di riferimento; ad esempio, le condizioni di viabilità e distribuzione della popolazione, la presenza nelle vicinanze di scuole, ospedali e prigioni possono rendere difficile l'attuazione di un piano di emergenza.

## **6.2 - OTTIMIZZAZIONE E CONTROLLO DELLA SICUREZZA IN ESERCIZIO**

Va subito osservato che non è facile separare la sicurezza conseguente alle scelte fatte in sede di progetto con quella dipendente dall'esercizio. Il progetto dell'impianto deve essere eseguito in modo da rendere più sicuro l'esercizio, rendendo facile operare l'impianto e mantenerlo. I punti seguenti focalizzano l'attenzione su una serie di aspetti, almeno in parte trattati o accennati nei capitoli precedenti.

### **A) Interfaccia uomo-macchina**

Un progetto deve essere ergonomico, cioè deve aver tenuto in adeguata considerazione l'interfaccia uomo-macchina.

La presentazione in sala di controllo della situazione dei vari sistemi dell'impianto e delle variabili di esercizio deve essere semplice e tale da facilitare da parte degli operatori la comprensione dell'attuale stato dell'impianto e la identificazione precoce di una situazione anomala. La strumentazione e gli allarmi per le condizioni anormali devono essere ben studiati e tali da permettere corretti interventi da parte degli operatori (strumentazione per l'incidente).

### **B) Istruzioni per l'esercizio in situazioni normali ed anormali**

Devono essere preparate opportune istruzioni per l'esercizio (meglio se insieme dai progettisti e dagli operatori), convalidate durante la messa in marcia dell'impianto. Le istruzioni per le condizioni incidentali devono essere basate sui sintomi e non su eventi o sequenze di eventi incidentali, non sempre identificabili semplicemente da parte degli operatori. Le istruzioni per le condizioni accidentali gravi devono essere basate sulle funzioni di sicurezza da ripristinare (controllo dei processi, contenimento dei prodotti pericolosi).

### **C) Collaudo**

L'impianto è collaudato prima con prove eseguite su ogni sistema e poi con prove combinate sulla base di specifiche scritte di prova. Le specifiche sono preparate congiuntamente da personale della ditta che ha progettato e costruito l'impianto e dal

personale di esercizio. I risultati delle prove sono registrati e così le modifiche di impianto, con un accurato sistema di garanzia della qualità.

#### **D) Manutenzione**

Una delle più comuni cause di incidenti sono gli errori di manutenzione. I componenti devono essere disposti in modo che la manutenzione sia facilmente eseguibile e sia facilmente controllabile la sua corretta esecuzione. La manutenzione deve essere programmata e devono essere presenti sull'impianto adeguate scorte di parti di riserva. Il tutto va sottoposto ad un accurato programma di garanzia della qualità.

#### **E) Addestramento e riaddestramento del personale**

Passando alla ottimizzazione dell'esercizio vero e proprio, è necessario che il personale sia addestrato per ben operare in condizioni normali ed anormali, e che sia periodicamente riaddestrato, per assicurarsi che sia sempre capace di eseguire rapidamente quelle manovre che occorre fare raramente o mai in esercizio normale. L'addestramento del personale è essenziale per evitare l'incidente, ma è anche importante per ridurre le conseguenze con le più opportune manovre, se l'incidente avviene (gestione dell'incidente). Questo deve essere fatto già prima che l'impianto entri in esercizio; niente può essere lasciato all'improvvisazione.

#### **F) Ispezioni e revisioni non regolamentari**

Gli Enti di controllo provvedono ad eseguire ispezioni per assicurarsi che l'impianto ha e mantiene le sue caratteristiche di sicurezza. Di solito però queste ispezioni sono specifiche per certi aspetti della sicurezza (sicurezza dei recipienti in pressione, rispetto alla normativa di protezione dei lavoratori, ecc.) e comunque, anche se estese a tutto l'impianto, non possono essere molto approfondite, perchè manca il tempo e la competenza specializzata necessaria da parte degli ispettori. Di solito si riconosce che le ispezioni regolamentari sono degli "spot checks", cioè dirette ad esaminare statisticamente solo certe parti dell'impianto; se queste si rivelano in corretto stato, si deduce che l'impianto probabilmente è ben mantenuto ed esercito.

Negli ultimi tempi si è riconosciuto che è possibile organizzare delle ispezioni non regolamentari, che possono essere anche più efficaci di quelle stabilite per legge. In alcuni paesi, Associazioni di esercenti hanno organizzato gruppi di revisione per certi tipi di

impianto. Le revisioni sono del tutto informali ed eseguite con personale di alto livello, normalmente coinvolto nella direzione di altri impianti simili. I gruppi che eseguono le ispezioni sono costituiti al più da una dozzina di persone e la revisione può durare una o più settimane, riguardando normalmente i seguenti argomenti:

- gestione, organizzazione ed amministrazione
- addestramento personale
- esercizio
- manutenzione
- supporto tecnico
- protezione dei lavoratori
- processi chimici e corrosione
- pianificazione di emergenza (compreso l'addestramento ad affrontare un'emergenza).

