

Lorenzo Fedele

Progettare e gestire la sicurezza

Gli infortuni sul lavoro e, conseguentemente, la sicurezza da alcuni mesi sono oggetto di attenzione quasi continua da parte dei mass media. Il fenomeno, la cui drammaticità è nota in tutta la crudezza soprattutto a chi ha assistito dal vivo a un incidente o alle sue conseguenze, merita indubbiamente grande attenzione, purché non manchi il rigore che la gravità dell'argomento richiede.

Non vi è dubbio che quello della sicurezza è innanzi tutto un problema culturale. Ma la sicurezza è anche una complessa disciplina tecnica, suscettibile di progettazione, di attuazione e di azioni gestionali. L'esecuzione di una efficace analisi dei rischi, che tenga nel debito conto tutte le componenti di un contesto produttivo e, in primo luogo, la componente umana - anche da un punto di vista comportamentale - se da una parte è di fondamentale importanza in ogni fase di qualsivoglia processo aziendale, dall'altra richiede competenze e conoscenze specialistiche.

Lorenzo Fedele è Ricercatore e insegna Sicurezza degli Impianti Industriali (sedi di Roma, Latina e Civitavecchia) e di Impianti Industriali (sede di Latina) presso la Sapienza Università di Roma, Segretario Generale del Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione (CNIM) e Presidente della commissione tecnica europea per la normazione nel settore della Manutenzione (CEN TC 319 "Maintenance").

€ 28,00 (i.i.)

▶ www.mcgraw-hill.it

▶ www.ateneonline.it

ISBN 978-88-386-6673-5



9 788838 666735

6673-5

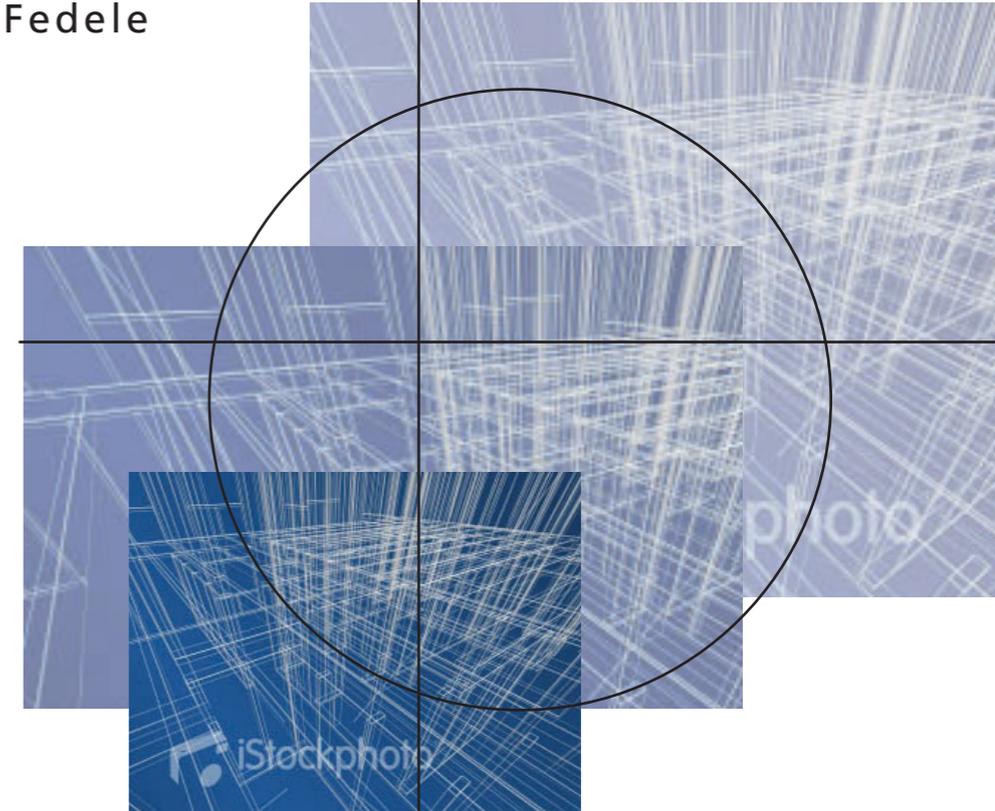
Mc
Graw
Hill

INGEGNERIA
CIVILE

Lorenzo Fedele

Progettare e gestire la sicurezza

Lorenzo Fedele



Progettare e gestire la sicurezza

McGraw-Hill



Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione

Gli infortuni sul lavoro e, conseguentemente, la Sicurezza sono oggetto di attenzione quasi continua da parte dei mass media.

Il fenomeno, la cui drammaticità è nota in tutta la crudezza soprattutto a chi ha assistito dal vivo a un incidente o alle conseguenze di esso, merita indubbiamente grande attenzione, purché non manchi il rigore che la gravità dell'argomento richiede.

Non vi è dubbio che quello della Sicurezza è innanzi tutto un problema culturale. Ma la Sicurezza è anche una complessa disciplina tecnica, suscettibile di progettazione, di attuazione e di azioni gestionali. L'esecuzione di una efficace analisi dei rischi che tenga nel debito conto tutte le componenti di un contesto produttivo, in primo luogo la componente umana (anche da un punto di vista comportamentale), se da una parte è di fondamentale importanza in ogni fase di qualsivoglia processo aziendale, dall'altra richiede competenze e conoscenze specialistiche.

Lorenzo Fedele è docente di ruolo di "Sicurezza degli Impianti Industriali" (sedi di Roma, Latina e Civitavecchia) e di "Impianti Industriali" (sede di Latina) presso l'Università "La Sapienza" di Roma, Segretario Generale del Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione (CNIM) e Presidente della commissione tecnica europea per la normazione nel settore della Manutenzione (CEN TC 319 "Maintenance").

Introduzione

L'uomo e la sua sicurezza devono costituire la prima preoccupazione di ogni nuova avventura tecnologica. Non lo dimenticate quando sarete immersi nei vostri calcoli e nelle vostre equazioni.

Albert Einstein

Il presente volume nasce dall'esperienza pluriennale di ricerca, didattica e professionale degli Autori e si propone quale manuale di supporto alla didattica e all'operatività. Esso volutamente non prende direttamente in considerazione la normativa di legge, alla quale comunque inevitabilmente ci si riferisce; viceversa, propone una visione unitaria, trasversale e sistemistica della Sicurezza.

Partendo dall'approccio tecnico e normativo europeo oramai definitivamente consolidato, il volume affronta il problema della pianificazione e del miglioramento della sicurezza, con riferimento ai principali sistemi tecnici (ambienti, impianti, macchine ed apparecchiature, cantieri). A tale scopo, si propongono - quali momenti centrali - quello della ispezione del sistema tecnico e quello della conseguente analisi dei rischi. Entrambi le attività, generalmente molto trascurate nella letteratura esistente, sono proposte così da risolvere in modo soddisfacente, sia in termini tecnici, sia in termini di responsabilità giuridiche (personali e dell'organizzazione), il problema della formazione del giudizio di rischio "credibile", che non sia la mera descrizione qualitativa di fatti noti, scontati e poco utili ai fini del miglioramento.

Sono inoltre accennati i fenomeni rischiosi più frequenti e uno spazio particolare è dedicato al tema del fattore umano (anch'esso piuttosto trascurato nella letteratura tecnica esistente) e a quello dell'organizzazione della sicurezza (in conformità alle norme tecniche più riconosciute), utile nell'ottica della gestione migliorativa continua (come già sancito nell'art. 2087 del C.C., oggi ampiamente ripreso dal recente testo unico D.Lgs. 81/08).

Roma, settembre 2008

Lorenzo Fedele

Indice

| | |
|--|-----------|
| Introduzione | IX |
| 1 Il rischio di danno nei sistemi di produzione | 1 |
| 1.1 Definizioni generali | 1 |
| 1.2 Le determinanti del rischio | 4 |
| 1.3 Cenni sulla probabilità | 6 |
| 1.4 Integrazione della sicurezza | 8 |
| 1.5 Dalle evidenze oggettive alla formazione del giudizio di rischio | 10 |
| 1.6 Requisiti dell'analisi dei rischi | 11 |
| 1.7 La logica sfumata per la definizione del giudizio di rischio | 12 |
| 1.8 Grado di confidenza del giudizio di rischio | 14 |
| 1.9 Principali misure di prevenzione e protezione | 16 |
| 1.10 Campo di applicazione della sicurezza e Complessità | 20 |
| 2 I rischi da guasto | 24 |
| 2.1 Introduzione | 24 |
| 2.2 Il rischio meccanico | 26 |
| 2.2.1 Misure di protezione | 28 |
| 2.2.2 Mezzi di protezione e sistemi di comando | 29 |
| 2.2.3 Scelta dei ripari e dei dispositivi di protezione | 35 |
| 2.2.4 La manutenzione delle macchine | 39 |
| 2.2.5 Requisiti essenziali di sicurezza delle macchine | 40 |
| 2.3 Sicurezza degli edifici e degli ambienti di lavoro | 48 |
| 2.3.1 Gli edifici industriali | 49 |
| 2.3.2 I materiali per gli edifici industriali | 50 |
| 2.3.3 Le fondazioni | 52 |
| 2.3.4 I carichi nelle strutture | 53 |
| 2.3.5 Illuminazione dei fabbricati | 53 |
| 2.3.6 Rivestimenti | 56 |
| 2.4 Il rischio elettrico | 57 |
| 2.4.1 Effetti della corrente sul corpo umano | 58 |
| 2.4.2 I guasti e i pericoli elettrici | 61 |
| 2.4.3 Prescrizioni per la sicurezza elettrica | 64 |
| 2.4.4 La protezione dai guasti e gli interruttori elettrici | 74 |
| 2.4.5 La protezione dalle scariche atmosferiche | 75 |
| 2.5 Rischio di incendio | 80 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2.5.1 | Introduzione | 80 |
| 2.5.2 | I principi generali della combustione | 81 |
| 2.5.3 | I combustibili | 83 |
| 2.5.4 | L'innesco | 84 |
| 2.5.5 | La dinamica dell'incendio | 85 |
| 2.5.6 | Effetti dell'incendio e prodotti della combustione | 87 |
| 2.5.7 | Classificazione degli incendi e gli agenti estinguenti | 89 |
| 2.5.8 | Prevenzione e protezione incendi | 91 |
| 2.5.9 | La valutazione del rischio incendio | 92 |
| 2.5.10 | La resistenza al fuoco e la compartimentazione | 93 |
| 2.5.11 | Cenni sulle misure di protezione passiva e attiva | 94 |
| 2.5.12 | La gestione delle emergenze | 94 |
| 3 | I rischi da esposizione | 99 |
| 3.1 | Introduzione | 99 |
| 3.2 | Principali fenomeni di esposizione e misure di controllo | 101 |
| 3.3 | Igiene ambientale | 102 |
| 3.3.1 | Qualità dell'aria indoor | 105 |
| 3.4 | Ambiente termico | 107 |
| 3.4.1 | Ambienti termici moderati | 110 |
| 3.4.2 | Ambienti termici severi caldi | 113 |
| 3.4.3 | Ambienti termici severi freddi | 115 |
| 3.5 | Illuminazione | 116 |
| 3.5.1 | L'illuminazione degli ambienti lavorativi interni | 121 |
| 3.5.2 | La verifica delle condizioni di illuminazione | 125 |
| 3.5.3 | Cenni sull'illuminazione di sicurezza | 125 |
| 3.6 | Rumore e vibrazioni | 127 |
| 3.6.1 | Il rumore | 127 |
| 3.6.2 | Analisi dell'ambiente sonoro | 133 |
| 3.6.3 | Interventi per il controllo del rumore | 136 |
| 3.6.4 | Le vibrazioni | 139 |
| 3.7 | Rischio chimico e biologico | 143 |
| 3.7.1 | La valutazione del rischio chimico | 144 |
| 3.7.2 | La valutazione del rischio biologico | 147 |
| 4 | Rischi di incidente rilevante | 152 |
| 4.1 | Introduzione | 152 |
| 4.2 | Criteri generali di classificazione | 153 |
| 4.3 | Analisi e valutazione dei rischi di incidente rilevante | 153 |
| 4.4 | Adempimenti principali | 155 |
| 4.5 | Cenni sui principali fenomeni di inquinamento | 158 |
| 4.5.1 | Nube tossica | 158 |
| 4.5.2 | Esplosione | 159 |
| 4.5.3 | Sversamento | 159 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | Il fattore umano | 161 |
| 5.1 | Introduzione | 161 |
| 5.2 | Errori umani legati a fattori comuni | 162 |
| 5.3 | Errori umani legati a fattori specifici | 166 |
| 5.4 | Errori umani legati all'uso di sostanze psicotrope | 169 |
| 5.5 | Il fattore umano nei sistemi tecnici produttivi | 170 |
| 5.6 | Organizzazioni complesse ed errori | 171 |
| 5.7 | Error management e comportamento umano | 174 |
| 5.8 | Il ruolo della comunicazione nell'error management | 177 |
| 5.9 | Le metodologie per la valutazione del fattore umano: stato dell'arte e progetti di ricerca | 179 |
| 5.10 | Conclusioni | 180 |
| | | |
| 6 | Metodologie di analisi dei rischi | 183 |
| 6.1 | Introduzione | 183 |
| 6.2 | Classificazione dei metodi | 186 |
| 6.3 | Selezione della metodologia | 187 |
| 6.4 | Metodi di origine normativa | 188 |
| 6.4.1 | Modalità di applicazione | 189 |
| 6.4.2 | Pregi e limiti del metodo | 193 |
| 6.4.3 | Esempio di applicazione del metodo | 193 |
| 6.5 | Metodo proposto dallo standard MIL-STD-882 | 194 |
| 6.5.1 | Modalità di applicazione | 194 |
| 6.5.2 | Pregi e limiti del metodo | 196 |
| 6.5.3 | Esempio di applicazione del metodo | 196 |
| 6.6 | Metodo proposto dall'AISS-ISPEL | 197 |
| 6.6.1 | Modalità di applicazione | 197 |
| 6.6.2 | Valutazione del rischio legato al materiale | 198 |
| 6.6.3 | Valutazione del rischio legato all'ambiente di lavoro | 199 |
| 6.6.4 | Valutazione della capacità dell'individuo di dominare il rischio | 200 |
| 6.6.5 | Valutazione del rischio infortunio | 201 |
| 6.6.6 | Pregi e limiti del metodo | 201 |
| 6.6.7 | Esempio di applicazione del metodo | 202 |
| 6.7 | Metodo AHP | 203 |
| 6.7.1 | Modalità di applicazione | 203 |
| 6.7.2 | Pregi e limiti del metodo | 207 |
| 6.7.3 | Esempio di applicazione del metodo | 208 |
| 6.8 | Cenni sulle metodologie di derivazione affidabilistica | 211 |
| 6.8.1 | FMECA | 211 |
| 6.8.2 | HAZOP | 211 |
| 6.8.3 | Fault Tree Analysis | 212 |
| 6.8.4 | Event Tree Analysis | 213 |
| 6.9 | Metodologie avanzate per la valutazione dei rischi | 213 |
| 6.9.1 | Reti neurali artificiali | 214 |
| 6.9.2 | Logica fuzzy | 215 |
| 6.9.3 | Algoritmi genetici | 216 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | Organizzazione e gestione della sicurezza | 219 |
| 7.1 | Introduzione | 219 |
| 7.2 | Il “sistema di gestione” | 221 |
| 7.2.1 | Sistema di gestione e complessità | 221 |
| 7.2.2 | I principi di un sistema di gestione | 222 |
| 7.2.3 | Elementi per la progettazione dell’organizzazione e della gestione | 224 |
| 7.2.3.1 | L’analisi dei processi | 224 |
| 7.2.3.2 | La struttura organizzativa | 226 |
| 7.2.3.3 | Il ciclo PDCA | 227 |
| 7.3 | Dalla politica all’attuazione | 230 |
| 7.3.1 | Le fasi per l’attuazione del SGS&S | 231 |
| 7.3.2 | Flusso per l’attuazione del SGS&S | 232 |
| 7.3.3 | La politica per la salute e la sicurezza | 234 |
| 7.3.4 | La pianificazione | 234 |
| 7.3.5 | L’attuazione e il funzionamento | 236 |
| 7.3.6 | Le verifiche e le azioni correttive | 241 |
| 7.3.7 | Il riesame della direzione | 242 |
| 7.4 | I benefici derivanti dall’attuazione SGS&S | 244 |
| 8 | Pianificazione e conduzione dell’ispezione per la sicurezza | 246 |
| 8.1 | Definizioni generali | 246 |
| 8.2 | L’ispezione e il team di ispezione | 248 |
| 8.3 | La pianificazione dell’ispezione | 249 |
| 8.4 | La documentazione a supporto dell’ispezione | 250 |
| 8.5 | Le osservazioni, le misurazioni e le interviste | 251 |
| 8.6 | L’individuazione delle non conformità oggettive e delle osservazioni | 252 |
| 8.7 | La formalizzazione del rapporto di ispezione | 253 |
| 8.8 | Il campo di applicazione delle ispezioni per la sicurezza | 254 |
| 9 | La pianificazione del miglioramento della sicurezza | 255 |
| 9.1 | Introduzione al miglioramento della sicurezza | 255 |
| 9.2 | I costi della sicurezza | 257 |
| 9.3 | La pianificazione degli interventi di miglioramento | 258 |
| 9.3.1 | Il diagramma di Gantt | 259 |
| 9.3.2 | La metodologia PERT | 260 |
| 9.4 | Indicatori per la misura del miglioramento | 262 |
| 9.5 | Conclusioni | 263 |
| | Indice analitico | 265 |

Il rischio di danno nei sistemi di produzione

*M.Concetti - C.Corteggiani

1.1 Definizioni generali

La *Sicurezza* (dal latino “sine cura”, ovvero “assenza di preoccupazione”) può essere considerata come la “conoscenza che l’evoluzione di un sistema (si veda il successivo Paragrafo 1.9) non produrrà stati indesiderati” [*Wikipedia, enciclopedia libera*]. In termini ancora più semplici, la Sicurezza ha a che vedere con il grado di conoscenza che quanto si pone in essere - generalmente in una attività produttiva ma non solo - non provocherà danni.

La conoscenza scientifica, basata quindi su osservazioni ripetibili, di un sistema tecnico può garantire la valutazione quantitativa della sua sicurezza e la capacità di tenere sotto controllo gli aspetti antinfortunistici correlati. Se per scienza si intende un complesso organico di conoscenze conseguite in modo sistematico allo scopo di giungere ad una descrizione il più possibile rigorosa della realtà, si definisce *scienza della sicurezza* la disciplina che studia il *rischio* nelle sue varie forme, dirette ed indirette, e ne valuta la possibilità di riduzione al di sotto di soglie accettabili per l’uomo e per le attività produttive di suo interesse.

L’eliminazione del rischio è concettualmente impossibile poiché le variabili correlate sono numerosissime e non sempre quantificabili in modo compiuto; è per questa ragione che si parla di *riduzione del rischio*. Il rischio che non si riesce ad annullare viene definito *rischio residuo*. Talvolta non si accetterebbe la sussistenza di un ri-

*Il Capitolo è stato redatto in collaborazione con:

Massimo Concetti, Ingegnere, Responsabile tecnico certificazione aziendale del CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione ed esperto in Sicurezza. Collabora con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell’Università Sapienza di Roma.

Chiara Corteggiani, Ingegnere, specializzata in Sicurezza, in metodologie di analisi dei rischi e nella conduzione delle ispezioni per la sicurezza. Collabora su tali tematiche con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell’Università Sapienza di Roma e con il CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione.

schio pur tollerabile, specie quando in gioco vi è la vita umana, ma la realtà ci impone di considerare variabili non facilmente controllabili, che lasciano inesorabilmente spazio al rischio residuo. Né può considerarsi accettabile il principio della “ragionevole praticabilità” delle soluzioni tecniche. Obiettivo della Sicurezza diviene, quindi, la valutazione dei rischi e l’assicurazione che essi rientrino all’interno di limiti accettabili.

Si è parlato di rischio e valutazione del rischio stesso; si darà ora una definizione di tali espressioni.

Il *rischio* è un concetto connesso con le aspettative umane. Indica un potenziale effetto negativo sulla vita umana e/o su un bene che può derivare dai processi in corso e dai possibili eventi impreveduti ad essi riconducibili. Nel linguaggio comune, “rischio” è spesso usato come sinonimo di probabilità di una perdita o di un pericolo. Nella valutazione del rischio professionale, il rischio assume il significato di una grandezza quantificabile correlata ai fenomeni potenzialmente dannosi che si possono considerare e che può essere fatta oggetto di valutazione, sulla base di misurazioni fisiche, di dati storico-statistici, di riferimenti normativi e di valutazioni logiche e di esperienza. In tale senso, sul piano della formalizzazione analitica, si introducono algoritmi di valutazione (più o meno analitici/sintetici, più o meno parametrizzati, più o meno qualitativi/quantitativi ecc.) nei quali generalmente si combina la probabilità del verificarsi di un evento con l’impatto che tale evento potrebbe avere e con le varie circostanze di accadimento (ambientali, umane, materiali ecc.).

Esistono conseguentemente molte definizioni matematiche della grandezza rischio che dipendono dalle applicazioni e dal contesto. In generale, ogni indicatore di rischio è proporzionale al danno atteso e alla sua probabilità di accadimento. Le formalizzazioni matematiche dipendono poi dal contesto e dal metodo di valutazione [*La dinamica del rischio, 2002*].

I rischi, come si diceva, sono grandezze relative a eventi dannosi. Essi sono variamente classificati in letteratura in funzione delle esigenze professionali di formalizzazione teorica.

Una prima classificazione si fonda sulle modalità del verificarsi del danno:

- rischi da guasto, ovvero rischi correlati al verificarsi di un comportamento anomalo (il guasto) nel funzionamento di un sistema tecnico e/o nell’attuazione del processo produttivo realizzato da quel sistema tecnico
- rischi da esposizione, ovvero rischi correlati all’esposizione di un lavoratore, per un dato tempo, ad un agente inquinante o tossico caratterizzato da una certa concentrazione e tale, quindi, da determinare l’assorbimento di una dose - potenzialmente dannosa - dell’agente espositivo.

Una seconda classificazione dei rischi ha a che vedere con i fenomeni fisici sottesi e potenzialmente dannosi:

- rischi meccanici
- rischi ergonomici
- rischi elettrici
- rischi di incendio
- rischi chimici

- rischi fisici
- rischi biologici
- rischi strutturali
- rischi igienico-ambientali
- rischi micro-climatici.

Alla precedente elencazione tradizionale dei rischi, negli ultimi anni si sono aggiunte ulteriori categorie di rischio sulle quali si va sempre più focalizzando l'attenzione:

- rischi organizzativi
- rischi legati al fattore umano.

L'importanza fondamentale di queste due “nuove” categorie di rischio risulterà chiara dalla lettura dei capitoli successivi del presente volume e discende dalla considerazione logica e comprovata dai fatti che, anche in contesti produttivi perfettamente adeguati sul piano tecnico e materiale, non sono affatto infrequenti incidenti anche particolarmente gravi. Del resto, da un punto di vista concettuale è di tutta evidenza che – a ben vedere – la gran parte degli incidenti sono riconducibili all'elemento umano. Ciò è stato dimostrato da diverse autorevoli ricerche, in gran parte riconducibili al lavoro scientifico di Heinrich [*Industrial accident prevention: a safety management approach, 1980*]. Uno dei dati che emerge con chiarezza da tali studi consiste nel fatto che l'attività dell'infortunato o di terzi rappresenta il determinante di oltre il 50% degli infortuni; inoltre, nel 70% dei casi, l'attività dell'infortunato rappresenta un modulatore “negativo”: ossia, quando l'esito dell'infortunio è legato a più fattori, l'attività dell'infortunato costituisce nella maggior parte dei casi un fattore aggravante.

Una terza classificazione dei rischi si riferisce all'ambito di riferimento, temporale e/o geografico:

- rischi locali
- rischi per l'ambiente (su scala regionale, nazionale, continentale)
- rischi con conseguenze a breve termine
- rischi con conseguenze a lungo termine (anche mesi o anni).

Sul piano concettuale e terminologico, inoltre, è bene considerare la distinzione che esiste, anche a livello normativo, fra “rischio” e “pericolo”, talvolta impropriamente usati come sinonimi. Sul significato del rischio si è già detto; per “pericolo”, altresì, deve intendersi la circostanza oggettiva del rischio: in un sistema tecnico nel quale sussista il rischio elettrico, tale rischio potrà avere diverse circostanze concrete, diversi pericoli, che ne giustificano l'analisi e la valutazione: per esempio, la perdita di isolamento in una linea elettrica, ovvero il malfunzionamento di un interruttore magnetico ecc.

L'*analisi dei rischi* è il processo progettuale che consente di identificare, analizzare e quantificare i rischi, in relazione ai pericoli presenti, nonché pianificare le misure

necessarie a tenere sotto controllo la sicurezza, entro limiti di tollerabilità giudicati accettabili. L'analisi del rischio, dunque, si pone come attività progettuale fondamentale in qualunque sistema tecnico in cui sussistano problemi di sicurezza e ai quali principalmente si farà riferimento nel presente volume:

- ambienti di lavoro in genere
- ambienti di lavoro speciali (sotterranei ecc.)
- processi produttivi
- cantieri
- prodotti, apparecchiature, macchine e impianti
- processi produttivi a rischio di incidente rilevante.

L'analisi dei rischi è lo strumento tecnico grazie al quale si è passati da un'impostazione normativa largamente impositiva a una impostazione basata sulle conoscenze tecniche. Infatti, la nuova importanza attribuita ad essa quale strumento di progettazione e definizione quantitativa dei livelli di sicurezza offre molte possibilità e liberalità ai soggetti responsabili. L'analisi dei rischi, dunque, non può essere improvvisata; essa, bensì, deve essere oggetto di attenta progettazione e pianificazione, sulla base di metodologie consolidate, quali quelle esposte nei prossimi capitoli del presente volume.

1.2 Le determinanti del rischio

In via preliminare e generale, scomporre il rischio nei suoi fattori costituenti richiede la considerazione dei seguenti elementi:

- la probabilità (p_i) – classica o assiomatica - o la frequenza (f_i) – storica - degli incidenti [*Progettare e gestire la manutenzione, 2004*] con possibili effetti (magnitudo) E_i
- l'area (A_i) di impatto degli incidenti (interessata dagli effetti E_i)
- l'entità o magnitudo degli effetti (E_i) causati dall'incidente, intesa come numero (N) di fatalità (F) immediate, differite e/o latenti.

In termini analitici si può operare la valutazione del rischio (R), nelle aree oggetto di indagine, mediante il ricorso a diverse tecniche di rappresentazione:

- Valutando il rischio $R(x,y)$ da un punto di vista spaziale, in un qualsiasi punto fisico di coordinate (x,y) rispetto alla sorgente del rischio stesso, coincidente con l'origine degli assi di riferimento, e ponendolo in relazione alla:

$$\sum_i f_i(x,y) \tag{1.1}$$

estesa a tutti gli eventi che comportano aree di impatto A_i che comprendono il punto (x,y) .

- Tracciando le *curve di isorischio* $R(x,y) = \text{cost.}$ che forniscono un'indicazione significativa del livello di rischio, inteso come probabilità che un individuo posi-

zionato in (x,y) , in permanenza e non difeso da barriere protettive di alcun tipo, subisca gli effetti di un incidente originato dal sistema in studio.

- Tracciando il diagramma che riporta lo *spettro dei rischi* in cui, a ciascun evento considerato, viene associata la probabilità secondo cui esso può verificarsi, nonché l'entità del danno. Nel diagramma, il rischio è espresso tramite la relazione:

$$R = p \cdot E \quad (1.2)$$

dalla quale si evince l'osservazione banalmente significativa che lo stesso valore di rischio si può avere sia in corrispondenza di un alto valore di p e di un basso valore di E , sia in corrispondenza di un basso valore di p ed un elevato valore di E . Ciò è illustrato nella Figura 1.1 ove appaiono, in ascisse, il valore di E , ovvero della magnitudo del danno, e, in ordinate, la probabilità secondo cui può verificarsi l'evento considerato.

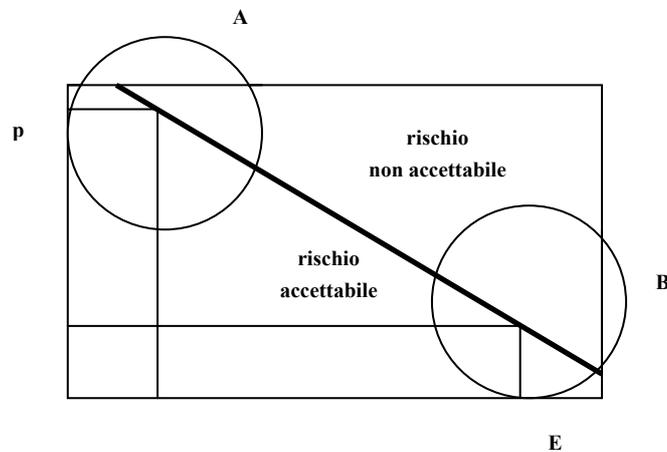


Figura 1.1 Spettro dei rischi.

Nel diagramma è possibile, quindi, individuare almeno due zone:

- *la zona A*, in alto, caratterizzata da “elevata” probabilità del verificarsi di eventi dannosi, di entità “modesta”;
- *la zona B*, in basso, caratterizzata da “modesta” probabilità di eventi dannosi, ciascuno di “elevata” entità.

Anche all'interno dello *spettro dei rischi* è possibile individuare le linee di isorischio di cui si è già detto in precedenza. Tali curve si avvicinano pro-

gressivamente all'origine degli assi del diagramma, ordinate secondo valori decrescenti del rischio R.

Nei casi pratici, frequentemente la percezione del rischio è tale che si tende ad attribuire una rilevanza assai maggiore alle conseguenze di un possibile incidente, rispetto alla frequenza o alla probabilità di accadimento dell'evento [An introduction to the basics of reliability and risk analysis, 2007]:

$$R = p \cdot E^k \quad \text{con } k > 1 \quad (1.3)$$

Generalizzando ulteriormente le precedenti considerazioni, che rappresentano una formalizzazione matematica del rischio sufficientemente condivisibile e utile in diversi casi pratici, è possibile riferirsi a una formulazione ancora più implicita del rischio, la cui utilità risulterà più chiara quando, nei capitoli successivi, si prenderanno in considerazione alcune specifiche metodologie di analisi dei rischi:

$$R = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.4)$$

In base alla formalizzazione appena suggerita, il problema generale dell'analista del rischio diviene l'individuazione della funzione f più appropriata al caso in studio, nonché l'individuazione delle variabili indipendenti x_i più utili alla valutazione del rischio nel modo più aderente possibile alla situazione reale.

1.3 Cenni sulla probabilità

Ai fini della presente trattazione, interessa soffermarsi sui concetti di base della statistica, la quale è uno strumento essenziale per la valutazione dei rischi (si rammenti che il rischio dipende dalla probabilità di accadimento degli eventi).

Una delle grandezze fondamentali su cui si basa la Statistica è la *probabilità*, la quale è stata introdotta per la prima volta nel diciassettesimo secolo con i giochi d'azzardo. Questi, per loro natura, implicano nel loro svolgimento una componente di incertezza sugli esiti delle giocate, che conduce appunto all'azzardo, cioè al rischio o pericolo di perdere la giocata. Questi giochi, dunque, prevedono lo svolgimento di azioni dall'esito incerto, ma con un *esito di lungo termine prevedibile*.

Tale tipo di incertezza e di regolarità su di un arco temporale sufficientemente lungo, tale da consentire il ripetersi di numerosi eventi relativi al fenomeno che si sta analizzando, si verifica spesso nelle scienze sperimentali, rendendo interessante l'*analisi statistica* che diviene uno strumento prezioso e, in molti casi, essenziale.

La probabilità è stata oggetto di successive definizioni nel tempo, in seguito allo svilupparsi di nuove teorie e scuole di pensiero sulla disciplina statistica.

L'associazione fra probabilità e giochi d'azzardo ha suggerito, inizialmente, la *definizione classica* di probabilità: *se un fenomeno casuale può dar luogo, nel suo verificarsi ripetitivo, ad n eventi che si escludono a vicenda e ugualmente possibili, e se*

n_A di questi danno luogo al verificarsi dell'evento A , allora la probabilità che si verifichi A è data dal rapporto n_A / n .

Esempi classici sono il lancio di dado e l'estrazione di una carta da un mazzo di carte. La probabilità definita alla maniera classica è sempre un numero compreso fra 0 ed 1, essendo 0 quando si è certi che l'evento non si verifica e 1 quando si è certi del contrario, cioè che l'evento si verifica.

La definizione classica fornita appare abbastanza immediata nell'applicazione, ma occorre prestare molta attenzione alle ipotesi poste: la probabilità classica, cioè, può essere calcolata solamente quando si abbia a che fare con *eventi ugualmente probabili e mutuamente esclusivi*.

Un altro limite della definizione classica si manifesta quando si incontrano domande del tipo: qual è la probabilità che un uomo muoia prima di 50 anni? Tale quesito è plausibile in Statistica, ma non trova una risposta alla luce della probabilità classica. Per questo motivo si è sviluppata la *teoria frequentista*, che definisce una probabilità di più vasta applicabilità.

Si supponga di considerare l'esperimento del lancio di una moneta perfettamente bilanciata; come si è visto nella trattazione classica, la probabilità che esca una faccia o l'altra è circa la stessa, *a priori*. Se a questa considerazione teorica si fa seguire l'esperimento pratico, si scopre che il numero di volte che esce una faccia della moneta, o l'altra, è circa 1/2, ma non proprio 1/2. La definizione classica, infatti, fornisce una valutazione *a priori*; la definizione frequentista, invece, fornisce una valutazione della probabilità sulla base del verificarsi effettivo degli eventi, cioè della frequenza di accadimento di un determinato evento su un certo numero di tentativi. In tale senso, la probabilità p di accadimento di un evento viene *approssimata* dalla *frequenza*, che è un numero rappresentativo della probabilità, ma non è la probabilità effettiva dell'evento determinato.

La *legge dei grandi numeri*, o *legge empirica del caso*, afferma - a tale riguardo - che la frequenza di un evento, associato ad una serie di prove effettuate su un sistema, è pari alla sua probabilità, se il numero delle prove è molto grande, al limite tendente all'infinito.

Le teorie probabilistiche appena viste (classica e frequentista) hanno un elemento in comune: entrambe fanno riferimento ad eventi ripetibili in condizioni simili o abbastanza simili. Può accadere, però, di dovere valutare la probabilità di un evento non necessariamente ripetibile, o comunque ripetibile in condizioni non simili (per esempio, può accadere di considerare la probabilità che si verifichi un certo evento prima di un certo tempo). Questo tipo di probabilità, che non fa riferimento ad eventi ripetibili in condizioni simili, bensì a fatti non oggettivi o pressoché unici, viene detta appunto *probabilità soggettiva*.

Il prossimo passo consiste nel costruire un *modello di probabilità* che si fondi su degli *assiomi* di validità generale. La teoria che è alla base di tale modello ha una validità generale, tale da comprendere tutte le definizioni viste di probabilità.

La probabilità, secondo il punto di vista assiomatico, è dunque una funzione fra eventi che gode di alcune proprietà particolari. Assegnato l'insieme degli eventi A associato ad un certo esperimento, la probabilità di un generico evento E , sottoinsieme di A , è un numero p tale che:

1. $p(E) \geq 0$
2. $p(E) \leq 1$
3. $p(E) = 1$ se l'evento è certo
4. dati due eventi A e B è:

$$p(A \cup B) + p(A \cap B) = p(A) + p(B) \quad (1.5)$$

$$p(A \cap B) = p(A/B) \cdot p(B) = p(B/A) \cdot p(A) \quad (1.6)$$

Gli assiomi precedenti, in quanto tali, non sono dimostrabili. L'assioma espresso dalla (1.6), inoltre, introduce la *probabilità condizionale* $p(A/B)$, cioè la probabilità che si verifichi un evento A sapendo che l'evento B si è verificato.

Dall'assioma (1.5) discende il *teorema delle probabilità totali*: se due eventi A e B sono incompatibili (cioè *mutuamente esclusivi*, $p(A \cap B) = 0$) allora la probabilità del verificarsi dell'uno o dell'altro è la somma delle probabilità di ciascuno dei due eventi:

$$p(A \cup B) = p(A) + p(B) \quad (1.7)$$

Dall'assioma (1.6), invece, discende il *teorema delle probabilità composte*: se due eventi A e B sono *indipendenti*, allora la probabilità che si verifichino contemporaneamente è pari al prodotto delle probabilità associate ai singoli eventi:

$$p(A \cap B) = p(A) \cdot p(B) \quad (1.8)$$

Assegnato un insieme di eventi, se tutti gli eventi che si possono verificare sono mutuamente esclusivi, in base alla (1.7), si ha:

$$\sum_i p(E_i) = p(E_1) + p(E_2) + \dots = 1 \quad (1.9)$$

Le espressioni trovate, alcune assiomatiche altre dimostrabili, costituiscono una risorsa importante per l'effettuazione dei calcoli probabilistici.

La frequenza di un evento associato ad un certo sistema, come anticipato, costituisce un'approssimazione della probabilità di quell'evento, utile per considerare a posteriori, cioè sulla base di esperienze reali, tale grandezza.

La trattazione delle probabilità condizionali, infine, induce a introdurre il *teorema di Bayes* (anche indicato quale teorema della probabilità delle cause), che trova una importante applicazione nel caso del possesso di assegnati requisiti in relazione al superamento di una certa prova, ovvero la probabilità che una entità materiale che ha superato una certa prova o valutazione possieda effettivamente i requisiti richiesti.

1.4 Integrazione della sicurezza

Un impianto industriale o, più in generale, un sistema tecnico di produzione è un *sistema socio-tecnico*, cioè l'insieme di due sotto-sistemi, uno sociale, costituito dai

lavoratori, e uno tecnico, rappresentato dalle macchine e dagli impianti in esso presenti, che devono integrarsi per conseguire il risultato aziendale atteso. L'organizzazione del lavoro assicura tale integrazione; la sicurezza deve assicurare l'incolumità del sistema sociale.

Si può ritenere che un sistema tecnico produttivo possa divenire fonte di danno principalmente per due vie:

- il verificarsi di guasti;
- l'immissione nel tempo di un agente inquinante.

I tipi di intervento che si possono attuare per salvaguardare la sicurezza di un ambiente lavorativo, inoltre, sono essenzialmente di due tipi:

- *prevenzione*, cioè la riduzione della probabilità che si verifichi l'evento che può produrre un danno;
- *protezione*, ovverosia la limitazione degli effetti negativi di un evento dannoso.

Gli effetti degli interventi di prevenzione e protezione sono visibili nella Figura 1.2, ove compaiono alcune delle grandezze precedentemente ricordate, la probabilità che si verifichi l'evento negativo (p), la magnitudo delle sue conseguenze (E) ed il rischio connesso (R), definito (secondo la relazione 1.2) come il prodotto fra p ed E :

$$R = p \cdot E$$

Obiettivo dell'ingegneria della sicurezza è quello di ridurre il rischio entro limiti accettabili (cioè lo spostamento da una curva isorischio ad un'altra caratterizzata da un valore inferiore del parametro R) operando (Figura 1.2) da un lato sulla frequenza di accadimento (prevenzione) e, dall'altro, sulla magnitudo delle conseguenze (protezione), ovvero sulla combinazione delle due tipologie di azione.

Gli interventi di prevenzione si concretizzano, per esempio, nella nomina di professionisti competenti (il responsabile del servizio di prevenzione e protezione, il medico competente ecc.), l'attuazione di un piano di sorveglianza sanitaria, la formazione e l'informazione del personale ecc..

Gli interventi di protezione si concretizzano in mezzi protettivi adeguati, i più comuni fra i quali sono i dispositivi di protezione individuale (abbigliamento ed indumenti di protezione, protezioni particolari per i capelli, per il capo, per gli occhi, per le mani, per i piedi e per altre parti del corpo, cinture di sicurezza e maschere respiratorie ecc.), i mezzi collettivi di protezione (protezioni delle macchine, parapetti ecc.).

Il *principio di integrazione della sicurezza* si concretizza, dunque, nella progettazione, pianificazione e attuazione dell'insieme degli interventi di riduzione del rischio entro limiti di accettabilità. Tali interventi, di tipo preventivo e/o protettivo, richiedono il coinvolgimento delle diverse parti interessate alla sicurezza dei sistemi tecnici, ciascuno per il proprio ruolo e le proprie responsabilità: il fabbricante dei componenti del sistema tecnico, l'assemblatore/installatore, il proprietario, l'utilizzatore, il manutentore ecc. assicurando così che la sicurezza del sistema tecnico sia garantita *in ogni*

fase della sua vita, dalla fabbricazione, all'utilizzo e allo smaltimento/radiazione del sistema obsoleto e non più utilizzabile.

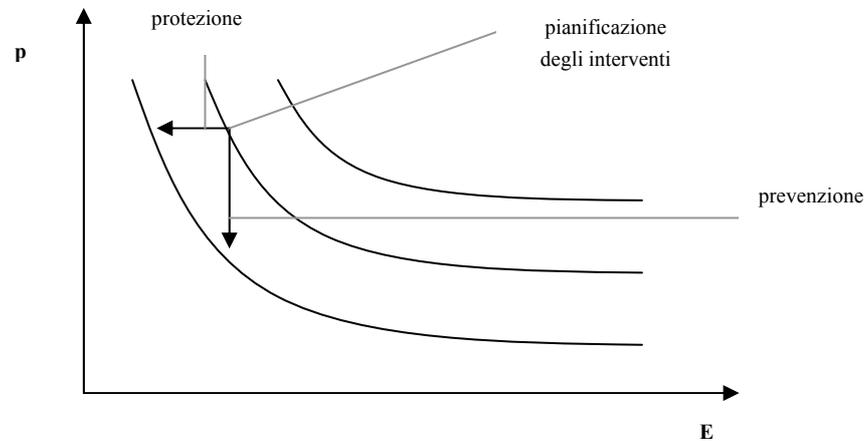


Figura 1.2 Interventi per la riduzione del rischio.

Compito del progettista della sicurezza, d'intesa e in collaborazione con gli altri progettisti (strutturali, meccanici, elettrici ecc.) del sistema tecnico, è quello di prevedere l'integrazione delle misure di sicurezza nelle diverse fasi di vita del sistema, attribuendone la responsabilità ai diversi attori su menzionati.

1.5 Dalle evidenze oggettive alla formazione del giudizio di rischio

Per sviluppare compiutamente l'analisi di fattibilità degli interventi di miglioramento della sicurezza, è necessario procedere alla analisi dei rischi nella quale possono distinguersi almeno quattro fasi principali:

- individuazione dei pericoli e loro classificazione nell'ambito delle classi di fenomeni rischiosi (tale attività può svolgersi, una volta che si sia fissata una idonea logica organizzativa riguardo all'esame dei documenti, delle risorse e dei luoghi, per via induttiva – dai pericoli ai rischi – ovvero deduttiva – assumendo la sussistenza di talune categorie di rischio)
- selezione e attuazione della metodologia di analisi dei rischi (che può essere anche una combinazione di metodologie) più appropriata al caso in esame
- individuazione delle soglie di accettabilità dei rischi
- pianificazione degli interventi di riduzione del rischio.

L'esecuzione delle suddette azioni, come si diceva, richiede lo svolgimento di *ispezioni* (di luoghi, di persone, di documenti ecc.) opportunamente progettate, pianificate e attuate da personale tecnico specificamente qualificato e sulla base della normativa tecnica esistente al riguardo, onde consentire la formazione di un *giudizio professionale* esente - per quanto possibile - da soggettività e sufficientemente credibile e sostenibile (si veda il successivo Capitolo 8 al riguardo).

L'analisi dei rischi, in aggiunta, costituisce una attività permanente in ogni organizzazione produttiva, dovendosi prevedere il suo aggiornamento ogni qualvolta intervengono nuovi potenziali rischi (per esempio per l'inserimento di nuove risorse umane, per il cambiamento di mansioni di quelle già presenti, per la modificazione e/o l'aggiornamento dei processi produttivi ecc.).

Determinato il valore di ogni singolo rischio, dunque, è possibile confrontarlo con i *limiti di accettabilità*, al fine di valutare gli eventuali interventi da attuarsi per la sua riduzione e il mantenimento sotto controllo. A tale proposito è possibile fare riferimento a rappresentazioni grafiche come quelle della Figura 1.1.

In tale grafico, la parte superiore indica una zona di non accettabilità del rischio, caratterizzata da rischi troppo frequenti ovvero da livelli troppo elevati di danno. In tale zona, gli eventi sfavorevoli possono essere eliminati o ridotti con un'azione di *prevenzione primaria*. Con tale espressione si intende fare riferimento a tutte quelle azioni volte ad intervenire sul rischio, adattandolo a valori di probabilità realisticamente prescelti.

Evidentemente, è concettualmente più appropriato intervenire al fine di evitare il verificarsi di un danno, piuttosto che intervenire - in via protettiva - dopo che il danno si è manifestato. E' pur vero, però, che la capacità di prevenzione è influenzata dalla disponibilità di tecnologie adeguate e di risorse economiche. Al riguardo, non si deve mai dimenticare il principio tecnico-giuridico secondo il quale *l'imprenditore è tenuto ad adottare le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica dei lavoratori*.

La curva di accettabilità può assumere configurazioni diverse. Essa "taglia" in genere lo spettro di rischio in diagonale, lungo una linea di isorischio. La variazione dei parametri caratteristici di tale curva comporta la considerazione di situazioni differenti che si possono verificare.

1.6 Requisiti dell'analisi dei rischi

L'analisi dei rischi, come si è detto, conduce alla formazione di un giudizio di rischio, avente le caratteristiche di un *giudizio professionale*, in conformità alla normativa tecnica sulle attività di ispezione.

In generale la misura di una grandezza fisica richiede di:

- definire l'unità di misura;
- definire la scala di riferimento, lo zero, il fondo scala e la sensibilità della scala stessa;

- definire lo strumento di misura e la sua precisione.

Per valutare un rischio, che implica la considerazione di diversi elementi (misurazioni fisiche, dati storico-statistici, riferimenti normativi, esperienze personali ecc.), occorre fare riferimento ai medesimi criteri di una misurazione fisica, al fine di assicurare di pervenire ad una valutazione quantitativa e aderente alla situazione reale. Tale valutazione, in particolare, dovrà essere:

- *quantitativa*, ovvero, sia che si ricorra a valutazioni numeriche, sia che si ricorra a valutazioni espresse per mezzo di una scala linguistica, in ogni caso il giudizio di rischio dovrà essere perfettamente definito in termini di unità di misura, scala di misura, sensibilità e precisioni adottate, esattamente come avverrebbe in un processo di misurazione fisica (più di talvolta si assiste ad un utilizzo assai improprio e superficiale dei giudizi linguistici, che pure potrebbero rappresentare assai bene un giudizio di rischio, che è un giudizio professionale-umano, quindi per certi versi addirittura meglio rappresentabile, appunto, per mezzo di un giudizio linguistico);
- *omogenea*, al fine di mettere in relazione risultati relativi a situazioni ed ambienti fisici diversi e adottare criteri di urgenza omogenei, onde garantire la stessa sicurezza a tutti;
- *sistematica*, affinché la ripetizione della valutazione dei rischi, anche da parte di analisti differenti, a meno di errori prevedibili, non conduca a risultati difformi;
- *oggettiva*, ossia la valutazione del rischio non deve essere condizionata da fatti non evidentemente oggettivi, non deve riportare opinioni personali e non deve essere operata sulla base di interviste sporadiche e/o casuali al personale e sulla base di sopralluoghi casuali, non pianificati;
- *completa*, ovvero si deve avere la certezza ragionevole di avere preso in considerazione tutti i fenomeni rischiosi ed i pericoli eventualmente ricorrenti nel caso in esame (dal punto di vista delle responsabilità personali, la trascuratezza di un pericolo o di un rischio costituirebbe una mancanza ben difficilmente giustificabile).

1.7 La logica sfumata per la definizione del giudizio di rischio

La logica fuzzy (letteralmente “sfumata”) mette in discussione e modifica il concetto di logica binaria classica, secondo il quale i predicati possono assumere solamente due stati, “vero” o “falso”. Tale logica è alle basi del funzionamento dei più moderni calcolatori, ma chiunque può valutare con facilità quanto possa essere incompleta e poco aderente alla realtà, la quale implica invece la considerazione di molteplici sfaccettature, generalmente non considerate o - meglio - approssimate per mezzo della sola logica binaria. Nel mondo reale tutto è questione di misura, non esiste solo il bianco o il nero, vi sono anche le sfumature. La scienza, invece, talvolta tratta questi chiaroscuri come se fossero bianchi o neri.

La precisione sfoggiata dalla scienza non è altro che un'approssimazione di quei contorni sfumati degli enti che altrimenti non sarebbero spiegabili con i predicati della logica classica. Il paradosso è che la scienza ha contribuito a creare un mondo meno preciso, approssimando o trascurando “per semplicità” alcuni concetti. Questa convinzione che le entità formalizzabili matematicamente possano assumere solo valore pari a “zero” o a “uno” muove fin dall'antichità. Si pensi alla logica binaria di Aristotele (A o Non-A). Heisenberg fra i primi (fra gli altri Cartesio e Einstein) dimostrò come non tutti gli enunciati della fisica siano necessariamente veri o falsi. Bertrand Russell riprese il più antico e forse celebre dei paradossi della logica classica-binaria, quello attribuito ad Ebulide di Mileto (IV secolo a.C.), noto anche come “paradosso del mentitore”, il quale, nella sua forma più semplice, recita: “Il cretese Epimenide afferma che i cretesi sono bugiardi”. Egli mente?

Si parla spesso in termini di zero o uno; ma la verità è ben più complessa e articolata da descrivere. La scienza descrive il mondo attraverso enunciati che non sono interamente veri o interamente falsi, non sono bivalenti bensì polivalenti; la loro verità sta nella via di mezzo, nelle affermazioni grigio-chiaroscure o fuzzy, sfumate.

Nei primi anni sessanta, Lotfi A. Zadeh, professore all'Università della California di Berkeley, molto noto per i suoi contributi alla teoria dei sistemi, cominciò ad avvertire che le tecniche tradizionali di analisi dei sistemi erano eccessivamente ed inutilmente accurate per molti dei problemi tipici del mondo reale. L'idea di grado d'appartenenza, il concetto divenuto poi la spina dorsale della teoria degli insiemi sfumati, fu da lui introdotta nel 1964, e ciò portò in seguito, nel 1965, alla pubblicazione di un primo articolo, e alla nascita della logica sfumata [*Fuzzy sets, 1965*].

Valutare un rischio significa stimare una grandezza di per sé non tangibile fisicamente, ancorché essa si riferisca a circostanze materiali, talvolta misurabili utilmente ai fini della sicurezza.

Essendo la valutazione del rischio un giudizio professionale, come si è detto, ovvero un giudizio tecnico operato dall'uomo, sembra senz'altro conveniente riferirsi alla logica fuzzy nella formalizzazione dei giudizi di rischio. La logica fuzzy, infatti, per quanto si è anticipato, assai meglio della logica classica si adatta ad esprimere i giudizi umani e a rispecchiare il modo di pensare umano (si veda anche il Paragrafo 6.9.2).

Attraverso la logica sfumata è possibile esprimere un giudizio di rischio in modo assai più realistico, introducendo il “grado di appartenenza” (gda) di una variabile ad un certo insieme, nel nostro caso l'insieme dei giudizi di rischio attinenti ad uno specifico fenomeno rischioso. Il gda, dunque, è un parametro variabile tra “0” e “1” sulla base di una certa legge, rappresentabile per mezzo di un grafico, che rappresenta in buona sostanza il grado di convincimento del tecnico analista riguardo ad una certa valutazione di rischio, in funzione dei valori che possono essere assunti da un parametro fisico misurabile.

La curva di cui si parla è frutto dell'esperienza e della competenza dell'analista e sarà tanto più affidabile quanto più l'analista sia capace ed esperto; la curva è tracciata su un piano cartesiano sulla cui ascissa è riportato il parametro fisico misurabile (per esempio il carico di incendio, la temperatura, il livello di rumore ecc.) adatto ad

analizzare un certo tipo di rischio, e in ordinata il gda. A un certo valore del parametro fisico, misurabile fisicamente e quindi oggettivamente, corrisponderà un punto sulla curva disegnata dall'analista (come tale soggettiva); a tale punto appartenente alla curva corrisponderà in ordinata il proprio gda (Figura 1.3).

E' bene osservare fin da subito che il concetto di valutazione sfumata non ha nulla a che vedere con la valutazione statistica di un fenomeno. Se, per esempio, si considera la valutazione di uno specifico rischio sulla base di n dati storico-statistici e si sintetizza poi un giudizio di rischio complessivo finale, tale giudizio sarà appunto di tipo statistico. Se viceversa si chiede a un tecnico di esprimersi sul livello di rischio di un certo fenomeno al mutare delle condizioni fisiche ed ambientali e gli si offre la possibilità di modulare tale giudizio - a parità di livello di rischio - per mezzo del parametro "grado di appartenenza", si parla in questo caso di giudizio fuzzy o sfumato.

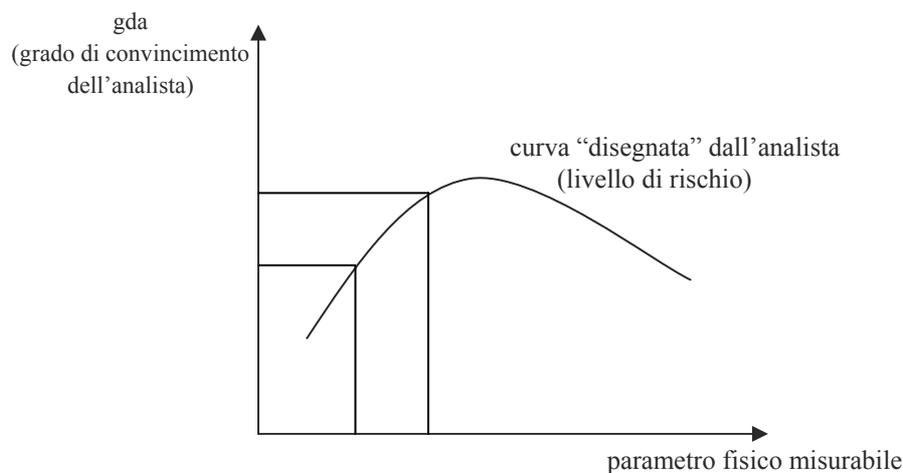


Figura 1.3 Stima sfumata del rischio.

1.8 Grado di confidenza del giudizio di rischio

Come si è precedentemente accennato, la valutazione del rischio deve essere:

- quantitativa (su base numerica o linguistica)
- omogenea (fra diverse situazioni e diversi ambienti)
- sistematica (ovvero ripetibile)
- oggettiva (aderente alle situazioni reali e non condizionata da fattori esterni)
- completa (non deve trascurare alcun rischio e pericolo).

Tale valutazione risponderà tanto più a tali requisiti, quanto più nel professionista che la effettua saranno individuabili ben determinate caratteristiche, professionali e personali:

caratteristiche professionali

- competenza specifica sul settore tecnico produttivo di riferimento
- competenza specifica sulla sicurezza, sulla analisi dei rischi e sulle soluzioni antinfortunistiche
- competenza in campo statistico, affidabilistico e sistemistico (logica fuzzy)
- esperienza professionale e specificamente in campo antinfortunistico

caratteristiche personali

- capacità investigativa e di osservazione
- capacità di analisi e di sintesi, ovvero capacità di individuare gli elementi del “tutto” (ovvero il sistema) e i nessi logici e causali fra gli elementi costitutivi e il “tutto” da questi composto
- indipendenza nel giudizio, ovvero obiettività
- capacità di affermare e sostenere le proprie tesi, anche in contesti relazionali difficili
- capacità di relazionarsi ai diversi livelli di una organizzazione (livello manageriale, livello operativo e livello esecutivo)
- non condizionabilità (per esempio da fattori economici, personali od altro).

Il sussistere dei suddetti elementi, in aggiunta alla capacità di formulare giudizi storico-statistici e sfumati, quali sono i giudizi di rischio, è di fondamentale importanza al fine di pervenire a progetti della sicurezza aderenti alle situazioni reali e concretamente utili a tenere sotto controllo i fenomeni potenzialmente dannosi.

Da non sottovalutarsi, a tale riguardo, è pure la capacità di investigare su eventi che non necessariamente hanno portato al verificarsi di danni, ovvero sui cosiddetti quasi-incidenti. E' di tutta evidenza, infatti, che per tenere sotto controllo la sicurezza di un qualsivoglia sistema tecnico, è pure essenziale la capacità di gestire la sicurezza “in progress”, ovvero soffermando l'attenzione su tutti quegli eventi che costituiscono importanti *segnali deboli* del sistema, ai fini della sua sicurezza. In tale senso, mirabile è l'esempio offerto dal ruolo svolto dal National Transportation Safety Board (NTSB), l'agenzia governativa statunitense preposta a studiare i fenomeni dannosi in tutti i sistemi di trasporto.

In ultimo, ai fini della formulazione di un giudizio di rischio caratterizzato da sufficiente grado di confidenza, pare anche essenziale la considerazione dell'importanza del ricorso a *collegi di valutazione*, ovvero gruppi di analisti ed ispettori con competenze e conoscenze tecniche differenti (l'uno esperto nel settore tecnico produttivo, l'uno nella metodologia di analisi dei rischi adottata ecc.). Solo in tal modo, infatti, sarà possibile tenere nel debito conto il carattere fortemente trasversale della Sicurezza, che è disciplina eminentemente sistemistica, e, soprattutto, sarà possibile mediare adeguatamente i diversi giudizi fino a pervenire alla sintesi di un giudizio di rischio caratterizzato da superiore credibilità. A tale riguardo, infatti, non si deve sottovalutare la nota proprietà statistica affermata nel *teorema di Bayes*, che permette di stimare la probabilità che un giudizio di idoneità - conseguente a qualsivoglia valutazione -

sia affetto da errore: solo attraverso il ricorso a collegi di valutazione è possibile ridurre adeguatamente la probabilità di incorrere in tale errore.

1.9 Principali misure di prevenzione e protezione

Progettare la sicurezza significa progettare sia misure preventive materiali contro gli infortuni sul lavoro, sia progettare il cosiddetto servizio di sicurezza, ossia l'organizzazione della sicurezza stessa [La gestione della sicurezza nelle imprese industriali, 1999] comprendente:

- nomine di addetti qualificati allo svolgimento dei compiti antinfortunistici principali (responsabili della sicurezza, responsabili del servizio di prevenzione e protezione, medico competente, rappresentanti dei lavoratori per la sicurezza)
- nomine, formazione e addestramento degli addetti preposti alle emergenze e al primo soccorso
- definizione delle architetture organizzative e delle gerarchie dei ruoli responsabili e di supporto
- magazzino per la sicurezza
- pianificazione delle azioni di miglioramento della sicurezza.

Si darà ora un'idea di quali possano essere, altresì, gli interventi materiali (tangibili). Costituiscono oggetto di progettazione non solo le forme tradizionali legate all'ideazione di strutture, macchine, circuiti, apparecchiature, impianti ecc. Progettare – ai fini della Sicurezza - significa anche:

- allestire un posto di lavoro, che è oggetto di studio della *Ergonomia* e della sua applicazione tecnica, l'*Ergotecnica*
- scegliere una macchina idonea ad essere inserita in un determinato contesto produttivo
- stabilire un ciclo di lavoro dal punto di vista dei tempi e dei metodi lavorativi
- stabilire le risorse umane più idonee allo svolgimento di dati compiti
- individuare, scegliere e – ove occorra – progettare le soluzioni antinfortunistiche più idonee, *alla luce delle conoscenze tecnologiche correnti*, e tenuto conto di quanto sopra già menzionato.

L'esito della progettazione costituisce una barriera di sicurezza allorché risponda ai requisiti di conformità alle norme e alle precauzioni essenziali da porre in atto per la salvaguardia della salute e l'integrità fisica dei lavoratori. Al contrario essa può rappresentare un fattore d'infortunio, allorché non risponda - in tutto o in parte - a tali requisiti. Dalla competenza del progettista, dalla sua capacità di integrare la sicurezza tra gli aspetti imprescindibili di una qualsiasi ideazione, dipende la qualità di quest'ultima in termini di rischi residui.

La progettazione materiale della sicurezza riguarda i diversi fronti di un contesto tecnico-produttivo:

- ambiente fisico;
- macchine;

- risorse materiali;
- risorse umane.

L'*ambiente fisico*, in cui hanno sede il posto di lavoro e l'espletamento di una determinata mansione, crea su di essi una condizione di impatto sull'operatività e quindi anche sul grado di sicurezza dell'agire combinato dell'uomo e delle attrezzature [Linee Guida ISPESL, 2003]. Progettare la sicurezza in un ambiente significa considerare i seguenti fattori:

- illuminazione: progettare in modo idoneo un ambiente luminoso richiede il rispetto di almeno due esigenze principali: la visibilità idonea e il comfort visivo
- rumore e vibrazioni (separatamente e in modo combinato): gli interventi per controllare il rischio rumore sono riconducibili a quattro tipologie principali:
 1. intervento in fase di progettazione (per esempio, compartimentazione, posizionamento corretto degli addetti, intermittenza dell'esposizione, direzionalità delle sorgenti)
 2. intervento sulla scelta di macchine, processi e materiali
 3. intervento alla sorgente del rumore; si tratta di soluzioni tecniche di non facile applicazione, che richiedono l'ausilio di personale esperto
 4. altro tipo di intervento applicabile per controllare il rumore si realizza con il confinamento del campo sonoro oppure con l'assorbimento su apposite superfici del suo contenuto energetico
- microclima: le principali indicazioni preventive riguardano:
 1. l'uso di indumenti da lavoro adeguati alle condizioni climatiche
 2. dotazione di sistemi di riscaldamento, ventilazione o condizionamento, con dispositivi automatici che controllino il tasso di umidità e la velocità dell'aria
 3. effettuazione di verifiche periodiche e regolare manutenzione degli impianti, con particolare attenzione alla pulizia dei filtri
 4. introduzione di una organizzazione del lavoro che limiti la durata di permanenza del lavoratore negli ambienti troppo caldi o troppo freddi
 5. rispetto di parametri microclimatici
- igiene e qualità dell'aria, che richiede la considerazione delle seguenti problematiche principali:
 1. pulizia e igiene generale dell'ambiente produttivo
 2. presenza di inquinanti generici e loro miscelazione per mezzo di sistemi di ventilazione e ricambio d'aria
 3. presenza di inquinanti specifici e/o agenti tossici e loro trattamento, possibilmente alla fonte, ovvero per mezzo di sistemi di trattamento e filtrazione.

Per le metodiche di progettazione dei su citati argomenti si rimanda alle discipline specifiche e ai capitoli successivi (Capitolo 3) nei quali si tratteranno tali argomenti.

La riduzione dei rischi associati all'utilizzo di una *macchina* può essere realizzata per mezzo di idonee protezioni di tipo meccanico, elettrico o idraulico. Tali protezioni possono essere standard, o essere frutto di una specifica progettazione scaturita

dalla necessità di risolvere particolari problemi. I dispositivi di protezione possono essere raggruppati in diverse classi:

- *protezioni fisse*, assicurano che all'operatore venga impedito l'accesso alle parti pericolose delle macchine
- *protezioni asservite*, collegate ai comandi della macchina consentono di accedere all'area pericolosa in condizioni di sicurezza consentendo al contempo di eseguire operazioni che si rendessero necessarie durante lo svolgimento della lavorazione
- *protezioni automatiche*, consentono il funzionamento della macchina solo dopo che l'addetto si è allontanato dall'area pericolosa
- *distanziatori*, sono barriere che impediscono all'operatore di intervenire in zone pericolose
- *ripari regolabili*, sono utilizzati quando l'accesso alle parti pericolose delle macchine non può essere costantemente impedito
- *ripari ad autoregolazione*, simili ai precedenti, si autoregolano in funzione della forma e delle dimensioni della parte da proteggere
- *dispositivi di intercettazione e di blocco*, regolano la distanza minima dell'operatore dalle zone pericolose, al di sotto della quale non consentono l'avviamento della macchina.

Anche tale materia verrà approfondita nel successivo capitolo dedicato al rischio meccanico (Capitolo 2).

Per *risorse materiali* si vuole qui intendere l'insieme degli impianti tecnici e tecnologici (di servizio) presenti su di un luogo di lavoro. Si consideri, per esempio, quello elettrico. I guasti di natura elettrica sono riconducibili ad alcuni tipi fondamentali (cortocircuito, sovraccarico termico, danneggiamento dell'isolamento elettrico e/o dispersione di corrente verso terra, arco elettrico); essi hanno effetti diversi, si manifestano in modo differente e richiedono misure di prevenzione e protezione anch'esse diverse. Tra di esse possiamo ricordarne alcune:

- l'interruttore magnetico, il quale è dotato di un circuito secondario in corrente continua (relè elettromagnetico), proporzionale al valore della corrente nel circuito principale. Oltre certi valori dell'intensità di corrente, dunque, il circuito secondario produce il movimento di un equipaggio mobile (rappresentato da un'ancora in ferro dolce) che determina l'apertura dell'interruttore e, quindi, l'interruzione del corto circuito
- l'interruttore termico, generalmente costituito da una lamina bi-metallica, cioè una lamina costituita da due metalli con differente comportamento termico e tale da produrre una deformazione in grado di interrompere il circuito
- l'interruttore magneto-termico, cioè l'insieme dei due appena visti
- il fusibile, costituito da un conduttore dimensionato per fondersi, ed interrompere quindi il circuito, ad un prefissato valore di corrente
- ecc.

Per ciò che concerne specificamente i cantieri, conviene fare invece una distinzione tra i dispositivi di protezione individuale (peraltro sempre presenti in ogni contesto produttivo ed essi stessi oggetto di specifica progettazione, in particolare da parte di aziende specializzate in questo campo), e la sicurezza per quanto riguarda lavorazioni e strutture (andatoie e passerelle, ponteggi metallici fissi, parapetti, trabattelli ecc.).

Ogni struttura, attrezzatura, opera provvisoria elencata e non (a puro titolo esemplificativo) presente sul cantiere deve essere conforme alla normativa, realizzata alla regola dell'arte ed utilizzata in sicurezza.

Progettare la sicurezza, infine, per quanto attiene all'aspetto delle *risorse umane*, ossia dell'organico presente sul luogo di lavoro, significa operare alla base dell'organizzazione del lavoro, prendendo in particolare in considerazione i seguenti aspetti principali:

- qualificazione del personale
- informazione del personale
- formazione del personale
- addestramento del personale
- aggiornamento del personale
- gestione degli errori
- ecc.

Nessun lavoratore, infatti, si può improvvisare specialista in una lavorazione; per ogni mansione è necessario potere usufruire di personale specializzato e, in mancanza di esso, avere cura di provvedere alla formazione del personale sia sul piano tecnico, sia su quello della sicurezza in generale. Addestramento particolare e qualificazione del personale sono invece necessari laddove siano presenti lavorazioni che richiedano requisiti specifici o attestati.

L'informazione è obbligo di legge da parte del datore di lavoro ed è indispensabile ottemperare all'aggiornamento periodico di tali azioni di formazione, informazione e addestramento, che, dal punto di vista delle responsabilità, in base al principio di integrazione della sicurezza già menzionato (si veda il precedente Paragrafo 1.3) rappresentano una imprescindibile misura preventiva e protettiva.

Anche l'aspetto delle risorse umane, cui oggi a ragione si presta una attenzione del tutto speciale, sarà oggetto di specifica trattazione nei successivi capitoli, sia dal punto di vista della gestione della sicurezza (Capitolo 7), sia dal punto di vista della gestione degli errori (Capitolo 5).

Si è intenzionalmente sottolineato più volte il contenuto progettuale della sicurezza, sia per superare taluni approcci poco quantitativi che talvolta si riscontrano, sia per dare concretezza ad un principio fondamentale della sicurezza, il *principio di presunzione della conformità*, intimamente correlato al tema della progettazione a fini antinfortunistici. In base a tale principio, ogni attività tecnica deve svolgersi in modo da soddisfare la sicurezza di tutte le parti coinvolte. Ciò richiede il ricorso su base volontaria a quanto è standardizzato nelle norme di buona tecnica, che stabili-

scono lo stato dell'arte tecnico e tecnologico in ogni settore produttivo; ovvero, il ricorso a soluzioni tecniche diverse, purché si dimostri la loro efficacia ed equivalenza ai fini della sicurezza degli utenti rispetto a quanto noto nello stato dell'arte.

1.10 Campo di applicazione della sicurezza e Complessità

Come si è avuto modo di accennare, la Sicurezza è una disciplina sistemistica, nel senso che, trovando essa applicazione unitaria in diversi ambiti di riferimento tutti assimilabili - dal punto di vista della trattazione tecnica - a sistemi tecnici, per la Sicurezza valgono le metodologie e le regole proprie della cosiddetta Ingegneria dei Sistemi.

L'*Ingegneria dei Sistemi* è una branca interdisciplinare focalizzata sulla progettazione, organizzazione e gestione ottimizzata di sistemi artificiali (in questo volume non si prendono in considerazione i sistemi naturali, pure di grande rilievo), caratterizzati da un certo grado di complessità. Per sistema deve intendersi un insieme di elementi fisicamente e/o logicamente collegati fra di loro al fine di perseguire uno scopo ben preciso, in genere di tipo produttivo, ovvero tale da generare prodotti e servizi caratterizzati da un valore superiore rispetto alle risorse di partenza elaborate dai suddetti sistemi.

La *Complessità* [Weaver 1948, Simon 1962] di un sistema ha a che vedere con diverse proprietà che lo caratterizzano:

- la numerosità degli elementi componenti;
- la complicatezza e il numero delle relazioni fra i vari elementi del sistema;
- la varianza del sistema, ovvero il numero degli stati che esso può assumere;
- la difficoltà insita nella descrizione del sistema e delle sue finalità;
- l'architettura e la struttura, scomponibile in sotto-sistemi gerarchici;
- ecc.

Riguardo alla varianza di un qualsivoglia sistema, vale la *legge di Ashby* assai significativa – per ovvie ragioni – nel campo della Sicurezza: per fare assumere ad un sistema S, controllato da un controllore C, uno stato ben preciso in un ambiente di riferimento A, occorre che C esprima una varietà di stati almeno pari a quella di A:

$$\min V_S \geq V_A - V_C \quad (1.10)$$

essendo V_S , V_A e V_C le varianze, rispettivamente del sistema S, dell'ambiente di riferimento A e del suo controllore C.

Su di un piano più operativo e aderente alla legislazione europea, appare interessante la considerazione della successiva Tabella 1.1, nella quale il carattere sistemistico della sicurezza emerge dalla considerazione del carattere unitario di trattazione della disciplina, rispetto ai principali sistemi tecnici cui può capitare di riferirsi nello svolgimento dell'attività professionale. Non sfugge, infatti, il carattere "simmetrico"

degli adempimenti, seppure in contesti tecnicamente e materialmente anche molto diversi fra di loro.

Tabella 1.1 Campi di applicazione della sicurezza e adempimenti principali.

| adempimenti | ruoli e responsabilità | documento tecnico |
|--------------------------------------|---|---|
| sistema tecnico | | |
| ambienti di lavoro | datore di lavoro (dirigenti, preposti, responsabile servizio di prevenzione e protezione, medico competente) | documento analisi dei rischi analisi dei rischi congiunta sistema di gestione della sicurezza |
| prodotti, macchine e impianti | fabbricante, installatore, distributore | fascicolo tecnico |
| | fabbricante, utente | piano di manutenzione (manuale d'uso, manuale di manutenzione, programma di manutenzione) |
| cantieri | committente (responsabile lavori, coordinatori sicurezza, direttore lavori) | piano della sicurezza e coordinamento |
| | datore di lavoro (direttore di cantiere, capomastro) | piano operativo della sicurezza |
| processi pericolosi | alta direzione | sistema di gestione per la sicurezza |

Il carattere sistemistico della sicurezza, infine, emerge chiaramente anche dalla esigenza sempre più insistentemente richiamata – non solo nella normativa – di ricercare sempre l'attuazione di organizzazioni della sicurezza adeguate, ovvero ben progettate, rispetto alle finalità del sistema produttivo cui ci si riferisce. Con ciò si intende anche consentire l'attuazione del complesso di azioni gestionali che - sole - possono consentire il concretizzarsi di processi di miglioramento continuo, oggi (in realtà – a ben vedere - da sempre) inderogabili.

Per esempio, nel caso di una azienda industriale media, l'organizzazione tipica che ci si deve attendere è quella rappresentata a titolo puramente esemplificativo nella Figura 1.4.

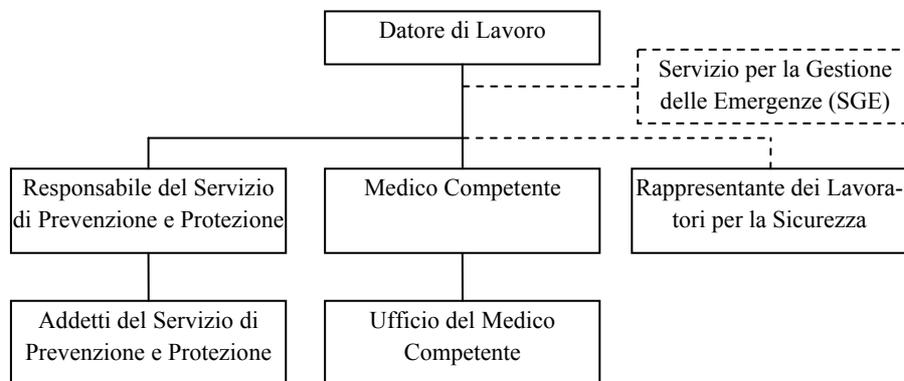


Figura 1.4 Organizzazione della sicurezza tipica in una azienda industriale.

Riguardo a essa, solo per chiarezza e per scongiurare un errore terminologico e concettuale assai ricorrente e non di poco conto, il responsabile del servizio di prevenzione e protezione non deve intendersi quale il responsabile della sicurezza aziendale, bensì – più limitatamente – quale il responsabile di una precisa funzione aziendale (la funzione prevenzione e protezione) che risponde al datore di lavoro. L'unico responsabile della sicurezza, infatti, è, e non può essere altrimenti, il datore di lavoro.

Bibliografia

Brown J., Hazlett S., Heinrich H.W., Petersen D., Roos N.R. , *Industrial accident prevention: a safety management approach*, McGraw Hill, 1980.

Camera dei deputati, Commissione XI, *Indagine conoscitiva sulla sicurezza e l'igiene del lavoro – Documento conclusivo*, 22 luglio 1997.

Catino M., *Da Chernobyl a Linate*, Paravia Mondadori, 2006.

Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D., *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw Hill, 2004.

Friedman T.L., *The world is flat*, Farrar, Straus & Giroux, 2005.

Grassoni E., *La dinamica del rischio*, UTET, aprile 2002.

ISPESL, *Linee guida per la valutazione del rischio – Applicazione agli uffici amministrativi ed ai laboratori scientifici*, 2003.

Roseo G., *Il ruolo strategico dell'informazione e della formazione all'interno della nuova filosofia unitaria*, Fogli d'Informazione ISPESL - Anno IX n°1/96, 1997.

Simon H., *The Architecture of Complexity*, Proceedings of American Philosophical Association, 1962.

Simon H. *The sciences of the artificial*, The MIT Press, 1996.

Silvestri E., Genco M., *Parametri di misura del rischio negli impianti potenzialmente pericolosi – Considerazioni sui limiti di accettabilità dei rischi*, in "Impiantistica italiana", anno II, n. 3, marzo 1989.

Università Bocconi, *La gestione della sicurezza nelle imprese industriali: modelli organizzativi, strumenti gestionali, fabbisogni formativi – L'esperienza delle imprese di minori dimensioni – Ricerca intervento su 5 casi aziendali*, IEFE, Milano 1999.

Università Bocconi, *La gestione della sicurezza nelle imprese industriali: modelli organizzativi, strumenti gestionali, fabbisogni formativi – Analisi di dieci casi aziendali*, IEFE, Milano 1998.

Weaver W., *Science and complexity*, American Scientist, 36: 536, 1948.

Zadeh L.A., *Fuzzy Sets*, Information and Control, n. 8, 1965.

Zio E., *An introduction to the basics of reliability and risk analysis*, World Scientific, 2007.

I rischi da guasto

*R.Cuccioletta - G.Mercuri - M.N.Tini

2.1 Introduzione

Un sistema di produzione rappresenta, sotto il profilo della sicurezza, un insieme vasto e complesso di fonti di pericolo; ciò impone agli addetti ai lavori di trovare soluzioni tecniche tese al raggiungimento della massima sicurezza per gli operatori e, nel caso si verifichi un incidente, impedire che esso provochi danni anche alla popolazione e ai beni del circondario. Da una parte è indispensabile, quindi, studiare ed identificare idonee procedure di lavoro volte alla prevenzione degli infortuni, dall'altra è necessario valutare attentamente la sicurezza nelle loro varie componenti fondamentali: edifici, ambienti, impianti di produzione, impianti di servizio, impianti tecnologici.

Nello studio della sicurezza di un sistema produttivo si distinguono due categorie di circostanze che possono determinare danni e incidenti: i fenomeni di guasto e i fenomeni di esposizione. La distinzione è necessaria in quanto si tratta di fenomeni del tutto diversi, sia come genesi ed evoluzione, sia come conseguenze e trattamento delle conseguenze. Per *rischi da guasto* devono intendersi, dunque, i rischi di danno derivanti dal verificarsi di uno o più guasti.

*I Paragrafi 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 sono stati redatti in collaborazione con Roberto Cuccioletta, Ingegnere, Responsabile tecnico certificazione impianti del CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione ed esperto in Sicurezza. Collabora con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma.

Il Paragrafo 2.5 è stato redatto in collaborazione con Giampiero Mercuri, Ingegnere, specializzato in Sicurezza, in metodologie di analisi dei rischi e nella conduzione di ispezioni per la sicurezza. Collabora su tali tematiche con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma e con il CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione.

Il Paragrafo 2.2 è stato redatto in collaborazione con Maria Nice Tini, Ingegnere, Direttore del Dipartimento Territoriale dell'ISPESL di Terni, membro del comitato tecnico europeo TC 98: "Piattaforme di sollevamento" e TC 147: "Sicurezza degli apparecchi di sollevamento".

I guasti sono eventi complessi, riconducibili a anomalie di funzionamento del sistema in cui si sono verificati. Se è vero che i guasti sono sempre dannosi, non bisogna, però, credere che abbiano tutti le stesse conseguenze: un guasto, per definizione, è l'impossibilità per un materiale, struttura o sistema di svolgere il proprio compito in modo sicuro e ordinato, ma esistono diverse modalità per caratterizzare una tale situazione. Una classificazione dei guasti è riportata nella Tabella 2.1.

Tabella 2.1 Classificazioni dei guasti [*Progettare e gestire la manutenzione, 2004*].

| Tipo di guasto | Descrizione |
|----------------------------|--|
| <i>Guasto catastrofico</i> | Una condizione di repentina e completa cessazione delle operazioni e un totale deterioramento delle funzioni. |
| <i>Guasto improvviso</i> | Una condizione di degrado accelerato sia del materiale sia delle prestazioni, che si traduce in un parziale indebolimento delle funzioni. |
| <i>Guasto imminente</i> | Una condizione di percettibile degrado del materiale in presenza di un serio deterioramento delle prestazioni. |
| <i>Guasto incipiente</i> | Una condizione nella quale l'utilizzo di opportuni mezzi di detezione permette di individuare i primi segni di degrado del materiale, senza che l'utente avverta alcuna modifica nella performance della macchina. |
| <i>Guasto condizionale</i> | Una condizione di preallerta in cui non si è ancora verificato un degrado né del materiale né della prestazione, ma tale che, se la situazione persiste, si arriverà inevitabilmente ad un guasto funzionale. |

Le “cause prime di guasto” si presentano quando esistono condizioni anomale che producono una situazione di instabilità del sistema. Nel caso di sistemi meccanici a fluido, per esempio, è possibile indicarne alcune, tipicamente le seguenti:

- eccessiva contaminazione del fluido lubrificante
- fuoriuscita del fluido
- instabilità chimica del fluido
- instabilità fisica del fluido
- cavitazione
- instabilità della temperatura del fluido
- condizioni severe di usura
- deformazione o frattura del materiale.

La Figura 2.1 rappresenta simbolicamente i “percorsi di guasto” che possono verificarsi in un sistema tecnico qualsivoglia, a partire da guasti iniziali (eventi base), che danno luogo ad ulteriori eventi intermedi di guasto, che possono essere propagativi se determinano una prosecuzione del percorso di guasto, ovvero migliorativi se determinano l'arresto o la riduzione del suddetto percorso. Al vertice della rappresentazione simbolica vi è l'evento culmine, il cosiddetto *top event*, che rappresenta l'evento dannoso grave che si intende scongiurare. In un sistema tecnico ben progettato, eviden-

temente, i percorsi di guasto dovrebbero essere adeguatamente “lunghi”, ovvero tali da determinare l’arresto della propagazione dei guasti verso l’evento culmine. Se gli eventi della catena sono indipendenti, la probabilità dell’evento culmine è più bassa della probabilità di accadimento di ogni evento della catena, essendo tale probabilità pari al prodotto delle probabilità di accadimento (le probabilità sono tutte di valore inferiore all’unità) dei singoli eventi del percorso.

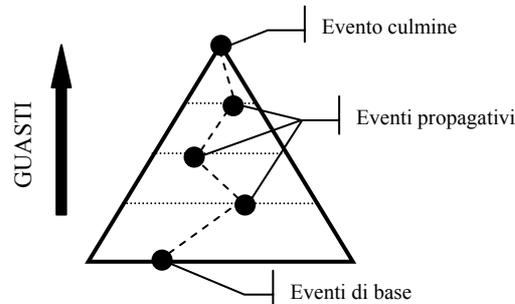


Figura 2.1 Rappresentazione simbolica dei percorsi di guasto.

Nei paragrafi successivi saranno esaminati i rischi da guasto, saranno individuate le fonti di rischio e le potenziali conseguenze sull’uomo e sull’ambiente e, infine, saranno presentate alcune misure di protezione.

I fenomeni di esposizione, a differenza dei guasti, sono legati alla presenza di un agente espositivo a cui risultano assoggettati i lavoratori. Tali fenomeni e i rischi conseguenti saranno presi in considerazione nel successivo Capitolo 3.

2.2 Il rischio meccanico

In Fisica, con la parola “meccanica” si indica una qualsiasi teoria che investiga le leggi relative all’equilibrio ed al movimento dei corpi. Essa deriva dal termine greco “*mèchanichè*”, derivato da “*mechène*”, strumento per fare o compiere qualcosa, e dal termine sottinteso “*tècne*”, che significa arte [*Dizionario etimologico Garzanti, 2007*].

Con l’espressione “*rischio meccanico*” si vuole intendere quel rischio che ha a che vedere con il verificarsi di fenomeni di guasto di natura meccanica (rottture, interazioni uomo-macchina, rottture di apparecchiature in pressione, carichi sospesi ecc.), la cui evoluzione e le cui conseguenze sono anch’esse, nella generalità dei casi, di tipo meccanico.

Alcune potenziali conseguenze dei fenomeni di guasto meccanico sono:

- investimento
- caduta

- schiacciamento
- taglio o cesoiamento
- afferramento e convogliamento
- trascinamento
- impigliamento e intrappolamento
- abrasione
- puntura
- urto
- proiezione di materiali
- proiezione di liquidi in pressione
- scivolamento, inciampo e caduta
- perforazione
- soffocamento.

I moti generalmente presenti in un sistema meccanico sono:

- moti rotativi
- moti alternativi e di traslazione
- moti biella-manovella
- moti oscillatori.

Secondo tale classificazione è possibile fornire alcune esemplificazioni di macchine e dei relativi rischi meccanici correlati al loro utilizzo.

Gli organi delle macchine dotati di *moti rotativi* costituiscono un costante pericolo di *convogliamento* e *trascinamento*. Alcune parti rotanti delle macchine, inoltre, presentano sporgenze e/o aperture che determinano gravi rischi di *impigliamento* od *intrappolamento*, come per esempio le pale delle ventole, i bracci dei miscelatori, le chiavette sporgenti, le coppiglie e le viti di bloccaggio sugli alberi.

Le frese, le seghe circolari, le punte da trapano e i coltelli delle piallatrici sono utensili che funzionano asportando il materiale con cui vengono in contatto. Queste macchine possono risultare pericolose non solo per il rischio di entrare in contatto con le parti stesse della macchina ma anche perché, durante il loro funzionamento, possono determinare la proiezione di parti e componenti. Nella macchina molatrice, per esempio, l'asportazione di materiale avviene per l'azione di un elevato numero di grani abrasivi distribuiti nella massa della mola e mantenuti nella forma desiderata grazie ad un legante. In tale macchina, oltre al rischio di proiezione di particelle di abrasivo o di altri materiali, con particolare pericolo per gli occhi, esiste il pericolo di scoppio della mola causato dalle sollecitazioni radiali date dalla forza centrifuga. La rottura o lo scoppio possono verificarsi per difetti presenti nella struttura, oppure in seguito a sollecitazioni anormali, per urto del pezzo, o per l'incuneamento dello stesso tra la mola e il poggia-pezzo.

Oltre agli organi rotanti isolati, esistono anche organi rotanti non isolati: per esempio, quando due o più alberi o rulli cilindrici ruotano su assi paralleli, la rotazione di un organo meccanico in prossimità di altri organi fissi od in moto determina un significativo rischio di *afferramento*. Il rischio sussiste anche se fra i rulli in questione viene lasciato uno spazio per il caricamento e il passaggio del materiale oggetto della

lavorazione. Tra le parti rotanti e altre dotate di moto tangenziale, si crea un punto di *afferramento e convogliamento* nel punto di contatto tra gli elementi. Tra elementi rotanti e fissi, infine, si determina la possibilità di *taglio, schiacciamento e abrasione*.

I *moti di traslazione e alternativi* sono caratterizzati dal movimento di un organo scorrevole su guide. Il pericolo discende dalla possibilità di *schiacciamento o di ce-soiamento* e si manifesta quando la parte in movimento si avvicina, od oltrepassa, un'altra parte fissa, o un altro componente dotato di moto opposto.

Alcuni meccanismi presentano una combinazione di moto rotatorio e alternativo (meccanismo biella-manovella). Il pericolo è rappresentato dalla zona compresa fra le aree occupate dagli organi in moto rotatorio e alternativo. Tale tipo di situazioni è diffuso nelle macchine tessili, da stampa e nelle confezionatrici.

Alcuni dispositivi presentano *moti oscillatori a pendolo*: in questo caso, il pericolo è rappresentato dai punti di *intrappolamento* fra il pendolo e le parti fisse od altri organi in moto.

In molte circostanze, il pericolo è rappresentato dal contatto con il materiale in lavorazione: per esempio, molti infortuni sono provocati dall'*impigliamento* con il pezzo in lavorazione. Più comuni sono gli incidenti indotti da un *urto* con alcune parti della macchina all'atto dell'inserimento o dell'estrazione del pezzo in lavorazione.

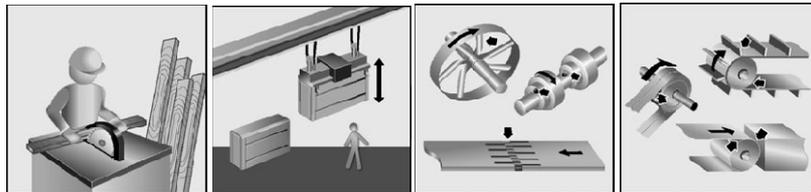


Figura 2.2 Esempi di rischi meccanici collegati ad organi in movimento.

2.2.1 Misure di protezione

La riduzione dei rischi meccanici e, più in generale, di tutti i rischi associati all'utilizzo di una attrezzatura di lavoro, può essere realizzata per mezzo di idonee misure di protezione. Tali misure di protezione possono essere implementate dal progettista e dall'utilizzatore dell'attrezzatura di lavoro. Il progettista, da una parte, deve realizzare una progettazione che risulti intrinsecamente sicura, adottare protezioni e misure di protezione complementari e predisporre informazioni per l'uso e la manutenzione. L'utilizzatore, dall'altra, deve valutare e ridurre i rischi introdotti dall'impiego dell'attrezzatura, ricorrendo ad un sistema di organizzazione del lavoro che abbia procedure di lavoro adeguate, che preveda la sorveglianza e permessi di lavoro per specifiche attività, corsi di formazione e di addestramento, nonché la messa a disposizione di mezzi di protezione supplementari e di dispositivi di protezione individuale.

Per misure di protezione integrate nella progettazione, si intendono quelle misure che eliminano o riducono i rischi associati ai pericoli, modificando le caratteristiche di progettazione o di funzionamento della macchina senza l'uso di ripari o di dispositivi di protezione. Le misure che possono essere integrate in fase di progettazione sono preferibili e, generalmente, più efficaci di quelle implementate dall'utilizzatore.

Le misure di protezione integrate nella progettazione sono il primo e più importante passaggio del processo di riduzione del rischio meccanico, in quanto tali misure - verosimilmente - garantiscono una superiore efficacia, benché l'esperienza abbia dimostrato che anche le protezioni ben progettate possono presentare un guasto, o essere violate, e le informazioni per l'uso potrebbero non essere seguite.

Il principio di integrazione della sicurezza in fase di progettazione prevede di eliminare i pericoli, o ridurre i rischi, mediante una selezione idonea delle caratteristiche di progetto della attrezzatura di lavoro stessa e/o delle caratteristiche dell'interazione tra le persone esposte e l'attrezzatura di lavoro.

Tale obiettivo può essere raggiunto rimuovendo i pericoli o riducendo, separatamente o simultaneamente, ciascuno dei due fattori che determinano il rischio:

- gravità del danno come può derivare dal pericolo in considerazione
- probabilità di accadimento di quel danno.

Tutte le misure per raggiungere tale obiettivo possono essere applicate in conformità alla sequenza di seguito indicata, nota come "metodo in tre fasi" (Figura 2.3):

- integrazione delle misure di protezione nella progettazione (questa fase è l'unica in cui i pericoli possono essere effettivamente eliminati)
- predisposizione delle protezioni e, eventualmente, delle misure di protezione complementari
- informazioni per l'uso sul rischio residuo.

Le informazioni per l'uso non devono sostituirsi alla corretta applicazione delle misure di protezione integrate nella progettazione o delle protezioni o delle misure di protezione complementari.

Per il funzionamento continuo in sicurezza di una qualunque macchina, è poi essenziale che le misure di protezione ne consentano il facile utilizzo e non ostacolino il suo uso previsto. La mancata osservanza di tale aspetto potrebbe portare all'aggiramento delle misure di protezione per ottenere il massimo sfruttamento delle possibilità della macchina.

2.2.2 Mezzi di protezione e sistemi di comando

I mezzi di protezione, *ripari* e *dispositivi di protezione*, devono essere utilizzati ogni qualvolta la progettazione intrinsecamente sicura non renda ragionevolmente possibile rimuovere i pericoli, o ridurre sufficientemente i rischi direttamente alla fonte.

Alcuni mezzi di protezione possono essere utilizzati per evitare l'esposizione a più di un pericolo (per esempio un riparo fisso che impedisca l'accesso a una zona in cui è presente un pericolo di natura meccanica, utilizzato anche per ridurre il livello di rumorosità e captare le emissioni tossiche).

Si intende per *riparo* una barriera fisica, progettata come parte dell'attrezzatura di lavoro, per fornire protezione. A seconda della sua progettazione, un riparo può essere un involucro, uno schermo, un coperchio, una porta o una recinzione.

Un riparo può agire:

- da solo; in tal caso un riparo è efficace solo quando è “mantenuto in posizione in modo sicuro” se è un riparo fisso, ovvero solamente quando è “chiuso” se si tratta di un riparo mobile
- associato a un dispositivo di interblocco con o senza bloccaggio del riparo; in tal caso, la protezione è garantita indipendentemente dalla posizione del riparo.

Esistono, inoltre, diversi tipi di ripari:

- riparo fisso
- riparo mobile
- riparo regolabile
- riparo interbloccato
- riparo interbloccato con bloccaggio del riparo
- riparo interbloccato con funzione di avviamento
- riparo con comando di avviamento.

Nel *riparo fisso* la protezione è bloccata in modo tale da potere essere aperta o rimossa solo mediante l'uso di utensili o la distruzione dei mezzi di fissaggio. Esempi di mezzi di fissaggio sono viti, dadi e saldatura. Il *riparo mobile* può essere aperto senza l'utilizzo di utensili. Il *riparo regolabile* (Figura 2.4) è dotato di una parte fissa o mobile che è regolabile nell'insieme, o che integra una o più parti regolabili. La regolazione rimane fissa durante una particolare operazione.

Il *riparo interbloccato* è costituito da una protezione associata a un dispositivo di interblocco in modo che, insieme al sistema di comando della macchina, siano eseguite le seguenti funzioni:

- le funzioni pericolose delle macchine protette dal riparo non possono attivarsi finché il riparo non è chiuso
- se il riparo è aperto mentre le funzioni pericolose della macchina sono attivate, è inviato un comando di arresto
- quando il riparo è chiuso, le funzioni pericolose della macchina protette dal riparo possono essere attivate. La chiusura del riparo non avvia di per sé le funzioni pericolose della macchina.

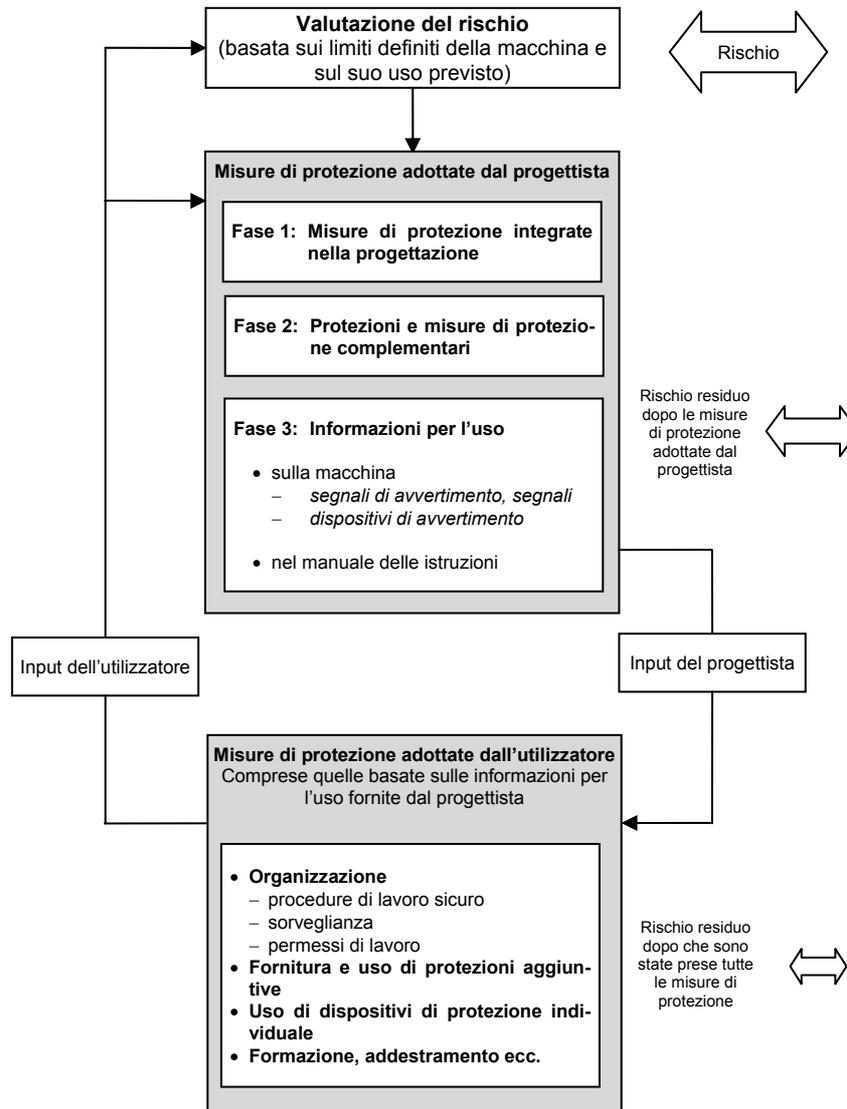


Figura 2.3 Integrazione della sicurezza durante la progettazione.

Il *riparo interbloccato con bloccaggio del riparo*, è rappresentato da un dispositivo di interblocco e da un dispositivo di bloccaggio del riparo in modo che, insieme al sistema di comando della macchina, consenta che le funzioni pericolose della macchina protette dal riparo possano attivarsi solo quando il riparo è chiuso e bloccato. La chiusura e il bloccaggio del riparo non avviano di per sé le funzioni pericolose della macchina.

Il *riparo interbloccato con funzione di avviamento* è un particolare tipo di riparo interbloccato che, una volta raggiunta la posizione chiusa, invia un comando per avviare la funzione pericolosa della macchina senza l'uso di un comando di avviamento separato.

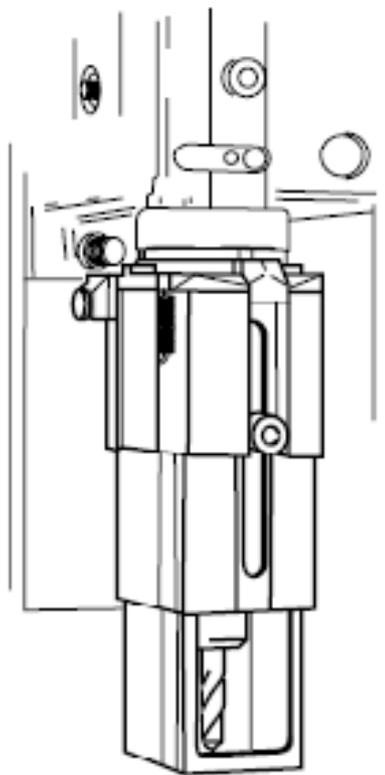


Figura 2.4 Esempio di riparo regolabile: il riparo è telescopico per permettere una pronta regolazione rispetto alla superficie del pezzo da lavorare.

Il *dispositivo di protezione* è un mezzo di protezione, diverso da un riparo, costituito da un dispositivo meccanico, elettrico o di altro tipo, il cui scopo è di impedire il funzionamento delle funzioni pericolose della macchina in condizioni specificate, generalmente fintanto che il riparo non è chiuso. Un esempio tipico di tali sistemi di protezione è il *dispositivo di interblocco*. In casi particolare è permesso l'utilizzo del *dispositivo di consenso*. Esso è un dispositivo supplementare, azionato manualmente, utilizzato in combinazione con un comando di avviamento e che, quando azionato in continuo, consente alla macchina di funzionare.

Altra importante protezione è quella che protegge gli operatori da eventuali *moti residui* degli organi della macchina anche dopo lo spegnimento della macchina.

Quando la macchina viene spenta, infatti, possono sussistere moti residui dovuti all'inerzia degli organi meccanici: in tale caso, la protezione deve garantire l'impossibilità di accedere alle zone pericolose sino a quando i moti residui non siano cessati del tutto.

La protezione può essere attuata in diversi modi:

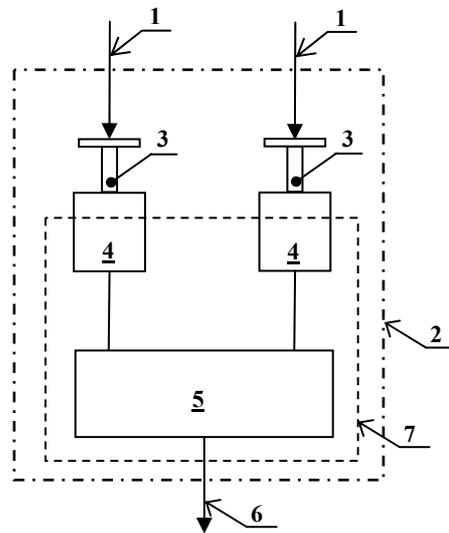
- mediante un dispositivo, in grado di assicurare che, dopo lo spegnimento della macchina, la protezione resti bloccata sino a quando l'elemento pericoloso non si sia fermato
- mediante un temporizzatore che regola l'apertura della protezione e, conseguentemente, l'accesso alla zona pericolosa, sino al momento in cui la macchina non si sia arrestata completamente.

I *sistemi di comando* svolgono la funzione essenziale di comandare l'effettuazione di lavorazioni o fasi di lavoro, e determinarne il blocco.

Un'attenta concezione dei sistemi di comando è essenziale ai fini della sicurezza della macchina, non meno di un'attenta progettazione delle protezioni.

I sistemi di comando sono costituiti dagli organi di comando veri e propri e dagli organi di controllo, che percepiscono eventuali anomalie che si dovessero manifestare e le segnalano all'operatore, facendo eventualmente intervenire i sistemi di blocco.

La resistenza meccanica degli elementi del sistema di comando deve essere attentamente considerata in fase di progettazione. E' anche necessario valutare tale resistenza nelle diverse condizioni di esercizio, ovvero in base alla frequenza di impiego, alle condizioni ambientali ecc. Le prove pratiche rappresentano un efficace metodo per prevenire eventuali limiti dei sistemi di comando.



Legenda: 1 segnale di ingresso – 2 dispositivo di comando a due mani – 3 attuatore del comando – 4 convertitore di segnale – 5 elaboratore di segnale – 6 segnale in uscita – 7 unità logica

Figura 2.5 Rappresentazione simbolica di un dispositivo di comando a due mani.

Uno dei primi requisiti che occorre valutare nella progettazione degli organi di comando è l'ideale *posizionamento* sulla macchina, tale da consentirne un uso facile e sicuro. Tra i comandi della macchina e gli altri componenti deve sempre sussistere una netta distinzione, al fine di ovviare a manovre errate o involontarie. Il lavoratore deve essere in grado di raggiungere i comandi senza muoversi o sporgersi dalla sua posizione abituale. Accanto ai *comandi di avviamento* della macchina devono sempre essere previsti i *comandi di arresto*.

I *comandi di emergenza*, che producono l'arresto rapido della macchina, devono essere ben visibili, colorati in rosso, generalmente su sfondo giallo, chiaramente etichettati e *non* protetti dall'azionamento accidentale.

Le manovre dei comandi devono potere essere effettuate agevolmente, anche con i guanti di lavoro qualora la particolare attività lo richieda. I pulsanti sono i comandi più diffusi: devono avere dimensione e robustezza adeguate alla particolare funzione che devono assolvere.

Quando il comando è caratterizzato da specifica direzionalità (leve, maniglie, volantini ecc.) è opportuno che esso suggerisca il movimento necessario all'attuazione della sua funzione.

Il *comando di avviamento* è particolarmente importante: esso non deve poter essere azionabile finché tutte le misure di sicurezza non sono garantite ed il sistema si trova nelle condizioni funzionali previste. I consensi all'avviamento della macchina possono essere automatici o manuali, cioè predisposti dall'operatore.

Il *comando di arresto*, analogamente, deve poter essere manovrato con prontezza, anche se è *distinto dal comando di emergenza*. La manovra d'arresto deve potere ripristinare le condizioni di operatività normale della macchina e consentirne il regolare avviamento.

Le macchine che operano in modalità automatica devono sempre prevedere un idoneo commutatore che ne consenta il funzionamento anche in modalità manuale. Ai fini della sicurezza, il funzionamento in una delle due modalità deve escludere del tutto l'attuarsi dell'altra, se non per mezzo di una manovra volontaria predefinita.

Fra i sistemi di comando si distinguono ancora:

- dispositivi di *comando ad azione mantenuta*
- dispositivi di *comando a due mani*.

Nel primo caso il dispositivo di comando avvia e mantiene abilitate le funzioni pericolose della macchina solo fintanto che il comando manuale è azionato. Nel secondo caso (Figura 2.5) il dispositivo richiede l'azionamento contemporaneo con entrambe le mani per avviare e mantenere le funzioni pericolose della macchina; esso fornisce quindi una misura di protezione solo per la persona che lo aziona.

Oltre ai sistemi di protezione e di comando sopra menzionati può essere necessario dotare la macchina di:

- *dispositivo di protezione sensibile (SPE – sensitive protective equipment)*, che consiste in un'apparecchiatura per rilevare persone o parti di persone che genera un appropriato segnale indirizzato al sistema di comando per ridurre il rischio. Il segnale può essere generato quando una persona o una parte di una persona oltrepassano un predeterminato limite - per esempio entrano in una zona pericolosa - o quando una persona è rilevata in una zona predeterminata, o in entrambi i casi
- *dispositivo optoelettronico a protezione attiva (AOPD – active opto-electronic protective device)*, la cui funzione di rilevamento è eseguita da elementi optoelettronici di emissione e ricezione, che rilevano l'interruzione della radiazione ottica determinata da un oggetto opaco presente nella zona di rilevamento specificata.

2.2.3 Scelta dei ripari e dei dispositivi di protezione

I ripari e i dispositivi di protezione descritti nel paragrafo precedente devono essere oggetto di una attenta valutazione affinché la loro scelta tenga conto della natura delle

parti in movimento (Figura 2.6) e della necessità di accesso alle zone pericolose (Figura 2.7).

La scelta esatta di un mezzo di protezione per una particolare attrezzatura di lavoro deve essere effettuata sulla base di una specifica valutazione del rischio.

I criteri di selezione più importanti sono:

- la probabilità e la gravità prevedibile di qualsiasi lesione secondo quanto indicato dalla valutazione del rischio
- l'uso intenso dell'attrezzatura di lavoro
- i pericoli intrinseci dell'attrezzatura di lavoro
- la natura e la frequenza dell'accesso.

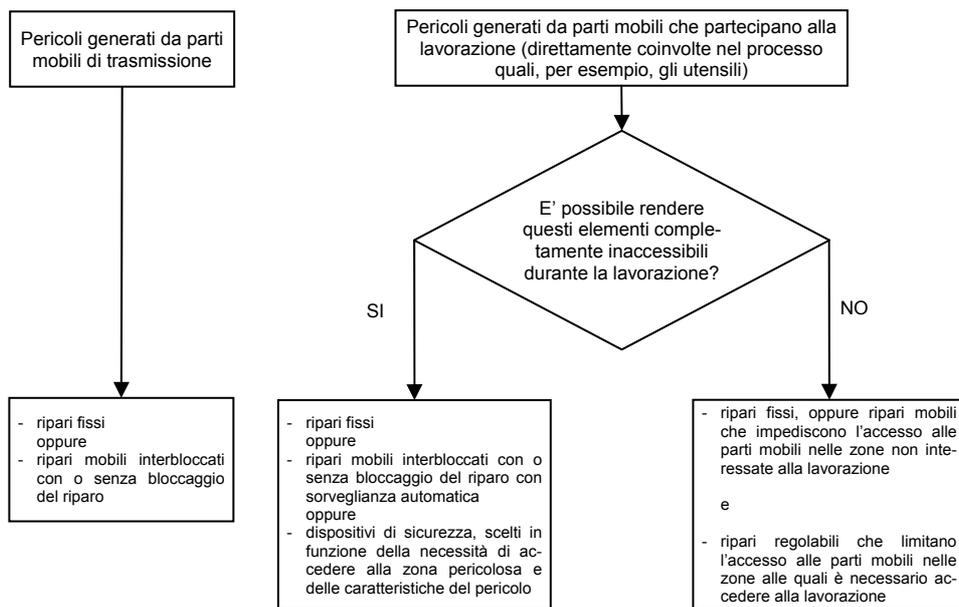


Figura 2.6 Scelta dei mezzi di protezione per pericoli generati da parti in movimento.

Nella selezione di un mezzo di protezione appropriato per un particolare tipo di macchinario o zona pericolosa, occorre ricordare che un riparo fisso deve essere utilizzato laddove l'accesso di un operatore alla zona pericolosa non sia richiesto durante il normale funzionamento (funzionamento senza malfunzionamenti) del macchinario.

Mano a mano che la necessità della frequenza di accesso aumenta, inevitabilmente si può determinare il mancato riposizionamento del riparo fisso. In conseguenza di ciò, si rende necessario il ricorso ad una misura di protezione alternativa (riparo mobile interbloccato, dispositivo di protezione sensibile).

Talvolta, può essere richiesta una combinazione di mezzi di protezione. Per esempio, laddove, in congiunzione con un riparo fisso, sia utilizzato un dispositivo di caricamento meccanico per alimentare un pezzo da lavorare in una macchina (e pertanto sia eliminata la necessità di accedere alla zona pericolosa primaria) può essere richiesto un dispositivo sensibile come protezione contro il pericolo secondario di trasciamento o cesoiamento tra il dispositivo di caricamento meccanico, se raggiungibile, e il riparo fisso.

Inoltre, deve essere prestata particolare attenzione alla schermatura delle posizioni di comando o delle zone di intervento per fornire protezione combinata contro numerosi pericoli, fra i quali:

- pericoli dovuti a caduta o eiezione di oggetti (per esempio struttura di protezione dalla caduta di oggetti)
- pericoli di emissione (per esempio protezione contro rumore, vibrazione, radiazione, sostanze nocive)
- pericoli dovuti all'ambiente (per esempio protezione contro calore, freddo, intemperie)
- pericoli dovuti al rovesciamento o ribaltamento del macchinario (per esempio struttura di protezione contro il rotolamento o ribaltamento).

La progettazione di postazioni di lavoro racchiuse (per esempio cabine) deve prendere in considerazione i principi ergonomici relativi a visibilità, illuminazione, condizioni atmosferiche, accesso, postura.

Ove possibile, le macchine devono essere progettate in modo tale che i mezzi di protezione forniti per la protezione dell'operatore garantiscano anche la protezione del personale incaricato della messa a punto, dell'addestramento, del cambio di processo, della ricerca delle avarie, della pulizia o della manutenzione (senza ostacolarlo nell'esecuzione del suo ruolo). Tali compiti devono essere identificati e considerati nella valutazione del rischio come parte integrante dell'uso dell'attrezzatura di lavoro.

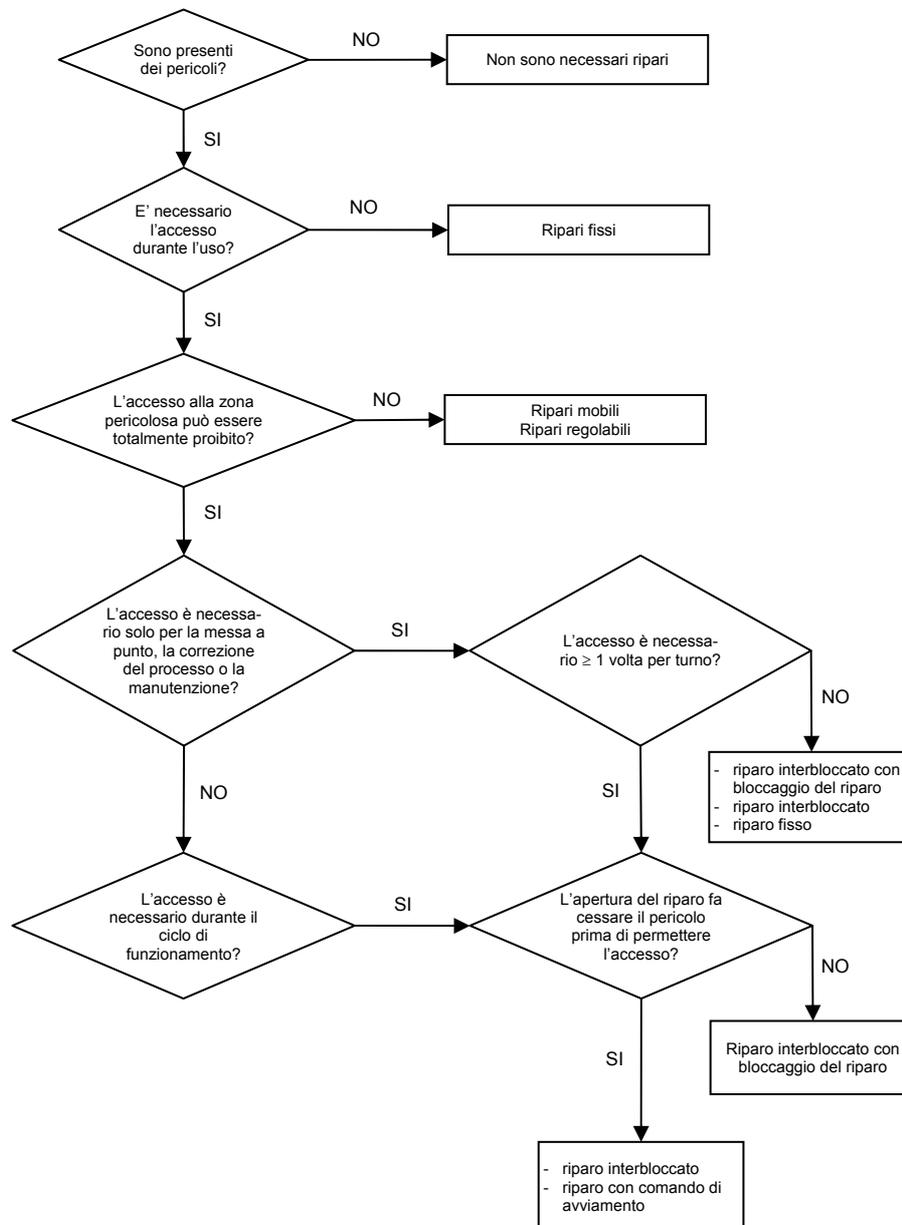


Figura 2.7 Scelta dei ripari sulla base della natura e della frequenza di accesso.

2.2.4 La manutenzione delle macchine

La riduzione del rischio in genere, e del rischio meccanico in particolare, è resa possibile anche attraverso un'adeguata manutenzione [Progettare e gestire la manutenzione, 2004], cui - in questa sede - ci si limita ad un rapido cenno.

La manutenzione si occupa di studiare - dal punto di vista progettuale e gestionale - come attuare le azioni tecnico-esecutive, operative (o di controllo dell'esecuzione) e manageriali necessarie al fine di garantire la disponibilità dei sistemi, l'economicità della conduzione dei sistemi, la loro sicurezza e l'impiego ottimale delle risorse ambientali.

La manutenzione negli anni è andata arricchendosi di contenuti, passando dall'essere un'attività meramente riparativa e correttiva, fino a divenire un complesso di azioni integrate, finalizzate ad assicurare la prevenzione di eventi di guasto, la conservazione più sicura e razionale dei sistemi, nonché permetterne la gestione (anche a distanza).

Più che parlare di manutenzione di impianti, infatti, le tendenze oggi in atto paiono giustificare parlare di gestione di sistemi. Il tema assume particolare rilievo quando si parli di manutenzione di sistemi che per complessità di funzionamento, numerosità delle parti componenti e impatto sulle condizioni degli ambienti di lavoro giustificano un approccio sistematico, ispirato a chiare logiche preventive e ad efficaci modalità di gestione (identificazione degli oggetti, riferibilità geografica, programmazione e registrazione degli interventi ecc.). Da questo punto di vista anche un ambiente di lavoro può essere considerato un sistema tecnico.

Il modo certamente più antico, spontaneo e semplice di intervenire ai fini della garanzia della sicurezza è stato, certamente, la manutenzione a guasto. Questa strategia manutentiva, tuttavia, presenta numerosi aspetti discutibili:

- i fermi di impianto si presentano in maniera casuale e, spesso, nel momento meno opportuno
- il guasto grave ed inaspettato di un componente può avere conseguenze deleterie sugli altri elementi del sistema, compromettendone la funzionalità, con un aggravio consistente dei costi
- riparazioni non programmate comportano spesso tempi lunghi (per ottenere le parti di ricambio, assegnare il tecnico adatto ecc.), ostacolando la produzione e tenendo occupato poco proficuamente il personale tecnico.

Benefici consistenti, anche se si deve valutare con attenzione la convenienza economica caso per caso, possono derivare, altresì da altre strategie manutentive, di tipo preventivo, predittivo e migliorativo.

Molto interessanti, infine, appaiono le prospettive offerte dalla tele-manutenzione, ovvero dalla messa a punto di sistemi di manutenzione a distanza, basati su una consistente sensoristica, oltre che su sistemi informativi e di comunicazione adeguati, eventualmente centrati su logiche di funzionamento evolute, che permettono il miglioramento continuo della capacità manutentiva, grazie a meccanismi di autoapprendimento (si veda - a questo riguardo - anche quanto riferito al Paragrafo 6.9).

2.2.5 Requisiti essenziali di sicurezza delle macchine

Le direttive europee di prodotto, finalizzate alla libera circolazione delle merci, sono caratterizzate dall'elencazione dei cosiddetti "requisiti essenziali". Laddove sono trattati aspetti di sicurezza, tali requisiti assumono la definizione di "Requisiti Essenziali di Sicurezza" (RES). I suddetti "requisiti essenziali" definiscono taluni obiettivi normativi da raggiungere, ma non entrano nel merito delle soluzioni tecniche da adottare; essi sono definiti "essenziali" perché trattano – in modo appunto essenziale, implicito - aspetti fondamentali il cui rispetto è ritenuto inderogabile per garantire un'elevata tutela del mercato, costituito dagli utilizzatori finali dei prodotti.

L'alto livello di protezione garantito dai "requisiti essenziali" è altresì condizione indispensabile per la rimozione delle leggi nazionali in vigore prima della pubblicazione di una corrispondente direttiva europea e per evitare il ricorso a legislazioni più severe da parte dei singoli Stati membri dell'Unione Europea.

Nell'ambito della Sicurezza, i "Requisiti Essenziali di Sicurezza" presentati nelle direttive di prodotto non vanno confusi con i "requisiti minimi" delle direttive sociali; infatti, mentre è proibito agli Stati membri di apportare modifiche ai RES, i "requisiti minimi" possono invece essere integrati o modificati per garantire una maggiore protezione del cittadino.

In merito alla quantità di tali requisiti e ai contenuti specifici, vi è una certa varietà in base all'argomento trattato. In alcuni casi i requisiti espressi sono pochi e molto generici (per esempio, nella Direttiva Compatibilità Elettromagnetica); in altri casi sono più numerosi e dettagliati.

La Direttiva Macchine, centrale ai fini della trattazione del Rischio Meccanico, è caratterizzata da un elevato numero di "Requisiti Essenziali di Sicurezza"; il fabbricante deve identificare quelli applicabili al proprio prodotto, con l'eccezione dei RES di seguito indicati che devono in ogni caso essere soddisfatti:

- il principio di integrazione della sicurezza
- la marcatura della macchina
- le istruzioni per l'uso e la manutenzione.

Il fabbricante di una macchina dovrà valutare se ogni requisito essenziale di sicurezza è *soddisfatto* o è *non soddisfatto*, ovvero se le soluzioni adottate dal progettista hanno eliminato o ridotto, in modo sufficiente o meno, ogni singolo rischio presentato. Le metodologie operative da applicare per l'esecuzione della valutazione dei rischi verranno ampiamente descritte nel successivo Capitolo 6.

I passi fondamentali ai fini della suddetta valutazione dei rischi sono i seguenti:

- determinazione dei limiti della macchina
- identificazione dei pericoli
- stima dei rischi
- valutazione della gravità delle possibili conseguenze.

Per verificare se la soluzione (o le soluzioni) adottata è conforme o è non conforme ai requisiti della direttiva, il fabbricante ha a disposizione uno strumento operativo effi-

cate: le *norme armonizzate* sulla sicurezza del macchinario. Le norme armonizzate sono quelle norme tecniche europee (quindi emesse dagli organismi di formazione tecnica europea, CEN e CENELEC) pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, il cui rispetto conferisce la presunzione di conformità ai RES trattati dalla norma stessa.

I requisiti essenziali di sicurezza costituiscono il nucleo fondamentale di ogni direttiva di prodotto sotto il profilo tecnico, ai fini dell'assicurazione delle condizioni di sicurezza. Poiché in questa sede non è possibile, né interessante, commentare tutti i RES, si fa riferimento nel seguito ad alcuni concetti di particolare rilievo. Nei RES vengono presi in considerazione tutti gli aspetti concernenti la sicurezza e la salute degli utilizzatori (il termine va inteso in senso ampio: utenti, manutentori, trasportatori ecc.), evidenziando esplicitamente l'aspetto ergonomico delle macchine e degli impianti, sia per quanto concerne l'antropometria, sia per quanto attiene ai parametri ambientali. Vengono inoltre indicate le esigenze essenziali di sicurezza e di salute supplementari per alcune categorie di macchine, quali quelle agroalimentari, quelle movimentate a mano, le macchine per la lavorazione del legno.

Le macchine devono essere atte a funzionare, ad essere regolate e a subire la manutenzione senza che tali operazioni, se effettuate nelle condizioni previste dal fabbricante, espongano a rischi le persone, ivi comprendendo le fasi di montaggio e smontaggio, anche se il rischio provenisse da una situazione anormale prevedibile.

Fra i rischi presi in esame nell'ambito dei RES, vi è quello relativo alla *caduta dall'alto*. Tale rischio deve essere valutato e devono essere prese precauzioni per evitare la caduta dall'alto di un operatore. Quando, per l'esecuzione di un lavoro in posizione sopraelevata o in profondità, è necessario il trasporto di persone per mezzo di apparecchi di sollevamento a motore, l'attrezzatura da sospendere al *gancio* dell'apparecchio, utilizzata per il contenimento di persone, deve essere provvista di un solido *parapetto* cieco, liscio internamente, alto non meno di un metro, dotato di traversa a metà altezza e fascia di arresto al piede. La sospensione del contenitore deve essere realizzata mediante tre o più tiranti, distribuiti a eguali intervalli sul perimetro del contenitore stesso e convergenti al gancio dell'apparecchio, che deve essere progettato e costruito in modo da evitare la caduta improvvisa dei carichi, per esempio provvisto di chiusura all'imbocco. Per il corretto dimensionamento di un parapetto, si può far riferimento alle norme progettuali di buona tecnica che forniscono un utile strumento di valutazione. Il parapetto è realizzato con montanti tubolari sollecitati a torsione e flessione. La verifica si effettua calcolando l'andamento del momento flettente e della relativa tensione normale, nonché del momento torcente e della relativa tensione tangenziale, in corrispondenza della sezione trasversale più sollecitata, cioè quella di incastro. Mediante i cerchi di Mohr, si determinano le tensioni principali e - da esse - la tensione monoassiale ideale con cui si impone la disuguaglianza di verifica:

$$\sigma_i \leq k \cdot \sigma_{amm} \quad (2.1)$$

essendo σ_i la tensione ideale monoassiale, σ_{amm} la tensione normale ammissibile per un dato materiale e k un adeguato coefficiente di sicurezza.

I requisiti essenziali di sicurezza riportano diffuse indicazioni per ridurre i rischi particolari dovuti alle operazioni di sollevamento e vengono fornite, tra le altre, definizioni puntuali di “coefficiente di utilizzazione” e di “coefficiente di prova” delle macchine di sollevamento. Le macchine, gli accessori di sollevamento e gli elementi amovibili devono potere resistere alle sollecitazioni cui sono soggetti durante il funzionamento e, se del caso, anche quando sono fuori servizio, nelle condizioni di installazione e di esercizio previste dal fabbricante e in tutte le relative configurazioni, tenendo conto eventualmente degli effetti degli agenti atmosferici e degli sforzi esercitati dalle persone anche durante il trasporto, il montaggio e lo smontaggio. Gli *organismi di presa* devono essere progettati e costruiti in modo da evitare la caduta improvvisa dei carichi.

Un esempio di organo di presa è il *gancio*. I ganci possono essere assimilati – per la loro trattazione - a travi ad asse curvilineo (Figura 2.8); conseguentemente, il loro dimensionamento ed impiego deve essere attentamente valutato in funzione della sovratensione all'intradosso che si manifesta, rispetto ad una trave ad asse orizzontale²:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta l}{l} = E \cdot \frac{y \cdot \Delta(d\varphi)}{(r - y) \cdot d\varphi} \quad (2.2)$$

essendo E il modulo di Young del materiale, ε la deformazione unitaria, Δl l'allungamento rispetto alla lunghezza l iniziale dell'asse curvilineo della trave, misurata in corrispondenza del raggio y e dell'angolo $\Delta\delta\varphi$, che si realizza in corrispondenza dell'arco $d\varphi$, di raggio r .

Il sollevamento dei carichi può essere affidato ad una catena o ad una fune. Se viene utilizzata una catena, al posto del tamburo si ha una particolare ruota a denti, detta “noce di carico” o “ruota a impronte” che trascina la catena la quale, durante il sollevamento, si raccoglie in un contenitore solidale con il paranco. I diametri delle *pulegge*, dei *tamburi* e dei *rulli* devono essere compatibili con le dimensioni delle *funi* o delle *catene* di cui possono essere muniti. I tamburi e i rulli devono essere progettati, costruiti ed installati in modo che le funi o le catene di cui sono muniti possano avvolgersi senza lasciare lateralmente l'alloggiamento previsto.

² Il fatto di trattare il gancio come una trave ad asse curvilineo induce a considerare lo spostamento dell'asse neutro (il luogo dei punti in cui, cioè, trazione e compressione si bilanciano) verso l'intradosso della trave, producendo uno stato tensionale superiore a quello che ci si aspetterebbe in una trave ad asse orizzontale.

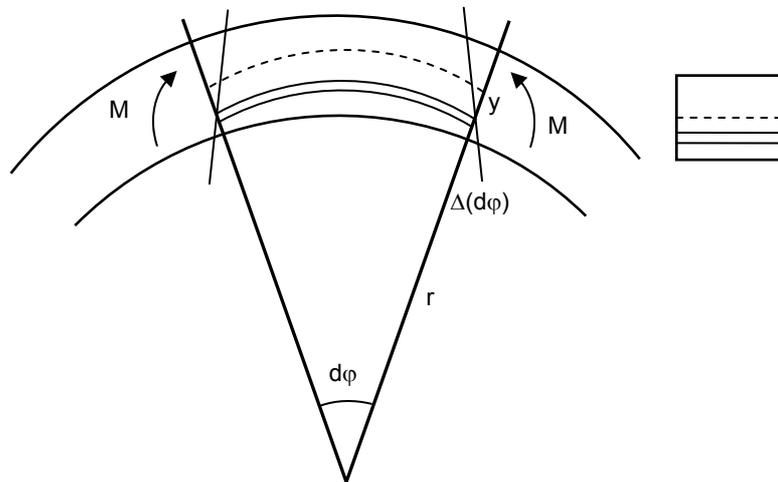


Figura 2.8 Trattazione del gancio.

Nel considerare dal punto di vista costruttivo la coppia puleggia/tamburo – fine, si dimostra agevolmente come la tensione di trazione (s) sulle sezioni della fune di raggio r_f aumenta all'aumentare del rapporto r_f / r_t , essendo r_t il raggio del tamburo o della puleggia (Figura 2.9):

$$\frac{1}{r_t} = \frac{M}{E \cdot J} \quad (2.3)$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M}{J/r_f} = E \cdot \frac{r_f}{r_t} \quad (2.4)$$

con W modulo di resistenza della sezione trasversale della fune e J momento d'inerzia della sezione trasversale della fune rispetto all'asse neutro.

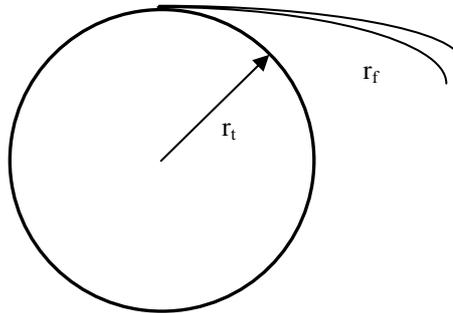


Figura 2.9 Trattazione della puleggia o tamburo.

In pratica, fissata la resistenza unitaria dei fili, la superficie della sezione metallica utile, e quindi la resistenza ideale corrispondente alla somma delle resistenze dei singoli fili della fune, si stabiliscono un opportuno grado di sicurezza a trazione e un opportuno rapporto di avvolgimento fra raggio della puleggia e raggio della fune. Si considerano due rapporti di avvolgimento, parimenti importanti:

- il rapporto tra il diametro della puleggia e il diametro del filo più grosso che entra nella composizione della fune: D/δ ;
- il rapporto tra il diametro della puleggia e il diametro della fune: D/d .

Le norme di buona tecnica forniscono, come dati limite per i rapporti tra i raggi delle funi e delle pulegge, i seguenti valori:

$$\frac{r_t}{r_f} \geq 25 \quad \text{per le pulegge motrici}$$

$$\frac{r_t}{r_f} \geq 20 \quad \text{per le pulegge di rinvio.}$$

Per quanto concerne le *imbracature dei carichi*, i RES richiedono che gli accessori di imbracatura siano dimensionati tenendo conto dei fenomeni di fatica e di invecchiamento per un numero di cicli di funzionamento conforme alla durata di vita prevista alle condizioni specificate per l'applicazione. Inoltre il coefficiente di utilizzazione dell'insieme cavo metallico e terminale è scelto in modo tale da garantire un livello adeguato di sicurezza; tale coefficiente è, in generale, pari a 5. I cavi non devono

comportare nessun intreccio, o anello, diverso da quelli delle estremità. Le funi o le cinghie di fibre tessili non devono presentare alcun nodo, impiombatura o collegamento, a parte quelli all'estremità dell'imbracatura o della chiusura di un'imbracatura senza estremità. Il coefficiente d'utilizzazione di tutti i componenti metallici di una braca, o utilizzati con una braca, è scelto in modo da garantire un livello adeguato di sicurezza; questo coefficiente è, in generale, pari a 4.

La successiva Figura 2.10 illustra come varia lo stato tensionale delle funi impiegate nell'imbracatura del carico al variare dell'altezza di imbracatura del carico h . Dalla relazione che esprime l'equilibrio delle forze esterne che agiscono sul sistema carico-funi di imbracatura, si evince che al ridursi dell'altezza di imbracatura, ovvero all'aumentare dell'angolo di imbracatura α , aumenta la sollecitazione sulle funi che potrebbero, oltre un certo limite, cedere:

$$P = 2 T \cos \alpha \quad (2.5)$$

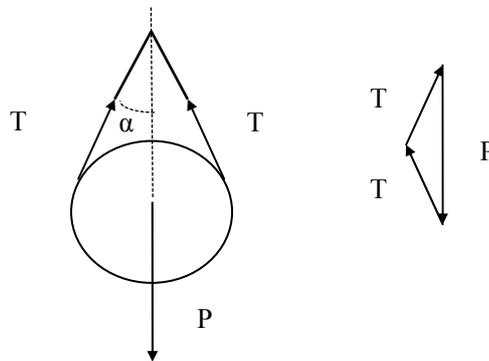


Figura 2.10 Equilibrio delle forze esterne nella imbracatura dei carichi.

Nel caso di carichi caratterizzati da spigoli vivi (casse, scatole ecc.), in considerazione dello sforzo di taglio che si produce in corrispondenza di tali spigoli, appare raccomandabile il ricorso a catene, quali organi di sospensione del carico. In ogni caso, inoltre, è raccomandabile utilizzare un *appoggio sagomato*.

Nell'imbracatura dei carichi, infine, occorre ricercare *soluzioni staticamente determinate*, nelle quali, cioè, il numero di vincoli a cui è soggetto il sistema è pari al numero dei suoi gradi di libertà (cioè il numero di movimenti che il corpo o sistema di corpi può effettuare liberamente). In tal caso, esiste una sola soluzione di forze che sollecitano il sistema, lasciandone immutate le sue caratteristiche di staticità.

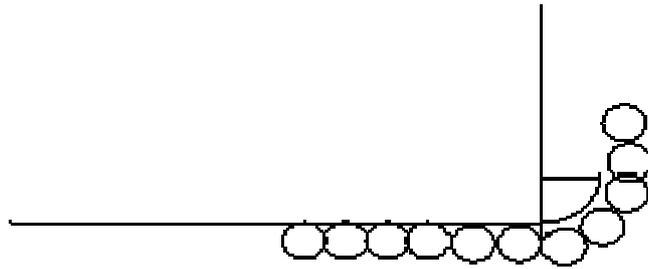


Figura 2.11 Imbracatura mediante catena e appoggio sagomato.

Come indicato nella Figura 2.12, nel caso staticamente determinato (a sinistra), le forze dipendono solo dalle caratteristiche geometriche; nel caso una volta iperstatico (a destra), le forze dipendono dalle proprietà geometriche ma anche dalle proprietà elastiche. L'aggiunta di una forza può migliorare le cose, ma in un modo che è difficile prevedere (può accadere di fare affidamento su tre punti di imbracatura mentre lavorano solamente due dei tre).

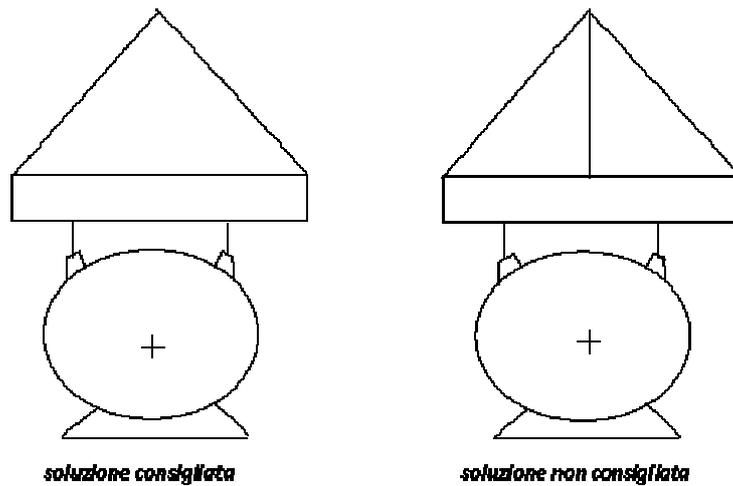


Figura 2.12 Soluzioni di imbracatura.

Un altro dispositivo utilizzato per il sollevamento e la movimentazione dei carichi è l'*elettromagnete di sollevamento*. Quest'ultimo è costituito da una campana (solido di rivoluzione) di materiale ferromagnetico e da una bobina che, percorsa da corrente, genera il campo elettromagnetico in grado di sollevare il materiale.

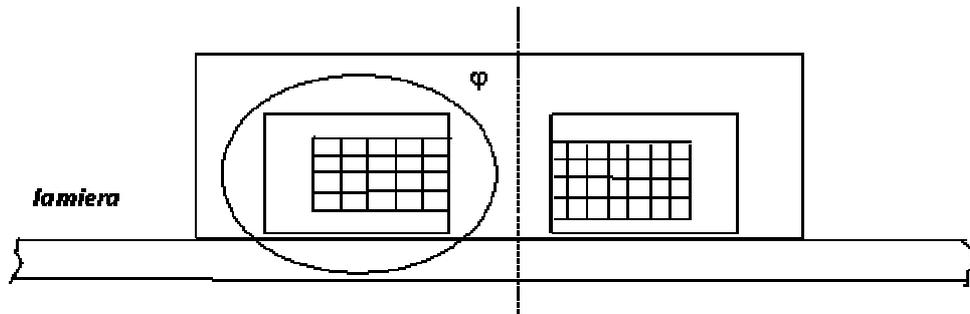


Figura 2.13 Imbracatura mediante elettromagnete di sollevamento.

Se si trascurano le dispersioni, la forza portante di una elettrocalamita con nucleo di sezione S risulta essere:

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \right) = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{dx} = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{N \cdot \varphi}{I} \right) = \\
 &= \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{N \cdot \mu \cdot H \cdot S}{I} \right) = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{N \cdot \mu \cdot N \cdot I \cdot S}{I \cdot 2 \cdot x} \right) = \\
 &= -\frac{1}{4} \left(\frac{\mu \cdot N^2 \cdot I^2 \cdot S}{x^2} \right) = -\mu \cdot H^2 \cdot S = -\frac{B^2 \cdot S}{\mu}
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

con:

F = forza portante

B = induzione magnetica

N = numero delle spire della bobina

μ = permeabilità magnetica

L = lunghezza dei tronchi nel circuito magnetico

x = ascissa sui tronchi del circuito magnetico

essendo:

$$L = \frac{N \cdot \varphi}{I}$$

$$\varphi = \mu \cdot H \cdot S$$

$$H \cdot 2 \cdot x = N \cdot I$$

2.3 Sicurezza degli edifici e degli ambienti di lavoro

Anche l'ambiente strutturale in cui si opera (gli edifici e i relativi ambiti da essi individuati) deve essere oggetto di valutazione dei rischi. La disposizione delle macchine, lo spazio a disposizione, il flusso del lavoro, il livello di illuminazione, di rumore e il livello di igiene ambientale in genere, rappresentano parametri da tenere in considerazione nel valutare il livello di rischio associato a un'assegnata condizione lavorativa (gli aspetti più propriamente correlati all'esposizione verranno riconsiderati nel successivo Capitolo 3).

In ambienti non correttamente illuminati, per esempio, il controllo completo della lavorazione può risultare difficoltoso; aumenta così la probabilità che si producano errori e incidenti.

Un'illuminazione inadeguata, la presenza di rumore, possono influire sul "dialogo" uomo-macchina, rendendo inutili le segnalazioni ottiche o acustiche previste (si parla in questo caso di fenomeni di mascheramento).

In generale, si può affermare che un ambiente di lavoro non igienico può indurre affaticamento fisico e psichico aumentando le probabilità del manifestarsi di incidenti. Tra i numerosi elementi che devono essere messi in evidenza, nella fase di valutazione dei rischi di un edificio industriale, particolare importanza assumono i seguenti aspetti:

- trasporti interni ed esterni
- posizione dei macchinari
- disposizione dei reparti e layout
- cicli di produzione
- capacità produttiva e volumi di produzione annua
- illuminazione
- ventilazione e condizionamento dell'aria
- sfridi, scarti e rifiuti
- vapori, odori, polveri e fumi
- vibrazioni
- rumori
- materiali infiammabili
- natura del terreno
- condizioni climatiche
- ecc.

Sulla base di tali elementi e della normativa specifica possono essere scelti i materiali di costruzione, la struttura e la forma, il tipo edilizio dei singoli fabbricati [La sicurezza degli impianti industriali, 1998].

2.3.1 Gli edifici industriali

Durante la fase di progettazione dei sistemi di produzione, è essenziale studiare accuratamente alcuni parametri che hanno importanza significativa non solo per esigenze di carattere produttivo, ma anche per l'influenza che hanno sulla sicurezza.

Un primo fattore da prendere in esame è l'*orientamento* e l'*esposizione* degli edifici. La migliore orientazione degli edifici a pianta quadrata, o con i lati di lunghezza non molto diversa, è quella per la quale gli angoli dell'edificio risultano orientati verso i quattro punti cardinali, in modo da assicurare una buona esposizione al sole di tutte le facciate del fabbricato. Per gli edifici a pianta rettangolare l'asse maggiore deve essere disposto da Nord-Ovest a Sud-Est e sono da evitarsi le esposizioni interamente ad Est o interamente ad Ovest.

Un altro parametro che deve essere oggetto di attenta valutazione è la convenienza di utilizzare un solo fabbricato o suddividere il sito industriale in più edifici separati. La tendenza abituale, per ragioni sia economiche sia gestionali, è quella di collocare tutta l'attività produttiva all'interno di un unico fabbricato. Articolare la fabbrica su un unico fabbricato presenta alcuni vantaggi economici legati soprattutto alla migliore utilizzazione del terreno, alla minore dispersione di calore e al trasporto interno più efficiente; d'altro canto, la realizzazione di un sistema industriale articolato su più edifici presenta maggiori vantaggi in relazione alla sicurezza e all'igiene del lavoro. Una soluzione di questo tipo, infatti, offre una maggiore protezione contro gli incendi e le esplosioni e, inoltre, date le minori dimensioni dei singoli edifici, garantisce vie di fuga più brevi. Altro vantaggio offerto da una soluzione a fabbrica diffusa è quello di garantire un'illuminazione naturale più razionale.

I fattori legati al rischio di incendio saranno approfonditi nel Paragrafo 2.5, tuttavia, in questa sede, è opportuno evidenziare che già in fase di progettazione è necessario tenere conto dei *venti dominanti* al fine di ridurre i rischi di propagazione di incendio. L'asse maggiore di ogni edificio dovrà, quindi, essere preferibilmente orientato perpendicolarmente alla direzione dei venti dominanti e i fabbricati più pericolosi essere dislocati sottovento, ossia dalla parte opposta alla direzione dei venti dominanti. Tale soluzione è necessaria anche per evitare che eventuali sostanze nocive possano propagarsi per l'intero sistema industriale.

Particolare attenzione dovrà essere posta anche all'esposizione alle sorgenti sonore. I fabbricati maggiormente interessati a rischio di esposizione al rumore dovranno essere ubicati ad una distanza opportuna dagli altri edifici limitrofi. Ove ciò non sia possibile, è necessario attenuare il rumore attraverso barriere fisiche idonee, in grado di assorbire una parte dell'energia sonora incidente.

Le differenti tipologie edilizie possono essere classificate in relazione allo sviluppo plano-volumetrico. Secondo tale approccio è possibile ricondurre i tipi edilizi per l'industria in due categorie:

- edificio monopiano
- edificio multipiano.

L'edificio multipiano, rispetto a quello monopiano, richiede terreni con caratteristiche tali da realizzare fondazioni più profonde. Una configurazione di questo tipo, inoltre, necessita di numerosi collegamenti verticali quali scale, ascensori, montacarichi, che comportano maggiore attenzione nella valutazione dei rischi negli ambienti di lavoro.

Il fabbricato che si sviluppa in altezza, proprio per la sua caratteristica strutturale, presenta maggiori rischi in caso di incendio e di scoppi, poiché le fiamme si propagano più rapidamente attraverso le comunicazioni verticali. Maggiori rischi, rispetto ad una soluzione monopiano, sono determinati dai crolli o dai cedimenti degli elementi strutturali e dalla maggiore difficoltà nello smaltimento delle polveri, dei fumi e delle altre sostanze nocive aeriformi. L'illuminazione e la ventilazione naturale, infine, risultano più complesse, come anche lo smaltimento del calore che si propaga naturalmente dai piani bassi ai piani superiori.

2.3.2 I materiali per gli edifici industriali

La scelta dei materiali e dei sistemi costruttivi impiegati nella realizzazione dei fabbricati industriali riveste una grande importanza per la sicurezza, in quanto da essi dipende l'influenza sui fattori ambientali interni, quali la temperatura, il microclima, il rumore e le vibrazioni, e sui fattori di rischio esterno.

Le tecnologie edilizie normalmente impiegate per i fabbricati industriali sono:

- il calcestruzzo armato
- il calcestruzzo armato precompresso
- il laterizio armato
- il legno lamellare
- la muratura tradizionale
- l'acciaio.

Le strutture in *calcestruzzo* sono adatte a luci variabili da 8 a 20 metri. Tale tipo di strutture offrono alcuni vantaggi quali:

- migliore resistenza al fuoco
- buona resistenza agli agenti corrosivi
- ottima capacità termica.

Il cemento armato, tuttavia, non è in grado di resistere a temperature elevate; la sua resistenza meccanica, infatti, diminuisce al di sopra di 250 °C e cala del 40% per temperature superiori a 600 °C. In caso di incendio, inizialmente si sgretola lo strato superficiale del cemento, lasciando scoperto l'acciaio; successivamente il calore attacca termicamente l'armatura che decade nelle caratteristiche meccaniche.

Per quanto concerne l'aggressione chimica, il cemento armato risulta particolarmente sensibile all'anidride solforosa (SO₂), sostanza frequentemente presente nelle industrie. Al fine di limitare i danni arrecati da tale sostanza, il cemento armato deve avere un basso rapporto di acqua/cemento, deve essere stato oggetto di una accurata stagionatura e deve essere stato ben compattato.

Le strutture in *laterizio armato* presentano un ottimo comportamento in caso di incendio, offrendo una buona resistenza al fuoco e alla temperatura dell'ordine di 1000 °C ÷ 1100 °C. Normalmente i fabbricati che utilizzano tale tipo di materiale da costruzioni si riconoscono per la tipica copertura a volta. Tali strutture presentano alcuni svantaggi, tra tutti la difficoltà ad ancorare le strutture di sostegno dei sistemi di trasporto.

Le strutture in *legno lamellare* vengono utilizzate in edilizia industriale soprattutto per la loro leggerezza, per la possibilità di realizzare luci di oltre 100 metri e per le minori sezioni dei pilastri. Tali strutture, tuttavia, essendo il legno combustibile, vengono classificate come edifici a maggior rischio in caso di incendio. Per aumentare la classe di resistenza al fuoco si ricorre, normalmente, a trattamenti superficiali ignifughi.

Le strutture in *muratura tradizionale* non vengono più impiegate per l'edilizia industriale per ragioni legate alla lentezza realizzativa e, quindi, ai costi di manodopera. Tali strutture posseggono alcuni vantaggi, dal punto di vista della sicurezza e della salute, in quanto offrono un'elevata resistenza al fuoco e un'ottima reazione agli agenti aggressivi. Le strutture in muratura, inoltre, hanno il pregio di possedere un'elevata capacità termica.

Le strutture in *acciaio*, infine, se da una parte offrono notevoli vantaggi dal punto di vista realizzativo per la rapidità di costruzione e dal punto di vista statico, in quanto le caratteristiche dell'acciaio consentono di realizzare luci molto ampie, dall'altra presentano una resistenza al fuoco e agli agenti corrosivi inferiori rispetto alle strutture in calcestruzzo.

Per proteggere tali edifici dal rischio di incendio, le strutture in acciaio devono essere rivestite in pannelli di calcestruzzo o altri materiali in grado di garantire una classe di resistenza al fuoco REI 120 (tenuta alla temperatura, al fumo e strutturale per 120 minuti).

Come su menzionato, le strutture in acciaio sono frequentemente oggetto di corrosione, il che comporta elevati costi di manutenzione. A tale riguardo, in letteratura si prendono in considerazione due diversi tipi di corrosione:

- la corrosione secca, per l'azione di gas quali l'ossigeno, l'anidride solforosa, l'idrogeno o altri agenti simili
- la corrosione umida o corrosione elettrochimica: si manifesta in presenza di umidità e di liquidi, in conseguenza di reazioni elettrochimiche; il sistema di protezione passiva maggiormente impiegato è mediante zincatura.

Le strutture in acciaio, inoltre, presentano importanti problemi di contenimento termico, per risolvere i quali tali strutture sono coibentate e la tamponatura esterna è realizzata mediante lamiere a sandwich, costituite da uno strato di materiale isolante.

2.3.3 Le fondazioni

Le fondazioni sono strutture di base che trasmettono i carichi sul terreno. Prima della realizzazione di un edificio, è indispensabile effettuare una serie di rilievi, di prove e di indagini per definire la caratterizzazione geotecnica del terreno, al fine di procedere ad un corretto dimensionamento delle fondazioni stesse. Le indagini geologiche e geotecniche sono finalizzate a raccogliere le informazioni per valutare il comportamento del terreno sotto l'effetto delle sollecitazioni indotte dal fabbricato. Le indagini sono volte non solo a definire le proprietà meccaniche del terreno, ma anche ad individuare l'eventuale presenza di falde nel sottosuolo.

La scelta di un'adeguata fondazione non è, quindi, solo funzione dei carichi indotti sul terreno, ma anche funzione delle caratteristiche del terreno stesso.

Le fondazioni si distinguono in:

- fondazioni superficiali
- fondazioni profonde
- fondazioni in zona sismica
- fondazioni in presenza di vibrazioni

Per *fondazione superficiale* si intende un sistema strutturale poco approfondito, ove il piano di posa è situato al di sotto della coltre di terreno vegetale e al di sotto dello strato interessato dal gelo e dalle variazioni di umidità stagionali. Normalmente le fondazioni vengono poste ad una profondità funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno, variabile da 0,5 a 1,0 m.

Per una corretta realizzazione della fondazione è necessario che venga soddisfatta la condizione del centramento della stessa rispetto alla risultante dei carichi applicati. Tale soluzione non è adatta in presenza di terreni cedevoli, caso in cui si deve ricorrere a fondazioni profonde.

Le fondazioni superficiali sono sensibili alle vibrazioni indotte dal passaggio di automezzi o dalle macchine da produzione.

Le *fondazioni profonde* sono necessarie quando l'edificio deve essere realizzato su terreno cedevole o disomogeneo. Tale tipo di fondazione consente di trasmettere i carichi sulla parte più profonda del terreno, ove è possibile trovare strati più compatti e omogenei. Normalmente per la realizzazione di queste strutture si ricorre alle fondazioni su pali, realizzati in legno, in acciaio o in cemento armato.

La normativa nazionale sismica è in continua evoluzione. Al di là di quanto previsto dalla normativa vigente, quando il fabbricato industriale deve essere realizzato in una zona ad elevato rischio sismico, si dovranno valutare con attenzione le caratteristiche del terreno. Devono essere evitati terreni formati da rocce sciolte, terreni che presentano faglie attive, terreni su pendii, specie se franosi, terreni in corrispondenza

di cigli. Le *fondazioni in zone sismiche* richiedono una attenta valutazione, che tenga presente, sia il profilo stratigrafico del terreno, sia le caratteristiche strutturali del fabbricato industriale.

I sistemi industriali ospitano impianti che possono essere sorgenti di vibrazioni come alcuni tipi di macchinari (magli e presse) e sistemi di trasporto interni ed esterni. Tali sorgenti di vibrazioni, per effetto della propagazione nel terreno, possono dare luogo a fenomeni di risonanza anche a grandi distanze. Nella progettazione delle *fondazioni in presenza di vibrazioni* è opportuno tenere conto della frequenza delle vibrazioni, poiché le frequenze maggiormente dannose sono quelle prossime alla frequenza naturale del sistema, per le quali si ha il fenomeno della risonanza.

Nel caso di alta frequenza, caso in cui è presente una bassa dispersione di energia, conviene utilizzare fondazioni con massa ridotta, realizzate con blocchi cavi o telai.

In presenza di vibrazioni a bassa frequenza, per esempio in presenza di una pressa, l'energia è molto elevata e viene assorbita in tempi molto brevi. In questo caso è conveniente utilizzare fondazioni con grandi masse poggianti su elementi antivibranti, come molle, gomma o sughero.

Un provvedimento spesso utilizzato per attenuare i fenomeni legati alle vibrazioni è quello di intercettare le onde di vibrazione mediante trincee di materiale smorzante idoneo.

2.3.4 I carichi nelle strutture

Nella progettazione di un fabbricato industriale è necessario tenere in considerazione le sollecitazioni indotte dai macchinari installati che si aggiungono a quelle dovute ai carichi permanenti. Oltre, infatti, agli effetti dovuti alle sollecitazioni dovute ai sovraccarichi del vento, della neve e dell'acqua piovana o, se ricorre il caso, dovuti alle azioni sismiche, è necessario tenere in considerazione i sovraccarichi indotti dai mezzi di trasporto come le gru, i carroponti o altri carichi sospesi. Tale caso è di particolare importanza in quanto si tratta di carichi non statici, bensì dinamici, e possono quindi indurre sollecitazioni gravose.

2.3.5 Illuminazione dei fabbricati

Le norme sulla sicurezza richiedono che, se non richiesto diversamente dalle necessità delle lavorazioni e salvo che non si tratti di locali sotterranei, gli ambienti di lavoro devono disporre di sufficiente luce naturale. Tale esigenza viene soddisfatta attraverso una corretta progettazione delle pareti e delle coperture dei fabbricati industriali. Una cattiva illuminazione può essere causa di malattie professionali, diminuire il rendimento degli addetti e, non ultimo, determinare situazioni di pericolo.

Per garantire un corretto sforzo visivo, tale da non indurre affaticamento, è necessaria l'osservanza dei rapporti di luminanza raccomandati per il campo visivo. Tale rapporto è necessario per evitare il fenomeno dell'abbagliamento.

Si ricorda, in questa sede, che la luminanza, L , è pari al rapporto fra l'intensità luminosa e la componente ortogonale della superficie emittente:

$$L = \frac{dI}{dS_{cm} \cdot \sin \vartheta} \quad (2.7)$$

essendo θ l'angolo fra la direzione di osservazione e la superficie considerata e l'unità di misura tecnica adottata per la luminanza è la candela per metro quadrato (cd/m^2).

I massimi rapporti di luminanza raccomandati tra le superfici presenti nel campo visivo sono:

- 3/1 tra compito visivo e suo intorno
- 10/1 tra compito visivo e campo periferico
- 20/1 tra le sorgenti luminose o le aperture e le superfici contigue
- 40/1 tra le diverse superfici dell'ambiente.

L'illuminazione mediante luce naturale può ottenersi sfruttando l'irraggiamento diretto o mediante la riflessione interna o esterna. Le forme di illuminazione di un luogo di lavoro possono ricondursi a tre: laterale, zenitale e mista.

L'*illuminazione laterale* si ottiene dalle aperture ottenute sulle pareti dell'edificio. Se l'apertura è su una sola parete di uno stesso locale, l'illuminazione laterale viene definita *unilaterale*. Un'apertura posizionata in alto fornisce un'illuminazione più profonda ed uniforme. Sono preferite aperture strette e di maggiore altezza, rispetto ad una larga quanto la parete del vano, purché la larghezza delle zone di parete non vetrate sia minore od uguale a 1/4 della larghezza occupata dalle aperture. Quando la profondità del vano è molto ampia ed è necessario migliorare il grado di illuminazione, si ricorre ad aperture su entrambi le pareti opposte del locale, realizzando una illuminazione *bilaterale*. Una soluzione in cui più pareti dello stesso locale sono dotate di aperture è definita *multilaterale*. Tale configurazione non è consigliata in quanto possono aumentare i fenomeni di abbagliamento, le dispersioni termiche attraverso le superfici vetrate e l'inquinamento acustico.

L'*illuminazione naturale zenitale* si ottiene mediante aperture poste sulla copertura del fabbricato. Questa soluzione è adatta a edifici di grande estensione, sia in larghezza sia in lunghezza. Un'illuminazione di questa natura, tuttavia, è possibile unicamente per gli edifici monopiano. L'orientamento delle superfici vetrate deve impedire la penetrazione diretta dei raggi solari, per cui la migliore esposizione dipende dalle tipologie della copertura impiegate, classificate nel modo seguente:

- a) copertura con fasce vetrate
- b) copertura completa translucida
- c) copertura a pozzi
- d) copertura a sheds
- e) copertura a lucernari.

La *copertura a fasce vetrate* costituisce un sistema di illuminazione zenitale. In questa soluzione le fasce vetrate sono disposte sul piano di copertura, sia nelle coper-

ture a falde simmetriche, sia a volta, sia a solaio. Per ottenere una migliore illuminazione è preferibile disporre le fasce simmetricamente sulle falde.

Un'ottima soluzione che permette un illuminamento uniforme è fornita dalla *copertura completa translucida*, realizzabile attraverso l'utilizzo di materiali quali il vetrocemento, vetri retinati, ecc.

La *copertura a pozzi* si ottiene con piccole aperture distribuite in modo uniforme e razionale sulla copertura.

La *copertura a sheds* è un tipo di copertura a falde asimmetriche in cui quella più stretta è completamente vetrata, generalmente rivolta a Nord e con vetro diffondente per evitare zone di ombra.

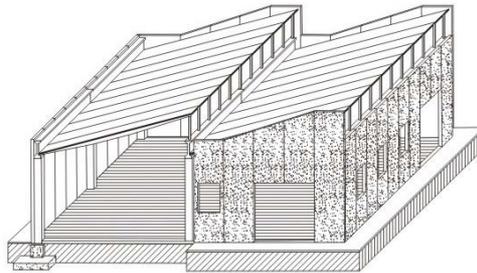


Figura 2.14 Copertura a Sheds.

Definendo in uno sheds i seguenti parametri:

a = larghezza sheds

b = ampiezza falda vetrata

h = distanza della soglia della vetrata dal piano utile

i rapporti dimensionali raccomandati risultano:

$$f/a = 2/5; \quad a/h = 1,2 \quad (2.8)$$

La *copertura a lucernari* deriva da quelle classiche a falde. Il lucernario è costituito da una fascia sopraelevata della copertura, vetrata lateralmente. Tale tipo di copertura offre una soddisfacente distribuzione della luce e consente un'agevole pulizia delle vetrate.

Quando si vuole ottenere un illuminamento uniforme e razionale, si integra l'illuminazione zenitale con quella laterale, ottenendo un'*illuminazione mista*, che consente di eliminare l'inconveniente delle ombre.

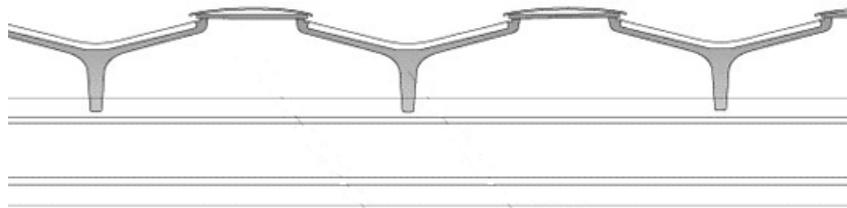


Figura 2.15 – Copertura a lucernari.

2.3.6 Rivestimenti

Per le *pareti* e le *coperture* vengono utilizzati molti tipi di materiali diversi, la cui scelta dipende da molti fattori quali l'economicità, la resistenza, la coibentazione termica e l'isolamento acustico.

Per le coperture vengono utilizzate lamiere grecate e zincate rivestite con resine, pannelli isolanti (contenenti lana di vetro, sughero, polistirolo espanso ecc.), pannelli di calcestruzzo cellulare, lastre traslucide in vetro cemento o pannelli sandwich di materiale isolante.

Per le tamponature vengono scelti materiali che derivano dal giusto compromesso tra esigenze funzionali, costruttive, di isolamento termico-acustico e di resistenza al fuoco. Ai materiali in laterizio, normalmente utilizzati nelle costruzioni edili, si affiancano materiali con caratteristiche tali da consentire un adeguato isolamento acustico. Le strutture fonoassorbenti normalmente utilizzate sono costituite da:

- materiali porosi per le alte frequenze
- membrane vibranti o pannelli flessibili per le basse frequenze
- risonatori multipli per le medie frequenze.

Un'altra soluzione adottata è quella di installare i *baffles*, costituiti da pannelli isolanti verticali sospesi al soffitto.

Un *pavimento industriale* deve possedere le seguenti caratteristiche:

- resistenza agli urti e alle vibrazioni
- basso costo sia di posa in opera sia di manutenzione
- buon isolamento sia termico sia acustico
- resistenza alle aggressioni chimiche e meccaniche
- antisdrucchiolevole
- impermeabile.

Non tutti i materiali posseggono tutte le caratteristiche contemporaneamente, per cui, in fase di progettazione di un edificio industriale, è necessario ricorrere a compromessi di carattere tecnico.

I tipi di pavimentazione più frequentemente utilizzati sono:

- lastre di calcestruzzo
- blocchi di legno trattato
- piastrelle in acciaio
- piastrelle in gres
- piastrelle in PVC
- resine sintetiche.

Le lastre in calcestruzzo sono una soluzione economicamente vantaggiosa, ma presentano numerosi inconvenienti in quanto trattengono la polvere, offrono una scarsa resistenza all'abrasione e assorbono facilmente olii e grassi.

2.4 Il rischio elettrico

Il rischio elettrico ha a che vedere con il verificarsi di fenomeni di guasto elettrico, la cui evoluzione e le cui conseguenze sono generalmente, ma non solo, di tipo elettrico. Oltre a conseguenze strettamente elettriche sull'uomo (riconducibili al passaggio di corrente elettrica nel corpo umano), infatti, effetti di un incidente elettrico sono anche i fenomeni di incendio, i fenomeni di esplosione, i fenomeni di scoppio ecc. Analizzando i dati storico-statistici relativi ai guasti elettrici, si scopre che circa il 25% degli incendi hanno un'origine elettrica e molti altri incidenti non risultano correttamente classificati nelle statistiche (tra quelli dovuti all'elettricità), poiché vengono classificati in base all'agente che li ha provocati, come per esempio:

- cadute dall'alto (impalcature o scale) a seguito di azione eccitomotora della corrente
- morte per schiacciamento perché un guasto del circuito elettrico, mal progettato e costruito, ha provocato l'azionamento improvviso di un'apparecchiatura o di una macchina utensile
- cause connesse alla mancanza di energia elettrica ed al successivo ripristino, ove non è prevista un'adeguata alimentazione di sicurezza
- effetti su macchine e dispositivi:
 - riscaldamento e invecchiamento
 - fatica termica
 - cedimento degli isolamenti
 - induzione elettromagnetica
 - interferenza elettromagnetica.

Fra i guasti di tipo elettrico (che saranno approfonditi nel Paragrafo 2.4.2) si citano in particolare i seguenti: cortocircuito, sovraccarico termico, arco elettrico, dispersione di corrente. Tali guasti si determinano in circostanze complesse, che comportano in

generale il verificarsi di altri eventi di guasto intermedio, quali il cedimento di isolamento, la rottura di componenti elettrici, l'interruzione di continuità elettrica ecc.

I guasti elettrici producono effetti sull'uomo per contatto indiretto, ovvero per contatto diretto. Degli infortuni (sul lavoro e domestici) dovuti a elettrocuzione, cioè dovuti a un contatto diretto o indiretto con la corrente elettrica, quasi il 5% ha esito mortale e circa il 50% di tali infortuni avviene nell'ambiente domestico. Nel settore industriale e terziario, gli ambienti con più alto numero di infortuni sono i cantieri (che rappresentano circa il 30% degli infortuni) e gli ambienti agricoli (il 10%).

I *contatti diretti* si manifestano quando un uomo viene accidentalmente a contatto con una parte dell'impianto normalmente in tensione, quale conduttori, morsetti, attacchi di lampade ecc. I *contatti indiretti* si realizzano fra l'uomo e l'impianto elettrico per mezzo del circuito elettrico che si costituisce fra l'uomo e l'apparecchiatura (attraverso la sua carcassa o altre strutture metalliche che, accidentalmente, si trovano in tensione): in sostanza, il soggetto non tocca il conduttore in tensione dell'impianto elettrico, ma è ugualmente soggetto ad una corrente proveniente dall'impianto a causa di un guasto (per esempio, nel caso della dispersione di corrente da un'apparecchiatura elettrica). Il contatto con una massa o con una parte conduttrice connessa con la massa avviene per un guasto di isolamento.

2.4.1 Effetti della corrente sul corpo umano

Per uno specificato percorso attraverso il corpo umano, il pericolo per le persone dipende principalmente dall'intensità e dalla durata della corrente. La relazione fra corrente e tensione non è lineare in quanto l'impedenza del corpo umano varia con la tensione di contatto.

Le differenti parti del corpo umano, come la pelle, il sangue, i muscoli, altri tessuti ed articolazioni presentano al passaggio della corrente elettrica una certa impedenza costituita da resistenze e capacità. I valori dell'impedenza dipendono da una serie di fattori, in particolare dal percorso della corrente, dalla tensione di contatto, dalla durata del passaggio della corrente, dall'area di contatto, dalla pressione di contatto, dalla temperatura e dall'umidità della pelle. Un percorso fra mano e mano, per esempio, può risultare estremamente pericoloso, poiché, con ogni probabilità, la corrente passa per il cuore provocando effetti la cui gravità deve essere valutata in base all'intensità di corrente. Lo stato psicofisico in cui si trova il soggetto può ridurre le sue difese da una scarica elettrica: lo stato di rilassatezza indotto da un pasto abbondante, per esempio, può determinare una riduzione significativa della salvaguardia fisica al passaggio della corrente, creando condizioni di pericolo in caso di incidente elettrico. L'umidità relativa riduce la resistenza della pelle; il sudore, soluzione salina, la riduce della metà rispetto alle condizioni di pelle asciutta. Il contatto con ferite ed escoriazioni è molto pericoloso, poiché la resistenza elettrica precipita a valori molto bassi.

Il valore comunemente assunto, in via cautelativa, per l'impedenza del corpo umano è $R_u = 1.500 \div 3.000 \Omega$.

Gli effetti più frequenti e importanti che la corrente elettrica produce sul corpo umano sono quattro:

- tetanizzazione
- arresto della respirazione
- fibrillazione ventricolare
- ustioni.

La *tetanizzazione* avviene quando viene applicato uno stimolo elettrico, per una durata appropriata, ad una fibra nervosa collegata ad un muscolo. Per effetto della corrente elettrica il muscolo si contrae per poi tornare in posizione di riposo; se gli stimoli si susseguono in modo tale che il muscolo non torni mai completamente in posizione di riposo, si raggiunge una contrazione progressiva che termina con la “contrazione tetanica”. Se la frequenza degli stimoli sorpassa un certo limite, gli effetti si fondono e il muscolo si contrae completamente e ritorna in posizione di riposo solo al cessare degli stimoli. Per effetto della tetanizzazione, l’infortunato, una volta entrato in contatto non riesce a rilasciare la parte in tensione e, perdurando il contatto nel tempo, possono intervenire svenimento, asfissia, collasso e stato di incoscienza.

Si definisce *soglia di percezione* il valore minimo di corrente che causa una sensazione alla persona attraverso cui fluisce la corrente e *soglia di rilascio* il massimo valore di corrente per cui una persona può lasciare gli elettrodi con i quali è in contatto.

Se alle normali correnti fisiologiche, per effetto delle quali il muscolo cardiaco si contrae ritmicamente, si sovrappone una corrente esterna notevolmente più grande, le fibrille (fibre muscolari dei ventricoli del cuore) riceveranno dei segnali elettrici eccessivi e irregolari che, per contrazione, condurranno all’arresto cardiaco. Tale fenomeno è chiamato *fibrillazione ventricolare*. Si definisce *soglia di fibrillazione ventricolare* il valore minimo di corrente che provoca la fibrillazione ventricolare. La fibrillazione ventricolare è considerata la principale causa di morte per contatto elettrico. Effetti pato-fisiologici come contrazioni muscolari, difficoltà di respirazione, aumento della pressione sanguigna, disturbi nella formazione e conduzione di impulsi nel cuore, inclusi la fibrillazione atriale e l’arresto cardiaco provvisorio, possono accadere senza fibrillazione ventricolare. Tali effetti non sono letali e sono abitualmente reversibili.

Il passaggio di corrente elettrica attraverso una resistenza genera calore per effetto Joule. Poiché il corpo umano, sotto l’aspetto circuitale, si comporta come una impedenza resistiva, per effetto del passaggio della corrente si determina un innalzamento della temperatura, fino a provocare *ustioni*. Le ustioni peggiori si hanno sui tessuti a più alta resistività, come la pelle. Correnti di elevata intensità (decine o centinaia di ampere) producono - con tutta probabilità - gravi ustioni, con conseguenti seri danni e anche la morte.

L’effetto della corrente sul corpo umano, inoltre, varia a seconda che si entri in contatto con corrente continua o alternata.

La *corrente continua*, generalmente, ha effetti meno devastanti di quella alternata: un passaggio prolungato di essa può produrre, più che altro, fenomeni elettrolitici di non facile considerazione sul piano degli effetti finali. Gli infortuni con corrente continua sono molto meno frequenti di quanto sarebbe lecito attendersi, dato il numero delle applicazioni in corrente continua; gli infortuni mortali accadono soltanto per particolari condizioni sfavorevoli, per esempio nelle miniere. Ciò si deve in parte al fatto che, con la corrente continua, il rilascio delle parti afferrate è meno difficile e che per tempi maggiori di un periodo cardiaco la soglia di fibrillazione rimane considerevolmente maggiore che in corrente alternata. Le principali differenze tra gli effetti della corrente alternata e della corrente continua sul corpo umano sono date dal fatto che le azioni di eccitazione dovute alla corrente (stimolazione dei nervi e dei muscoli, innesco della fibrillazione atriale o ventricolare) sono collegate alla variazione del valore di corrente, specialmente all'atto del suo stabilimento e interruzione. Per produrre gli stessi effetti, l'intensità della corrente continua deve essere da due a quattro volte più grande di quella in corrente alternata.

La soglia di percezione della corrente continua dipende da diversi parametri, come l'area di contatto, le condizioni del contatto (umidità, pressione, temperatura), la durata del flusso di corrente e le caratteristiche fisiologiche dell'individuo. A differenza della corrente alternata, sono avvertiti solo lo stabilirsi e l'interrompersi della corrente; nessun'altra sensazione si nota durante il passaggio della corrente al livello della soglia di percezione. La soglia di percezione è stata valutata intorno a 2 mA.

Non esiste una soglia di rilascio definibile per correnti continue inferiore a circa 300 mA. Solo lo stabilirsi e l'interrompersi della corrente provocano dolori e contrazioni muscolari. Per correnti approssimativamente superiori a 300 mA, il rilascio può essere impossibile, o possibile solo dopo molti secondi o minuti di durata del contatto.

La soglia di fibrillazione relativa alla corrente continua dipende sia da parametri fisiologici, sia elettrici. Esperimenti e informazioni derivate da infortuni elettrici mostrano che la soglia di fibrillazione per una corrente discendente è circa due volte superiore rispetto a quella ascendente. È molto improbabile che si inneschi la fibrillazione per un percorso della corrente "mano-mano". Per durate di contatto maggiori di un periodo cardiaco, la soglia di fibrillazione per corrente continua è molte volte superiore a quella per corrente alternata.

La *corrente alternata* produce una frenetica successione di contrazioni e successivi rilassamenti muscolari, che portano al fenomeno descritto di tetanizzazione muscolare e alla fibrillazione ventricolare.

La soglia di percezione dipende da più parametri, come l'area del corpo in contatto con l'elettrodo, le condizioni del contatto (umidità, pressione, temperatura) e anche dalle caratteristiche fisiologiche dell'individuo. Si assume un valore di massima di 0,5 mA indipendentemente dal tempo.

La soglia di rilascio dipende dall'area di contatto, dalla forma o dalle dimensioni degli elettrodi e anche dalle caratteristiche fisiologiche dell'individuo. Si assume un valore di circa 10 mA.

La soglia di fibrillazione ventricolare dipende sia dai parametri fisiologici (anatomia del corpo, stato della funzione cardiaca), sia da parametri elettrici (durata e per-

corso della corrente, tipo di corrente ecc.). In corrente alternata (50 o 60 Hz) esiste una considerevole diminuzione della soglia di fibrillazione se la corrente fluisce oltre un ciclo cardiaco. Tale effetto è dovuto all'aumento della disomogeneità dello stato di eccitazione del cuore, causato dalle extrasistole indotte dalla corrente. Per contatti di durata al di sotto di 0,1 s, la fibrillazione può innescarsi per correnti superiori a 500 mA, ed è probabile che si inneschi per correnti dell'ordine di alcuni ampere se il passaggio di corrente avviene durante il periodo vulnerabile. Per contatti della stessa intensità e durata superiore a un ciclo cardiaco, si può produrre un arresto cardiaco reversibile.

Il valore di corrente limite per cui si hanno effetti fisiologici in genere reversibili, quali contrazioni muscolari, difficoltà di respirazione, aumento della pressione sanguigna, arresti temporanei del cuore, ma senza fibrillazione ventricolare è espresso dall'equazione:

$$I = 10 + 10 / t \quad (2.9)$$

ove I è espressa in mA (valore efficace) e il tempo t in secondi. Il primo termine fissato a I = 10 mA è il limite della corrente di rilascio (per le donne ed i bambini) ed indica il massimo valore di corrente che convenzionalmente si può sopportare per un tempo indefinito.

Gli interventi di *primo soccorso* attuati sugli infortunati che hanno subito una scarica elettrica sono estremamente importanti. In molti casi, essi possono determinare la salvezza della vita. Qualora un soggetto si trovi a subire una scarica elettrica, innanzi tutto, occorre evitare di toccarlo direttamente nel tentativo di metterlo al sicuro, bensì è consigliato ricorrere ad aste o bastoni di materiale isolante (legno o altro), con i quali cercare di allontanare l'individuo dalla fonte di energia. Occorre sottolineare che tali pratiche di primo soccorso (disostruzione e distensione delle vie aeree, respirazione artificiale, massaggio cardiaco) devono essere attuate solamente da personale esperto o, comunque, da chi abbia ricevuto un'adeguata formazione in materia (in particolare per quanto riguarda il massaggio cardiaco). Gli interventi devono essere attuati in modo spedito e devono essere proseguiti fino all'arrivo di un medico o di altro personale specializzato, anche se, apparentemente, possano sembrare inutili a causa della mancata reazione dell'infortunato.

2.4.2 I guasti e i pericoli elettrici

I guasti di natura elettrica sono riconducibili ad alcuni tipi fondamentali: il corto circuito, il sovraccarico termico, il danneggiamento dell'isolamento elettrico e/o la dispersione di corrente verso terra e l'arco elettrico. Essi hanno effetti diversi, si manifestano in modo differente e richiedono misure di prevenzione e protezione anch'esse diverse.

Il *corto circuito* consiste in un brusco ed intenso innalzamento di corrente, prodottosi a seguito dell'improvvisa mancanza del carico sulla linea elettrica o a causa di un

contatto accidentale fra i conduttori. In pratica, se due cavi di alimentazione di una utenza elettrica, per esempio a causa del cedimento dell'isolamento, vengono a contatto, la corrente tende spontaneamente a passare per il circuito a minore resistenza, cioè tende ad evitare il carico elettrico. Conseguentemente, il valore della corrente sale notevolmente (dell'ordine delle centinaia di volte il valore nominale previsto a progetto), producendo una situazione di pericolo a causa del dimensionamento dei componenti elettrici, che non sono in grado di sopportare tali sbalzi.

Le persone ed i beni devono essere protetti contro le conseguenze dannose di temperature troppo elevate, o di sollecitazioni meccaniche dovute a sovracorrenti che si producono nei conduttori attivi.

Questa protezione può essere ottenuta mediante uno dei seguenti metodi:

- interruzione automatica della sovracorrente prima che essa permanga per una durata pericolosa
- limitazione della sovracorrente massima ad un valore non pericoloso tenuto conto della sua durata.

Il *sovraccarico termico*, diversamente dal corto circuito, è un incidente provocato dal tempo per cui si instaura nel circuito una corrente superiore, anche leggermente, al valore nominale. Il sovraccarico termico, dunque, consiste in un assorbimento di corrente lievemente superiore al valore previsto, ma per un tempo "abbastanza" lungo.

L'impianto elettrico deve essere realizzato in modo che non vi sia, in servizio ordinario, pericolo di innesco dei materiali infiammabili a causa di temperature elevate o di archi elettrici. Inoltre, non ci deve essere rischio che le persone possano venire ustionate. Il sovraccarico termico, inoltre, determina problemi di ordine tecnico-commerciale in merito alla potenza elettrica messa a disposizione degli utenti da parte degli enti elettrici. Tale potenza infatti non può che essere limitata.

Il *danneggiamento dell'isolamento* di un conduttore elettrico può determinare una situazione di pericolo dovuta al fatto che la carcassa metallica dell'apparecchiatura elettrica si viene a trovare in tensione. Da tale condizione, per giunta, può discendere un'ulteriore pericolosa conseguenza, ovvero la dispersione di corrente verso terra. Tale fenomeno consiste in una fuga indesiderata di elettricità attraverso qualunque conduttore. Generalmente, tale tipo di guasto è provocato dal cedimento dell'isolamento in un'apparecchiatura elettrica a seguito del quale si manifesta una dispersione di corrente verso terra, attraverso la carcassa metallica dell'apparecchio. In tale circostanza, evidentemente, si determina una situazione di pericolo per l'utente, il quale, inaspettatamente, si trova a maneggiare un elemento metallico in tensione.

Il termine *massa* designa essenzialmente le parti conduttrici accessibili facenti parte dell'impianto elettrico e degli apparecchi utilizzatori, separate dalle parti attive solo con isolamento principale. Il guasto si riferisce pertanto all'isolamento principale.

Tuttavia è bene ricordare che una parte metallica è considerata accessibile non solo quando è a portata di mano, ma anche quando può venire toccata nel servizio ordinario. Una parte conduttrice che può andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale, posta dietro un involucro o una barriera non saldamente fissati o rimovibili senza l'uso di un attrezzo, è da considerare una massa se diviene

accessibile dopo la rimozione dell'involucro o della barriera. Se invece l'involucro o la barriera sono saldamente fissati o sono rimovibili solo con l'uso di un attrezzo, le parti retrostanti non sono da considerare masse, se non è necessario rimuovere l'involucro o la barriera nell'esercizio ordinario. Una parte metallica non accessibile, che non è in tensione nel servizio ordinario, ma che può andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale, viene denominata parte intermedia.

L'*arco elettrico* si produce fra due masse metalliche in tensione affacciate: affinché possa innescarsi l'arco, è necessario che venga superata la rigidità dielettrica del mezzo interposto fra i due conduttori (in genere aria). Tale fenomeno è comune negli interruttori; essi, infatti, devono essere appositamente progettati per prevenire, o comunque ridurre, la scarica elettrica nell'aria. Le conseguenze possibili di un arco elettrico sono la fusione del metallo dei conduttori, che può investire chi si trova in prossimità, o l'innescarsi di un incendio. Nei circuiti in corrente alternata, lo spegnimento dell'arco risulta più facile che non in quelli in corrente continua: l'oscillazione intorno allo zero dei parametri elettrici (tensione e corrente), infatti, agevola tale eventualità, al contrario di quanto avviene nei circuiti in continua. In questi ultimi si instaura un livello energetico costante diverso da zero, che rende difficoltoso lo spegnimento dell'arco.

L'*elettricità statica* è l'accumulo superficiale di cariche elettriche su di un corpo composto da materiale isolante. Tale accumulo avviene generalmente per elettrizzazione per strofinio di materiali, soprattutto in ambiente secco. Tale fenomeno è stato osservato e descritto fin dall'antichità; i greci effettuarono esperimenti in tal senso con l'ambra gialla, dal cui nome greco, elektron, prende il nome la nostra elettricità. L'accumulo di carica elettrica può essere tale da creare differenze di potenziale che possono raggiungere centinaia di migliaia di Volt, che danno luogo a improvvise ed intense scariche elettriche. Sono molteplici i casi in cui è possibile riscontrare questo fenomeno nella vita di tutti i giorni a partire, per esempio, dagli abiti in tessuto sintetico che si elettrizzano, alla scossa che si avverte scendendo e toccando la carrozzeria dell'automobile, dai capelli che si rizzano dopo essere stati pettinati, alle particelle di polvere che rimangono attratte dai tubi a raggi catodici dei televisori. Le cause più frequenti di accumulo sono:

- azioni meccaniche tra solidi, come strisciamenti e rotolamenti reciproci
- azioni meccaniche solidi-liquidi
- azioni meccaniche gas/vapori-solidi
- azioni termiche nel cambiamento di stato.