Le conclusioni e raccomandazioni sono molto informali e trasmesse direttamente ai più alti dirigenti dell'impianto ispezionato. Se lo stato dell'impianto desta preoccupazioni collegialmente nel Gruppo che ha effettuato la revisione, questo è portato a conoscenza del presidente della Associazione degli esercenti e da questi comunicato al presidente della società ispezionata.

### **6.3 - LIVELLO DI CULTURA DI SICUREZZA**

Il concetto di cultura di sicurezza si sta affermando sempre più. Un ottimo sito, un ottimo progetto, buone norme regolamentari non sono sufficienti per ottimizzare la sicurezza. Per ottenere questo risultato è necessario che chiunque partecipa al progetto, ma soprattutto all'esercizio dell'impianto, si sforzi di acquisire e di far acquisire ai suoi dipendenti le necessarie conoscenze, adempì ai suoi compiti con competenza e spirito di iniziativa, definisca gli obiettivi di sicurezza e le relative responsabilità, ed in definitiva metta la sicurezza in prima linea. Questo non fa parte della sicurezza regolamentare, ma di una sicurezza non prescrittiva, che deve essere raggiunta con gli sforzi continui di tutti coloro che sono coinvolti in azioni che possono influire sulla sicurezza.

In campo nucleare, per aiutare coloro che vogliono assicurarsi che il livello di sicurezza della loro società è adeguatamente elevato, sia per quanto concerne l'impianto che il personale di esercizio, è stato recentemente pubblicato sull'argomento un rapporto del Gruppo Internazionale di Consultazione Superiore per la Sicurezza (INSAG) dell'IAEA (Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica, una Agenzia delle Nazioni Unite). Il gruppo è composto da esperti di rinomanza mondiale di Enti di controllo, centri di ricerca ed esercenti di impianti nucleari.

Il rapporto tratta tutto il problema della cultura di sicurezza ed in appendice contiene una serie di indicatori di cultura di sicurezza, per permettere ai Governi, agli enti di controllo, alle società responsabili dell'esercizio ed ai progettisti di autoesaminarsi e riscontrare se il livello di cultura di sicurezza è adeguato. La lista degli indicatori di cultura della sicurezza comprende la seguenti voci:

- strategia di sicurezza della società;
- prassi di sicurezza nella società;
- definizione delle responsabilità;
- addestramento del personale;
- selezione dei dirigenti;
- revisione del livello di sicurezza;
- enfasi sulla sicurezza;
- carico di lavoro del personale;
- relazioni fra dirigenti ed enti di controllo;
- atteggiamento dei dirigenti;

- atteggiamento del personale;
- specifiche procedure adottate sull'impianto;
- supervisione dei dirigenti sui posti di lavoro.

Il rapporto "Safety Culture" dell'INSAG (un documento di circa 30 pagine) è a disposizione /1/; esso può essere usato per l'autoesame del livello di cultura di sicurezza in impianti pericolosi.

## **6.4 - CONCLUSIONI**

La legge italiana sugli impianti pericolosi non è basata come in altri paesi sulla costituzione di un ispettorato centrale di adeguate competenza, composizione e strutture, che esegue l'analisi dei rapporti di sicurezza e le relative ispezioni. Questo richiede che l'industria si autoregoli con importanti azioni di sicurezza "non basate su prescrizioni". La statistica dimostra che gli incidenti avvengono. Gli industriali possono non solo ridurre il numero e la gravità degli incidenti, ma essere preparati a dimostrare che hanno fatto tutto quanto era possibile per costruire e mantenere i loro impianti sufficientemente sicuri. Questo dovrebbe permettere ai dirigenti di essere fieri dello stato della loro industria ed in definitiva di lavorare con animo più sereno.

Un problema si pone a questo punto: qual'è il livello di sicurezza accettabile?. In proposito, si riveda la parte finale del primo capitolo ed in particolare la Fig. 1.5, che mostra le curve limite di rischio, accettabile senza riserve e inaccettabile, adottate nello stato olandese per l'analisi di rischio dell'area di Rijmond /2/. Questo paese è stato il primo ad aver adottato obiettivi di sicurezza quantitativi per tutte le attività, mentre altri paesi l'hanno fatto solo per il nucleare, esplicitamente o in modo implicito (Stati Uniti, Canada, Argentina, ecc.).

In conseguenza del recepimento nella legislazione del nostro Paese della direttiva Seveso, per avere un minimo di certezza del diritto e quindi per togliere motivi di controversia, a mio parere, curve di rischio del tipo di quelle riportate in Fig. 1.5 dovrebbero essere definite e applicate per tutte le attività.



**BIBLIOGRAFIA CAP. 6**

- /1/ INSAG: "Safety Culture" - IAEA Safety Series n. 75, - INSAG-4, Vienna, 1991.
- /2/ B.J. ALE: "Risk Analysis and Safety Policy" - Direzione Generale della Protezione Ambientale del Governo Olandese - l'AIA, 1986.