Le scariche elettrostatiche che si accumulano sulle parti delle macchine, pur risultando difficilmente pericolose per l'incolumità delle persone, essendo presenti potenziali molto elevati ma con correnti molto deboli, possono innescare archi verso parti non isolate da terra e possono provocare incendi e/o esplosioni.

2.4.3 Prescrizioni per la sicurezza elettrica

In questo paragrafo verranno presentate alcune prescrizioni necessarie a garantire la sicurezza elettrica delle persone e dei beni. In particolare verranno prese in esame le prescrizioni riguardanti la protezione contro i contatti diretti ed indiretti, contro le sovracorrenti, e le prescrizioni riguardanti il sezionamento e il comando.

Contatti diretti

Per quanto riguarda i **contatti diretti** si tratta di verificare principalmente che:

- le parti attive abbiano un isolamento adeguato alla tensione nominale del sistema elettrico
- le parti attive non isolate siano collocate all'interno di involucri o dietro barriere con grado di protezione adeguata
- la porta dei quadri sia interbloccata con un dispositivo di sezionamento in modo che possa essere aperta solo se il dispositivo è aperto e questo non possa essere chiuso se la porta è aperta, se non escludendo l'interblocco o usando un attrezzo; in alternativa il quadro deve essere apribile soltanto con chiave o attrezzo, ove ammesso.

Le misure di protezione mediante isolamento delle parti attive e mediante involucri o barriere sono intese a fornire una protezione totale contro i contatti diretti; le misure di protezione mediante ostacoli e mediante distanziamento sono altresì intese a fornire una protezione parziale contro i contatti diretti. La protezione contro i contatti diretti viene comunemente indicata come "basic protection" (protezione fondamentale).

Le parti attive devono essere completamente ricoperte con un isolamento che possa essere rimosso solo mediante distruzione. Per gli altri componenti elettrici la protezione deve essere assicurata da un isolamento tale da resistere alle influenze meccaniche, chimiche, elettriche e termiche alle quali può essere soggetto nell'esercizio.

Il grado di protezione di un involucro o barriera è identificato in sede IEC (International Electrotechnical Commission) dalle lettere IP seguite da due cifre, la prima delle quali indica il grado di protezione contro i corpi estranei, mentre la seconda indica il grado di protezione contro i liquidi (vi possono essere poi ulteriori cifre esplicative).

L'uso di *interruttori differenziali* con corrente differenziale di intervento non superiore a 30 mA, pur permettendo di eliminare gran parte dei rischi dovuti ai contatti diretti, non è riconosciuto quale misura di protezione completa contro tali contatti, anche perché non permette di evitare gli infortuni, d'altronde molto rari, provocati dal contatto simultaneo con due parti attive del circuito protetto che si trovino a potenziali differenti.

Si deve notare che l'uso degli interruttori differenziali permette di ottenere la protezione contro i contatti indiretti in condizioni di messa a terra molto mediocri ed assicura anche, quando richiesta, una migliore protezione contro gli incendi, con la rivelazione di eventuali difetti di isolamento che diano luogo a piccole correnti verso terra.

L'interruttore differenziale (Figura 2.16) è dotato di una spiccata sensibilità alle correnti che possono interessare un soggetto, interrompendo conseguentemente il circuito elettrico. Tale dispositivo è costituito da un circuito magnetico (toro di ferro dolce) all'interno del quale si instaura, ove sussista uno squilibrio fra le correnti concatenate con esso a causa - per esempio - di un contatto diretto, un flusso magnetico che determina l'azionamento della protezione in tempi estremamente rapidi. Nella pratica elettrotecnica, l'interruttore differenziale è tarato in modo che esso si apra in 0,2 secondi in corrispondenza di una corrente di guasto pari a 30 mA. Tali valori sono estremamente bassi rispetto ai valori considerati nella pratica tecnica. Ciò discende dal fatto che anche bassi valori di corrente possono produrre danni estremamente seri sugli uomini, se non, addirittura, la morte.

La protezione addizionale mediante l'uso di dispositivi di protezione con corrente differenziale nominale d'intervento non superiore a 30 mA è richiesta:

- a) nei locali ad uso abitativo per i circuiti che alimentano le prese a spina con corrente nominale non superiore a 20 A
- b) per i circuiti che alimentano le prese a spina con una corrente nominale non superiore a 32 A destinate ad alimentare apparecchi utilizzatori mobili usati all'esterno.

Contatti indiretti

Per affrontare la tematica della protezione dai contatti indiretti, è necessario innanzi tutto fare un breve cenno alle *classi di isolamento* elettrico. Esse sono il raggruppamento omogeneo, definito dall'IEC, delle caratteristiche tecniche applicabili ad un dispositivo elettrico per limitare i rischi di folgorazione conseguenti al guasto dello stesso.

Gli apparecchi appartenenti alla **Classe 0** sono apparecchi nei quali la protezione si basa sull'isolamento principale (cioè delle parti in tensione, necessario per evitare scosse elettriche). Ciò implica che non è previsto alcun dispositivo per la connessione di eventuali parti conduttrici accessibili al conduttore di protezione dell'impianto elettrico fisso (terra); in caso di guasto dell'isolamento principale, la protezione rimane affidata all'ambiente che circonda l'apparecchio. Da molti anni gli apparecchi di Classe 0 non vengono più fabbricati e sono stati eliminati dalla normalizzazione internazionale. Tuttavia, in alcuni Paesi, questo tipo è ancora presente, in particolare nelle vecchie installazioni. In molti paesi, tra cui l'Italia il loro uso in connessione alla rete elettrica è proibito, poiché un guasto semplice può causare la folgorazione dell'utilizzatore e altri incidenti.

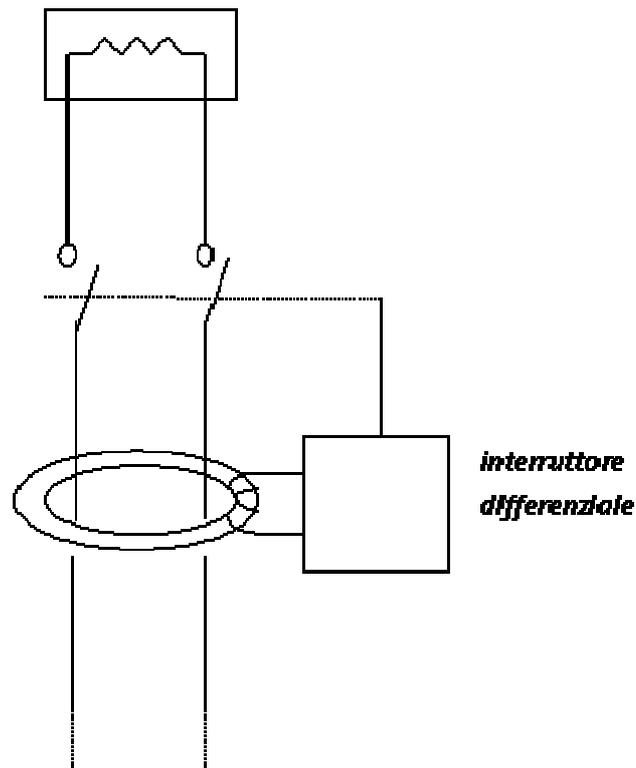


Figura 2.16 Schema di funzionamento dell'interruttore differenziale.

Gli apparecchi appartenenti alla **Classe I** di isolamento sono apparecchi nei quali la protezione non si basa unicamente sull'isolamento principale, ma anche su una misura di sicurezza supplementare costituita dalla connessione delle parti conduttrici accessibili ad un conduttore di protezione (messa a terra di protezione) che fa capo all'impianto elettrico fisso, contraddistinto dal doppio colore giallo/verde, in modo tale che le parti conduttrici accessibili non possano andare in tensione in caso di guasto dell'isolamento principale. Un guasto nell'isolamento in questi apparecchi può portare un conduttore di fase in contatto con la carcassa, provocando un flusso di corrente attraverso il conduttore di protezione. I metodi per evitare la folgorazione dell'utente che può entrare in contatto con la parte metallica messa a terra sono due:

- dimensionamento adeguato del dispersore di terra, e del relativo impianto, in modo da non permettere una tensione, provocata dalla corrente dispersa sulla terra e dalla resistenza che incontra nel percorso, al di sopra dei 50 V

- inserimento, per obbligo di legge, di un interruttore differenziale a monte dell'impianto elettrico che sezioni la tensione nel caso di correnti disperse superiori a 30 mA.

Esempi di apparecchi di questo tipo sono lavatrici, lavastoviglie, forni elettrici ecc.; essi sono riconoscibili per avere una spina a 3 contatti.

Gli apparecchi di **Classe II**, detti anche a doppio isolamento, sono progettati in modo da non richiedere (e pertanto non devono avere) la connessione di messa a terra. Sono costruiti in modo che un singolo guasto non possa causare il contatto con tensioni pericolose da parte dell'utilizzatore. Ciò è ottenuto in genere realizzando l'involucro del contenitore in materiali isolanti, o comunque facendo in modo che le parti in tensione siano circondate da un doppio strato di materiale isolante (isolamento principale + isolamento supplementare) o usando isolamenti rinforzati. Sono inoltre stabiliti dei limiti stringenti per quanto riguarda la resistenza di isolamento verso ogni connessione esterna di massa o di segnale.

In Europa gli apparecchi di questa categoria devono essere marcati "Class II" o con il simbolo di doppio isolamento (due quadrati concentrici). Esempi di questa classe sono il televisore, le radio, videoregistratori e dvd, la maggior parte delle lampade da tavolo.

Un apparecchio viene definito di **Classe III** quando la protezione contro la folgorazione si affida al fatto che non sono presenti tensioni superiori alla Bassissima tensione di sicurezza SELV (Safety Extra-Low Voltage). In pratica tale apparecchio viene alimentato o da una batteria o da un trasformatore SELV. La tensione prodotta, inferiore ai 25 V c.a. o 60 V c.c., è bassa al punto da non essere normalmente pericolosa in caso di contatto con il corpo umano. Le misure di sicurezza previste per le classi I e II non sono necessarie. Gli apparecchi di Classe III non devono essere provvisti di messa a terra di protezione. È interessante notare che le norme internazionali IEC relative agli apparecchi elettromedicali non riconoscono gli apparecchi di classe III, poiché la sola limitazione della tensione non è ritenuta sufficiente ad assicurare la sicurezza del paziente.

I sistemi elettrici in bassissima tensione, con valori di tensione in corrente alternata pari o inferiore a 50 V e in corrente continua pari o inferiore a 75 V, anche detti di categoria zero, sono classificati in:

- **SELV** (Safety Extra Low Voltage, ovvero bassissima tensione di sicurezza): alimentazione da fonte autonoma (batteria) o trasformatore con doppio isolamento di sicurezza. Non deve assolutamente esistere il collegamento verso terra (classe III) e deve essere garantito l'isolamento da ogni altro circuito tramite doppio isolamento o schermo metallico messo a terra. Per questi ultimi due motivi deve essere impossibile connettere la spina di un sistema SELV ad una presa di qualunque altro sistema.
- **PELV** (Protective Extra Low Voltage): molto simile al precedente con la differenza di avere un punto del circuito connesso al potenziale di terra. Meno sicuro

del precedente, si rende necessario ove, per motivi funzionali, sia indispensabile la messa a terra.

- **FELV** (Functional Extra Low Voltage): sebbene siano presenti tensioni nominali rientranti nella definizione di bassissima tensione, in questi sistemi non è garantito l'isolamento di sicurezza da sistemi in bassa tensione. L'impiego di sistemi FELV si ha laddove siano necessarie bassissime tensioni per motivi funzionali (per esempio nei servosistemi) ma non sia previsto il contatto diretto da parte dell'uomo, che deve essere impedito tramite opportuna protezione IP ed isolamento.

Le misure di protezione contro i contatti indiretti avviene mediante interruzione automatica dell'alimentazione, mediante componenti elettrici di classe II o con isolamento equivalente e mediante separazione elettrica per l'alimentazione di un solo apparecchio utilizzatore. La sicurezza contro i contatti indiretti può essere ottenuta, inoltre, per mezzo di protezione mediante bassissima tensione di sicurezza (SELV) o di protezione (PELV). La protezione dai contatti indiretti viene indicata come "fault protection" (protezione in condizioni di guasto).

Sono stati definiti dei metodi convenzionali che permettono di determinare i tempi di intervento dei dispositivi di protezione non in funzione della tensione di contatto, bensì in funzione della tensione nominale dell'impianto. Tali tempi sono stati definiti tenendo conto della capacità che hanno le persone di sopportare correnti senza effetti patofisiologici pericolosi. In linea generale non è necessaria l'interruzione automatica dell'alimentazione in tempi prestabiliti, se sulle masse non viene superato, in caso di guasto, il valore della tensione di contatto limite U_L (per esempio 50 V in c.a.). In caso contrario, un dispositivo di protezione supplementare (salvavita) deve interrompere automaticamente l'alimentazione in modo che, in caso di guasto, tra una parte attiva ed una massa o un conduttore di protezione non possa persistere, per una durata sufficiente a causare un rischio di danno in una persona in contatto con parti simultaneamente accessibili, una tensione di contatto presunta superiore alla tensione di contatto limite convenzionale. Tuttavia, indipendentemente dalla tensione di contatto, in alcune circostanze è permesso un tempo di interruzione, il cui valore dipende dal tipo di sistema, non superiore a 5 s oppure ad 1 s.

In ogni edificio il conduttore di protezione, il conduttore di terra, il collettore principale di terra e le seguenti masse estranee e/o parti conduttrici devono essere connesse al *collegamento equipotenziale* principale:

- i tubi di alimentazione dei servizi dell'edificio (per esempio acqua, aria compressa ecc.), purché facenti parte di reti estese e ramificate
- le parti strutturali metalliche dell'edificio e le canalizzazioni del riscaldamento centrale e del condizionamento d'aria
- le armature principali del cemento armato utilizzate nella costruzione degli edifici, se praticamente possibile.

Quando tali parti conduttrici provengano dall'esterno dell'edificio, esse devono essere collegate il più vicino possibile al loro punto di entrata nell'edificio.

Le conseguenze degli incidenti da dispersione di corrente o perdita di isolamento sono ridotte per mezzo dell'*impianto di messa a terra*, cioè per mezzo di un collegamento a bassa resistenza con il terreno, che rappresenta una via di fuga preferenziale per la corrente di guasto.

Per capire il principio di funzionamento della messa a terra, si supponga di avere la situazione rappresentata nella Figura 2.17.

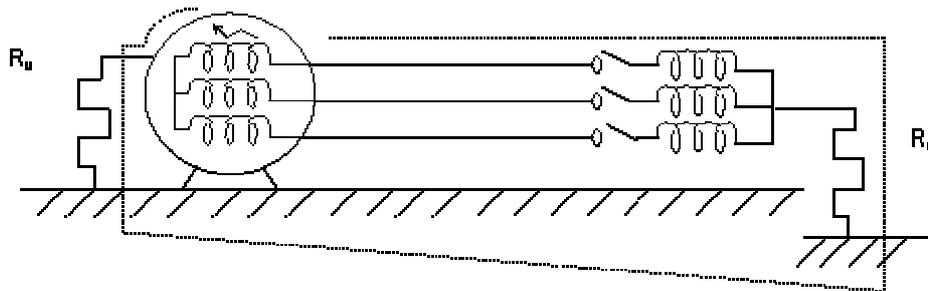


Figura 2.17 Contatto indiretto di un operatore con il circuito di alimentazione di un motore elettrico.

In essa R_u rappresenta la resistenza elettrica di un uomo che tocca la carcassa di un motore elettrico, accidentalmente in tensione; R_n è la resistenza della messa a terra del secondario di un trasformatore. Al verificarsi del guasto supposto, cioè il cedimento dell'isolamento, l'individuo che tocca la carcassa metallica dell'apparecchio si trova soggetto ad una tensione fra mani e terra³ (E) che determina una circolazione di corrente attraverso il suo corpo (percorso tratteggiato nella figura), funzione della resistenza globale offerta:

$$I = \frac{E}{R_u + R_n} \quad (2.9)$$

Tale valore può risultare assai pericoloso per l'incolumità delle persone. Se si assume $R_u = 1.500 \Omega$, $R_n = 30 \Omega$ ed $E = 380 V$ ⁴, la corrente I è pari a 248 mA, che è un valore assai pericoloso, e tanto più a seconda del percorso della corrente nel corpo umano e del tempo per il quale si manifesta il contatto.

³ Tale tensione è definita, secondo le norme CEI, *tensione di contatto*.

⁴ Si è considerata la condizione più sfavorevole nel contatto fra l'avvolgimento e la carcassa metallica.

Mettere a terra significa collegare un punto di un'installazione elettrica, o di una massa metallica, alla massa terrestre attraverso un opportuno complesso di conduttori e di un elettrodo conficcato nel terreno in corrispondenza di un pozzetto (Figura 2.18).

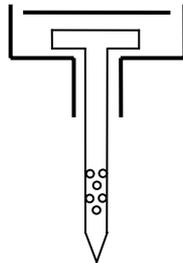


Figura 2.18 Dispersore di terra a picchetto (si notano il pozzetto ispezionabile e i fori per migliorare il contatto terreno-picchetto).

I dispersori dell'impianto di terra possono essere:

- cilindrici
- a piastra
- a filo.

Per il dimensionamento di un dispersore di terra si fa riferimento alle norme di buona tecnica. Nel caso di dispersore di terra cilindrico a picchetto, per esempio, $R_T = \rho / L$, avendo indicato con ρ la resistività del terreno e con L la lunghezza del picchetto; assumendo $\rho = 2.000 \div 100.000 \Omega \text{ cm}$ e se $R_T = 20 \Omega$ si ottiene un picchetto di lunghezza $L = 50 \text{ m}$, cioè praticamente irrealizzabile.

L'impianto di messa a terra, dunque, deve essere opportunamente progettato, nel qual caso consente di ridurre considerevolmente il pericolo per gli utenti degli impianti elettrici. Le soluzioni possibili sono più di una, ma ciò che risulta fondamentale verificare è il valore complessivo della resistenza di terra R_T , tale da consentire di realizzare una protezione adeguata nei confronti del guasto elettrico che si verifica. Il basso valore di R_T , a fronte del valore di resistenza del corpo umano e delle resistenze addizionali dovute agli indumenti, al contatto e al terreno (la cui resistività non è facilmente prevedibile ed è mutevole nel tempo), agevola il passaggio della corrente per la terra, preservando il malcapitato che si trovi a toccare la carcassa metallica - accidentalmente in tensione - di un'apparecchiatura. Il fenomeno è chiaramente messo in evidenza nella Figura 2.19 dove il percorso della corrente è, anche in questo caso, evidenziato dal tratteggio.

La chiusura del circuito di guasto è resa possibile dalla contemporanea presenza dei due impianti di terra, in corrispondenza del neutro del secondario del trasformatore di alimentazione e in corrispondenza dell'apparecchiatura. La corrente di guasto che si instaura, se le resistenze degli impianti di terra sono basse, sono tali da produrre l'apertura delle protezioni ed arrestare l'alimentazione dell'impianto. In tal modo, oltre a proteggere "naturalmente" l'operatore, che viene by-passato dalla corrente di guasto, l'impianto di terra provoca l'apertura degli interruttori di protezione, impedendo l'instaurarsi delle condizioni di pericolo.

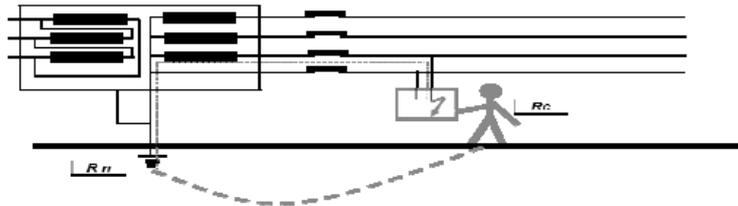


Figura 2.19 Contatto indiretto in presenza dell'impianto di terra.

In base alla normativa CEI⁵ la resistenza di terra deve essere tale da consentire al massimo il realizzarsi della seguente condizione di contatto indiretto:

$$\begin{aligned} & 50 \text{ V in } 5 \text{ s} \\ & R_T I \leq 50 \text{ V} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Si verifica banalmente che il valore della resistenza di terra R_T per consentire il verificarsi della 2.10 risulta essere assai modesto e, quindi, non sempre agevolmente realizzabile:

$$I = P / V = 3000 / 220 = 14 \text{ A}$$

e

$$R_T \leq 50 / 14 = 3 \Omega$$

Viceversa, ove si adotti l'interruttore differenziale in accoppiamento all'impianto di terra, risulta essere:

$$\begin{aligned} I &= 30 \text{ mA} \\ R_T &= 1700 \Omega \end{aligned}$$

⁵ E' opportuno rammentare che le norme del CEI costituiscono un riferimento oggettivamente valido nella progettazione "a regola d'arte" degli impianti elettrici.

ovvero un valore di R_T molto più agevole da garantire, dal che si desume l'importanza del cosiddetto *coordinamento delle protezioni elettriche* fondamentali.

In relazione allo stato del neutro e alla situazione delle masse, i sistemi elettrici sono individuati con due lettere. La prima lettera indica lo stato del neutro e la seconda lettera indica la situazione delle masse.

Il sistema *TT* (Figura 2.20) ha il neutro collegato direttamente a terra e le masse collegate ad un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del neutro.

In caso di guasto verso terra di un apparecchio, si crea una corrente di ritorno attraverso la terra che provoca lo scatto degli interruttori magnetotermici o differenziali di protezione.

Il sistema *IT* (Figura 2.21) ha il neutro isolato da terra tramite un'impedenza, mentre le masse sono collegate a terra.

Il sistema *TN* (Figura 2.22) ha il neutro direttamente collegato a terra e le masse dell'installazione connesse al neutro per mezzo del conduttore di protezione. L'ulteriore lettera, usata per i sistemi TN, indica la situazione del conduttore di neutro e del conduttore di protezione. Con TN-C si indica un sistema in cui le funzioni di neutro e di protezione sono svolte da uno stesso conduttore (PEN). Nel sistema TN-S le funzioni di neutro e di protezione sono svolte da due conduttori separati (N e PE).

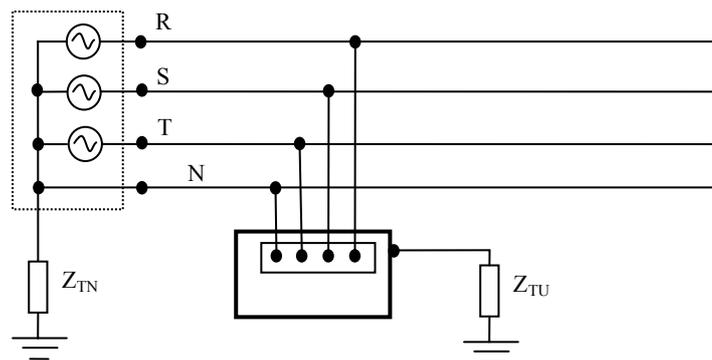


Figura 2.20 Sistema TT.

In generale i sistemi TN offrono un grado di protezione superiore rispetto ai TT. Se un conduttore di fase entra in contatto con la massa metallica di un apparecchio, essendo questa massa praticamente collegata direttamente con il neutro, il guasto verso terra risulta equivalente ad un guasto di cortocircuito; ciò comporta l'instaurarsi di una corrente di guasto elevata che produce l'intervento deciso dell'interruttore magnetotermico o del fusibile di protezione. Se il sistema di messa a terra fosse invece di tipo TT, la corrente di guasto potrebbe essere insufficiente per provocare l'intervento di questi dispositivi.

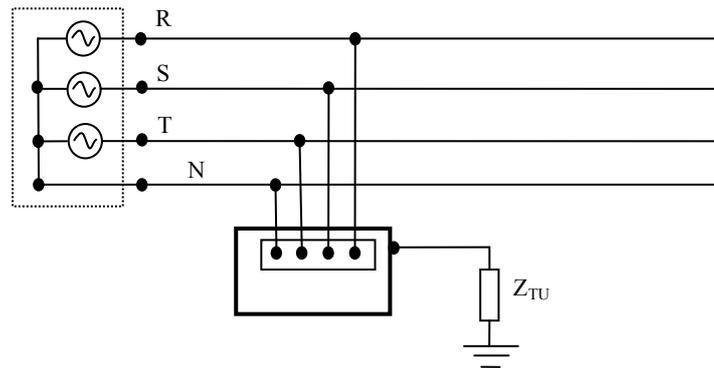


Figura 2.21 Sistema IT

Il sistema TN-S garantisce una maggiore sicurezza poiché il cavo di neutro potrebbe, essendo attraversato da corrente, essere soggetto a sovraccarichi e quindi ad un deterioramento nel tempo. Esiste anche una soluzione ibrida (sistema TN-C-S) in cui due linee separate sono interconnesse in un punto intermedio esterno alla cabina.

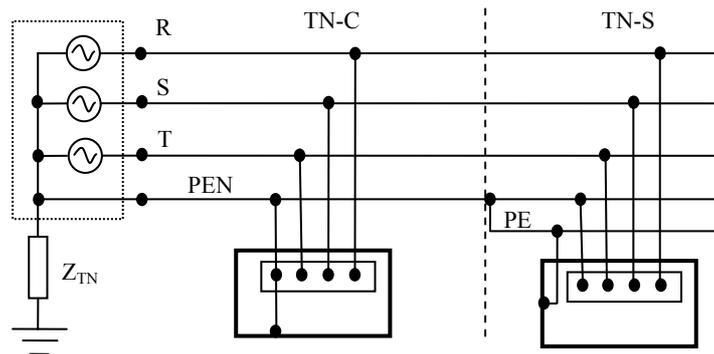


Figura 2.22 Sistema TN-C e TN-S

La scelta di un sistema TN non esime comunque dall'obbligo dell'installazione dell'interruttore differenziale, poiché il guasto verso terra può avvenire anche attraverso contatti a resistenza tale da non garantire il cortocircuito, come per esempio il corpo umano.

Nel caso di un guasto in presenza di configurazione IT, a causa dell'isolamento del trasformatore, circolerà una corrente bassa e quindi non pericolosa; in tale condizione l'interruttore di protezione non scatta e le altre utenze connesse alla rete continueranno a funzionare.

no ad essere alimentate. Un sistema del genere è molto utile in impianti ove è necessaria una fornitura costante di corrente, come negli ospedali.

Nel considerare i contatti indiretti, infine, è opportuno soffermarsi su due grandezze definite dalle norme del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI): la *tensione di contatto*, già ricordata, e la *tensione di passo*. Allorquando la carcassa metallica di un'apparecchiatura elettrica si trova accidentalmente in tensione, infatti, può accadere che l'operatore dell'apparecchio si trovi ad essere soggetto ad una tensione fra le sue mani ed i piedi, denominata, appunto, tensione di contatto. Analogamente, se la carcassa in questione è posta, in qualche modo, in contatto con il terreno, si manifestano delle correnti vaganti in esso, alimentate dal gradiente di tensione (cioè la variazione di tensione nel terreno). La situazione tipica, a tale proposito, è quella che si realizza intorno al dispersore di terra di un'apparecchiatura. Tale elemento rappresenta la parte estrema dell'impianto di messa a terra che, dimensionato correttamente per avere una resistenza sufficientemente bassa (anche in relazione alla natura del terreno), consente la dispersione della corrente di guasto. Quando si verifica il guasto, il dispersore si pone ad un livello di tensione circa pari a quello della carcassa metallica dell'apparecchio elettrico e diverso da quello del terreno. In sostanza, nel terreno è possibile che si manifesti una successione di livelli di tensione, diversi anche in punti relativamente vicini. Un individuo che si trovi a passeggiare su una superficie di tale genere, può avere i suoi piedi a livelli di tensione diversi: questa differenza è definita tensione di passo. Essa può risultare pericolosa, esattamente come avviene per la tensione di contatto. Per tale motivo, le norme CEI fissano dei valori massimi per queste due grandezze:

- per impianti ricevitori a tensione inferiore a 1000 V: 65 V
- per impianti ricevitori a tensione superiore a 1000 V:
 - 65 V, quando non si provveda all'eliminazione rapida dei guasti
 - 125 V, quando i guasti vengano eliminati entro 1 s.

2.4.4 La protezione dai guasti e gli interruttori elettrici

Gli interruttori elettrici vengono realizzati con appositi dispositivi di spegnimento. Tali possono essere dei volumi di olio che, attraversati dalla scarica, evaporano producendo un raffreddamento della regione interessata. L'olio, per giunta, essendo caratterizzato da un'elevata dielettricità (cioè, è un buon isolante), agevola la funzione richiesta. Tale soluzione è impiegata anche per le altissime tensioni ed in particolare per l'arco elettrico. In alcuni casi, l'olio viene sostituito da altri fluidi estintori, come l'acqua distillata (soprattutto per la media tensione), l'aria compressa e l'esaffluoruro di zolfo. Alcuni interruttori, invece, sono realizzati con una serie di piastre metalliche che, come dei coltelli posti sul percorso dell'arco, ne spezzano il cammino, riducendo il livello energetico del fenomeno. Un altro sistema di spegnimento, comune nelle applicazioni industriali, consiste nel "soffiaggio magnetico" dell'arco. In tale dispositivo la corrente circola in una bobina posta elettricamente in serie con il circuito principale; essa genera un campo magnetico all'interno di un elemento di materiale ferromagnetico, posto trasversalmente alla direzione della corrente. Quando si produce l'arco,

esso, contemporaneamente alla sua generazione, viene investito da un vettore di induzione magnetica che agisce deviando ed allungando il suo percorso, inducendolo, infine, a spegnersi.

Per la protezione dalle scariche elettrostatiche vengono utilizzate con successo la ionizzazione dell'atmosfera e l'umidificazione dell'ambiente (si parla in questi casi di "messa a terra naturale"), oltre che il collegamento elettrico a terra.

La protezione dai cortocircuiti è rappresentata dall'interruttore magnetico, il quale è dotato di un circuito secondario in corrente continua (relè elettromagnetico), proporzionale al valore della corrente nel circuito principale. Oltre certi valori dell'intensità di corrente, dunque, il circuito secondario produce il movimento di un equipaggio mobile (rappresentato da un'ancora in ferro dolce) che determina l'apertura dell'interruttore e, quindi, l'interruzione del cortocircuito.

Un'altra protezione assai comune è il *fusibile*, costituito da un conduttore dimensionato per fondersi, ed interrompere quindi il circuito, ad un prefissato valore di corrente.

Il dispositivo di protezione nei casi di *sovraccarico termico* consiste nell'interruttore *termico*, assai spesso rappresentato da una lamina bimetallica, cioè una lamina costituita da due metalli con differente comportamento termico e tale da produrre una deformazione in grado di interrompere il circuito.

L'interruttore comunemente installato presso le utenze è l'*interruttore magneto-termico*, cioè l'insieme dei due appena visti. In tale modo, infatti, è possibile prevenire con un unico dispositivo i due tipi di guasto elettrico più comuni. A seconda che si instauri un corto circuito o un sovraccarico termico, si aziona la parte magnetica o termica dell'interruttore.

2.4.5 La protezione dalle scariche atmosferiche

Il fulmine è un fenomeno naturale che si configura come una scarica elettrica di grandi dimensioni e che si instaura in modo imprevedibile fra due corpi con una grande differenza di potenziale elettrico. Per la natura stessa del fenomeno, i mezzi tecnici disponibili per la protezione non possono garantire una sicurezza assoluta ma solo probabilistica. I fulmini più facilmente osservabili sono quelli fra una nuvola e il suolo, ma sono comuni anche scariche fra due nuvole o all'interno di una stessa nuvola. Inoltre qualsiasi oggetto sospeso nell'atmosfera può innescare un fulmine; si sono osservati infatti fulmini tra una nuvola e un aeroplano, e tra un aeroplano e il suolo. La superficie inferiore della nuvola e la superficie del terreno circostante funzionano come da armature di un solo grande condensatore, il cui dielettrico interposto è lo strato d'aria fra nuvola e terreno. La scarica del fulmine è generata dalle cariche elettriche negative delle nuvole che vengono attratte dalle cariche elettriche positive presenti nel suolo. L'espansione del canale ionizzato genera anche un'onda d'urto rumorosissima, il tuono. L'intensità elettrica di un fulmine varia tipicamente tra i 10 e i 200 kA. Generalmente si descrive il fulmine come una singola scarica, ma sono molto frequenti i casi in cui si verificano una serie di scariche in rapida successione. Tipicamente l'intervallo di tempo tra una scarica e l'altra può oscillare tra i 5 e i 500 millisecondi, e la serie nel complesso può durare anche 1,5 secondi.

Le scariche atmosferiche sono caratterizzate da potenze molto elevate. Tra le caratteristiche di un fulmine si può evidenziare che:

- l'intensità di corrente è molto elevata con valori prossimi a 100.000 A
- la differenza di potenziale, funzione dell'altezza delle nuvole sul terreno, della natura e conformazione della massa su cui si scarica, ha valori compresi tra i 100 e i 600 kV
- l'incontro tra le cariche negative provenienti dalla nuvola con quelle positive provenienti dal suolo avviene ad una quota compresa tra i 15 e i 50 m dal suolo
- la velocità effettiva di propagazione della scarica si mantiene in media sull'ordine dei 100 km/s e raramente supera i 300 km/s.

Un fulmine si caratterizza per i suoi effetti *termici* e *dinamici*. Un corpo colpito da un fulmine viene riscaldato per effetto Joule, e le grandi correnti in gioco possono, a seconda dei casi, incendiarlo o fonderlo all'istante; quando un fulmine si scarica nell'acqua, essa può vaporizzarsi.

Quando un fulmine colpisce una persona, si parla di folgorazione: nella frazione di un secondo un fulmine può danneggiare il cervello e arrestare il battito cardiaco. Dato che l'impulso elettrico è caratterizzato anche da alte frequenze, parte della corrente scorre sull'esterno del corpo, ustionando in particolar modo la pelle (si parla di "effetto pelle").

Gli effetti dinamici di una scarica atmosferica sono molto intensi in conseguenza della brevissima durata della scarica stessa e delle elevatissime potenze sviluppate. I gas ionizzati, intorno alla scarica principale, producono un'onda di pressione di piccola dimensione, ma di valore elevatissimo, con probabile distruzione di ciò che circonda il conduttore principale. L'onda d'urto può investire le persone vicine, spostandole e stordendole.

Per ridurre i rischi relativi alle scariche atmosferiche si utilizzano i parafulmini. Il parafulmine è un dispositivo atto ad attrarre e disperdere le scariche elettriche atmosferiche. Venne inventato da Benjamin Franklin, fisico americano, e fu applicato per la prima volta con successo a Parigi il 10 maggio 1752. Per arrivare al parafulmine Franklin aveva fatto alcune importanti considerazioni sulle scariche elettriche atmosferiche, arrivando a stabilire che i danni da queste provocati non erano dovuti tanto alla loro potenza, quanto al calore che esse generavano nell'impatto con qualsiasi oggetto. Inoltre scoprì che quando un fulmine, che non è altro che una scarica elettrica, colpisce un oggetto, lo attraversa soltanto per una parte: bisognava quindi pensare a qualcosa che attirasse il fulmine e ne disperdesse la forza per mezzo di un percorso obbligato. Scoprendo la particolarità delle punte metalliche, quelle in oro soprattutto, di attirare le scariche elettriche, agendo quindi come una sorta di calamita nei confronti del fulmine, Franklin risolse la difficoltà maggiore: quella di catturarlo durante la sua scarica. Il parafulmine consiste quindi in una lunga e sottile asta metallica con la punta rivestita di un metallo nobile (ad alta conducibilità elettrica) posta sulla sommità dell'edificio da salvaguardare; da questa deriva un cavo conduttore che viene collegato a terra: la scarica elettrica viene attirata dalla punta e dispersa a terra me-

dianete il cavo. Inoltre il parafulmine a causa della sua forma, ha anche una azione preventiva nei confronti del fulmine. Questo conseguentemente al fatto che il suolo ed il parafulmine (collegato a terra) si polarizzano positivamente per induzione in risposta alla carica negativa presente sulla parte inferiore della nuvola. Il parafulmine così polarizzato, grazie al potere dispersivo delle punte, contribuisce a diminuire la differenza di potenziale esistente tra la nuvola ed il suolo, rendendo meno probabile che si raggiunga il potenziale minimo capace di dare inizio alla scarica.

L'aleatorietà del fenomeno naturale costituisce una notevole difficoltà nella scelta dei mezzi di difesa. Le caratteristiche di un impianto parafulmine devono essere il risultato di un'indagine di natura probabilistica sulle precipitazioni meteorologiche nella zona, in relazione alla natura dell'impianto da proteggere. Non tutte le zone hanno la stessa probabilità che si formino precipitazioni di carattere temporalesco e che, di conseguenza, si manifestino fulmini. Le indagini statistiche devono condurre alla definizione del livello isoceraunico della zona, con il quale si indica il numero di giorni in un anno nel quale è stato udito almeno un tuono. Questa grandezza presenta notevoli limitazioni a rappresentare quantitativamente i fenomeni di fulminazione realmente accaduti, soprattutto perché un singolo tuono udito in lontananza in un giorno ha lo stesso peso di una serie di temporali che stazionano su una determinata area con migliaia di fulminazioni. Non si ha, inoltre, alcuna distinzione tra scariche fra nubi e scariche verso terra, cosa che ovviamente risulta di fondamentale importanza nelle applicazioni pratiche. Nonostante queste limitazioni il livello ceraunico è un parametro largamente consolidato ed attendibile dal punto di vista statistico [*Parafulmini, 1961*].

I dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche si possono ricondurre a cinque differenti tipologie:

- *parafulmine a stilo*. Costituito essenzialmente da un'asta metallica (che termina con una o più punte) disposta sul punto più alto dell'oggetto da proteggere (edifici molto alti, torri, campanili), collegata elettricamente mediante una fune metallica conduttrice (treccia di rame) ad uno o più dispersori (piastre, tubi di acciaio o rame zincato) posti nel terreno e collegati tra loro e/o ad altri conduttori presenti nel terreno (tubazioni idrauliche).
- *gabbia Melsen-Faraday*. Per la protezione di edifici più estesi si possono usare diverse aste in parallelo poste su più punti (per esempio le guglie del Duomo di Milano) e collegate tra loro con una rete di conduttori e con diverse discese che avvolgono tutto l'edificio come una gabbia. A sua volta la rete di messa a terra collega tutte le singole discese sfruttando il principio della gabbia di Faraday.
- *parafulmine radioattivo*. Nelle punte del parafulmine una sostanza radioattiva ionizza l'aria circostante creando una via preferenziale al passaggio di corrente (minore resistenza) rispetto all'aria circostante.
- *funi di guardia*. Al di sopra delle linee ad alta tensione, cavi in acciaio sono collegati a terra tramite i piloni di sostegno della linea (tralicci metallici) evitando che eventuali sovratensioni generate da elevati campi elettrostatici associati vadano a interessare i cavi sottostanti che conducono la corrente. Con lo stesso principio al di sopra delle navi vi sono dei cavi metallici collegati con parte dello scafo immerso nell'acqua e quindi buon conduttore della corrente.

- *parafulmine laser*. Il più costoso ed in fase di sperimentazione viene usato per proteggere le centrali elettriche e si basa sul principio che fasci di laser infrarossi o ultravioletti, di opportuna lunghezza d'onda, creano una ionizzazione dell'aria costituendo un cammino conduttore preferenziale alla scarica del fulmine.

L'impianto per la protezione dalle scariche atmosferiche, in uno schema semplificato, può essere considerato costituito dai seguenti componenti primari:

- organi di captazione
- calate
- dispersori.

Oltre al suddetto impianto, che svolge la funzione di protezione principale e per questo è definito *impianto base*, ai fini della protezione dalle scariche atmosferiche sono generalmente anche previsti gli accessori necessari a proteggere l'impianto elettrico dell'edificio dalle sovracorrenti indotte.

Gli organi di captazione sono destinati a intercettare la scarica del fulmine.

Le norme classificano gli impianti di protezione in base al tipo di captatore utilizzato, distinguendo gli organi di raccolta in:

- ad aste verticali
- a funi
- a maglia.

Nei primi l'organo di captazione è costituito da una o più aste verticali (Figura 2.23), nei secondi da uno o più funi metalliche tese tra supporti e sovrastanti la struttura da proteggere (Figura 2.24), nei terzi da conduttori connessi tra di loro in modo da formare maglie di dimensioni opportune (Figura 2.25).

Gli organi captatori devono essere posizionati in modo tale che tutto il volume da proteggere sia involuppato all'interno del volume protetto. Possono essere considerati organi di captazione naturali le parti metalliche già esistenti, purché siano elettricamente collegate tra loro e al resto dell'impianto.

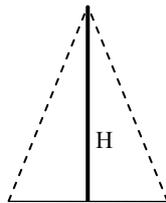


Figura 2.23 Captatore ad asta.

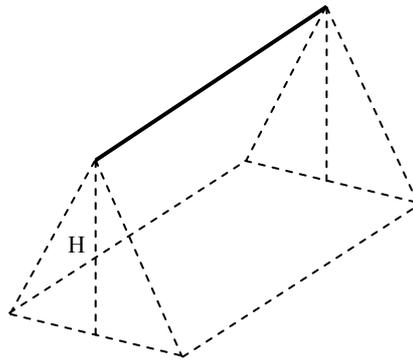


Figura 2.24 Captatore a funi.

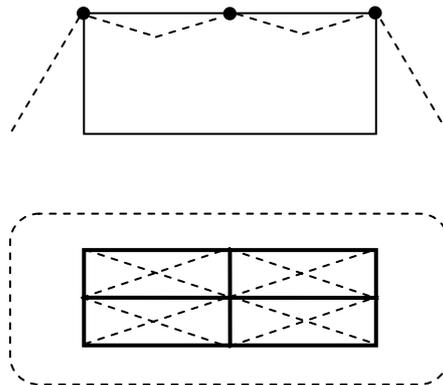


Figura 2.25 Captatore a maglia.

Gli organi di discesa hanno la funzione di trasferire ai dispersori di terra la corrente del fulmine intercettato dai captatori. Le calate devono essere in numero tale da evitare le scariche laterali che potrebbero verificarsi all'interno e all'esterno dell'edificio. Le norme di buona tecnica suggeriscono che il numero di calate deve essere non inferiore a due e distanti tra di loro non più di 20 m.

Il dispersore ha il compito di disperdere nel terreno la corrente di un fulmine ricevuta dai captatori e trasferita dagli organi di discesa.

Il dimensionamento dell'impianto di protezione, come già affermato, è improntato ad una logica di tipo probabilistico secondo cui la probabilità di scarica nel volume da proteggere deve essere inferiore ad un valore soglia stabilito dal progettista.

Il probabile numero di fulmini che potrebbe colpire direttamente in un anno il volume da proteggere, in assenza dell'impianto di protezione, è definito *probabilità di fulminazione diretta* ed è espresso dalla formula:

$$N_f = N_t \cdot A_{eq} \quad (2.11)$$

avendo indicato con:

N_t il numero di fulmini a terra all'anno per chilometro quadrato (valore tabellato)

A_{eq} l'area equivalente del volume da proteggere, espressa in chilometri quadrati e calcolabile come:

$$A_{eq} = [a \cdot b + 10 \cdot (a+b) \cdot (C \cdot H + h) + 100 \cdot (C \cdot H + h)^2] \cdot 10^{-6} \quad (2.12)$$

avendo espresso con:

a , b , le dimensioni in pianta del volume da proteggere;

h , l'altezza media del volume da proteggere;

H , la differenza tra la quota a cui si trova il volume da proteggere e la quota media del terreno a 1 km di distanza;

C , un coefficiente che è funzione del posizionamento del volume da proteggere:

- $C = 0$, se la struttura da proteggere è in pianura e su terreno pianeggiante
- $C = 0,1$ se la struttura da proteggere è a mezza costa
- $C = 0,2$ se la struttura da proteggere è in collina
- $C = 0,3$ se la struttura da proteggere è in montagna.

2.5 Rischio di incendio

2.5.1 Introduzione

Il rischio di incendio rappresenta uno dei maggiori rischi per qualsiasi ambiente, in particolare per i luoghi di lavoro. Le caratteristiche peculiari dell'incendio, che lo rendono un'emergenza, sono il suo possibile sviluppo subdolo (perché silenzioso e invisibile nelle fasi iniziali) e la sua rapida estensione, che riduce i tempi di evacuazione e di soccorso delle persone coinvolte. L'efficace valutazione del rischio incendio, unitamente ad adeguate attività di informazione e formazione dei lavoratori, sono fondamentali nell'attività di prevenzione.

Nei paragrafi che seguono si esamineranno i fenomeni fisici alla base degli incendi per analizzare i rischi che si generano durante l'evento per l'uomo, per le strutture e per l'ambiente, ai fini della loro corretta valutazione e dell'individuazione delle idonee misure di prevenzione e di protezione da attuare.

2.5.2 I principi generali della combustione

L'incendio è la conseguenza di una serie di reazioni di combustione che si sviluppano in modo incontrollato e imprevedibile. Una reazione di combustione è una reazione chimica esotermica tra un combustibile e un comburente, caratterizzata da sviluppo di energia sotto forma di luce, calore, fumi e gas. Affinché tale processo si produca è necessario il verificarsi contemporaneo di tre condizioni:

- presenza del *combustibile*;
- presenza del *comburente*;
- presenza di una *sorgente di calore* (innesco).

Il combustibile è una qualsiasi sostanza che dispone di un potenziale termico in grado di sostenere il processo di combustione; i materiali combustibili possono essere allo stato solido, liquido o gassoso. Il comburente è la sostanza che si unisce al combustibile per attivare la combustione; il più importante, nonché quello maggiormente reperibile in natura, è l'ossigeno dell'aria (O_2). L'innesco è una sorgente di calore con temperatura superiore a quella di accensione che, a contatto con la miscela infiammabile, avvia la combustione.

In caso di assenza di uno degli elementi, o in presenza di quantità insufficienti, la combustione non si sviluppa. Da questa considerazione consegue che i sistemi di spegnimento degli incendi si basano su:

- *esaurimento del combustibile*: allontanamento o separazione della sostanza combustibile dal focolaio d'incendio
- *soffocamento*: separazione del comburente dal combustibile o riduzione della concentrazione del comburente in aria
- *raffreddamento*: sottrazione di calore fino ad ottenere una temperatura inferiore a quella necessaria al mantenimento della combustione.

La combustione è caratterizzata da diversi parametri chimici e fisici tra i quali i principali sono la temperatura di accensione, la temperatura teorica di combustione, l'aria teorica di combustione, il potere calorifico e la temperatura di infiammabilità.

La *temperatura di accensione* o autoaccensione è la minima temperatura alla quale la miscela combustibile-comburente inizia a bruciare spontaneamente in modo continuo senza ulteriore apporto di energia. La temperatura di accensione per i materiali solidi è funzione della loro superficie esposta per unità di peso e diminuisce in presenza di sostanze ossidanti. Nella Tabella 2.2 sono riportati i valori indicativi delle temperature di accensione di alcuni combustibili.

Tabella 2.2 Temperature di accensione di alcuni combustibili (valori indicativi).

| Combustibile | Temperatura di accensione (°C) |
|--------------|--------------------------------|
| Benzina | 250 |
| Gasolio | 220 |
| Idrogeno | 560 |
| Acetone | 540 |
| Metano | 537 |

La *temperatura teorica di combustione* è il massimo valore di temperatura raggiunto nella combustione completa di una sostanza, che viene ossidata con la minima quantità di aria teorica e in condizioni ideali. Nella realtà il valore effettivo della temperatura di combustione dipende dalle modalità con le quali il fenomeno si sviluppa (in aria, al chiuso, in caldaia ecc.). Nella Tabella 2.3 sono riportati i valori teorici delle temperature di combustione di alcune sostanze.

L'*aria teorica di combustione* è la quantità di aria necessaria per raggiungere la combustione completa del materiale combustibile. Nella Tabella 2.4 sono riportati i valori dell'aria teorica di combustione di alcune sostanze.

Tabella 2.3 Temperature teoriche di combustione di alcune sostanze (valori indicativi).

| Combustibile | Temperatura teorica di combustione (°C) |
|--------------|---|
| Idrogeno | 2205 |
| Metano | 2050 |
| Petrolio | 1800 |
| Propano | 2230 |

Il *potere calorifico* è la quantità di calore sviluppata dalla combustione completa dell'unità di massa di una sostanza solida o liquida, o dall'unità di volume di una sostanza gassosa. Si distingue il potere calorifico superiore da quello inferiore nel caso in cui si includa o meno il calore latente di vaporizzazione, che per l'acqua è pari a 2 MJ/kg. Nella Tabella 2.4 sono riportati i valori del potere calorifico inferiore di alcune sostanze.

Tabella 2.4 Potere calorifico inferiore e aria teorica di combustione di alcune sostanze (valori indicativi).

| Combustibile | Potere calorifico inferiore (MJ/kg) | Aria teorica di combustione (m ³ /kg) |
|----------------|-------------------------------------|--|
| Legno | 17 | 5 |
| Carbone | 30-34 | 8 |
| Benzina | 42 | 12 |
| Alcool etilico | 25 | 7,5 |
| Propano | 46 | 13 |
| Idrogeno | 120 | 28,5 |

La *temperatura di infiammabilità* (T_{infiam}) è la temperatura più bassa alla quale un liquido infiammabile emette vapori in quantità tale che miscelati con l'aria possono incendiarsi in presenza di una fonte di innesco. I *limiti di infiammabilità* sono determinati dalla concentrazione minima (limite inferiore) e massima (limite superiore) di vapori di un liquido infiammabile miscelato con l'aria alle quali la combustione, una volta innescata in qualsiasi punto della miscela, si propaga a tutta la massa. Il *campo di infiammabilità* è determinato dal *range* di concentrazione combustibile/comburente nel quale la miscela è incendiabile ed è quindi delimitato dal limite inferiore e supe-

riore di infiammabilità. Per concentrazioni di vapori di liquido infiammabile esterne al campo di infiammabilità, la miscela risulta troppo povera o troppo ricca di combustibile rispetto al comburente per poter rendere possibile il processo di combustione. La concentrazione percentuale ($C\%$) di vapori di un liquido infiammabile di una miscela si calcola con la formula seguente, ove V_{vc} è il volume dei vapori e V_m è il volume complessivo della miscela:

$$C\% = \frac{V_{vc} \cdot 100}{V_m} \quad (2.13)$$

Nella Tabella 2.5 sono riportati i valori della temperatura e del campo di infiammabilità di alcune sostanze.

Tabella 2.5 Temperatura e campo di infiammabilità di alcune sostanze (valori indicativi).

| Combustibile | Temperatura di infiammabilità (°C) | Campo di infiammabilità (C%) | |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|------------------|
| | | Limite inferiore | Limite superiore |
| Gasolio | 65 | 0,6 | 6,5 |
| Acetone | -18 | 2,5 | 13 |
| Benzina | -20 | 1 | 6,5 |
| Metano | -180 | 5 | 15 |

I carburanti sono sostanze chimiche combustibili caratterizzate da elevato contenuto energetico, generalmente in forma semi-stabile nelle condizioni ambientali ordinarie. La variazione della temperatura di un carburante, in presenza di comburente, può determinare il rilascio rapido dell'energia. Si definisce *flash-point* di una sostanza, in genere di un carburante, la temperatura più bassa alla quale può formarsi una miscela infiammabile con l'aria. I liquidi con flash-point al di sotto della temperatura ambiente sviluppano automaticamente vapori in quantità sufficiente a formare una miscela esplosiva, pertanto, perdite di questi liquidi sono da considerarsi estremamente pericolose.

2.5.3 I combustibili

La combustione delle sostanze solide avviene per il fenomeno della *pirolisi* per il quale una sostanza solida portata a una determinata temperatura emette vapori infiammabili. Una volta innescata, la combustione è alimentata dall'irraggiamento termico, provocato dalle fiamme, che favorisce ulteriore pirolisi fino all'esaurimento delle sostanze volatili dopodiché la combustione prosegue senza fiamma sotto forma di brace. I principali fattori che influenzano la combustione dei solidi sono:

- la natura della sostanza
- il grado di porosità (presenza di aria nella massa)
- la pezzatura (massa) e la forma (rapporto tra il volume e la superficie esterna)
- il contenuto di umidità (presenza di acqua nella massa)
- le condizioni di ventilazione.

La combustione dei liquidi infiammabili avviene in corrispondenza della superficie di separazione tra il pelo libero del liquido e del mezzo che lo sovrasta ove i vapori dei liquidi, miscelandosi con l'ossigeno dell'aria in concentrazioni comprese nel campo di infiammabilità, sono opportunamente innescati. I liquidi infiammabili presentano le seguenti caratteristiche di pericolosità:

- elevato potere calorifico
- naturale tendenza all'evaporazione
- minima energia di innesco e rapida propagazione dell'incendio
- peso specifico inferiore rispetto all'acqua per cui tendono a galleggiare
- densità dei vapori maggiore rispetto all'aria per cui essi tendono ad accumularsi in basso.

In base alla loro temperatura di infiammabilità i liquidi si suddividono in:

- liquidi molto infiammabili (cat. A) con $T_{\text{infiam}} < 21 \text{ }^\circ\text{C}$
- liquidi infiammabili (cat. B) con $21 \text{ }^\circ\text{C} < T_{\text{infiam}} < 65 \text{ }^\circ\text{C}$
- liquidi combustibili (cat. C) con $T_{\text{infiam}} > 65 \text{ }^\circ\text{C}$.

La combustione dei gas infiammabili avviene quando il gas, miscelandosi con l'ossigeno dell'aria in concentrazioni comprese nel campo di infiammabilità, è opportunamente innescato. Le sostanze gassose hanno la capacità di diffondersi rapidamente nell'ambiente dando luogo a miscele che, se innescate anche con apporti minimi di energia, sviluppano fiamme in grado di raggiungere temperature elevate. La combustione determina una repentina produzione di calore e una conseguente dilatazione locale della massa gassosa, che a sua volta comprime e riscalda la massa gassosa circostante provocandone la combustione. Nelle combustioni in sistemi aperti si genera un'onda di combustione, costituita da un'onda di pressione (che si propaga con la velocità del suono), seguita dalla più lenta onda termica che la genera. La combustione si propaga così attraverso la massa con un fronte di fiamma che la percorre a elevata velocità (dell'ordine del metro al secondo). Durante la propagazione del fronte della fiamma possono generarsi pressioni così elevate da portare, in condizioni idealmente adiabatiche, al raggiungimento della temperatura di infiammabilità di tutta la massa gassosa ancora non combusta, che così brucia istantaneamente (*detonazione*).

2.5.4 L'innesco

L'innesco è una qualsiasi sorgente di calore che, a contatto con la miscela combustibile/comburente, avvia la reazione di combustione. Le fonti di innesco possono essere le seguenti principali:

- accensione diretta, quando una fiamma, una scintilla o altro materiale incandescente entra in contatto con un materiale combustibile in presenza di ossigeno (per esempio operazioni di taglio e saldatura, fiammiferi, mozziconi di sigaretta, lampade e resistenze elettriche, scariche elettriche)
- accensione indiretta, quando l'innesco avviene nelle forme della convezione, conduzione e irraggiamento termico (per esempio correnti di aria calda generate da un

incendio e diffuse attraverso un vano scala o altri collegamenti verticali, propagazione di calore attraverso elementi metallici strutturali degli edifici)

- attrito, quando il calore è prodotto dallo sfregamento di due materiali (per esempio malfunzionamento di parti meccaniche rotanti quali cuscinetti, motori, urti, rottura violenta di materiali metallici)
- autocombustione o riscaldamento spontaneo, quando il calore è prodotto dallo stesso combustibile (per esempio cumuli di carbone, fermentazione di vegetali).

Nella Tabella 2.6 sono riepilogate le cause di innesco più frequenti e le relative misure di protezione che possono essere adottate per evitare l'incendio.

Tabella 2.6 Cause di innesco.

| Tipologia di innesco | Cause di innesco | Misure di protezione |
|----------------------|---|---|
| TERMICO | Passaggio di calore per irraggiamento, convezione, conduzione, fiamme libere, fornelli, saldatrici elettriche e a gas, sigarette, scarichi di motori endotermici e loro parti calde, autocombustioni, reazioni chimiche esotermiche, tizzoni. | Isolamento, compartimentazione, aerazione |
| MECCANICO | Scintille da sfregamenti e urti, surriscaldamento di parti meccaniche per guasti o attrici, guasti a impianti in movimento. | Rivestimenti protettivi |
| ELETTRICO | Scariche elettriche e elettrostatiche, archi elettrici, fili incandescenti, surriscaldamento dei conduttori, guasti di motori o impianti elettrici, scariche atmosferiche. | Interruttori magnetotermici, sezionatori, impianti di terra, impianti di protezione contro le scariche atmosferiche, gabbia di Faraday. |

2.5.5 La dinamica dell'incendio

L'incendio si sviluppa nel tempo secondo diverse fasi, come raffigurato nel grafico in Figura 2.26, ove sull'asse delle ordinate è riportata la temperatura (T) e sull'asse delle ascisse il tempo (t). L'*ignizione* è la fase iniziale del processo di combustione: l'incendio è ancora localizzato ed è possibile agire per cercare di sedarlo; la durata di questa fase dipende dalla reazione al fuoco dei materiali, dalla geometria e dalla ventilazione dei luoghi coinvolti. Segue la fase di *propagazione* dell'incendio, caratterizzata da scarse quantità di combustibile ancora coinvolte e da basse temperature: inizia la produzione di gas tossici e corrosivi e dei fumi di combustione che riducono la visibilità e progressivamente aumenta la partecipazione alla combustione dei combustibili solidi e liquidi, che provoca l'aumento delle temperature e dell'energia di irraggiamento.

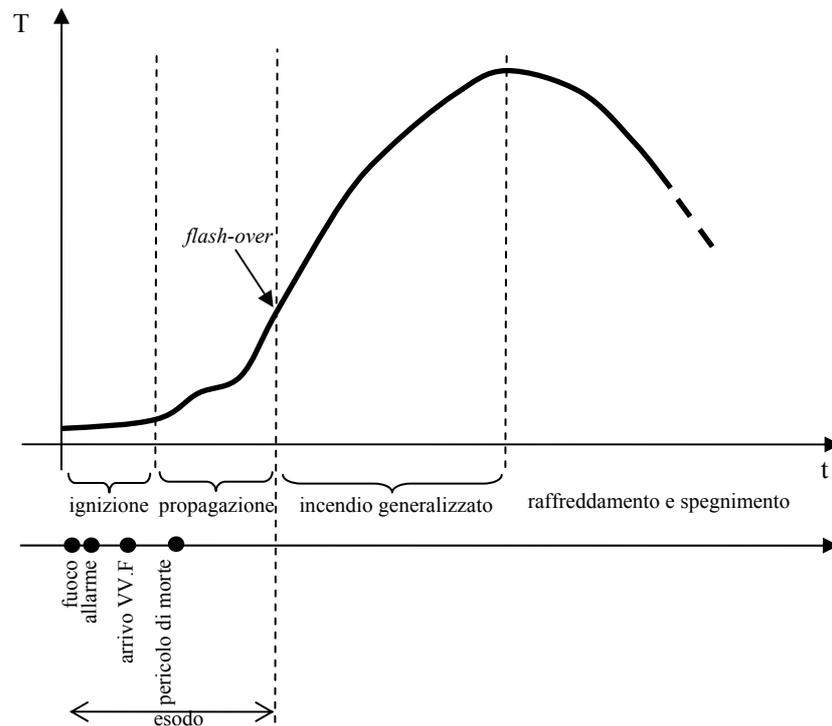


Figura 2.26 Fasi di sviluppo di un incendio.

La fase di *incendio generalizzato* inizia con una combustione generalizzata (*flash-over*) contraddistinta dal brusco innalzamento della temperatura, la crescita esponenziale della velocità di combustione e l'aumento massiccio del materiale che partecipa alla combustione. Durante questa fase, tutto il materiale presente partecipa alla combustione, si raggiungono temperature medie di circa 1000 °C con un forte aumento di emissioni di gas e di particelle incandescenti che, espandendosi, vengono trasportate in senso orizzontale e, soprattutto, in senso ascensionale formando zone di turbolenza visibili. Della quantità di calore prodotta, circa il 55% è consumato dai prodotti della combustione, circa il 35% è assorbito dalle strutture dei locali coinvolti e circa il 10% è trasmesso all'esterno per irraggiamento. Raggiunta la temperatura massima inizia la fase di *raffreddamento e spegnimento* dell'incendio, causata dalla progressiva diminuzione dell'apporto termico residuo e della dissipazione di calore attraverso i fumi e fenomeni di conduzione termica. L'incendio si ritiene estinto quando la temperatura scende al di sotto dei 300 °C.

Dall'analisi della dinamica dell'incendio si evince come il tempo sia un fattore determinante ai fini della sicurezza. Un incendio può essere sedato, quando possibile, solamente nelle fasi iniziali, altrimenti è necessario segnalare tempestivamente

l'allarme e richiedere l'intervento dei Vigili del Fuoco per permettere l'esodo delle persone presenti nei luoghi interessati dall'evento. I soccorsi sono possibili fino al momento del flash-over, dopodiché l'incendio può essere solamente contenuto. Nella fase culminante la produzione di gas tossici, le temperature elevate e il rischio di cedimento delle strutture dei luoghi interessati non permettono ai soccorritori di operare per mettere in salvo le persone rimaste intrappolate.

2.5.6 Effetti dell'incendio e prodotti della combustione

I principali effetti, diretti e indiretti, dell'incendio sull'uomo determinati dai prodotti della combustione sono:

- anossia (riduzione dell'ossigeno nell'aria)
- intossicazione da fumi
- riduzione della visibilità
- azione termica
- paura, panico.

L'incendio può procurare danni diretti alle persone in forma di ustioni più o meno gravi, ma le cause che provocano la morte delle persone sono quasi sempre collegate agli effetti indiretti. Infatti, risultano essere estremamente pericolosi i cedimenti e/o il crollo di strutture che causano la sepoltura delle persone, il fumo e il panico che provocano la possibilità dello schiacciamento delle persone nella ricerca di una via di scampo e la presenza di agenti inquinanti e tossici, che cagionano il soffocamento e/o l'avvelenamento.

La combustione comporta inevitabilmente la riduzione della percentuale di ossigeno nell'ambiente, sia perché esso viene consumato dalla reazione sia perché i gas prodotti, se non sufficientemente evacuati, si mescolano con l'aria abbassandone il contenuto percentuale. Il pericolo per l'uomo sopraggiunge quando la percentuale di ossigeno in aria scende al di sotto del 17%.

Ai fini della protezione dai rischi di incendio è di rilevante importanza la conoscenza e lo studio delle sostanze che si volatilizzano negli ambienti o nelle aree interessate durante lo sviluppo della combustione. Il fumo è una sospensione di particelle di combustibile solide e liquide incombuste o condensate di prodotti della combustione (presenti in modo particolare quando la combustione avviene in carenza di comburente). Durante un incendio i fumi sono prodotti in quantità tali da impedire la visibilità ostacolando l'attività dei soccorritori e l'esodo delle persone. Le particelle solide rendono il fumo di colore scuro mentre le particelle liquide, costituite essenzialmente da vapore d'acqua che condensa al di sotto dei 100 °C, danno luogo a fumo di colore bianco. I gas sono i prodotti del processo di combustione che restano allo stato gassoso anche dopo il raffreddamento a temperatura ambiente e dipendono dalla composizione chimica del combustibile/comburente, dalla quantità di comburente disponibile e dalla temperatura raggiunta dalla combustione. Si riporta una breve analisi delle sostanze più tossiche per l'uomo che possono svilupparsi durante un incendio:

- *ossido di carbonio (CO)*: si sviluppa in incendi covanti in ambienti chiusi e in carenza di ossigeno e, formandosi in grande quantità, costituisce uno dei pericoli

maggiori. E' un gas incolore, inodore e non irritante che assorbito per via polmonare passa nel sangue per combinazione con l'emoglobina dei globuli rossi formando la carbossiemoglobina e impedendo il normale legame della stessa con l'ossigeno. Una concentrazione di CO di 500 ppm è sopportabile dall'uomo per circa 240 s, mentre una di 10000 ppm solo per 12 s.

- *anidride carbonica (CO_2)*: si forma in grande quantità e non produce effetti tossici sull'organismo umano ma accelera e stimola il ritmo respiratorio, che determina una inalazione sempre maggiore di CO_2 abbassando il livello di ossigeno nel sangue, provocando quindi stati di torpore e perdita di conoscenza. Quando l'aumento di CO_2 determina una concentrazione di ossigeno inferiore al 17% in volume si ha l'asfissia e la conseguente morte per soffocamento.
- *idrogeno solforato (H_2S)*: deriva dalla presenza di combustibili contenenti zolfo (per esempio lana, gomme, pelli ecc.) e presenta un caratteristico odore di uova marce. L'inalazione prolungata di aria contenente H_2S provoca vertigini e vomito; ad alte concentrazioni (>0,5%) attacca il sistema nervoso provocando affanno e successivamente il blocco della respirazione.
- *anidride solforosa (SO_2)*: deriva dalla presenza di combustibili contenenti zolfo e in ricchezza di aria. La sostanza è fortemente irritante per gli occhi e il tratto respiratorio e, inalata, può causare edema polmonare; una prolungata esposizione a elevate concentrazioni (>0,5%) portano alla morte.
- *acido cianidrico (HCN)*: possiede un caratteristico odore di mandorle amare e si sviluppa in modeste quantità in incendi ordinari attraverso combustioni incomplete (carenza di ossigeno) di lana, seta, resine acriliche, uretaniche e poliammidiche. E' un composto tossico che interrompe la catena respiratoria a livello cellulare generando sofferenza nel cuore e nel sistema nervoso centrale. Una concentrazione di 300 ppm di vapori di HCN nell'aria possono uccidere una persona nell'arco di pochi minuti.
- *acido cloridrico (HCl)*: deriva dalla combustione di tutti quei materiali contenenti cloro quali la maggior parte delle materie plastiche, possiede un odore acre ed è irritante per le mucose. Una concentrazione di 1500 ppm è mortale in pochi minuti.
- *ossidi di azoto (NO_x)*: derivano dalla combustione di ammonio, nitroglicerina e altri nitrati organici. Sono fortemente tossici e in concentrazioni in volume dello 0,02% sono mortali.
- *ammoniaca (NH_3)*: è un gas che si forma dalla combustione di materiali contenenti azoto. E' irritante per le vie respiratorie e in concentrazioni elevate produce spasmo della glottide e successivo soffocamento.
- *aldeide acrilica (CH_2CHCHO)*: è un gas che si forma dalla combustione di materiali derivati dal petrolio, grassi e olii. La sostanza è tossica per il fegato e irritante per la mucosa gastrica; concentrazioni superiori a 10 ppm possono essere mortali.
- *fosgene ($COCl_2$)*: è un gas tossico che si sviluppa durante la combustione di materiali contenenti cloro (per esempio materie plastiche) pericoloso in ambienti chiusi. E' un veleno insidioso poiché non provoca effetti immediati. Il fosgene, combinandosi con l'acqua contenuta nei tessuti del tratto respiratorio, si decompone in anidride carbonica e acido cloridrico, il quale è in grado di dissolvere le membrane delle cellule esposte causando il riempimento delle vie respiratorie di liquido. La

morte sopraggiunge per combinazione di emorragie interne, shock e insufficienza respiratoria.

Gli effetti dell'azione termica sull'uomo sono dannosi in quanto il calore causa la disidratazione dei tessuti, ustioni e difficoltà o blocco della respirazione. La massima temperatura dell'aria secca sopportabile dall'uomo sulla pelle per brevissimo tempo è di circa 150 °C, valore che si riduce se l'aria è umida. Negli incendi sono presenti notevoli quantità di vapore acqueo, pertanto, una temperatura dell'aria di circa 60 °C è da ritenere la massima sopportabile dall'uomo per breve tempo. Nella Tabella 2.7 sono indicati gli effetti sull'uomo dell'irraggiamento.

Tabella 2.7 Effetti sull'uomo dell'irraggiamento.

| Energia (kW/m ²) | Effetti sull'uomo |
|------------------------------|---|
| 40 | 1% di probabilità di sopravvivenza |
| 26 | Innesco di incendi di materiale infiammabile |
| 19 | 50% di probabilità di sopravvivenza |
| 5 | Danni per operatori con indumenti di protezione esposti per lungo tempo |
| 2 | Ustioni di secondo grado |
| 1.8 | Ustioni di primo grado |
| 1.4 | Limite di sicurezza per persone vestite esposte per lungo tempo |

I prodotti della combustione hanno effetto anche sui materiali e sulle costruzioni in quanto, oltre all'incenerimento e alla corrosione, essi sono soggetti, per effetto dell'azione termica, a fenomeni di deformazione che possono portare a lesioni e a cedimenti strutturali. Nella Tabella 2.8 sono riassunti gli effetti sui materiali da costruzione dell'irraggiamento.

Tabella 2.8 Effetti dell'irraggiamento sui materiali da costruzione.

| Energia (kW/m ²) | Danni che si possono verificare |
|------------------------------|--|
| 60 | Danneggiamenti nelle strutture in calcestruzzo |
| 40 | Danneggiamenti nelle strutture in acciaio |
| 33 | Ignizione del legno entro un minuto |
| 12,6 | Danneggiamento di serbatoi metallici |
| 11,7 | Danneggiamento di cavi elettrici |

2.5.7 Classificazione degli incendi e gli agenti estinguenti

In base al tipo di combustibile sono state definite le seguenti classi di fuoco allo scopo di semplificare la scelta degli agenti estinguenti più adatti:

- *Classe A - fuochi di solidi o fuochi secchi*: fuochi di materiali solidi, generalmente di natura organica, la cui combustione avviene con produzione di braci

- *Classe B - fuochi di idrocarburi solidificati o di liquidi infiammabili (fuochi grassi)*: sono gli incendi provocati da combustibili quali la benzina, acetone, olii, petrolio, alcoli, vernici, solventi, grassi ecc.
- *Classe C - fuochi di combustibili gassosi*: caratterizzati da una fiamma alta ad elevata temperatura
- *Classe D - fuochi di metalli*: sono particolarmente difficili da estinguere a causa delle altissime temperature che si generano e richiedono personale addestrato e agenti estinguenti speciali.

L'estinzione degli incendi si ottiene per raffreddamento, sottrazione del combustibile e soffocamento; tali azioni possono essere ottenute singolarmente o contemporaneamente attraverso l'utilizzo di adeguate sostanze estinguenti scelte in funzione della natura del combustibile e delle dimensioni del fuoco. E' importante sottolineare che gli agenti estinguenti devono essere disponibili ed economici e il loro utilizzo non deve arrecare nuovi pericoli o danni a persone o cose. I principali agenti estinguenti utilizzati negli estintori e negli impianti di spegnimento sono:

- *Acqua*: è la sostanza estinguente per antonomasia grazie alla sua facilità di reperibilità a basso costo. La sua azione estinguente si realizza attraverso l'abbassamento della temperatura del combustibile, il soffocamento per sostituzione dell'ossigeno con il vapore acqueo, la diluizione delle sostanze infiammabili solubili in acqua e l'imbevimento dei combustibili solidi. L'uso dell'acqua è consigliato per incendi di combustibili solidi a esclusione di quelli contenenti sostanze incompatibili, quali il sodio e il potassio (che a contatto con l'acqua liberano idrogeno) e carburi (che liberano acetilene); non è impiegabile come mezzo estinguente per incendi che coinvolgono impianti e apparecchiature in tensione, a causa della sua caratteristica di essere un buon conduttore di energia elettrica e per incendi di liquidi infiammabili non miscibili e più leggeri dell'acqua (benzina, gasolio, olio lubrificante ecc.).
- *Schiuma*: è un agente estinguente costituito da una soluzione in acqua di un liquido schiumogeno. L'azione estinguente avviene per separazione del combustibile dal comburente e per raffreddamento. Le schiume sono impiegate per incendi di liquidi infiammabili e non possono essere utilizzate su impianti e apparecchiature in tensione in quanto contengono acqua. In base al rapporto tra il volume della schiuma prodotta e la soluzione acqua-schiumogeno di origine, le schiume si suddividono in schiume ad alta, media e bassa espansione. Sono disponibili diversi tipi di liquidi schiumogeni da impiegare in relazione al tipo di combustibile.
- *Polveri*: sono costituite da particelle solide e finissime a base di bicarbonato di sodio, potassio, fosfati e sali organici. L'azione estinguente è prodotta dalla decomposizione delle polveri per effetto delle alte temperature raggiunte nell'incendio, che genera effetti chimici sulla fiamma con azione anticatalitica e produzione di anidride carbonica e vapore d'acqua, i quali inibiscono il processo di combustione determinando la separazione del combustibile dal comburente e il raffreddamento del combustibile incendiato. Le polveri sono adatte per i fuochi di classe A, B, e C, mentre per incendi di classe D devono essere utilizzate polveri speciali.

- *Gas inerti*: l'anidride carbonica e in minor misura l'azoto, sono utilizzati per la difesa dagli incendi di ambienti chiusi. La loro presenza nell'aria riduce la concentrazione del comburente fino a inibire il processo di combustione. L'anidride carbonica è un gas più pesante dell'aria, perfettamente dielettrico, conservato sotto forma di gas liquefatto sotto pressione che, a differenza dell'azoto, produce anche una azione estinguente di raffreddamento generata dall'assorbimento di calore nel passaggio dalla fase liquida a quella gassosa.
- *Gli idrocarburi alogenati (HALON)*: molto utilizzati fino agli anni '90 per le loro caratteristiche di grande efficacia di spegnimento e assenza di residui sono stati messi al bando in tutto il mondo per la loro forte attività antagonista alla formazione dello strato di ozono stratosferico e sostituiti dai cosiddetti HCFC (cloro-fluorocarburi idrogenati) di scarso successo perché molto meno efficaci.

Sugli estintori appare raffigurata, mediante pittogrammi, la classe di fuoco (A, B, C o D) indicante la sua utilizzabilità in relazione al tipo di incendio da sedare; per l'utilizzo dell'estintore su apparecchiature elettriche in tensione è indicata la dicitura "UTILIZZABILE SU APPARECCHI ELETTRICI IN TENSIONE".

2.5.8 Prevenzione e protezione incendi

La sicurezza antincendio è orientata alla salvaguardia dell'incolumità delle persone, nonché alla tutela dei beni e dell'ambiente attraverso il conseguimento dei seguenti obiettivi primari:

- a) la riduzione al minimo delle occasioni di incendio
- b) la stabilità delle strutture portanti per il tempo utile ad assicurare il soccorso degli occupanti
- c) la limitata produzione di fuoco e fumi all'interno delle opere e la limitata propagazione del fuoco alle opere vicine
- d) la possibilità che gli occupanti lascino l'opera indenni, o che gli stessi siano soccorsi in altro modo
- e) la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

Come noto, il rischio di qualsiasi evento incidentale è definito dal prodotto della frequenza (la probabilità che l'evento si verifichi) e la magnitudo (l'entità delle perdite e dei danni conseguenti al verificarsi dell'evento). La *prevenzione* è rappresentata dall'attuazione di misure tese alla riduzione del rischio attraverso la riduzione della frequenza mentre, la *protezione*, è rappresentata dall'attuazione di misure per la riduzione della magnitudo. Le misure di protezione antincendio possono essere di tipo attivo se richiedono l'intervento di un operatore o di un impianto per la loro attivazione, oppure di tipo passivo in caso contrario. Le misure di prevenzione comprendono anche le misure di protezione attiva e hanno la finalità di impedire il verificarsi di un incendio, di minimizzare i danni provocati alle persone e ai beni materiali quando questo si sia generato, di stimare il rischio incendio residuo dopo l'adozione delle azioni di prevenzione, di formazione/informazione del personale e del miglioramento

continuo delle misure adottate. La valutazione del rischio di incendio è alla base dell'attività di prevenzione incendi e di tutta la normativa tecnica emanata.

2.5.9 La valutazione del rischio incendio

La valutazione del rischio incendio deve essere effettuata secondo una sequenza logica, sistematica e programmata, che esamini l'eventuale presenza di rischi di incendio in ogni ambiente di lavoro e poi programmi i provvedimenti necessari per l'eliminazione o la riduzione dei rischi individuati. Consiste nelle seguenti fasi:

1. individuazione di ogni pericolo di incendio (materiali combustibili, sorgenti di ignizione ecc.)
2. individuazione delle persone esposte
3. eliminazione o riduzione dei pericoli di incendio
4. valutazione del rischio incendio
5. verifica della adeguatezza delle misure di sicurezza esistenti ovvero individuazione di eventuali ulteriori provvedimenti e misure necessarie a eliminare o ridurre i rischi residui di incendio.

La valutazione dei rischi di incendio deve essere revisionata e aggiornata in relazione alla variazione dei fattori di rischio individuati, ai significativi cambiamenti nell'attività, nei materiali utilizzati o depositati, o quando l'edificio è oggetto di ristrutturazioni o ampliamenti.

Lo scopo è quello di ridurre la probabilità che possa insorgere un incendio, limitarne le conseguenze, consentire l'evacuazione dal luogo di lavoro in condizioni di sicurezza e garantire l'intervento dei soccorritori. Alcuni dei provvedimenti da adottare comprendono:

- la predisposizione di idonee vie e uscite di emergenza
- la garanzia della stabilità dell'edificio in caso di incendio (almeno per il tempo necessario all'evacuazione e all'intervento dei soccorritori)
- la compartimentazione degli ambienti di lavoro in relazione ai fattori di rischio
- l'installazione di impianti, attrezzature a regola d'arte e sicure e dispositivi antincendio efficienti (assicurando regolari controlli e interventi periodici di manutenzione)
- l'affissione di istruzioni e di segnaletica di sicurezza ai fini antincendio
- l'assicurazione di una costante e attenta gestione della sicurezza attraverso la determinazione delle condizioni di esercizio e dei divieti precauzionali
- la predisposizione e l'aggiornamento continuo del piano di emergenza da attuare in caso di incendio da verificare periodicamente per valutarne l'efficacia
- l'organizzazione di un servizio antincendio aziendale incaricato della lotta antincendio, dell'evacuazione dei lavoratori e della gestione dell'emergenza (i cui addetti devono ricevere una adeguata e specifica informazione e aggiornamenti periodici)
- l'assicurazione di una adeguata informazione e formazione del personale sul rischio di incendio, sulle misure adottate per prevenirlo e sulle procedure da attuare in caso di emergenza.

2.5.10 La resistenza al fuoco e la compartimentazione

Ai fini della realizzazione della prevenzione incendio all'interno di un edificio nel quale sono presenti materiali combustibili, sono possibili diversi provvedimenti da adottare in funzione del tipo di attività svolta, delle dimensioni del compartimento e in relazione alle protezioni disponibili. Un indice importante di valutazione del rischio è il *Carico di Incendio* (q) definito come il potenziale termico netto (espresso in MJ) della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio corretto in base ai parametri indicativi della partecipazione alla combustione dei singoli materiali. Il carico di incendio si determina utilizzando la formula:

$$q = \sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i \quad (2.14)$$

ove g_i è la massa espressa in kg, H_i è il potere calorifico inferiore espresso in MJ/kg, m_i è il fattore di partecipazione alla combustione (pari a 0,8 per il legno e altri materiali di natura cellulosa e 1,00 per tutti gli altri materiali combustibili), ψ_i è il fattore di limitazione della partecipazione alla combustione (pari a 0 per i materiali contenuti in contenitori appositamente progettati per resistere al fuoco, pari a 0,85 per materiali contenuti in contenitori non combustibili e non appositamente progettati per resistere al fuoco e pari a 1 in tutti gli altri casi). L'indice i è relativo all' i -esimo materiale combustibile presente nel compartimento. Dividendo il Carico di incendio per la superficie in pianta lorda del compartimento si ottiene il *Carico di incendio specifico*.

In funzione del valore assunto dal Carico di incendio e della previsione di durata dell'incendio si può determinare la necessaria resistenza che le strutture devono possedere per garantire l'evacuazione e il soccorso delle persone. La resistenza delle strutture è distinta in tre classi che progressivamente ne indicano l'efficacia:

- R** **stabilità** attitudine a conservare l'azione meccanica sotto l'azione del fuoco;
- RE** **tenuta** attitudine a non lasciar passare né a produrre, se sottoposto all'azione del fuoco su un lato, fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto conservando la stabilità meccanica;
- REI** **isolamento termico** attitudine che la struttura manifesta a contenere, entro un dato limite, la trasmissione del calore tra i due ambienti che separa conservando la stabilità meccanica e la tenuta ai gas.

Le tre sigle sono seguite da un numero che indica il tempo in minuti durante il quale la struttura, sottoposta a prove sperimentali unificate, conserva le proprietà che la sigla esprime. Per esempio una struttura REI 120 è in grado di mantenere la propria stabilità meccanica, tenuta ai gas e isolamento termico per 120 minuti.

Per ridurre la pericolosità di un ambiente, conviene effettuare la *compartimentazione* e ridurre il valore del carico di incendio. Il compartimento è una porzione di edificio delimitata da elementi costruttivi di determinata resistenza al fuoco e organizzata in modo tale da rispondere alle esigenze di prevenzione incendi, al fine di contenere l'emergenza in uno spazio nel quale intervenire senza che essa si estenda al resto delle attività o all'esterno. Pertanto è necessario prevedere una distanza di sicurezza tra gli edifici o le zone a rischio per contenere la propagazione dell'incendio.

2.5.11 Cenni sulle misure di protezione passiva e attiva

Le misure di protezione passiva sono quelle che non richiedono l'azione dell'uomo, o l'azionamento di un impianto, e hanno l'obiettivo di limitare gli effetti dell'incendio nello spazio e nel tempo. Le misure di protezione passiva includono:

- barriere antincendio (isolamento dell'edificio, distanze di sicurezza esterne ed interne, muri tagliafuoco, schermi ecc.)
- strutture aventi caratteristiche di resistenza al fuoco commisurate ai carichi di incendio
- materiali classificati per la resistenza al fuoco
- sistemi di ventilazione (lucernari a soffitto, ventilazioni statiche continue, sfoghi di fumo e di calore, aperture a *shed*, superfici vetrate normali ecc.)
- sistemi di vie di emergenza.

Gli elementi fondamentali nella progettazione del sistema di vie di emergenza comprendono il dimensionamento e la geometria, i sistemi di protezione attiva e passiva e i sistemi di identificazione (segnaletica, illuminazione ordinaria e di sicurezza) delle stesse. In particolare il dimensionamento delle vie di emergenza dovrà tenere conto del massimo affollamento ipotizzabile dell'edificio, della capacità di esodo e della pericolosità delle lavorazioni. Inoltre le vie di emergenza devono poter essere raggiunte da ciascuna postazione di lavoro percorrendo uno spazio generalmente non superiore a 20-25 m e devono essere protette con idonee strutture REI e, ove necessario, con serrande tagliafuoco sugli impianti tecnologici e nei cavedi. Nella progettazione delle vie di emergenza è necessario tenere conto della possibilità di raggiungerle attraverso più percorsi alternativi per condurre le persone in un *luogo sicuro* (luogo nel quale le persone sono da considerarsi al sicuro dagli effetti determinati dall'incendio o altre situazioni di emergenza).

Le misure di protezione attiva, altresì, richiedono l'azione dell'uomo o l'azionamento di un impianto e sono finalizzate alla precoce rilevazione dell'incendio, alla segnalazione e all'azione di spegnimento dello stesso. Tale insieme è costituito da:

- estintori
- rete idrica antincendio
- impianti di rivelazione automatica d'incendio (rivelatori di fumo, a ionizzazione, ottici, termici, pneumatici)
- impianti di spegnimento automatici (*sprinkler*, impianti a schiuma meccanica, impianti ad anidride carbonica)
- dispositivi di segnalazione e di allarme
- evacuatori di fumo e di calore.

2.5.12 La gestione delle emergenze

La possibilità di un'emergenza all'interno di un ambiente lavorativo, generata da qualsiasi incidente, rende necessaria l'individuazione delle idonee misure di gestione al riguardo. Il *piano di emergenza* è un valido strumento operativo per pianificare la

migliore gestione possibile degli scenari incidentali ipotizzati, determinando una o più sequenze di azioni idonee per controllarne le conseguenze. Indipendentemente dai materiali depositati o impiegati nelle lavorazioni e dalle caratteristiche costruttive e impiantistiche dell'azienda considerata, uno degli aspetti di maggiore influenza sul modo di evolversi dell'evento emergenza è quello delle azioni poste in essere nei primi momenti dell'incidente, nell'attesa dell'arrivo dei soccorsi.

Il piano di emergenza deve contenere, nei dettagli, precise istruzioni su “*cosa fare*” e “*da chi deve essere fatto*” in caso di incidente; in particolare:

- le azioni che gli addetti alle emergenze devono mettere in atto in caso di incidente, comprese quelle delle altre persone presenti
- le procedure per l'evacuazione del luogo di lavoro che devono essere attuate dai lavoratori e dalle altre persone presenti
- le disposizioni per la richiesta di soccorso all'esterno e per fornire le necessarie informazioni al loro arrivo
- le specifiche misure per assistere le persone disabili eventualmente presenti
- le istruzioni per raggiungere i punti di raccolta del personale in un luogo sicuro all'esterno dei locali interessati dall'emergenza
- le procedure per la ricerca degli eventuali dispersi.

Tali provvedimenti hanno lo scopo di conseguire, nel più breve tempo possibile, i seguenti obiettivi principali:

- salvaguardia ed evacuazione delle persone
- messa in sicurezza degli impianti di processo
- compartimentazione e confinamento dell'emergenza
- protezione dei beni e delle attrezzature
- eliminazione/contenimento delle conseguenze dell'incidente (per esempio estinzione completa dell'incendio).

Il piano di emergenza, inoltre, deve prevedere le operazioni necessarie per la rimessa in servizio degli impianti in tempi ragionevoli e il ripristino delle precedenti condizioni lavorative. In ogni caso, esso deve essere riferito alla realtà esistente nei luoghi di lavoro, deve essere facilmente comprensibile, non deve ingenerare confusione e deve essere ben conosciuto dai lavoratori (compreso il personale delle ditte esterne appaltatrici di lavori e servizi potenzialmente presente all'interno dell'ambiente). Si può affermare a buon diritto che *il peggiore piano di emergenza è non avere nessun piano e il secondo peggiore piano è averne due.*

Il piano di emergenza, dunque, serve a identificare i pericoli potenziali, le condizioni e le situazioni particolari, e deve consentire di disporre rapidamente di specifiche informazioni che sarebbe altrimenti impossibile ottenere durante un'emergenza. Le procedure rappresentano linee-guida comportamentali e operative, tramite le quali il personale può agire efficacemente, efficientemente e con maggiore sicurezza in condizioni di emergenza. In loro mancanza, l'azione del personale impreparato a queste situazioni può diventare caotica, causando confusione, incomprensione e aumentare il rischio di infortuni.

Il contenuto del piano deve focalizzare l'attenzione su alcune persone o gruppi-chiave di persone (come gli addetti al reparto, al processo di lavorazione ecc.), e descrivere il loro comportamento, le azioni da intraprendere e quelle da non fare. Al verificarsi dell'evento, si deve tenere conto che possono essere coinvolte anche persone di altri reparti, persone esterne all'azienda (clienti, visitatori, pubblico, dipendenti di altre società ecc.) e che esso può riguardare altri stabilimenti le cui attività sono in qualche modo correlate. Figura centrale nella gestione delle emergenze è quella di un "gestore aziendale dell'emergenza", al quale vanno delegati poteri decisionali, anche arbitrari, al fine di operare nel migliore dei modi e raggiungere gli obiettivi stabiliti in caso di emergenza. Le azioni previste nel piano devono essere correlate alla effettiva capacità delle persone di svolgere determinate operazioni, attribuendo i compiti in funzione della formazione e addestramento ricevuto e del possesso degli idonei requisiti psico-fisici. Poche, semplici, efficaci azioni sono meglio di una serie di incarichi complicati, nei quali il rischio di "saltare" alcuni passaggi fondamentali è molto alto. Il piano di emergenza deve contenere anche le modalità stabilite per l'evacuazione delle persone in modo da garantire l'uscita dal fabbricato di tutti i presenti, utilizzando le previste vie di esodo.

Il piano di emergenza deve essere continuamente verificato, corretto e aggiornato per garantire la sua adeguatezza e la sua efficacia. A tal fine è necessaria l'esecuzione di *esercitazioni periodiche* alle quali parteciperanno tutti i lavoratori (e, quando opportuno, anche il pubblico) per mettere in pratica le procedure di esodo e di primo intervento stabilite e di verificare la loro efficacia. In base all'esito delle esercitazioni, il piano deve essere revisionato e devono essere attuati tutti i provvedimenti migliorativi necessari (per esempio, la modifica delle vie di esodo e delle modalità di evacuazione). Una esercitazione deve essere messa in atto non appena, per esempio:

- una esercitazione abbia rivelato serie carenze e dopo che siano stati attuati i necessari provvedimenti
- si sia verificato un incremento del numero dei lavoratori
- siano stati effettuati lavori che abbiano comportato modifiche alle vie di esodo.

Bibliografia

Albanese M., Orlando A., *Estintori d'incendio – Scelta, installazione e utilizzo*, Hoepli, Milano, 2006.

Barnard J.A., Bradley G.N., *Flame and combustion*, Chapman-Hall, New York, 1985.

Belluzzi O., *Scienza delle Costruzioni*, Edizione Zanichelli, 1966.

Carrescia V., *Fondamenti di sicurezza elettrica*, Hoepli, Milano, 1984.

Carrescia V., AA.VV., *Le guide blu - Impianti a norme CEI - Verifiche 9*, Tuttonormel, Torino, 2002.

- Casagrande R., Clerici C., *Parafulmini*, Edizioni Delfino, Milano, 1961.
- Conte G., *Manuale di Impianti Elettrici*, Hoepli, Milano, 2007.
- CoVan J., *Safety Engineer*, Wiley-Interscience, New York, 1995.
- Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D., *Progettare e gestire la manutenzione*, Mc Graw-Hill, Milano, 2004.
- Monaco A., *La valutazione del rischio di incendio ed i piani di emergenza nei luoghi di lavoro*, Guida Tecnica n. 8, Ministero dell'Interno – Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco, Udine, 2000.
- Rizzo R., *La sicurezza degli impianti industriali*, Edizioni Scientifiche Italiane, 1998.
- Silvestroni P., *Fondamenti di chimica*, Editoriale Veschi, Milano, 1990.
- Zignoli V., *Trasporti meccanici*, Hoepli, Milano, 1970.
- NIOSH, *NIOSH Pocket guide to chemical hazards (NPG)*, Washington, 2005.
- Direttiva 2006/42/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 17 maggio 2006 relativa alle macchine e che modifica la direttiva 95/16/CE (rifusione) pubblicata sulla GUUE n. 157 del 09.06.2006.*
- UNI EN ISO 12100-1/2:2005 "Sicurezza del macchinario - Concetti fondamentali, principi generali di Progettazione -Parte 1: Terminologia di base, metodologia - Parte 2: Principi Tecnici".*
- UNI EN ISO 13849-1:2007 "Sicurezza del macchinario - Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza - Parte 1: Principi generali per la progettazione".*
- UNI EN ISO 14121-1:2007 "Sicurezza del macchinario — Valutazione del rischio — Parte 1: Principi".*
- CEI EN 62305-1/2:2006 "Protezione contro i fulmini. Principi generali - Valutazione del rischio".*
- CEI 64:1999 "Effetti della corrente attraverso il corpo umano".*
- CEI 64-8/1:2007 "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua Parte 1: Oggetto, scopo e principi fondamentali".*

CEI 64-8/4:2007 “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua Parte 4: Prescrizioni per la sicurezza”.

I rischi da esposizione

* G.Mercuri

3.1 Introduzione

L'aumento della presenza di agenti inquinanti negli ambienti di lavoro e le sempre crescenti necessità di sviluppo e competitività delle attuali realtà produttive a ogni livello, sono causa di condizioni lavorative non sempre ideali. I lavoratori impiegati nei diversi processi produttivi di un'azienda si ritrovano, sempre più spesso, in ambienti non del tutto idonei alla salvaguardia della loro salute e di conseguenza, sono soggetti a rischi di differente natura. I fenomeni cui sono soggetti si manifestano e vengono percepiti in maniera diversa dai lavoratori a seconda della sorgente che li diffonde nell'ambiente di lavoro.

Il *rischio da esposizione* (rischio di danno derivante da un fenomeno di esposizione) è quel rischio che a che vedere con il verificarsi di fenomeni di tipo fisico e chimico che possono determinare l'assorbimento di un agente inquinante o tossico da parte dell'uomo, a loro esposto, con conseguenze diverse relativamente al tipo di agente, al tempo di esposizione e alla dose assorbita.

La considerazione delle condizioni di benessere e di salute per l'organismo umano induce a schematizzare la correlazione tra l'esposizione all'agente inquinante e gli effetti di tale esposizione. Sia, dunque, $a(t)$ la quantità di inquinante assorbita all'istante t ; si definisce la *dose assorbita*, D , la somma di tutte le quantità $a(t)$, riferite a istanti successivi, in un prefissato intervallo di tempo, da un istante iniziale $t = 0$ a un gene-

*Il Capitolo è stato redatto in collaborazione con Giampiero Mercuri, Ingegnere, specializzato in Sicurezza, in metodologie di analisi dei rischi e nella conduzione di ispezioni per la sicurezza. Collabora su tali tematiche con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma e con il CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione.

Si ringraziano per il contributo l'Ing. Manuela Caprara e l'Ing. Marco Leone.

rico istante t . La dose di inquinante assorbita si esprime attraverso la seguente equazione:

$$D = \int_0^t a(t)dt \quad (3.1)$$

È possibile associare alla quantità di dose assorbita le diverse conseguenze dell'esposizione all'agente $a(t)$ per un certo intervallo di tempo Δt (Figura 3.1). Se l'esposizione risulta limitata nel tempo, la dose di agente assorbita risulta limitata e gli effetti sono trascurabili; si può quindi ragionevolmente affermare che l'ambiente in cui si trova a soggiornare il soggetto è confortevole. Se l'esposizione è superiore, la dose accumulata determina nell'organismo umano conseguenze spiacevoli ma, comunque, reversibili. L'ultimo caso è quello di un'esposizione particolarmente prolungata con assorbimento di dosi massicce di inquinante che conducono ad effetti irreversibili nel corpo umano. È evidente che tali considerazioni sono relative al tipo di inquinante preso in considerazione, nel senso che gli intervalli di tempo si dilatano o si restringono a seconda della pericolosità dell'agente considerato.

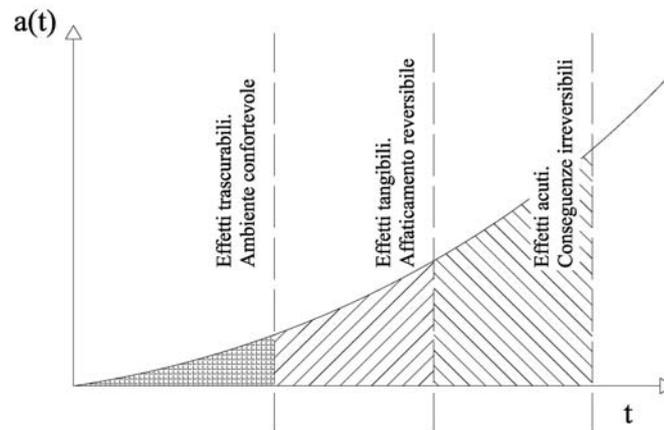


Figura 3.1 Funzione di assorbimento dell'inquinante.

Un importante riferimento nella valutazione dei rischi da esposizione è rappresentato dal *limite di esposizione* (o *TLV Threshold Limit Value*) che rappresenta il valore massimo di esposizione all'agente inquinante al quale si ritiene che la maggior parte delle persone possa rimanere esposta ripetutamente senza avere effetti negativi sulla salute. I valori limite di esposizione per gli agenti inquinanti sono fissati da norme tecniche, leggi, regolamenti ecc.; a riguardo si cita l'elenco elaborato e periodicamente aggiornato dall'ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) e tradotto in italiano dall'AIDII (*Associazione Italiana Degli Igienisti Industriali*) che riporta i TLV per agente inquinante. Si sottolinea che i valori di TLV contenuti

in questo elenco non costituiscono valori limite di legge (a meno che la legislazione non abbia obbligato il ricorso ad essi).

In generale i valori di soglia TLV sono di tre tipologie:

- TLV-TWA (*Time Weighted Average*) valore limite di soglia - media ponderata nel tempo, relativa a una esposizione pari ad 8 ore al giorno per 5 giorni alla settimana (giornata lavorativa convenzionale) a cui si ritiene che il lavoratore possa essere esposto continuamente senza effetti negativi
- TLV-STEL (*Short Term Exposure Limit*) valore limite di soglia – per breve tempo di esposizione (media su 15 minuti) a cui si ritiene che i lavoratori possano essere esposti continuamente senza effetti negativi purché il TLV-TWA giornaliero non venga superato
- TLV-C (*Ceiling*) valore limite di soglia – limite sul valore massimo, non deve essere mai superato durante l'attività lavorativa nemmeno per brevi periodi di tempo; utilizzato per sostanze con effetto sostanzialmente immediato.

Il presente Capitolo si pone l'obiettivo di presentare i principali rischi da esposizione cui sono soggetti i lavoratori quali il rumore, l'inadeguata illuminazione, il contatto con le sostanze pericolose, le vibrazioni trasmesse al corpo umano. Verrà inoltre analizzata la situazione ambientale dei luoghi di lavoro in cui si instaura una particolare condizione microclimatica in grado di influenzare la salute dei lavoratori. Tali situazioni implicano un'adeguata analisi dei rischi, mirata a riconoscere i fenomeni di inquinamento cui i lavoratori sono esposti e a limitare e tenere sotto controllo il rischio del diffondersi di disagi o malattie nei lavoratori. Le indagini devono necessariamente essere supportate da una valida misurazione dei fenomeni mediante l'utilizzo, da parte di personale qualificato, di idonee strumentazioni, e il confronto delle misure ottenute con i valori di riferimento suggeriti dalle norme tecniche, dalle banche dati fornite dagli enti preposti al controllo dell'igiene, salute e sicurezza dei lavoratori e dalle leggi vigenti.

3.2 Principali fenomeni di esposizione e misure di controllo

I rischi da esposizione rappresentano un'ampia porzione nell'insieme dei rischi da valutare nell'ambito delle indagini sulla salute e sicurezza dei lavoratori negli ambienti di lavoro. Ciascuno di questi, differente per processi produttivi, grandezza e natura dei locali, numero di lavoratori impiegati e funzioni svolte, deve essere sottoposto a differenti valutazioni onde pervenire alla definizione precisa dei rischi e dello loro priorità, mirata alla individuazione di adeguate azioni migliorative, di prevenzione e di protezione. Sia che risulti opportuno adottare un approccio di valutazione qualitativo che uno quantitativo, è importante definire le fasi della valutazione dei rischi nelle quali può essere di aiuto l'utilizzo di check-list.

Le check-list sono prima di tutto un valido supporto per l'individuazione, il più possibile esaustiva, delle fonti di inquinamento e delle condizioni di pericolo. La loro esatta e completa individuazione è di basilare importanza per le successive fasi di i-

identificazione e caratterizzazione dei soggetti esposti, stima dei rischi associati, valutazione dei rischi e successiva definizione delle priorità di intervento. Trascurare un potenziale rischio graverebbe sull'intero lavoro di valutazione, e pregiudicherebbe l'efficacia di un intero sistema di sicurezza.

Le diverse metodologie per la valutazione dei rischi utilizzano check-list generali per l'individuazione iniziale delle fonti di inquinamento e poi altre ausiliarie sempre più specifiche e dettagliate, a seconda della natura delle fonti individuate e dei soggetti coinvolti.

Tra i principali fenomeni di inquinamento, che possono comportare un pericolo in caso di esposizione, ricordiamo:

- fenomeni legati agli aspetti microclimatici (ambiente termico luminoso, aerazione e qualità dell'aria)
- rumore e vibrazioni
- agenti chimici
- agenti cancerogeni e mutageni
- agenti biologici
- campi elettromagnetici
- radiazioni ottiche artificiali.

3.3 Igiene ambientale

Secondo la definizione dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, l'ambiente rappresenta l'insieme dei fattori e delle influenze esterne che possono esercitare un effetto significativo sulla salute dell'uomo. In generale, lo stato di salute di un individuo è caratterizzato da diversi fattori (età, sesso, ereditarietà, ambiente di vita e di lavoro, influenze sociali e collettive, stile di vita, contesto economico, culturale e ambientale) e può essere condizionato da fattori ambientali quali, l'acqua, l'aria, il suolo e il clima, da fattori naturali quali la flora, la fauna e i microrganismi, da fattori demografici e sociali quali lo sviluppo socio-economico e l'urbanizzazione.

L'igiene ambientale o igiene del lavoro è la scienza che studia gli ambienti lavorativi all'interno dei quali si generano condizioni microclimatiche, che non possono essere trascurate dal punto di vista del comfort per i lavoratori che operano al suo interno, intervenendo affinché al lavoratore sia garantito il diritto di lavorare in una situazione di benessere fisico e psichico. Tale disciplina, nata come una branca della medicina del lavoro, valuta e verifica l'idoneità dei luoghi di lavoro soffermandosi, in particolare, sulla qualità dell'aria indoor, sulle condizioni fisiche e psicologiche di un lavoratore che opera in situazioni di stress e sulle caratteristiche fisiche degli ambienti quali, per esempio, l'illuminazione e il micro-clima.

Gli ambienti confinati rappresentano il risultato della trasformazione che l'uomo opera nei confronti dell'ambiente naturale. Essi raccolgono aria al proprio interno racchiusa da frontiere architettoniche, dando luogo a un microclima con specifiche caratteristiche biologiche, fisiche e chimiche, che vanno confrontate con le esigenze di comfort espresse dalla collettività. L'uso prolungato da parte di numerose utenze

comporta inevitabilmente una progressiva modificazione delle caratteristiche fisiche, chimiche e biochimiche proprie dell'aria indoor, causando, a meno di interventi per il ripristino dei corretti parametri, un processo di degrado denominato *viziatura*. La Tabella 3.1 elenca le esigenze di comfort ambientale.

Tabella 3.1 Esigenze di comfort.

| Raggruppamenti di esigenze | Esigenze dell'individuo |
|----------------------------|---|
| Psico-fisiologiche | Purezza dell'aria Calma termometrica Calma visiva Calma sonora Calma biofisica Calma psichica Adatta alimentazione Prevenzione malattie Sanità strutturale del corpo Spazio e facilità di movimento Percezione del mondo esterno |
| Sociologiche | Privacy Adattamento al modo di vita Disponibilità di apparecchiature Disponibilità di impianti e mobili Protezione sanitaria e assistenziale Rapporti socio-culturali Vita sociale Facilità di raggiungimento del posto di lavoro Rispetto degli orari lavorativi |
| Economiche | Conservazione Economia di costruzione e di affitto Economia di manutenzione |
| Estetiche | Per l'esterno Per l'interno |

La complessità dei fattori legati all'utilizzo di ambienti confinati nelle attività lavorative comporta l'obbligo per i datori di lavoro del monitoraggio delle condizioni di comfort microclimatico, procedendo alla manutenzione dei luoghi di lavoro, degli impianti di climatizzazione, dei servizi igienico-sanitari, secondo una adeguata programmazione e pianificazione per ogni livello e grado. Il compito di verifica deve necessariamente essere affidato a ispettori esterni qualificati nei settori dell'igiene e della sicurezza sul lavoro che esprimano, in maniera formale, un'opinione indipendente sull'idoneità dei luoghi e individuino gli adeguamenti e raccomandino i miglioramenti da apportare alle strutture. Tale compito spesso è affidato a enti pubblici o a organismi di certificazione privati accreditati per lo svolgimento di tali attività.

Per assicurare l'idoneità del luogo di lavoro monitorato occorre determinarne gli indici di comfort attraverso valori numerici ottenuti attraverso corrette misurazioni. In definitiva, dal punto di vista dell'igiene ambientale il controllo e la valutazione del luogo di lavoro consiste nella misurazione dei parametri e nella valutazione delle caratteristiche degli ambienti confinati.

Il processo di analisi dell'ambiente di lavoro richiede un approccio multidisciplinare, articolato nelle seguenti fasi:

- *Analisi dell'ambiente costruito.* È fondamentale conoscere l'edificio, le principali caratteristiche distributive degli ambienti, i materiali da costruzione impiegati, la disposizione degli impianti tecnologici.
- *Analisi dell'ubicazione del sito.* Deve essere acquisita la conoscenza sulle caratteristiche dei luoghi naturali ove il sito è stato realizzato come, per esempio, l'esposizione al soleggiamento e la conseguente illuminazione e temperatura dei locali, le caratteristiche climatiche e di temperatura del luogo, la direzione di provenienza dei venti prevalenti, l'orografia dei luoghi ecc.
- *Individuazione delle fonti di inquinamento.* L'importanza che viene associata all'inquinamento dell'aria indoor deriva dal fatto che può riferirsi ad ambienti confinati di diversa destinazione d'uso. Si può monitorare l'igiene ambientale di un'abitazione, di una scuola, di un ufficio, di un laboratorio, di un mezzo di trasporto; ognuno di questi luoghi dovrà rispondere a certe caratteristiche minime per poter essere idoneo allo svolgimento delle attività al proprio interno. Nella Tabella 3.2 sono riassunte le principali fonti di inquinamento presenti nelle costruzioni. Alcune delle fonti di rischio elencate nella Tabella 3.2 sono eliminate a priori in sede di progettazione. L'amianto, un materiale molto comune in natura, è una di queste. La sua resistenza al calore e la sua struttura fibrosa lo rendono adatto come materiale per indumenti e tessuti da arredamento a prova di fuoco, ma la sua ormai accertata nocività per la salute ha portato a vietarne l'uso in molti paesi. Le polveri di amianto, composte da fibre 1300 volte più sottili di un capello umano, se respirate, provocano malattie polmonari croniche (asbestosi), nonché tumori della pleura. Per questi motivi non viene più utilizzato nelle nuove costruzioni.
- *Indagini di campo e di laboratorio.* Le indagini di campo e di laboratorio sono necessarie per la misura delle caratteristiche, sia in un contesto di normalità, sia in quello di viziatura. Lo stato di viziatura dell'aria indoor può, a tutti gli effetti, essere definito come un tipo di inquinamento.
- *Indagini individuali.* A supporto delle indagini in loco devono necessariamente seguire indagini individuali tramite interviste e questionari rivolti ai lavoratori, diretti a capire l'effettivo livello di gradimento e vivibilità negli ambienti.
- *Valutazione delle qualità ergonomiche.* È molto importante valutare il livello di ergonomia del posto di lavoro. La Società Italiana di Ergonomia fornisce la seguente definizione di ergonomia: "*l'ergonomia, o scienza del fattore umano, ha come oggetto l'attività umana in relazione alle condizioni ambientali, strumentali e organizzative in cui si svolge. Il fine è l'adattamento di tali condizioni alle esigenze dell'uomo, in rapporto alle sue caratteristiche e alle sue attività*". In relazione al posto di lavoro e agli strumenti utilizzati, è significativa la definizione di *qualità ergonomica*: "*la qualità ergonomica non è un attributo dell'oggetto ma è un attributo dell'uso dell'oggetto in un determinato ambiente.*"

La risultante valutazione dei rischi e la seguente fase di individuazione delle priorità di intervento permetterà l'elaborazione di un'efficace strategia degli interventi, così da ottenere nel tempo indici di comfort progressivamente migliori.

Tabella 3.2 Fonti e tipi di inquinamento presenti nelle costruzioni.

| Fonte | Tipo di inquinamento |
|--------------------------------------|--|
| <i>Aria extramurale (outdoor)</i> | |
| Suolo | Radon – Microorganismi |
| Fonti fisse | Anidride solforosa, ozono, materiale corpuscolato |
| Fonti mobili (autoveicoli) | Ossido di carbonio, ossido di azoto, piombo |
| <i>Aria intramurale (indoor)</i> | |
| <i>Materiale da costruzione</i> | |
| Conglomerati – pietre da costruzione | Radon |
| Truciolati e compensati | Formaldeide |
| Materiali isolanti | Formaldeide. Fibre di vetro, Asbesto |
| Materiale ignifugo | Amianto (o Asbesto) |
| Vernici | Composti organici e piombo |
| <i>Attrezzature</i> | |
| Materiali di rivestimento | Composti organici volatili, Contaminanti biologici |
| Mobili, infissi, macchinari | Fibre di amianto e vetro, plastica, formaldeide, pentaclorofenolo |
| Impianti di combustione | Ossido di carbonio, ossido di azoto, ossidi di zolfo, formaldeide, materiale corpuscolato, idrocarburi policiclici |
| Impianti di distribuzione idrica | Radon, cloro |
| Impianti di condizionamento | Microorganismi, virus, miceti |
| Fotocopiatrici | Ozono e composti organici |
| <i>Utilizzazione umana</i> | |
| Attività metabolica | Anidride carbonica, vapore d'acqua, odori |
| Attività biologica | Microorganismi, virus, miceti |
| <i>Attività umana</i> | |
| Fumo di tabacco | Ossido di carbonio, materiale corpuscolato, idrocarburi policiclici |
| Vaporizzazione di aerosol | Cloruro di metilene, fluorocarburi, odori |
| Materiale di pulizia | Sostanze organiche, fluorocarburi |
| Mestieri e hobby | Sostanze organiche, odori |
| Animali domestici e piante | Microorganismi, virus, miceti, bioescrementi, pollini |

3.3.1 Qualità dell'aria indoor

Per “aria indoor” si intende quella presente negli ambienti confinati non industriali (abitazioni, uffici, ospedali, scuole ecc.) caratterizzata dalla presenza di sostanze di varia natura, provenienti sia dall'interno della costruzione (originate dalla stessa presenza umana, o da emissioni di materiali e attività) o dall'esterno. Il concetto di qualità dell'aria è relativo alla sua idoneità e alla sua utilizzazione in ambienti umani. Si definisce *aria pura* l'aria non inquinata da alcun tipo di sorgente, né artificiale, né naturale. L'individuazione di un unico indicatore di inquinamento dell'aria valido in generale è resa impossibile dall'enorme varietà delle sostanze inquinanti potenzialmente presenti in un ambiente confinato. Esistono, tuttavia, indicatori di qualità indiretti, basati sulla concentrazione di anidride carbonica (CO₂), che risulta correlata

all'insoddisfazione espressa dagli occupanti di un ambiente, i quali possono essere usati come "descrittori" dell'inquinamento indoor di tipo antropico.

Le metodologie di controllo della qualità dell'aria possono essere di tipo diretto o indiretto. Le prime richiedono una misura diretta, ovvero il monitoraggio degli ambienti, mentre le seconde non prevedono la misurazione delle concentrazioni di inquinante e sono volte ad assicurare un'adeguata portata di aria pura di rinnovo per realizzare le idonee condizioni richieste. In questo caso lo schema di riferimento è quello del *bilancio di massa* per inquinante in un ambiente. Schematizzato l'ambiente come un sistema interessato da una emissione di inquinante al suo interno e indicato con:

q [kg/h] la potenzialità delle sorgenti inquinanti presenti nell'ambiente

Q [m³/h] la portata d'aria di rinnovo immessa nell'ambiente

C_e [kg/m³] la concentrazione di inquinante presente nell'aria entrante

C_u [kg/m³] la concentrazione di inquinante nell'aria uscente

C_i [kg/m³] la concentrazione di inquinante nell'ambiente oggetto dell'analisi

e nell'ipotesi di un ambiente stazionario e ben miscelato nel quale, cioè, in tutti i punti la concentrazione di inquinante considerato è la stessa (per cui $C_u = C_i$), l'equazione di bilancio in massa risulta così espressa:

$$Q \cdot C_e + q = Q \cdot C_u = Q \cdot C_i \quad (3.2)$$

La portata d'aria di rinnovo che deve essere assicurata per mantenere una concentrazione di inquinante determinata è ricavabile dalla (3.2) e risulta:

$$Q = \frac{q}{C_u - C_e} = \frac{q}{C_i - C_e} \quad (3.3)$$

che può essere applicata ai diversi tipi di inquinante potenzialmente presenti nell'ambiente. I valori di portata d'aria reale che si assumono sono maggiori di quelli calcolati con la (3.3), che ipotizza condizioni di stazionarietà e di completa miscelazione. In genere si assumono portate reali pari a 3-4 volte quelle minime negli ambienti civili e a 10 volte in quelli industriali. E' inoltre necessario verificare il percorso dell'aria di rinnovo, in modo che l'aria espulsa asporti effettivamente l'inquinante, ottenendo un effetto di *lavaggio* dell'ambiente a opera dell'aria fresca immessa. Questa, poi, diventa aria espulsa dall'ambiente e occorre scongiurare il pericolo di un eventuale *corto circuito*, ovvero di aria che entra ed esce immediatamente senza effettuare il lavaggio dell'ambiente. L'aria, peraltro, tende a seguire un percorso proprio, lasciando delle zone di ristagno di cui occorre tenere conto in sede di progettazione.

Adottando lo schema descritto, si possono controllare agenti inquinanti quali l'anidride carbonica, gli odori e la quantità di acqua presente sotto forma di vapore nell'ambiente. Un controllo meno accurato può essere effettuato sul fumo di tabacco e sulle polveri, in quanto il primo non è legato al dispendio metabolico, e quindi all'immissione di CO₂, ma dipende dal numero di fumatori presenti nell'ambiente e dalle loro abitudini, mentre il secondo dipende da fattori di non facile previsione.

3.4 Ambiente termico

L'ambiente termico è l'ambiente di lavoro con riferimento alla condizione termica dell'organismo e, quindi, ai flussi e alle grandezze termiche che interessano il corpo (sensazione di caldo o di freddo). L'uomo è considerato come un sistema energetico separato dall'ambiente, soggetto a flussi di energia entranti e uscenti e capace di trasformare energia in conseguenza di reazioni chimiche legate al metabolismo.

Gli ambienti termici possono essere suddivisi in:

- *ambienti termici moderati*, tutti quegli ambienti di lavoro in cui non esistono particolari esigenze produttive che impediscono il raggiungimento della soddisfazione termica del lavoratore (*comfort termoigrometrico*)
- *ambienti termici severi*, tutti quegli ambienti di lavoro nei quali specifiche esigenze produttive determinano la presenza di parametri termoigrometrici stressanti.

Condizioni necessarie per il raggiungimento delle condizioni di comfort termoigrometrico sono:

- la realizzazione del *comfort globale*, cioè – almeno - il mantenimento della neutralità termica del corpo umano attraverso la risposta fisiologica del sistema di termoregolazione. Quest'ultimo ha il compito di valutare gli squilibri termici e di mantenere la temperatura del nucleo corporeo costante o comunque di contenere le oscillazioni entro un intervallo molto ristretto compatibile con l'espletamento ottimale delle funzioni vitali.
- l'annullamento di ogni possibile causa che possa indurre nel soggetto sensazioni di *discomfort locale* cioè delle limitazioni degli scambi termici localizzati in determinate aree superficiali del corpo umano.

Il corpo umano è un sistema che opera in modo ottimale quando la temperatura del suo nucleo rimane compresa entro un ristretto intervallo di variabilità. Il mantenimento della condizione di *omeotermia* (condizione nella quale le potenze termiche scambiate tra corpo umano e ambiente esterno si bilanciano), necessaria allo svolgimento delle reazioni fisiologiche del corpo umano, è diretto non solo a garantire le condizioni di benessere psico-fisico, ma anche a evitare pregiudizio alla salute dei lavoratori. La fisiologia della termoregolazione studia la capacità del corpo umano di mantenere la condizione di operare in modo ottimale (sono considerate condizioni normali i valori di temperatura orale compresi tra 35,8 °C e 37,2 °C). Il sistema di termoregolazione è governato dall'ipotalamo, organo investito, attraverso meccanismi di *feedback*, del compito di mantenere la condizione di omeotermia. Ogni variazione di temperatura localizzata nel corpo umano è recepita dall'ipotalamo attraverso recettori termici superficiali, midollo spinale, organi addominali e vene, che “lanciano” stimoli vasomotori, sudoripari e metabolici. La circolazione sanguigna garantisce, inoltre, la diffusione del calore in tutto il corpo e ne regola gli scambi con l'esterno attraverso la cute, mediante fenomeni di vasodilatazione e vasocostrizione.

La metodologia per la valutazione del comfort termoigrometrico consiste nella definizione di indici sintetici di qualità che rappresentano numericamente le informazio-

ni necessarie per un giudizio sull'ambiente lavorativo dal punto di vista termico. La norma UNI EN ISO 7730:2006 fornisce una procedura per tale valutazione in ambienti termici moderati basata sull'esistenza di una relazione biunivoca fra il bilancio energetico del corpo umano e la sensazione termica, associando la condizione di massimo comfort a quella di omeotermia, mentre le condizioni di crescente discomfort sono associate a condizioni più distanti dall'equilibrio.

L'equazione che descrive il bilancio energetico sul corpo umano in termini di potenza è la seguente:

$$S = M - W \pm C \pm R \pm K \pm C_{\text{res}} \pm E_{\text{res}} - E \quad (3.4)$$

ove:

| | |
|------------------|--|
| M | potenza termica prodotta dai processi metabolici (metabolismo energetico); |
| W | potenza meccanica impegnata per compiere lavoro meccanico; |
| C | potenza termica scambiata per convezione; |
| R | potenza termica scambiata per irraggiamento; |
| K | potenza termica scambiata per conduzione; |
| C_{res} | potenza termica scambiata nella respirazione per convezione; |
| E_{res} | potenza termica scambiata nella respirazione per evaporazione; |
| E | potenza termica ceduta per evaporazione (traspirazione e sudorazione); |
| S | differenza tra la potenza termica acquisita e dissipata dal corpo umano. |

I termini C_{res} , E_{res} , K, C, R sono preceduti dal segno + se nello scambio termico risulta un guadagno netto di energia viceversa sono preceduti dal segno - nel caso di perdita netta.

Quando è $S = 0$ si stabilisce la condizione di omeotermia con conseguente sensazione termicamente neutra; se $S > 0$ la potenza termica in ingresso è maggiore di quella in uscita con conseguente sensazione di caldo; al contrario se $S < 0$ la potenza termica in ingresso è minore della potenza in uscita con conseguente sensazione di freddo.

In prima approssimazione i termini che compaiono nella equazione (3.4) possono essere espressi in funzione di sei parametri di cui quattro parametri ambientali e due parametri individuali descrittivi di specifiche caratteristiche. Le quantità fisiche che identificano i parametri ambientali sono:

- la *temperatura dell'aria* T_a , espressa in [°C] o [K] e calcolata in prossimità della superficie del soggetto a diverse altezze in modo da ricavarne un valore medio significativo
- la *temperatura media radiante* T_r , espressa in [°C] o in [K], che riconduce la valutazione dello scambio termico alla valutazione di una sola grandezza, funzione della differenza delle temperature e dei fattori di forma che rappresentano la geometria dell'interazione uomo-ambiente e, quindi, tale da riassumere l'effetto complessivo dell'ambiente sul soggetto. Tale grandezza è definita considerando l'ambiente come ideale, per cui tutte le pareti hanno la stessa temperatura ed emissività pari ad uno, valore caratteristico per le *pareti nere*
- la *pressione parziale del vapore acqueo* p_a , misurata in [Pa] ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$);

- la *velocità relativa dell'aria* v_{ar} , misurata in [m/s], che influenza gli scambi energetici tra uomo e ambiente favorendoli nel caso di valori elevati.

I parametri individuali sono:

- il *dispendio metabolico* M , direttamente correlato all'attività fisica svolta, che assume valori crescenti in relazione allo sforzo esercitato. Viene misurato in [met] (1 met = 58,2 W/m²) corrispondente al valore di dispendio metabolico di un soggetto seduto in condizioni di riposo. I valori caratteristici medi di dispendio metabolico sono riportati nella Tabella 3.3 in relazione ad alcune attività fisiche

Tabella 3.3 Valori caratteristici del dispendio metabolico M per alcune attività.

| Attività | Dispendio metabolico M | |
|---|--------------------------|-----|
| | W/m ² | met |
| riposo | 46 | 0,8 |
| seduto a riposo (valore di riferimento) | 58 | 1 |
| in piedi | 70 | 1,2 |
| lavoro d'ufficio | 70 | 1,2 |
| lavoro leggero in piedi | 93 | 1,6 |
| attività moderata | 116 | 2 |
| attività pesante | 165 | 2,8 |

- l'*isolamento termico del vestiario* I_v , espresso in [clo] (1 clo = 0,155 m²K/W), è prevalentemente funzione dello strato d'aria intrappolato stabilmente tra le fibre dei tessuti e tra i capi di vestiario e lo strato superficiale corporeo. Il valore di riferimento di 0,155 m²K/W è relativo all'isolamento di un abito invernale da interno. Nella Tabella 3.4 sono riportati alcuni valori caratteristici di isolamento termico.

Tabella 3.4 Valori caratteristici dell'isolamento termico per alcune tipologie di abbigliamento.

| Abbigliamento | Isolamento termico I_v | |
|--|--------------------------|-----|
| | m ² K/W | clo |
| pantaloncini | 0,015 | 0,1 |
| pantaloncini, camicia a maniche corte, calzini leggeri e sandali | 0,045 | 0,3 |
| abbigliamento leggero estivo | 0,08 | 0,5 |
| abbigliamento da lavoro leggero | 0,11 | 0,7 |
| abbigliamento invernale | 0,155 | 1 |
| abbigliamento pesante | 0,23 | 1,5 |

Oltre ai precedenti parametri ambientali e individuali, si considera il parametro *rendimento meccanico dell'attività svolta* η :

$$\eta = \frac{W}{M} \quad (3.5)$$

che misura l'efficienza della *macchina uomo*; tale valore non è facilmente calcolabile ed è ricavato da tabelle predisposte in modo sperimentale. In genere il valore di η non supera 0,1. Ciò significa che per produrre 1 unità di lavoro verso l'esterno l'organismo necessita di oltre 10 unità energetiche.

La considerazione delle condizioni di benessere e di salute per l'organismo umano, sotto il profilo termico, induce a schematizzare la correlazione tra l'esposizione al calore, che può essere considerato anch'esso un agente inquinante, e gli effetti di tale esposizione. A tal fine si può utilizzare l'espressione (3.1) per determinare la dose assorbita e valutarne gli effetti sull'uomo con il confronto degli appropriati valori limite di soglia TLV.

L'analisi di un ambiente termico può anche essere effettuata per mezzo di indici microclimatici relativi a diversi tipi di ambiente classificati come caldi, moderati, o freddi. Tali definizioni discendono dal modo in cui il sistema di termoregolazione dell'organismo umano viene sollecitato e possono essere di benessere o di stress. I primi hanno come fine la tutela del benessere; i secondi la tutela della salute. Gli indici possono essere razionali, se discendono dall'applicazione dell'equazione di bilancio termico dell'individuo, o empirici se sono basati su grandezze che possono essere considerate ben rappresentative delle condizioni di esposizione.

3.4.1 Ambienti termici moderati

Negli ambienti termici moderati il livello di rischio per la salute dell'individuo è praticamente nullo, per cui gli indici sintetici di rischio mirano esclusivamente a quantificare lo stato di comfort/discomfort termoigrometrico. La norma UNI EN ISO 7730:2006 descrive la procedura per la determinazione analitica e l'interpretazione del benessere termico tramite il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale. Il parametro PMV [*Fanger, 1970*], *Predicted Mean Vote* (voto medio prevedibile), è un indice sintetico relativo al giudizio medio di qualità termica delle condizioni microclimatiche in esame che esprimerebbe un'ampia popolazione di individui su una scala di sensazione termica a 7 punti (Tabella 3.5).

Tabella 3.5 Sensazione termica e PMV.

| Sensazione termica | Voto |
|--------------------|------|
| Molto freddo | -3 |
| Freddo | -2 |
| Fresco | -1 |
| Sensazione neutra | 0 |
| Leggermente caldo | +1 |
| Caldo | +2 |
| Molto caldo | +3 |

La norma UNI EN ISO 7730 riporta l'equazione per il calcolo dell'indice PMV oltre a un prospetto che ne fornisce direttamente i valori per diverse combinazioni di attività, abbigliamento, temperatura operativa e velocità relativa.

Nonostante esista un ampio consenso nel ritenere che il parametro PMV sia il miglior descrittore statistico del comfort microclimatico globale in ambienti termici moderati, esso, trattandosi di un valore medio, sottintende l'esistenza di una variabilità legata a giudizi soggettivi, poiché, a seconda delle caratteristiche individuali, ognuno dei soggetti interpellati assegnerà un proprio giudizio allo stato di comfort/discomfort che percepisce. Per completare l'analisi degli ambienti termici moderati risulta quindi necessario fare riferimento a un secondo indice noto come PPD, *Predicted Percentage of Dissatisfied* (percentuale prevista d'insoddisfazione), che indica la percentuale prevedibile degli individui che si ritengono non soddisfatti della condizione microclimatica in esame. Il PPD e il PMV sono legati dalla seguente relazione:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (3.6)$$

dalla quale si deduce che esiste un valore minimo di PPD pari al 5% in corrispondenza di $PMV = 0$ (sensazione neutra).

A rigore i valori di PMV e PPD risultano validi soltanto in ambienti termici moderati in condizioni microclimatiche stazionarie. La norma UNI EN ISO 7730 quantifica la tolleranza con la quale le condizioni non stazionarie possono comunque essere valutate, specificando che:

- nel caso di fluttuazioni cicliche della temperatura, la variazione picco-picco non deve superare 1 °C
- nel caso di derive termiche il gradiente non deve superare i 2 °C/h
- la norma tecnica raccomanda di calcolare gli indici di PMV e PPD soltanto se i sei parametri, ambientali e individuali, ricadono all'interno degli intervalli indicati nella Tabella 3.6.

Tabella 3.6 Intervallo di validità per i parametri caratteristici.

| Quantità | Simbolo | Intervallo Utile | Unità di misura |
|--------------------------------------|----------|------------------|-----------------|
| Temperatura dell'aria | t_a | +10 ÷ +30 | °C |
| Temperatura media radiante | t_r | +10 ÷ +40 | °C |
| Pressione parziale del vapore acqueo | p_a | 0 ÷ 2700 | Pa |
| Velocità relativa dell'aria | v_{ar} | 0 ÷ 1 | m/s |
| Attività o dispendio metabolico | M | 0.8 ÷ 4 | met |
| Isolamento termico del vestiario | I_v | 0 ÷ 2 | clo |

- l'uso degli indici PMV e PPD viene inoltre raccomandato soltanto se il valore dell'indice PMV è compreso nell'intervallo [-2,+2]. Per valori esterni a tale intervallo (percentuale prevista di insoddisfatti oltre il 75%) l'associazione del PMV con la sensazione di comfort termico non è adeguatamente supportata da evidenze sperimentali e, quindi, non è possibile affidarsi a tali valori con certezza.

Oltre ad analizzare il fenomeno tramite gli indici di comfort/discomfort globali è possibile approfondire l'analisi tramite gli indici di discomfort locali. Questi ultimi appaiono spesso legati alla presenza di disomogeneità del riscaldamento, o al raffreddamento.

damento del corpo umano. Più precisamente i fattori che influiscono al discomfort locale sono i seguenti:

- correnti d'aria
- gradiente verticale di temperatura
- pavimentazione con temperature eccessivamente elevate o fredde
- asimmetria radiante.

Questi quattro fenomeni vanno monitorizzati tramite altrettanti indici di discomfort locale a cui viene associato una percentuale massima di individui insoddisfatti PD. Anche in questo caso la norma tecnica interviene raccomandando i valori di PD come nell'esempio riportato in Tabella 3.7.

Tabella 3.7 Percentuale massima di individui insoddisfatti.

| Quantità | Limite massimo o intervallo di accettabilità | PD massima raccomandata |
|-------------------------------------|--|-------------------------|
| Correnti d'aria | $V_{a,l} < 0.11 \div 0.15$ m/s (20 °C) $V_{a,l} < 0.17 \div 0.26$ m/s (26 °C) | 15 % |
| Differenza verticale di temperatura | $D_{ta,v} < 3$ °C | 5 % |
| Temperatura del pavimento | $19 < t_f < 29$ °C | 10 % |
| Asimmetria radiante | $D_{tpr} < 10$ °C (verticale) $D_{tpr} < 5$ °C (orizzontale) | 5% |

A titolo di esempio, si riporta l'equazione per il calcolo del PD correlato alle correnti d'aria:

$$PD = (34 - t_{a,l}) \cdot (v_{a,l} - 0.05)^{0,62} \cdot (0,37 \cdot v_{a,l} \cdot Tu + 3,14) \quad (3.7)$$

ove:

PD = percentuale di insoddisfatti

$t_{a,l}$ = temperatura locale dell'aria [°C]

$v_{a,l}$ = velocità media locale dell'aria [m/s]

Tu = turbolenza [%], definita come rapporto tra deviazione standard e velocità media dell'aria.

La precedente equazione (3.7) si limita ai soggetti che svolgono attività lavorativa leggera, per i quali il valore di PMV non si discosti molto dalla condizione di neutralità, e che siano investiti da correnti d'aria al collo. Nel caso di correnti d'aria che investono braccia o piedi, l'equazione (3.7) sovrastima la percentuale di soggetti disturbati.

In definitiva, un ambiente termico moderato è considerato confortevole secondo la norma UNI EN ISO 7730 quando sono simultaneamente soddisfatti i criteri di comfort globale e locali, ovvero se:

- PMV risulta in valore assoluto pari o inferiore a 0,2 a 0,5 e a 0,7, tale cioè da mantenere il valore di PPD a un livello pari o inferiore al 6%, 10% e 15% per ambienti che vengono classificati A, B e C rispettivamente;

- ciascuno dei fattori di discomfort locale si trova all'interno degli intervalli riportati nella Tabella 3.8 e sia tale da mantenere la relativa percentuale di insoddisfatti (PD) inferiore a una determinata soglia, che assume valori crescenti passando dalla categoria A alla categoria C.

3.4.2 Ambienti termici severi caldi

Un ambiente viene considerato *caldo* quando tende a far aumentare la temperatura del nucleo corporeo sollecitando il sistema di termoregolazione con il conseguente aumento della circolazione sanguigna a livello della cute e la successiva emissione del sudore che evapora. L'insieme di questi eventi determina un aumento della frequenza cardiaca, provocando un aumento del carico del sistema cardiocircolatorio. Qualora le misure ambientali non risultassero sufficienti a valutare un ambiente caldo, è necessario rilevare misure di carattere fisiologico, tra cui quella della frequenza cardiaca e dell'emissione di sudore. Se la quantità di acqua e, quindi, di sali emessi risultasse eccessiva, potrebbero determinarsi scompensi a carico dell'apparato digestivo. Se la quantità di sudore richiesta dall'organismo per far fronte all'eccessivo caldo risultasse elevata, l'organismo potrebbe non essere in grado di realizzarla e la temperatura del nucleo corporeo potrebbe aumentare con conseguente deterioramento delle cellule. Il cosiddetto *colpo di caldo* è un classico esempio di aumento non controllato della temperatura del nucleo corporeo. Le principali indicazioni normative tendono a impedire che la temperatura del nucleo corporeo aumenti oltre un grado centigrado rispetto al valore ottimale. Gli ambienti caldi sono, solitamente, ambienti industriali nei quali si verificano tipiche condizioni quali:

- elevate temperature
- elevata umidità
- intense sorgenti radianti
- generazione di intense correnti d'aria.

Per la valutazione dello stress in ambienti termici severi caldi possono essere utilizzate due procedure: il WBGT (*Wet Bulb Globe Temperature*) descritta dalla norma UNI EN 27243:1996 e il PHS (*Predicted Heath Strain*) descritta dalla norma UNI EN ISO 7933:2005. Queste procedure sono caratterizzate da un diverso grado di complessità; infatti il WBGT è un criterio semplice, per uso di routine, mentre il PHS è un metodo più analitico. La loro applicazione congiunta, come peraltro suggerito dalle norme, consente sia l'analisi di situazioni di esposizione semplici e ripetitive, sia l'analisi di situazioni complesse e particolari, mantenendo una coerenza nelle valutazioni stesse. Utilizzandoli in modo sequenziale è possibile selezionare, tramite il WBGT, le condizioni meritevoli di ulteriori approfondimenti attraverso il criterio PHS. Nel seguito sono fornite alcune informazioni relative al criterio WBGT.

L'indice WBGT può essere espresso per mezzo delle seguenti equazioni:

$$\text{WBGT} = 0,7 \cdot t_{\text{bu}} + 0,3 \cdot t_{\text{g}} \quad (3.8)$$

$$\text{WBGT} = 0,7 \cdot t_{\text{bu}} + 0,2 \cdot t_{\text{g}} + 0,1 \cdot t_{\text{a}} \quad (3.9)$$

da utilizzare, rispettivamente, per ambienti in assenza o in presenza di radiazioni solari. Nelle equazioni (3.8) e (3.9) si indica con t_a la temperatura ambiente, con t_{bu} la temperatura misurata con il termometro a bulbo umido a ventilazione naturale e con t_g la temperatura misurata con il globotermometro.

La valutazione basata sull'indice WBGT assume che il vestiario possieda un isolamento termico pari a 0,6 clo e abbia le caratteristiche di permeabilità al vapore acqueo del cotone. I valori limite di WBGT in funzione dell'attività metabolica sono mostrati nella Figura 3.2 e valgono nelle ipotesi che il WBGT della zona di riposo sia molto vicino a quello dell'area di lavoro e che il soggetto sia acclimatato, ovvero che abbia svolto una attività lavorativa in un ambiente simile a quello in esame per almeno una settimana.

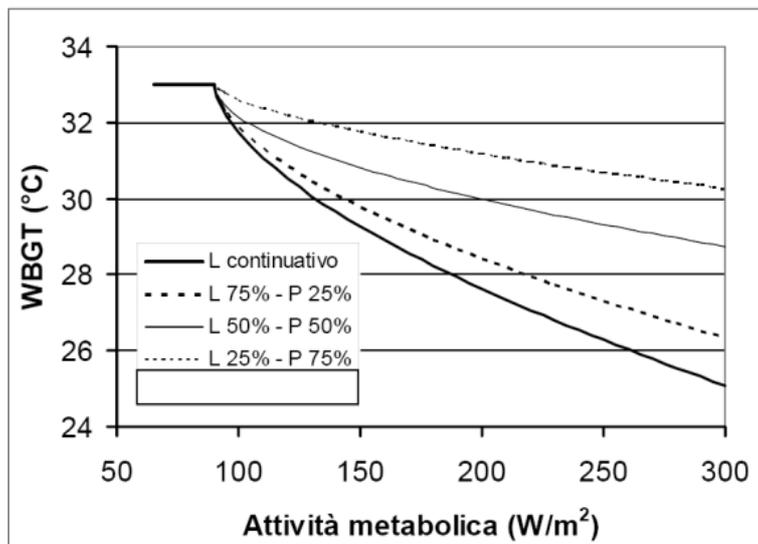


Figura 3.2 Valori limite di WBGT in funzione dell'attività metabolica (L=Lavoro, P=Pausa).

Per individui non acclimatati, i valori limite di WBGT devono essere abbassati di 1 °C per attività metabolica inferiore a 130 W/m², di 2 °C fra 130 e 200 W/m², di 3 °C fra 200 e 260 W/m² e di 6 °C sopra i 260 W/m². Si noti che valori di WBGT crescenti sono ammissibili a patto che il ciclo lavorativo comprenda frazioni crescenti di riposo relativamente al lavoro. L'aumento del WBGT limite legato all'inserimento di lunghe pause nell'attività lavorativa è notevole per impegni metabolici elevati, ma minimo per impegni modesti e nullo per quelli leggeri, per i quali il valore limite del WBGT è fissato a 33 °C. In mancanza di una stima affidabile dell'attività metabolica M, il valore limite di WBGT può essere determinato ricorrendo alla Tabella 3.8.

Tabella 3.8 Valori di WBGT per classi di attività metabolica e per soggetti acclimatati e non.

| Classe di attività metabolica | Attività metabolica <i>M</i> | | Valore limite di WBGT | | | |
|-------------------------------|--|--|-------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|
| | Relativa a un'area unitaria di superficie della pelle W/m^2 | Totale (per un'area media della superficie della pelle di $1,8 m^2$) W | Persona acclimatata al calore °C | | Persona non acclimatata al calore °C | |
| 0 (a riposo) | $M \leq 65$ | $M \leq 117$ | 33 | | 32 | |
| 1 | $65 < M \leq 130$ | $117 < M \leq 234$ | 30 | | 29 | |
| 2 | $130 < M \leq 200$ | $234 < M \leq 360$ | 28 | | 26 | |
| 3 | $200 < M \leq 260$ | $360 < M \leq 468$ | Aria stagnante 25 | Aria non stagnante 26 | Aria stagnante 22 | Aria non stagnante 23 |
| 4 | $M > 260$ | $M > 468$ | 23 | 25 | 18 | 20 |

Nota: I valori dati sono stati stabiliti prendendo come riferimento una temperatura rettale massima di 38 °C per le persone in esame

3.4.3 Ambienti termici severi freddi

Negli ambienti termici severi freddi il corpo umano attiva inizialmente i meccanismi di difesa per la riduzione delle dispersioni di calore (vasocostrizione) e la produzione di ulteriore calore (aumento del tono muscolare, brividi ecc.). Un altro meccanismo di difesa è costituito dall'attivazione della termogenesi chimica nella quale la produzione di calore è mediata dalla produzione di adrenalina, tiroxina e noradrenalina. Nel momento in cui i meccanismi di termoregolazione e le regole comportamentali non sono più in grado di mantenere l'equilibrio termico, la temperatura del nucleo corporeo diminuisce provocando manifestazioni patologiche anche gravi (assideramento) che, se non trattate, possono avere conseguenze invalidanti permanenti, o addirittura fatali. Secondo la ACGIH i lavoratori devono essere protetti dalla esposizione al freddo in modo tale che la temperatura rettale non scenda al di sotto dei 36 °C.

La valutazione dello stress termico in ambienti termici severi freddi può essere effettuata mediante la procedura descritta nella norma UNI EN ISO 11079:2008 attraverso l'indice IREQ (*Required clothing insulation index*) relativo all'isolamento termico dell'abbigliamento richiesto e agli effetti del raffreddamento locale. Anche questa procedura, in analogia a quella utilizzata in ambienti termici severi caldi, si basa sulla nozione che le condizioni ottimali coincidono con la condizione di omeotermia mentre lo stress termico è sempre più intenso quanto più la perdita netta di energia è consistente. La norma prevede la determinazione dei parametri $IREQ_{min}$, attraverso la soluzione della equazione di bilancio di energia del corpo umano (3.4) nell'ipotesi di condizioni minime accettabili (dunque con presenza di una sensibile, ma tollerabile, sensazione di freddo), e di $IREQ_{neutral}$, risolvendo la (3.4) in condizioni di neutralità termica. Dal confronto del valore di questi due parametri con l'isolamento termico I_{clr} effettivamente garantito dall'abbigliamento utilizzato, tenuto conto della ventilazione e del movimento del soggetto, si determina:

- se $I_{clr} < IREQ_{min}$ la protezione è insufficiente e pertanto permane il rischio di ipotermia
- se $IREQ_{min} \leq I_{clr} \leq IREQ_{neutral}$ la protezione è nell'intervallo di accettabilità che garantisce la condizione caratterizzata da una sensazione soggettiva di freddo che va-

ria da minima a significativa, senza indurre significative variazioni di temperatura del nucleo corporeo e conseguenti ipotermie

- se $I_{clr} > IREQ_{neutral}$ la protezione è eccessiva con conseguente rischio di sudorazione che può produrre effetti nocivi in un ambiente rigido; inoltre, l'assorbimento di umidità da parte del vestiario ne degrada le proprietà isolanti e introduce un potenziale rischio di ipotermia.

L'esposizione ad ambienti severi freddi deve essere limitata a una durata massima determinabile dalla seguente espressione:

$$DLE = \frac{Q_{lim}}{S} \quad (3.10)$$

in cui Q_{lim} è la massima perdita di energia tollerabile dall'uomo senza serie conseguenze (assunta pari a 40 Wh/m²) e S rappresenta lo squilibrio energetico per la specifica attività metabolica ricavabile risolvendo la (3.4).

A integrazione dell'indice globale IREQ, si utilizza un indice di tipo locale, t_{ch} *chilling temperature*, per valutare la protezione del soggetto esposto a un eccessivo raffreddamento in specifiche parti del corpo (mani, piedi, testa), che risultano sensibili al raffreddamento di tipo convettivo dovuto alla azione combinata della bassa temperatura e del vento. L'indice t_{ch} è espresso in [°C] e si determina dalla seguente espressione:

$$t_{ch} = 33 - \frac{WCI}{25,5} \quad (3.11)$$

ove WCI è l'acronimo di *Wind Chill Index*, un indice sintetico, introdotto da Siple e Passel nel 1945 e successivamente revisionato, funzione della temperatura dell'aria e della velocità del vento. I valori limite di t_{ch} indicati nella norma sono di -14 °C (soglia di allarme) e di -30 °C (soglia di pericolo), valore che corrisponde al livello al quale si ha il congelamento della parte esposta in un'ora.

3.5 Illuminazione

L'illuminazione di un ambiente deve soddisfare le esigenze fondamentali degli individui che vivono al suo interno. In particolare è necessario garantire le seguenti situazioni:

- *buona visibilità*: per svolgere correttamente una determinata attività. Gli oggetti, in particolare quelli specifici per le varie lavorazioni, devono essere percepiti e inequivocabilmente riconosciuti con velocità e accuratezza
- *comfort visivo*: l'intero ambiente visivo deve soddisfare necessità di carattere fisiologico e psicologico

- *sicurezza*: le condizioni di illuminazione devono sempre garantire la sicurezza dei lavoratori, consentire il riconoscimento dei pericoli durante le lavorazioni e la facilità di movimento in caso di emergenza.

Il soddisfacimento di tali esigenze deve avvenire tramite la misurazione e la verifica di parametri qualitativi e quantitativi relativi all'illuminazione naturale e artificiale.

Per definire un ambiente luminoso, occorre considerare sia l'organo preposto alla visione, l'occhio, sia le caratteristiche della luce. L'occhio è un sistema ottico dotato di due lenti: la cornea e il cristallino. La cornea è la parte anteriore dell'occhio che costituisce una lente a fuoco fisso, mentre il cristallino è una lente a fuoco variabile regolato per mezzo della muscolatura dell'apparato visivo. Nella parte posteriore dell'occhio è situata la retina, tessuto costituito di cellule sensibili alla luce. Tali cellule sono di due tipi, i coni ed i bastoncelli. I coni, presenti soprattutto nella parte centrale della retina ove si ha lo sfocciamento del nervo ottico (che è la terminazione nervosa dell'occhio, in collegamento con gli altri organi), sono cellule poco sensibili in generale alla luce, in grado però di distinguere i colori. I bastoncelli, invece, sono cellule molto più sensibili alla luce, ma non sono in grado di distinguere i colori.

Quando l'occhio è fermo, il campo visivo corrisponde a un angolo di tre decimillesimi di steradiani, che equivale a un angolo piano pari a 1 grado circa. Il campo visivo, in realtà, si estende per angoli assai più ampi; in orizzontale si estende per più di 180°, mentre in verticale si estende da circa 55° sopra l'orizzontale fino a circa 70-80° sotto l'orizzontale.

La luce è una radiazione elettromagnetica che può produrre un effetto visivo, caratterizzata, come il suono, da una lunghezza d'onda e da una frequenza. L'occhio umano è in grado di percepire le radiazioni elettromagnetiche di lunghezza d'onda compresa tra 380 e 750 nanometri (Tabella 3.9). Lo *spettro visibile* o spettro ottico è quella porzione dello spettro elettromagnetico che comprende le frequenze tra il rosso e il violetto, includendo tutti i colori percepibili dall'occhio. Nel campo visibile dall'occhio umano, al variare della lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica, è possibile osservare un significativo cambiamento nel colore della luce (Tabella 3.10).

Tabella 3.9 Spettro elettromagnetico.

| Tipo di radiazione elettromagnetica | Frequenza | Lunghezza d'onda |
|-------------------------------------|-------------------|------------------|
| Onde radio | < 3 GHz | > 10 cm |
| Microonde | 3 GHz – 300 GHz | 10 cm – 1 mm |
| Infrarossi | 300 GHz – 428 THz | 1 mm – 750 nm |
| Luce visibile | 428 THz – 749 THz | 750 nm – 380 nm |
| Ultravioletti | 749 THz – 30 PHz | 380 nm – 10 nm |
| Raggi X | 30 PHz – 300 EHz | 10 nm – 1 pm |
| Raggi gamma | > 300 EHz | < 1 pm |

Tabella 3.10 Spettro del visibile

| Colore | Lunghezza d'onda |
|-----------|------------------|
| Violetto | 380–450 nm |
| Blu | 450–495 nm |
| Verde | 495–570 nm |
| Giallo | 570–590 nm |
| Arancione | 590–620 nm |
| Rosso | 620–750 nm |

È evidente che, al di là della diversità della lunghezza d'onda, la visione è influenzata dalla particolare sensibilità dell'occhio. A tale proposito, esiste una curva standard, detta *curva di visibilità*, che è rappresentativa della capacità visiva dell'uomo medio e tiene conto del grado di sensibilità dell'occhio alle radiazioni a seconda della lunghezza d'onda. Si può osservare, così, che la sensibilità dell'occhio umano è massima intorno a 550 nm, cioè nell'intorno del valore intermedio di lunghezza d'onda nel campo del visibile. Ciò, tra l'altro, è vero quando l'oggetto della visione è centrato sulla retina; man mano che l'immagine è posizionata più distante dal centro della retina si osserva una diminuzione della capacità a distinguere i colori.

Un fenomeno da considerare parlando della percezione visiva dei colori consiste nell'*aberrazione cromatica*, legato al fatto che le radiazioni elettromagnetiche di diversa lunghezza d'onda hanno cammini ottici diversi e, pertanto, l'occhio non riesce a mettere a fuoco perfettamente tutte le componenti dell'immagine che percepisce. La conseguenza è la perdita di definizione dell'immagine, che può rappresentare un fatto non secondario se l'attività lavorativa richiede una buona percezione dei colori e delle immagini. Un altro fenomeno simile è il cosiddetto *adattamento*. Quando l'occhio umano è improvvisamente investito da una discreta dose di luce, si rende necessario adattare, mediante una regolazione biologica, la quantità di luce che può investire la retina. Tale fenomeno può determinare un affaticamento della vista la quale, se sottoposta a frequenti variazioni di quantità di luce, si autoregola in continuazione sulle variazioni che intervengono. Anche l'*abbagliamento* deve essere tenuto nel debito conto quando si parla di ambiente luminoso. Si tratta di un fenomeno consistente nella saturazione delle cellule sensibili dell'occhio a causa della quale, l'apparato visivo è reso quasi cieco, solitamente in modo temporaneo (*abbagliamento relativo*). Si possono avere anche fenomeni di abbagliamento le cui conseguenze sono risultate gravi determinando la cecità permanente (*abbagliamento assoluto*).

L'analisi dell'ambiente luminoso richiede la conoscenza tecnica delle grandezze in gioco. Innanzi tutto, supposto di considerare la quantità $w(\lambda)$ corrispondente alla *potenza radiante* emessa dalla sorgente luminosa alla lunghezza d'onda λ , e il *coefficiente di visibilità* in corrispondenza della medesima lunghezza d'onda (cioè il parametro v , con $0 < v(\lambda) < 1$, che esprime la visibilità umana alla lunghezza d'onda considerata), si ha l'equazione del *flusso luminoso* $\varphi(\lambda)$:

$$\varphi(\lambda) = \int_{380}^{780} w(\lambda) \cdot v(\lambda) d\lambda \quad (3.12)$$

Tale grandezza esprime la potenza luminosa visibile emessa da una certa sorgente. L'unità di misura del flusso luminoso è il [lumen].

Un'altra grandezza fondamentale nell'illuminotecnica, utile a valutare la bontà di una sorgente luminosa, è l'*efficienza luminosa*, che esprime il rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla lampada e la potenza assorbita per generarlo. La sua unità di misura è il [lumen/W]. Tale parametro dipende fundamentalmente dai seguenti due fattori:

- la modalità di generazione dell'energia luminosa (le lampade ad incandescenza, per esempio, sono meno efficienti di quelle ad arco);
- il tipo di radiazione emessa, giacché tanto più la radiazione emessa è visibile all'occhio umano, tanto più la lampada si può considerare efficiente.

L'*intensità luminosa* I è un'altra importante grandezza. Essa risulta utile nel caso in cui si voglia apprezzare il comportamento direzionale delle lampade in quanto esprime il flusso emesso in relazione a un ben definito volume di spazio, individuato da un angolo solido. La sua unità di misura è la *candela* [cd]. Risulta essere, dunque:

$$I = \frac{d\varphi}{d\omega} \quad (3.13)$$

Alle grandezze precedenti che caratterizzano la sorgente luminosa, fanno seguito altre grandezze che tengono conto, invece, dell'ambiente. Innanzi tutto, l'*illuminamento* E , che rappresenta il rapporto fra il flusso luminoso incidente su una superficie e l'area interessata:

$$E = \frac{d\varphi}{dS_{inc}} \quad (3.14)$$

L'unità di misura di questa grandezza è il *lux* [lx].

La *luminanza* L pari al rapporto fra l'intensità luminosa e la componente ortogonale della superficie emittente:

$$L = \frac{dI}{dS_{em} \cdot \sin \theta} \quad (3.15)$$

essendo θ l'angolo fra la direzione di osservazione e la superficie considerata (Figura 3.3).

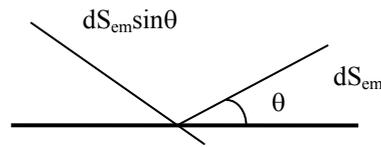


Figura 3.3 Calcolo della luminanza.

L'unità di misura adottata per la luminanza, infine, è la candela per metro quadrato [cd/m^2].

Nella progettazione degli ambienti luminosi si utilizzano anche alcune grandezze derivate, che agevolano il compito del tecnico giacché fanno riferimento a valori noti nella letteratura tecnico-scientifica. Per esempio il cosiddetto *rapporto di luminanza* R_L fra i valori di luminanza relativi a due superfici, che consente di tenere conto dei fenomeni di abbagliamento:

$$R_L = \frac{L_1}{L_2} \quad (3.16)$$

il *fattore di contrasto* F_C , che si definisce, se si ha un oggetto caratterizzato da luminanza L_2 su uno sfondo di luminanza L_1 , nel seguente modo:

$$F_C = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \quad (3.17)$$

e la *riflettanza* ρ pari a:

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i} = \frac{E_r}{E_i} \quad (3.18)$$

cioè al rapporto fra i flussi incidenti e riflessi, e quindi i relativi valori di illuminamento. La riflettanza è in generale funzione del tipo di materiale e della direzione di provenienza della luce; nel caso dei materiali diffondenti, però, essa è solo funzione del materiale.

Nella progettazione illuminotecnica di un ambiente lavorativo risulta importante considerare il problema del *colore della luce*. Infatti, si possono manifestare effetti fisio-psicologici spiacevoli derivanti dalla *tonalità della luce*. Negli ambienti industriali ci si riferisce nella maggior parte dei casi a lampade a luce biancastra, simile a quella emessa dal sole cui l'organismo umano è abituato. Un modo comunemente impiegato per caratterizzare la tonalità della luce di una sorgente consiste nel considerare la temperatura di colore, per definire la quale occorre riferirsi al corpo nero, cioè a quel corpo ideale che non riflette la luce e non è trasparente ad essa, bensì la assorbe tutta. La temperatura di colore è la temperatura che dovrebbe avere il corpo nero per emettere radiazioni di medesima tonalità rispetto a quelle della lampada considerata

(il corpo nero emette radiazioni in funzione della sua temperatura e solamente al di sopra di 2.000 K la sua emissione diviene significativa nel campo del visibile). In linea generale, si può affermare che temperatura di colore e temperatura di funzionamento coincidono con buona approssimazione.

Le caratteristiche di illuminazione di un ambiente sono determinate, oltre che dal flusso luminoso emesso dalle sorgenti naturali o artificiali, anche dalla luce rinviata, in maniera diretta o indiretta, dalle superfici investite dalle radiazioni luminose. Le grandezze idonee a valutare il comportamento di una superficie su cui incide una radiazione luminosa sono:

- il *fattore di assorbimento luminoso*, che esprime il rapporto tra il flusso luminoso assorbito dalla superficie e quello incidente
- il *fattore di riflessione luminoso*, che esprime il rapporto tra il flusso luminoso riflesso dalla superficie e quello incidente
- il *fattore di trasmissione luminoso*, che esprime il rapporto tra il flusso luminoso trasmesso da una superficie trasparente e quello incidente.

3.5.1 L'illuminazione degli ambienti lavorativi interni

L'illuminazione di un ambiente deve fornire condizioni ottimali per lo svolgimento del compito visivo richiesto anche nelle fasi di variazione del compito o di riposo.

L'impressione visiva è influenzata dall'aspetto delle superfici degli oggetti visivi principali (compito visivo, arredi e persone), del suo interno (pareti, soffitti, pavimenti, arredi e macchine) e delle sorgenti di luce (finestre e apparecchi di illuminazione). Un ambiente può essere definito visivamente confortevole quando un certo numero di parametri, dipendenti dall'illuminazione naturale o artificiale, corrispondono a determinate esigenze qualitative e quantitative. I parametri sono:

- distribuzione della luminanza (rapporti di luminanza)
- livello e uniformità di illuminamento
- fattore puntuale e medio di luce diurna
- controllo dell'abbagliamento
- direzione della luce
- resa cromatica e tonalità di colore della luce.

La norma UNI EN 12464-1:2004, relativa all'illuminazione dei posti di lavoro in interni, definisce i criteri di progettazione ed elenca i requisiti illuminotecnici oltre a indicare i procedimenti di verifica del comfort e della prestazione visiva. In relazione ai parametri elencati analizziamo che cosa prevede la norma citata.

La distribuzione delle luminanze nel campo visivo influenza il livello di adattamento dell'occhio, la visibilità del compito e il comfort visivo. Occorre evitare:

- elevate luminanze che possono provocare fenomeni di abbagliamento
- elevati contrasti di luminanza che comportano affaticamento a causa delle costanti variazioni di adattamento oculare
- basse luminanze e bassi contrasti che possono dar luogo a un ambiente monotono e non stimolante.

La Tabella 3.11 riporta gli intervalli consigliati per i fattori di riflessione per le diverse superfici di un locale.

Tabella 3.11 Intervalli per i fattori di riflessione [UNI EN ISO 12464-1:2004].

| Superficie del locale | Fattori di riflessione |
|-----------------------|------------------------|
| Soffitto | da 0,6 a 0,9 |
| Parete | da 0,3 a 0,8 |
| Piano di lavoro | da 0,2 a 0,6 |
| Pavimento | da 0,1 a 0,5 |

In funzione del tipo di ambiente, attività e compito la norma UNI EN 12464-1 definisce i valori di illuminamento medio mantenuto (\bar{E}_m) al di sotto del quale l'illuminamento medio su una specifica superficie non può mai scendere. A tal fine, in sede di progetto, si deve tener conto del fattore manutenzione M delle sorgenti luminose (Tabella 3.12) nel dimensionamento dell'impianto.

Tabella 3.12 Valori del fattore manutenzione M.

| Grado di impolveramento del locale | Fattore di manutenzione M | | |
|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| | Sorgente a incandescenza o alogena | Sorgente a vapori di mercurio o sodio | Sorgente a vapori di alogenuri |
| Minimo | 0,85 | 0,75 | 0,65 |
| Medio | 0,70 | 0,65 | 0,55 |
| Elevato | 0,60 | 0,50 | 0,45 |

I valori dell'illuminamento medio mantenuto si riferiscono a condizioni visive abituali. Se le condizioni di visibilità differiscono da quelle abituali, è opportuno correggere il valore dell'illuminamento aumentandolo nel caso di compito visivo critico, errori onerosi da correggere, massima importanza all'accuratezza o all'alta produttività, capacità visive del soggetto inferiori al normale, dettagli del compito visivo di piccole dimensioni o con basso contrasto di luminanza, compito visivo da svolgere per tempi prolungati; invece, diminuendolo nel caso di dettagli del compito visivo di grandi dimensioni, o con contrasto particolarmente elevato e di compito visivo da svolgere per tempi ridotti.

Negli ambienti interni il valore minimo di illuminamento raccomandato è di 20 lx (valore che in condizioni normali permette di riconoscere una persona dai tratti del viso), mentre quello massimo è di 5000 lx. L'illuminamento delle zone immediatamente circostanti deve essere correlato a quello della zona del compito e deve concorrere a fornire una distribuzione delle luminanze equilibrate nel compito visivo, al fine di evitare affaticamento visivo e abbagliamento molesto. Nella Tabella 3.13 sono riportati i rapporti di illuminamento e uniformità nelle zone di lavoro e in quelle immediatamente circostanti. Per uniformità di illuminamento deve intendersi il rapporto tra i valori minimo e medio degli illuminamenti di una superficie.

Tabella 3.13 Rapporti tra illuminamenti e uniformità nelle zone del compito e in quelle immediatamente circostanti [UNI EN ISO 12464-1:2004].

| Illuminamento del compito visivo [lx] | Illuminamento delle zone immediatamente circostanti [lx] |
|---------------------------------------|--|
| ≥750 | 500 |
| 500 | 300 |
| 300 | 200 |
| ≤200 | E_{compito} |
| Uniformità: ≥0,7 | Uniformità: ≥0,5 |

L'abbagliamento è la sensazione visiva prodotta da superfici che determinano elevati gradienti di luminanza all'interno del campo visivo e può essere percepito come abbagliamento molesto (che produce una sensazione di sgradevolezza, disturbo e disagio) o debilitante (che compromette, turba e al limite impedisce la visione senza determinare discomfort). Il parametro di misura dell'abbagliamento è l'*UGR* (*Unified Glare Rating*), introdotto dalla CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*), la cui espressione analitica è:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (3.19)$$

ove:

L_b [cd/m^2] è la luminanza di sfondo;

L [cd/m^2] è la luminanza delle parti luminose di ogni apparecchio di illuminazione nella direzione dell'occhio dell'osservatore;

ω [sr] è l'angolo solido delle parti luminose di ogni apparecchio di illuminazione, nella direzione dell'occhio dell'osservatore;

p è l'indice di posizione di Guth (scostamento angolare dall'asse della visione) per ogni apparecchio di illuminazione rispetto agli occhi dell'osservatore;

la sommatoria è estesa a tutti gli apparecchi di illuminazione.

In alternativa alla (3.19) il valore di *UGR* può essere valutato utilizzando le apposite tabelle predisposte dalla CIE. La norma UNI EN 12464-1 riporta i valori limite (UGR_l) per l'abbagliamento in funzione dei diversi spazi dell'ambiente lavorativo e dei specifici compiti e attività svolti. In generale, i valori ammissibili di *UGR* sono:

- $UGR < 13$: abbagliamento inesistente o irrilevante
- $13 < UGR < 16$: condizioni idonee per applicazioni anche molto impegnative
- $16 < UGR < 19$: condizioni idonee per uffici
- $19 < UGR < 22$: condizioni idonee per applicazioni industriali
- $22 < UGR < 25$: condizioni idonee per lavorazioni grossolane e magazzini
- $25 < UGR < 28$: condizioni idonee per ambienti di transito e applicazioni con scarse esigenze
- $UGR > 28$: abbagliamento elevato.

Il colore apparente (cromaticità) della luce emessa da una sorgente luminosa è definito dalla sua temperatura di colore correlata (T_{CP}). I gruppi di apparenza di colore delle sorgenti luminose sono riepilogati nella Tabella 3.14.

Tabella 3.14 Gruppi di apparenza di colore delle sorgenti luminose [UNI EN ISO 12464-1:2004].

| Apparenza di colore | Temperatura correlata di colore T_{CP} [K] |
|---------------------|--|
| Calda | 500 |
| Intermedia | 300 |
| Fredda | 200 |

Per soddisfare le esigenze di prestazione visiva e gradevolezza dell'ambiente è importante che nell'ambiente i colori delle superfici e degli oggetti siano resi in modo naturale e corretto. Per fornire un'indicazione obiettiva delle proprietà di resa del colore di una sorgente luminosa è stato introdotto l'*indice generale di resa del colore* R_a , il cui valore massimo è pari a 100, e che diminuisce in funzione del calo della resa cromatica. Le sorgenti luminose con $R_a < 80$ non dovrebbero essere utilizzate in interni dove le persone lavorano e permangono per periodi lunghi. La norma riporta gli indici minimi di resa cromatica R_a in funzione dei diversi spazi dell'ambiente lavorativo e delle attività svolte.

Le attrezzature munite di videoterminali possono produrre delle riflessioni che causano abbagliamento debilitante e molesto. È necessario scegliere, posizionare e disporre gli apparecchi di illuminazione per evitare le riflessioni di luminosità elevata. La norma riporta i limiti di luminanza degli apparecchi che possono riflettersi sugli schermi (Tabella 3.15).

La normativa italiana prevede, inoltre, un livello minimo di prestazione che un edificio deve garantire in termini di illuminazione naturale nei diversi ambienti. L'indice che viene utilizzato a tal fine è il *fattore medio di luce diurna* (FLD_m) che rappresenta il rapporto in percentuale tra l'illuminamento medio dell'ambiente e l'illuminamento che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce dall'intera volta celeste senza irraggiamento solare diretto.

Tabella 3.15 Limiti delle luminanze degli apparecchi che possono riflettersi sugli schermi [UNI EN ISO 12464-1:2004].

| Classe dello schermo secondo la norma ISO 9241-7 | I | II | III |
|--|----------------------------|-------|---------------------------|
| Qualità dello schermo | buona | media | bassa |
| Luminanza media degli apparecchi che sono riflessi sugli schermi | $\leq 1000 \text{ cd/m}^2$ | | $\leq 200 \text{ cd/m}^2$ |

3.5.2 La verifica delle condizioni di illuminazione

La verifica delle condizioni di illuminazione di un ambiente di lavoro interno prevede un'analisi oggettiva attraverso la misurazione delle grandezze fotometriche. Ciò implica la definizione degli idonei strumenti di misura e delle loro caratteristiche, delle procedure di misura (compresa la metodologia di campionamento da adottare) e delle procedure di elaborazione da utilizzare per calcolare gli indici rappresentativi. Una volta calcolati gli indici si procede con il confronto con i valori di soglia indicati dalle leggi, dalle norme o da altri enti riconosciuti. A titolo di esempio riportiamo (Tabella 3.16) i valori di soglia indicati nella norma UNI EN ISO 12464-1 per le zone di lavoro dell'industria chimica, plastica e della gomma, ricordando che essi rappresentano un valido riferimento, ma non costituiscono valori obbligatori a meno che non siano esplicitamente richiesti dalla legislazione.

Tabella 3.16 Requisiti di illuminazione interna per l'industria chimica, plastica e della gomma [UNI EN ISO 12464-1:2004].

| Tipo di interno, compito o attività | \bar{E}_m [lx] | UGR_L | Ra | Note |
|--|------------------|---------|------|---|
| Impianti di lavorazione comandati a distanza | 50 | - | 20 | I colori di sicurezza devono essere riconoscibili |
| Impianti di lavorazione con interventi manuali limitati | 150 | 28 | 40 | - |
| Postazioni di lavoro con personale sempre presente negli impianti di lavorazione | 300 | 25 | 80 | - |
| Locali per misurazioni di precisione, laboratori | 500 | 19 | 80 | - |
| Produzione farmaceutica | 500 | 22 | 80 | - |
| Produzione pneumatici | 500 | 22 | 80 | - |
| Controllo colore | 1000 | 16 | 90 | $T_{CP} > 4000$ K |
| Taglio, finitura e controllo | 750 | 19 | 80 | - |

La verifica deve essere effettuata anche per i posti di lavoro in esterno, utilizzando, per esempio, come riferimento la norma UNI EN 12464-2:2008 che descrive i requisiti di illuminazione per tali zone.

3.5.3 Cenni sull'illuminazione di sicurezza

Gli ambienti di lavoro, in caso di pericolo, devono poter essere evacuati rapidamente e in completa sicurezza. Un esodo rapido e sicuro presuppone che siano presenti percorsi privi di ostacoli e adeguati alla natura delle attività, alle dimensioni dei luoghi, al numero di persone presenti e alla loro conoscenza dei luoghi, capacità di muoversi senza assistenza ecc. e che tali percorsi, insieme ai potenziali pericoli e ai presidi di sicurezza e soccorso, siano sempre riconoscibili in modo certo e immediato anche in mancanza dell'illuminazione normale per evitare ulteriori pericoli per le persone.

Con l'espressione "illuminazione di sicurezza" ci si riferisce a un sistema di illu-

minazione alimentato da una sorgente di energia indipendente e destinato ad assicurare, nel momento in cui venga a mancare la fonte di alimentazione ordinaria, una adeguata visibilità dell'intero spazio di mobilità delle persone durante l'evacuazione e in quei luoghi ove è necessario portare a termine operazioni potenzialmente pericolose prima di allontanarsi. Secondo le definizioni della norma UNI EN 1838:2000 l'illuminazione di sicurezza è un'applicazione specifica dell'*illuminazione d'emergenza*, termine generico comprensivo di diverse forme di illuminazione finalizzate alla sicurezza delle persone, oppure alla continuazione delle attività per ragioni diverse dalla sicurezza delle persone (Tabella 3.17).

Tabella 3.17 Applicazioni dell'illuminazione di emergenza.

| Illuminazione di emergenza | |
|--|---|
| <p>Illuminazione destinata a funzionare quando l'alimentazione dell'illuminazione normale viene a mancare</p> | |
| <p>Illuminazione di sicurezza Illuminazione finalizzata alla sicurezza delle persone</p> | <p>Illuminazione di sicurezza per l'esodo Illuminazione destinata a consentire alle persone un esodo sicuro mediante la corretta identificazione dei percorsi d'uscita e delle uscite, dei potenziali pericoli lungo i percorsi, dei dispositivi di sicurezza, di pronto soccorso e antincendio.</p> |
| | <p>Illuminazione antipánico di aree estese Illuminazione destinata a evitare l'insorgere del panico e a consentire alle persone di raggiungere un luogo da cui sia possibile identificare una via d'esodo.</p> |
| | <p>Illuminazione di aree ad alto rischio Illuminazione destinata alla sicurezza delle persone coinvolte in lavorazioni o situazioni potenzialmente pericolose e a permettere l'esecuzione di corrette procedure d'arresto dei processi di lavorazione pericolosi anche per la sicurezza delle altre persone presenti.</p> |
| <p>Illuminazione di riserva Illuminazione finalizzata alla continuazione dell'attività</p> | <p>Illuminazione destinata al proseguimento dell'attività senza sostanziali cambiamenti e perciò tale da fornire un livello d'illuminamento pari a quello dell'illuminazione ordinaria. Livelli di illuminazione di riserva inferiori devono essere utilizzati solo per chiudere o portare a termine un'attività. L'illuminazione di riserva deve essere conforme ai requisiti previsti dalle leggi e dalle norme qualora sia utilizzata anche come illuminazione di sicurezza.</p> |

Una corretta progettazione dell'illuminazione di sicurezza presuppone l'applicazione delle disposizioni legislative e delle norme tecniche applicabili, oltre che una attenta valutazione dei luoghi specifici. Nelle disposizioni legislative che prevedono l'obbligo di predisporre l'illuminazione di sicurezza spesso non sono indicati, o lo sono solo in parte, i requisiti illuminotecnici da rispettare. In questi casi un riferimento utile è costituito dalla norma UNI EN 1838:2000 che definisce i requisiti minimi che devono essere soddisfatti per l'intero periodo di autonomia dell'impianto di emergenza e per tutto l'arco di vita delle apparecchiature luminose.

3.6 Rumore e vibrazioni

3.6.1 Il rumore

Con il termine *suono* o *rumore* (che è un insieme di suoni confuso e fastidioso) si intende ogni perturbazione vibratoria in un mezzo elastico atta a produrre una sensazione uditiva. Il rumore è un fenomeno fisico dovuto al propagarsi di onde di pressione caratterizzate da periodiche fasi di compressione e di successiva rarefazione dell'aria delle quali è possibile individuare una frequenza. Il suono può comunque propagarsi attraverso materiali elastici di diversa natura, come l'acqua o i materiali solidi. Nel caso di suoni diffusi nell'acqua la percezione da parte dell'orecchio umano, non abituato, può risultare distorta causando disorientamento al soggetto.

Il rumore eccita l'organo dell'udito così da essere percettibile dal cervello umano e rappresenta un agente inquinante estremamente diffuso il cui esame prevede notevoli investimenti. Il numero delle variazioni di pressione al secondo, ossia la frequenza del suono, è misurata in *Hertz* [Hz]; l'orecchio umano ha una capacità di rilevare suoni con frequenza compresa tra 20 Hz e 20 kHz. Nel caso di frequenze inferiori a 20 Hz si parla di infrasuoni, mentre per frequenze superiori a 20 kHz si parla di ultrasuoni.

Dal punto di vista fisico il suono è caratterizzato dalle seguenti grandezze:

- *lunghezza d'onda* λ : è la distanza tra un picco e il picco successivo, o tra un qualsiasi punto del diagramma e il successivo punto caratterizzato dalla stessa ordinata nella funzione sinusoidale rappresentativa per il suono, che mette in relazione pressione sonora e spazio per un suono puro. Nel campo dell'udibile essa varia da 17 mm a 17 m (Figura 3.4).

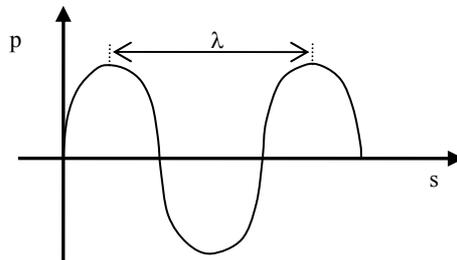


Figura 3.4 Lunghezza d'onda. Diagramma pressione–spazio per un suono puro.

- *periodo* T : è la durata di un ciclo completo di oscillazione, ossia la distanza tra un punto del diagramma e il successivo punto caratterizzato dalla stessa ordinata nella funzione sinusoidale rappresentativa per il suono, che mette in relazione pressione sonora e tempo per un suono puro (Figura 3.5). Il periodo è misurato in secondi.

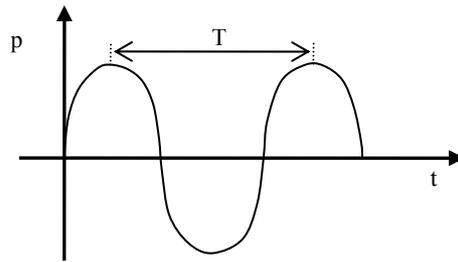


Figura 3.5 Periodo. Diagramma pressione-tempo per un suono puro.

- *frequenza f* : è l'inverso del periodo ($f = 1/T$), ossia il numero di oscillazioni complete che avvengono in un secondo, l'unità di misura della frequenza è l'[Hz].
- *impedenza acustica Z_0* : assumendo la velocità di propagazione del suono nell'aria c pari a 343 m/s, si può affermare che sussiste una relazione fra la lunghezza dell'onda, il suo periodo e la costante c ; infatti, risulta essere $\lambda = cT$. Il prodotto fra la densità dell'aria ($\rho_0 = 1,21 \text{ kg/m}^3$) e la velocità del suono nell'aria, è detta impedenza acustica dell'aria.
- *intensità sonora I* : rappresenta l'energia trasportata da un'onda sonora nell'unità di tempo e per unità di superficie del piano perpendicolare alla direzione di propagazione del suono.

Si dimostra che, nel caso di sorgenti sonore posizionate nello spazio libero, sussiste il seguente legame fra la pressione in un punto, a qualche metro di distanza della sorgente, l'impedenza acustica e l'intensità sonora:

$$I = \frac{p_{\text{eff}}^2}{Z_0} \quad (3.20)$$

ove si è considerato il valore efficace della pressione per tenere conto del fatto che si tratta di una grandezza variabile nel tempo:

$$p_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T p^2(t) dt} \quad (3.21)$$

Utilizzando la (3.20) si evince come ricavare dal valore della pressione, che è la grandezza misurabile con idonea strumentazione, l'intensità del suono che è la grandezza che interessa nella disciplina della sicurezza poiché rappresenta il contenuto di energia trasportato dal suono e dunque il potenziale danno per l'individuo esposto. Nel caso di ambienti chiusi e molto riflettenti può essere utilizzata la seguente espressione:

$$I = \frac{p_{\text{eff}}^2}{4 \cdot \rho_0 \cdot c} \quad (3.22)$$

Poiché gli ambienti reali non sono mai né totalmente aperti, né totalmente chiusi, occorrerà valutare di volta in volta le situazioni che si presentano, cercando di semplificare, per quanto possibile, in modo da ricondursi alle situazioni note. Nel caso di suoni a banda larga, composti cioè da più frequenze, è possibile approssimare l'effetto complessivo prodotto dai fenomeni sonori attraverso la somma delle intensità o la somma delle pressioni sonore al quadrato.

La *potenza sonora* in un mezzo isotropo calcolata in un punto distante r da una sorgente è pari al prodotto tra l'intensità sonora e la superficie della sfera di raggio r :

$$W = I \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (3.23)$$

Occorre distinguere i suoni dai rumori. I rumori, infatti, benché simili ai suoni, generano una sensazione di fastidio diventando dannosi quando il loro contenuto energetico risulta eccessivo rispetto alle caratteristiche dell'apparato uditivo. L'orecchio, organo dell'udito, deputato alla ricezione dei segnali sonori e del senso di equilibrio, è costituito da una parte esterna, orecchio esterno, e da una porzione scavata nello spessore dell'osso temporale distinta in orecchio medio e orecchio interno. L'orecchio esterno è composto dal padiglione auricolare e dal condotto uditivo; il primo aiuta il cervello a individuare la direzione della sorgente sonora mentre i suoni sono convogliati nel canale uditivo verso una membrana vibrante di forma conica (timpano) impermeabile ad acqua e aria. Dal timpano inizia l'orecchio medio, che è una cavità interna all'osso temporale attraversata dalla catena dei tre ossicini tra loro concatenati come leve: il martello, l'incudine e la staffa. La cassa timpanica comunica con la cavità faringea attraverso la tuba di Eustachio che ha la funzione di uguagliare la pressione sulle due facce del timpano. La catena ossicolare amplifica le vibrazioni timpaniche e le trasferisce all'orecchio interno. In questo, la coclea elabora l'input sonoro mentre i canali semicircolari provvedono a mantenere l'equilibrio attraverso l'elaborazione delle relative informazioni. Lungo l'intero dotto cocleare, riempito di liquido, sono presenti minuscole cellule cigliate che trasformano le vibrazioni in impulsi elettrici che viaggiano nel nervo uditivo fino all'arrivo all'area del cervello deputata a interpretare l'input sonoro.

Le grandezze fisiche definite in precedenza, l'intensità sonora, la pressione e la potenza, si esprimono su scala logaritmica in quanto si è osservato che, almeno per ristretti intervalli di intensità, la sensazione uditiva varia con il logaritmo delle grandezze in gioco. Inoltre, tale rappresentazione permette di contenere i valori in un intervallo numerico ristretto, agevolando la loro valutazione e i calcoli. L'unità di misura del livello delle grandezze così espresse è il decibel [dB].

Il *livello di pressione sonora* L_p è dato dalla seguente espressione:

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p_{\text{eff}}}{p_0} \right)^2 \quad (3.24)$$

in cui $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ è il valore della pressione sonora di riferimento posto convenzionalmente alla soglia di udibilità (1000 Hz).

Il *livello di intensità sonora* L_i è dato dalla seguente espressione:

$$L_i = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (3.25)$$

in cui $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ è il valore dell'intensità sonora di riferimento alla soglia di udibilità.

Il livello di potenza sonora L_w è dato dalla seguente espressione:

$$L_w = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad (3.26)$$

in cui $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$ è il valore della potenza sonora di riferimento alla soglia di udibilità.

Nel caso di una sorgente nello spazio libero e a sufficiente distanza da essa, si può affermare che risulta essere $L_p = L_i$.

Dalle precedenti espressioni è possibile verificare che l'aumento del livello di 1 dB è determinato da una variazione nel valore del livello di intensità o di potenza del 26%, mentre, la diminuzione di 1 dB discende da una riduzione del 20%. In generale il raddoppio del livello di intensità o di potenza comporta un aumento del livello pari a 3 dB così come il dimezzamento comporta la riduzione di 3 dB. Analoghe considerazioni possono essere fatte per il livello di pressione sonora tenendo conto che nella (3.24) compare il valore di pressione al quadrato.

L'orecchio umano non è sensibile in modo uguale alle diverse frequenze; la sensibilità è maggiore alle frequenze medio-alte e diminuisce progressivamente verso quelle basse e quelle molto alte. L'andamento della sensibilità dell'orecchio umano al variare dei livelli e della frequenza è stato studiato già dagli anni 30 da Fletcher e Munson che riuscirono a descriverla con le *curve isofoniche* nel cosiddetto *audiogramma normale*. La norma UNI ISO 226:2007 contiene le curve normalizzate di egual livello di sensazione sonora che possono essere utilizzate come riferimento del comportamento medio della popolazione rispetto ai fenomeni sonori mettendo in relazione la frequenza del suono, il livello di pressione sonora e il livello di sensazione uditiva, la cui unità di misura è il *phon*. Nella Figura 3.6 è mostrato un esempio di audiogramma normale. Un'osservazione interessante che emerge da questo diagramma è che, a parità di livello di pressione, la sensazione uditiva cambia significativamente in funzione delle frequenze.

Un livello sonoro misurato in loco da uno strumento con risposta lineare nel campo delle frequenze udibili non riesce a descrivere in maniera adeguata l'effettiva risposta dell'orecchio umano allo stesso suono o rumore. Per questo motivo si è pensato di introdurre delle scale di ponderazione che filtrassero i valori lineari ottenuti dalle misurazioni e li allineassero all'effettivo comportamento non lineare dell'orecchio umano. Sono state dunque prodotte, a partire dalle curve isofoniche standard, una serie di curve di ponderazione a seconda del livello sonoro da misurare (Figura 3.7). La curva A è costruita tenendo conto dei fenomeni di attenuazione e amplificazione prodotti dall'orecchio medio, ed è ricavata dal ribaltamento della curva isofonica dei 40 phon e adattata in modo che a una soglia di sensazione elevata corrisponda una pon-

derazione maggiore. Analogamente, a partire da altre curve isofoniche, sono state definite le curve B, C e D. Ogni volta che si riporta una misurazione di livello sonoro in dB, occorre indicare con chiarezza la curva di ponderazione cui la misura fa riferimento, aggiungendo il pedice A, B, C, D. I valori di livello sonoro saranno dunque seguiti dall'unità di misura dB_A , dB_B , dB_C , dB_D . Normalmente si utilizza la curva A fino a livelli di pressione sonora pari a 55 dB, la curva B fino a 85 dB, la curva C per valori maggiori di 85 dB e la curva D per la valutazione del rumore nelle piste aeroportuali. Tutte queste curve vengono ulteriormente traslate in modo da coincidere in un punto unico per un valore di frequenza pari a 1000 Hz e livello sonoro pari a 0 dB.

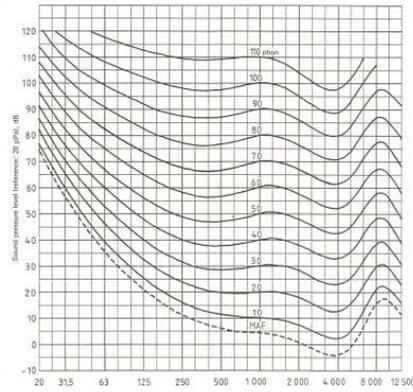


Figura 3.6 Audiogramma normale.

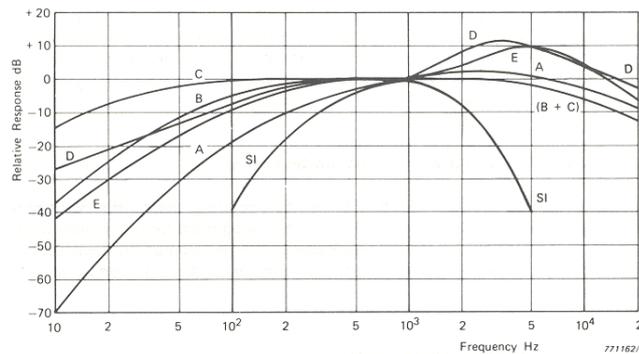


Figura 3.7 Curve di ponderazione A, B, C e D.

La seguente Tabella 3.18 riassume alcuni esempi di suoni e i relativi valori di livello sonoro.

Tabella 3.18 Livello sonoro di alcuni tipi di suono caratteristici.

| Tipo di suono | Livello [dB _A] |
|-------------------------------------|----------------------------|
| Soglia di udibilità | 0 |
| Voce sussurrata | 20 |
| Ufficio | 40 |
| Conversazione normale | 60 |
| Autovettura, orchestra | 80 |
| Interno di un'automobile a 120 km/h | 100 |
| Martello pneumatico | 120 |
| Aereo a reazione | 140 |

Intorno a 140 dB_A si raggiunge la *soglia del dolore*, in quanto il timpano dell'orecchio è sottoposto a una eccessiva sollecitazione che ne può determinare la rottura.

Oltre all'analisi del livello sonoro è necessario effettuare in un ambiente di lavoro anche un'analisi in frequenza. Infatti, i materiali hanno comportamento differenti rispetto ai suoni alle diverse frequenze, modificando in modo significativo le loro caratteristiche di assorbimento, riflessione e trasmissività in funzione della frequenza. Al fine di semplificare l'analisi, si ricorre alla suddivisione in *bande di ottava* dell'intero intervallo di frequenze oggetto di interesse. Queste sono intervalli di frequenza caratterizzati da una precisa relazione fra le frequenze inferiori e superiori di ciascun intervallo.

Grandezza fondamentale per la valutazione del rischio rumore è il *livello sonoro equivalente* riferito sia alla pressione che all'intensità sonora. In sostanza, tale grandezza tiene conto del fatto che, in un generico ambiente di lavoro, una persona può essere soggetta a livelli sonori variabili nel tempo anche in modo significativo. Monitorare l'andamento del suono nel tempo ai fini di una valutazione quantitativa risulterebbe complicato e, pertanto, si ricorre a un valore mediato che rappresenta il livello sonoro equivalente definito come il *livello che produce effetti energetici equivalenti all'insieme di quelli prodotti dal fenomeno reale e variabile nel tempo*.

Riferimenti utili per la determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro sono contenuti nella norma UNI 9432:2008, nella quale sono indicate le formule per il calcolo dei livelli sonori equivalenti per diversi tipi di rumore e periodi di esposizione e le modalità per tenere conto dell'incertezza delle misure effettuate.

Il D.Lgs. 81/2008 stabilisce le modalità per l'esecuzione della valutazione del rischio rumore e stabilisce i valori limite di esposizione e di azione in relazione al livello di esposizione giornaliera e alla pressione acustica di picco. Tali grandezze sono così definite:

- *pressione acustica di picco* (p_{peak}): valore massimo della pressione acustica istantanea ponderata in frequenza C
- *livello di esposizione giornaliera al rumore* ($L_{\text{EX,8h}}$) [dB_A riferito a 20 μPa]: valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione al rumore per una giornata lavorativa nominale di otto ore, definito dalla norma ISO 1999:1990, e riferito a tutti i rumori sul lavoro incluso il rumore impulsivo

- *livello di esposizione settimanale al rumore* ($L_{EX,w}$): valore medio, ponderato in funzione del tempo, dei livelli di esposizione giornaliera al rumore per una settimana nominale di cinque giornate lavorative di otto ore, definito dalla norma ISO 1999.

Si riportano, a titolo informativo, i valori limite di esposizione e i valori di azione in relazione al livello di esposizione giornaliera al rumore e alla pressione acustica di picco stabiliti dal D.Lgs. 81/2008 (Tabella 3.19).

Tabella 3.19 Valori limite di esposizione e valori di azione in relazione al livello di esposizione giornaliera al rumore e alla pressione acustica di picco (D.Lgs. 81/2008).

| | $L_{EX,8h}$ | P_{peak} |
|-------------------------------------|--------------------|--|
| Valori limite di esposizione | 87 dB _A | 200 Pa (140 dB _C riferito a 20 μPa) |
| Valori superiori di azione | 85 dB _A | 140 Pa (137 dB _C riferito a 20 μPa) |
| Valori inferiori di azione | 80 dB _A | 112 Pa (135 dB _C riferito a 20 μPa) |

3.6.2 Analisi dell'ambiente sonoro

La misurazione dei livelli sonori in un ambiente può risultare difficile per la complessità delle diverse situazioni reali. Risulta vantaggioso, quindi, ricorrere alla modellizzazione, cioè alla progettazione e realizzazione di un modello dell'ambiente sonoro in esame che approssimi, per quanto possibile, la situazione reale e ricorrendo all'utilizzo del calcolatore, che costituisce un valido ausilio in questi casi.

Il *modello energetico* è il più semplice e utile ai fini delle nostre considerazioni. Si supponga di considerare un'onda sonora che interagisce con una parete; l'onda in questione, di tipo elastico, trasporta un quantitativo di energia (E_i) che in parte è trasmesso (E_t) attraverso la parete, in parte è assorbito (E_a) dalla stessa e una porzione (E_r) ne è riflessa (Figura 3.8).

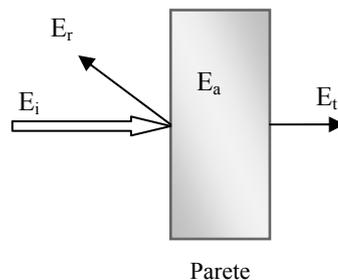


Figura 3.8 Interazione dell'energia sonora con una parete.

In relazione al loro comportamento, i materiali si dicono *fonoisolanti*, quando le loro caratteristiche sono tali da minimizzare la potenza di energia trasmessa, o *fonoassorbenti* quando minimizzano la potenza di energia riflessa.

L'analisi delle grandezze energetiche in gioco può essere eseguita introducendo il *coefficiente di trasmissione* τ e il *fattore di assorbimento* α :

$$\tau = \frac{E_t}{E_i} \quad (3.27)$$

$$\alpha = \frac{E_i - E_t}{E_i} = \frac{E_t + E_a}{E_i} \quad (3.28)$$

Per l'analisi del comportamento sonoro di un vano, si considera il *fattore medio di assorbimento del locale* $\bar{\alpha}$, che tiene conto dell'acustica dell'involucro e degli oggetti in esso contenuti. Se il locale è vuoto, il fattore di assorbimento medio è pari alla media dei fattori di assorbimento (α_j) della singola superficie di ampiezza (S_j) che delimita l'ambiente:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_j \alpha_j \cdot S_j}{\sum_j S_j} = \frac{\sum_j \alpha_j \cdot S_j}{S} \quad (3.29)$$

Si definisce, inoltre, *area equivalente di assorbimento acustico* dell'ambiente la grandezza A :

$$A = \sum_j \alpha_j \cdot S_j = \bar{\alpha} \cdot S \quad (3.30)$$

La grandezza A , dunque, è una misura di superficie e si esprime in *metri quadrati di finestra aperta*; si può infatti pensare che l'assorbimento corrisponda a un'area completamente assorbente (finestra aperta) in un certo ambiente; la rimanente superficie di questo, può essere considerata, invece, perfettamente riflettente. Le formule indicate sono valide nel caso di ambiente vuoto, in quanto l'eventuale presenza di corpi induce un incremento del livello di assorbimento generale. Per i diversi corpi presenti occorre determinare le loro specifiche caratteristiche di assorbimento sonoro.

All'interno di un ambiente chiuso il campo acustico può essere di tipo *riverberante* o *semiriverberante*. Un campo si dice riverberante se il numero delle riflessioni prodotte dalle pareti laterali è tanto elevato da formare un campo acustico uniforme in tutto l'ambiente (anche in prossimità della sorgente); in questo caso il livello di pressione sonora è dato dalla seguente equazione:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{4}{A} \right) \quad (3.31)$$

Un campo si dice semiriverberante quando al suo interno esistono zone di campo libero (in prossimità della sorgente, ove prevale il contributo dell'energia diretta) e zone di campo riverberante (in prossimità delle pareti, ove prevale il campo riflesso).

In ambienti di normali dimensioni, si può ipotizzare che il campo acustico sia semiriverberante. Il livello di pressione è dato, allora, dalla espressione:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A} \right) \quad (3.32)$$

ove Q è il *fattore di direttività* che per sorgenti omnidirezionali lontane dalle pareti vale 1, mentre assume valori diversi negli altri casi ($Q = 2$ per sorgente posizionata al centro della parete, $Q = 4$ se posizionata nello spigolo tra due pareti e $Q = 8$ se posizionata nello spigolo di tre pareti).

La determinazione della grandezza A di un ambiente risulta difficile a causa della complessità dovuta ai corpi presenti e alle loro diverse caratteristiche di assorbimento. Essa è, pertanto, determinata sperimentalmente utilizzando la *formula di Sabine* (3.33), che pone in relazione le caratteristiche geometriche del locale, l'assorbimento e la velocità di discesa del livello sonoro dal momento in cui vengono spente le sorgenti sonore, *tempo di riverberazione* (T_{60}), ovvero il tempo necessario, in [s], affinché la densità di energia sonora diminuisca di un milionesimo (60 dB) rispetto al valore che aveva prima dello spegnimento della sorgente:

$$T_{60} = 0,161 \frac{V}{A} \quad (3.33)$$

Attraverso la misura del tempo di riverberazione T_{60} , noto il volume del locale V , risulta possibile determinare l'area equivalente di assorbimento acustico A .

L'analisi di un ambiente sonoro si effettua tramite l'esecuzione di un adeguato numero di misurazioni, per tenere conto della variabilità nel tempo e nello spazio del campo sonoro.

Un fenomeno importante da considerare è quello del *mascheramento* che si manifesta quando in un ambiente di lavoro sussistono livelli sonori mediamente alti che sovrastano quelli delle normali conversazioni e mascherano le parole, i segnali di pericolo, le sirene ecc. In particolare il mascheramento può comportare il rischio che le persone non reagiscano alle situazioni di pericolo in tempo utile. A questo riguardo occorre garantire l'udibilità, cioè la capacità del potenziale ascoltatore di percepire suoni caratterizzati da un livello almeno pari a 65 dB_A, e l'intelligibilità dei messaggi uditi. L'uso di otoprotettori, se non idonei al contesto di applicazione, può determinare una limitazione della capacità uditiva in quanto tendono a tagliare le frequenze al di sopra di 1.500 ÷ 2.000 Hz, che sono le più pericolose visto che il parlato è caratterizzato da frequenze inferiori ai 2.000 Hz.

La valutazione del fenomeno del mascheramento può essere fatta ricorrendo a diversi criteri; tra questi uno dei più usati è quello dello *speech interference level* che consiste nel calcolare la media aritmetica (tale valore è comunemente indicato con la sigla SIL) dei livelli sonori del rumore di fondo nelle bande d'ottava corrispondenti a 500, 1.000, 2.000 e 4.000 Hz, frequenze caratteristiche del parlato. Determinato tale valore medio, si verifica se il livello sonoro della sorgente che deve essere percepita dal lavoratore sia superiore al SIL di almeno 10 dB. Come obiettivo per il superamen-

to del problema del mascheramento si pone che il lavoratore riesca a riconoscere almeno il 70% delle parole monosillabiche, che, di solito, offrono la maggiore difficoltà alla comprensione. Per ovviare al 30% di parole che si ritiene non vengano correttamente percepite, si rende necessario prevedere un buon livello di *ridondanza* nel messaggio che deve essere trasmesso.

3.6.3 Interventi per il controllo del rumore

Gli interventi per controllare il rumore sono riconducibili a quattro tipologie principali in ordine di priorità di scelta:

1. intervento in fase di progettazione (per esempio, compartimentazione, posizionamento corretto di addetti e non addetti, intermittenza dell'esposizione, direzionalità delle sorgenti ecc.); gli interventi sul lay-out del sito, a seguito di un'adeguata analisi preliminare del problema, permettono risparmi economici notevoli, anche in considerazione delle difficoltà negli interventi di controllo del rumore realizzati a posteriori;
2. intervento sulla scelta di macchine, processi e materiali; orientare la scelta, quando possibile, verso macchine meno rumorose, processi più silenziosi e materiali che presentino caratteristiche di attenuazione dei rumori;
3. intervento alla sorgente del rumore; si tratta di soluzioni tecniche di non facile applicazione, che richiedono l'ausilio di personale esperto, orientate alla riduzione delle forze eccitatrici e di tutti quei fenomeni che tendono a produrre rumorosità, per esempio agendo sulla direzionalità della sorgente, al fine di ridurre il livello di rumore in corrispondenza dei luoghi occupati dagli operatori;
4. confinamento del campo sonoro, o assorbimento su apposite superfici del suo contenuto energetico.

L'ultimo tipo di intervento è relativo al controllo del rumore quando questo, ormai, è già stato immesso nell'ambiente e gli altri interventi si sono rivelati non realizzabili o inefficaci. Esso può essere attuato utilizzando materiali fonoisolanti e/o fonoassorbenti.

La schermatura (o fono-isolamento) consiste nel confinamento dell'energia sonora all'interno di un preciso volume e si realizza con l'impiego di materiali compatti e rigidi per sfruttare le loro capacità di riflettere l'onda sonora, al fine di impedirne la propagazione. Si definisce potere fonoisolante di una parete la quantità F espressa dalla seguente equazione:

$$F = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad (3.34)$$

Il diagramma in Figura 3.9 illustra il comportamento tipico di una parete dal punto di vista del suo potere di fonoisolamento in funzione della frequenza. In esso si possono evidenziare quattro zone principali. La *zona della rigidità*, relativa alle basse frequenze in cui il potere fonoisolante diminuisce al crescere della frequenza; tale comportamento è legato al tipo di parete e nelle pareti reali tale diminuzione è molto

attenuata. La *zona della risonanza*, è la regione in cui il comportamento della parete, che come ogni altro corpo presenta proprie frequenze naturali di risonanza, non risulta di facile schematizzazione. La *zona governata dalla massa* del pannello, regione in cui la curva dell'andamento del potere fonoisolante si approssima a una retta con una pendenza pari a circa 6 dB. La *zona di coincidenza*, ove si registra la riduzione del potere fono isolante, la cui entità dipende dal grado di smorzamento proprio della parete. I materiali caratterizzati da un elevato smorzamento tendono a dissipare il contenuto di energia dell'onda sonora e a ridurre il fenomeno di coincidenza, così da mantenere comunque un buon potere fonoisolante. Successivi aumenti di frequenza mostrano un andamento crescente del potere fonoisolante.

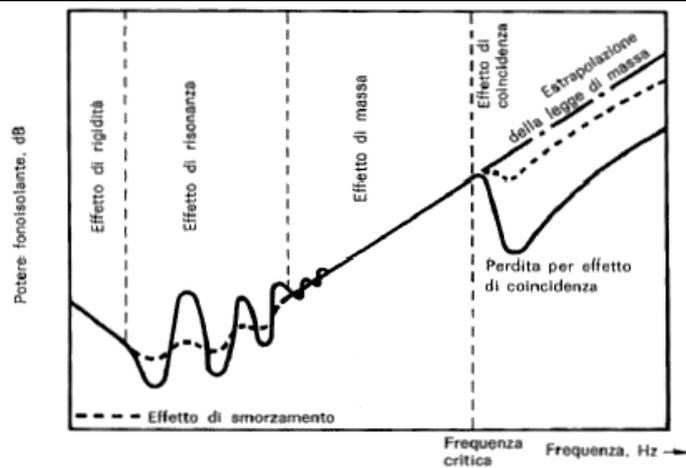


Figura 3.9 Diagramma tipico del potere fonoisolante di una parete.

La Tabella 3.20 riporta il valore del potere fonoisolante di alcuni materiali e serramenti in relazione a diversi valori della frequenza.

Il ricorso al fonoisolamento richiede l'impiego di pareti costruite con materiali dotati di un'elevata resistenza viscosa, per garantire un adeguato smorzamento, tenendo conto delle zone in cui si manifestano i fenomeni di risonanza e coincidenza, e della eventuale presenza di bordi, incastri e vincoli di vario genere che possono allargare o restringere queste due regioni. La successiva Tabella 3.21 illustra il valore delle frequenze caratteristiche di risonanza e coincidenza per alcuni materiali.

Tabella 3.20 Potere fonoisolante [dB] di alcuni materiali e serramenti in relazione alla frequenza.

| Materiale | Spessore [mm] | Frequenza [Hz] | | | | |
|-------------------------------|---------------|----------------|-----|------|------|------|
| | | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 |
| Acciaio | 1 | 23 | 28 | 35 | 41 | 45 |
| | 2 | 26 | 34 | 42 | 47 | 52 |
| | 4 | 33 | 40 | 48 | 53 | 54 |
| | 8 | 38 | 46 | 52 | 50 | 48 |
| Alluminio | 0,6 | 8 | 14 | 12,5 | 17,5 | 22,5 |
| Vetro | 4 | 20 | 23 | 27 | 34 | 33 |
| | 6 | 25 | 28 | 30 | 34 | 34 |
| | 13 | 25 | 30 | 32 | 35 | 40 |
| Piombo | 3 | 26 | 31 | 27 | 37,5 | 44 |
| Legno | 6 | 14 | 21 | 21 | 25,5 | 26 |
| Pannelli in gesso | 60 | 28 | 32 | 25 | 30 | 40 |
| Muro in calcestruzzo | 100 | 34 | 39 | 44 | 49 | 54 |
| | 200 | 38 | 43 | 48 | 53 | 58 |
| Muro di mattoni | 100 | 38 | 43 | 48 | 53 | 58 |
| Porta in legno | - | 13 | 16 | 20 | 23 | 22 |
| Finestra in legno o alluminio | 6 | 9 | 20 | 26 | 26 | 28 |

Tabella 3.21 Frequenze caratteristiche di risonanza e coincidenza di alcuni materiali.

| Materiali | Frequenze di risonanza [Hz] | Frequenza di coincidenza [Hz] |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Vetro | 28-45-97-114 | 2560 |
| Muro di mattoni pieni | 88-202-239-352 | 130 |
| Lastra di gesso | 65-90-233-258 | 1000 |
| Lastra di acciaio | 6-12-20-24 | 12200 |

Quando la sorgente del disturbo si trova nello stesso locale in cui è presente l'ascoltatore, si può diminuire il livello sonoro riducendo l'energia riflessa dalle pareti di confine (*fonoassorbimento*), attenuando, così, il campo sonoro riverberato. In funzione del diverso comportamento acustico al variare della frequenza, i materiali fonoassorbenti sono in genere classificati in:

- materiali porosi, in cui l'assorbimento acustico è determinato dalla conversione in calore dell'energia meccanica trasportata dall'onda incidente attraverso fenomeni di attrito che si sviluppano all'interno delle cavità che caratterizzano questi materiali. Tra i più utilizzati vi sono le fibre di vetro, le lane di roccia, la vermiculite, feltri ecc.;
- risuonatori acustici, che possono essere schematizzati come una cavità comunicante con l'esterno attraverso un foro praticato su di una parete non troppo sottile, che prende il nome di "collo del risuonatore". Quando un'onda sonora colpisce l'ingresso del risuonatore, se le dimensioni della cavità sono abbastanza piccole rispetto al valore della lunghezza d'onda e se le dimensioni del collo sono piccole rispetto a quelle della cavità, l'aria in esso contenuta si comporta come un pistone

oscillante, mentre quella contenuta nella cavità costituisce l'elemento elastico del sistema;

- pannelli vibranti, sono costituiti da pannelli rigidi piani, disposti parallelamente e a una certa distanza dalla parete. Il sistema può essere assimilato a una massa oscillante (il pannello) accoppiata a un elemento elastico dotato di un certo smorzamento (l'aria racchiusa nella intercapedine);
- sistemi misti, costituito da lastre rigide (metallo, legno, gesso ecc.) sulla cui superficie sono praticati fori di diversa forma e dimensione, fissate a una certa distanza dalla parete. L'intercapedine, che costituisce la cavità di una molteplicità di risuonatori tra loro comunicanti, può essere o no riempita con materiale poroso.

3.6.4 Le vibrazioni

La fisica del rumore e delle vibrazioni sono strettamente correlate. In termini di rischi da esposizione alle vibrazioni si considerano, in particolare, le vibrazioni meccaniche trasmesse al sistema mano-braccio e al corpo intero.

- *Sistema mano-braccio.* Le vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio, generate attraverso il contatto delle mani con l'impugnatura di utensili manuali o di macchinari, provocano disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici o muscolari. Di seguito, a titolo di esempio, si riporta un elenco di utensili che la legislazione identifica come origine di rischio apprezzabile di esposizione alle vibrazioni per il sistema mano-braccio (Tabella 3.22).

Tabella 3.22 Utensili che generano vibrazioni al sistema mano-braccio.

| Utensile | Principali lavorazioni |
|---|---|
| Scalpellatori, scrostatori, rivettatori | Edilizia, lavorazione lapidei, metalmeccanica |
| Martelli perforatori | Edilizia, lavorazione lapidei |
| Martelli demolitori e picconatori | Edilizia, estrazione lapidei |
| Trapani a percussione | Metalmeccanica |
| Avvisatori ad impulso | Metalmeccanica, autocarrozzerie |
| Martelli sabbiatori | Fonderie, metalmeccanica |
| Cesoie e roditrici per metalli | Metalmeccanica |
| Levigatrici orbitali e roto-orbitali | Metalmeccanica – Lapedei - Legno |
| Seghe circolari e seghetti alternativi | Metalmeccanica – Lapedei - Legno |
| Smerigliatrici e frese | Metalmeccanica – Lapedei - Legno |
| Motoseghe | Lavorazioni agricolo-forestali |
| Decespugliatori e tagliaerbe | Manutenzione aree verdi |
| Motocoltivatori | Lavorazioni agricolo-forestali |
| Chiodatrici | Pallets, legno |
| Compattatori vibro-cemento | Produzione vibrati in cemento |
| Iniettori elettrici e pneumatici | Produzione vibrati in cemento |
| Limatrici rotative ad asse flessibile | Metalmeccanica – Lavorazioni artistiche |
| Manubri di motociclette | Trasporti |
| Cubettatrici | Lavorazione lapidei, porfido |
| Ribattitrici | Calzaturifici |
| Trapani da dentista | Odontoiatria |

- *Intero corpo*. I rischi da esposizione alle vibrazioni trasmesse all'intero corpo umano sono derivanti da lavori svolti a bordo di veicoli, mezzi di trasporto o di movimentazione, come per esempio camion, ruspe, trattori, autobus, taxi, carrelli elevatori ecc. Le principali conseguenze di tale tipo di esposizione sono rappresentate da lombalgie e traumi del rachide. Di seguito, a titolo di esempio, si riporta un elenco di utensili che la legislazione identifica come origine di rischio apprezzabile di esposizione alle vibrazioni per l'intero corpo (Tabella 3.23).

Tabella 3.23 Utensili che generano vibrazioni al corpo umano.

| Utensile | Principali lavorazioni |
|------------------------------------|--|
| Ruspe, pale meccaniche, escavatori | Edilizia, lapidei, agricoltura |
| Perforatori | Lapidei, cantieristica |
| Trattori, mietitrebbiatrici | Agricoltura |
| Carrelli elevatori | Cantieristica, movimentazione industriale |
| Trattori a ralla | Cantieristica, movimentazione industriale |
| Camion, autobus | Trasporti, servizi di spedizione |
| Motoscafi, gommoni, imbarcazioni | Trasporti, marittimo |
| Trasporti su rotaia | Trasporti, movimentazione industriale |
| Elicotteri | Protezione civile, pubblica sicurezza ecc. |
| Motociclette, ciclomotori | Pubblica sicurezza, servizi postali ecc. |
| Autogru, gru | Cantieristica, movimentazione industriale |
| Piattaforme vibranti | Vibrati in cemento, varie industrie |
| Autoambulanze | Sanità |

La valutazione del rischio da esposizione alle vibrazioni, si basa sulla misura del valore quadratico medio (rms) dell'accelerazione ponderata in frequenza a_w espresso in $[m/s^2]$:

$$a_w = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt} \quad (3.35)$$

Tale quantità deve essere rilevata lungo ciascuna delle tre componenti assiali del vettore accelerazione; nella Figura 3.10 è rappresentato il sistema di riferimento cartesiano. La norma tecnica UNI EN ISO 5349-1:2004 stabilisce i requisiti generali per la misurazione e la valutazione del rischio vibrazioni trasmesse alla mano e definisce la curva di ponderazione in frequenza W_h e il filtro di ponderazione lineare. La determinazione del livello di esposizione alle vibrazioni consiste nel calcolo del valore dell'accelerazione equivalente ponderata riferita a un periodo di 8 ore, indicato con $A(8)$ ed espresso in $[m/s^2]$. Nel caso dell'utilizzo di più utensili o differenti attrezzature che trasmettono vibrazioni al sistema mano-braccio il valore di esposizione giornaliera può essere calcolato tramite la seguente formula:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8} \cdot \sum_{i=1}^n A_{w(\text{sum})_i}^2 \cdot T_i} \quad (3.36)$$

ove:

$A_{w(\text{sum}),i}^2$ è la somma vettoriale dell'accelerazione ponderata in frequenza relativa all'operazione i -esima

T_i è il tempo di esposizione relativo all'operazione i -esima [ore].

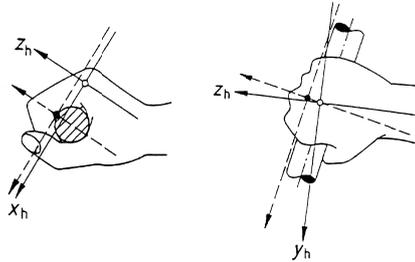


Figura 3.10 Sistema di riferimento per vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio.

Per la misurazione e la valutazione del rischio vibrazioni trasmesse al corpo un utile riferimento è la norma UNI ISO 2631-1:2008 che ne stabilisce i requisiti generali. Si determina il valore quadratico medio dell'accelerazione ponderata in frequenza a_w utilizzando la (3.35) e rilevando le quantità lungo ciascuna delle tre componenti assiali del sistema di riferimento (Figura 3.11). La norma definisce specifici filtri di ponderazione in frequenza per i tre assi di misura e per ognuna delle differenti posture del corpo (eretta, seduta e supina). Il valore totale di vibrazioni a_v a cui è esposto il corpo si determina dalla seguente relazione:

$$a_v = \sqrt{k_x^2 \cdot a_{wx}^2 + k_y^2 \cdot a_{wy}^2 + k_z^2 \cdot a_{wz}^2} \quad (3.37)$$

ove k_x e k_y assumono valore 1,4, nel caso di esposizioni in posizione seduta, e valore unitario per quella eretta, mentre $k_z = 1$ in entrambi i casi. È importante sottolineare che la (3.37) è da applicarsi ai fini della valutazione del disagio prodotto da vibrazioni, mentre, per quanto concerne la valutazione degli effetti sulla salute è da considerare l'esposizione lungo la componente assiale dominante moltiplicata per l'appropriato fattore correttivo k .

Nel caso di esposizione a differenti valori di vibrazioni, come nel caso di impiego di più mezzi meccanici nell'arco della giornata lavorativa, l'esposizione quotidiana a vibrazioni $A(8)$ può essere calcolata mediante l'espressione:

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{8} \cdot \sum_{i=1}^n a_{vi}^2 \cdot T_i} \quad (3.38)$$

ove:

a_{vi}^2 è la somma vettoriale dell'accelerazione ponderata in frequenza relativa all'operazione i -esima;

T_i è il tempo di esposizione relativo all'operazione i -esima [ore].

Nel caso di vibrazioni impulsive e di transienti vibratori, la norma definisce una metodica valutativa addizionale in quanto si ritiene che la metodica primaria potrebbe portare a sottostimare l'esposizione in relazione agli effetti sulla salute e sul comfort.

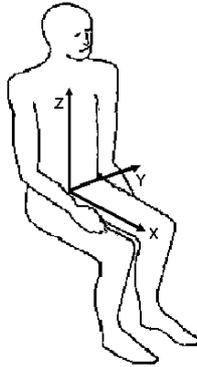


Figura 3.11 Sistema di riferimento per vibrazioni trasmesse al corpo (posizione seduta).

Il Legislatore può intervenire definendo valori limite per A(8) e valori di soglia per lo stesso al superamento dei quali far scattare provvedimenti di limitazione dei rischi. Un esempio di tale intervento legislativo è riportato in Tabella 3.24.

Tabella 3.24 Valori limite di esposizione e valori d'azione imposta (D.Lgs. 81/08).

| Tipologia di vibrazioni | Valore limite di esposizione | Valore di esposizione che fa scattare l'azione |
|--|---|--|
| Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio | 5 m/s ² (20 m/s ² su periodi brevi) | 2,5 m/s ² |
| Vibrazioni trasmesse al corpo intero | 1,0 m/s ² (1,5 m/s ² su periodi brevi) | 0,5 m/s ² |

Sulla base di quanto esposto finora, tenuto conto dell'analogia tra rumore e vibrazioni, ed effettuando la analisi delle sovrapposizioni degli effetti causati dall'esposizione a questi due rischi, una corretta valutazione del rischio da vibrazione e da rumore dovrà tener conto dei seguenti elementi:

- il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi incluse esposizioni intermittenti
- il confronto dei valori misurati con i valori limite e di azione
- gli eventuali effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio

- gli eventuali effetti indiretti sulla sicurezza dei lavoratori risultanti da interazioni tra vibrazioni meccaniche, attrezzature da lavoro, ambienti e rumori
- informazioni fornite dai costruttori delle attrezzature, fascicoli tecnici e libretti di manutenzione
- l'esistenza di attrezzature all'avanguardia progettate per limitare i rischi da esposizione a rumore e vibrazioni
- le condizioni di lavoro particolari, basse temperature, turni di lavoro
- informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, dal medico competente e dalla letteratura medica.

La misura delle vibrazioni dovranno essere effettuate da personale adeguatamente qualificato e dotato di strumentazione idonea come, per esempio, i professionisti nel settore della Salute e Igiene del lavoro, gli organismi di certificazione privati o da enti pubblici; un riferimento utile per l'esecuzione delle misurazioni è fornito dalla norma UNI EN ISO 5349-2:2004.

3.7 Rischio chimico e biologico

Il rischio chimico e biologico nei luoghi di lavoro nasce dall'esposizione dei lavoratori a sostanze o preparati utilizzati nei cicli produttivi, o comunque presenti nell'ambiente di lavoro. L'assorbimento delle sostanze da parte dell'organismo umano può avvenire per inalazione, ingestione o contatto cutaneo ma occorre tenere presente che tali sostanze possono essere pericolose anche per altri eventi pericolosi quali l'incendio, l'esplosione, fenomeni di inquinamento ambientale ecc. A seconda della loro natura, infatti, le sostanze possono essere intrinsecamente pericolose (come per esempio quelle tossiche o nocive) oppure possono esserlo in relazione alla condizione di impiego (come per esempio l'azoto che è presente nell'aria che respiriamo ma che, in concentrazioni molto elevate, può portare alla morte non per intossicazione ma per asfissia) o ad altre situazioni pericolose (innesco di incendi, esplosioni ecc.). Ne deriva che, a seconda della loro natura, gli agenti possono dare luogo a:

- *rischi per la sicurezza o rischi infortunistici*: incendio, esplosione, contatto con sostanze corrosive ecc.;
- *rischi per la salute o rischi igienico-ambientali*: esposizione a sostanze/preparati tossici o nocivi, irritanti ecc.

Qualora l'esposizione alle sostanze tossiche sia multipla (contemporanea o in fasi successive), la loro interazione sull'organismo umano può portare a:

- *effetti antagonistici*, quando si riduce o si annulla l'azione tossica
- *effetti sinergici*, quando l'azione di una sostanza favorisce e potenzia quella di un'altra
- *effetti additivi*, quando le sostanze esercitano la stessa azione sull'organismo
- *effetti misti*, quando possono stimolare la trasformazione di una sostanza tossica in una inattiva e nel contempo potenziare l'azione di un'altra.

Secondo le caratteristiche degli agenti, il rischio è determinato dal livello e dalla durata dell'esposizione, dalla dose assorbita e dalle caratteristiche dei soggetti esposti (sesso, età, presenza di patologie ecc.) e, in particolare, rispetto al rischio incendio-esplosione, è determinato dalla natura della sostanza e dal rapporto volumetrico e ponderale sostanza-ossigeno.

Una delle caratteristiche più importanti delle sostanze molto tossiche, tossiche o nocive è rappresentata dalla tossicità a breve termine (effetto acuto). Il livello di tossicità è stato definito a partire da test basati sulla quantità di composto chimico letale in funzione della via di esposizione; i limiti della DL₅₀ (Dose Letale 50, è la dose che provoca la morte nel 50% degli animali da esperimento) e della CL₅₀ (Concentrazione Letale 50, è la concentrazione in aria che provoca la morte nel 50% degli animali da esperimento se inalata per un determinato periodo di tempo) utilizzate per classificare un prodotto come molto tossico, tossico o nocivo sono riportati nella Tabella 3.25.

Tabella 3.25 Definizione del livello di tossicità sulla base di DL₅₀ e CL₅₀.

| Categoria | DL ₅₀ orale* [mg/kg] | DL ₅₀ cutanea** [mg/kg] | CL ₅₀ inalatoria* [mg/litro - 4 h] |
|-----------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Molto tossiche | < 25 | < 50 | < 0,5 |
| Tossiche | 25 - 200 | 50 - 400 | 0,5 - 2 |
| Nocive | 200 - 2000 | 400 - 2000 | 2 - 20 |

* ratto, ** ratto o coniglio

3.7.1 La valutazione del rischio chimico

Nella valutazione del rischio chimico è fondamentale l'identificazione degli agenti pericolosi che possono essere elaborati nell'ambito del processo produttivo, che deve tenere conto della loro classificazione. L'etichetta obbligatoria allegata a tali sostanze comprende le seguenti informazioni convenzionali:

- *simbolo e denominazione* della sostanza; al simbolo sono associati classificazione e precauzioni
- *frase R*, frase di rischio, o combinazione di frasi; descrive le caratteristiche intrinseche di pericolosità della sostanza e i potenziali danni che si possono verificare a seguito di una manipolazione impropria del materiale, ovvero, il danno causato da comportamenti inadeguati
- *frase S*, consigli di prudenza o combinazione di frasi; forniscono indicazioni sulle condizioni di corretto utilizzo e di manipolazione delle sostanze.

Le sostanze pericolose devono essere accompagnate, oltre che dall'etichetta, anche dalla *scheda di sicurezza*, composta da voci standardizzate, redatta nella lingua del paese d'impiego e contenente note dettagliate riguardo alle caratteristiche della sostanza, nonché informazioni sulla pericolosità, misure di primo soccorso, antincendio ecc.

In base a criteri, metodi e finalità della valutazione del rischio distinguiamo:

- *valutazione preliminare del rischio*. E' il primo approccio e si basa sull'analisi di dati informativi (documentali e di osservazione), come le schede di sicurezza delle sostanze, i quantitativi, i tempi di esposizione, le caratteristiche del lavoro, etc.. In base all'esito della valutazione, si può procedere a una valutazione approfondita, ovvero si può concludere che l'esposizione è inequivocabilmente al di sotto del livello di azione (rischio irrilevante).
- *valutazione approfondita del rischio*. Nei casi in cui la valutazione preliminare non consenta di giungere ad una valutazione di rischio certa, si rende necessario una analisi più approfondita, qualitativa e quantitativa, che prevede l'utilizzo di algoritmi o misure ambientali. In base all'esito della valutazione si può concludere sia che l'esposizione sia sopra il livello di azione, sia che sia al di sotto (rischio irrilevante).
- *verifica del rispetto del valore limite di esposizione*. Prevede il ricorso a misure ambientali e si riferisce a tutte quelle situazioni che non solo superano il livello di azione, ma che potrebbero superare anche il valore limite. Quindi le misure ambientali non sono sempre necessarie, ma solo quando non vi è altro modo di verificare il rispetto del valore limite di esposizione.

Il controllo dell'inquinamento chimico in un ambiente di lavoro è realizzato tramite il monitoraggio ambientale e/o il monitoraggio personale, cioè la determinazione, mediante opportune tecniche e l'utilizzo di idonea strumentazione, delle concentrazioni degli inquinanti presenti nell'ambiente di lavoro (monitoraggio ambientale), o delle concentrazioni degli inquinanti chimici alle quali è esposto il lavoratore su un assegnato periodo di riferimento (monitoraggio personale). Un riferimento utile per la valutazione dell'esposizione per inalazione e per una strategia di misurazione è fornito dalla norma UNI EN 689:1997.

I metodi di campionamento che possono essere utilizzati nel monitoraggio possono essere a lettura diretta, oppure con analisi differita. I primi si distinguono a loro volta in *metodi in continuo* e *di breve durata* (istantanei). I metodi di campionamento in continuo prevedono l'utilizzo di appositi analizzatori (fissi, portatili o personali di piccole dimensioni) utili per soddisfare l'esigenza di seguire nel tempo una lavorazione pericolosa, verificando che non vengano superati determinati valori limite (presenza di allarme). I metodi di campionamento istantanei sono di breve durata e servono a ottenere una risposta rapida in merito alla presenza o meno di una sostanza in concentrazione sensibile. Tra questi metodi il sistema più noto è quello delle fiale rivelatrici (*fiale Dräger*), costituite da un contenitore di vetro e da un substrato adsorbente (per esempio gel di silice) impregnato di una sostanza che reagisce in modo specifico con l'inquinante ricercato. I metodi con analisi differita sono campionamenti integrati e prolungati nel tempo al fine della verifica del rispetto di un determinato valore limite e prevedono la presenza di una pompa aspirante e di un sistema di raccolta che permetta di intrappolare la sostanza chimica presente nell'aria.

Le misure devono essere confrontate con indici di riferimento igienico ambientali (valori limite di esposizione o valori limite di soglia). Tra questi:

- i TLV suddivisi nelle tre categorie come esposto al Paragrafo 3.1

- i valori limite di esposizione professionale ovvero il limite della concentrazione media, ponderata nel tempo, dell'agente chimico nell'aria respirata da un lavoratore e stabiliti dalla legislazione vigente
- i BEI (*Biological Exposure Indices*) indici di esposizione biologica, ossia il limite della concentrazione dell'agente, di un suo metabolita o di un indicatore di effetto, nell'appropriato mezzo biologico, per esempio nel sangue
- il NOAEL (*No-Observed Adverse Effect Level*) e il LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*), indicatori di tossicità cronica caratteristici della dose di sostanza chimica alla quale non vi sono (o iniziano a essere osservati), dal punto di vista statistico o biologico, incrementi significativi di frequenza o gravità di effetti nocivi nella popolazione esposta rispetto al campione di controllo (possono essere prodotti degli effetti ma non sono considerati negativi)
- l'IDLH (*Immediately Dangerous for Life and Health*), indicante la concentrazione di sostanza immediatamente pericolosa per la vita o la salute (se inalata per 30 minuti provoca danni gravi alla salute).

Anche i limiti indicati per prevenire fenomeni irritativi devono essere considerati alla stessa stregua dei limiti raccomandati per evitare l'insorgenza di danni per la salute in quanto sono sempre più frequenti le constatazioni che l'azione irritativa può iniziare, facilitare o accelerare un danno per la salute per interazione con altri agenti chimici o biologici.

In generale, le misure correttive che possono essere adottate nel processo produttivo e nelle modalità operative, ai fini della riduzione del rischio possono interessare:

- il tipo di sostanze utilizzate, promuovendo l'uso di sostanze meno pericolose rispetto a quelle impiegate
- la quantità di sostanze in uso, riducendo, ove possibile, le quantità utilizzate
- i tempi di esposizione, riducendo i tempi di esposizione degli operatori attraverso una migliore pianificazione dei turni lavorativi.

Qualora non sia stato possibile intervenire a monte del processo per l'eliminazione dell'inquinante aerodisperso, si può pensare di intervenire secondo due diverse modalità:

- prelievo ed espulsione dell'aria inquinata, e immissione in ambiente di aria pulita opportunamente trattata dal punto di vista termogravimetrico
- riciclaggio dell'aria ambiente, attraverso una sequenza di prelievo, depurazione e successiva re-immissione.

Il secondo metodo presuppone un costante controllo del corretto funzionamento dell'impianto di depurazione e, non è utilizzabile in presenza di inquinanti tossici, mentre può essere utilizzato nel caso di fumo di sigaretta, odori corporei ecc.

Il primo tipo di approccio può essere attuato secondo due diverse modalità:

- ventilazione generale, consistente nella diluizione degli inquinanti, creando uno scambio d'aria con l'esterno;

- aspirazione localizzata, consistente nella cattura, mediante cappe collocate in prossimità di sorgenti, degli inquinanti prima che si disperdano nell'aria.

I parametri caratteristici delle cappe sono il volume di controllo, cioè lo spazio in cui la cappa esercita un'azione utile, e la velocità di controllo, cioè la velocità dell'aria realizzata dal sistema di aspirazione che deve essere superiore alla velocità di fuga dell'inquinante tenendo conto delle perdite di carico. La cappa deve essere collocata il più vicino possibile alla sorgente dell'inquinante (riducendo così la portata a pari velocità di cattura) e direzionata in modo da favorire la cattura della sostanza.

3.7.2 La valutazione del rischio biologico

Il rischio biologico deriva dalla vasta gamma di biocontaminanti presenti in un qualsiasi ambiente confinato. Essi riconoscono come fonte l'uomo, sia sano che portatore di malattie, e possono trovarsi sotto forma di goccioline di vapor d'acqua, particelle sospese e corpuscolato. I principali contaminanti sono i microbi, virus, miceti, artropodi, pollini, frammenti di esoscheletri, scaglie cutanee ecc..

Negli ambienti confinati, costituiscono fattore di annidamento e di sviluppo per i microrganismi contaminanti tutti i ristagni d'acqua dovuti, per esempio, al mal funzionamento di impianti idrici, o comunque alla presenza di piante e materiali costituenti arredamento, pavimentazioni e pareti.

Un impianto di ventilazione forzata influisce in maniera rilevante sulla qualità dell'aria indoor:

- in modo *positivo*, contribuendo a diminuire il carico di microinquinanti se ben funzionante
- in modo *negativo*, aumentando le normali concentrazioni di microorganismi inquinanti nel caso di scorretta manutenzione o conduzione.

Oltre al ricambio d'aria, le caratteristiche fisiche degli ambienti che determinano la persistenza dei microrganismi, sono l'umidità e la temperatura dell'aria. Per alcune combinazioni di questi due fattori la concentrazione dei microrganismi diffusi per aerosol tende a crescere, nel caso invece di valori di umidità molto elevati, che superano il 75%, la formazione di goccioline di condensa elimina la diffusione dell'aerosol abbattendo le concentrazioni di inquinante diffuso. A differenza degli aerosol microbici, i valori di umidità relativa non influiscono sui virus, che riescono comunque a proliferare.

Gli acari sono microrganismi artropodi, che insieme alle particelle di polvere, costituiscono la peggior minaccia per gli individui soggetti ad allergie.

Le patologie indotte dai microrganismi diffusi negli ambienti indoor sono per lo più di tipo allergico e infettivo. Nella Tabella 3.26 sono elencati i serbatoi e veicoli, gli agenti biologici e le patologie caratteristici dell'inquinamento biologico.

Tabella 3.26 Inquinamento biologico.

| Serbatoi e veicoli | Agenti biologici | Patologie |
|-------------------------|------------------------|--|
| Uomo e animali | Artropodi | Allergiche |
| Alimenti | Attinomiceti termofili | - Alvolite allergica |
| Aria esterna | Batteri | - Asma |
| Arredi | B. sporigeni | - Congiuntiviti |
| Condizionatori | Endotossine | - Febbre da umidificatori |
| Impianti idraulici | Escreti | - Malattia da condizionatori |
| Materiale edilizio | Forfora | - Otiti |
| Piante | Miceti | - Riniti |
| Polvere domestica | Micotossine | - Sinusiti |
| Tessuti | Pollini | Infettive |
| Torri di raffreddamento | Scaglie cutanee | - Aspergillosi |
| Umidificatori | Virus | - Infezioni polmonari (da M. tuberculosis, virus respiratori ecc.) |
| | | - Istoplasmosi |
| | | - Legionellosi |
| | | - Malattie esantematiche |

Gli *agenti biologici* sono definiti dal D.Lgs. 81/2008 come *qualsiasi microrganismo anche se geneticamente modificato, coltura cellulare ed endoparassita umano che potrebbe provocare infezioni, allergie o intossicazioni*. Tali agenti sono classificati in quattro gruppi a seconda del rischio di infezione:

- gruppo 1: agente che presenta poche probabilità di causare malattie in soggetti umani
- gruppo 2: agente che può causare malattie in soggetti umani e costituire un rischio per i lavoratori; è poco probabile che si propaga nella comunità; sono di norma disponibili efficaci misure profilattiche o terapeutiche
- gruppo 3: agente che può causare malattie gravi in soggetti umani e costituisce un serio rischio per i lavoratori; l'agente biologico può propagarsi nella comunità, ma di norma sono disponibili efficaci misure profilattiche o terapeutiche
- gruppo 4: agente che può provocare malattie gravi in soggetti umani e costituisce un serio rischio per i lavoratori e può presentare un elevato rischio di propagazione nella comunità; non sono disponibili, di norma, efficaci misure profilattiche o terapeutiche.

Nella valutazione del rischio occorre tenere conto delle caratteristiche degli agenti biologici presenti, o potenzialmente presenti, della loro classificazione di pericolosità e delle possibili esposizioni. E' necessario stabilire le modalità per lo svolgimento del monitoraggio ambientale, le quali, per la diversa peculiarità degli ambienti di lavoro, risultano alquanto variegata e di difficile generalizzazione. Tali attività dovrebbero essere svolte da tecnici o professionisti del settore utilizzando come riferimento dei testi specialistici (linee guida, norme ecc.).

In presenza di rischio biologico è necessario adottare idonee misure tecniche, organizzative e procedurali per evitare ogni esposizione dei lavoratori agli agenti biologici oltre che le adeguate misure igieniche. Sono previsti, inoltre, specifici adempimenti per ambienti di lavoro particolari quali le strutture sanitarie e veterinarie, i laboratori e gli stabulari.

Bibliografia

AA.VV., *Valori limite di soglia – Indici biologici di esposizione – ACGIH 2004*, traduzione AIDII, Inditalia Edizioni, Milano 2005.

Aghemo C., Azzolino C., *Illuminazione naturale: metodi ed esempi di calcolo*, CELID Ed., Torino 1995.

Bellante De Martiis G., D'Arca S.U., Fara G. M., Signorelli C., Simonetti A., *Manuale di Igiene Ambientale*, Società Editrice Universo, Roma, 1995.

Capolongo S., Daglio L., Oberti I., *Edificio, Salute e Ambiente. Tecnologie sostenibili per l'igiene edilizia e ambientale*, HOEPLI, Milano, 2007.

Fanger P.O., *Thermal comfort – Analysis and applications in environmental engineering*, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.

Foà V., Ambrosi L., *Medicina del lavoro*, UTET, Torino 2003.

Levy B.S., Wegman D.H., Baron S.L., Sokas R.K., *Occupational and Environmental Health: Recognizing and Preventing Disease and Injury*, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2005.

Lippmann M, Sigerman H.B., *Environmental Health Science: Recognition, Evaluation and Control of Chemical and Physical Health Hazards*, Oxford University Press, Cary, 2003.

Marcolin F., Mian G., Ossicini A., Luisi F., Pischiottin S., Vecchi Brumatti L., *Glossario di Ergonomia*, INAIL, Milano, 2002.

Rizzo R., *La sicurezza degli impianti industriali*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli 1998.

Sabine W.C., *Collected papers on Acoustics*, Harvard University Press, Cambridge 1922.

Signorelli C., D'Alessandro D., Capolongo S., *Igiene Edilizia e Ambientale*, Società Editrice Universo, Roma, 2007.

Siple P.A., Passel C.F., "Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures", *Proc. Amer. Phil. Soc.*, n. 89, pp. 177-199, 1945.

ACGIH, *2008 TLVs and BEIs*, Cincinnati, 2008.

AIDII, *TLV ACGIH 2007-AIDII 2007 Valori limite di soglia ACGIH 2007 tradotti in italiano*, Milano, 2007.

CIE, *Discomfort glare in interior lightning*, pubblicazione n. 117, Vienna, 1995.

Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Provincie in collaborazione con ISPESL, *Microclima, aerazione e illuminazione nei luoghi di lavoro - Requisiti e standard, Indicazioni operative e progettuali - Linee Guida*, 2006.

Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Provincie in collaborazione con ISPESL, *D.Lgs. 81/2008 Titolo VIII, Capo I, II, e III sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro - Prime indicazioni applicative*, 2008.

INAIL, *Il rischio biologico negli ambienti di lavoro*, Tipolitografia INAIL, Milano 2007.

ISPESL, *Linee guida per la valutazione del rischio da vibrazioni negli ambienti di lavoro*, 2002.

ISPESL, *Linee guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro*, 2005.

D.Lgs. 9 aprile 2008 n. 81, *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*.

UNI EN ISO 7730, *Ergonomia degli ambienti termici. Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale*, UNI, Milano, 2006.

UNI EN 27243, *Ambienti caldi. Valutazione dello stress termico per l'uomo negli ambienti di lavoro, basata sull'indice WBGT (temperatura a bulbo umido e del globo-termometro)*, UNI, Milano, 1996.

UNI EN ISO 7933, *Ergonomia dell'ambiente termico. Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile*, UNI, Milano, 2005.

UNI EN ISO 11079, *Ergonomia degli ambienti termici. Determinazione e interpretazione dello stress termico da freddo con l'utilizzo dell'isolamento termico dell'abbigliamento richiesto (IREQ) e degli effetti del raffreddamento locale*, UNI, Milano, 2008.

UNI EN 12464-1, *Luce e illuminazione – Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 1: Posti di lavoro in interni*, UNI, Milano, 2004.

UNI EN 12464-2, *Luce e illuminazione – Illuminazione dei posti di lavoro – Parte 2: Posti di lavoro in esterni*, UNI, Milano, 2008.

UNI EN 1838, *Applicazione dell'illuminotecnica – Illuminazione di emergenza*, UNI, Milano, 2000.

UNI ISO 226, *Acustica – Curve normalizzate di egual livello di sensazione sonora*, UNI, Milano, 2007.

UNI 9432, *Acustica – Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro*, UNI, Milano, 2008.

ISO 1999, *Acoustics – Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*, ISO, Ginevra 1990.

UNI EN ISO 5349-1, *Vibrazioni meccaniche – Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano – Parte 1: requisiti generali*, UNI, Milano, 2004.

UNI EN ISO 5349-2, *Vibrazioni meccaniche – Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano – Parte 2: guida pratica per la misurazione al posto di lavoro*, UNI, Milano, 2004.

UNI ISO 2631-1, *Vibrazioni meccaniche e urti – Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero – Parte 1: requisiti generali*, UNI, Milano, 2008.

UNI EN 689, *Atmosfera nell'ambiente di lavoro – Guida alla valutazione dell'esposizione per inalazione a composti chimici con i valori limite e strategia di misurazione*, UNI, Milano, 1997.

Rischi di incidente rilevante

*G.Mercuri

4.1 Introduzione

Il *rischio industriale* si configura in un contesto ove sono presenti stabilimenti industriali che detengono e/o utilizzano sostanze pericolose in un tessuto territoriale urbanizzato. Esso è caratterizzato dal rilascio incontrollato di sostanze pericolose sia all'interno che all'esterno dello stabilimento, in misura tale da produrre conseguenze dirette o indirette sul personale, sulla popolazione e sull'ambiente. Le sostanze pericolose sono i prodotti e i composti chimici che provocano effetti sull'organismo umano se inalati, ingeriti o assorbiti (sostanze tossiche), oppure che possono liberare un gran quantitativo di energia termica (sostanze infiammabili) o di energia dinamica (sostanze esplosive o comburenti). La tipologia di incidente che origina il rilascio di dette sostanze è definita come *incidente rilevante* cioè un evento quale “*un'emissione, un incendio o un'esplosione di grande entità, dovuto a sviluppi incontrollati che si verificano durante l'attività di uno stabilimento industriale e che dia luogo a un pericolo grave, immediato o differito, per la salute umana o per l'ambiente, all'interno o all'esterno dello stabilimento, e in cui intervengano una o più sostanze pericolose*”.

La gravità degli effetti di un incidente dipende dalle modalità attraverso cui avviene l'esposizione; un parametro importante è, per esempio, la distanza dal luogo dell'incidente, nonché le misure di mitigazione e di protezione adottate. Secondo il tipo di incidente e le caratteristiche della sostanza coinvolta, gli effetti che si possono verificare sugli esseri viventi possono essere:

*Il Capitolo è stato redatto in collaborazione con Giampiero Mercuri, Ingegnere, specializzato in Sicurezza, in metodologie di analisi dei rischi e nella conduzione di ispezioni per la sicurezza. Collabora su tali tematiche con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma e con il CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione.

- effetti dovuti al calore e ai fumi della combustione (ustioni, danni alle vie respiratorie, intossicazione)
- effetti dovuti alle onde d'urto provocate da un'esplosione anche con proiezione a distanza di materiale (lesioni, traumatismi ecc.)
- effetti dovuti a intossicazione acuta procurati da inalazione, ingestione o contatto con la sostanza (malessere, lacrimazione, nausea, difficoltà respiratorie, perdita di conoscenza e, a seconda della gravità dell'esposizione, anche effetti letali).

Le conseguenze sulla salute umana, in caso di esposizione a sostanze tossiche rilasciate nell'atmosfera durante l'incidente, variano a seconda delle caratteristiche delle sostanze, della loro concentrazione, della durata d'esposizione e della dose assorbita. Gli effetti che si possono verificare sull'ambiente sono legati alla contaminazione del suolo, dell'acqua e dell'atmosfera da parte delle sostanze rilasciate e dagli incendi, mentre sulle cose riguardano danni alle strutture (crollo di edifici o parti di edifici, danneggiamento degli impianti, incendi ecc.).

4.2 Criteri generali di classificazione

L'entità del rischio industriale è funzione della probabilità di accadimento e della magnitudo delle conseguenze e degli effetti provocati dall'evento incidentale in termini di estensione territoriale e di numero delle persone esposte. Gli eventi incidentali che si originano all'interno degli stabilimenti a rischio di incidente rilevante possono essere classificati (Tabella 4.1) in base agli effetti dovuti ai rilasci di energia (incendi, esplosioni) e di materia (nube e rilascio tossico).

Gli eventi pericolosi sono classificati in base al valore del rischio industriale:

- *grande rischio*, evento con alta probabilità e gravi conseguenze per i lavoratori e per la popolazione dell'area limitrofa
- *rischio medio-basso*, evento comune nella vita dell'impianto, ma con conseguenze trascurabili
- *rischio raro*, evento molto improbabile, ma con conseguenze rilevanti.

4.3 Analisi e valutazione dei rischi di incidente rilevante

Ai fini di una efficace analisi e valutazione dei rischi di incidente rilevante è necessario ricorrere a due tecniche complementari: l'*analisi incidentale storica* e lo *studio dell'impianto con metodi predittivi*.

Attraverso la prima tecnica, l'analista prende in considerazione gli incidenti che si sono già verificati nello stesso impianto o in impianti analoghi in Italia e nel mondo, per valutare se essi possano verificarsi nuovamente nella situazione esaminata, o siano state adottate misure preventive e mitigative sufficienti. Tale analisi permette solamente di prevenire tipologie incidentali già note e avvenute in passato e, pertanto, deve essere integrata dallo studio dell'impianto con tecniche predittive per identificare quelle sconosciute.

Tabella 4.1 Classificazione degli eventi incidentali in base agli effetti.

| EFFETTI | EVENTI |
|------------------------|--|
| Irraggiamento | Incendi: <i>Pool-fire</i> : incendio di pozza di liquido infiammabile rilasciato sul terreno <i>Jet-fire</i> : incendio di sostanza infiammabile in pressione che fuoriesce da un contenitore <i>Flash-fire</i> : innesco di una miscela infiammabile lontano dal punto di rilascio con conseguente incendio <i>Fireball</i> : incendio derivante dall'innesco di un rilascio istantaneo di gas liquefatto infiammabile per esempio provocato dal <i>BLEVE</i> |
| Sovrappressione | Esplosione: <i>VCE Vapour Cloud Explosion</i> : esplosione di una miscela combustibile-comburente all'interno di uno spazio chiuso (serbatoio o edificio) <i>UVCE Unconfined Vapour Cloud Explosion</i> : esplosione di una miscela in uno spazio aperto <i>BLEVE Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion</i> : conseguenza dell'improvvisa perdita di un recipiente in pressione contenente un liquido infiammabile surriscaldato o un gas liquefatto; gli effetti sono dovuti anche allo scoppio del contenitore con proiezione di frammenti |
| Tossicità | Rilascio di sostanze pericolose per l'uomo e per l'ambiente: dispersione di una sostanza tossica nell'ambiente o di un infiammabile non innescato i cui effetti variano in base alle diverse proprietà tossicologiche della sostanza coinvolta. Nella categoria del rilascio tossico può rientrare anche la dispersione dei prodotti tossici della combustione generati a seguito di un incendio in quanto i fumi sono formati da una complessa miscela gassosa contenente particolato, prodotti di decomposizione e di ossidazione del materiale incendiato, gas tossici ecc. |

Le tecniche predittive sono basate sulla scomposizione dell'impianto in elementi semplici, che possono essere analizzati con maggiore facilità; per ognuno di questi elementi si individuano i malfunzionamenti elementari che possono generare situazioni indesiderate e/o pericolose. I risultati dell'analisi vengono quindi ricomposti e integrati fra loro, così da giungere ad un elevato grado di copertura di tutti gli eventi incidentali possibili. Le tecniche più note che permettono di identificare i rischi connessi con anomalie impiantistiche sono la *HAZOP (Hazards and Operability)*, la *FMECA (Failure Modes Effects and Criticality Analysis)*, la *FTA (Fault Tree Analysis)*, la *ETA (Event Tree Analysis)* ecc. descritte nel Capitolo 6. A esse si aggiungono quelle per identificare i rischi connessi con anomalie nella chimica delle reazioni, fra le quali la più usata è la *CHETAH (Chemical Thermodynamics and Energy Release Evaluation)*.

Una volta identificati i diversi tipi di incidenti che possono verificarsi nell'impianto in esame occorre valutare la probabilità di accadimento e la magnitudo delle loro conseguenze ai fini dell'individuazione delle adeguate misure preventive e mitigative da porre in atto. Per valutare la probabilità di accadimento di ciascun evento si può seguire un *approccio semi-quantitativo* o *rigorosamente quantitativo*.

Nel primo caso l'analista classifica gli eventi possibili nella vita utile dell'impianto secondo una scala di probabilità (come: molto probabile, probabile,

poco probabile e improbabile) considerando, per esempio, quante avarie dell'impianto o errori operativi concomitanti sono necessari affinché si verifichi l'evento dannoso: maggiore è il numero degli elementi concomitanti necessari all'accadimento, minore è la probabilità dello stesso.

Nell'approccio rigorosamente quantitativo l'analista assegna un valore probabilistico - espresso in termini assoluti - a ciascun evento incidentale individuato attraverso la costruzione di uno schema logico (albero) di concatenamento di eventi elementari, che possono condurre all'evento dannoso, assegnando a ciascuno di essi un valore di probabilità di accadimento al fine della determinazione della probabilità di accadimento totale dell'incidente.

Per la valutazione delle conseguenze di un evento incidentale, occorre definire esattamente la portata, la durata e l'area interessata dal fenomeno, per individuare le idonee distanze di sicurezza e le misure mitigative da adottare. A tal fine è possibile utilizzare modelli di simulazione per stimare la concentrazione relativa alla distanza dal luogo del rilascio, la dose assorbita e il conseguente danno, in funzione del tempo di esposizione. Per rappresentare la stima delle conseguenze di un evento dannoso possono essere utilizzati due metodi: l'utilizzo di *valori di soglia* oppure di *modelli probabilistici*.

Le principali Autorità nazionali ed internazionali in materia (Ministero dell'Ambiente, Dipartimento della Protezione Civile e Ministero della Salute in Italia, EPA e altre agenzie ed organismi pubblici, quali FEMA, DoT e NIOSH negli Stati Uniti ecc.) hanno predisposto apposite tabelle che definiscono i "*limiti di esposizione*", ovvero le soglie minime al di sopra delle quali una certa percentuale di individui subisce un determinato danno per effetto di un incendio (misurato in radiazione termica stazionaria), di un'esplosione (misurata in sovrappressione di picco), o della concentrazione di sostanze tossiche per inalazione di breve durata.

I modelli probabilistici, invece, pongono in relazione la probabilità di morte del soggetto - a seguito dell'esposizione a una determinata dose di sostanza tossica assorbita - e la dose stessa.

4.4 Adempimenti principali

Numerose direttive europee, leggi, regolamenti e circolari nazionali, procedure di buona tecnica individuano i rischi presenti nei diversi ambiti (industriale, agricolo, di servizio, domestico) e i fattori inquinanti (emissioni in atmosfera, scarichi idrici, rifiuti urbani, speciali o tossico nocivi ecc.) e dettano prescrizioni e indicazioni atti a ridurli. In particolare, a seguito del noto incidente avvenuto nello stabilimento dell'*ICMESA* di Meda (MI) che nel 1976 causò il rilascio di diossina nell'area di Seveso (MI), l'Unione Europea approvò una specifica direttiva (Direttiva CEE n. 82/501 "*Seveso I*" recepita in Italia con il D.P.R. 175/88) sui rischi di incidente rilevante per determinate attività industriali. Successivamente il quadro normativo è stato aggiornato dal D.Lgs. n. 334 del 17 agosto 1999 di recepimento della Direttiva 96/82/CE ("*Seveso II*"), modificato e integrato dal D.Lgs. n. 238 del 21 settembre 2005 di recepimento della Direttiva 2003/105/CE ("*Seveso III*").

L'evoluzione della normativa segue il progressivo interesse dei cittadini ai temi dell'ambiente e ai pericoli che incombono sul proprio territorio, alla loro natura e allo stato della sicurezza intesa come salvaguardia della salute umana e dell'ambiente. In tal senso è stato introdotto il diritto-bisogno di informazione della popolazione sui siti industriali ad alto rischio, sancendo l'obbligo per il Comune, ove insiste uno stabilimento industriale a rischio, a divulgare le informazioni fornite dal gestore dello stabilimento con la "Scheda informativa per i cittadini e i lavoratori". Il meccanismo completo di attuazione di tali direttive si articola in cinque fasi:

- *la valutazione*, che assicura l'individuazione e l'analisi dei pericoli anche in termini quantitativi e l'identificazione delle opportunità di miglioramento
- *la verifica*, per il controllo della corretta conduzione della valutazione da parte del fabbricante e l'integrazione con le esigenze del territorio
- *il miglioramento*, per realizzare gli interventi di prevenzione e protezione, sia sugli impianti sia sul territorio, onde ridurre al minimo il rischio residuo
- *la pianificazione*, finalizzata alla gestione del rischio residuo e alla massima riduzione delle conseguenze incidentali
- *l'informazione*, che garantisce il "right-to-know" (diritto alla conoscenza) della popolazione e la pone in grado di agire per mettere in atto i necessari comportamenti di auto-protezione.

Per poter operare i *gestori* (persona fisica o giuridica che gestisce o detiene lo stabilimento o l'impianto) delle aziende a rischio di incidenti rilevanti devono assolvere a una gradualità di obblighi in funzione della quantità di sostanze pericolose detenute. Tutti i gestori sono comunque tenuti:

- a prendere tutte le misure idonee a prevenire gli incidenti rilevanti e a limitarne le conseguenze per l'uomo e per l'ambiente nel rispetto dei principi delle normative vigenti in materia di sicurezza e igiene del lavoro e di tutela della popolazione e dell'ambiente
- a provvedere all'individuazione dei rischi di incidenti rilevanti, a integrare il documento di valutazione dei rischi richiesto dalle leggi vigenti in materia di sicurezza nei luoghi di lavoro e ad adottare le appropriate misure di sicurezza
- a provvedere all'informazione, alla formazione, all'addestramento e all'equipaggiamento di coloro che lavorano nel sito.

Il gestore degli stabilimenti in cui sono presenti sostanze pericolose in quantità uguali o superiori a quelle indicate dalla normativa, è obbligato a trasmettere (al Ministero dell'ambiente, alla regione, alla provincia, al comune, al prefetto, al Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco competente per territorio e al Comitato tecnico regionale o interregionale del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco) una *notifica*, redatta in forma di autocertificazione mirata all'identificazione in tempi brevi delle principali caratteristiche dell'impianto e delle figure responsabili e competenti in caso di incidente rilevante. La notifica deve contenere:

- il nome o la ragione sociale del gestore e l'indirizzo completo dello stabilimento
- la sede o il domicilio del gestore, con indirizzo completo

- il nome o la funzione della persona responsabile dello stabilimento nel caso sia diversa dal gestore
- le notizie che consentano di individuare le sostanze pericolose o la categoria di sostanze pericolose, la loro quantità e la loro forma fisica
- l'attività, in corso o prevista, dell'impianto o del deposito
- l'ambiente immediatamente circostante lo stabilimento e, in particolare gli elementi che potrebbero causare un incidente rilevante o aggravarne le conseguenze.

La notifica è un documento efficace soltanto se mantenuta aggiornata per garantire il necessario scambio di informazioni con le autorità competenti.

Il gestore dello stabilimento, al fine di promuovere costanti miglioramenti della sicurezza e garantire un elevato livello di protezione dell'uomo e dell'ambiente con mezzi, strutture e sistemi di gestione appropriati, deve redigere un documento che definisca la propria *politica di prevenzione degli incidenti rilevanti*, allegando allo stesso il programma adottato per l'attuazione del *sistema di gestione della sicurezza* (si veda il successivo Capitolo 7).

I gestori di stabilimenti i cui valori limite superano le soglie più elevate di detenzione di sostanze pericolose definite dalla normativa devono inoltre redigere il *rapporto di sicurezza* dando evidenza che:

- è stato adottato il *sistema di gestione della sicurezza*
- i pericoli di incidente rilevante sono stati individuati e sono state adottate le misure necessarie per prevenirli e per limitarne le conseguenze per l'uomo e per l'ambiente
- la progettazione, la costruzione, l'esercizio e la manutenzione di qualsiasi impianto, deposito, attrezzatura e infrastruttura, connessi con il funzionamento dello stabilimento, che hanno un rapporto con i pericoli di incidenti rilevante nello stesso, sono sufficientemente sicuri e affidabili
- sono stati predisposti i *piani d'emergenza interni* e sono stati forniti all'autorità competente gli elementi utili per l'elaborazione del *piano d'emergenza esterno* al fine di prendere le misure necessarie in caso di incidente rilevante.

Il rapporto di sicurezza deve contenere anche l'inventario aggiornato delle sostanze pericolose presenti nello stabilimento, nonché le informazioni che possono consentire di prendere decisioni in merito all'insediamento di nuovi stabilimenti, o alla costruzione di insediamenti attorno a quelli già esistenti.

I gestori degli stabilimenti soggetti all'obbligo della redazione del rapporto di sicurezza devono altresì predisporre, previa consultazione del personale che lavora nello stabilimento (ivi compreso il personale di imprese subappaltatrici a lungo termine), il piano di emergenza interno da adottare nello stabilimento allo scopo di:

- a) controllare e circoscrivere gli incidenti in modo da minimizzarne gli effetti e limitarne i danni per l'uomo, per l'ambiente e per le cose;
- b) mettere in atto le misure necessarie per proteggere l'uomo e l'ambiente dalle conseguenze di incidenti rilevanti;
- c) informare adeguatamente i lavoratori e le autorità locali competenti;

d) provvedere al ripristino e al disinquinamento dell'ambiente dopo un incidente rilevante.

Il *piano di emergenza interno* deve essere riesaminato, sperimentato e, se necessario, riveduto e aggiornato dal gestore a intervalli appropriati, e, comunque, almeno ogni tre anni. La revisione deve tenere conto dei cambiamenti avvenuti nello stabilimento e nei servizi di emergenza, dei progressi tecnici e delle nuove conoscenze in merito alle misure da adottare in caso di incidente rilevante.

Le Autorità competenti individuano gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante per i quali la probabilità o la possibilità o le conseguenze di un incidente possono essere maggiori, a causa del luogo, della vicinanza degli stabilimenti stessi e dell'inventario delle sostanze pericolose presenti in essi (*effetto domino*).

I gestori di questi stabilimenti devono scambiarsi le informazioni necessarie per consentire di riesaminare e, eventualmente, modificare, in considerazione della natura e dell'entità del pericolo globale di incidente rilevante, i rispettivi sistemi di gestione della sicurezza, i rapporti di sicurezza, i piani di emergenza interni e la diffusione delle informazioni alla popolazione e cooperare nella trasmissione delle informazioni all'autorità competente per la predisposizione dei *piani di emergenza esterni*. Questi ultimi sono predisposti dalle Autorità locali interessate previa consultazione della popolazione, al fine di limitare gli effetti dannosi derivanti da incidenti rilevanti, sulla scorta delle informazioni fornite dai gestori degli stabilimenti.

4.5 Cenni sui principali fenomeni di inquinamento

Tutte le sostanze pericolose, contemplate dalle direttive comunitarie e dalle leggi vigenti, possono causare - in caso di incidente rilevante - gravi fenomeni di inquinamento che, nelle peggiori situazioni, possono rivelarsi letali. La storia stessa della Direttiva Seveso si sviluppa a seguito dell'accadimento di incidenti rilevanti che sono stati all'origine di fenomeni di inquinamento e di danno di tipo diverso. Nei paragrafi che seguono sono riportate alcune notizie su fenomeni di inquinamento generati da cause di incidente rilevante.

4.5.1 Nube tossica

A seguito di un'esplosione, di un incendio o di una semplice fuoriuscita da un reattore la sostanza inquinante tende a muoversi nell'atmosfera mantenendo una certa compattezza e densità. La nube tossica è una vera e propria nuvola soggetta all'azione dei venti, che tende ad allargarsi e a diffondersi nei territori circostanti la zona interessata dall'incidente. La pericolosità dell'inquinante tende a diminuire con il tempo e nello spazio, man mano che la sua concentrazione nell'atmosfera diminuisce. L'incidente di Seveso nel 1976 causò una nube tossica di diossina che contaminò il territorio di quattro Comuni, la morte di numerosi animali e l'insorgenza di molteplici casi di infezioni e malattie cutanee e polmonari. La bonifica dei siti contaminati fu

molto incisiva e si ritenne necessaria l'evacuazione dell'intera popolazione dalle zone interessate e l'asportazione della parte superficiale del terreno esposto.

4.5.2 Esplosione

L'esplosione consiste in un improvviso rilascio di energia di differente natura, per esempio meccanica o chimica. L'incontrollato aumento della pressione di un fluido all'interno di un serbatoio può determinare il cedimento strutturale dello stesso e generare un'esplosione con conseguente proiezione di detriti. Il rilascio di energia si manifesta con una violenta onda di pressione che investe gli ostacoli producendo danni in funzione della superficie investita e della distanza dall'origine dell'esplosione. Nel caso in cui l'esplosione investa impianti produttivi può provocare perdite dai serbatoi di fluidi gassosi inquinanti ad alte temperature, con la conseguente dispersione in atmosfera o sversamento sul terreno. L'esplosione avvenuta in una fabbrica di materiale pirotecnico a Enschede in Olanda nel 2000 è stata causa della morte di 22 persone, migliaia di feriti e l'evacuazione dei cittadini da un'area residenziale di circa 40 ettari. L'esplosione avvenuta a Tolosa nel 2001 presso uno stabilimento di fertilizzanti in un deposito di nitrato di ammonio e di fertilizzanti a base di nitrato di ammonio, ha causato la morte di 30 persone e il ferimento di altre 2500.

4.5.3 Sversamento

Lo sversamento avviene a seguito dell'incontrollato rilascio di sostanze pericolose nell'ambiente a causa, per esempio, del cedimento delle opere di contenimento o di stoccaggio delle stesse. Esso può avvenire direttamente nei corsi d'acqua o attraverso filtrazione negli strati di terreno fino a inquinare le falde acquifere. L'incidente di Baia Mare in Romania avvenuto nel 2000, consistette nell'inquinamento da cianuro di una porzione del bacino del Danubio fino al Mar Nero, dovuto alle migliaia di metri cubi di fanghi e acque reflue riversate a causa del cedimento di una diga di contenimento di sterili in una fonderia di una miniera d'oro. Gli effetti del disastro furono evidenti per la fauna e per tutto l'ecosistema coinvolto.

Bibliografia

AA.VV., "Manuale per la prevenzione, la limitazione e la gestione del rischio industriale rilevante", *Dossier Ambiente n. 26*, Associazione Ambiente e Lavoro, Milano 1994

AA.VV., *Natural Risk and Civil Protection*, E&FN Spon, Londra 1995.

ANPA Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, *Contenuti tecnici dell'informazione alla popolazione in materia di rischi di incidenti rilevanti*, SPED, Roma 2001.

ANPA Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, *Mappatura del rischio industriale in Italia*, SPED, Roma 2000.

De Marchi B., Pellizzoni L., Ungaro D., "Haria 2. Una metodologia per l'analisi e la gestione di emergenze tecnologiche con particolare riferimento al comportamento umano in condizioni di stress", *Atti del Seminario interno UO*, a cura di E. Ragno, GNDRCIE Istituto Ricerche Combustione, Napoli 1998.

Galatola E., Clini C., Caroselli R., Macchi G., "Le analisi di rischio d'area: stato dell'arte, diffusione ed utilità", *atti di VGR 98 Convegno nazionale Valutazione e gestione del rischio negli insediamenti civili e industriali*, Università di Pisa, Dipartimento Costruzioni Meccaniche e Nucleari, Pisa 1998.

Lees Frank P., *Loss Prevention in the Process Industries*, Butterworth, Londra 1996.

Modarres M., "Dominance of Reason Over Intuition: Emergence of Risk Based Regulation", in *Proceedings of the Marine Safety Council*, University of Maryland, 1996.

Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile, *Linee guida per la pianificazione dell'emergenza esterna degli stabilimenti industriali a rischio d'incidente rilevante*, Roma 2004.

Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile, *Linee guida per l'informazione alla popolazione sul rischio industriale*, Roma 2006.

Direttiva 96/82/CE del Consiglio del 9 dicembre 1996 sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose, Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea, L010 del 14/01/1997.

Direttiva 2003/105/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2003 che modifica la direttiva 96/82/CE del Consiglio del 9 dicembre 1996 sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose, Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea, L345 del 31/12/2003.

*D.Mazzullo

5.1 Introduzione

Quando si parla di *fattore umano*, la fantasia vola all'omonimo romanzo dello scrittore anglosassone Graham Greene, illuminante da questo punto di vista, e si legge e si interpreta questo "fattore" in un'accezione naturalmente ed esclusivamente positiva. Si intende con essa quella "componente umana" che è in antitesi e si contrappone alla fredda e asettica "componente tecnologica", divenuta sempre più presente e dominante nelle umane faccende, in quest'epoca storica di predominio scientifico-tecnologico, ritenendosi un pericolo e un danno la progressiva, involontaria, subdola scomparsa o rinuncia inconsapevole e inarrestabile a quel fattore umano che rendeva la vita più vivibile e accettabile, in tempi passati.

Eppure, e sembrerà paradossale, non sempre il fattore umano gode e può fregiarsi di una connotazione esclusivamente positiva, soprattutto e in speciale modo nell'ambito che ci riguarda, ossia quello della sicurezza.

Volendo sintetizzare ed esemplificare il concetto, potremmo compendiarlo in una frase: "Le macchine si rompono. Gli uomini sbagliano", dove "sbagliano" sta per "commettono degli errori", a volte, raramente e per fortuna, volontari, per lo più involontari e quindi non cercati, ma purtroppo non attivamente e volontariamente evitati.

E' più pericolosa la rottura di una macchina o l'errore umano?

In campo prettamente psichiatrico, non ci si sente di fornire una risposta, ma certo ci si permette di far posare l'attenzione su quanto drammatica, tragica e desolante sia l'incidenza di disgrazie legate e conseguenti ad errori umani, volontari, o involontari, ma sempre drammatici perché facilmente prevedibili ed evitabili.

Anche se in questo ambito gli schematismi sono riduttivi, possono però essere utili a scopo didattico, per cercare una logica di esposizione e di trattazione.

*Il Capitolo è stato redatto in collaborazione con Domenico Mazzullo, medico chirurgo specializzato in psichiatria. Collabora con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma in attività didattiche relative alla Sicurezza e al fattore umano (d.mazzullo@tiscali.it; www.studiomazzullo.com).

Si è pensato artificiosamente di suddividere la disanima dei possibili errori umani in tre categorie:

- 1) *errori umani legati a fattori comuni* universalmente presenti in tutti gli uomini e specifici di singole funzioni e prerogative comuni (attenzione, percezione, memoria, sonno, affaticamento, noia, ripetitività e monotonia del lavoro, comfort degli ambienti e condizioni di lavoro, capacità di concentrazione, attitudine alla continuità lavorativa e applicativa, sicurezza-insicurezza personali, capacità decisionale, condizione di salute in generale)
- 2) *errori umani legati a fattori specifici* nel singolo individuo (motivazione, soddisfazione nel lavoro, avversione specifica verso colleghi e superiori, o problematiche di rapporto con loro, frustrazione lavorativa, preoccupazioni inerenti alla sfera personale, familiare, economica; patologie specifiche, fisiche e psichiche, disturbi di personalità)
- 3) *uso ed abuso di sostanze* con specifico riferimento a sostanze psicotrope (alcol, droghe, psicofarmaci).

Questa suddivisione non è certo esaustiva e si basa solo su valutazioni empiriche, potendosi notare che elementi dei vari gruppi si intersecano gli uni con gli altri e si sovrappongono, quando da considerazioni di ordine generale si passa a valutazioni di singoli soggetti e delle singole problematiche risalenti a questi.

5.2 Errori umani legati a fattori comuni

In questa categoria sono considerati i fattori di ordine generale che possono essere interessanti per la Sicurezza. Ne prenderemo in esame alcuni che meritano uno specifico commento:

- a) *Attenzione*: classicamente in psicologia si distinguono un'*attenzione spontanea o riflessa* e un'*attenzione volontaria o conativa*, intendendosi per la prima quella attenzione che spontaneamente si attiva quando, per esempio, si assiste alla proiezione di un film di particolare interesse e che soprattutto risulti coinvolgente sul piano emotivo; per la seconda, invece, quel tipo di attenzione che si esercita volontariamente e quindi anche coscientemente e con sforzo, assente invece nella prima, quando si studia un argomento su un testo, o si assiste ad una conferenza o ad una lezione.

Qualunque elemento possa ridurre, o inficiare, uno o entrambi i tipi di attenzione, ma soprattutto l'attenzione volontaria, deve essere seriamente preso in considerazione ai fini della sicurezza (sonno, stanchezza psicofisica, monotonia del lavoro, noia, condizioni psicofisiche, uso e abuso di sostanze).

- b) *Percezione*: Nel linguaggio comune *sensazione* e *percezione* sono sinonimi, mentre in realtà, se la *sensazione* è un processo elementare legato all'attività sensitiva del sistema nervoso centrale e deve intendersi come conoscenza, o identificazione primaria di un contenuto psichico, provocata da fenomeni del mondo esterno che stimolano particolari organi sensoriali, come *percezione* si

intende invece una funzione psichica complessa, costituita da sensazioni ed elementi dell'esperienza passata, di cui causa e contenuto vengono localizzati nello spazio permettendo la registrazione di oggetti del mondo esterno. Per esempio, vedere la bianchezza della carta, sentire al tatto la levigatezza della sua superficie e la sottigliezza dello spessore (qualità sensibili) è una sensazione; riunire queste qualità, vedere ed identificare un foglio di carta bianca di un quaderno (un oggetto) è una percezione; percezione che può essere neutra, ma anche assumere i connotati di piacevolezza, o spiacevolezza, addirittura evocare emozioni, ricordi di percezioni simili, ad essa concatenate, in ultimo costituire la base per interpretazioni della realtà circostante, o interiore.

Per chi sia interessato e voglia saperne di più sull'argomento si consiglia la lettura di "Alla ricerca del tempo perduto" di Marcel Proust.

Vari fattori influenzano, già nella normalità, le sensazioni e le percezioni, quali per esempio lo stato psichico globale, ed in particolare quello affettivo: per esempio il timore di una possibile conseguenza di una percezione, distoglie e allontana dalla percezione stessa (un medico che visita un suo familiare, o una persona alla quale è particolarmente legato, omette inspiegabilmente di percepire, e quindi valutare, i sintomi evidenti di una grave malattia); come una "situazione di attesa" facilita la percezione di determinati stimoli rispetto ad altri (in finestra, in ansiosa attesa di una persona che tarda, sono certo di vedere ed identificare la fisionomia della persona, in un puntino che lentamente si avvicina). Così come attitudini personali, o acquisite, influenzano anche esse le percezioni, per esempio individui con spiccate capacità nella percezione delle forme, o dei colori, ma anche l'esperienza e l'abitudine sono capaci di influire sulle percezioni stesse: un esperto conducente, rispetto ad uno che non lo sia, è molto più capace di valutare con precisione la distanza e la velocità di un altro veicolo.

Da non trascurare in questo ambito sono anche le caratteristiche di personalità individuali. Gli insicuri, per esempio, sono portati ad accorciare la corretta valutazione delle distanze tra se stessi e gli oggetti.

Senza volere entrare nello specifico di stretta competenza specialistica, si vuole qui accennare che vi possono essere anomalie delle percezioni sia sotto forma di disturbi quantitativi (esagerazione dei caratteri sensoriali, amplificazione dei rumori, oppure minorazione delle sensazioni gustative, olfattive), sia di disturbi qualitativi (alterazione nella percezione dei colori, dei contorni, delle distanze). Ma ancora più grave è il *falsamento delle percezioni* nella forma di illusioni ed allucinazioni.

E' evidente che gli stessi fattori che agiscono negativamente sull'attenzione, possono agire altrettanto negativamente sulla percezione.

- c) *Memoria*: Esistono varie suddivisioni e classificazioni della funzione memoria, ma per il discorso che ci interessa da vicino, possiamo schematicamente distinguere la memoria in *memoria a breve termine* e *memoria a lungo termine*.

La prima è una memoria prettamente operativa ed è quella che ci permette di ricordare dove abbiamo parcheggiato l'auto, dove abbiamo posato le chiavi o i nostri occhiali, per quale motivo ci siamo recati in quella stanza della nostra ca-

sa. Questo ricordo svanisce nel momento stesso in cui non è più necessario, mentre la seconda – a lungo termine - è quella che ci permette di ricordare avvenimenti e persone di un passato remoto, i nostri compagni di scuola e la nostra stessa cultura.

La memoria è una delle funzioni psichiche più delicate e vulnerabili e può essere negativamente influenzata da un gran numero di fattori, quali per esempio perdita di sonno, o sonno qualitativamente insoddisfacente, stati di ansia, o di depressione, stress psicofisico, uso ed abuso di sostanze psicotrope.

Tutti questi fattori interferiscono negativamente soprattutto sulla memoria a breve termine, che è poi quella maggiormente interessata nel nostro discorso sulla sicurezza.

- d) *Sonno*: disturbi del sonno, genericamente accomunati sotto il termine onnicomprensivo di *insonnia* sono fortemente responsabili di incidenti sul lavoro. E' da rilevare che per *insonnia* non s'intende tanto un numero insufficiente di ore di sonno rispetto ad uno standard molto variabile, quanto piuttosto un sonno, indipendentemente dalla durata, insoddisfacente sul piano soggettivo e che si esplica nelle forme di *insonnia iniziale*, *lacunare* e *terminale*.

Per *insonnia iniziale* si intende una difficoltà nell'addormentamento, nel prendere sonno.

Molto comune e frequente è il caso di soggetti che si addormentano facilmente e spontaneamente davanti al televisore, ma che, dirigendosi verso il letto, perdono ogni capacità di addormentarsi al contatto con questo, in preda alla paura di non riuscire a dormire.

L'*insonnia lacunare*, invece, è caratterizzata da facilità nell'addormentamento, ma da frequenti e tormentosi risvegli durante il sonno.

L'*insonnia terminale* è invece, come dice il nome stesso, caratterizzata da risvegli precoci, nel cuore della notte, prima dell'ora prefissata e dall'incapacità di riprendere sonno. Questi risvegli sono particolarmente angosciosi.

Sul piano clinico, mentre l'*insonnia iniziale* è caratteristica di uno stato d'ansia, la *lacunare* e la *terminale*, spesso associate, sono specifiche e patognomiche della depressione.

Sul piano funzionale, e per quanto ci riguarda rispetto al discorso in tema di sicurezza, gli ultimi due tipi di *insonnia* sono particolarmente temibili e pericolosi, creando nel paziente rapidamente un subdolo e misconosciuto calo dell'attenzione, della vigilanza, delle prestazioni, della capacità di ragionamento, della capacità di prendere decisioni rapide e logiche.

- e) *Noia*: spesso provocata dalla monotonia e ripetitività del lavoro, può essere, anzi è spessissimo responsabile di deficit d'attenzione e concentrazione, difficilmente percepiti dallo stesso soggetto che ne è vittima. Spesso si maschera sotto le menzite spoglie di stanchezza psichica.
- f) *Comfort degli ambienti e condizioni di lavoro*: condizioni di scarso comfort degli ambienti (rumore, vibrazioni, illuminazione, microclima, igiene, qualità

dell'aria) e delle condizioni lavorative (posizione ergonomica, criteri e metodi di lavoro, turni di lavoro, procedure di lavoro) creano, evidentemente, degli stati di disagio personale, che si ripercuotono negativamente sulle funzioni fisiche e psichiche importanti e fondamentali in tema di sicurezza.

- g) *Capacità di concentrazione, attitudine alla continuità lavorativa e applicativa:* sono doti e caratteristiche assolutamente personali ed individuali, elementi importanti nella struttura di personalità, estremamente variabili tra i singoli individui e che influiscono grandemente sul fattore sicurezza.

Un individuo che in psichiatria si diagnosticherebbe come *ossessivo* e attentissimo all'ordine del suo mondo circostante, al limite del disturbante per gli altri, può essere un ottimo esecutore, se applicato a lavori di precisione, mentre un soggetto estroverso e disordinato, si esprime meglio in attività ove sia richiesto un estro creativo e capacità di soluzioni insolite. Sarebbe indispensabile tenerne conto nell'attribuzione di ruoli lavorativi che richiedono un alto livello di garanzia di sicurezza.

- h) *Sicurezza-insicurezza personali, capacità decisionale:* un discorso separato e specifico meritano questi fattori, che possono, anche essi, essere considerati in parte come doti ed attitudini personali e di personalità, congenite e presenti nel soggetto dall'origine, ma anche come caratteristiche, in parte acquisite e modificate dall'esperienza e dalla competenza formatasi nel tempo.

Se vi è infatti, ed è rilevabile, una generica attitudine alla sicurezza in noi stessi, o viceversa all'insicurezza, presente ed evidenziabile fin dalla infanzia, è pur vero che sulla base di quest'attitudine possono svilupparsi sicurezze, pseudosicurezze, o insicurezze, in conseguenza ed in funzione di esperienze acquisite nel corso del tempo.

Questi fattori caratteriali congeniti e quelli di sviluppo successivo di personalità giocano un ruolo importante nel nostro discorso specifico.

E' infatti constatazione comune presso i medici, per esempio, che gli errori professionali più frequenti per *imprudenza e negligenza*, non naturalmente per *imperizia*, sono compiuti dai medici più esperti e quindi più sicuri di sé, in funzione di quest'esperienza; tali medici, proprio in virtù di queste sicurezze acquisite in campo professionale, trascurano spesso delle elementari norme di prudenza, di controllo e di autocontrollo, di dubbio metodologico, con conseguente verifica, indispensabili nell'esercizio della professione.

In questo caso si tratta evidentemente di *sicurezza acquisita*.

Completamente diverso è naturalmente il caso di una tendenza di carattere ad una sicurezza in se stessi, congenita e non acquisita, non maturata nel corso degli anni. In questa circostanza si corre il rischio grave di sopravvalutare le proprie attitudini, conoscenze e prerogative con il pericolo di errori per *imperizia, imprudenza e negligenza*, soprattutto è ovvio, per *imprudenza*.

- i) *Condizione di salute in generale:* è evidente come le condizioni di salute in generale, anche se non legate a patologie gravi, tanto da inficiare o impedire la ca-

pacità lavorativa, possono influenzare grandemente e gravemente la sicurezza sul lavoro, agendo soprattutto sull'attenzione, sulla capacità di concentrazione sull'applicazione continuativa alla attività lavorativa.

Si citano solo a titolo esemplificativo patologie considerate minori, erroneamente, almeno dal punto di vista che ci riguarda e che, come tali, non distolgono dal lavoro, ma sono capaci di provocare, inavvertitamente e subdolamente, severi deficit nelle prestazioni: sindromi influenzali febbrili e non, cefalea muscolotensiva, emicrania, sindromi ansiose con le varie somatizzazioni ad esse collegate.

5.3 Errori umani legati a fattori specifici

In questo gruppo vengono presi in considerazione errori umani legati e conseguenti a situazioni non generali, ma specificatamente osservabili in un singolo individuo. E' evidente che in questo gruppo compariranno anche fattori che abbiamo già visti, incontrati e presi in considerazione nel gruppo precedente dei fattori generali:

a) *Motivazione*: è comprensibile come una forte motivazione nel lavoro comporti un livello di attenzione, di accuratezza, di applicazione, che da soli rappresentano un ottimo antidoto al verificarsi di incidenti legati al fattore umano. Al contrario, uno scarso livello di motivazione, una disaffezione al lavoro, una scarsa soddisfazione in questo provocano un pauroso calo di attenzione; addirittura, attraverso un procedimento psicologico complesso, un'inconsapevole e involontaria attitudine a comportamenti avversativi nei confronti del lavoro stesso, a volte addirittura autolesiva, quali, per esempio, il volontario e consapevole mancato rispetto delle norme di sicurezza, con la conseguente possibilità del verificarsi di incidenti assolutamente prevedibili ed evitabili.

b) *Frustrazione lavorativa*: un discorso analogo al precedente può essere fatto e considerato, quando ci si trova di fronte a casi personali di frustrazione lavorativa (lavoro monotono e non gratificante, mancato riconoscimento del proprio valore e delle proprie capacità, per esempio nel caso di una mancata promozione, o di una gratificazione attesa e mancata, collocazione in un'attività lavorativa che noi consideriamo inferiore a quella che si confarebbe alle nostre capacità). Anche in questo caso si possono verificare, più o meno coscientemente, da parte del lavoratore, comportamenti avversativi, di banale negligenza o trascuratezza, da interpretarsi, psicologicamente, come una subdola e non esplicitata protesta verso un'ingiustizia subita.

Sono situazioni assolutamente da non trascurarsi e minimizzare, prima di tutto perché sono più frequenti di quanto non si creda e poi perché, in personalità predisposte, possono condurre a dei veri e propri sviluppi di un delirio paranoico di persecuzione, che evolvendosi per anni silenziosamente, può esplodere all'improvviso, con conseguenze spesso drammatiche ma prevedibili, se si mostra sufficiente attenzione a certi segni premonitori.

- c) *Avversione specifica verso colleghi e superiori, o problematiche di rapporto con loro*: strettamente collegate al discorso precedente, rientrano in questo ambito, tutte le problematiche personali di rapporto con i superiori ed i colleghi, che risultano fortemente condizionanti attraverso vari e complessi meccanismi psicologici di ostilità, di invidia, di mancato riconoscimento dell'autorità, di rivalsa, di squalificazione, che con facilità creano il clima favorevole al verificarsi di incidenti, a causa di disattenzione, o di attenzione specifica a fattori che esulano dall'ambito lavorativo.

Basti pensare, a questo proposito, all'attenzione che in tutti gli ambienti di lavoro viene prestata dai lavoratori ai rapporti personali tra loro, non sempre idilliaci e che sono alla base di rivalità, ostilità personali, atteggiamenti avversativi, che si riflettono in modo assolutamente negativo sul lavoro stesso, ma ancor più e più pericolosamente, sulla sicurezza interna.

- d) *Preoccupazioni inerenti alla sfera personale, familiare, economica*: si tratta di una voce che non richiede grandi commenti. Risulta evidente, infatti, come preoccupazioni ed angosce che interessano la sfera personale in senso lato, familiare ed economica, possano influire grandemente sulla sicurezza lavorativa.

Tali preoccupazioni possono invadere, infatti, volontariamente (idee prevalenti), o involontariamente (pensieri ossessivi) il campo di coscienza del lavoratore, compromettendone gravemente l'efficienza nell'applicazione delle norme di sicurezza.

Si intende per *idea prevalente* un'idea, un pensiero che occupa totalmente, o prevalentemente, il campo di coscienza, in piena volontà del soggetto; si tratta per esempio di un'idea prevalente, quando, innamorati di una persona, la nostra mente è costantemente occupata dal pensiero di lei, o viceversa quando una preoccupazione occupa costantemente il nostro pensiero in maniera spiacevole.

L'*idea ossessiva*, invece, occupa costantemente la nostra mente, ma contro la nostra volontà. Spesso si tratta di idee sciocche, assurde, disturbanti che si insinuano nel nostro pensiero occupandolo totalmente e loro caratteristica è l'assoluta impossibilità di essere allontanate con un atto di volontà, e - anzi - quanto più ci si accanisce contro di loro, tanto più si fanno invasive. Si parla apposta di *pensieri parassiti*, ai quali chi ne è affetto oppone invano uno *psichismo di difesa*.

Chi è, purtroppo, invaso e pervaso da dette preoccupazioni, sia sotto forma di idee prevalenti, o ancor peggio, di idee ossessive, molto più pericolose e disturbanti, pur credendo, in buona coscienza, di compiere il proprio lavoro in piena consapevolezza e attenzione, in realtà si affida alla ripetitività di gesti automatici ed acquisiti, mentre la sua attenzione cosciente è occupata dalle sue preoccupazioni, con grave decremento della sicurezza.

- e) *Patologie fisiche e psichiche, disturbi di personalità*: per quanto riguarda le patologie fisiche si può far riferimento a quanto detto, riguardo a queste, nel Paragrafo 5.2, mentre un discorso a parte meritano le patologie psichiche e i disturbi di personalità.

La più grave tra le patologie psichiche, la schizofrenia, in genere inficia la capacità lavorativa, specialmente negli stadi conclamati della sua evoluzione. Tuttavia vi sono forme della malattia, ad esordio non acuto, ma subdolo e strisciante, di difficile diagnosi precoce, che permettono al paziente di svolgere ancora un'attività di lavoro, seppure in condizioni psichiche alterate e quindi di compromessa sicurezza, dominate come sono dalla sintomatologia patologica.

Si cita il caso di un paziente il quale, in occasione della sua prima visita, da lui stesso richiesta peraltro, confessò con consapevole preoccupazione, essendo il guardiano di un passaggio a livello, che "le voci" gli comandavano di lasciare le sbarre alzate e che egli, pur consapevole della gravità dei rischi, non riusciva ad opporsi agli imperativi delle "voci". Pensiamo anche alla schizofrenia come una malattia non acuta, ma cronica, eventualmente con episodi di acuzie in seno ad essa, a lenta evoluzione, purtroppo spesso in senso peggiorativo.

Dobbiamo necessariamente anche pensare che il quadro clinico, la sintomatologia e l'evoluzione della schizofrenia è totalmente e radicalmente cambiato da quando - nel 1952 - sono stati per la prima volta introdotti in terapia gli psicofarmaci, da molti così contestati, o misconosciuti, ma tali che se Emil Kraepelin li avesse avuti a disposizione non avrebbe denominato, quella che oggi chiamiamo schizofrenia, *dementia praecox*, ad indicare la precoce evoluzione verso la demenza.

Oggi è, fortunatamente, sempre più frequente il caso di pazienti schizofrenici che, assumendo costantemente una terapia farmacologica, sono in grado di svolgere un'attività lavorativa. E' evidente il problema di sicurezza che tali pazienti comportano per se stessi e per gli altri.

Senza arrivare a questi estremi di patologia psichica però, è frequente il caso di pazienti affetti da una patologia molto più comune e diffusa, la depressione, i quali seppure con sforzo notevole continuano a lavorare.

In questi casi, la depressione, patologia della sfera affettiva, inficia, però, la capacità e la lucidità di giudizio, la capacità di prendere decisioni e di metterle in pratica, la capacità d'attenzione e d'applicazione continuativa.

Per comprendere questo, è necessario però spendere qualche parola a proposito della depressione, di cui molto si parla, ma spesso non correttamente.

Quando si pensa alla depressione, infatti, corrono alla mente immagini di pazienti immobilizzati al letto, piangenti disperatamente, che non si alimentano, impossibilitati a relazionarsi con gli altri e quindi incapaci di ogni attività lavorativa.

Se questo è vero, purtroppo, e riguarda i casi più gravi della patologia depressiva, vero è anche che esistono, e sono i più diffusi, casi di depressione più lieve o meno grave, a volte, anzi spesso neppure riconosciuta e ignorata dallo stesso paziente, il quale si trascina per anni in un doloroso e stentato stile di vita, cercando di adempiere a tutti i suoi doveri, tra i quali naturalmente quello lavorativo, con una fatica sovrumana e impossibilitato a godere di alcun piacere della vita.

Un dolorosissimo stile di vita, nel quale ogni giornata che viene affrontata con enorme fatica, rappresenta un atto di eroismo per il paziente stesso.

Sono questi i casi in cui il paziente depresso continua la sua attività lavorativa, ma con un forte decremento della sua capacità attentiva, di concentrazione, di applicazione prolungata, ma soprattutto della capacità di prendere decisioni e di assumersi le conseguenti responsabilità.

Ancora più particolare è il caso della “psicosi maniaco-depressiva”, in cui, nel paziente che ne è affetto, si alternano e si susseguono periodi, anche lunghi, di completo benessere psichico, fasi di depressione e fasi di eccitamento maniacale, o euforia.

Per le fasi depressive vale quanto detto in precedenza, mentre per le fasi ipomaniacali e maniacali, o euforiche che dir si voglia, dobbiamo purtroppo constatare che sono completamente abolite, o grandemente scemate, le capacità di giudizio critico, di percezione del pericolo e del rischio, con una totale sopravvalutazione di se stesso e delle proprie capacità e sottovalutazione dei rischi e degli ostacoli. A tale riguardo è necessario porre attenzione al fatto che sono più temibili e pericolose le fasi ipomaniacali, rispetto a quelle francamente ed evidentemente maniacali, in quanto le prime, certamente meno gravi, risultano per questo meno evidenti e rilevabili da chi non è esperto e quindi più problematiche sul piano della sicurezza.

5.4 Errori umani legati all'uso di sostanze psicotrope

Questo terzo gruppo di errori non dovrebbe neppure essere preso in considerazione, in quanto si occupa di errori umani legati e conseguenti all'uso ed abuso di sostanze, con specifico riferimento a sostanze psicotrope (alcol, droghe, psicofarmaci).

Si tratta quindi di errori umani previsti e prevedibili e conseguenti ad un atto volontario da parte dei soggetti interessati, sui quali ricade intera la responsabilità morale e materiale degli eventuali incidenti.

Discorso a parte meritano naturalmente gli psicofarmaci che, se nell'immaginario collettivo sono spesso demonizzati ed assimilati alle droghe, hanno invece una struttura, un'azione ed una finalità totalmente diversa.

Gli psicofarmaci, semplificando enormemente, agiscono su un sistema nervoso alterato, cercando di riportarlo alla normalità. Le droghe, all'opposto, agiscono su un sistema nervoso sano e normale, allontanandolo da questa salute e normalità. Due percorsi, quindi, diametralmente opposti ed antitetici.

Tutte le droghe, alcol in primis, sono responsabili di alterazioni in negativo del sistema nervoso, con grave compromissione delle sue funzioni.

Risulta evidente, quindi, che non necessariamente l'abuso di queste sostanze, ma già solamente il semplice uso, alterando in misura diversa, quantitativamente, ma soprattutto qualitativamente, le funzioni del sistema nervoso (attenzione, memoria, capacità di concentrazione, senso-percezioni, capacità critica e di giudizio), si rende responsabile di prevedibili quanto probabili incidenti.

Il discorso è sensibilmente diverso per quanto riguarda gli psicofarmaci, quando vi è uso e non abuso, come purtroppo spesso accade, per auto-prescrizione, o prescrizione impropria, da parte di soggetti non sufficientemente qualificati.

Gli psicofarmaci, infatti, siano essi le comuni benzodiazepine, ansiolitiche ed ipnotiche, gli antidepressivi, gli antipsicotici, possono tutti ridurre, in misura maggiore, o minore, a seconda anche dei dosaggi, la vigilanza e la capacità attentiva, anche senza che il soggetto ne sia consapevole, rallentando soprattutto i tempi di reazione agli stimoli. Ne scaturisce, quindi, come ovvia conseguenza, la responsabilità di cui il singolo individuo si fa carico, assumendo questi farmaci e svolgendo attività lavorative delicate.

5.5 Il fattore umano nei sistemi tecnici produttivi

La realizzazione di idonee condizioni di sicurezza in un sistema produttivo si fonda sull'attenta considerazione delle tre componenti fondamentali che lo caratterizzano (le risorse produttive, l'uomo, l'ambiente) e della reciproca interazione fra queste. L'insufficiente valutazione di ciascuno degli elementi considerati, e/o una disarmonia tra di essi, comporta un abbassamento dell'affidabilità complessiva del sistema.

Abitualmente, però, il problema di attuare idonee condizioni di sicurezza viene ricondotto, soprattutto, al mantenimento e al controllo delle risorse produttive materiali (le macchine, gli impianti ecc.). Una minore attenzione viene posta al ruolo che l'ambiente (sia interno, sia esterno) può giocare; decisamente minore considerazione, poi, si ha per il fattore umano. Anche le disarmonie fra le risorse produttive cui si è fatto cenno, infine, sono fatte oggetto di attenzione soprattutto nelle realtà particolarmente complesse e/o caratterizzate da rischi particolari e rilevanti (nelle quali si ricorre sempre più frequentemente all'adozione di sistemi di gestione per la sicurezza).

L'evoluzione che ha caratterizzato la normativa antinfortunistica in questi ultimi anni (prevalentemente sotto la spinta del recepimento di norme europee) sta determinando il passaggio da un sistema legislativo impositivo, e fondamentalmente basato su una concezione deterministica degli eventi pericolosi, a una concezione di tipo più evoluto, propria dei sistemi di gestione, fondata sull'analisi dei rischi e sulla individuazione di un'organizzazione con ruoli e responsabilità in materia di sicurezza ben definiti. Malgrado ciò, e pur considerando che il numero di infortuni che si verifica nel nostro Paese è in linea con le medie europee, i dati che si registrano appaiono estremamente preoccupanti (circa un milione di infortuni all'anno, di cui circa 14.000 con conseguenze permanenti e 1.200 con conseguenze mortali), anche sul piano economico (i costi diretti e indiretti legati agli infortuni sul lavoro rappresentano circa il 3% del Prodotto Interno Lordo). Né le novità normative a cui si è fatto cenno sembrano avere determinato un sostanziale mutamento di tendenza. Un'analisi più approfondita degli eventi incidentali mostra, peraltro, una crescita di quegli incidenti nei quali la componente attiva dei lavoratori ha un ruolo rilevante. Ciò, come già si è anticipato nel precedente Capitolo 1, è stato comprovato da ricerche molto autorevoli riprese anche di recente, in gran parte riconducibili al lavoro di Heinrich [*Industrial accident prevention: a safety management approach, 1980*]. Da tali ricerche emerge in modo inequivocabile che l'attività dell'infortunato o di terzi rappresenta il determinante di oltre il 50% degli infortuni; inoltre nel 70% dei casi l'attività

dell'infortunato rappresenta un modulatore "negativo": ossia, quando l'esito dell'infortunio è legato a più fattori, l'attività dell'infortunato costituisce nella maggior parte dei casi un fattore aggravante.

Al di là dell'inevitabile assestamento che l'adeguamento alle nuove disposizioni richiede, va rilevato come parte della responsabilità di questo fenomeno sia ascrivibile all'insufficiente attenzione posta all'elemento umano e all'ambiente con cui esso interagisce. L'uomo, infatti, come già è stato messo in evidenza nei primi paragrafi di questo capitolo, andrebbe riguardato come una particolarissima risorsa produttiva, caratterizzata da una sua affidabilità (ovvero propensione all'errore), per giunta inserito in un contesto che può influenzare i suoi comportamenti. Questo, infatti, esplica un ruolo tutt'altro che secondario poiché rappresenta l'insieme degli elementi che, nella complessità delle loro relazioni, costituiscono il quadro, l'habitat e le condizioni di vita dell'uomo. In altri termini, costituisce "ambiente" tutto ciò che, sotto qualsivoglia profilo, influenza la vita dell'uomo o da questa ne venga influenzato, in un'interazione costante, sia per quanto si riferisce alla sfera fisica, sia per quanto riguarda quella psichica. Tenuto conto, poi, che la complessità dell'ambiente deve combinarsi con le multiformi caratteristiche del fattore umano, risulta che l'affidabilità del binomio uomo - ambiente è praticamente determinata da variabili non facilmente prevedibili.

Il mondo dell'aviazione civile, per motivi che certamente non sfuggono, già da tempo si è preoccupato di studiare approfonditamente il fattore umano, provocando la messa a punto di metodologie e strumenti operativi, sulla cui validità ci si è soffermati in occasione di studi condotti in collaborazione con importanti Compagnie aeree, anche per verificare le possibilità di impiego in altri ambiti produttivi.

5.6 Organizzazioni complesse ed errori

La valutazione del fattore umano porta a considerare le relazioni esistenti tra un gran numero di aspetti, alcuni dei quali assai frequentemente trascurati dai progettisti e dai responsabili delle organizzazioni produttive: aspetti cognitivi, fisiologici, culturali, tecnologici, organizzativi ed ambientali. Attraverso lo studio del fattore umano ci si propone, nella misura in cui si ritiene necessario, di rendere adattabile l'ambiente di lavoro ed i suoi contenuti alle limitate capacità del sistema umano di comunicazione, elaborazione, azione.

Un'organizzazione produttiva, infatti, è caratterizzata da un certo grado di complessità derivante, fra l'altro, dal grande numero di variabili correlate. Ai fini della valutazione del fattore umano, appare indispensabile prendere in considerazione almeno le seguenti, fra le altre [Cacciabue 1999]:

- *caratteristiche culturali ed organizzative*, ovverosia l'insieme dei valori, delle norme ed assunzioni fondamentali, largamente inconsci, che un'organizzazione sviluppa su se stessa, sulla natura dei suoi componenti e sull'ambiente (insieme delle regole non scritte che regolano il comportamento accettabile)

- *caratteristiche dell'ambiente di lavoro*, cioè, in senso molto ampio e generale, l'insieme di tutti i fattori che influenzano l'efficacia e l'affidabilità delle performance in un contesto lavorativo specifico
- *difese, barriere e salvaguardie*, cioè le misure sviluppate dall'organizzazione per creare sensibilità, attenzione, protezione, riparo, contenimento e vie di fuga da pericoli ed incidenti
- *fattori esterni*, tutti i fattori causali esterni o le contingenze del sistema che influenzano o alterano le condizioni di lavoro e le misure di sicurezza, in modo tale da condizionare comportamenti inadeguati del sistema ed errori
- *fattori personali (interni)*, ovverosia le condizioni fisiche e mentali degli individui che influenzano il comportamento e che sono specifici di ogni individuo.

La tendenza all'automazione, inoltre, rende le organizzazioni produttive molto più complesse e basate su abilità cognitive personali: i sistemi automatizzati, infatti, reagiscono secondo criteri propri del progettista, non sempre conosciuti ai più. D'altra parte, l'incremento dell'affidabilità dei sistemi produttivi, tende a ridurre i guasti propri dell'hardware ed a mettere in maggiore risalto quelli dell'uomo (errori).

L'errore umano può essere riguardato come il fallimento nel raggiungimento di obiettivi desiderati di azioni pianificate, senza l'intervento di eventi esterni imprevedibili. Una prima e più semplice classificazione degli errori adottata nel mondo della produzione porta a considerare i seguenti [Cacciabue 1980, Ireson 1966]:

- *disattenzioni*, associate con mancanze di attenzione o percezione e verificate in azioni osservabili non appropriate
- *errori di modesta entità*, eventi cognitivi che normalmente coinvolgono una mancanza di memoria
- *errori*, eventi ad un elevato livello cognitivo, che coinvolgono un processo che dipende dalle informazioni percepite, dalla pianificazione, dal giudizio che si forma e dalla formulazione conseguente delle intenzioni
- *violazioni*, ovverosia deviazioni dalle pratiche operative, dagli standards o dalle regole di sicurezza.

In relazione al comportamento umano nelle situazioni lavorative, inoltre, è possibile individuare almeno tre modi operativi ben identificati, suscettibili di essere posti in relazione con le più frequenti tipologie di errore atteso (Tabella 5.1):

- *livello di comportamento basato sulle capacità manuali (comportamento esecutivo)*: si tratta di un livello operativo in corrispondenza del quale si verificano compiti ripetuti molto frequentemente, messi in atto in maniera automatica
- *livello di comportamento basato sulle regole (comportamento operativo o di controllo dell'esecuzione)*: è questo un livello operativo caratterizzato dall'applicazione cosciente di regole e conoscenze acquisite e che richiede l'implementazione di comportamenti e procedure pre-programmate
- *livello di comportamento basato sulle conoscenze (comportamento gestionale)*: in corrispondenza di questo comportamento ci si attende l'applicazione di principi di base e di regolamenti complessi per sviluppare soluzioni e pianificare azioni

anche di fronte a situazioni completamente nuove, senza referenza e passate esperienze.

Tabella 5.1 Correlazione comportamenti-errori.

| errore comportamento | disattenzioni | errori di modesta entità | errori | | violazioni | |
|-----------------------------|---------------|--------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|--------------|
| | | | dovuti a regole | dovuti a conoscenze | legate a situazioni | fondamentali |
| esecutivo | | | | | | |
| operativo | | | | | | |
| gestionale | | | | | | |

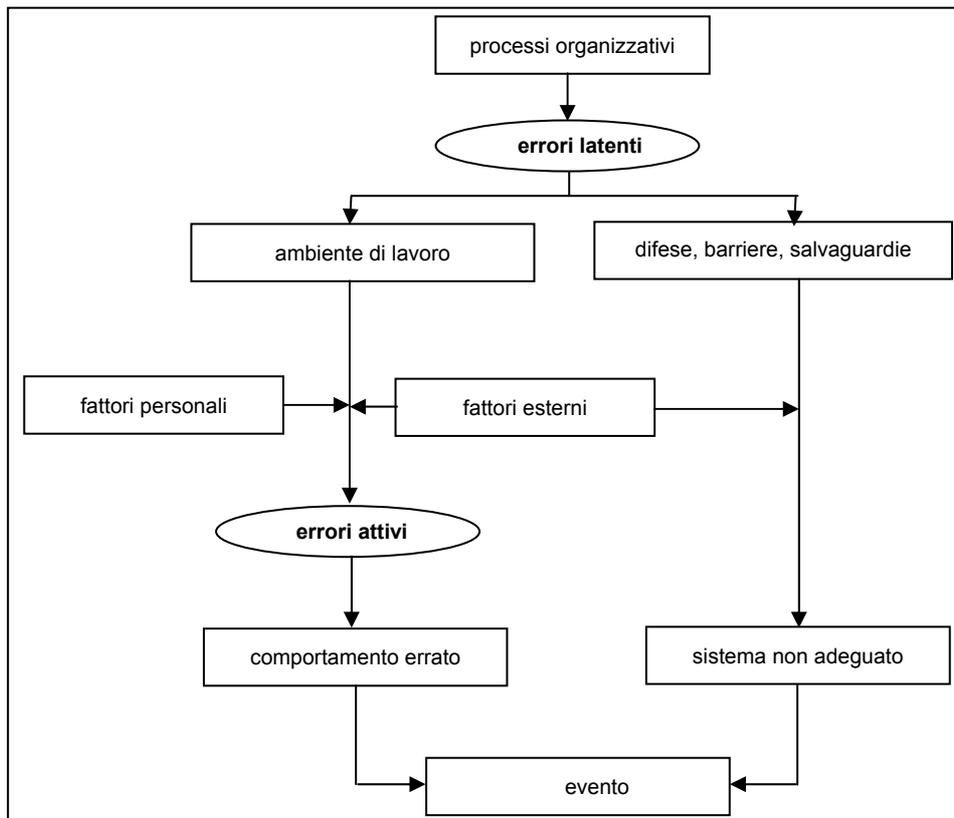


Figura 5.1 Analisi causale degli incidenti dovuti ad errore.

Un'ulteriore classificazione degli errori, utile soprattutto ai fini di un'analisi causale degli incidenti conseguenti (Figura 5.1), è quella seguente [Cacciabue 1980]:

- *errori attivi*, ovverosia errori commessi da operatori di linea, immediatamente visibili nell'evoluzione di un incidente e risultanti da inefficienze e/o da altre cause legate ad errori latenti
- *errori latenti*, ovverosia quegli errori di non agevole individuazione commessi ad alto livello organizzativo, inevitabilmente *distanti* dal processo attivo, caratterizzati da significativa complessità e generalmente riconducibili al sistema inteso nella sua interezza.

5.7 Error management e comportamento umano

La classificazione degli errori, come si anticipava, appare assai utile ove si voglia valutare l'importanza assunta dagli errori nell'evoluzione di fenomeni infortunistici, che in taluni sistemi produttivi ha indotto a considerare una teoria generale relativa alla loro gestione (error management). Questa può considerarsi come l'insieme delle metodologie sviluppate per ridurre il numero degli errori e/o per controllarne le conseguenze, mediante misure ingegneristiche che rafforzano la *risposta tecnologica* agli errori, ovvero mediante l'implementazione di misure non strettamente tecniche, tendenti a migliorare la *resistenza* dell'organizzazione agli errori. Appropriate metodologie di gestione degli errori, infatti, come dimostra la pur recente esperienza nel mondo dell'aviazione civile a cui si fa cenno più avanti, permettono ad un'organizzazione di essere - costantemente ed in modo più esaustivo - a conoscenza del proprio stato di sicurezza, così da identificare e valutare le aree critiche attraverso test e audit applicabili in tempo reale, come già avviene in altri e più noti sistemi di gestione.

Il punto di partenza per sviluppare le metodologie dell'error management è riconducibile alla definizione di appropriate architetture rappresentative tanto delle risorse umane, quanto delle risorse produttive, nonché alla valutazione delle interazioni possibili fra esse.

La problematica relativa alla definizione schematica di una macchina a fini antinfortunistici è stata ampiamente affrontata e valutata, sia in ambito normativo, sia nell'ambito della letteratura tecnico-scientifica. Tali considerazioni hanno portato all'individuazione dei seguenti elementi schematici principali:

- *sistema di comando*
 - segnaletica, visualizzatori, avvertimenti
 - dispositivi di comando
 - comandi manuali
 - attuatori
 - immagazzinamento ed elaborazione dati (logica/analogica)
 - sensori, dispositivi di sicurezza
 - organi di comando della potenza
- *sistema operativo*
 - azionatori della macchina
 - organi di trasmissione
 - organi lavoratori

- protezioni

Ciascuno degli elementi considerato nel precedente elenco è in relazione con gli altri e, soprattutto, nello schema generale della macchina appare possibile individuare un certo numero di interfacce operatore – macchina, indispensabile ai fini delle valutazioni antinfortunistiche che si possono effettuare.

Le considerazioni sull'architettura della risorsa umana sono, altresì, assai meno frequenti in letteratura. Tale teorizzazione, malgrado ciò, appare indispensabile nella progettazione e nella gestione di un moderno sistema produttivo, anche alla luce dei moderni orientamenti in termini di automazione e di automazione flessibile. Un utile schema per la rappresentazione del modello umano è quella che si propone nella Figura 5.2.

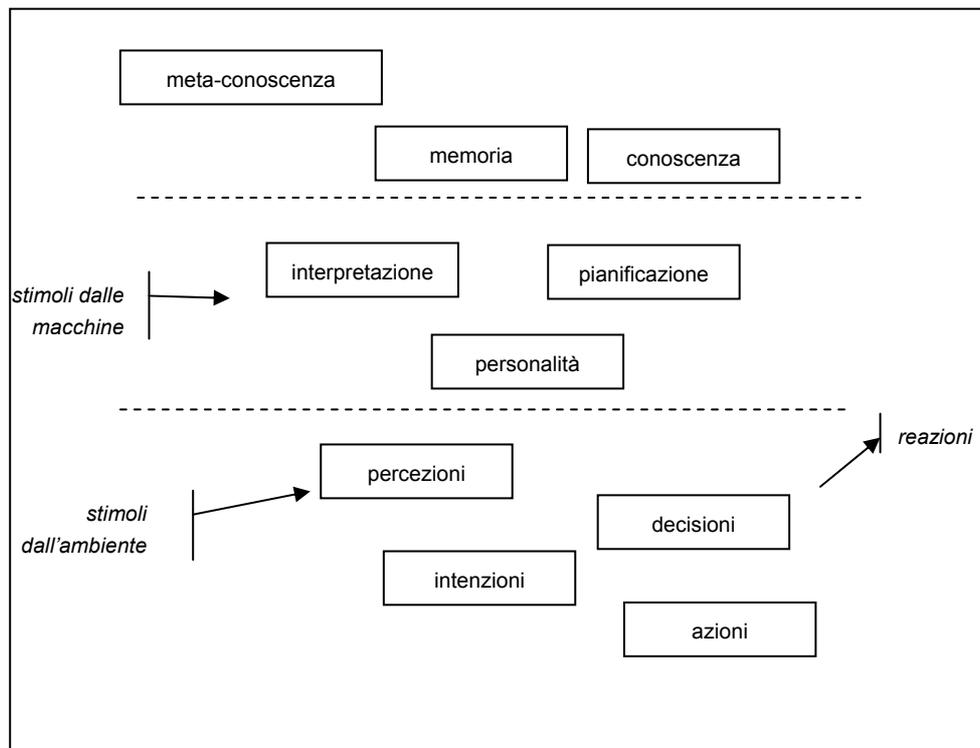


Figura 5.2 Modello umano semplificato.

Al di là dell'approfondimento dei singoli aspetti in esso presenti (*funzioni e processi cognitivi*) e per il quale si rinvia alle discipline a ciò preposte, appare assai utile, in considerazione dei ragionamenti che si faranno, avere ben presente che la risorsa

produttiva umana appare come un insieme numeroso di funzioni, tutte importanti ai fini della valutazione della sua fallacia e delle conseguenze che ne possono scaturire.

Il comportamento dell'uomo, dunque, nelle sue linee essenziali si basa essenzialmente su tre parametri: stimoli ricevuti (dall'ambiente e dalle macchine), reazione interna, reazione esterna [Ireson 1966].

Lo stimolo (S) può essere rappresentato da ogni mutamento fisico percepito dall'operatore come tale (un indicatore luminoso lampeggiante, il mancato funzionamento di una macchina dopo che essa è stata avviata, il suono di un allarme ecc.).

La reazione interna dell'operatore (O) è rappresentata, altresì, dalla percezione e dall'integrazione di tutti gli stimoli ricevuti (il ricordo, l'interpretazione, le decisioni ecc., sono tutti esempi validi di reazioni interne dell'operatore).

La reazione esterna attuata dall'operatore (R), infine, è rappresentata dalle azioni effettuate da questi in conseguenza della reazione interna verificatasi ed in risposta agli stimoli ricevuti.

Ogni comportamento umano discende dalla combinazione di questi tre elementi e la sua complessità è determinata dal grande numero di catene S-O-R che si possono verificare e sovrapporre secondo molteplici modalità, per giunta sotto il condizionamento determinato dallo stato psicofisico dell'operatore e dal particolare modello di comunicazione verificatosi.

Lo stato psicofisico dell'operatore, oltre che dipendere, come è naturale, da numerose variabili di carattere personale (pure estremamente importanti), è anche influenzato dalle verifiche effettuate dall'operatore nel suo passato personale sulle conseguenze (C) delle azioni poste in essere a seguito di assegnati stimoli ricevuti (Figura 5.3).

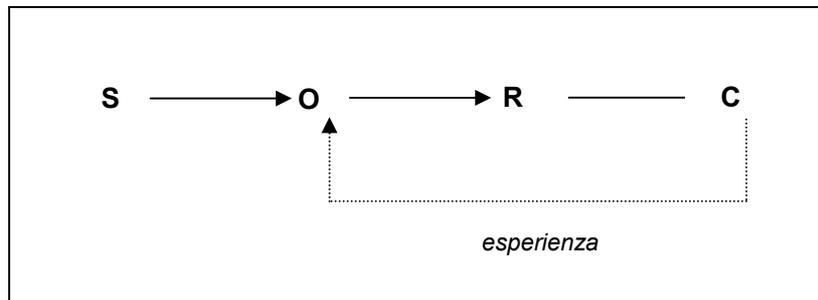


Figura 5.3 Rappresentazione semplificata del comportamento umano.

5.8 Il ruolo della comunicazione nell'error management

Un altro elemento importante da prendere in considerazione riguardo al comportamento dell'operatore, come si anticipava, è rappresentato dalle condizioni di comunicazione verificate. Per queste un utile modello di riferimento è senz'altro quello proposto in Figura 5.4 [Shannon 1948].

Esso, pur nella sua apparente semplicità, pone in evidenza la complessità della comunicazione (alla base di ogni comportamento umano come si è visto) che richiede la considerazione di diversi elementi, ciascuno suscettibile di molteplici considerazioni che hanno portato a sviluppare un'elaborata teoria matematica della comunicazione:

- a) il messaggio
- b) la sorgente del messaggio
- c) il codificatore del messaggio
- d) il canale comunicativo
- e) il decodificatore del messaggio
- f) il ricevitore.

La comunicazione nei sistemi produttivi industriali è caratterizzata da alcune specificità delle quali si deve tenere conto, come la frequente asincronia temporale, l'elevato parallelismo degli atti comunicativi, la distanza fra fonti e destinatari, l'elevata vulnerabilità ecc. A questi fattori di specificità che rendono la comunicazione negli ambienti di lavoro particolarmente critica, si deve aggiungere che non esistono ancora oggi requisiti specifici e regolamentazioni riguardanti lo scambio di informazione non scritta, al contrario di quanto avviene per le forme di comunicazione scritta (per esempio, manuali, procedure, registri ecc.).

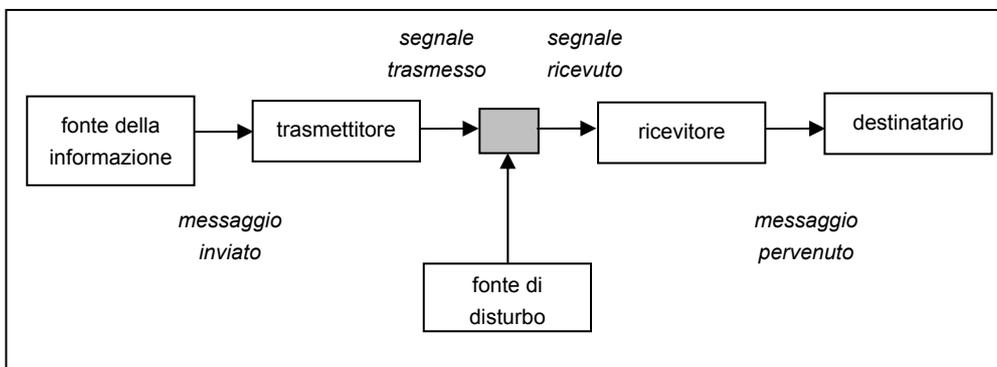


Figura 5.4 Modello di Shannon-Weaver per la comunicazione.

Gli atti comunicativi in un'organizzazione produttiva, essendo atti cognitivi per eccellenza, non rappresentano semplici passaggi di informazioni, bensì *propagazioni del significato*, in corrispondenza delle quali si verificano vere e proprie *negoziazioni della comprensione* tendente a realizzare una comprensione comune (compito particolarmente difficile nel campo della sicurezza).

Nel caratterizzare un atto comunicativo (che può essere orizzontale o verticale), occorre tenere conto di fattori quantitativi e qualitativi. Fra i primi, sembra importante menzionare almeno i seguenti (riconducibili al modello presentato nella Figura 5.4):

- attendibilità del messaggio
- appropriatezza di tempo e di luogo
- mezzo fisico con cui viene trasmesso il messaggio
- modalità di codifica (chiarezza e uso di terminologia specifica)
- adeguatezza del “feedback”
- dinamicità
- irreversibilità
- contesto.

Fra i fattori qualitativi si menzionano i seguenti:

- appropriatezza contestuale
- trasparenza degli obiettivi di comunicazione
- adattabilità situazionale
- esplicito riconoscimento degli ostacoli e delle barriere comunicative
- riconoscimento dell'esistenza di filtri interpretativi.

Ciascuno dei precedenti punti è caratterizzato da un numero non piccolo di contenuti significativi per la valutazione del fattore umano e che, dunque, sarebbe importante considerare nell'impostazione di idonee condizioni di sicurezza di un ambiente di lavoro. La considerazione del fattore umano per la sicurezza, del resto, porta a considerare orientamenti e strumenti che si possono definire innovativi rispetto a quelli più tradizionali, di prevenzione e protezione, così come comunemente questi sono intesi ed applicati. La riduzione ed il controllo (la gestione) degli errori, infatti, richiede l'adozione di *best practices* che, in modo sintetico, sono riconducibili ai seguenti punti:

- definizione di filosofie che facilitino la diffusione e la comprensione della cultura aziendale e dei modelli di sicurezza adottati
- definizione di politiche che rendano trasparenti gli stili di comunicazione accettati in azienda
- definizione di procedure che:
 - discendano dalle filosofie e dalle politiche
 - siano congruenti con i manuali tecnici
 - consentano la valutazione delle performance dell'organizzazione
 - siano in grado di tenere conto, e al limite di recepire, gli elementi della cultura “nascosta” presente nell'organizzazione
- costruzione di un sistema di rapporti degli errori che:

- promuova la cultura della sicurezza
- consenta di imparare dagli errori
- riduca l'impatto degli elementi patogeni eventualmente presenti ed individuati nella cultura aziendale
- aumenti la capacità di previsione sulle potenzialità degli errori
- aumenti la capacità di prevenzione e correzione degli errori
- costruzione di un sistema di informazione per la sicurezza che consenta:
 - audit periodici su procedure e deviazioni
 - momenti di riflessione e discussione sugli errori individuati
- attuazione di percorsi formativi su aspetti non prettamente tecnici anche ai livelli esecutivi e che consenta:
 - analisi periodica delle esigenze formative
 - aggiornamento dei corsi di formazione
 - formazione ricorrente
- trasferimento di esperienze ed informazioni ad istituzioni centrali al fine di:
 - costituire un database strutturato
 - elaborare i dati
 - mettere a disposizione informazioni sintetizzate.

E' evidente che le *best practices* individuate ben si inserirebbero in un sistema di gestione improntato al rispetto di requisiti di sicurezza. L'ultimo punto in particolare richiederebbe il coinvolgimento attivo delle autorità pubbliche oggi interessate (Ispesl, Inail ecc.), già dotate di un'ampia base informativa, prevalentemente orientata, però, agli aspetti tecnici più tradizionali.

5.9 Le metodologie per la valutazione del fattore umano: stato dell'arte e progetti di ricerca

Il settore del trasporto aereo rappresenta, come si diceva nelle premesse, un bacino di esperienze ed informazioni prezioso per il tema che si sta trattando.

L'esistenza di un'ampia normativa sugli aspetti della sicurezza e della manutenzione in campo aeronautico, (Joint Aviation Requirements – JAR), infatti, costituisce certamente un ottimo avvio ed ha permesso di constatare come l'elemento umano venga specificatamente preso in considerazione in diversi punti di essa. Fra le metodologie oggi esistenti ed attualmente adottate da alcune Compagnie, di grande interesse è senza dubbio quella denominata MEDA – Maintenance Error Decision Aid, che si propone come una modalità strutturata di investigazione per l'analisi degli errori, finalizzata ad identificare principalmente:

- i fattori scatenanti gli errori
- le azioni correttive possibili a livello di sistema gestionale per evitare il ricorrere degli errori.

La metodologia MEDA propone uno strumento di investigazione sugli errori basato su appropriata documentazione, utilizzata da un analista addestrato che si preoccupa

pa di intervistare tutti coloro che, ai diversi livelli, possono essere coinvolti, più o meno direttamente, nel verificarsi di un errore. Gli esiti delle interviste sono quindi fatti oggetto di un'elaborazione che consente di trarre conclusioni utili per l'ideazione di azioni correttive.

Tuttavia, malgrado i passi avanti fatti negli ultimi anni, anche in tale ambito l'elemento umano è ancora considerato al pari di tanti altri fattori più tradizionali per il settore [Van Avermaete, Hakkeling 2001]. Non è formalizzata a livello normativo, in sostanza, la gestione degli errori. Da ciò l'esigenza di sviluppare la ricerca specifica cui si è contribuito, ed il significativo numero di progetti di ricerca avviati a livello internazionale per mezzo di associazioni e consorzi di soggetti interessati, parte dei quali è ancora in corso, e parte ha condotto alla messa a punto di specifiche metodologie.

Fra gli altri, si citano i seguenti programmi:

- ADAMS – Aircraft Maintenance and Dispatch Safety (1996), che ha messo in evidenza i seguenti aspetti non positivi principali
 - scarsa qualità della documentazione
 - scarso utilizzo della documentazione
 - conflitto sui ruoli fra tecnici e managers.

Le conclusioni del progetto ADAMS sono state raccolte in un documento [*Human Centered Management for Aircraft Maintenance, 1996*], che fornisce una guida per implementare efficacemente un programma di gestione del fattore umano in un'organizzazione dedita alla manutenzione degli aeromobili.

- STAMINA – Safety Training for the Aircraft Maintenance Industry (1998 – 2000), che ha consentito di sviluppare un percorso di formazione dedicato al fattore umano nel settore della manutenzione aerea, opportunamente strutturato ed articolato in funzione dei destinatari (managers, capitecnici ecc.).
- AMPOS – Aircraft Maintenance Procedure for Optimisation System (1999 – 2001), con l'obiettivo di sviluppare un sistema di gestione delle informazioni relative all'elemento umano, improntato al miglioramento continuo nei campi correlati della manutenzione, della sicurezza e della qualità.

5.10 Conclusioni

La considerazione delle esperienze proprie del settore aeronautico e la valutazione dei programmi e delle metodologie messe a punto in tale ambito, ad alcune delle quali si è fatto cenno, permette di trarre alcune conclusioni che si ricollegano alle premesse:

1. la sicurezza di un sistema produttivo richiede inevitabilmente la considerazione approfondita di tutte le sue componenti essenziali, in particolare dell'elemento umano, non solo da un punto di vista tecnico-ingegneristico, bensì, soprattutto, da un punto di vista medico e psichiatrico
2. la normazione volontaria e cogente in materia di sicurezza industriale ad oggi è fortemente focalizzata sulle risorse materiali (strumenti, macchine ed impianti) e,

- in certa misura, sull'ambiente (tra l'altro prevalentemente considerato in modo fin troppo "scollato" dall'uomo e dalle risorse materiali)
3. l'evoluzione tecnologica non basta a garantire migliori livelli di sicurezza; anzi, semmai pone nuovi problemi in tal senso
 4. le esperienze di *error management* cumulate in ambito aeronautico costituiscono un utile spunto per avviare analoghi progetti in altri ambiti produttivi che, inevitabilmente, dovrebbero coinvolgere soggetti istituzionali di riferimento per la sicurezza e per la gestione delle informazioni in merito
 5. è appena il caso di sottolineare che la cultura della gestione degli errori può avere impatti favorevoli anche in altri ambiti che non siano solamente quelli della sicurezza (per esempio nel campo della qualità e dell'ambiente).

In definitiva, tenuto conto del ruolo fondamentale che l'elemento umano gioca, sia in fase progettuale, sia in fase gestionale, ai fini della sicurezza, appare indispensabile che tale materia venga sistematicamente presa in considerazione.

Allo scopo appare quanto mai opportuna l'adozione di *specifiche procedure* aziendali aventi l'obiettivo di *classificare, individuare, fare emergere, analizzare e trattare in ottica preventiva* gli errori, non solo da un punto di vista tecnico-ingegneristico ma anche, e *soprattutto, da un punto di vista medico-psichiatrico*.

Peraltro, lo sforzo economico per attuare simili procedure appare generalmente contenuto, richiedendo, semmai, soprattutto uno sforzo di tipo culturale. La dimensione ridotta dell'organizzazione produttiva o l'apparente semplicità dei processi produttivi, inoltre, non deve indurre a ritenere di potere soprassedere alla trattazione sistematica di tale aspetto.

Bibliografia

Albino V., Cavallone S., Mummolo G., L'affaticamento dell'uomo nelle fasi di ispezione della produzione: analisi tecnico-economica, *Atti del XVII Convegno Nazionale ANIMP-OICE-UAMI*, Palermo, 1990.

Albino V., Cavallone S., Mummolo G., Analisi dei cicli di affaticamento-riposo del componente uomo in sistemi di produzione automatizzati, *Atti del XVIII Convegno Nazionale ANIMP-OICE-UAMI*, S.Margherita Ligure, 1991.

Albino V., Alto A., Mummolo G., Integrazione dei processi di ingegneria e affidabilità dell'uomo, *Atti del XX Convegno Nazionale ANIMP-OICE-UAMI*, Isola di Capri, 1993.

Bini L., Bazzi T., *Trattato di Psichiatria*, Casa Editrice Dr Francesco Vallardi, 1971.

Blass J.P., *Farmaci e Sistema Nervoso Centrale*, Mc Graw Hill, 2007.

Bleuler E., *Lehrbuch der Psychiatrie*, Julius Springer, Berlin, 1937.

- Blischke W.R., D.N. Prabhakar Murthy, *Reliability*, Wiley & Sons, USA, 2000.
- Bonde J.P., Psychosocial factors at work and risk of depression: a systematic review of the epidemiological evidence, *Occupational Environmental Medicine Journal*, 2008.
- Brown J., Hazlett S., Heinrich H.W., Petersen D., Roos N.R., *Industrial accident prevention: a safety management approach*, McGraw Hill, 1980.
- Cacciabue P.C., *Organizzazioni complesse ed errore umano*, I° corso di formazione in *human factors* per operatori della manutenzione di aeromobili, Ispra, 1999.
- Ireson W.G., *Reliability handbook*, McGraw Hill, USA, 1966.
- Jaspers K., *Psicopatologia generale*, Il Pensiero Scientifico Editore, 1964.
- Kraepelin E., *Trattato di Psichiatria*, Casa Editrice Dr Francesco Vallardi, 1902.
- Magnavita N., Mazzullo D. et al., Critical aspects of the management of "hazardous" health care workers, Consensus document, *Medicina del Lavoro*, 2006.
- Mausner-Dorsch H., Heaton W.W., Psychosocial work environment and depression: epidemiologic assessment of the demand-control model, *Am. J. Public Health*, 2001.
- Mazzullo D., *La depressione*, Edizioni Mediterranee, 2004.
- Shannon C.E., A mathematical theory of communication, *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, July-October 1948.
- Schatzberg A.F., Nemeroff C.B., *Psicofarmacologia*, Centro Scientifico Editore 2005.
- Schneider K., *Psicopatologia Clinica*, Città Nuova Editrice, 1983.
- Simon H., *Models of Man*, John Wiley, 1957.
- Stahl S.M., *Psicofarmacologia Essenziale*, Centro Scientifico Editore, 2002.
- Tanzi E., Lugaro E., *Trattato delle Malattie Mentali*, Società Editrice Libreria, 1914.
- Van Avermaete J.A.G., M.Y.M. Hakkeling, *Maintenance human factors for a European research perspective: results from the Adams projects and related research initiatives*, National Aerospace Laboratory, Amsterdam, February 2001.
- Weitbrecht H.J., *Compendio di Psichiatria*, Piccin Editore, 1970.

Metodologie di analisi dei rischi

*M.Concetti - G.Mercuri

6.1 Introduzione

Il *processo di controllo dei rischi*, inteso come analisi dei rischi, valutazione quantitativa dei rischi e miglioramento continuo della sicurezza, è un processo complesso che necessita della chiara definizione degli elementi che lo caratterizzano e delle relazioni tra questi e le finalità.

Come evidenziato nella Figura 6.1, nell'ambito del processo di controllo dei rischi è possibile identificare tre aree distinte: la prima rappresenta il sistema produttivo che si vuole tenere sotto controllo; la seconda lo schema logico per effettuare l'analisi dei rischi, la valutazione dei rischi e la definizione del programma degli interventi per il miglioramento; la terza evidenzia gli eventi avversi. In particolare, nello schema menzionato è possibile distinguere la logica da adottare per poter mettere in atto, in modo corretto ed efficace ai fini del miglioramento della sicurezza, il processo di controllo dei rischi.

Il sistema tecnico produttivo può essere visto come l'insieme di tre elementi principali: l'*uomo*, l'*ambiente* e le *attrezzature/materiali*. Questi elementi singolarmente e/o le loro interazioni, ovvero l'*organizzazione*, possono o potrebbero essere fonte di pericolo. Da tale visione ne deriva che in ogni sistema produttivo possono essere identificate infinite situazioni pericolose, ognuna delle quali è caratterizzata da uno o più elementi del sistema stesso che interagiscono tra di loro. Ciò significa che attraverso l'analisi del sistema possono essere isolate e identificate le situazioni pericolose

*Il Capitolo è stato redatto in collaborazione con:

Massimo Concetti, Ingegnere, Responsabile tecnico certificazione aziendale del CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione ed esperto in Sicurezza. Collabora con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma.

Giampiero Mercuri, Ingegnere, specializzato in Sicurezza, in metodologie di analisi dei rischi e nella conduzione di ispezioni per la sicurezza. Collabora su tali tematiche con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma e con il CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione.

che saranno oggetto di valutazione. Per facilitare tale analisi, ovvero per individuare tutte le situazioni pericolose, è generalmente necessario ricorrere ad un approccio flessibile e multi-criterio. Conseguentemente, si suggerisce di eseguire l'analisi, ed eventualmente ripeterla anche per verificare la mitigazione effettiva dei rischi:

- definendo la logica di approccio al sistema tecnico:
 - di tipo *induttivo*, ovvero *bottom up*, ovvero seguendo un percorso logico che va dagli eventi base (iniziatori) che, attraverso concatenazioni di eventi e situazioni successive, possono condurre al danno rilevante (top event)
 - di tipo *deduttivo*, ovvero *top-down*, ovvero seguendo il percorso logico che va dal top event che si vuole scongiurare agli eventi base che lo possono provocare
- utilizzando criteri differenti: per processi, per aree, per mansioni, per requisiti legislativi ecc.

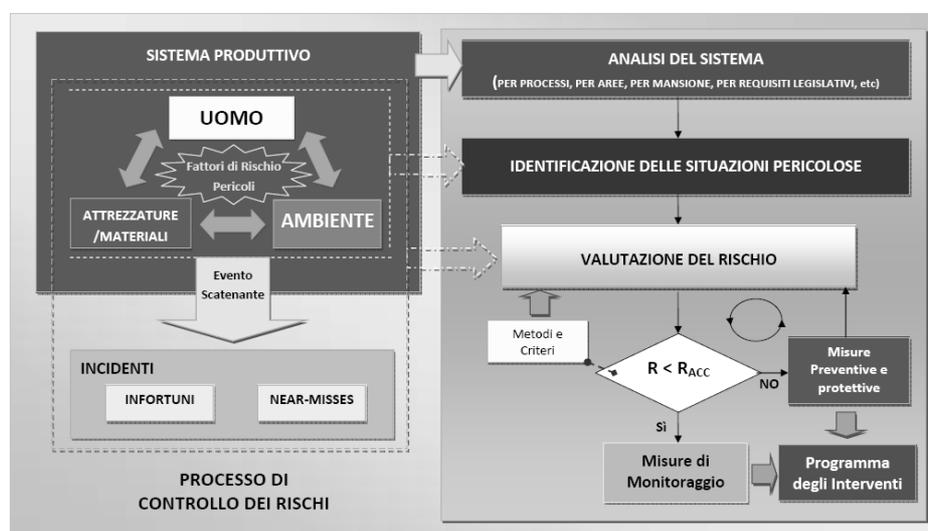


Figura 6.1 Processo di controllo dei rischi.

La fase di analisi, pertanto, richiede la conoscenza del sistema e l'adozione di diversi criteri di indagine; il risultato finale è rappresentato dalla produzione di un elenco di situazioni pericolose alle quali, nella fase successiva di valutazione, si deve associare il corretto valore di rischio.

Le situazioni pericolose sono suscettibili di attribuzione di un valore di rischio solo nel momento in cui si riesce a definire l'evento scatenante che porta al verificarsi dell'evento dannoso (incidente). Infatti, il rischio è per definizione un valore che è funzione della probabilità (P) del verificarsi di un evento dannoso e delle conseguenze/magnitudo (severità del danno, D) che tale evento determina; ne consegue che oltre ad aver identificato la situazione pericolosa è necessario, al fine di poter calcolare

il rischio, associare a questa l'evento dannoso. In termini analitici il *rischio* (R) può essere definito in via del tutto generale:

$$R = f(P, D) \quad (6.1)$$

Pertanto, una volta isolata una ben determinata situazione pericolosa e l'evento dannoso associato, è possibile effettuare la valutazione con l'ausilio di uno dei metodi proposti dalla letteratura tecnico-scientifica e descritti nel presente capitolo. Il metodo o il criterio adottato per l'effettuazione della valutazione del rischio dovrebbe, inoltre, fornire un valore di soglia generalmente indicato come *rischio accettabile* (R_{acc}), il quale segna un confine tra i valori di R per i quali è necessario intervenire con misure di prevenzione e/o di protezione rispetto alla situazione individuata e valori di R per i quali si richiede la messa in atto di idonee misure di monitoraggio e miglioramento. Qualora si debba ricorrere all'adozione di misure aggiuntive, lo schema logico innesca un procedimento iterativo che si conclude solo nel momento in cui le misure individuate siano tali da assicurare che il valore di R sia al di sotto della soglia di accettabilità.

Le misure da adottare per ridurre i rischi e le azioni di monitoraggio e miglioramento costituiscono il cosiddetto programma degli interventi, il quale per un controllo efficace dei rischi, richiede che gli interventi siano organizzati in relazione alle priorità per la sicurezza e aziendali, cioè in relazione alla criticità associata alla misura da adottare (si veda il successivo Capitolo 9).

Sulla base di quanto su esposto è possibile ricostruire la sequenza di passi logici in cui si articola il processo di analisi e valutazione dei rischi:

1. *Scopo*: definizione dello scopo e del campo di applicazione dell'analisi e valutazione dei rischi da effettuare.
2. *Identificazione delle situazioni pericolose*: analisi del sistema produttivo finalizzata all'identificazione delle situazioni pericolose. Per poter identificare in modo sistematico il numero totale di situazioni pericolose, nel sistema produttivo in esame e relativamente allo scopo e campo di applicazione, si suggerisce di ripetere l'analisi adottando criteri diversi, quali: analisi dei dati storici, utilizzo di check list, interviste al personale ecc. Inoltre, al fine di agevolare le fasi successive e di mitigare la soggettività delle valutazioni, è necessario che le situazioni pericolose individuate siano descritte in modo dettagliato relativamente a ciascuno degli elementi che ne entrano a far parte (uomo, ambiente, attrezzature/materiali), alle interazioni tra questi e ai relativi pericoli e fattori di rischio associati.
3. *Valutazione del rischio associato a ciascuna situazione pericolosa individuata e descritta*: selezione del metodo o definizione del criterio da adottare per valutare la singola situazione pericolosa individuata. In particolare, con l'ausilio del metodo/criterio selezionato si stima il valore di rischio R.
4. *Giudizio sul grado di accettabilità*: valutazione del valore del rischio in relazione al valore di soglia accettabile (R_{acc}) previsto dal metodo selezionato o dal criterio adottato.
5. *Definizione delle misure da adottare*: in relazione al valore di R calcolato e al confronto di tale valore con il limite di accettabilità, verranno definite le misure da adottare, che saranno di tipo preventivo e/o protettivo per le situazioni pericolose

rispetto alle quali il valore di R è maggiore di R_{acc} , ovvero di monitoraggio e miglioramento.

6. *Aggiornamento del programma degli interventi*: nel programma degli interventi o di miglioramento della sicurezza vengono riportate in ordine di priorità tutte le misure da adottare. Pertanto, dopo aver effettuato la valutazione di ciascuna situazione pericolosa e averne valutato il grado di accettabilità, il programma verrà aggiornato.

E' bene sottolineare, prima di passare alla disanima puntuale delle metodologie progettuali per l'analisi dei rischi, che quello del controllo dei rischi è un processo che *continuamente* le organizzazioni produttive debbono porre in essere, ovvero aggiornare. Infatti, non solo nuovi rischi e pericoli possono di continuo presentarsi (per l'inserimento di nuove risorse, per il cambiamento di mansione degli addetti, per i cambiamenti di processo produttivo che si possono rendere necessari ecc.), ma si deve anche tenere conto dell'imprescindibile necessità di *verificare continuamente che le tecnologie adottate, fra tutte quelle che la ricerca e il mercato mettono a disposizione, siano le più adeguate ad assicurare l'integrità dei prestatori di lavoro.*

Infine, è anche bene richiamare l'attenzione su quanto già si è anticipato nel Capitolo 1 e si approfondirà nel successivo Capitolo 9 a proposito della relazione esistente fra processo di controllo dei rischi e *attività di ispezione*. Il processo di controllo dei rischi, infatti, rientra nella più generale attività di ispezione per la sicurezza, costituendo di questa la parte più propriamente progettuale, di analisi e di calcolo. La valorizzazione dei rischi, altresì, rientra in un più ampio processo di formazione di un *giudizio professionale*, sulla base di una serie di attività e di esperienze personali (sopralluoghi, interviste, esame di documenti, analisi di dati ecc.), che nel loro insieme si definiscono *ispezione*.

6.2 Classificazione dei metodi

In letteratura esistono diversi metodi finalizzati all'analisi e alla valutazione dei rischi. Esistono diverse classificazioni dei suddetti metodi. Innanzi tutto è possibile distinguere:

- *metodi induttivi*: si analizzano le situazioni (eventi base) che, attraverso diverse possibili concatenazioni di circostanze, possono condurre al verificarsi del danno o dell'incidente
- *metodi deduttivi*: si ipotizza l'evento finale per risalire agli eventi (eventi base) che potrebbero causarlo.

Un'ulteriore classificazione dei metodi è la seguente:

- *metodi quantitativi*: si basano sulla valutazione quantitativa del rischio $R=f(P,D)$ ove la funzione f può assumere una forma anche complessa che tenga conto della maggior parte dei parametri relativi all'insorgere e all'evoluzione dell'evento dannoso. Tali parametri possono essere strettamente legati ai fattori umani, ai materiali, alle macchine, ai processi e all'ambiente. Sono considerati anche altri fat-

tori quali l'estensione del danno, la frequenza e la durata di esposizione, la possibilità di evitare o limitare il danno ecc. Tali metodi sono utilizzati quando si vuole valutare il rischio in modo dettagliato e analitico consentendo la riduzione della soggettività.

- *metodi qualitativi*: non utilizzano espressioni matematiche per valutare i diversi rischi, ovvero utilizzano algoritmi semplici, e permettono di ottenere un giudizio qualitativo della situazione oggetto di analisi. Si utilizzano soprattutto nelle fasi iniziali di una analisi dei rischi per approfondire la conoscenza del sistema tecnico, quando questo risulti particolarmente complesso.
- *metodi semi-quantitativi (o semi-qualitativi)*: si basano su un'analisi quantitativa, ove il rischio è dato da una relazione funzionale del tipo $R = f(P, D)$, ma consentono un approccio leggermente semplificato nella determinazione dei valori dei parametri che intervengono nella valutazione.
- *metodi multi-criterio*: consentono di prendere in considerazione *contemporaneamente* diversi fattori, attraverso la formulazione del problema decisionale in una struttura gerarchica. Permettono di mantenere una visione sintetica della percezione del rischio, senza perdere di rigore quantitativo e senza ridurre i fattori di analisi coinvolti. Essi inoltre permettono di formulare giudizi di rischi particolarmente *omogenei*, rispetto alle diverse situazioni che si analizzano, e rispetto ai diversi fattori che si prendono in considerazione. Un approccio di questo tipo è in grado di assicurare anche grande flessibilità.

6.3 Selezione della metodologia

La selezione della metodologia da adottare per effettuare l'analisi e la valutazione dei rischi associati ad un determinato sistema, e alle relative situazioni pericolose, rappresenta una fase critica dell'intero processo, in quanto esistono diversi metodi più o meno efficaci in relazione allo scopo e al campo di applicazione.

In particolare, per selezionare il metodo più efficace, è necessario tenere conto:

- *delle caratteristiche del sistema oggetto di studio*: potrebbe essere una macchina, un impianto, un cantiere, una determinata attività lavorativa, un reparto, un intero stabilimento di produzione, un'area di stoccaggio di materie pericolose ecc. Inoltre, è necessario considerare se si tratta di un sistema esistente (per esempio analisi e valutazione dei rischi di un impianto di produzione) o di un sistema che deve essere progettato e realizzato (per esempio analisi e valutazione dei rischi di una nuova macchina o di un cantiere). In funzione del tipo di sistema si procederà a effettuare una analisi e valutazione relativa ai rischi residui in senso stretto o dei rischi reali
- *della disponibilità di informazioni e dati*: possono essere un elemento utile per comprendere meglio la natura dei comportamenti del sistema in esame e quale dei metodi può dare risultati migliori. I dati che possono essere di aiuto sono quelli storici (per esempio registri infortuni), quelli forniti da associazioni di categoria o da organi istituzionali, quelli forniti dai costruttori dei componenti, quelli misurati e monitorati in passato, quelli raccolti in precedenti campagne di interviste al per-

sonale, quelli ricavati da precedenti analisi e valutazioni dei rischi sul sistema in esame o su sistemi simili ecc.

- *della disponibilità di metodologie specifiche per il sistema in esame*: la letteratura tecnico-scientifica mette a disposizione degli operatori del settore metodi sviluppati *ad hoc* per determinati sistemi; per esempio nel settore della progettazione e costruzione delle macchine è disponibile una norma tecnica internazionale (UNI EN ISO 14121:2007 “Sicurezza del macchinario. Valutazione del Rischio”)
- *delle competenze del gruppo di valutazione*: influiscono sul grado di confidenza dei risultati ottenuti. In linea di massima se nel gruppo non sono presenti tutte le competenze necessarie, l'utilizzo di un metodo maggiormente schematico, articolato e che preveda un numero superiore di fasi di valutazione può essere più efficace e può consentire di ridurre la soggettività della valutazione.

Tenuto conto della complessità crescente dei sistemi, è preferibile l'utilizzo di più metodologie o di una loro combinazione nell'ambito dello studio di uno stesso sistema. In questo modo si riesce ad aumentare l'efficacia dell'intero processo di analisi e valutazione dei rischi e a effettuare valutazioni più affidabili. In particolare, in alcuni casi è possibile adottare un procedimento per gradi, o meglio effettuare una prima analisi e valutazione utilizzando metodi di tipo qualitativo per poi approfondire l'analisi e la valutazione delle situazioni che appaiono maggiormente critiche con l'ausilio di metodi più sofisticati.

6.4 Metodi di origine normativa

Nella letteratura tecnico-scientifica sono disponibili alcuni metodi di analisi e valutazione dei rischi specifici per determinati sistemi. A titolo di esempio si riportano i riferimenti ad alcune norme nazionali, europee e internazionali che dettagliano una metodologia di analisi e valutazione dei rischi in determinati settori:

- UNI EN ISO 14121-1:2007 - Sicurezza del macchinario - Valutazione del rischio - Parte 1: Principi
- UNI EN 12198-1:2002 - Sicurezza del macchinario - Valutazione e riduzione dei rischi generati dalle radiazioni emesse dal macchinario - Principi generali
- UNI EN 15198:2008 - Metodologia per la valutazione del rischio di apparecchi e componenti non elettrici destinati a essere utilizzati in atmosfere potenzialmente esplosive
- UNI EN 1005-5:2007 - Sicurezza del macchinario - Prestazione fisica umana - Parte 5: Valutazione del rischio connesso alla movimentazione ripetitiva ad alta frequenza
- UNI EN ISO 15265:2005 - Ergonomia dell'ambiente termico - Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro
- UNI EN ISO 17776:2003 - Industrie del petrolio e del gas naturale - Installazioni di produzione in mare - Linee guida relative alle attrezzature e tecniche per l'identificazione dei pericoli e la valutazione dei rischi

- EN ISO 15743:2008 - Ergonomics of the thermal environment - Cold workplaces - Risk assessment and management
- CEN/TR 15584:2007 - Characterisation of sludges - Guide to risk assessment especially in relation to use and disposal of sludges
- CEN/TR 14739:2004 - Scheme for carrying out a risk assessment for flammable refrigerants in case of household refrigerators and freezers
- ISO/TR 14121-2:2007 - Safety of machinery - Risk assessment - Part 2: Practical guidance and examples of methods
- ISO/TS 16732:2005 - Fire safety engineering - Guidance on fire risk assessment
- ISO/TS 14798:2006 - Lifts (elevators), escalators and moving walks - Risk assessment and reduction methodology.

Con riferimento alla norma UNI EN ISO 14121-1:2007 analizziamo il metodo suggerito, di natura semi-quantitativa, per l'analisi e la valutazione dei rischi delle macchine utensili, orientato alle attività e operazioni tipicamente svolte sulle macchine utensili, ovvero:

- il prelievo, la movimentazione e il posizionamento dei pezzi, degli attrezzi ecc. eventualmente con l'ausilio di carrelli e/o carroponti
- la movimentazione, la disposizione e il montaggio sulla macchina degli utensili necessari alla lavorazione specifica
- la registrazione, regolazione e programmazione della macchina utensile
- il comando e governo della macchina, il controllo delle lavorazioni eseguite (visive, strumentali ecc.)
- il riordino della macchina e del posto di lavoro
- la manutenzione.

6.4.1 Modalità di applicazione

Il metodo si articola principalmente in tre passi successivi:

1. identificazione dei fattori di rischio
2. valutazione del rischio
3. selezione delle misure di sicurezza.

L'identificazione dei fattori di rischio ha lo scopo di individuare tutti gli aspetti delle fasi di lavoro che possono essere fonte di pericolo. L'uso di liste di controllo (check-list) può rappresentare un valido ausilio in questa fase, in quanto occorre elencare tutti i potenziali fattori di rischio (per esempio rumore, sostanze pericolose, contatti elettrici ecc.) e analizzarli sistematicamente tenendo in considerazione le questioni più importanti relative alla sicurezza. Le check-list devono essere realizzate considerando tutti i seguenti riferimenti:

- le richieste specifiche della normativa cogente applicabile
- gli standard internazionali di buona tecnica
- la rispondenza al "buon senso" sotto il profilo tecnico-ingegneristico
- gli standard e le leggi specifiche di settore.

Il processo inizia con l'individuazione e l'analisi di tutti i possibili fattori di rischio che scaturiscono dall'uso della macchina. Un valido aiuto, in questa fase conoscitiva, è offerto dall'elenco, non esaustivo, riportato nella norma UNI EN 414:2002 "Sicurezza del macchinario. Regole per la stesura e la redazione di norme di sicurezza", che contiene le principali tipologie di rischio presenti nell'utilizzo di macchine unitamente alle specifiche norme tecniche di riferimento. L'elenco dovrà essere integrato con le indicazioni di eventi e situazioni che, associati a un pericolo, possono essere causa di un danno (per esempio errori umani, inadeguate procedure di lavoro, avaria ai dispositivi di sicurezza, intralcio tra addetti alle operazioni ecc.). In generale, la fase di identificazione dei pericoli deve prevedere:

- l'esecuzione di sopralluoghi presso le stazioni di lavoro, con rilevazioni visive
- l'effettuazione di interviste al personale addetto, al medico competente, al responsabile della sicurezza
- l'analisi dei dati storici sugli infortuni avvenuti in azienda.

Identificati i fattori di rischio connessi con l'utilizzo della macchina, si procede alla fase successiva, ovvero alla valutazione del rischio. La misura del rischio associata a ciascun pericolo è espressa tramite formule del tipo (6.1). L'aspetto più importante, in questo stadio del processo, è l'oggettivazione della misura del rischio, che spesso è affidata a valutazioni meramente qualitative e fortemente dipendenti dalla sensibilità del valutatore. Di conseguenza il primo passo riguarda l'identificazione dei parametri che influenzano la severità del danno (D) e la probabilità di accadimento del danno (P). Il secondo passo consiste nel calcolo di D e P in funzione dei valori assunti dai parametri che li influenzano, mentre, il terzo passo prevede l'identificazione del legame funzionale f che consentirà la stima quantitativa del rischio R .

La severità del danno D è considerata funzione di due parametri:

- *massimo danno prevedibile (DP)*, che misura le conseguenze provocate dall'evento (in termini di effetti temporali dell'infortunio)
- *massima estensione del danno (ED)*, che misura il numero di persone coinvolte.

La valutazione di questi fattori può essere effettuata con l'ausilio di scale semi-quantitative come quelle riportate nella Tabella 6.1.

Tabella 6.1 Scale per la valutazione di DP e ED .

| Massimo infortunio prevedibile | DP | Massima estensione del danno | ED |
|--------------------------------|----|------------------------------|----|
| Fino a 3 giorni di invalidità | 1 | Individuo singolo | 1 |
| Da 4 a 40 giorni di invalidità | 2 | Due o più individui | 2 |
| Oltre 40 giorni di invalidità | 3 | | |

La probabilità di accadimento del danno P è considerata funzione di quattro parametri:

- *frequenza di accesso ai luoghi pericolosi (FA)*
- *tempo di permanenza (TP)*, ovvero il tempo di esposizione al pericolo

- *indice di occorrenza dell'evento che causa il danno (IO)*
- *indice di prevenzione (IP)*, che valuta la possibilità di prevenzione del danno ed è legato al grado di formazione degli addetti, alla idoneità dei dispositivi di protezione individuale e alla possibilità di evitare il danno una volta che l'evento causante si sia manifestato.

La valutazione di questi fattori può essere effettuata con l'ausilio di scale semi-quantitative come quelle riportate nella Tabella 6.2.

Tabella 6.2 Scale per la valutazione di FA, TP, IO e IP.

| Accesso ai luoghi | FA | Tempo di permanenza | TP | Probabilità dell'evento-causa | IO |
|-------------------|----|---------------------|----|-------------------------------|----|
| Saltuario | 1 | Fino a 5 secondi | 1 | Bassa | 1 |
| Frequente | 2 | Da 5 a 60 secondi | 2 | Media | 2 |
| Continuo | 3 | Oltre 60 secondi | 3 | Elevata | 3 |

| Indice di prevenzione | | | IP |
|-----------------------|----------|-----------------------|----|
| Formazione | DPI | Evitabilità del danno | |
| Scarsa | Inidonei | Molto bassa | 1 |
| Idonea | Idonei | Limitata | 2 |

Per l'effettuazione della vera e propria stima del rischio si può far riferimento alla scheda riportata nella Tabella 6.3.

La misura del rischio associato a ciascun pericolo esaminato è ricavata attraverso legami funzionali tra i fattori di rischio che possono essere di varia natura e descritti da relazioni matematiche più o meno semplici. Con riferimento all'impiego di macchine utensili, i legami funzionali sono esprimibili, nella maggior parte dei casi, attraverso relazioni matematiche elementari. I legami funzionali devono, quindi, essere tali da permettere di ottenere valori che rappresentino la situazione reale e tenere conto dei risultati di analisi condotte in merito a infortuni, alla tipologia delle lavorazioni e ai dati storici. Sulla base di queste considerazioni si può scegliere la funzione matematica più idonea alla rappresentazione dei dati e rendere immediato il concetto di priorità di intervento rappresentandola in forma grafica. In genere la funzione f consente di costruire una matrice rischio/intervento (Figura 6.2) utile per evidenziare le aree di criticità e stabilire il grado di urgenza degli interventi.

Terminata la fase di valutazione, la riduzione del rischio può avvenire in due direzioni: l'una volta a ridurre la probabilità di accadimento del danno (prevenzione) e l'altra volta, invece, a contenere le eventuali conseguenze (protezione). La scelta relativa al tipo di intervento da effettuare deve seguire rigorosamente la seguente sequenza logica, *privilegiando le misure che consentono la riduzione del rischio alla fonte*:

- 1 eliminazione del pericolo
- 2 riduzione del pericolo
- 3 riduzione del rischio alla fonte
- 4 gestione ottimale della situazione pericolo

- 5 protezione personale
- 6 informazione-formazione.

Tabella 6.3 Scheda per la valutazione rischi.

| PERICOLI | FATTORI DETERMINANTI LA SEVERITA' DEL DANNO | | | FATTORI DETERMINANTI L'ACCADIMENTO DEL DANNO | | | | VALUTAZIONE RISCHIO $R=f(D,P)$ | |
|----------|---|----------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| | Max danno prevenibile DP | Max estensione del danno ED | SEVERITA' DEL DANNO $D=f(DP,ED)$ | INDICI ESPOSIZIONE | | Indice di occorrenza IO | Indice di prevenzione IP | | Accadimento danno $P=f(FA,TP,IO,IP)$ |
| | | | | Frequenza di accesso FA | Tempo di permanenza TP | | | | |
| 1 | Pericoli di natura meccanica | | | | | | | | |
| 1.1 | Pericoli di schiacciamento | | | | | | | | |
| 1.2 | Pericoli di impigliamento | | | | | | | | |
| 1.3 | Pericoli di scivolamento | | | | | | | | |
| 1.4 | Pericoli di attrito o abrasione | | | | | | | | |
| 2 | Pericoli di natura elettrica | | | | | | | | |
| 2.1 | Contatto elettrico | | | | | | | | |
| 2.2 | Fenomeni elettrostatici | | | | | | | | |
| 3 | Pericoli di natura termica | | | | | | | | |
| 3.1 | Superfici radianti | | | | | | | | |
| 3.2 | Contatto con fiamme | | | | | | | | |
| 4 | Pericoli generati dal rumore | | | | | | | | |
| 5 | Pericoli generati da vibrazioni | | | | | | | | |
| 6 | Pericoli derivanti da radiazioni elettromagnetiche | | | | | | | | |
| 6.1 | Archi elettrici | | | | | | | | |
| 6.2 | Laser | | | | | | | | |
| 6.3 | Radiazioni ionizzanti | | | | | | | | |
| 7 | Pericoli generati da materiali e sostanze | | | | | | | | |
| 7.1 | Contatto o inalazione di fluidi, gas fumi e polveri | | | | | | | | |
| 7.2 | Incendio o esplosione | | | | | | | | |
| 8 | Pericoli provocati dall'inosservanza dei principi ergonomici | | | | | | | | |
| 8.1 | Posture errate o sforzi eccessivi | | | | | | | | |
| 8.2 | Mancato uso dei DPI | | | | | | | | |
| 8.3 | Illuminazione insufficiente | | | | | | | | |
| 8.4 | Errori umani | | | | | | | | |

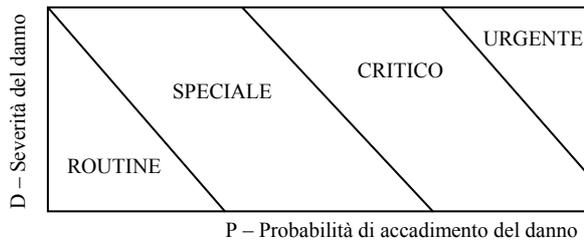


Figura 6.2 Matrice rischio-intervento.

Per i pericoli che non possono essere eliminati o sufficientemente ridotti si dovrà ricorrere alle “protezioni” (ripari o dispositivi di sicurezza).

6.4.2 Pregi e limiti del metodo

Pregi:

- semplicità di applicazione;
- possibilità di integrare i fattori che concorrono alla determinazione del rischio tra di loro eterogenei
- possibilità di utilizzare rappresentazioni grafiche che guidino la fase decisionale fornendo, alla direzione aziendale, razionali indicazioni di priorità per una coerente pianificazione degli interventi di prevenzione e/o di protezione.

Limiti/inconvenienti/difficoltà d'uso:

- la natura semi-quantitativa del metodo permette la sua applicazione anche nel caso in cui sia difficile o impossibile reperire dati quantitativi. Questa caratteristica costituisce però anche un potenziale limite legando il successo dell'applicazione alla competenza del gruppo di valutazione e al suo grado di conoscenza dei fattori che intervengono e compongono il sistema oggetto di analisi;
- il metodo non considera i rischi derivanti dall'ambiente di lavoro;
- scarsa flessibilità del metodo.

6.4.3 Esempio di applicazione del metodo

Nell'esempio che segue è stato applicato il metodo per la valutazione dei rischi nell'utilizzo di un tornio parallelo. La fase di identificazione ha permesso di individuare i seguenti fattori di rischio:

- carenze delle protezioni dai rischi meccanici e proiezione di schegge, trucioli ecc.
- carenze ergonomiche relative alla manipolazione di barre durante la fase di alimentazione al caricabarre
- carenza di spazi e presenza di spandimenti di oli sulla pavimentazione, con rischio di scivolamenti e urti con parti di macchine
- rumorosità elevata, dovuta allo sbattimento della barra in rotazione contro le pareti metalliche dei caricabarre. I livelli di rumorosità sono anche condizionati dalla tipologia e dimensioni dei materiali in lavorazione (acciai piuttosto che leghe o alluminio)
- carenza di aspirazioni localizzate che favorisce l'accumulo nell'aria ambiente di aerosol e nebbie di oli
- carenza di manutenzione e corretto impiego dei dispositivi antinfortunistici presenti
- carenze manutentive dei filtri a servizio degli impianti di aspirazione localizzata.

Al termine della fase di indagine, comprendente i sopralluoghi presso il luogo di lavoro, l'effettuazione di interviste al personale coinvolto e l'analisi dei dati storici infortunistici, è stata eseguita la valutazione del rischio i cui risultati sono riassunti nella tabella seguente:

| PERICOLI | FATTORI DETERMINANTI LA SEVERITA' DEL DANNO | | SEVERITA' DEL DANNO $D=(DP) \times ED$ | FATTORI DETERMINANTI L'ACCADIMENTO DEL DANNO | | | | Accadimento danno $P=F \times A \times TP \times IO \times IP$ | VALUTAZIONE RISCHIO $R=D \times P$ | |
|----------|---|----------------------------------|---|--|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|---|---------------------------------------|----|
| | Max danno prevenibile DP | Max estensione del danno ED | | INDICI ESPOSIZIONE | | Indice di occorrenza IO | Indice di prevenzione IP | | | |
| | | | | Frequenza di accesso FA | Tempo di permanenza TP | | | | | |
| 1 | Pericoli di natura meccanica | | | | | | | | | |
| 1.1 | Pericoli di schiacciamento | 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 12 | 24 |
| 1.2 | Pericoli di impigliamento | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 8 | 8 |
| 1.3 | Pericoli di scivolamento | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0.5 | 1 |
| 1.4 | Pericoli di attrito o abrasione | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 4 | 8 |
| 2 | Pericoli di natura elettrica | | | | | | | | | |
| 3 | Pericoli di natura termica | | | | | | | | | |
| 3.1 | Superfici radianti | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 3.2 | Contatto con fiamme | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 8 |
| 4 | Pericoli generati dal rumore | | | | | | | | | |
| 5 | Pericoli generati da vibrazioni | | | | | | | | | |
| 5 | Pericoli generati da vibrazioni | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 6 | 12 |
| 6 | Pericoli derivanti da radiazioni elettromagnetiche | | | | | | | | | |
| 6.1 | Archi elettrici | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 |
| 7 | Pericoli generati da materiali e sostanze | | | | | | | | | |
| 7.1 | Contatto o inalazione di fluidi, gas fumi e polveri | 2 | 2 | 4 | 1 | 3 | 1 | 2 | 1.5 | 6 |
| 7.2 | Incendio o esplosione | 3 | 2 | 6 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0.5 | 3 |
| 8 | Pericoli provocati dall'inosservanza dei principi ergonomici | | | | | | | | | |
| 8.1 | Posture errate o sforzi eccessivi | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 8.2 | Mancato uso dei DPI | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 8 | 16 |
| 8.3 | Illuminazione insufficiente | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 8 | 16 |
| 8.4 | Errori umani | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |

In funzione dei valori ottenuti dalla valutazione dei rischi si procede con la fase di selezione delle misure di sicurezza intervenendo con priorità maggiore sui rischi che hanno ottenuto i punteggi più elevati.

6.5 Metodo proposto dallo standard MIL-STD-882

Lo standard MIL-STD-882 individua un insieme di norme pratiche per sviluppare un sistema di sicurezza (*Standard practice for System Safety*) con l'obiettivo di fornire specifiche progettuali e strumenti di controllo operativo in grado di eliminare i pericoli individuati o, comunque, ridurre il rischio a livelli accettabili. La norma propone una metodologia semi-quantitativa per l'identificazione e la valutazione dei pericoli associati a un generico sistema.

6.5.1 Modalità di applicazione

La valutazione del rischio si basa sulla stima, attraverso l'uso di opportune tabelle, della probabilità di accadimento (Tabella 6.4) e della gravità del danno (Tabella 6.5). Il metodo di stima è utile in tutte quelle situazioni, relativamente frequenti, in cui non siano disponibili dati quantitativi. Gli output di questa metodologia sono:

- una matrice di rischio (Tabella 6.6)
 - un indice di rischio, attraverso il quale è possibile individuare le condizioni di maggiore criticità (Tabella 6.7) e di conseguenza le priorità da assegnare agli interventi correttivi volti alla eliminazione o alla riduzione del rischio.

Il metodo è uno dei più utilizzati, anche in forme “personalizzate” dall’utente nelle quali sono modificate le scale di probabilità e gravità oppure i giudizi relativi ai diversi livelli di rischio.

Tabella 6.4 Classi di probabilità di accadimento degli eventi dannosi.

| Classe | Descrizione | Frequenza di accadimento | Possibile relazione con dati quantitativi |
|-----------------|--|--------------------------|---|
| A - Frequente | Probabilità di accadimenti frequenti | Alta | $>10^{-1}$ |
| B - Probabile | Accadimenti ripetuti | ↓ | $10^{-2} < p < 10^{-1}$ |
| C - Occasionale | Accadimenti limitati | Media | $10^{-3} < p < 10^{-2}$ |
| D - Remota | Improbabile ma possibile | ↓ | $10^{-6} < p < 10^{-3}$ |
| E - Improbabile | Nessun accadimento durante la vita del sistema | Bassa | $< 10^{-6}$ |

Tabella 6.5 Categorie di gravità degli eventi dannosi.

| Categoria | Nome | Descrizione |
|-----------|--------------|---|
| I | Catastrofico | Morte, invalidità totale permanente, perdita del sistema, danni ambientali irreversibili |
| II | Critico | Infortunio grave, invalidità parziale permanente, danno grave al sistema, danni ambientali reversibili |
| III | Marginale | Infortunio lieve, danno limitato al sistema, danni leggeri ambientali senza violazione di norme o leggi |
| IV | Trascurabile | Infortunio trascurabile, danni trascurabili al sistema, minimi danni ambientali senza violazione di norme o leggi |

Tabella 6.6 Valori della valutazione dei rischi degli eventi dannosi.

| Frequenza di Accadimento | Categorie di gravità | | | |
|--------------------------|----------------------|------------|---------------|-----------------|
| | I Catastrofico | II Critico | III Marginale | IV Trascurabile |
| A - Frequente | 1 | 3 | 7 | 13 |
| B - Probabile | 2 | 5 | 9 | 16 |
| C - Occasionale | 4 | 6 | 11 | 18 |
| D - Remota | 8 | 10 | 14 | 19 |
| E - Improbabile | 12 | 15 | 17 | 20 |

Tabella 6.7 Categorie e livelli di accettazione dei rischi degli eventi dannosi.

| Valori della valutazione del rischio | Categoria di rischio | Livello di accettabilità |
|--------------------------------------|----------------------|--|
| 1-5 | Alto | Inaccettabile |
| 6-9 | Importante | Indesiderabile (giudizio del management) |
| 10-17 | Medio | Accettabile, controllo |
| 18-20 | Basso | Accettabile, monitoraggio |

6.5.2 Pregi e limiti del metodo

Pregi:

- semplicità di applicazione
- metodo utile quando non sono a disposizione dati quantitativi
- fornisce una priorità di intervento attraverso un indice di rischio
- flessibilità; i fattori che si considerano per la valutazione del rischio sono solo la probabilità di accadimento e la gravità del danno potenziale, pertanto si ha la possibilità di applicare il metodo a situazioni e realtà diverse tra loro.

Limiti/inconvenienti/difficoltà d'uso:

- la natura semi-quantitativa del metodo permette la sua applicazione anche nel caso in cui sia difficile o impossibile reperire dati quantitativi. Questa caratteristica costituisce però anche un potenziale limite legando il successo dell'applicazione alla competenza del gruppo di valutazione e al suo grado di conoscenza dei fattori che intervengono e compongono il sistema oggetto di analisi
- il metodo non prende in esame alcuni fattori importanti nella valutazione del rischio quali l'ambiente di lavoro, le capacità personali del lavoratore di dominare il rischio, l'adattamento fisico e psichico del lavoratore ecc.

6.5.3 Esempio di applicazione del metodo

Nella tabella che segue sono riportati i risultati dell'applicazione del metodo per la valutazione dei rischi di una macchina per prove su ruota-strada costituita essenzialmente da un tamburo, che può ruotare alla velocità desiderata, al quale vengono accostati, con carico regolabile, degli pneumatici. Nell'esempio si fa riferimento alle 10 tipologie di pericolo riportate nella norma UNI EN 414.

| Danni potenziali | Prob | Grav | Categoria rischio |
|---|--------------|------|-------------------|
| <i>Pericoli di natura meccanica:</i> | | | |
| Schiacciamento: caduta delle piastre/zavorre che forniscono il carico allo pneumatico | D | II | Medio |
| Accessibilità laterale alla rotazione del drum: assenza di ripari | D | II | Medio |
| Rischio di caduta durante l'accesso | C | III | Medio |
| Pericoli di natura elettrica | E | I | Medio |
| Pericoli di natura termica | E | III | Medio |
| Pericoli generati dal rumore | E | II | Medio |
| Pericoli generati da vibrazioni | E | II | Medio |
| Pericoli generati da radiazioni | Non presenti | | |
| Pericoli generati da materiali e sostanze trattate, utilizzati o scaricati dalla macchina: chimico-termico proiezione di fluidi | E | II | Medio |
| Pericoli provocati dall'inosservanza dei principi ergonomici in fase di progettazione della macchina | E | IV | Basso |

| Danni potenziali | Prob | Grav | Categoria rischio |
|---|------|------|-------------------|
| <i>Pericoli provocati da guasti nell'alimentazione di energia, rottura di parti della macchina:</i> | | | |
| Dispositivi di allarme | D | II | Medio |
| Schiacciamento: movimenti inaspettati del supporto pneumatico di prova in assenza di tensione | C | II | Critico |
| <i>Pericoli provocati dall'assenza (temporanea) e/o dall'errata collocazione delle misure o degli strumenti condizionanti la sicurezza:</i> | | | |
| Accessibilità alla rotazione del pneumatico da sotto e dal lato interno dell'attuale protezione | E | II | Medio |
| Accessibilità alla rotazione del drum e del pneumatico di prova: ripari non interbloccati e dimensionalmente insufficienti | C | II | Critico |

Il passo successivo consiste nell'individuare le adeguate azioni correttive, in funzione delle categorie di rischio assegnate, volte alla eliminazione, riduzione e monitoraggio dei rischi.

6.6 Metodo proposto dall'AISS-ISPEL

Alla base di questo metodo vi è la constatazione che gli infortuni sul lavoro sono la risultante di più cause; la statistica e l'analisi mostrano che il verificarsi di un infortunio è causato da una serie di fattori disparati, come un'errata progettazione, il cattivo stato del macchinario, la scarsa pulizia o l'ingombro dei pavimenti, il comportamento individuale, l'assenza di dispositivi di protezione, l'improvvisazione e l'irrazionale organizzazione del lavoro, l'illuminazione del luogo di lavoro ecc. Questi fattori sono riconducibili a tre grandi categorie:

- il materiale o l'attrezzatura di lavoro
- l'ambiente
- l'uomo o l'organizzazione del lavoro.

La guida messa a punto dal Comitato Internazionale "Sicurezza delle Macchine", dall'AISS e dall'ISPEL con il sostegno della Commissione Europea, è stata elaborata per calcolare i rischi in relazione alla percezione di quelli di natura meccanica sul posto di lavoro. L'impostazione seguita prevede una valutazione quantitativa del rischio d'infortunio, attraverso l'assegnazione di valori numerici ai fattori che rientrano nelle tre categorie considerate.

6.6.1 Modalità di applicazione

L'applicazione del metodo si articola nelle seguenti fasi successive:

- **prima fase**, valutazione del rischio globale proprio del posto di lavoro R_g

$$R_g = Ma \times Amb \quad (6.2)$$

ove Ma rappresenta il rischio legato al materiale (macchina, attrezzatura ecc.) e Amb l'incidenza dell'ambiente lavorativo;

- **seconda fase**, valutazione della capacità personale dell'individuo di dominare il rischio P ;
- **terza fase**, valutazione del rischio di infortunio R_{inf}

$$R_{inf} = R_g - kP \quad (6.3)$$

con il coefficiente k si vuole tener conto del fatto che, nella valutazione del rischio d'infortunio, i fattori personali (P) acquistano tanto più rilevanza tanto più elevato è il rischio legato al materiale;

- **quarta fase**, percezione del rischio ovvero situare il rischio, quantificato secondo le modalità precedenti, nella sfera dell'accettabilità.

Nei paragrafi che seguono sono illustrati i metodi per la determinazione del valore dei fattori necessari per il calcolo del rischio infortunio.

6.6.2 Valutazione del rischio legato al materiale

La valutazione del rischio legato al materiale si effettua attraverso il prodotto di quattro fattori secondo la formula seguente

$$Ma = Pd \times Ex \times Po \times Ev \quad (6.4)$$

nella quale si assegnano i valori ai singoli fattori come descritto nel seguito:

- *eventi pericolosi* (Pd), assume valori compresi tra 1 e 10 secondo la seguente scala:

| | | |
|--|---|----|
| - eventi di scarsa conseguenza (urti, tagli superficiali ecc.) | ▲ | 1 |
| - eventi gravi (fratture, lesioni profonde ecc.) | | |
| - eventi gravissimi e irreversibili | ▲ | 10 |
- *frequenza e durata dell'esposizione durante il funzionamento della macchina* (Ex), assume valori compresi tra 1 e 2 in relazione alla seguente scala:

| | | |
|--|---|---|
| - esposizione occasionale ridotta (macchine automatiche in buone condizioni di funzionamento con interventi rari ecc.) | ▲ | 1 |
| - esposizione ciclica frequente (presse intermittenti, macchine utensili di produzione ecc.) | | |
| - esposizione frequente o continua (macchine a governo manuale o automatiche ma in uno stato tale da richiedere interventi frequenti ecc.) | ▲ | 2 |

- *probabilità di occorrenza di un evento pericoloso legato al fattore materiale (Po)*, assume valori compresi tra 0,5 e 1,5 secondo la seguente scala:
 - bassa (completa inaccessibilità agli elementi pericolosi, dispositivi di protezione pratici e sicuri ecc.)
 - media (dispositivi di protezione integrale e in buone condizioni di funzionamento che, tuttavia, assicurano solo una protezione parziale, effettuazione di alcuni interventi in condizioni di sicurezza ridotta ecc.)
 - elevata (protezione incompleta, dispositivi di protezione smontati o disattivati, interventi effettuati in prossimità di elementi in moto ecc.)

- *probabilità di evitare o di limitare le lesioni (Ev)*, assume valori compresi tra 0,5 e 1 secondo la seguente scala:
 - l'evento pericoloso è nettamente percepibile ed esiste la possibilità di schivarlo (persona preavvisata)
 - occorrenza improvvisa e inattesa dell'evento pericoloso

La valutazione del rischio globale del fattore materiale (Ma) assume quindi valori compresi tra 0,25 e 30 in funzione dei valori che possono assumere i diversi fattori.

6.6.3 Valutazione del rischio legato all'ambiente di lavoro

La valutazione del rischio legato all'ambiente di lavoro si effettua attraverso la somma di tre parametri secondo la formula seguente

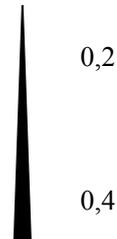
$$Amb = Qa + Qb + Qc \quad (6.5)$$

nella quale si assegnano i valori ai singoli parametri come descritto nel seguito:

- *ubicazione del posto di lavoro (Qa)*, assume valori compresi tra 0,5 e 1 secondo la seguente scala:
 - spazi di lavoro e passaggi sgombri e spaziosi, zone di lavoro poste allo stesso livello
 - spazi di lavoro e passaggi angusti e ingombrati, zone di lavoro poste a diversi livelli accessibili con impiego di attrezzature e accessori (passerelle, scale a pioli ecc.)

- *ambiente lavorativo (Qb)*, assume valori compresi tra 0,3 e 0,6 secondo la seguente scala:
 - presenza di corretta illuminazione (non abbagliante), di rumore che non disturba (permette una buona percezione dei segnali esterni), buon microclima
 - presenza di illuminazione insufficiente, di rumore che disturba, microclima che infastidisce e determina uno stress psicofisico

- *situazioni varie che possono essere fonte di ipersollecitazioni (Qc)*, assume valori compresi tra 0,2 e 0,4 secondo la seguente scala:
 - buona disposizione dei comandi, dei dispositivi di segnalazione, degli indicatori, delle zone di carico e di rifornimento ecc.; leggere sollecitazioni fisiche (sforzi, movimentazione di carichi, ritmo di lavoro ecc.)
 - inadeguata disposizione dei comandi, dei dispositivi di segnalazione, degli indicatori, delle zone di carico e di rifornimento ecc.; pesanti sollecitazioni fisiche (sforzi, movimentazione di carichi, ritmo di lavoro ecc.)



La valutazione del rischio globale del fattore ambientale (Amb) assume quindi valori compresi tra 1 e 2 in funzione dei valori che possono assumere i diversi fattori.

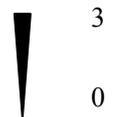
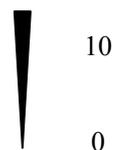
6.6.4 Valutazione della capacità dell'individuo di dominare il rischio

La valutazione della capacità dell'individuo di dominare il rischio si effettua attraverso la somma di tre parametri secondo la formula seguente

$$P = Q + \varphi + O \quad (6.6)$$

nella quale si assegnano i valori ai singoli parametri come descritto nel seguito:

- *qualificazione del personale in rapporto alla mansione assegnata (Q)*, assume valori compresi tra 10 e 0 secondo la seguente scala:
 - soggetto qualificato (in possesso di formazione professionale generale e addestramento specifico sul posto di lavoro) ed esperto
 - soggetto qualificato o esperto
 - soggetto non qualificato e senza esperienza
- *fattori fisiologici (φ)*, assume valori compresi tra 3 e 0 secondo la seguente scala:
 - buon adattamento fisico e psichico del soggetto alla mansione assegnata
 - scadente adattamento fisico e psichico del soggetto alla mansione assegnata
- *organizzazione del lavoro (O)*, assume valori compresi tra 5 e 0 secondo la seguente scala:
 - procedure/modalità operative/consegne aventi influenza sulla sicurezza formalmente codificate e rigorosamente rispettate
 - procedure/modalità operative/consegne aventi influenza sulla sicurezza codificate e ma non rispettate sistematicamente
 - procedure/modalità operative/consegne aventi influenza sulla sicurezza non codificate e non rispettate



La valutazione della capacità dell'individuo di dominare il rischio assume quindi valori compresi tra 18 e 0 in funzione dei valori che possono assumere i diversi fattori.

6.6.5 Valutazione del rischio infortunio

Assegnati i valori ai diversi fattori è possibile valutare il rischio infortunio secondo la formula (6.3), ovvero:

$$R_{inf} = R_g - kP = (Ma \times Amb) - kP$$

ove il coefficiente di ponderazione k (per esempio $k = (Ma/30)$) tiene conto del fatto che i fattori personali (P) acquistano tanto più rilevanza tanto più elevato è il rischio legato al materiale; infatti, per esempio, non si metterà un apprendista al lavoro su una macchina di lavorazione del legno pericolosa. In funzione del valore assunto dal rischio infortunio, calcolato per tutte le situazioni pericolose possibili, è possibile stabilire quando il rischio è accettabile o meno e determinare le necessarie azioni correttive per ridurlo opportunamente (Figura 6.3).

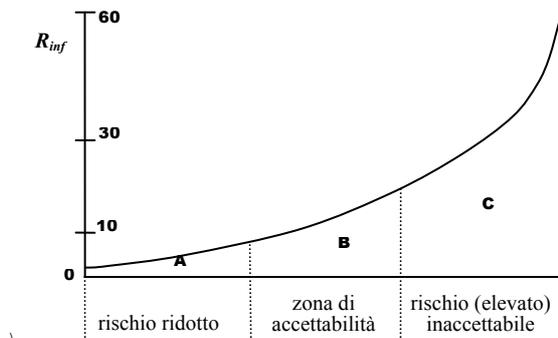


Figura 6.3 Percezione del rischio.

6.6.6 Pregi e limiti del metodo

Pregi

- completezza; sono considerati molteplici fattori di rischio differenti tra di loro;
- semplicità di applicazione;
- fornisce un quadro sintetico e completo della realtà oggetto di studio; i risultati ottenuti permettono di programmare gli interventi correttivi (preventivi o protettivi) in base a una priorità di intervento stabilita dal valore di R_{inf} .

Limiti/inconvenienti/difficoltà d'uso:

- la natura semi-quantitativa del metodo permette la sua applicazione anche nel caso in cui sia difficile o impossibile reperire dati quantitativi. Questa caratteristica costituisce però anche un potenziale limite legando il successo dell'applicazione alla competenza del gruppo di valutazione e al suo grado di conoscenza dei fattori che intervengono e compongono il sistema oggetto di analisi.

6.6.7 Esempio di applicazione del metodo

Come esempio di applicazione del metodo, si riporta uno di quelli inseriti nella guida AISS-ISPEL relativo a una sega circolare per il taglio del legno sprovvista di cuffia di protezione e di coltello divisore. I valori attribuiti ai diversi fattori sono di seguito riepilogati:

| | | |
|--|---------------|------------------------------------|
| Valutazione del rischio legato al materiale | | |
| Evento pericoloso: tagli profondi che possono arrivare alla perdita di una mano | $Pd = 9$ | |
| Frequenza e durata dell'esposizione: da frequente a permanente | $Ex = 2$ | |
| Probabilità di occorrenza: elevata (a causa dell'assenza della cuffia di protezione e rischio di ritorno del legno in lavorazione per assenza di coltello divisore ecc.) | $Po = 1,5$ | |
| Probabilità di evitare o di limitare le lesioni: occorrenza improvvisa | $Ev = 1$ | |
| | | $Ma = 27$ |
| Valutazione del rischio legato all'ambiente | | |
| Ubicazione del posto di lavoro: senza dislivelli, ingombrato | $Qa = 0,8$ | |
| Ambiente di lavoro: illuminazione insufficiente, rumore elevato, microclima corretto | $Qb = 0,5$ | |
| Situazioni che possono essere fonte di ipersollecitazioni: sistemazione inadeguata del posto di lavoro, assenza di ausili per la movimentazione | $Qc = 0,3$ | |
| | | $Amb = 1,6$ |
| Valutazione del rischio globale legato al posto di lavoro ($R_g = Ma \times Amb$) | | $R_g = 43,2$ |
| Valutazione della capacità dell'individuo di dominare il rischio | | |
| Operaio qualificato ma senza esperienza specifica | $Q = 5$ | |
| Operaio con corretto adattamento alla mansione assegnata | $\varphi = 3$ | |
| Operaio senza addestramento specifico; azienda dove non esistono procedure di lavoro codificate | $O = 1$ | |
| | | $P = 9$ |
| Valutazione del rischio infortunio ($R_{inf} = R_g - kP$; $k = Ma/30$) | | $R_{inf} = 35,1$ |

Il valore che si ottiene del rischio infortunio ricade nel settore C, ovvero rischio inaccettabile (Figura 6.3), pertanto risulta necessario migliorare la situazione attraverso, per esempio, interventi tecnici di prevenzione sulla macchina, sull'ambiente circostante, sulla formazione del personale ecc.

6.7 Metodo AHP

La *Analytic Hierarchy Process* (AHP) è una metodologia sviluppata da Thomas L. Saaty negli anni ottanta la cui robustezza e flessibilità ha reso possibile il suo utilizzo in molti settori diversi. È un metodo di analisi decisionale multi-criterio che consente di valutare le priorità di azioni che possono essere, a seconda dei casi, programmi, strategie di intervento, piani, progetti ecc. Un processo decisionale si definisce multi-criterio quando le decisioni debbono essere prese tenendo conto contemporaneamente di diversi fattori, i criteri, su cui valutare le alternative. Non ci si limita a scegliere l'alternativa che ottimizzi un solo fattore, bensì occorre tenere conto di tutti i fattori.

Nell'applicazione della AHP si formula il problema decisionale in una struttura gerarchica e si definiscono le priorità dei suoi elementi, ad ogni livello, comparando la loro reciproca importanza (o *verosimiglianza*) rispetto a un attributo comune. I confronti sono effettuati attraverso un processo sequenziale di paragoni a coppie, utilizzando una scala linguistica e/o numerica. Il metodo favorisce l'integrazione di valutazioni oggettive e soggettive, quantitative e qualitative e sfrutta l'ampio spettro delle informazioni disponibili, permettendo così una maggiore affidabilità dei giudizi. Sebbene il numero dei paragoni a coppie richiesto per la determinazione dei pesi relativi dei pericoli e delle funzioni di verosimiglianza del rischio è ridondante rispetto a quanto strettamente necessario, questo permette di ottenere una migliore classificazione.

6.7.1 Modalità di applicazione

L'applicazione del metodo si articola in due fasi, ognuna delle quali prevede una serie di passi successivi; nella spiegazione sono stati introdotti degli esempi specifici per facilitare la comprensione:

- **prima fase**, valutazione del rischio.
Si definisce il problema in termini di struttura gerarchica, attraverso una scomposizione *top-down* dell'obiettivo di livello superiore. Il livello più alto della gerarchia è l'obiettivo principale, per esempio il rischio in una determinata lavorazione; gli elementi del o dei livelli intermedi rappresentano le tipologie di pericolo (per esempio: meccanico, elettrico, chimico ecc.). L'ultimo livello è costituito dalle sorgenti di pericolo (per esempio: elementi taglienti e spigoli vivi, proiezione di truciolo ecc.).



Figura 6.4 Esempio di struttura gerarchica.

Si procede individuando l'importanza relativa degli elementi appartenenti a un determinato livello rispetto al livello superiore, ripetendo questa operazione per ciascuno livello della gerarchia. A tal fine si realizzano dei confronti a coppie con l'utilizzo di una scala numerico-linguistica, come quella riportata nella Tabella 6.8.

I valori reciproci di quelli riportati nella Tabella 6.8 sono utilizzati per esprimere giudizi opposti ($a_{ji} = 1/a_{ij}$). Con riferimento alla gerarchia sopra riportata si ottiene per esempio:

| Rischio | Contatto utensile | Proiezione truciolo | Z |
|---------------------|-------------------|---------------------|-----|
| Contatto utensile | 1 | 2 | 1,7 |
| Proiezione truciolo | 1/2 | 1 | 1,2 |
| Z | 1/1,7 | 1/1,2 | 1 |

ove con Z si è indicata una generica sorgente di rischio.

Tabella 6.8 Scala numerico-linguistica.

| Giudizi Linguistici | Grado di importanza o verosimiglianza |
|---|---------------------------------------|
| Ugualmente importante/verosimile | 1 |
| Moderatamente più importante/verosimile | 3 |
| Sensibilmente più importante/verosimile | 5 |
| Molto più importante/verosimile | 7 |
| Estremamente più importante/verosimile | 9 |

Valori intermedi possono venire utilizzati per generare ulteriori livelli di discriminazione

Le informazioni derivanti dal confronto a coppie, che forniscono l'importanza relativa tra gli elementi, sono organizzate in una struttura a matrice (A) e utilizzate

per ottenere i pesi di priorità assoluti (il vettore \mathbf{W}) che verranno usati per calcolare la classifica globale delle alternative utilizzando il metodo dell'autovalore:

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & & & \\ & \dots & & & & & \\ & & 1 & & a_{ij} & & \\ & & & \dots & & & \\ & & 1/a_{ij} & & 1 & & \\ & & & & & \dots & \\ & & & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_i \\ w_j \\ w_n \end{bmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{W} \quad (6.7)$$

si determinano i valori di priorità degli elementi decisionali, corrispondenti all'autovettore \mathbf{W} , risolvendo il sistema:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{W} = l_{\max} \cdot \mathbf{W} \quad (6.8)$$

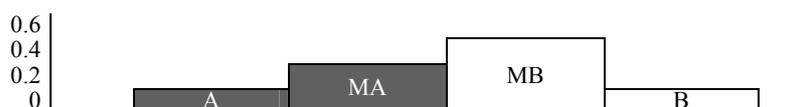
ove l_{\max} è l'autovalore massimo della matrice \mathbf{A} e \mathbf{W} è l'autovettore corrispondente a l_{\max} .

Ogni elemento di \mathbf{W} rappresenta il grado di influenza del singolo elemento del livello al quale appartiene sul livello superiore nella determinazione dell'indice di rischio finale.

| Rischio | Contatto utensile | Proiezione truciolo | Z | Pesi |
|---------------------|-------------------|---------------------|-----|-------|
| Contatto utensile | 1 | 2 | 1,7 | 0,479 |
| Proiezione truciolo | 1/2 | 1 | 1,2 | 0,283 |
| Z | 1/1,7 | 1/1,2 | 1 | 0,238 |

Per ogni sorgente di pericolo si stima la verosimiglianza dei livelli di rischio (A=alto, MA=medio/alto, MB=medio/basso, B=basso) tramite la comparazione a coppie eseguita come esposto. Da questa operazione si evince il livello di rischio di ogni singola sorgente di pericolo ottenendo la funzione di verosimiglianza.

Tabella 6.9 Proiezione truciolo – Funzione di verosimiglianza del rischio.



Moltiplicando la funzione di verosimiglianza per il peso relativo ad ogni sorgente di rischio (ottenuti con il metodo dell'autovalore) si ottiene la funzione di rischio di ogni sorgente.

Tabella 6.10 Proiezione truciolo – Funzione di rischio.

Le funzioni di rischio di ogni sorgente di pericolo relative a ogni tipologia sono sommate tra loro, ottenendo una funzione di rischio per ogni tipologia dei livelli intermedi. Si ripete la stessa operazione sui livelli superiori in modo iterativo fino a ottenere la funzione di rischio dell'intera attività. Le funzioni di rischio non permettono un confronto diretto tra pericoli differenti, per questo motivo il valutatore deve definire una scala attraverso la quale attribuire, in base alla sua percezione, un peso di importanza ai singoli livelli di rischio (A, MA, MB, B) per ottenere l'indice di rischio.

Tabella 6.11 Determinazione della scala dei livelli di rischio.

| Scala di rischio | A | MA | MB | B | Pesi |
|------------------|-------|-----|-----|---|-------|
| A | 1 | 1,2 | 2 | 6 | 0,402 |
| MA | 1/1,2 | 1 | 2 | 5 | 0,350 |
| MB | 1/2 | 1/2 | 1 | 2 | 0,174 |
| B | 1/6 | 1/5 | 1/2 | 1 | 0,074 |

Infine, si costruisce la graduatoria dei pericoli in base all'indice di rischio moltiplicando i pesi attribuiti ai singoli livelli per i rispettivi pesi della funzione di rischio e sommando tra di loro i risultati ottenuti. Con questa operazione si ottiene, per ogni sorgente di pericolo e per ogni tipologia di pericolo, un indice sintetico di rischio che permette di confrontare tra loro i vari parametri e di effettuare le scelte di intervento in base alle priorità stabilite.

- **seconda fase**, valutazione delle cause di rischio.

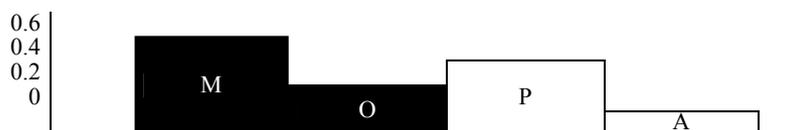
Questa fase permette di stimare il grado di influenza delle cause di rischio in modo da ottenere un'efficace e congruente selezione delle azioni di prevenzione e protezione da intraprendere. In analogia alla fase di sviluppo delle funzioni di verosimiglianza del rischio si procede alla determinazione di quelle delle cause di rischio. Questa analisi si può basare su quattro cause principali:

- **M** caratteristiche intrinseche della macchina o delle attrezzature di lavoro;
- **O** competenze e abilità dell'operatore;
- **P** procedure di lavoro utilizzate (compresi i DPI);
- **A** caratteristiche dell'ambiente di lavoro in cui si svolge l'attività.

Per esempio:

Tabella 6.12 Determinazione della funzione di verosimiglianza delle cause.

| Proiezione truciolo | M | O | P | A | Pesi |
|---------------------|-----|-----|-------|---|-------|
| M | 1 | 5 | 2 | 8 | 0,548 |
| O | 1/5 | 1 | 1/1,5 | 3 | 0,145 |
| P | 1/2 | 1,5 | 1 | 5 | 0,242 |
| A | 1/8 | 1/3 | 1/5 | 1 | 0,055 |



Moltiplicando le funzioni di verosimiglianza delle cause con i rispettivi indici di rischio, si ottengono le *funzioni di causa* del rischio per ogni pericolo che sono calcolate per ogni livello nella gerarchia, sommando per ogni singola causa i contributi degli elementi dei livelli più bassi. Quando si giunge al livello più alto della gerarchia si ottiene una visione completa dell'importanza con cui le varie cause contribuiscono alla determinazione del rischio.

6.7.2 Pregi e limiti del metodo

Pregi

- offre la possibilità di integrare fattori oggettivi e soggettivi, qualitativi e quantitativi e di considerare contemporaneamente diversi fattori rendendo più efficace la percezione del rischio
- conferisce maggiore affidabilità ai giudizi espressi in forma comparata che a quelli espressi in forma assoluta riflettendo una maggiore corrispondenza con le categorie mentali dell'uomo
- grande flessibilità
- la stima del livello di rischio è realizzata attraverso un modello gerarchico e competitivo tra pericoli differenti che consente di arrivare a un giudizio sintetico sul rischio globale dell'attività oggetto di analisi
- le stime si effettuano attraverso distribuzioni di valori e non mediante valori puntuali rendendo il processo più trasparente.

Limiti/inconvenienti/difficoltà d'uso:

- il metodo presenta una elevata difficoltà di applicazione legata alla competenza e preparazione del gruppo di valutazione
- cambiando la struttura gerarchica cambiano i risultati: questa appare come la fase più critica di tutto il processo valutativo
- per applicazioni a sistemi complessi è necessario un supporto informatico da realizzare, a seconda dei casi, in base alle esigenze specifiche.

6.7.3 Esempio di applicazione del metodo

Si riporta un esempio numerico al fine di mettere in evidenza le potenzialità del metodo AHP nella valutazione dei rischi per le attività di manutenzione. Nell'applicazione proposta, di puro carattere dimostrativo, si opera una valutazione delle cause di rischio partendo dal terzo livello.

Si inizia con la costruzione della matrice dei confronti a coppie, a seguito della definizione del problema in termini di struttura gerarchica, dei pericoli per determinare i pesi locali rispetto all'obiettivo:

| Rischio nelle attività di manutenzione | Pericoli di tipo elettrico | Pericoli di tipo meccanico | Pericoli derivanti da errori del manutentore | Pericoli di tipo chimico | Pericoli di incendio |
|--|----------------------------|----------------------------|--|--------------------------|----------------------|
| Pericoli di tipo elettrico | 1 | 1/3 | 1/5 | 5 | 3 |
| Pericoli di tipo meccanico | 3 | 1 | 1/4 | 6 | 4 |
| Pericoli derivanti da errori del manutentore | 5 | 4 | 1 | 9 | 7 |
| Pericoli di tipo chimico | 1/5 | 1/6 | 1/9 | 1 | 4 |
| Pericoli di incendio | 1/3 | 1/4 | 1/7 | 1/4 | 1 |

pertanto la matrice **A** risulta:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 & 5 & 3 \\ 3 & 1 & 1/4 & 6 & 4 \\ 5 & 4 & 1 & 9 & 7 \\ 1/5 & 1/6 & 1/9 & 1 & 4 \\ 1/3 & 1/4 & 1/7 & 1/4 & 1 \end{bmatrix} = \mathbf{A}$$

il cui determinante è diverso da zero e vale 5,9686. Il polinomio caratteristico associato è:

$$p = \lambda^5 - 5\lambda^4 - 18,2439\lambda^3 - 11,5504\lambda - 5,9686$$

da cui si ricavano gli autovalori della matrice **A**:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 5,6431 \\ \lambda_2 &= 0,0152 + 1,8253i \\ \lambda_3 &= 0,0152 - 1,8253i \\ \lambda_4 &= -0,3367 + 0,4517i \\ \lambda_5 &= -0,3367 - 0,4517i \end{aligned}$$

e quindi $\lambda_{\text{MAX}} = 5.6431$.

Per calcolare l'autovettore corrispondente a λ_{MAX} è necessario risolvere il seguente sistema, espresso in forma sintetica:

$$(\mathbf{A} - \lambda_{\text{MAX}} \mathbf{I}) = 0 \quad \text{dove } \mathbf{I} \text{ è la matrice identità}$$

la cui soluzione fornisce il vettore **W** i cui elementi sono i pesi locali dei pericolo rispetto al rischio:

$$\mathbf{W} = (0,2534 ; 0,4389 ; 1 ; 0,1186 ; 0,0790)$$

normalizzando il vettore **W** si ottiene:

$$\mathbf{W}_R = (0,1341 ; 0,2322 ; 0,5291 ; 0,0628 ; 0,0418)$$

da cui si evince che il peso più importante spetta alla voce "pericoli derivanti da errori del manutentore" (valore più elevato della terza componente del vettore **W**).

Si procede quindi a costruire la matrice dei confronti a coppie delle cause, in relazione a “pericoli derivanti da errori del manutentore” per determinarne i rispettivi pesi locali:

| Pericoli derivanti da errori del manutentore | Attrezzatura ed equipaggiamento | Ambiente di lavoro | Organizzazione del lavoro, procedure | Formazione, informazione e addestramento | Fattore umano |
|--|---------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--|---------------|
| Attrezzatura ed equipaggiamento | 1 | 1/3 | 1/7 | 1/9 | 1/7 |
| Ambiente di lavoro | 3 | 1 | 1/5 | 1/7 | 1/5 |
| Organizzazione del lavoro, procedure | 7 | 5 | 1 | 1/3 | 2 |
| Formazione, informazione e addestramento | 9 | 7 | 3 | 1 | 3 |
| Fattore umano | 7 | 5 | 1/2 | 1/3 | 1 |

procedendo in maniera analoga a prima, si determina la matrice **B**, gli autovalori e l'autovettore associato a $\lambda_{MAX} = 6,3088$ che, una volta normalizzato, risulta:

$$\mathbf{W}_{P, TM} = (0,0264 ; 0,0475 ; 0,2269 ; 0,4255 ; 0,1804 ; 0,0932)$$

che indica che il peso più importante spetta a “formazione, informazione e addestramento”.

Il confronto a coppie delle cause di rischio deve essere eseguito in relazione anche agli altri pericoli: di tipo elettrico, di tipo meccanico, di tipo chimico e di incendio. Si procede quindi a costruire la matrice dei confronti a coppie delle cause per determinarne i rispettivi pesi locali ripetendo i passaggi matematici esposti in precedenza.

| Pericoli di tipo elettrico | Attrezzatura ed equipaggiamento | Ambiente di lavoro | Org.ne del lavoro, procedure | Formazione, informazione e addestramento | Fattore umano | Caratteristiche del lavoro da svolgere |
|--|---------------------------------|--------------------|------------------------------|--|---------------|--|
| Attrezzatura ed equipaggiamento | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 | 1/9 | 1/9 |
| Ambiente di lavoro | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 | 1/9 |
| Organizzazione del lavoro, procedure | 5 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 |
| Formazione, informazione e addestramento | 7 | 5 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 |
| Fattore umano | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 1 |
| Caratteristiche del lavoro da svolgere | 9 | 9 | 7 | 5 | 1 | 1 |

da cui si ottiene:

$$\mathbf{W}_{P, E} = (0,0239 ; 0,0400 ; 0,0758 ; 0,1448 ; 0,3169 ; 0,3986)$$

evidenziando che i pesi più importanti competono a “fattore umano” e “caratteristiche del lavoro da svolgere”. Proseguendo con i pericoli di tipo meccanico:

| Pericoli di tipo meccanico | Attrezzatura ed equipaggiamento | Ambiente di lavoro | Org.ne del lavoro, procedure | Formazione, informazione e addestramento | Fattore umano | Caratteristiche del lavoro da svolgere |
|--|---------------------------------|--------------------|------------------------------|--|---------------|--|
| Attrezzatura ed equipaggiamento | 1 | 1/2 | 1/4 | 1/5 | 1/7 | 1/8 |
| Ambiente di lavoro | 2 | 1 | 1/3 | 1/4 | 1/5 | 1/7 |
| Organizzazione del lavoro, procedure | 4 | 3 | 1 | 1/3 | 1/4 | 1/5 |
| Formazione, informazione e addestramento | 5 | 4 | 3 | 1 | 1/3 | 1/4 |
| Fattore umano | 7 | 5 | 4 | 3 | 1 | 1/2 |
| Caratteristiche del lavoro da svolgere | 8 | 7 | 5 | 4 | 2 | 1 |

da cui si ottiene:

$$\mathbf{W}_{P,M} = (0,0313 ; 0,0459 ; 0,0877 ; 0,1507 ; 0,2753 ; 0,4090)$$

dove il peso più importante compete a “caratteristiche del lavoro da svolgere”.

I calcoli, che omettiamo, si iterano per i successivi pericoli. Quindi per calcolare i pesi globali si moltiplicano i pesi locali delle cause per i corrispondenti pesi dei pericoli, ovvero:

$$\mathbf{W}_R = (0,1341 ; 0,2322 ; 0,5291 ; 0,0628 ; 0,0418)$$

$$\mathbf{W}_{P,E} = (0,0239 ; 0,0400 ; 0,0758 ; 0,1448 ; 0,3169 ; 0,3986)$$

$$\mathbf{W}_{P,M} = (0,0313 ; 0,0459 ; 0,0877 ; 0,1507 ; 0,2753 ; 0,4090)$$

$$\mathbf{W}_{P,TM} = (0,0264 ; 0,0475 ; 0,2269 ; 0,4255 ; 0,1804 ; 0,0932)$$

$$\mathbf{W}_{P,C} = (a ; b ; c ; d ; e ; f)$$

$$\mathbf{W}_{P,I} = (g ; h ; i ; l ; m ; n)$$

Così per esempio il peso globale di “attrezzatura ed equipaggiamento” è:

$P_l = 0,1341 \times 0,0239 + 0,2322 \times 0,0313 + 0,5291 \times 0,0264 + 0,0628 \times a + 0,0418 \times g$
e quello relativo al “fattore umano” è:

$$P_5 = 0,1341 \times 0,3169 + 0,2322 \times 0,2753 + 0,5291 \times 0,1804 + 0,0628 \times e + 0,0418 \times m$$

Per valutare il grado di importanza dei pesi globali ottenuti si calcola l'indice di rischio. Occorre definire una scala attraverso la quale esprimere l'importanza del livello di rischio associato a ciascuna causa. Il problema si risolve con il metodo dell'autovettore e fornisce un indice rischio per ogni causa.

Si definisce una scala verbale dei livelli di rischio:

| Livello di rischio | Rischio | Indice di rischio |
|--------------------|--|-------------------|
| A = Alto | Inaccettabile | I |
| MA = Medio Alto | Elevato, indesiderabile | II |
| MB = Medio Basso | Accettabile, da tenere sotto controllo | III |
| B = Basso | Moderato, da monitorare | IV |

quindi si procede con il confronto a coppie:

| Scala di rischio | A | MA | MB | B |
|------------------|-----|-----|-----|---|
| A | 1 | 3 | 5 | 9 |
| MA | 1/3 | 1 | 3 | 5 |
| MB | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 |
| B | 1/9 | 1/5 | 1/3 | 1 |

da cui, ripetendo i calcoli matematici esposti in precedenza, si determina il vettore normalizzato:

$$\mathbf{W}_S = (0,5806 ; 0,2554 ; 0,1497 ; 0,0499)$$

Con i pesi dei livelli di rischio calcolati è possibile associare a ogni causa di rischio (e volendo ad ogni causa di rischio associata a ciascuna tipologia di pericolo), un indice sintetico di rischio (I, II, III, IV) che permette di effettuare le scelte di intervento in base alle priorità stabilite.

6.8 Cenni sulle metodologie di derivazione affidabilistica

Riportiamo alcuni cenni sulle metodologie di analisi dei sistemi di derivazione affidabilistica [*Progettare e gestire la manutenzione, 2004*], che possono essere utilizzate ai fini della valutazione dei rischi singolarmente oppure insieme agli altri metodi illustrati nei paragrafi precedenti.

Il fondamento che giustifica l'utilizzo di tali metodi di analisi, originariamente dedicati allo studio dell'affidabilità di un sistema tecnico, risiede nelle seguenti due circostanze:

- gli ambiti di applicazione della sicurezza (ambienti di lavoro, macchine, impianti, processi ecc.) possono essere riguardati alla stregua di sistemi tecnici; essi, dunque, possono essere fatti oggetto di analisi mediante le metodologie di derivazione affidabilistica anche ai fini antinfortunistici
- uno dei due meccanismi principali attraverso cui si possono verificare danni ed incidenti sono i fenomeni di guasto i quali, appunto, sono investigabili grazie all'Affidabilità.

6.8.1 FMECA

L'analisi dei modi e degli effetti di guasto e della loro criticità (FMECA) è un metodo che definisce una serie di attività volte a effettuare l'analisi di un sistema e a ricavare una serie di valutazioni circa la criticità in termini di affidabilità degli elementi che lo costituiscono. Il metodo prevede, come prima fase, la scomposizione dell'intero sistema fino ad arrivare agli elementi (entità) che possono essere considerati singolarmente ai fini della valutazione di criticità. Successivamente, per ogni entità, si procede ad individuare i relativi modi di guasto e per ciascuno di questi a individuare gli effetti e le cause. Infine, il metodo consente di associare a ciascun modo di guasto individuato un livello di criticità (*RPN - Risk Priority Number*) che è dato dal prodotto della stima della probabilità (*Occurrence*) del verificarsi del guasto, della stima della gravità (*Severity*) delle conseguenze del verificarsi del guasto e della stima del parametro *Detectability*, che tiene conto della difficoltà di individuare preventivamente il verificarsi del guasto. La quantificazione della criticità relativa a un possibile modo di guasto permette di avviare la selezione e la scelta delle azioni correttive da effettuare, la loro priorità, e di stabilire la demarcazione tra una criticità accettabile e una inaccettabile.

Tale metodologia è per sua natura e struttura applicabile a qualsiasi tipo di sistema, sia esso di natura tecnica che di natura organizzativa-gestionale. Questa sua versatilità, sperimentata negli ultimi anni, ha reso la FMECA un valido strumento per potere effettuare anche l'analisi e la valutazione delle criticità in termini di sicurezza.

6.8.2 HAZOP

La HAZOP (*HAZard and OPerability analysis*) è una metodologia di natura qualitativa, che presenta sia aspetti deduttivi (analisi delle cause) che induttivi (analisi delle

conseguenze) e ha come obiettivo principale quello di identificare gli eventi iniziali che conducono a incidenti. Il concetto base di tale metodologia è che un processo industriale si svolge regolarmente se si trova a operare nelle condizioni di progetto, pertanto, per fare in modo che il processo operi correttamente, è necessario identificare tutte le possibili alterazioni e/o deviazioni dalle intenzioni del progettista. Il metodo presenta due principali sotto-obiettivi fra di loro collegati:

- identificare i rischi e i problemi relativi che degradano le prestazioni dei processi di primaria importanza
- trovare soluzioni ai problemi individuati.

Un progetto HAZOP è normalmente realizzato da un team di specialisti e si fonda su una attività di *brainstorming* e sulla stimolazione della creatività e immaginazione individuale, in modo da concepire e identificare tutti i possibili modi in cui gli eventi dannosi e i problemi operativi possono concretizzarsi. La tecnica richiede l'analisi sistematica dei parametri di processo e una lista di parole chiave da utilizzare come combinazione con i parametri, per individuare tutte le possibili situazioni di *deviazione* rispetto alle *intenzioni* di progetto che saranno oggetto di analisi e valutazione durante il processo HAZOP.

6.8.3 Fault Tree Analysis

La *Fault Tree Analysis* (FTA) inizia con la individuazione di un evento indesiderato (*top event*) e prosegue con la determinazione di tutte le possibili modalità di accadimento dell'evento analizzato. In tal modo si costruisce il cosiddetto *albero dei guasti* (*fault tree*), che è una rappresentazione logica di un sistema, ovvero un insieme di gruppi, componenti, funzioni, modi di guasto e relative cause associate, secondo la loro struttura relazionale. Le catene di eventi sono costruite tramite l'utilizzo di operatori logici tipo *AND*, *OR* che nell'analisi sono chiamati *gate*. L'albero così realizzato mostra i percorsi di guasto e gli scenari che possono condurre all'accadimento di un evento indesiderato; associando le probabilità di accadimento ai singoli eventi costituenti l'albero, è possibile determinare la probabilità di accadimento del top event tenendo conto delle interconnessioni presenti fra i vari eventi. Fondamentale è l'individuazione dei *Minimal Cut Sets* ovvero dei più piccoli raggruppamenti di eventi dal cui accadimento simultaneo deriva anche l'accadimento del top event.

Grazie all'uso di questa metodologia si possono ottenere molte informazioni utili in un processo decisionale, che coinvolge aspetti legati alla sicurezza. Per esempio:

- uso della FTA per la comprensione delle logiche di accadimento di un evento dannoso, attraverso il modello logico, di tipo grafico, che mostra le cause originali e gli eventi intermedi, che determinano l'accadimento del top event
- uso della FTA per classificare i contributi che portano all'accadimento di un evento dannoso
- uso della FTA come strumento proattivo all'accadimento di un evento dannoso, mettendo in evidenza gli eventuali elementi di debolezza presenti all'interno di un sistema complesso.

6.8.4 Event Tree Analysis

La *Event Tree Analysis* (ETA) presenta alcune caratteristiche simili alla FTA e si differenzia da essa in quanto si parte da un evento iniziale e si sviluppano tutti gli scenari possibili costruendo l'albero degli eventi e considerando il successo o l'insuccesso degli eventi successivi (che possono includere sistemi di protezione attiva o passiva). In tal modo si ottiene una analisi sistematica degli scenari che possono presentarsi, consentendo una loro valutazione in termini di probabilità di accadimento, semplicemente attraverso il prodotto delle probabilità di tutti gli eventi lungo un ramo che hanno portato al singolo scenario. Alla base di questa modalità di calcolo c'è l'ipotesi di *indipendenza degli eventi* che deve essere comunque verificata.

Le conseguenze di un evento richiedono una loro descrizione e quantificazione e in generale, all'interno di un albero degli eventi, potranno esserci più modi di misurare le conseguenze, per esempio la quantificazione dei costi o anche delle vittime degli incidenti. A ogni ramo di un albero degli eventi si può dunque associare un certo livello di rischio dato dal prodotto tra la frequenza di accadimento e l'entità delle conseguenze.

6.9 Metodologie avanzate per la valutazione dei rischi

I sistemi di processo delle informazioni di tipo *soft-computing* hanno suscitato, negli ultimi anni, un crescente interesse nel campo industriale. Con l'espressione *soft-computing* si indicano tutte quelle metodologie di trattamento dei dati che si basano su algoritmi che non si limitano semplicemente a elaborare le informazioni che ricevono, bensì creano altri algoritmi e procedure adatti a questo compito. In pratica si può parlare di meta-algoritmi in grado di generare gli algoritmi necessari al trattamento dei dati ai quali sono sottoposti. Al contrario dell'*hard-computing*, non ci sono regole prescrittive per il calcolo della soluzione; le soluzioni non sono programmate per tutte le possibili situazioni. Lo stato del sistema si determina attraverso dei parametri che vengono adattati per convergere verso la "soluzione".

Le caratteristiche delle tecniche di *soft-computing* possono essere estremamente utili nel campo della sicurezza per la analisi e valutazione dei rischi, anche utilizzate insieme ad altri metodi, in considerazione della difficoltà di esprimere in termini oggettivi e matematici il rischio associato a un potenziale evento dannoso.

Le tecniche più utilizzate nel campo del *soft-computing* sono:

- le reti neurali artificiali;
- la *fuzzy logic*;
- gli algoritmi genetici.

Nei paragrafi che seguono sono illustrate brevemente le caratteristiche principali di queste tecniche.

6.9.1 Reti neurali artificiali

Le reti neurali artificiali sono sistemi adattivi che “imparano” a risolvere il problema che viene loro posto, dopo un adeguato periodo di addestramento. Esse sono state sviluppate contemporaneamente alle ricerche effettuate sul cervello umano in campo fisiologico; le prime reti neurali altro non erano che modelli matematici del comportamento, a livello di attività sinaptica e quindi di trasmissione di informazione fra i neuroni biologici. Successivamente la ricerca si è svincolata da quella in campo fisiologico e ha cominciato ad abbracciare un vasto campo di applicazioni industriali.

Il funzionamento delle reti neurali artificiali può essere spiegato alla luce di due teoremi i quali affermano che:

1. le reti neurali approssimano qualunque funzione lineare e non, purché continua [Kolmogorov];
2. le reti neurali approssimano qualunque funzione continua e la sua funzione derivata [Cybenko];

in tal modo possiamo considerarle come “approssimanti” universali.

Nella Figura 6.5 è rappresentata l’analogia tra il passaggio del segnale tra due neuroni biologici e l’equivalente nel caso di due neuroni artificiali.

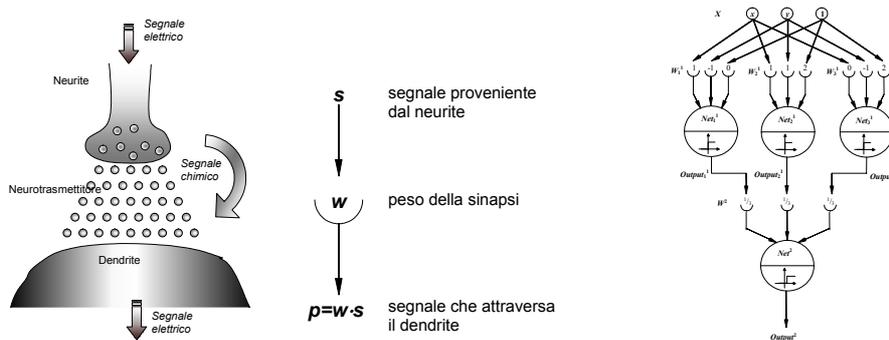


Figura 6.5 Analogia biologica ed esempio di rete neurale artificiale.

Una rete neurale è costituita da serie di neuroni posizionati in strati e collegati tra di loro di cui il primo costituisce lo strato di input (ove si immettono i segnali all’interno della rete) e l’ultimo è lo strato di output (che fornisce la risposta della rete). Il segnale in uscita è semplicemente il risultato delle combinazioni lineari che si calcolano a partire dallo strato di input sommando, per ciascun neurone, i contributi provenienti dai neuroni dello strato precedente, ai quali è collegato, moltiplicati per il peso della relativa connessione sinaptica. Per evitare problemi di *overflow* si utilizzano delle funzioni di trasferimento che limitano il valore del segnale in uscita dal neurone a un preciso intervallo di valori.

La rete neurale per poter essere efficacemente utilizzata deve essere adeguatamente “addestrata”. Una volta stabilita l’architettura della rete, si immettono nella stessa, in input, i dati a disposizione; la procedura di addestramento della rete determina il modo in cui i valori dei pesi delle connessioni sinaptiche sono modificati per migliorare l’output della rete (addestramento non supervisionato). Un secondo tipo di addestramento, quello supervisionato, prevede, oltre l’immissione dei dati a disposizione, anche l’inserimento dei rispettivi valori attesi di output; in questo modo, la procedura di addestramento provvede alla modifica dei pesi delle connessioni in funzione dell’errore misurato tra la risposta della rete e il risultato atteso noto.

L’applicazione delle reti neurali nel campo della sicurezza, grazie alla loro capacità di approssimazione delle funzioni, può essere utile nei casi in cui non è disponibile una definizione analitica della funzione di rischio del tipo $R=f(P,D)$. Infatti una rete neurale adeguatamente strutturata e efficacemente addestrata, può fornire in uscita il valore calcolato di rischio R a fronte dell’immissione in ingresso dei valori dei diversi parametri stabiliti per descrivere la probabilità di accadimento P e la gravità delle conseguenze D , utilizzando la stessa come una “black-box” a prescindere, quindi, dal legame funzionale esistente tra i diversi parametri. Oppure, in maniera analoga, può essere utilizzata per determinare i valori di P o D , inserendo in input i diversi parametri (determinati utilizzando anche altre tecniche, per esempio la logica fuzzy), che a loro volta possono poi diventare valori in ingresso a un’altra rete per la valutazione finale del rischio R .

6.9.2 Logica fuzzy

Lo scopo principale della *fuzzy logic* è quello di suggerire una via matematica per la rappresentazione delle imprecisioni che caratterizzano i processi umani e agevolare, in particolare, le possibilità effettive di ottenere una descrizione per quanto possibile precisa di qualsivoglia sistema a prescindere dalla sua complessità. Un modo semplice è quello di fare uso di variabili linguistiche anziché di quelle numeriche alle quali si ricorre frequentemente nel campo della sicurezza per il processo di analisi e valutazione dei rischi (si veda anche il Paragrafo 1.6).

Si definisce un insieme sfumato (fuzzy) come l’insieme di tutti i concetti linguistici (che si possono esprimere) caratterizzati dall’aver una proprietà in comune; la funzione di appartenenza è quella che pone in relazione ogni elemento di un insieme sfumato con l’intervallo numerico continuo $[0,1]$ e che rappresenta il grado di appartenenza di un singolo elemento dell’insieme, ovvero, di un dato concetto linguistico a un determinato insieme di concetti. Il tipo di funzione di appartenenza da utilizzare dipende dal tipo di fenomeno che si sta descrivendo. La fuzzy logic in questo modo, tenendo conto della imprecisione presente e delle approssimazioni fatte nelle analisi, aiuta a ristabilire l’integrità nelle stesse, accettando l’incertezza come proprietà del sistema e non forzando la precisione laddove questa non sia possibile.

Per esempio, la probabilità di un evento dannoso può essere espressa come una variabile linguistica che assume i valori *remoto*, *basso*, *moderato*, *alto* e *molto alto*. Ognuno di questi termini può essere definito come un insieme fuzzy (Figura 6.6). No-

tare come siano possibili sovrapposizioni tra i numeri corrispondenti ai valori delle variabili caratteristica peculiare questa della fuzzy logic.

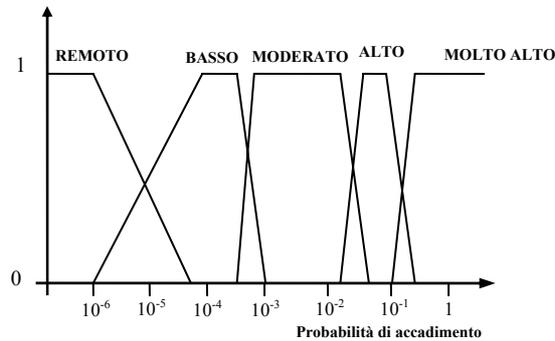


Figura 6.6 Definizione delle probabilità di guasto.

In linea di massima, i passi che si devono percorrere ai fini della realizzazione di un modello fuzzy sono i seguenti:

1. definizione dell'insieme di regole che influenzano lo sviluppo del fenomeno in esame, ovvero la cosiddetta base di conoscenza del modello
2. individuazione dei fenomeni che interessa monitorare e/o modellizzare
3. sintesi delle conclusioni che influenzano le decisioni
4. programmazione del modello fuzzy (modulo fuzzy, motore fuzzy, modulo defuzzy).

6.9.3 Algoritmi genetici

La teoria evolutivistica dei sistemi biologici lega le possibilità di sopravvivenza di un individuo principalmente alla sua capacità di adattamento all'ambiente (*fitness*) i cui mezzi risiedono nel suo patrimonio genetico, cioè in un insieme di informazioni ereditate dai genitori e, successivamente, sottoposte parzialmente a un processo di cambiamento casuale (mutazione genetica), che ne determina una identità univoca e distinta. Questi principi sono tradotti in procedure informatizzate con le quali è possibile analizzare e progettare sistemi caratterizzati da una elevata complessità; gli *algoritmi genetici* sono algoritmi di ricerca che combinano il principio di sopravvivenza del migliore con uno scambio strutturato e casuale di informazioni alla ricerca, tramite generazioni successive, della migliore soluzione, ovvero della determinazione del massimo di una assegnata funzione a valori reali (funzione di fitness). La terminologia utilizzata rispecchia quella usata in biologia, infatti, le soluzioni candidate sono chiamate cromosomi e sono formate da una stringa di variabili; la ricerca della soluzione ottimale avviene mediante l'esame di successive generazioni di popolazioni di cromosomi (generate dai migliori individui della precedente generazione e sottoposte a mutazioni casuali all'interno dei cromosomi) che evolvono in modo tale che ogni

generazione futura sia caratterizzata da un valore di fitness maggiore rispetto alle precedenti.

Gli algoritmi genetici si distinguono dai metodi tradizionali di ottimizzazione principalmente per i seguenti aspetti:

- non risentono del numero di variabili
- la ricerca della soluzione non presuppone alcun tipo di non linearità
- lavorano con i codici dell'insieme dei parametri e non direttamente con i parametri
- ricercano una popolazione di punti e non un singolo punto
- utilizzano una sola funzione di valutazione
- utilizzano regole di transizione probabilistiche e non regole deterministiche.

Un algoritmo genetico può essere realizzato attraverso una sequenza di passi corrispondenti ai seguenti:

1. creazione di una popolazione iniziale (insieme di soluzioni)
2. valutazione di tutti gli individui (singola soluzione) di tale popolazione
3. selezione di una nuova popolazione da quella precedente basata sulla idoneità degli individui (scelta delle migliori soluzioni per la riproduzione)
4. applicazione di alcuni operatori genetici (incroci e mutazioni) agli individui della nuova popolazione per creare nuove soluzioni.

Bibliografia

AISS-ISPEL, *Calcolare da sé il rischio d'infortunio*, Comitato Internazionale "Sicurezza delle Macchine" dell'AISS – Gruppo di lavoro n. 1, Rodamedia Communication, Roma 2001.

Cagno E., Caron F., Perego A., "Una tecnica multi-criterio per il competitive bidding", *Impiantistica Italiana*, Anno X, n. 1, 1997.

Chiappi R., "Applicazione dell'analisi multicriteri alle aziende impiantistiche", *Impiantistica Italiana*, Anno X, n. 3, 1997.

Cybenko G., "Approximation by superpositions of a sigmoidal function", *Mathematics of control, signal and systems*, vol. 2, pp. 303-314, 1989.

Duffuaa S.A., Raouf A., Campbell J.D., *Planning and Control of Maintenance Systems*, John Wiley & Sons, New York 1999.

Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D., *Progettare e gestire la manutenzione*, McGRAW-HILL, Milano 2004.

Kolmogorov A.N., “On the representation of continuous functions of many variables by superpositions of continuous functions of one variable and addition”, *Doklady Akademii Nauk SSR*, vol. 114, pp. 953-956, 1957.

Lando M., Macchiaroli R., Fedele D., “Contributo metodologico per la valutazione del rischio nell’impiego di macchine utensili”, *Impiantistica Italiana*, anno IX, maggio 1996, pp. 23-32.

Mustafa M. A., Al-Bahar J. F., “Project Risk Assessment Using the Analytic Hierarchy Process”, *IEEE Transaction on Engineering Management*, vol. 38, n. 1, 1991.

Saaty T. L., *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGRAW-HILL, New York 1980.

MIL-STD-882D, *Standard practice for system safety*, U.S. Department of Defense, Washington 2000.

UNI EN ISO 14121-1, *Sicurezza del macchinario – Valutazione del rischio – Parte 1: principi*, UNI, Milano 2007.

Organizzazione e gestione della sicurezza

*M.Concetti – F.Zucchi

7.1 Introduzione

L'errore è una componente inevitabile della realtà umana. Inoltre, è fondamentale riconoscere che il sistema socio-tecnico, inteso come l'insieme di diversi elementi e delle relazioni fra questi finalizzato a raggiungere uno o più obiettivi comuni, può creare le circostanze che portano all'errore dell'operatore (errore attivo).

Sulla base di tali considerazioni, James Reason, nel corso dei suoi studi sulla *teoria dell'errore umano* ed in particolare di quelli relativi all'*approccio sistemico allo studio degli errori* ha sviluppato la *Teoria degli Errori Latenti*, ove per errore latente si considerano tutti gli sbagli che restano "silenti" nel sistema finché un evento scatenante (*triggering event*) non li rende manifesti in tutta la loro potenzialità, causando danni più o meno gravi.

Sulla base di tale teoria, l'operatore umano è la causa più prossima all'evento in-cidentale, ma la causa generatrice è da ricondurre a decisioni manageriali e scelte organizzative sbagliate, cioè alle condizioni nelle quali accade l'errore, che è visto come il risultato di un fallimento del sistema. Da questa visione sistemica, nasce l'idea che il verificarsi di un incidente sia frutto di una concatenazione di eventi che hanno superato tutte le difese che erano state messe in atto. Quindi, poiché gli errori attivi non potranno mai essere eliminati in modo definitivo, per aumentare la sicurezza di un si-

*Il Capitolo è stato redatto in collaborazione con:

Massimo Concetti, Ingegnere, Responsabile tecnico certificazione aziendale del CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione ed esperto in Sicurezza. Collabora con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma.

Francesca Zucchi, Ingegnere, esperta in discipline gestionali, collabora con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma e con il Department of Industrial and Systems Engineering della Texas A&M University.

stema è necessario influire sulle criticità latenti, sulle quali gli errori attivi si innescano.

La sicurezza deriva, pertanto, dalla capacità di progettare e gestire organizzazioni in grado non solo di ridurre la probabilità che si verifichino errori (prevenzione) e di recuperare e contenere gli effetti degli errori che comunque si verificano (protezione), ma anche di migliorare continuamente nella sua globalità. Conseguentemente, l'organizzazione della sicurezza deve essere considerata come il processo attraverso il quale si progetta e gestisce il sistema socio-tecnico. Tra gli elementi del sistema devono essere considerati:

- le persone
- la struttura sociale
- le tecnologie (insieme di mezzi, *know how* e risorse per la trasformazione degli input in output)
- il fine (rappresentazione degli obiettivi desiderati)

oltre che l'ambiente, che altro non è che l'insieme di condizioni esterne e vincoli che condizionano il processo organizzativo. Tra le relazioni devono essere considerate le funzioni di "gerarchia" e di "coordinamento", che definiscono anche l'interazione tra risorse umane e tecnologie.

L'organizzazione della sicurezza è pertanto funzione:

- delle *variabili ambientali*, esterne al sistema organizzativo e relative ad aspetti socio-economici, giuridici e culturali dell'ambiente in cui esso opera
- delle *variabili di contesto*, interne al sistema organizzativo. Queste comprendono:
 - le *variabili umane*, relative alle caratteristiche delle persone che operano nel sistema organizzativo (qualificazione, atteggiamenti, motivazione ecc.)
 - le *variabili sociali*, ossia l'insieme delle relazioni interpersonali che si creano all'interno del sistema organizzativo
 - le *variabili tecniche*, relative alle tecnologie impiegate
 - le *variabili organizzative*, ossia le modalità attraverso le quali si realizzano le connessioni tra gli elementi del sistema organizzativo, definendone specifici attributi (i ruoli organizzativi) indipendentemente dalle persone che li ricoprono:
 - la struttura organizzativa
 - i sistemi (o meccanismi) operativi
 - lo stile di leadership o, più in generale, la cultura organizzativa.

Conseguentemente tutte le variabili funzionali devono essere analizzate e definite nell'ambito del processo di organizzazione della sicurezza, il quale si concretizza nella progettazione, implementazione e attuazione di un sistema di gestione (SG) che ha la finalità di migliorare continuamente le condizioni di salute e sicurezza (S&S) del personale e di tutte le parti interessate.

7.2 Il “sistema di gestione”

7.2.1 Sistema di gestione e complessità

Il concetto di sistema di gestione rappresenta una rivoluzione nella filosofia della gestione aziendale. Il sistema di gestione appare lo strumento più efficace per tenere conto di tutte le variabili che influenzano e condizionano il comportamento del sistema azienda e che lo rendono particolarmente complesso dal punto di vista dell'organizzazione e della successiva gestione. In particolare, è necessario sottolineare come la complessità dei sistemi produttivi sia cresciuta negli ultimi anni per la crescente variabilità sia dei fattori socio-ambientali, sia di quelli interni al sistema stesso. Negli ultimi anni, infatti, si è assistito a significativi mutamenti economici e sociali, in gran parte legati allo straordinario progresso tecnologico che ha determinato fenomeni di profonda modificazione dei mercati e, di riflesso, dei sistemi produttivi. Fra gli altri, sembrano particolarmente importanti e caratterizzati da sufficiente grado di generalità i seguenti:

- l'accrescimento della quantità e della qualità delle informazioni disponibili, sia presso i fornitori, sia presso i consumatori
- l'ampliamento dei mercati, ovvero la cosiddetta *globalizzazione*
- l'accrescimento dei consumi
- l'accrescimento della qualità della vita.

Tali circostanze, a loro volta, hanno determinato:

- esigenze di razionalizzazione
- esigenze di soddisfazione di esigenze sempre più particolari e mutevoli
- accrescimento della competitività e della concorrenza
- accrescimento delle esigenze gestionali rispetto a quelle operative ed esecutive.

Tutto ciò in un contesto che, sia per il bisogno di soddisfare le nuove prospettive poste dai mercati, sia per una rinnovata sensibilità sociale ed ambientale, si manifesta gradualmente più interessato a tematiche quali: a) lo sviluppo sostenibile (che in senso generale si traduce in problematiche di uso razionale dell'energia, di conservazione/manutenzione e di sicurezza), b) l'economicità delle attività produttive e c) la soddisfazione degli *stakeholders* (che si traduce in problematiche di qualità).

Da un punto di vista socio-economico, infine, si assiste alla formazione di nuovi soggetti politici (Unione Europea) e di nuove alleanze economiche (*World Trade Organization*), che portano, fra l'altro, alla definizione di nuove regole finalizzate alla omogeneizzazione dei comportamenti tecnici e commerciali:

- norme volontarie internazionali sulla gestione delle attività produttive
- direttive del “nuovo approccio” e norme armonizzate
- integrazione dei processi e globalizzazione dei mercati.

L'inasprimento della competizione fra imprese, così, esalta in modo significativo l'importanza di coniugare in modo efficace la *soddisfazione di tutte le parti interessa-*

te, e il *contenimento dei costi*, che possono essere considerate, oggi, come le due direttrici fondamentali da seguire per lo sviluppo di qualunque sistema produttivo sano.

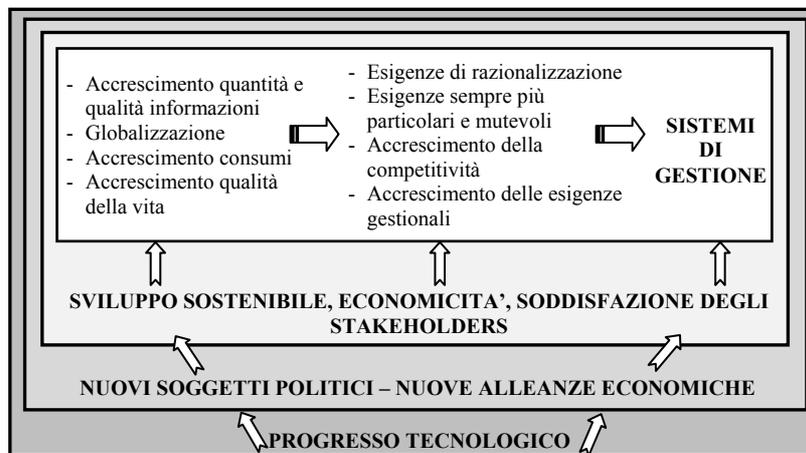


Figura 7.1 Modello di sviluppo del mercato [Fedele, 2002].

In definitiva, la complessità del sistema socio-tecnico determina la necessità, per poter garantire la “sopravvivenza” dell’impresa, di uno strumento, il sistema di gestione, che sia in grado di poter regolamentare l’organizzazione e la gestione dell’azienda stessa e allo stesso tempo sia tale da tenere sotto controllo anche i cambiamenti e i vincoli dovuti a fattori esterni ed interni e di “spingere” verso il *miglioramento continuo*.

7.2.2 I principi di un sistema di gestione

Secondo la definizione della norma UNI EN ISO 9000, per sistema di gestione si intende *l’insieme di elementi correlati o interagenti per stabilire politica ed obiettivi e per conseguire tali obiettivi*. Le attività proprie di un sistema di gestione sono essenzialmente le stesse e anche i principi di gestione si possono applicare in ogni tipo di organizzazione e per qualsiasi obiettivo si voglia perseguire, sia esso di qualità, ambientale, di sicurezza ecc. I principi di gestione per guidare e gestire una organizzazione che persegue il miglioramento continuo delle prestazioni nel lungo termine possono essere riassunti nei seguenti:

1. Focalizzazione sulle parti interessate

Le organizzazioni dipendono da tutte le parti interessate e dovrebbero pertanto conoscere le loro esigenze presenti e future, soddisfare le loro necessità e sforzarsi di andare oltre le loro aspettative. Bisogna quindi “ascoltare” le opinioni di tutte le parti interessate e agire di conseguenza.

2. Leadership

I manager stabiliscono unità di intenti e di indirizzo dell'organizzazione. Essi devono creare e mantenere un ambiente interno che coinvolga pienamente il personale nel perseguimento degli obiettivi. I leader devono definire obiettivi ambiziosi e implementare strategie per raggiungerli; seguire, supportare e coinvolgere le persone.

3. Coinvolgimento del personale

Le persone, di qualunque livello, sono l'essenza di ogni organizzazione e solo il loro coinvolgimento permette che le loro abilità siano messe al servizio del bene comune. È necessario:

- creare nelle persone il senso di appartenenza e di responsabilizzazione nei confronti degli obiettivi aziendali
- utilizzando la conoscenza e l'esperienza delle persone e, servendosi della formazione, conseguire il coinvolgimento nelle decisioni operative e nel miglioramento dei processi
- diffondere le conoscenze relative al sistema di gestione e promuovere l'idea di collaborazione e mutua assistenza tra azienda e personale
- incoraggiare i lavoratori allo scambio di informazioni e alla collaborazione per lo sviluppo.

4. Approccio per processi

Per raggiungere nel modo più *efficiente* possibile un obiettivo è necessario organizzare le risorse e le attività in processi. Bisogna identificare in modo esplicito i destinatari finali (per esempio, fra i principali, i clienti nel caso della qualità e i lavoratori nel caso della sicurezza) e gli interlocutori (per esempio i fornitori o i subappaltatori) interni/esterni di ogni processo, focalizzarsi sull'utilizzo delle risorse nelle attività, fino ad arrivare a ottimizzare l'impiego di persone, equipaggiamenti, metodi e materiali.

5. Approccio sistemico alla gestione

Per migliorare l'*efficacia* e l'*efficienza* di un'organizzazione è necessario identificare e gestire la rete di processi interdipendenti che costituiscono il sistema, conoscere le loro interdipendenze, rendere consistenti i processi con gli obiettivi e i traguardi dell'organizzazione, misurare i risultati conseguiti rispetto agli obiettivi stabiliti.

6. Miglioramento continuo

Ogni organizzazione deve porsi come obiettivo il miglioramento continuo. È necessario stabilire un set di obiettivi ambiziosi di miglioramento, mettere a disposizione le risorse e fornire alle persone gli strumenti, i metodi e l'incoraggiamento necessario per contribuire al miglioramento continuo.

7. Decisioni basate su dati di fatto

La gestione aziendale deve essere basata su fatti e dati. Per prendere decisioni che cambino la realtà occorre basarle sull'analisi di dati e informazioni. Ci si deve sforzare di massimizzare le prestazioni dell'organizzazione mediante l'uso di metodi e strumenti adeguati.

8. Rapporti di reciproco beneficio con le parti interessate

Le parti interessate di un'organizzazione sono uno dei processi interdipendenti dell'organizzazione stessa, di conseguenza solo una relazione reciprocamente vantaggiosa aumenta la loro abilità di creare valore per entrambi. È necessario stabilire alle-

anze strategiche o partnership con le parti interessate, garantendo che vengano coinvolte sin dalle prime fasi nei progetti congiunti di miglioramento di prodotti, processi e sistemi, e sviluppare una collaborazione basata sull'impegno a perseguire la loro soddisfazione e il miglioramento continuo.

7.2.3 Elementi per la progettazione dell'organizzazione e della gestione

Per lo sviluppo di un sistema di gestione è necessario conoscere e armonizzare le diverse attività tra loro correlate, concorrenti al mantenimento e al miglioramento dell'azienda. La progettazione dell'organizzazione e della gestione è pertanto di fondamentale importanza per il successo di una qualsiasi azienda. È infatti ben noto, per esempio, che a parità di prodotto, aziende ben progettate producono profitto, mentre quelle mal progettate falliscono; allo stesso modo, a parità di ambiente di lavoro, nelle aziende ben progettate si verificano meno incidenti. Tra le fasi più critiche per una efficace progettazione dell'organizzazione e della gestione vanno sottolineate e considerate:

- l'analisi dei processi
- la definizione della struttura organizzativa
- il ciclo PDCA.

7.2.3.1 L'analisi dei processi

L'analisi dei processi rappresenta il punto di partenza per progettare l'organizzazione e la successiva gestione, in particolare in questa fase:

- a. si vuole ottenere una fotografia dello stato dell'azienda, quella che generalmente si chiama *valutazione iniziale*, e
- b. si vogliono identificare le numerose attività, e i collegamenti tra queste, che consentono il funzionamento dell'azienda.

Per fare ciò nel modo più efficace possibile l'azienda deve essere schematizzata come l'insieme di più sottosistemi, processi e relazioni. In questa visione ogni *processo* può essere inteso come un insieme di attività che trasformano elementi in ingresso (*input*) in elementi in uscita (*output*), e spesso l'elemento in uscita da un processo costituisce direttamente l'elemento in ingresso per un processo successivo.

In particolare, i processi, sono da intendersi come *black box* che producono ciò che è stato loro comandato, se correttamente alimentati e supportati. Una possibile schematizzazione può utilmente essere rappresentata nel modo seguente:

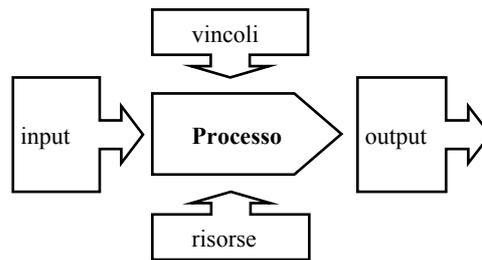


Figura 7.2 Schematizzazione di un processo.

Si intendano, nella schematizzazione suddetta:

- *input*: tutto ciò che è tangibile (per esempio, materiali) o intangibile (per esempio, informazioni) deve necessariamente essere fornito al processo perché esso possa produrre l'atteso *output*,
- *output*: tutto ciò che è tangibile o intangibile e che ci si attende che venga prodotto dal processo,
- *vincoli*: sono da considerare in questa categoria tutte le limitazioni imposte al processo, per leggi o normative applicabili, per limiti tecnici dell'impresa o dell'impianto ecc.,
- *risorse*: tutto quanto è necessario mettere a disposizione del processo perché possa produrre l'output atteso (per esempio, risorse umane o economiche).

In definitiva, tale analisi consente di comprendere nel modo più analitico possibile quali sono i parametri che influenzano il comportamento del sistema e che saranno tenuti in particolare considerazione per la progettazione, sia dal punto di vista organizzativo che gestionale. I benefici principali che dovrebbero derivare da ciò sono:

- integrazione ed allineamento dei processi per meglio favorire il raggiungimento dei risultati desiderati
- capacità di mettere a fuoco i processi più critici
- strutturare il sistema per raggiungere gli obiettivi dell'organizzazione nel modo più efficace ed efficiente
- comprendere le interdipendenze tra i processi del sistema
- comprendere meglio i ruoli e le responsabilità necessari per raggiungere gli obiettivi comuni, riducendo quindi le barriere tra le funzioni dell'organizzazione
- capire le potenzialità organizzative e individuare i vincoli sulle risorse prima di iniziare le attività
- individuare obiettivi e definire come le attività specifiche dovrebbero inquadrarsi nel sistema
- individuare modalità di misura e valutazione di ogni processo necessarie per migliorare continuamente il sistema.

7.2.3.2 La struttura organizzativa

La fase di analisi dei processi consente di comprendere meglio i ruoli, i compiti e le responsabilità necessari per raggiungere gli obiettivi. Per poter arrivare alla definizione della struttura organizzativa più efficace, queste conoscenze devono essere integrate con le relazioni di “gerarchia” e “coordinamento”. Oltre a questi aspetti, è necessario che la configurazione organizzativa sia conforme alle condizioni tecnologiche ed ambientali in cui l’azienda si trovano ad operare.

La letteratura propone diversi schemi e configurazioni organizzative. Per brevità di seguito vengono riportati due esempi degli schemi organizzativi più diffusi e la tabella delle cinque configurazioni organizzative proposte da Mintzberg.

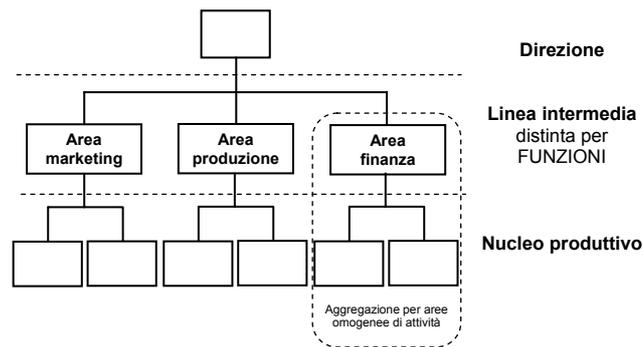


Figura 7.3 Esempio di schema di struttura organizzativa funzionale.

Nel modello di struttura funzionale l’organizzazione si basa sulla suddivisione del lavoro in base alle funzioni, per gruppi, cioè, di processi affini in senso tecnico ed economico.

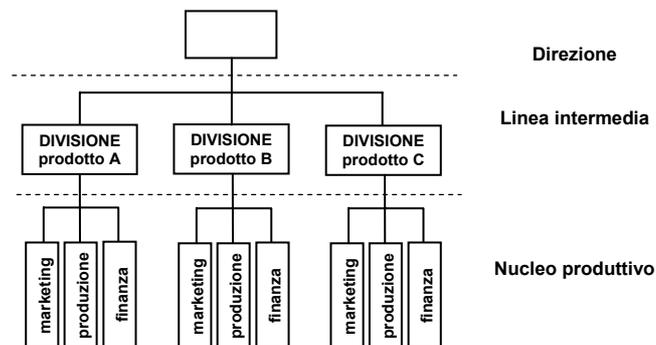


Figura 7.4 Esempio di schema di struttura organizzativa divisionale per prodotto.

Nelle forme divisionali si arriva ad un ribaltamento della logica di progettazione della struttura organizzativa, non più basata sugli input e sulle tecniche (che portano alla creazione delle funzioni), ma in base agli output, scegliendo fra i diversi criteri quello che coglie la diversità più importante e significativa. Cambia il criterio di specializzazione delle unità organizzative, che può essere dato:

- dal prodotto, definito dal bene o dal servizio reso
- dall'area geografica, definita dall'ambito geografico presidiato da ciascuna divisione
- dai clienti, a cui sono destinati i prodotti e i servizi.

Tabella 7.1 Le cinque configurazioni di *Mintzberg*.

| | Struttura semplice | Burocrazia meccanica | Burocrazia professionale | Soluzione divisionale | Adhocrasia |
|---------------------------|--|---|---|--|--|
| Meccanismo | Supervisione diretta | Standardizzazione processi produttivi | Standardizzazione competenze | Standardizzazione dei risultati | Adattamento |
| Parte prevalente | Direzione aziendale | Tecnostruttura | Base operativa | Manager di linea | Staff di supporto |
| Età azienda | Giovane, fase iniziale | Non giovane | Dipende | Non giovane | Giovane |
| Dimensioni azienda | Piccole | Ampie | Dipende | Ampie | Dipende |
| Ambiente | Semplice | Stabile | Complesso ma stabile | Abbastanza stabile | Dinamico e complesso |
| Potere | Supervisione diretta della direzione aziendale, accentrato | Tecnostruttura con potere, possibilità di controllo esterno, limitato decentramento orizzontale | Controllo degli operatori stessi, forte decentramento orizzontale | Controllo dei manager di linea, limitato decentramento verticale | Potere agli esperti, decentramento selettivo |

Le cinque configurazioni organizzative proposte da *Mintzberg* tengono conto, oltre che delle variabili organizzative, dei fattori situazionali o contingenti e cioè degli stati o condizioni dell'organizzazione che sono associati all'utilizzo di determinati parametri di progettazione organizzativa. I fattori situazionali considerati comprendono: l'età e la dimensione dell'organizzazione, nonché l'epoca di formazione del settore in cui essa opera; la tecnologia, intesa come gli strumenti ed i mezzi utilizzati nel nucleo operativo per trasformare gli input in output; l'ambiente, ciò che è sostanzialmente esterno all'organizzazione; il potere, esaminato considerando il grado di controllo esterno sull'azienda, il bisogno di potere dei membri dell'organizzazione e il potere delle norme sociali che si esprime attraverso le mode organizzative.

7.2.3.3 Il ciclo PDCA

Lo schema concettuale basilare che consente di gestire un'azienda con risultati sempre migliori è il ciclo PDCA o "ruota di Deming". Tale schema fornisce un inquadramento concettuale che consente una efficace gestione dell'organizzazione, la creazione nelle persone della capacità di miglioramento, lo sviluppo di strategie aziendali e-

stremamente focalizzate, la prevenzione degli errori a tutti i livelli, l'esecuzione di controlli in modo efficace.

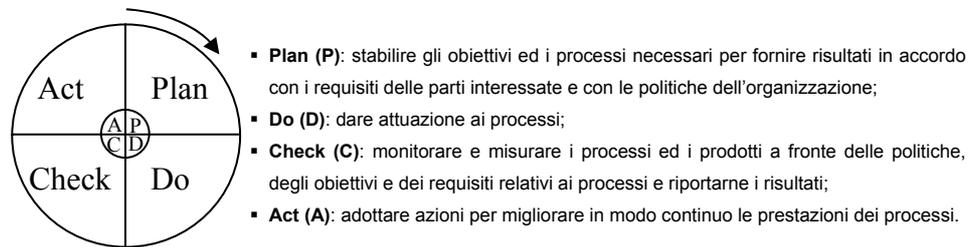


Figura 7.5 Ciclo PDCA.

In particolare, per ciclo PDCA (Figura 7.5) si intende la sequenza ciclica ed iterativa, rispetto ad ogni processo aziendale, delle attività di pianificazione (PLAN), attuazione (DO), controllo/verifica (CHECK) e adozione di azioni correttive e/o preventive opportune (ACT). Tale schema consente la continua ri-pianificazione e riprogettazione dei processi, grazie alla quale gli stessi vengono migliorati continuamente.

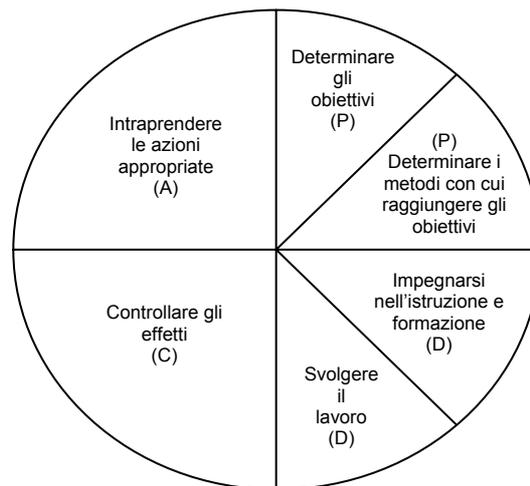


Figura 7.6 Ciclo PDCA in sei categorie.

È possibile e utile ridefinire il ciclo PDCA facendo riferimento alle seguenti sei classi di azioni, suddivisione delle macro-azioni previste da Deming:

1. determinare gli obiettivi (P);
2. determinare i metodi con cui raggiungere gli obiettivi (P);

3. impegnarsi nell'istruzione e nella formazione (D);
4. svolgere il lavoro (D);
5. controllare gli effetti (C);
6. intraprendere le azioni appropriate (A).

1. Determinazione degli obiettivi (P)

Senza determinare una politica da seguire non è possibile stabilire gli obiettivi. Le politiche devono essere determinate dalla direzione. Quando si formula una *politica*, devono essere chiari il modo di arrivarci e i dati su cui si fonda. Nel formulare una politica l'*alta direzione* deve sempre avere in mente il quadro generale. Una volta stabilita la politica da seguire, gli obiettivi diventeranno evidenti. Gli obiettivi devono essere espressi concretamente in cifre, ovvero in termini quantitativi; nello stabilire gli obiettivi, inoltre, è necessario definire scadenze precise. E' inoltre necessario stabilire i limiti degli obiettivi raggiungibili. Gli obiettivi devono essere stabiliti in base ai problemi che l'azienda desidera risolvere. Questo sistema è di gran lunga preferibile all'assegnazione di obiettivi separati alle diverse funzioni e organizzazioni. Gli obiettivi devono essere stabiliti in modo tale da assicurare la collaborazione tra tutte le funzioni. Politiche e obiettivi devono essere messe per iscritto e distribuiti in tutta l'azienda. Più basso è il livello del personale a cui giungono tali informazioni, più dettagliata, esplicita e concreta deve essere la forma in cui politiche e obiettivi vengono presentati. Allo stesso tempo politiche e obiettivi devono essere coerenti.

2. Determinazione dei metodi con cui raggiungere gli obiettivi (P)

Se gli obiettivi vengono stabiliti senza conoscere i metodi con cui raggiungerli, il sistema di gestione finisce per essere un mero esercizio mentale. Il metodo da stabilire deve essere utile a tutti e non presentare difficoltà. E' necessario comprendere il significato del controllo del processo, impadronirsi del processo, ovvero dell'insieme dei fattori causali, e costruirvi all'interno i modi per ottenere prestazioni migliori, stabilire obiettivi più elevati e raggiungere gli effetti. Nella fase di individuazione dei fattori causali più importanti, è necessario consultare tutti coloro che hanno familiarità con un determinato processo: operai, ingegneri e ricercatori. Tutte queste persone devono essere in grado di discutere il processo in modo franco e aperto; la discussione può essere organizzata come una seduta di brainstorming.

3. Istruzione e formazione (D)

I superiori hanno la responsabilità di istruire e allevare i propri subalterni. L'istruzione non deve essere limitata a incontri formali. Riunire i dipendenti in una classe e impartire loro una lezione costituisce tutt'al più un terzo o un quarto dell'intero processo educativo. Una volta formato, bisogna delegare l'autorità al personale e lasciarlo libero di svolgere il lavoro a modo suo. La forma ideale di gestione è quella in cui tutti sono ben addestrati, sono degni di fiducia e non necessitano di un eccessivo controllo.

4. Svolgimento del lavoro (D)

Se tutto si svolge secondo la procedura appena illustrata, i processi aziendali non dovrebbe presentare alcun problema.

5. Controllo degli effetti (C)

Se il lavoro procede secondo gli obiettivi stabiliti, è meglio lasciare le cose come stanno. Se però si verifica un evento inusuale, o se comunque si esce dal normale an-

damento, il manager deve intervenire. Lo scopo del controllo è scoprire le eccezioni. Per poter svolgere questo compito in modo efficiente, le politiche fondamentali, gli obiettivi e le procedure di standardizzazione e istruzioni devono essere ben chiari. In assenza di chiarezza non è possibile distinguere le eccezioni dai casi normali.

6. Azione appropriata (A)

Individuare le eccezioni o le irregolarità attraverso gli effetti non è in sé utile all'azienda. Bisogna individuare i fattori causali, che hanno determinato le eccezioni, e prendere le iniziative appropriate. In un'azione correttiva è importante prendere determinate misure per prevenire il ripetersi delle eccezioni: è indispensabile, infatti, mettere un freno alle irregolarità. In ogni caso non è sufficiente apportare delle modifiche ai fattori causali individuati: bisogna sforzarsi di eliminare i fattori responsabili. Correggere e prevenire sono due cose distinte, sia da un punto di vista concettuale che in termini delle iniziative da prendere. Per eliminare le cause è necessario risalire fino alla fonte stessa del problema e prendere adeguate misure per prevenirne la ricorrenza.

7.3 Dalla politica all'attuazione

Le norme della famiglia ISO 9000 e l'implementazione dei sistemi di gestione per la qualità hanno contribuito in modo decisivo, in particolare negli ultimi decenni, alla diffusione della gestione sistematica dei processi, che ha portato, nel panorama delle attività produttive, a una maggiore attenzione verso i concetti di efficacia, efficienza e miglioramento. Tali temi negli ultimi tempi si sono trasformati in un *must* delle grandi organizzazioni e, in maniera graduale, si stanno diffondendo sempre più anche nelle piccole e medie realtà aziendali. Tale logica gestionale, basata sul modello PDCA, sta diventando sempre più parte della cultura organizzativa delle aziende che ne hanno sposato da tempo i principi. Sulla scia dei successi ottenuti attraverso l'adozione dei sistemi di gestione per la qualità, anche in termini economici e di immagine, le aziende possono trovare nei modelli gestionali uno strumento efficace e relativamente semplice da utilizzare per l'attuazione delle necessarie condizioni di sicurezza, ove si faccia riferimento ai criteri che qui si espongono.

Inoltre, il recepimento da parte degli stati membri delle Direttive emanate dalla Unione Europea ha contribuito in maniera significativa al determinarsi di una nuova concezione della sicurezza, in forza della quale le responsabilità civili e penali hanno trovato una più appropriata attribuzione e gli approcci da adottarsi, che esaltano – fra l'altro – il carattere anzitutto gestionale delle attività per la sicurezza, appaiono più sistematici e tecnicamente sostenibili.

L'adozione di un Sistema di Gestione per la Salute e la Sicurezza (SGS&S) può rappresentare uno strumento molto efficace sia per il miglioramento della sicurezza aziendale e sia per il soddisfacimento delle norme cogenti. La definizione dei requisiti per un SGS&S è stata pertanto oggetto di attività di normazione, in principio da parte del *British Standards Institution* (BSI) con la pubblicazione della norma tecnica BS 8800:1996 "*Guida ai sistemi di gestione della salute e sicurezza sui luoghi di lavoro*", e in seguito, almeno a livello di linee guida, da parte degli altri enti nazionali di normazione.

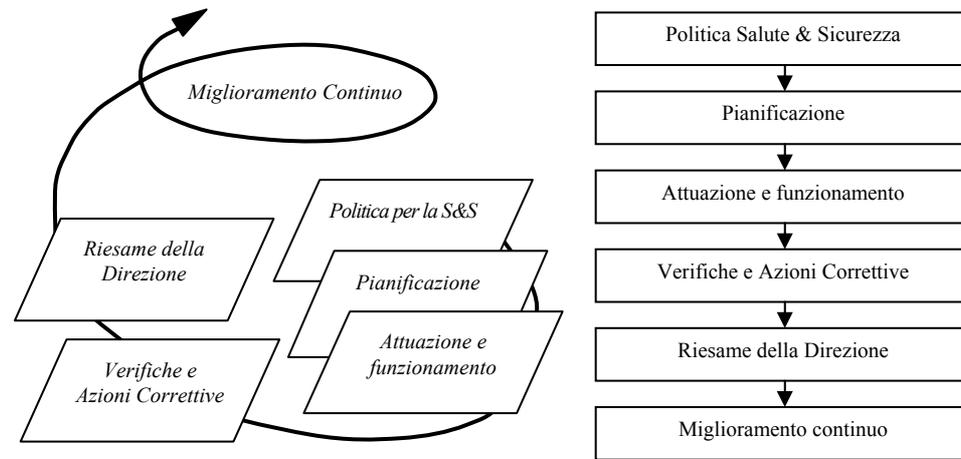


Figura 7.7 Ciclo dei processi di un sistema di gestione per la salute e la sicurezza.

7.3.1 Le fasi per l'attuazione del SGS&S

La capacità di passare dalla politica per la sicurezza al raggiungimento degli obiettivi pianificati, deriva dall'impegno e dal coinvolgimento di tutte le funzioni aziendali, al livello più elevato. I contenuti delle fasi possono essere più o meno complessi in ogni singola azienda o unità produttiva in funzione di:

- dimensione, natura, attività e relativa complessità dell'organizzazione
- significatività dei pericoli e rischi presenti, potenziali o residui
- soggetti potenzialmente esposti.

La sequenza esemplificativa e generalmente applicabile delle fasi, quando il SGS&S è a regime, può essere sintetizzata come di seguito:

- stabilire la politica per la sicurezza, che definisca gli impegni generali per la prevenzione dei rischi ed il miglioramento progressivo
- identificare le prescrizioni delle leggi e dei regolamenti applicabili
- identificare tutti i pericoli e valutare i relativi rischi per tutti i lavoratori, i processi, le attività operative ed organizzative (comprese le interazioni fra gli addetti), le sostanze e i preparati pericolosi ecc.
- identificare gli altri soggetti potenzialmente esposti (quali, per esempio, i lavoratori autonomi, dipendenti di soggetti terzi ed i visitatori occasionali)
- fissare specifici obiettivi appropriati, raggiungibili e congruenti con gli impegni generali definiti nella politica. Tali obiettivi dovrebbero essere coerenti con le caratteristiche proposte dal "metodo SMART" (Tabella 7.2)

Tabella 7.2 Metodo SMART.

| | | |
|----------|-------------|---------------------------|
| S | Significant | Significativi |
| M | Measurable | Misurabili |
| A | Achievable | Realmente raggiungibili |
| R | Responsible | Riferiti a responsabilità |
| T | Time scale | Riferiti al tempo |

- elaborare programmi per il raggiungimento di tali obiettivi, definendo priorità, tempi e responsabilità, e assegnando le risorse necessarie
- stabilire le modalità più appropriate in termini di procedure e prassi per gestire i programmi
- sensibilizzare la struttura aziendale al raggiungimento degli obiettivi prefissati
- attuare adeguate attività di monitoraggio, verifica ed ispezione per assicurarsi che il sistema funzioni
- avviare le opportune azioni correttive e preventive in funzione degli esiti del monitoraggio
- effettuare un periodico riesame per valutare l'efficacia e l'efficienza del sistema nel raggiungere gli obiettivi fissati dalla politica per la sicurezza nonché per valutarne l'adeguatezza rispetto sia alla specifica realtà aziendale che ai cambiamenti interni/esterni modificando, se necessario, politica ed obiettivi, tenendo conto dell'impegno al miglioramento continuo.

La concretizzazione della politica passa pertanto attraverso un processo di pianificazione che porta alla formulazione di uno specifico piano nell'ambito del SGS&S. La pianificazione per la sicurezza dovrebbe essere coerente con il sistema generale di gestione aziendale adottato. I metodi utilizzati per pianificare il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza dovrebbero essere gli stessi utilizzati per pianificare il raggiungimento degli altri obiettivi dell'azienda (per esempio, commerciali, tecnologici, di mercato, di costi, di gestione del personale ecc.). Inoltre, le procedure organizzative/operative necessarie alla gestione della attività dell'azienda debbono essere integrate dalle componenti di sicurezza necessarie, senza creare duplicazioni e parallelismi.

7.3.2 Flusso per l'attuazione del SGS&S

Nella figura 7.8 è riportato uno schema semplificato delle interazioni fra i vari processi critici di un SGS&S, che consentono di passare dalla politica per la sicurezza alla attuazione operativa del modello gestionale stesso.

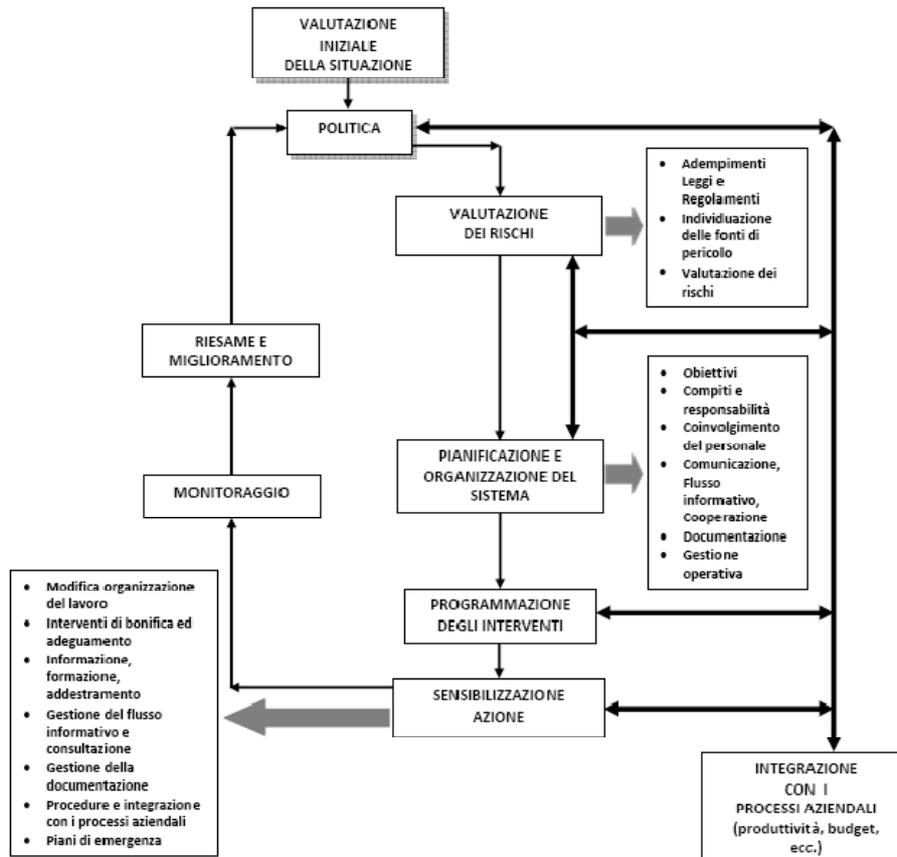


Figura 7.8 Schema di attuazione del modello di organizzazione per la sicurezza.

In particolare, nello schema si evidenzia che, prima di definire la politica per la sicurezza, è necessario aver effettuato una valutazione iniziale della situazione, cioè aver analizzato le dinamiche, i processi aziendali e individuato i punti forti, le maggiori criticità e le opportunità di miglioramento. Inoltre, lo schema evidenzia il ricorso all'approccio PDCA per l'attuazione del modello gestionale e, infine, nello schema è sottolineata l'importanza, per l'intero processo volto al miglioramento della sicurezza, ricoperta dall'analisi e valutazione dei rischi.

Con riferimento ai paragrafi precedenti e alle Figure 7.7 e 7.8, nei successivi paragrafi è riportata una breve descrizione dei requisiti ai quali dovrebbero rispondere i processi e gli elementi fondamentali di un SGS&S.

7.3.3 La politica per la salute e la sicurezza

La politica, intesa come visione, missione, valori essenziali e convinzioni dell'azienda sul tema della sicurezza, dovrebbe:

- a. essere appropriata alla natura e alla dimensione dei rischi per la sicurezza dell'organizzazione
- b. includere l'impegno alla prevenzione delle lesioni e delle malattie e al miglioramento continuo nella gestione e nelle performance per la sicurezza
- c. includere l'impegno alla conformità ai requisiti legali applicabili e agli altri requisiti sottoscritti dall'organizzazione e che sono correlati ai suoi pericoli in termini di sicurezza
- d. fornire il quadro di riferimento per stabilire e riesaminare gli obiettivi in termini di sicurezza
- e. essere comunicata a tutte le persone che lavorano sotto il controllo dell'organizzazione, con l'intento di renderle consapevoli dei loro doveri individuali nell'ambito della sicurezza
- f. essere riesaminata periodicamente per assicurare che sia sempre rilevante e appropriata all'organizzazione.

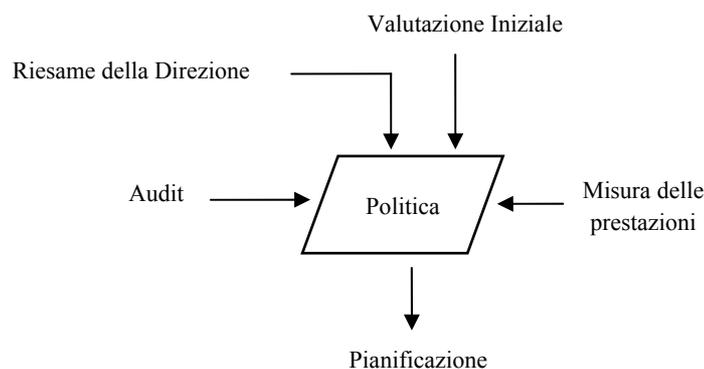


Figura 7.9 Politica per la salute e la sicurezza.

7.3.4 La pianificazione

Nell'ambito della pianificazione del SGS&S, e ai fini della efficace attuazione del SGS&S stesso, l'organizzazione deve effettuare l'identificazione dei pericoli e la valutazione dei rischi. Successivamente, sulla base dei risultati dell'analisi e valutazione dei rischi, l'organizzazione deve stabilire le necessarie misure di prevenzione/protezione e controllo, nonché gli obiettivi e i programmi di miglioramento per perseguire gli obiettivi.

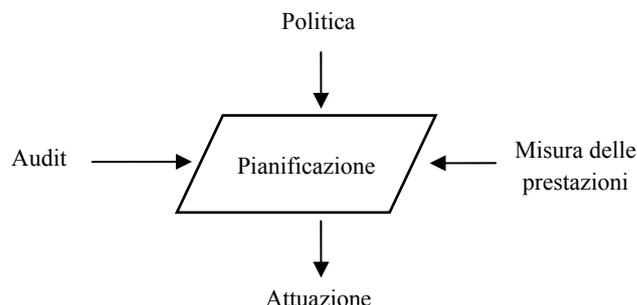


Figura 7.10 Pianificazione.

Identificazione dei pericoli e la valutazione dei rischi

Per l'identificazione dei pericoli e la valutazione dei rischi, l'organizzazione deve tenere in considerazione:

- a. tutte le attività e i processi lavorativi, anche quelli non di routine
- b. le attività di tutto il personale che ha accesso al posto di lavoro (inclusi i fornitori, i visitatori ecc.)
- c. i fattori che influenzano i comportamenti umani, la qualificazione e le competenze del personale e tutti gli altri fattori rilevanti (per esempio, la religione, la lingua, l'età ecc.)
- d. i pericoli che hanno origine esternamente al posto di lavoro ma capaci di influenzare negativamente la sicurezza
- e. i pericoli creati nelle vicinanze dei posti di lavoro da attività correlate che sono sotto il controllo dell'organizzazione
- f. i pericoli correlati con l'utilizzo di infrastrutture, attrezzature, materiali, sia fornite dall'organizzazione che da terzi
- g. i cambiamenti o progetti di cambiamenti nell'organizzazione, nelle sue attività, nei suoi materiali; compresi i cambiamenti temporanei, e il loro impatto sull'operatività, sui processi e sull'attività
- h. ogni prescrizione legale cogente correlata alla valutazione dei rischi e all'attuazione dei necessari controlli
- i. la progettazione delle aree di lavoro, dei processi, delle installazioni, degli equipaggiamenti e dei macchinari, delle procedure operative e dell'organizzazione del lavoro, incluso l'adattamento alle capacità umane.

Relativamente alla capacità di tenere in considerazione tutte le prescrizioni legali applicabili, l'organizzazione dovrebbe stabilire le modalità per identificare, accedere e assicurare la gestione dei requisiti di legge e di altro tipo di prescrizione che riguardi la sicurezza ad essa applicabile.

Per la scelta della metodologia da utilizzare per la valutazione dei rischi si riman-

da al Capitolo 6 del presente volume.

Misure di prevenzione/protezione e controllo

Nel determinare le misure preventive/protettive e i controlli necessari, o i cambiamenti ai sistemi di controllo esistenti, l'organizzazione deve tenere in considerazione la riduzione dei rischi in base alla seguente gerarchia:

- eliminazione dei rischi in relazione al progresso tecnico
- riduzione dei rischi alla fonte
- programmazione della prevenzione
- sostituzione di ciò che è pericoloso con ciò che non lo è
- rispetto dei principi ergonomici
- priorità delle misure di protezione collettiva
- limitazione del numero di lavoratori esposti al rischio
- utilizzo limitato di agenti chimici, fisici e biologici sui luoghi di lavoro
- controllo sanitario
- misure igieniche
- misure di protezione collettiva ed individuale
- misure di emergenza e di lotta antincendio
- uso dei segnali di avvertimento
- regolare manutenzione di ambienti, attrezzature e macchine
- informazione, formazione, consultazione e partecipazione dei lavoratori
- istruzioni adeguate ai lavoratori.

Obiettivi e programmi

Relativamente ai requisiti per gli obiettivi di sicurezza, l'organizzazione dovrebbe riuscire a stabilire obiettivi per ogni funzione o livello rilevante nell'ambito dell'organizzazione stessa. Tali obiettivi dovrebbero essere misurabili, ove possibile, e coerenti con la politica per la sicurezza.

Sulla base degli obiettivi da perseguire, l'organizzazione dovrebbe predisporre, mantenere e riesaminare periodicamente uno o più programmi, i quali dovrebbero esplicitare:

- a. l'attribuzione delle responsabilità e delle autorità per il raggiungimento degli obiettivi; e
- b. i mezzi necessari e le scadenze temporali.

7.3.5 L'attuazione e il funzionamento

Per poter attuare e far funzionare il SGS&S, e conseguentemente raggiungere gli obiettivi pianificati, l'organizzazione dovrebbe:

- definire una adeguata struttura organizzativa,
- definire e garantire la competenza, la formazione, la consapevolezza, la comunicazione e la partecipazione di tutti i lavoratori,
- documentare il SGS&S,
- definire e garantire il controllo operativo, e la preparazione e risposta alle emergenze.

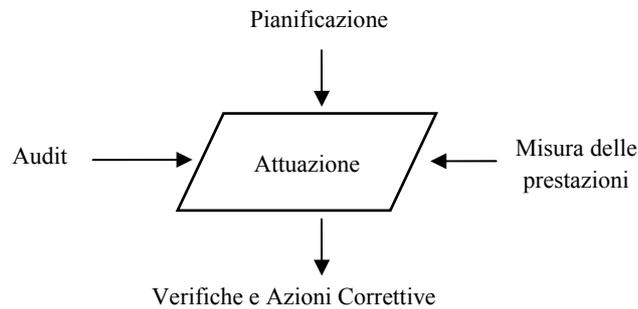


Figura 7.11 Attuazione e funzionamento.

La struttura organizzativa

L'organizzazione dovrebbe definire una adeguata struttura organizzativa, e in particolare dovrebbe individuare e definire le risorse, i ruoli, le responsabilità, le responsabilità operative e le autorità. I ruoli e i compiti della struttura organizzativa, dovrebbero inoltre tenere conto delle disposizioni di legge. Tale struttura, pertanto, potrebbe essere descritta secondo lo schema di seguito riportato:

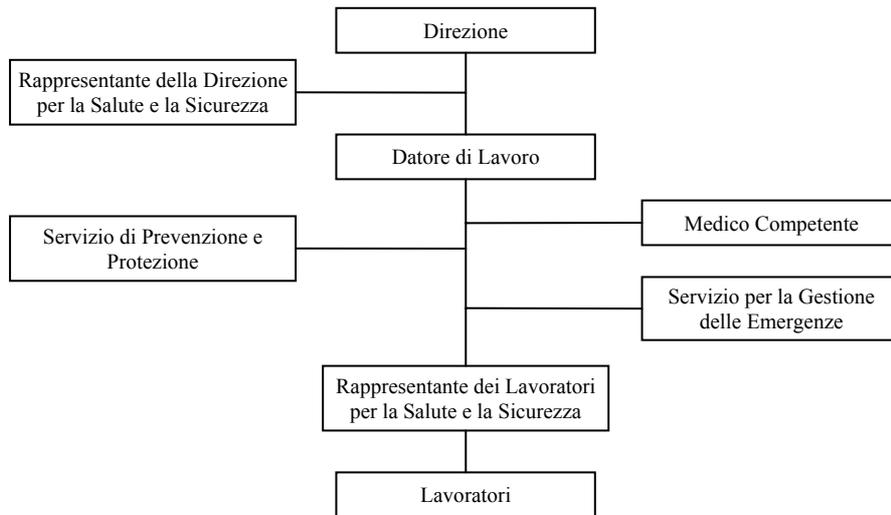


Figura 7.12 Struttura organizzativa per la S&S.

Ogni figura o funzione, riportata nello schema sopra proposto di struttura organiz-

zativa per la sicurezza, svolge un ruolo e compiti estremamente critici per la efficace attuazione del SGS&S aziendale.

La *Direzione* ha il compito principale di definire politiche chiare, individuare gli obiettivi, preparare i piani e i programmi per l'attuazione delle politiche e per il raggiungimento degli obiettivi fissati, assegnare le responsabilità e le autorità per l'attuazione dei programmi a tutti i livelli e, infine, verificare le attività espletate e di valutare dell'efficienza del SGS&S.

Il Rappresentante della Direzione per la Salute e la Sicurezza ha il compito principale di assicurare che il SGS&S sia stabilito, implementato e mantenuto attivo secondo i requisiti previsti dalla Direzione, e di presentare report relativi alle prestazioni del SGS&S alla Direzione per il riesame e da utilizzare come base per il miglioramento continuo del SGS&S stesso. Tale ruolo, a seconda dei casi, può essere ricoperto dal Datore di Lavoro.

Il *Datore di Lavoro* ha il compito principale di assicurare il rispetto all'interno dell'azienda di tutte le prescrizioni di legge applicabili e di assicurare la realizzazione della politica per la sicurezza, degli obiettivi di mantenimento e/o di miglioramento, l'organizzazione e le risorse tecniche ed economiche finalizzate alla realizzazione del sistema ed al conseguimento degli obiettivi.

Il *Servizio di Prevenzione e Protezione* ha il compito di supportare attivamente il Datore di Lavoro, principalmente nella analisi e valutazione dei rischi e nella definizione delle misure preventive e/o protettive necessarie da adottare per migliorare la sicurezza negli ambienti di lavoro.

Il *Medico Competente* è la figura esperta in materia di salute dei lavoratori e ha il compito di supportare attivamente il Datore di Lavoro, principalmente nell'attuazione della sorveglianza sanitaria dei lavoratori.

Il *Servizio per la Gestione delle Emergenze* ha il compito principale di intervenire per risolvere o mitigare, in attesa dell'arrivo dei servizi esterni specializzati (per esempio i Vigili del Fuoco), le situazioni di emergenza (per esempio primo soccorso, lotta antincendio, gestione della evacuazione degli ambienti di lavoro ecc.).

Il *Rappresentante dei Lavoratori per la Salute e la Sicurezza* ha il compito principale di rendere attiva la partecipazione dei lavoratori nel miglioramento della sicurezza negli ambienti di lavoro, portando all'attenzione del Datore di Lavoro tutte quelle situazioni che necessitano di maggiori approfondimenti e fornendo il supporto necessario per l'investigazione degli incidenti e la individuazione delle cause. Inoltre, tale figura dovrebbe collaborare in modo particolare con tutte le altre funzioni per favorire la partecipazione dei lavoratori mediante il loro coinvolgimento nell'identificazione dei pericoli, nella investigazione degli incidenti, nello sviluppo e nel riesame della politica e degli obiettivi per la sicurezza, ovvero quando ci siano cambiamenti che influiscono sulla sicurezza.

I ruoli e i compiti dovrebbero essere documentati e resi noti a tutti i livelli aziendali. Inoltre, nella definizione dei compiti organizzativi e operativi della direzione aziendale, dei dirigenti, dei preposti e dei lavoratori, dovrebbero essere esplicitati e resi noti anche quelli relativi alle attività di sicurezza di loro competenza, nonché le responsabilità connesse all'esercizio delle stesse, ed i compiti di ispezione, verifica e sorveglianza in materia di sicurezza.

Competenza, formazione, consapevolezza, comunicazione e partecipazione

Nell'ambito della struttura organizzativa, l'organizzazione dovrebbe assicurare la disponibilità di risorse sufficienti per stabilire, implementare, mantenere e migliorare il SGS&S. In particolare, relativamente a tutte le persone operanti sotto il proprio controllo e le cui attività possono avere un impatto sulla sicurezza dei lavoratori, l'organizzazione dovrebbe assicurarne la competenza in base ad una adeguata formazione, addestramento e/o esperienza. Pertanto, l'organizzazione dovrebbe identificare le esigenze di formazione in base ai rischi significativi e al SGS&S e erogare la formazione necessaria per il soddisfacimento delle esigenze formative, valutare l'efficacia della formazione o delle azioni intraprese e conservare le relative registrazioni.

L'organizzazione, oltre alla competenza e alla formazione, dovrebbe garantire che tutte i lavoratori siano consapevoli delle conseguenze per la sicurezza, reali o potenziali, delle loro attività lavorative e dei loro comportamenti, e dei benefici per la sicurezza collegati al miglioramento delle loro prestazioni personali; del loro ruolo e responsabilità e dell'importanza nel perseguire la conformità alla politica, alle procedure e ai requisiti del SGS&S, incluso il requisito relativo alla preparazione e risposta alle emergenze; le potenziali conseguenze derivanti da scostamenti dalle procedure specificate.

Nell'ambito della struttura organizzativa e delle risorse umane, l'organizzazione dovrebbe regolamentare le comunicazioni interne tra i vari livelli e funzioni dell'organizzazione, le comunicazioni con i fornitori, le imprese esterne e i visitatori presenti negli ambienti di lavoro, la ricezione, la documentazione e le risposte alle comunicazioni rilevanti provenienti dalle parti interessate esterne all'organizzazione.

Documentazione

La documentazione dovrebbe descrivere gli elementi più importanti del SGS&S e le interazioni tra gli stessi. La documentazione è fondamentale per stabilire, attuare e tenere aggiornato il SGS&S, e per sostenere un'efficace ed efficiente operatività dei processi dell'organizzazione. Inoltre, l'organizzazione dovrebbe documentare il SGS&S affinché tutto il personale abbia un linguaggio comune e procedure condivise.

In particolare, la documentazione di SGS&S dovrebbe sempre comprendere:

- la dichiarazione documentata della politica e degli obiettivi per la sicurezza
- le procedure
- le istruzioni di lavoro
- i documenti necessari all'organizzazione per assicurare l'efficace pianificazione, funzionamento e controllo dei processi
- le registrazioni
- una raccolta delle leggi e delle norme tecniche applicabili
- la descrizione del campo di applicazione del SGS&S
- la descrizione degli elementi principali del SGS&S e delle loro interazioni e i riferimenti ai documenti correlati
- i documenti, incluse le registrazioni, richiesti dallo standard di riferimento assunto per l'impostazione del sistema di gestione, e

- i documenti, incluse le registrazioni, stabiliti dall'organizzazione che sono necessari per assicurare l'effettiva pianificazione, funzionamento e controllo dei processi, quando siano in relazione con i rischi per la sicurezza dei lavoratori.

Inoltre, tutta la documentazione del SGS&S dovrebbe essere tenuta sotto controllo sulla base di chiare modalità definite per:

- a. approvare i documenti per la loro adeguatezza prima della distribuzione
- b. riesaminare ed aggiornare i documenti se necessario e riapprovarli
- c. assicurare che le modifiche e lo stato delle revisioni dei documenti siano identificati
- d. assicurare che le versioni aggiornate dei documenti applicabili siano disponibili presso i punti di utilizzo
- e. assicurare che i documenti siano leggibili e prontamente identificabili
- f. assicurare che i documenti di origine esterna che l'organizzazione ha stabilito essere necessari per la pianificazione e il funzionamento del SGS&S siano identificati e che la loro distribuzione sia controllata
- g. prevenire l'uso involontario di documenti obsoleti ed applicare loro un'opportuna identificazione se devono essere conservati per qualunque motivo.

Controllo operativo e preparazione e risposta alle emergenze

L'organizzazione dovrebbe identificare quelle operazioni e attività ove l'implementazione dei controlli sia necessaria per la gestione dei rischi per la sicurezza. Per queste operazioni e attività l'organizzazione dovrebbe implementare e mantenere attivi:

- a. controlli operativi, nella misura in cui siano applicabili all'organizzazione e alle sue attività; l'organizzazione dovrebbe integrare questi controlli operativi nell'ambito dell'interesse del suo SGS&S
- b. controlli correlati ai beni acquisiti, all'equipaggiamento e ai servizi
- c. controlli correlati agli appaltatori e agli altri visitatori dei posti di lavoro
- d. procedure documentate riferite a situazioni per le quali la loro assenza potrebbe portare a deviazioni dalla politica o dagli obiettivi
- e. espliciti criteri operativi ove la loro assenza potrebbe portare a deviazioni dalla politica e dagli obiettivi di sicurezza.

Inoltre, l'organizzazione dovrebbe definire le modalità per identificare le potenziali situazioni di emergenza e per rispondere adeguatamente ad esse. In particolare, nel pianificare le risposte alle situazioni di emergenza, l'organizzazione dovrebbe tenere conto delle necessità delle parti interessate (per esempio i servizi di emergenza e i gli occupanti delle aree adiacenti all'azienda). Infine, l'organizzazione dovrebbe testare periodicamente le procedure per rispondere alle situazioni di emergenza (per esempio i piani di evacuazione), anche simulando le situazioni pericolose stesse, e quando praticabile, dovrebbe coinvolgere le parti interessate come appropriato (per esempio gli stabilimenti adiacenti in caso di simulazione di un incendio).

7.3.6 Le verifiche e le azioni correttive

I processi descritti nel presente paragrafo riguardano le attività che l'azienda dovrebbe mettere in atto per misurare le prestazioni del SGS&S e per individuare tutte le aree di miglioramento. Tali attività e processi sono principalmente:

- misurazione e monitoraggio delle prestazioni
- verifica della conformità legislativa
- investigazione degli incidenti, Non Conformità, Azioni Correttive, Azioni Preventive
- audit interni.



Figura 7.11 Verifiche e Azioni Correttive.

Misura e monitoraggio delle prestazioni

L'organizzazione dovrebbe monitorare e misurare con regolarità le prestazioni in termini di sicurezza. Tali misurazione dovrebbero consentire di ottenere informazioni sia di tipo qualitativo che quantitativo. In particolare, l'organizzazione dovrebbe essere in grado di misurare il grado di conseguimento degli obiettivi di sicurezza, il rispetto dei programmi di miglioramento, l'efficacia dei controlli e dei criteri operativi, l'efficacia delle misure reattive e proattive messe in atto per monitorare la salute, gli incidenti (inclusi infortuni, quasi incidenti ecc.), e analoghe evidenze storiche di mancate prestazioni in materia di sicurezza, lo stato delle azioni correttive e preventive.

Se per la misurazione e il monitoraggio delle prestazioni sono necessari strumenti di misura, l'organizzazione dovrebbe stabilire e mantenere attive procedure di taratura e di manutenzione per detta strumentazione.

Valutazione della conformità legislativa

Tra le attività di monitoraggio e misurazione, ricopre un ruolo importante la verifica della conformità legislativa. In particolare, l'organizzazione dovrebbe periodicamente effettuare una verifica del rispetto di tutti i requisiti legislativi applicabili riguardanti gli aspetti della sicurezza.

Investigazione degli incidenti, Non Conformità, Azioni Correttive, Azioni Preventive

L'organizzazione dovrebbe, in maniera sistematica, registrare, investigare e analizzare gli incidenti, allo scopo di:

- a. determinare le deficienze non evidenti e gli altri fattori che hanno causato o contribuito al verificarsi dell'incidente
- b. identificare la necessità di Azioni Correttive
- c. identificare l'opportunità di Azioni Preventive
- d. identificare opportunità di miglioramento continuo
- e. comunicare i risultati delle suddette investigazioni.

Le investigazioni dovrebbero essere effettuate in maniera tempestiva. I risultati delle indagini sugli incidenti dovrebbero essere documentati e mantenuti.

Allo stesso modo, l'organizzazione dovrebbe trattare le Non Conformità reali e potenziali per intraprendere Azioni Correttive e Preventive necessarie. In particolare, nell'ambito della gestione delle Non Conformità, l'organizzazione dovrebbe:

- a. identificare e correggere le Non Conformità e intraprendere azioni per mitigare le conseguenze sulla sicurezza dei lavoratori
- b. investigare sulle Non Conformità, determinare le loro cause e intraprendere azioni affinché non si ripetano
- c. valutare la necessità di azioni per prevenire Non Conformità e implementare azioni appropriate al fine di evitare che si verifichino
- d. registrare e comunicare i risultati delle Azioni Correttive e Preventive
- e. riesaminare l'efficacia delle Azioni Correttive e Preventive intraprese.

Audit interni

Gli audit interni dovrebbero essere pianificati ed effettuati ad intervalli prestabiliti al fine di valutare se il SGS&S è "allineato" con quanto pianificato per la gestione della sicurezza; se sia stato correttamente implementato e mantenuto attivo; se sia efficace nel consentire il raggiungimento della politica e degli obiettivi dell'organizzazione.

La pianificazione degli audit interni dovrebbe tener conto della valutazione dei rischi e dei risultati degli audit precedenti.

Inoltre, la selezione degli auditor e la conduzione degli audit dovrebbero assicurare l'obiettività e l'imparzialità del processo di audit.

7.3.7 Il riesame della direzione

La direzione dell'organizzazione dovrebbe riesaminare il SGS&S, ad intervalli pianificati, al fine di assicurare che continui ad essere idoneo, adeguato ed efficace. Il riesame dovrebbe includere la valutazione delle opportunità di miglioramento e la necessità di apportare modifiche al SGS&S, compresi la politica e gli obiettivi per la sicurezza.

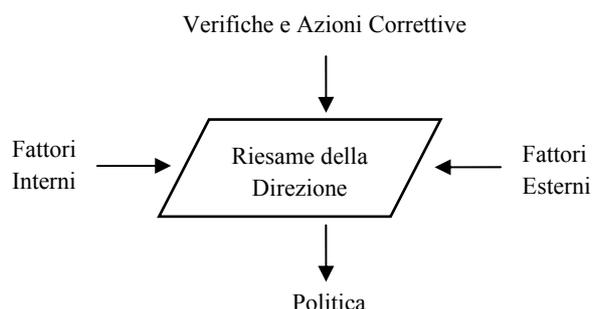


Figura 7.12 Riesame della Direzione.

Gli elementi in ingresso per il riesame della direzione dovrebbero comprendere:

- a. i risultati degli audit interni e delle valutazioni sul rispetto delle prescrizioni di legge e delle altre prescrizioni che l'organizzazione sottoscrive
- b. i risultati della partecipazione e della consultazione dei lavoratori
- c. le comunicazioni rilevanti provenienti dalle parti interessate esterne, compresi i reclami
- d. le prestazioni in materia di sicurezza dell'organizzazione
- e. il grado di conseguimento degli obiettivi
- f. lo stato delle investigazioni degli incidenti, delle Azioni Correttive e Preventive
- g. lo stato delle azioni previste dai precedenti riesami della direzione
- h. il cambiamento di situazioni circostanti, comprese le evoluzioni delle prescrizioni di legge e degli altri requisiti correlati alla sicurezza
- i. le raccomandazioni per il miglioramento
- j. le statistiche sugli infortuni
- k. i rapporti sulle emergenze (reali o simulate)
- l. i rapporti del Rappresentante della Direzione
- m. i rapporti sulla identificazione dei pericoli e sulla valutazione e controllo dei rischi.

In conclusione del riesame, oltre a valutare lo stato di conseguimento degli obiettivi già fissati, la direzione, alla luce dei risultati forniti dal monitoraggio del sistema, della esecuzione delle azioni correttive e preventive e delle eventuali modifiche della situazione, dovrebbe stabilire nuovi obiettivi e programmi, nell'ottica del miglioramento progressivo, considerando l'opportunità di modificare la politica, le procedure o eventuali altri elementi del sistema. Il monitoraggio di funzionalità dovrebbe consentire al vertice aziendale l'adozione delle decisioni strategiche di propria competenza, quali, per esempio, l'adeguamento della politica. Pertanto gli elementi in uscita dal riesame della direzione dovrebbero includere tutte le decisioni e le azioni relative a possibili modifiche a:

- a. le prestazioni in materia di sicurezza dei lavoratori
- b. la politica e gli obiettivi
- c. risorse
- d. altri elementi del SGS&S.

7.4 I benefici derivanti dall'attuazione del SGS&S

L'adeguamento alla normativa di legge e la riduzione degli infortuni costituiscono i fattori motivanti per l'adozione di un SGS&S. Oltre a ciò, è anche di rilievo sottolineare il principio giuridico secondo cui *l'adozione del sistema di gestione ha efficacia esimente ai fini della responsabilità amministrativa dell'azienda*, in caso di infortunio. Risulta opportuno, inoltre, enfatizzare i benefici per l'organizzazione, non sempre facilmente percepibili, in termini di azione commerciale, efficienza e risultati economici (al riguardo si veda anche il successivo Capitolo 9).

In effetti, un SGS&S costituisce un valido strumento per il controllo degli infortuni, l'ottimizzazione dei costi e dei costi evitabili per la sicurezza e la crescita culturale dell'organizzazione, consentendo di ottenere benefici in termini di:

- diminuzione dei costi attraverso il sistematico riesame dei nuovi progetti, al fine di determinare le esigenze di sicurezza nella fase iniziale della progettazione (in questa fase i cambiamenti sono possibili con minor dispendio di risorse, rispetto a quando il progetto sarà concluso o realizzato)
- miglioramento dell'efficienza grazie all'analisi puntuale delle attività ai fini dell'analisi dei rischi
- garanzia di conformità rispetto alla legislazione vigente, con una maggiore tranquillità degli *stakeholders* e, in particolare, di coloro che hanno responsabilità giuridiche rilevanti in materia di sicurezza
- miglioramento della competitività (per esempio, potendo soddisfare più agevolmente condizioni contrattuali stringenti in materia di sicurezza e salute sul lavoro)
- miglioramento del prestigio e dell'immagine grazie ad una migliore affidabilità dell'azienda rispetto ad altri concorrenti
- miglioramento delle condizioni psico-fisiche dei lavoratori e conseguente miglioramento del "clima" aziendale con una maggiore efficienza, una diminuzione dell'assenteismo e un maggiore impegno nel raggiungimento degli obiettivi
- facilitazioni di accesso al credito e al finanziamento da parte di azionisti, investitori e aziende di credito
- miglioramento dei costi assicurativi
- miglioramento delle relazioni con il personale e con le eventuali rappresentanze sindacali
- aumento indiretto della produttività.

Bibliografia

Fedele L., Stato dell'arte, aspetti gestionali e prospettive di evoluzione dei servizi di manutenzione, *La Manutenzione*, n. 6, giugno 2002.

- Ishikawa K., *Che cos'è la qualità totale - Il modello giapponese*, Il Sole 24 Ore, 1996.
- Kohn L., Corrigan J., Donaldson M.; *To err is human: building a safer health system*, National Academy Press, Washington D.C. 1999.
- March G.J, Simon H., *Organizations*, New York: Wiley, 1958.
- Mintzberg H., *La progettazione dell'organizzazione aziendale*, Il Mulino, 1996.
- Normann R., *La gestione strategica dei servizi*, Etaslibri, 1992.
- Porter M., *Il vantaggio competitivo*, Einaudi, 2002.
- Reason J., *Human errors: models and management*, BMJ, 2000.
- Reason J., Carthey J., de Leval M. R., *Diagnosing "vulnerable system syndrome": an essential prerequisite to effective Risk management*, Quality in health care, 2001.
- BS 8800, *Guida ai Sistemi di gestione per la salute e la sicurezza sul lavoro*, BSI, 1996.
- OHSAS 18001, *Occupational health and safety management systems - Requirements*, BSI, luglio 2007.
- OHSAS 18002, *Occupational health and safety management systems - Guidelines for the implementation of OHSAS 18001*, BSI, 2000.
- UNI 10617, *Impianti di processo a rischio di incidenza rilevante - Sistema di gestione della sicurezza - Requisiti essenziali*, UNI, 1997.
- UNI EN ISO 9000:2005, *Sistemi di gestione per la qualità – Fondamenti e vocabolario*, UNI, 2005.
- UNI EN ISO 9001, *Sistemi di gestione per la qualità - Requisiti*, UNI, 2000.
- UNI EN ISO 9004, *Sistemi di gestione per la qualità - Linee guida per il miglioramento delle prestazioni*, UNI, 2000.
- UNI EN ISO 14001:2004, *Sistemi di gestione ambientale - Requisiti e guida per l'uso*, UNI, 2004.
- UNI e INAIL, *Linee guida per un sistema di gestione della salute e sicurezza sul lavoro (S.G.S.L.)*, UNI, 2001
- UNI, *Sistema di gestione della salute e della sicurezza sul lavoro – Terminologia e requisiti*, Progetto di norma U50006250, UNI, 2008.

Pianificazione e conduzione dell'ispezione per la sicurezza

*C. Corteggiani

8.1 Definizioni generali

L'*attività di ispezione* è volta ad accertare per conto di enti terzi, di organizzazioni produttive e/o di autorità ufficiali la conformità o meno a requisiti specifici o di carattere generale, con l'obiettivo di fornire informazioni sul *grado di conformità* dell'oggetto dell'ispezione (*ambienti di lavoro, processi produttivi, macchine, apparecchiature, impianti, cantieri, progetti, organizzazioni produttive ecc.*) a regolamenti, norme o specifiche.

L'ispezione può riguardare questioni relative a quantità, qualità, sicurezza, adeguatezza all'uso e continuo soddisfacimento della sicurezza. I criteri generali, che gli organismi di ispezione e gli ispettori devono soddisfare affinché i loro servizi siano accettati dai committenti e dalle autorità di controllo, necessitano di essere armonizzati alla normativa tecnica. La norma di riferimento a questo riguardo è la UNI CEI EN ISO/IEC 17020:2005 "Criteri generali per il funzionamento dei vari tipi di organismi che effettuano attività di ispezione".

Tale norma specifica i criteri generali secondo cui le ispezioni debbono essere condotte e le competenze richieste, indipendentemente dal settore produttivo, al fine di assicurare l'*efficacia* dell'ispezione e l'*obiettività* dei suoi risultati. La norma si applica agli organismi di ispezione ed è utilizzabile dagli organismi di accreditamento e da altri interessati a riconoscere la competenza degli stessi organismi di ispezione. L'attività di questi può includere l'esame di materiali, prodotti, installazioni, impianti, processi, procedure di lavoro, servizi, e la determinazione della loro conformi-

*Il capitolo è stato redatto in collaborazione con Chiara Corteggiani, Ingegnere, specializzata in Sicurezza, in metodologie di analisi dei rischi e nella conduzione delle ispezioni per la sicurezza. Collabora su tali tematiche con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell'Università Sapienza di Roma e con il CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione.

tà ai requisiti e la successiva relazione sui risultati di queste attività ai committenti e, ove richiesto, all'autorità di controllo.

L'ispezione può riguardare *qualunque fase di vita dell'oggetto dell'ispezione*, compresa la fase di progettazione. Una tale attività richiede, di regola, l'esercizio del *giudizio professionale* (si veda al riguardo il Capitolo 1). Essa, inoltre, deve garantire l'attuazione di criteri generali di *indipendenza di giudizio*, condizione necessaria per garantire la netta separazione tra le esigenze della sicurezza e le necessità commerciali o di altro genere di una organizzazione produttiva.

Le verifiche ispettive sono normalmente promosse per uno dei seguenti scopi:

- stabilire la conformità o meno degli elementi di un sistema di sicurezza rispetto a requisiti specificati
- stabilire l'efficacia del sistema di sicurezza attuato per conseguire obiettivi di qualità specificati
- fornire all'organizzazione verificata l'opportunità di migliorare il proprio sistema di sicurezza
- soddisfare prescrizioni vincolanti.

Sono inoltre intraprese in una o più delle seguenti circostanze:

- valutare all'interno di un'organizzazione il proprio sistema di sicurezza rispetto ad una norma di riferimento
- verificare all'interno di un'organizzazione che il proprio sistema di sicurezza continui a soddisfare requisiti specificati e sia realmente messo in atto
- nell'ambito del rapporto contrattuale, per verificare che il sistema sicurezza del fornitore continui a soddisfare i requisiti specificati e sia realmente messo in atto
- valutare inizialmente un fornitore in vista di un possibile rapporto contrattuale
- ecc.

Si definisce *ispezione*, *l'esame di un progetto, di un prodotto, di un servizio, di un processo, di un impianto, e la determinazione della loro conformità a requisiti specifici (leggi, standard, requisiti contrattuali) o, sulla base di un giudizio professionale, a requisiti di carattere generale.*

E' di tutta evidenza, dunque, che le attività di ispezione sono alla base di *qualunque attività di sopralluogo ai fini della sicurezza di un sistema tecnico* e, in particolare, ai fini della attuazione della analisi dei rischi di un sistema tecnico che, come si sarà compreso a questo punto della trattazione, si pone in una posizione del tutto centrale in ogni attività progettuale e gestionale di tipo antinfortunistico.

L'ispezione, dunque, può sia fare parte di un articolato processo formalizzato di certificazione (per esempio rispetto a requisiti normativi attinenti alla gestione della sicurezza di una organizzazione), sia considerarsi quale attività propedeutica alla esecuzione di una qualsivoglia attività di analisi dei rischi, prevedendo - in questo caso - talune semplificazioni dal punto di vista delle formalità, pur *salvaguardando sempre e in modo rigoroso le modalità professionali, tecniche, gestionali, e personali secondo cui un qualsiasi sopralluogo ai fini della sicurezza deve essere condotto.*

8.2 L'ispezione e il team di ispezione

Il professionista responsabile delle ispezioni deve avere qualificazione, addestramento ed esperienza adeguati e una conoscenza soddisfacente dei requisiti da verificare durante le ispezioni. Egli deve essere in grado di formulare il giudizio professionale in relazione alla conformità, sulla base dei risultati dell'esame, e redigere un rapporto al riguardo. Il verificatore deve, inoltre, possedere la necessaria conoscenza della tecnologia utilizzata per la realizzazione del prodotto ispezionato e del modo in cui i prodotti o i processi sottoposti ad ispezione sono utilizzati o si intende siano utilizzati, e dei difetti che possono verificarsi durante l'impiego o in servizio; deve comprendere il significato degli scostamenti riscontrati rispetto al normale impiego dei prodotti o dei processi in questione. In particolare, il tecnico che effettua le verifiche (*auditor*) deve possedere le seguenti caratteristiche:

- avere buona formazione tecnico-professionale
- essere libero da qualsiasi pressione o incentivo, soprattutto di carattere economico
- avere buona conoscenza delle prescrizioni relative agli esami o ai controlli da eseguire e esperienza di tali controlli ed esami
- svolgere la sua attività in modo indipendente (la sua retribuzione non può essere commisurata né al numero di controlli effettuati né al loro risultato)
- rispettare il segreto professionale in relazione a tutto ciò di cui viene a conoscenza durante lo svolgimento dei suoi compiti.

L'*auditor* deve essere a conoscenza di tali obblighi ed è formalmente vincolato a rispettarli; in qualunque momento, inoltre, è tenuto a sottoporsi al controllo dell'autorità competente volto ad accertare il perdurare di tali requisiti, ove ciò sia previsto e richiesto, per esempio nel caso di attività di certificazione.

Egli deve pianificare adeguatamente l'ispezione e, quando necessario, ricorrere alle tecniche statistiche per assicurare procedure di campionamento statisticamente valide, onde assicurare che i risultati dell'esame risulteranno effettivamente rappresentativi dello stato reale della sicurezza.

E' importante inoltre ricordare che :

- il verificatore non può avere svolto attività in qualità di progettista, installatore e manutentore degli impianti o dei sistemi oggetto della ispezione
- il verificatore non può avvalersi, per l'effettuazione delle verifiche, di strumenti di misura forniti dai committenti, da imprese di installazione e/o manutenzione e da studi di progettazione che abbiano un interesse e/o un coinvolgimento con il committente dell'ispezione
- il verificatore non può redigere alcuno dei documenti che il datore di lavoro deve mettere a disposizione dei verificatori per l'effettuazione della verifica, né può indicare al committente il tecnico (progettista e/o installatore) a cui rivolgersi per la predisposizione di tali documenti.

Per svolgere al meglio l'attività di ispezione può risultare utile costituire un gruppo di audit; nello stabilire le dimensioni di tale gruppo, si dovrà considerare quanto segue:

- gli obiettivi, il campo, i criteri e la durata prevista dell'audit
- il tipo di audit
- le competenze complessive del gruppo di audit necessarie per conseguire gli obiettivi prefissati
- i requisiti cogenti, contrattuali e di accreditamento/certificazione, se applicabili
- la necessità di assicurare l'indipendenza del gruppo di audit dalle attività da sottoporre ad audit e di evitare il conflitto di interessi
- la capacità dei membri del gruppo di audit di interagire in modo efficace con l'organizzazione oggetto dell'audit
- la lingua dell'audit e la comprensione delle particolari caratteristiche sociali e culturali dell'organizzazione oggetto dell'audit, aspetti che possono essere assicurati sia dall'abilità propria dell'auditor, sia mediante il supporto di un esperto tecnico.

8.3 La pianificazione dell'ispezione

L'ispezione è un'attività di tipo investigativo che non va improvvisata; essa, bensì, deve essere effettuata con metodo, per potersi muovere nelle fasi spesso caotiche e disordinate di un ambiente lavorativo. La norma UNI EN ISO 19011:2003 fornisce la linea guida sui principi da adottarsi nell'attività di ispezione (audit). Tale attività deve essere regolamentata, oltre che dalla norma, anche dal buon senso e dalle capacità tecniche del professionista che la effettua.



Figura 8.1 Fasi dell'audit.

Pianificare un'ispezione significa eseguirla e portarla a compimento seguendo un ben determinato iter (Figura 8.1):

- progettare l'ispezione stessa, ossia *programmarla* in ogni aspetto temporale che deve poi essere *notificato* a chi sarà fatto oggetto dell'ispezione e *preparare* a priori le check list e gli altri documenti necessari per sapere cosa e chi controllare, quali domande rivolgere, quali aspetti approfondire ecc.;
- *eseguire* l'ispezione, in modo oggettivo e tale da essere esente da pressioni o incentivi, su ambienti fisici, persone, documenti tecnici, documenti amministrativi ecc.;
- *analizzare* i dati acquisiti, ossia cercare nella documentazione tecnica di riferimento (norme od altro) le corrispondenze a ciò che oggettivamente non è risultato ragionevolmente sicuro e predisporre i rapporti di ispezione.

8.4 La documentazione a supporto dell'ispezione

I membri del gruppo di audit, riesaminando le informazioni pertinenti agli incarichi ricevuti, sono tenuti a preparare i documenti di lavoro necessari per la registrazione delle attività di audit svolte. Tali documenti di lavoro possono comprendere:

- liste di riscontro e piani di campionamento dell'audit
- moduli per la registrazione delle informazioni, quali evidenze oggettive di supporto, risultanze dell'audit e registrazione delle riunioni.

| | | | |
|-------------------|-------------------|--|--|
| Società: | Check list | Documento di riferimento area: | Mod: Rev. 00 Pag di |
|-------------------|-------------------|--|--|

| Requisito | Domanda | Situazione | | | Evidenze oggettive |
|-----------|---------|------------|---|----|--------------------|
| | | C | R | NA | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Note: | | | | | |

| |
|---|
| C: Situazione conforme; R: Rilievo; NA: Punto non applicabile |
|---|

Figura 8.2 Esempio di check list.

L'utilizzo di tali liste di riscontro e di tali moduli non deve comunque in alcun modo limitare l'estensione delle attività di audit, che possono mutare in conseguenza di informazioni raccolte durante lo svolgimento.

Inoltre, nel corso dell'attività di audit, verrà via via prodotto un documento fondamentale, ovvero il *rapporto di verifica*. Tale rapporto di ispezione e/o il certificato conseguente deve comprendere tutti i risultati degli esami condotti e la determinazione di conformità derivante essi, nonché tutte le informazioni necessarie per comprenderli ed interpretarli.

Tutte le suddette informazioni devono essere inoltre riportate in modo corretto, preciso e chiaro.

8.5 Le osservazioni, le misurazioni e le interviste

Il *sopralluogo* è uno dei momenti fondamentali in cui si concretizza l'ispezione. Si tratta, tuttavia, di una attività che potrà svolgersi in modo realmente efficace solo se essa segue ad una rigorosa attività di progettazione generale dell'ispezione stessa. Esso comprende un insieme di attività, quali:

- le osservazioni visive e/o strumentali
- l'individuazione delle evidenze oggettive ed il loro approfondimento
- la raccolta delle informazioni e la loro corretta classificazione rispetto ai requisiti da verificare
- la memorizzazione e la registrazione di tutte le informazioni utili.

L'osservazione serve ad inquadrare fisicamente l'ambiente; l'individuazione è rivolta a tutti gli aspetti rilevanti: inadeguatezze strutturali, precarietà ecc.; per memorizzare tutte le situazioni significative riscontrate occorre procedere a varie forme di rilevazione, che vanno dalla descrizione testuale/documentale alla fissazione fotografica; è spesso importante il rilievo delle dimensioni, delle distanze, della conformazione geometrica ecc. Tali misure o stime richiedono l'uso di una strumentazione adeguata, oltre che di semplici attrezzi di misura. L'osservazione, come già detto in precedenza, può esser rivolta a fatti, cose e persone. Per esempio si prende in esame una macchina, l'operatore che la conduce ed il modo in cui avviene l'interazione uomo-macchina. I tre oggetti –macchina, uomo, interazione - sono elementi complessi; spesso a loro volta interagenti e correlati ad altri fattori. L'osservazione deve essere imparziale e, allo stesso tempo, *introspettiva* ed *approfondita*: nel momento in cui la si esegue, ci si deve calare nei panni dell'operatore, ovvero cercare di interpretare a fondo la funzionalità delle macchine, o delle altre risorse materiali, così come esse risultano inserite nel contesto produttivo.

Durante l'attività di ispezione vengono raccolti dati utili per la stesura di una relazione. Elementi utili perché tale stesura avvenga nella più totale obiettività e nel modo più rispondente possibile alla situazione analizzata sono:

- l'impiego di una terminologia tecnica corretta, onde evitare fraintendimenti ed errori di interpretazione

- il non tralasciare i dati, anche se incerti; essi vanno riportati con la relativa precisazione di incertezza (ovviamente il più possibile motivata)
- l'abbondare nell'uso di disegni, schizzi e quant'altro non può essere rappresentato con immagini fotografiche
- il prestare attenzione al fatto che la descrizione di un oggetto, di una struttura o altro può essere influenzato dalla prospettiva da cui si osserva; nel caso, perciò, tale prospettiva va specificata
- l'evitare, per quanto possibile, l'uso di aggettivi generici ("molto alto", "troppo basso", "bollente", "maleodorante" ecc.) sostituendoli con misure (anche approssimate) e con richiami più specifici, per esempio per quanto concerne gli odori.

8.6 L'individuazione delle non conformità oggettive e delle osservazioni

"Non conformità" è una espressione densa di significati; una *non conformità* può essere qualsiasi scostamento da norme, prassi, procedure, requisiti cogenti applicabili ecc.

Ai fini procedurali sarà opportuno non trattare le "non conformità", bensì gestire:

- prodotti/servizi non conformi;
- problemi;
- reclami e/o segnalazioni.

Un prodotto che risulti non conforme a requisiti richiesti andrà segnalato opportunamente e altrettanto opportunamente trattato (scartato, accettato, riparato).

Un problema identificato dovrà essere studiato e trattato in modo adeguato, attraverso *azioni correttive*, al fine di eliminarne la causa ed evitare il ripetersi del problema stesso in futuro.

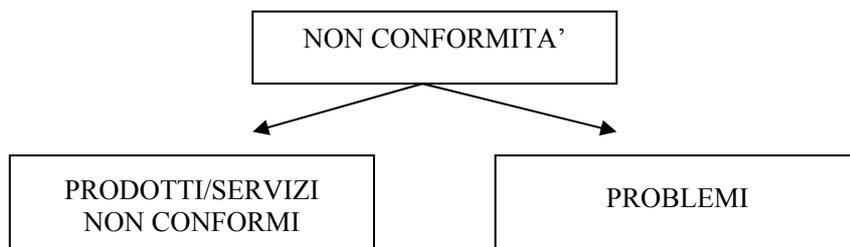


Figura 8.3 Conseguenze delle non conformità.

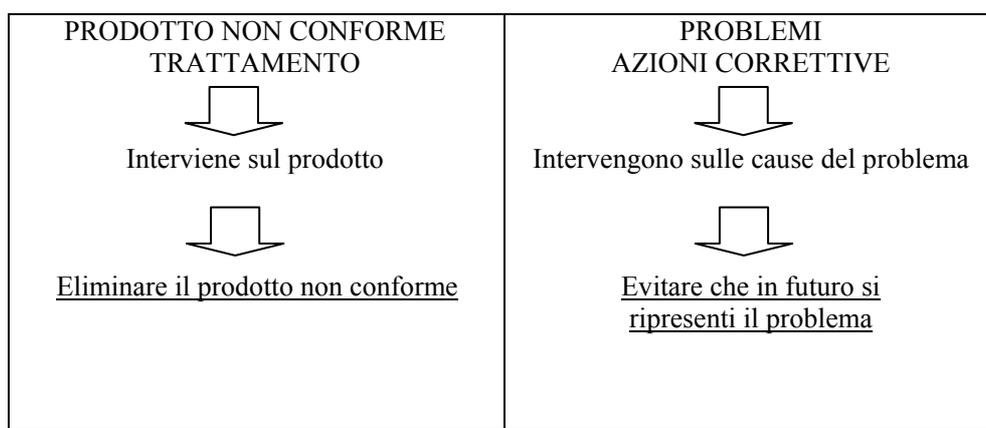


Figura 8.4 Trattamenti e azioni correttive.

8.7 La formalizzazione del rapporto di ispezione

La formalizzazione dell'esito dell'ispezione e delle non conformità oggettive individuate avviene tramite un rapporto di ispezione, contenente in allegato gli specifici *rapporti di non conformità* (RNC), che l'auditor consegnerà al termine dell'attività di ispezione al committente. Tale rapporto dovrà contenere almeno i seguenti dati:

- il prodotto o attività sul quale è stata rilevata la non conformità
- la descrizione del prodotto non conforme
- la proposta di trattamento
- l'approvazione o meno del trattamento (a mezzo firma)
- la verifica dell'attuazione del trattamento approvato.

Per quanto concerne invece la formalizzazione di un problema, essa avviene a mezzo di una *richiesta di azione correttiva* (RAC) nella quale saranno contenuti almeno i seguenti dati:

- descrizione del problema
- analisi delle cause
- descrizione dell'azione correttiva
- termine di attuazione dell'azione correttiva
- tempo di osservazione per valutare l'efficacia dell'azione stessa
- approvazione dell'azione.

8.8 Il campo di applicazione delle ispezioni per la sicurezza

L'attività di ispezione, come anticipato, può sia fare parte di un processo formale di certificazione, sia essere parte di una attività tecnica finalizzata alla sicurezza, in particolare attraverso la rilevazione e l'analisi quantitativa dei rischi sussistenti in un dato sistema tecnico. Tale attività, inoltre, può essere parte di un percorso tecnico-amministrativo obbligatorio per legge, ovvero essere la conseguenza della scelta volontaria di un committente.

L'attività di ispezione, dunque, può essere correlata ai seguenti momenti tipici della sicurezza:

- l'analisi dei rischi di un sistema tecnico (ambiente di lavoro, processo produttivo, prodotto, apparecchiatura, macchina o impianto, cantiere ecc.)
- la verifica periodica, volontaria od obbligatoria per legge, di un sistema tecnico (ascensori, macchine, apparecchiature in pressione, impianti elettrici di terra ecc.)
- la certificazione conseguente alla prima messa in esercizio di un sistema tecnico (ascensore, macchina, apparecchiatura in pressione ecc.)
- la certificazione e la verifica periodica di un sistema di gestione della sicurezza.

Bibliografia

D.Lgs 9 aprile 2008, n° 81, *Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro*.

OHSAS 18001:2007, *Occupational health and safety management system – Requirements*, BSI, luglio 2007.

OHSAS 18002:2000, *Occupational health and safety management system – Guidelines for the implementation of OHSAS 18001*, BSI, febbraio 2000.

Norma UNI CEI EN ISO/IEC 17020:2005, *Criteri generali per il funzionamento dei vari tipi di organismi che effettuano attività di ispezione*.

Norma UNI EN ISO 19011:2003, *Linee guida per gli audit dei sistemi di gestione per la qualità e/o di gestione ambientale*.

La pianificazione del miglioramento della sicurezza

*R.Cuccioletta

9.1 Introduzione al miglioramento della sicurezza

Nella normativa cogente è stabilito il principio inderogabile secondo cui ricorre “*l’obbligo per l’imprenditore di adottare, nell’esercizio dell’impresa, le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l’esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l’integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro*” [Codice Civile, articolo 2087]. Tale principio, seppure stabilito nella normativa di legge fondamentale e - dunque - ben consolidato, è stato sovente trascurato; esso, tuttavia, è ora alla base della gestione migliorativa della sicurezza, che ha assunto una posizione centrale nella normativa di legge più recente.

Secondo tale impostazione, risulta evidente che il datore di lavoro è obbligato a concepire la sicurezza aziendale con un approccio diverso, affrontandola non solo come un dovere, ma come una opportunità di miglioramento delle performance complessive dell’impresa, obiettivo perseguibile solo attraverso un’attività di pianificazione che miri a consolidare la propria capacità competitiva anche nel medio e lungo termine.

In termini generali, la *pianificazione* è il processo in base al quale, dato un sistema (sociale, economico ecc.), si stabilisce uno stato futuro ritenuto desiderabile (obiettivo), si individuano le azioni per conseguirlo (piano d’azione) e le risorse per intraprendere le azioni. Il prodotto della pianificazione prende il nome di *piano*. La pianificazione può interessare sistemi sociali di differente dimensione: da un intero sistema economico (pianificazione macroeconomica) o sociale ad una singola azienda (pianificazione aziendale). La pianificazione aziendale può essere, quindi, definita come il

* Il Capitolo è stato redatto in collaborazione con Roberto Cuccioletta, Ingegnere, Responsabile tecnico certificazione impianti del CNIM – Comitato Nazionale Italiano per la Manutenzione ed esperto in Sicurezza. Collabora con il Dipartimento di Meccanica e Aeronautica dell’Università Sapienza di Roma.

sistema operativo attraverso il quale l'azienda definisce i suoi obiettivi e le azioni per conseguirli. Gli obiettivi, a loro volta, possono essere definiti come risultati futuri, misurabili, che si prevede di conseguire entro un determinato tempo (il loro orizzonte temporale).

L'attività di pianificazione mirata al *miglioramento della sicurezza* deve essere tesa a razionalizzare gli interventi in funzione della normativa vigente, delle misure tecniche da adottare e degli obiettivi economici e finanziari dell'azienda. Per confermare l'efficacia della pianificazione è necessario disporre di alcuni strumenti per verificare il raggiungimento degli obiettivi.

Uno degli strumenti che consente l'esame della situazione reale e fornisce un'indicazione sull'urgenza degli interventi necessari al miglioramento della sicurezza, definendone le priorità, come visto nel Capitolo 6, è la valutazione dei rischi. Dall'assegnazione degli indici di rischio, infatti, si ottiene la graduatoria dei pericoli e quindi delle priorità di intervento.

In particolare si possono individuare due diverse strategie di azione tra loro complementari:

- ridurre il livello di rischio dell'attività lavorativa attraverso le classiche direzioni della prevenzione e della protezione, limitando gli effetti negativi, sensibili e latenti, dovuti al rischio presente nei luoghi di lavoro: si indica questa come *strategia di gestione attiva*
- proteggere l'azienda dalle conseguenze economiche negative legate alla presenza sensibile e latente del rischio: si parla in tale caso di *strategia di gestione passiva*.

E' quindi possibile classificare gli interventi per il miglioramento della sicurezza in base alle corrispondenti tipologie di costi aziendali correlati:

- costi di riduzione del rischio
- costi di contenimento delle conseguenze
- costi per il rischio sensibile
- costi per il rischio latente.

La prima categoria si riferisce ai costi di riduzione dell'esposizione del lavoratore al rischio, come, per esempio, i costi di miglioramento della tecnologia o delle attrezzature, i costi di formazione o per la dotazione di dispositivi di protezione individuale. Tali costi sono connessi all'adozione di una strategia di gestione attiva.

La seconda categoria racchiude tutte le azioni di attenuazione dell'impatto economico dovute alla manifestazione del rischio, come, per esempio, i premi assicurativi, le spese per l'assistenza sanitaria o legale. Tali costi sono connessi all'adozione di una strategia di gestione passiva.

Le ultime categorie fanno riferimento, infine, agli oneri di carattere economico che possono essere associati al manifestarsi del rischio in modo diretto (rischio sensibile) o indiretto (latente). Di conseguenza, il costo totale per il miglioramento potrebbe essere calcolato come la somma delle quattro voci sopra menzionate, di cui una parte

rappresenta il costo legato alle misure migliorative per la sicurezza, le altre, in caso di una corretta pianificazione, rappresentano un *investimento* finalizzato al conseguimento di ricavi simboleggiati da extra-costi mancati per incidenti evitati.

9.2 I costi della sicurezza

In un'azienda la sicurezza assume primario rilievo strategico anche in termini economici e finanziari. Ogni qual volta si verifica un fenomeno dannoso per un lavoratore, l'evento rappresenta un costo direttamente quantificabile, ovvero stimabile in modo figurato, per esempio come mancata produzione o inefficienza. Le prestazioni di sicurezza dell'azienda, inoltre, non incidono unicamente sui costi operativi, ma potenzialmente anche sui ricavi.

Nella gestione della sicurezza i costi da sostenere in seguito al verificarsi di un infortunio sono assai più elevati di quanto usualmente si crede e, spesso, si usa distinguerli in due tipologie principali:

1. costi palesi
2. costi nascosti.

I costi palesi sono caratterizzati dal fatto che sono sostenuti in parte dal datore di lavoro ed in parte dalla collettività e sono:

- costi per l'assenza dell'infortunato, in quanto egli viene ugualmente retribuito
- costi per la riparazione o la sostituzione di impianti e macchinari eventualmente danneggiatisi nell'incidente.

I costi nascosti, sottovalutati generalmente nell'immediato, sono quelli che incidono maggiormente sull'economia dell'impresa. Queste voci di costo non vengono mai esplicitamente registrate dai sistemi di contabilità aziendale e sono, quindi, di difficile individuazione e misurazione. Anche in questo caso una parte dei costi sono sostenuti dal datore di lavoro ed una parte dalla collettività.

Tali sono i costi:

- per perdita di produzione, causata dall'interruzione dell'attività lavorativa dell'infortunato e di altri colleghi eventualmente intervenuti in soccorso
- per riduzione dell'efficienza produttiva, scioperi, forme di protesta ecc.
- per eventuali sequestri di impianti e macchinari disposti dalla magistratura per appurare la rispondenza o meno alle norme di sicurezza
- per le ore di lavoro straordinario corrisposte ai colleghi per supplire alla mancanza dell'infortunato
- per la ricerca e la formazione di nuovo personale in sostituzione dell'infortunato
- per l'iniziale minor rendimento del nuovo personale
- per spese legali, e per eventuali condanne civili e penali per la responsabilità del datore di lavoro nell'incidente verificatosi
- dovuti all'incremento dei contributi previdenziali
- per scadenze non rispettate

- per perdita di immagine aziendale
- ecc.

Un'altra classificazione dei costi relativa agli infortuni potrebbe essere fatta distinguendo i *costi diretti* e i *costi indiretti*.

I costi diretti sono quelli che possono essere associati in modo univoco all'incidente, l'infortunio o la malattia professionale: i costi medici, i danni subiti dai mezzi di produzione, i valori della produzione persa, l'eventuale perdita di produttività del lavoratore.

I costi indiretti sono relativi agli effetti collegati all'evento dannoso: i costi per riduzione della produttività, i costi relativi a problemi sindacali, i costi relativi ai danni di immagine, i costi relativi a spese legali e perizie tecniche nonché ai rapporti con le autorità di controllo.

9.3 La pianificazione degli interventi di miglioramento

Il raggiungimento degli obiettivi di miglioramento dipende essenzialmente dal processo di valutazione dei rischi e dalla congruenza delle decisioni assunte per la loro eliminazione o limitazione (si veda il Capitolo 6).

Da ciò derivano tre considerazioni fondamentali che caratterizzano un efficace processo di gestione della sicurezza:

1. sistematicità dell'analisi nell'identificazione dei pericoli e nella stima e valutazione del rischio
2. definizione delle priorità degli interventi e budgeting a supporto del processo decisionale
3. sistema di monitoraggio e verifica dei risultati ottenuti, cioè l'insieme delle attività di audit e degli indicatori che misurano le prestazioni dell'azienda in termini di sicurezza.

Il miglioramento della sicurezza prevede una serie di interventi consistenti nella prioritizzazione dei pericoli e delle attività in ordine decrescente di rischio, come punto di partenza per la definizione sia di interventi migliorativi di breve o medio termine, sia di strategie di prevenzione di lungo termine.

Risulta necessaria, quindi, una fase di pianificazione per definire una efficiente gestione delle risorse relative al piano di miglioramento della sicurezza, in quanto i risultati della valutazione del rischio (indice di rischio) non sono pienamente operativi di per sé, poiché non tengono conto dei vincoli tecnici, economici e organizzativi cui gli interventi sono soggetti, né prendono in considerazione gli obiettivi aziendali.

Tale attività può considerarsi parte di un processo di *project management* e consiste nell'attività di coordinamento di un processo/progetto avente come obiettivi prevalenti:

- la pianificazione delle risorse da impiegare
- la pianificazione delle scadenze (stati di avanzamento)
- la verifica del consumo delle risorse e del rispetto delle scadenze

- l'individuazione degli scostamenti e l'analisi delle cause.

Per l'implementazione delle misure di miglioramento, preventive e di protezione, devono, quindi, essere scelti tempi e metodi congrui al livello di rischio riscontrato e che si intende ridurre. Il fine principale di un piano di intervento è quello, quindi, di organizzare con anticipo tutte le risorse (umane, economiche e di produzione) coinvolte nel processo di realizzazione degli interventi, stimando l'ammontare delle risorse economiche da destinare alla sicurezza, collocare tali risorse tra investimenti e costi di esercizio per la gestione della sicurezza e prevedere l'effetto economico di possibili interventi mirati al miglioramento della sicurezza aziendale.

In sede di pianificazione, tali esigenze si traducono in specifici obiettivi che, come si vedrà nel Paragrafo 9.4, è possibile e necessario misurare.

La stima dimensionale è una delle prime attività cruciali da cui dipende il successo di un piano di miglioramento. Esistono molteplici tecniche per quantificare i tempi e i costi necessari a realizzare un progetto o, se si vuole, la sua durata, tra i quali ricordiamo, in particolare, il diagramma di Gantt e altre tecniche per la pianificazione come il PERT (Program Evaluation and Review Technique), sviluppato dalla società Booz Allen Hamilton per il progetto di sviluppo del missile Polaris da parte della Marina statunitense (in collaborazione con la Lockheed Corporation) e il CPM (Critical Path Method) sviluppato congiuntamente da DuPont Corporation e Remington Rand Corporation per gestire i progetti di manutenzione degli impianti industriali.

9.3.1 Il diagramma di Gantt

Il diagramma di Gantt è uno strumento di supporto alla gestione dei progetti, così chiamato in ricordo dell'ingegnere statunitense che si occupava di scienze sociali che lo ideò nel 1917, Henry Laurence Gantt (1861 - 1919).

Usato principalmente nelle attività di project management, il diagramma è costruito partendo da un asse orizzontale - a rappresentazione dell'arco temporale totale del progetto, suddiviso in fasi incrementali (per esempio, giorni, settimane, mesi) - e da un asse verticale - a rappresentazione delle mansioni o attività che costituiscono il progetto. Barre orizzontali di lunghezza variabile rappresentano le sequenze, la durata e l'arco temporale di ogni singola attività del progetto (l'insieme di tutte le attività del progetto ne costituisce la *WBS - Work Breakdown Structure*). Queste barre possono sovrapporsi durante il medesimo arco temporale ad indicare la possibilità dello svolgimento in parallelo di alcune delle attività. Man mano che il progetto progredisce, barre secondarie, frecce o barre colorate possono essere aggiunte al diagramma, per indicare le attività sottostanti completate, o una porzione completata di queste. Una linea verticale è utilizzata per indicare la data di riferimento.

Un diagramma di Gantt (Figura 9.1) permette dunque la rappresentazione grafica di un calendario di attività, utile al fine di pianificare, coordinare e tracciare specifiche attività in un progetto dando una chiara illustrazione dello stato d'avanzamento del progetto rappresentato; di contro, una delle cose non tenute in considerazione in

questo tipo di diagrammazione è l'interdipendenza delle attività sottostanti, caratteristica invece della programmazione reticolare, cioè della tecnica PERT.

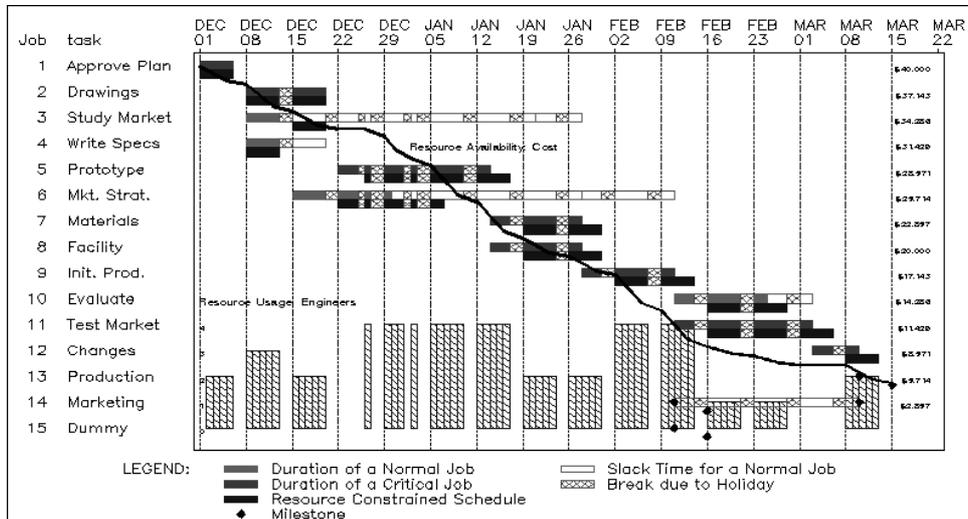


Figura 9.1 Esempio di diagramma di Gantt [SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina].

9.3.2 La metodologia PERT

Il PERT, acronimo dalla lingua inglese che sta per Program Evaluation and Review Technique, è una tecnica, o meglio un formalismo grafico, di project management sviluppata nel 1958 dalla Booz Allen & Hamilton Inc. (una ditta di consulenza ingegneristica), per l'ufficio Progetti Speciali della Marina degli Stati Uniti. L'obiettivo era quello di ridurre i tempi ed i costi per la progettazione e la costruzione dei sommerini nucleari armati con i missili Polaris, coordinando nel contempo diverse migliaia di fornitori e di subappaltatori.

Con tale tecnica si tengono sotto controllo le attività di un progetto utilizzando una rappresentazione reticolare (*grafi*) che tiene conto della interdipendenza tra tutte le attività necessarie al completamento del progetto. Si noti che l'algoritmo PERT non schedula (cioè non elabora una sequenza temporizzata delle attività stesse), perché non tiene conto della disponibilità delle risorse; considera cioè che le risorse siano a disponibilità illimitata.

Un progetto consiste, essenzialmente, in una serie di attività interdipendenti che devono essere eseguite con una precisa sequenza. Con la tecnica PERT si rappresenta

il flusso logico delle attività mediante reticoli, tra i quali il tipo più adottato è quello cosiddetto "ad arco" (*grafo*) e costituito da:

- archi o frecce, che rappresentano le attività
- nodi, che rappresentano eventi nel tempo, ovvero punti di inizio/fine delle attività.

Il primo nodo è sempre quello di inizio progetto; l'ultimo è sempre quello di fine progetto. I nodi possono essere identificati con un numero e le attività con la coppia dei numeri corrispondenti ai nodi di inizio e fine, ovvero con una lettera. Naturalmente a queste informazioni vengono collegate le descrizioni e, nel caso delle attività, anche le durate.

I percorsi sono identificati mediante la lista dei nodi attraversati ed assumono, come durata (minima, massima, stimata media o intermedia) quella calcolata sulla base dei tempi delle attività comprese nel percorso.

Nelle fasi tipiche di gestione PERT ricordiamo:

- *Pianificazione e costruzione del modello (reticolo) di dettaglio.* Ciascun responsabile esecutivo elenca le attività necessarie; l'insieme delle attività viene legato e messo in sequenza secondo la logica "l'attività può iniziare solo se ..."
- *Stime dei tempi e analisi dei percorsi.* Ad ogni attività viene attribuita una stima della durata prevista. In passato si tendeva a fornire più di un valore, del tipo probabile, pessimistica, ottimistica. Negli anni ci si è resi conto che tale consuetudine di fatto non migliorava l'attendibilità complessiva del PERT, ma allungava solo i tempi di discussione e la complessità dei calcoli. Con l'analisi dei percorsi si entra nella fase più importante, quella in cui si calcola la durata (stimata) del progetto e si identificano i percorsi critici (tempi più lunghi). L'importanza non è data dal calcolo in se stesso, ma dal fatto che sulla base dei risultati inizia il lavoro di ottimizzazione dell'intero progetto. Vengono ri-analizzate le singole attività, cercate nuove soluzioni tecniche ecc. È la prima fase di ottimizzazione. Ne derivano, di conseguenza, continue revisioni e riedizioni del modello nel suo complesso.
- *Programmazione operativa.* Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi dei percorsi inizia il lavoro di definizione delle risorse da impiegare. Vengono analizzati impegni di manodopera, carico degli impianti ecc. È la seconda fase di ottimizzazione, a volte risolta in termini di compromesso tra spendere di più e finire prima. Anche in questo caso ne derivano revisioni e riedizioni del modello in generale.
- *Controllo delle operazioni sul progetto in corso d'opera.* È necessario controllare lo svolgersi delle attività in sequenza, tempi e risorse impiegate. Variazioni in corso d'opera (anticipi, ritardi ecc.) vengono gestiti, anche modificando (da un dato momento in avanti), il modello PERT.

In Figura 9.2 è raffigurato un esempio di applicazione della tecnica PERT in cui i numeri nei rettangoli sono i nodi e rappresentano gli eventi o gli obiettivi, le frecce rappresentano le attività che devono essere completate in modo sequenziale, le frecce divergenti (per esempio 1-2 e 1-3) indicano attività non dipendenti (chiamate paralle-

le) e le linee puntate indicano attività correlate che non richiedono risorse. Le attività 1-2-4-8-10 devono essere completate in sequenza e sono tra loro dipendenti.

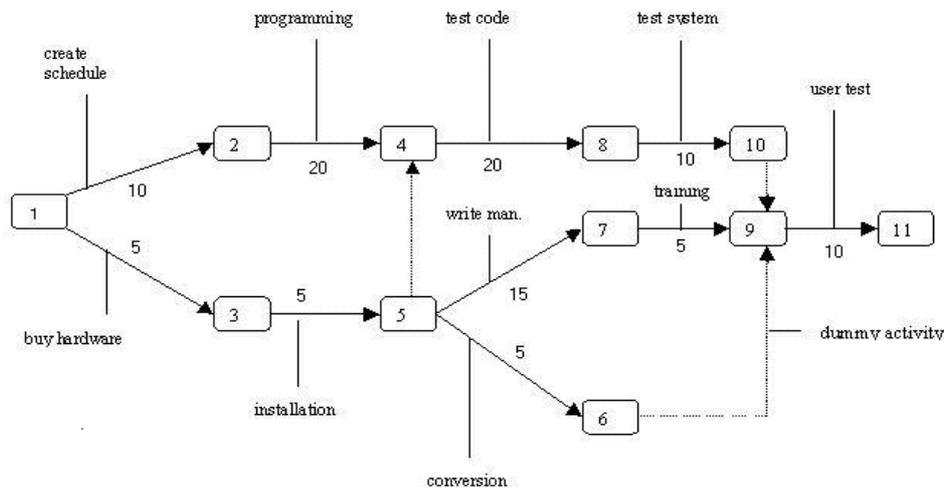


Figura 9.2 Esempio di tecnica di PERT [Mark Kelly, McKinnon Secondary College].

9.4 Indicatori per la misura del miglioramento

Nel controllo di gestione, si intende con il termine *indicatore*, un parametro o cifra-indice in grado di fornire informazioni relative ad uno specifico fenomeno.

Gli indicatori possono essere:

- di efficacia, quando sono esprimibili come rapporto tra un risultato raggiunto e un obiettivo prestabilito
- di efficienza, quando sono esprimibili come rapporto tra un risultato raggiunto e le risorse impiegate per raggiungerlo, espresse in termini di costo (quando le risorse sono espresse in termini di quantità materiale si hanno invece indicatori di produttività, di solito considerati non appropriati per il controllo di gestione).

Per effettuare una stima degli interventi di riduzione del rischio si fa riferimento ad azioni di tipo discrezionale che, di conseguenza, sono oggetto di decisione e pianificazione da parte del management aziendale in base agli obiettivi gestionali perseguiti. In tale circostanza occorre quantificare, a fronte di un esborso economico, quale sia il miglioramento in termini di riduzione del livello di rischio. La riduzione del rischio realizzata attraverso specifici interventi di diversa natura (tecnici, organizzativi, formativi ecc.) può essere stimata facendo riferimento a dati misurabili e quantificabili,

ritenuti correlati al fattore di rischio oggetto di intervento e stimandone il tasso di riduzione conseguibile grazie all'intervento stesso.

L'approccio tradizionale alla sicurezza prevede la misura del miglioramento monitorando esclusivamente la frequenza degli infortuni. In realtà l'indice di frequenza degli infortuni non è un parametro in assoluto attendibile per misurare il livello di sicurezza. Nelle piccole aziende, per esempio, ove gli incidenti sono rari o non frequenti, gli infortuni non permettono di costruire una statistica rappresentativa per ricavare informazioni significative. Sarebbe opportuno, quindi, basare le analisi non tanto sui dati relativi agli infortuni avvenuti, quanto sulle informazioni che si possono raccogliere prima che gli infortuni accadano, individuando le cause primarie di infortunio come i comportamenti errati, le procedure di lavoro non adeguate, l'uso di macchine e dispositivi non conformi. Un nuovo approccio dovrebbe, quindi, prevedere di migliorare le potenzialità di analisi della sicurezza aziendale, effettuando un esame dettagliato dei dati su una base statistica più ampia, che da una parte tenga conto degli infortuni (sia gli incidenti, sia i *quasi incidenti*), dall'altra prenda in considerazione tutti i dati e le informazioni in grado di descrivere lo stato di sicurezza di un'organizzazione (Tabella 9.1).

Tabella 9.1 Esempi di indicatori per il miglioramento.

| Aree di intervento | Esempi di indicatori di monitoraggio del miglioramento |
|--------------------|--|
| Prevenzione | <ul style="list-style-type: none"> - Efficacia della formazione - Andamento storico incidenti e quasi incidenti - Esiti ispezioni per la sicurezza (prescrizioni) - ecc. |
| Protezione | <ul style="list-style-type: none"> - Caratteristiche dei danni: andamenti storico-statistici - ecc. |
| Organizzazione | <ul style="list-style-type: none"> - Efficacia organizzativa - Gestione delle risorse umane - Risultati degli audit della gestione della sicurezza - ecc. |
| Miglioramento | <ul style="list-style-type: none"> - Investimenti in rinnovamento di processo - Investimenti in rinnovamento tecnologico - ecc. |

9.5 Conclusioni

Il tema della pianificazione e del miglioramento della sicurezza implica che il *management aziendale* modifichi sostanzialmente il proprio atteggiamento, discostandosi dall'approccio tradizionale secondo cui la sicurezza si traduceva nella stesura di un programma di interventi e avvicinandosi, altresì, a un approccio più "sensato" e moderno, secondo cui la sicurezza stessa deve essere vista come una parte del sistema gestionale. Ciò comporta l'attuazione di specifici piani di miglioramento in cui ven-

gano applicate le tecniche di project management e che tengano conto dei requisiti specifici di legge, delle esigenze produttive e delle risorse economiche e umane dell'azienda.

Per raggiungere tali obiettivi è necessario che le organizzazioni operino un profondo mutamento politico-culturale verso modelli *proattivi* [Garcia Herrero, 2002], in cui non ci si limiti ad analizzare gli incidenti solo dopo che sono accaduti, bensì si agisca in una logica maggiormente preventiva in cui tutti i membri di un'azienda, sia il management sia il personale, operino in accordo con le norme e i regolamenti di sicurezza, condividendo gli stessi principi e riconoscendosi nella stessa politica, con l'intento di accrescere e migliorare il livello di sicurezza.

Bibliografia

Cagno E., Caron F., Perego A., *Una tecnica multi-criterio per il competitive bidding*, Impiantistica Italiana, Anno X, n. 1, 1997.

Calabrese A., Cagno E., Trucco P., *Costi e pianificazione della sicurezza*, Il Sole 24 Ore, Milano 2003.

Chiappi R., *Applicazione dell'analisi multicriteri alle aziende impiantistiche*, Impiantistica Italiana, Anno X, n. 3, 1997.

Fedele L., Furlanetto L., Saccardi D., *Progettare e gestire la manutenzione*, McGraw-Hill, Milano 2004.

Garcia Herrero S., Saldana M.A.M., Manzanedo del Campo M.A., Ritzel D.O., From traditional concept of safety management to safety integrated with quality, *Journal of Safety Research*, 2002.

Hillier F.S., Lieberman G.J., *Ricerca Operativa*, McGraw-Hill, Milano 2006.

Schonberger R.J., M.Knod E. jr., *Gestione della produzione*, McGraw-Hill, Milano 1999.

Turco F., *Principi generali di progettazione degli impianti industriali*, Città Studi Edizioni, Torino, 2002.

Yu Chuen-Tao L., *Applicazioni pratiche del PERT e del CPM - Nuovi metodi di direzione per la pianificazione, la programmazione e il controllo dei progetti*, Franco Angeli Editore, Milano 2000.

Zaderenko S.G., *Sistemi di programmazione per cammino critico - Pert, Cpm, Man scheduling, Ramps*, World Science & Tecnology, Milano 1966.

Indice analitico

A

abbagliamento; 119
aberrazione cromatica; 119
accelerazione ponderata in frequenza; 142
ADAMS; 180
adattamento; 119
agenti biologici; 150
AHP; 203
albero
– degli eventi; 213
– dei guasti; 212
algoritmi genetici; 216
ambiente
– fisico; 17
– termico; 107
ambienti termici
– moderati; 107
– severi; 107
AMPOS; 180
analisi
– dei rischi; 3
– incidentale storica; 153
– in frequenza; 134
AOPD; 35
arco elettrico; 63
area equivalente di assorbimento acustico;
136
aria
– indoor; 105
– pura; 105
– teorica di combustione; 82
attenzione; 162
attività di ispezione; 246

audiogramma normale; 132
auditor; 248
avversione; 167
azioni correttive; 252

B

BEI; 148
best practices; 178
bilancio
– di massa; 106
– energetico; 108
BLEVE; 154

C

caduta dall'alto; 41
campo acustico
– riverberante; 136
– semiriverberante; 136
campo di infiammabilità; 83
carico
– di incendio; 94
– di incendio specifico; 94
cause prime di guasto; 25
CHETAH; 155
CL₅₀; 146
classi
– di fuoco; 90
– di isolamento elettrico; 65
coefficiente
– di trasmissione; 135
– di visibilità; 119
collegamento equipotenziale; 68
comandi

- di arresto; 34
- di avviamento; 34
- di emergenza; 34
- comando
 - a due mani; 35
 - ad azione mantenuta; 35
- comburente; 81
- combustibile; 81
- combustione
 - dei gas infiammabili; 85
 - dei liquidi infiammabili; 84
 - delle sostanze solide; 84
- comfort globale; 107
- compartimentazione; 94
- Complessità; 21
- comunicazione; 177
- contatti
 - diretti; 58
 - indiretti; 58
- copertura
 - a fasce vetrate; 55
 - a lucernari; 55
 - a pozzi; 55
 - a sheds; 55
- corrente
 - alternata; 60
 - continua; 60
- corto circuito; 62
- costi della sicurezza; 257
- curva di visibilità; 119
- curve
 - di isorischio; 4
 - isofoniche; 132

D

- danneggiamento dell'isolamento; 62
- Datore di Lavoro; 238
- detectability; 211
- detonazione; 85
- diagramma di Gantt; 259
- Direzione; 238
- disattenzioni; 172
- discomfort locale; 107
- dispendio metabolico; 109

- dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche; 77
- dispositivo
 - di consenso; 33
 - di interblocco; 33
 - di protezione; 33
 - di protezione sensibile; 35
 - optoelettronico a protezione attiva; 35
- DL₅₀; 146
- dose assorbita; 99

E

- edificio
 - monopiano; 50
 - multipiano; 50
- effetto domino; 158
- efficienza luminosa; 120
- elettricità statica; 63
- elettromagnete di sollevamento; 47
- ergonomia; 104
- error management; 174
- errore; 172, 219
- errori
 - attivi; 174
 - latenti; 174
 - umani; 162
- esercitazioni periodiche; 97
- esposizione degli edifici; 49
- estinzione degli incendi; 91
- ETA; 213
- evento dannoso; 184

F

- falsamento delle percezioni; 163
- fattore
 - di assorbimento; 135
 - di contrasto; 121
 - di direttività; 136
 - medio di assorbimento; 136
 - medio di luce diurna; 126
 - umano; 161
- fault
 - protection; 68
 - tree; 212
- FELV; 68

fiale Dräger; 147
 fibrillazione ventricolare; 59
 Fireball; 154
 FMECA; 211
 flash-fire; 154
 flash-over; 87
 flash-point; 84
 flusso luminoso; 119
 fondazione superficiale; 52
 fondazioni; 52
 – in zone sismiche; 53
 – profonde; 52
 fonoassorbimento; 140
 fonoisolamento; 138
 fonti di innesco; 85
 formula di Sabine; 137
 frequenza; 129
 frustrazione lavorativa; 166
 FTA; 212
 funi di guardia; 78
 funzione
 – di fitness; 217
 – di verosimiglianza; 205
 funzioni
 – di causa; 207
 – di rischio; 206
 fusibile; 75

G

gabbia Melsen-Faraday; 77
 gancio; 42
 giudizio professionale; 11, 247
 grado
 – di appartenenza; 14
 – di conformità; 246
 guasti di tipo elettrico; 58

H

hard-computing; 213
 HAZOP; 212

I

IDLH; 148
 igiene

– ambientale; 102
 – del lavoro; 102
 illuminamento; 120
 – medio mantenuto; 123
 illuminazione; 17, 117
 – d'emergenza; 127
 – di sicurezza; 127
 – laterale; 54
 – naturale zenitale; 54
 imbracature dei carichi; 44
 impedenza acustica; 129
 imperizia; 165
 impianto di messa a terra; 69
 imprudenza; 165
 incidente rilevante; 152
 incendio; 86
 indicatore; 262
 indice
 – di posizione di Guth; 124
 – generale di resa del colore; 125
 indipendenza di giudizio; 247
 Ingegneria dei Sistemi; 21
 innesco; 82
 insonnia; 164
 intensità
 – luminosa; 120
 – sonora; 129
 interruttore
 – magneto-termico; 75
 – termico; 75
 – differenziale; 65
 IREQ; 116
 isolamento termico del vestiario; 109
 ispezioni; 11, 247

J

Jet-fire; 154

L

legge
 – di Ashby; 21
 – empirica del caso; 7
 limite di esposizione; 100
 limiti di infiammabilità; 83
 livello

- di esposizione al rumore; 134
- di intensità sonora; 131
- di potenza sonora; 131
- di pressione sonora; 131
- di tossicità; 146

LOAEL; 148
logica fuzzy; 13, 215
luce; 118
luminanza; 120
lunghezza d'onda; 128

M

manutenzione; 39
mascheramento; 137
massa; 63
matrice rischio/intervento; 191
meccanica; 26
MEDA; 179
medico competente; 238
memoria; 163
metodo SMART; 231
minimal cut sets; 212
microclima; 18
modello

- di probabilità; 8
- energetico; 135
- fuzzy; 216

moti

- di traslazione e alternativi; 28
- oscillatori a pendolo; 28
- rotativi; 27

motivazione; 166

N

negligenza; 165
NOAEL; 148
noia; 164
non conformità; 252
norme armonizzate; 41

O

occurrence; 211
omeotermia; 107
organi

- captatori; 78
- di presa; 42

orientamento degli edifici; 49

P

parafulmine; 76

- a stilo; 77
- laser; 78
- radioattivo; 78

pavimento industriale; 56
PDCA; 227
PELV; 68
percezione; 162
pericolo; 3
periodo; 129
PERT; 260
PHS; 113
piano di emergenza; 96

- interno; 157
- esterno; 157

pirolisi; 84
PMV; 110
Pool-fire; 154
potenza

- radiante; 119
- sonora; 130

potere

- calorifico; 83
- fonoisolante; 138

PPD; 111
pressione acustica di picco; 134
prevenzione; 9
principio

- di integrazione della sicurezza; 10
- di presunzione della conformità; 20

probabilità; 6

- condizionale; 8
- di fulminazione diretta; 80
- soggettiva; 7

processo di controllo dei rischi; 183
prodotti della combustione; 88
project management; 258
protezione; 9

Q

- qualità
 - dell'aria; 18
 - ergonomica; 104
- quasi-incidenti; 16

R

- rapporto
 - di luminanza; 121
 - di sicurezza; 157
 - di non conformità; 253
 - di verifica; 251
- Rappresentante
 - dei Lavoratori per la Salute e la Sicurezza; 238
 - della Direzione per la Salute e la Sicurezza; 238
- reazione di combustione; 81
- Requisiti Essenziali di Sicurezza (RES); 40
- reti neurali artificiali; 214
- riduzione del rischio; 1
- ripari e dispositivi di protezione; 29
- riparo
 - fisso; 30
 - interbloccato; 30
 - interbloccato con bloccaggio del riparo; 32
 - interbloccato con funzione di avviamento; 32
 - mobile; 30
 - regolabile; 30
- rischi da guasto; 24
- rischio; 2, 185
 - accettabile; 185
 - biologico; 145; 149
 - chimico; 145
 - da esposizione; 99
 - di incidente rilevante; 153
 - di incendio; 81
 - elettrico; 57
 - industriale; 152
 - meccanico; 26
 - residuo; 1
- risorse materiali; 19
- RPN; 211

rumore; 17, 128

S

- scheda
 - di sicurezza; 146
 - informativa per i cittadini e i lavoratori; 156
- scienza della sicurezza; 1
- SELV; 67
- sensazione; 162
- Servizio
 - di Prevenzione e Protezione; 238
 - per la Gestione delle Emergenze; 238
- severità; 184, 211
- Sicurezza; 1
- Sistema di Gestione; 221
 - per la Salute e la Sicurezza; 230
- sistema
 - IT; 72
 - mano-braccio; 141
 - TN; 72
 - TT; 72
- sistemi di comando; 33
- soft-computing; 213
- soglia
 - di fibrillazione ventricolare; 59
 - di percezione; 59
 - di rilascio; 59
- sonno; 164
- sopralluogo; 251
- sostanze psicotrope; 169
- sovraccarico termico; 62
- SPE; 35
- speech interference level; 137
- spettro
 - dei rischi; 5
 - visibile; 118
- STAMINA; 180
- strutture
 - in acciaio; 51
 - in calcestruzzo; 50
 - in laterizio armato; 51
 - in legno lamellare; 51
 - in muratura tradizionale; 51
- suono; 128

T

temperatura

- di accensione; 82
 - di colore; 125
 - di infiammabilità; 83
 - teorica di combustione; 82
- tempo di riverberazione; 137
- tensione di passo; 74

teorema

- delle probabilità composte; 8
- delle probabilità totali; 8
- di Bayes; 9

teoria

- degli Errori Latenti; 219
- dell'errore umano; 219

tetanizzazione; 59

TLV; 100

TLV-C; 101

TLV-STEL; 101

TLV-TWA; 101

tonalità della luce; 121

top event; 25

triggering event; 219

U

UGR; 124

UVCE; 154

V

valutazione del rischio incendio; 93

VCE; 154

vibrazioni; 17, 141

violazioni; 172

viziatura; 103

W

WBGT; 113

WBS; 259

WCI; 117