

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi sulla valutazione dei rischi in uno stabilimento siderurgico a ciclo integrale



Relatori:

Prof. Ing. Carlo Marco MASOERO

Dott.ssa Arch. Louena SHTREPI

Candidato:

Alessandro SCHIFONE

Ottobre 2018

INDICE

Introduzione	1
Capitolo 1 – Impianti siderurgici	2
1.1 Generalità sul comparto	2
1.2 Produzione siderurgica in Italia	4
1.3 Pratiche produttive	7
1.4 Ciclo di lavorazione dell’impianto a ciclo integrale	12
1.5 Preparazione delle materie prime	14
1.5.1 Preparazione dei minerali di ferro e agglomerazione	15
1.5.2 Produzione del coke metallurgico	15
1.5.3 Il calcare	16
1.6 L’altoforno	16
Capitolo 2 – Legislazione sulla sicurezza e salute nei luoghi di lavoro e valutazione dei rischi	21
2.1 Riferimenti storici sulle normative italiane prima delle direttive europee	21
2.2 Legislazione europea	22
2.3 Legislazione internazionale di Paesi non aderenti alla CEE	25
2.3.1 Sistemi di Gestione per la Salute e la Sicurezza sul lavoro “BS OHSAS 18001:2007”	25
2.4 Normative italiane emanate in seguito alle direttive europee	26
2.5 Classificazione e definizione dei rischi lavorativi	30
2.5.1 Rischi per la sicurezza dei lavoratori	31
2.5.2 Rischi per la salute dei lavoratori	31
2.5.3 Rischi legati ad aspetti organizzativi e gestionali	32

2.6 Valutazione dei rischi	33
2.6.1 Definizione dei parametri matriciali	36
Capitolo 3 – Il rumore	42
3.1 Definizione del rumore	42
3.2 Parametri da rilevare per l'analisi	43
3.3 Valutazione del rischio rumore	46
3.4 Il fonometro	47
3.5 Programma aziendale di riduzione dell'esposizione	49
3.6 Comparazione con altre normative	51
3.7 Metodo a matrice per il rumore	53
Capitolo 4 – Le vibrazioni	57
4.1 Definizione di vibrazione	57
4.2 Parametri da rilevare per il rischio	58
4.3 Valutazione del rischio vibrazioni	63
4.4 Programma aziendale di riduzione del rischio vibrazioni	65
4.5 Metodo a matrice per le vibrazioni	66
Capitolo 5 – Illuminazione	68
5.1 Legislazione sull'illuminazione	68
5.2 Valutazione indice di rischio e piano di azione	70
Conclusioni – Criticità del metodo a matrice	72
Bibliografia	75

Introduzione

Il seguente studio nasce dalla esigenza di effettuare una analisi delle metodiche adottate in un grande impianto siderurgico per la valutazione e la riduzione dei rischi per i lavoratori, alla luce delle diverse normative e pratiche di buona tecnica; lo scopo perseguito è quello di poter ottenere una valutazione dei rischi negli ambienti di lavoro che possa predisporre un piano di misure di prevenzione e protezione che risulti il migliore possibile.

La valutazione dei rischi è molto importante perché consente al datore di lavoro di conoscere i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori al fine di poter adottare tempestivamente le misure atte alla loro salvaguardia ed incolumità.

Negli ultimi tempi si è assistito ad un aumento della attenzione posta sulla sicurezza degli ambienti di lavoro, soprattutto per ciò che concerne l'attività lavorativa svolta in ambienti che possono essere considerati estremi; l'Italia ha varato una nuova riforma legislativa in materia di sicurezza sul lavoro in ottemperanza alle linee guida emanate dal legislatore dell'Unione Europea.

Ci sono alcune tipologie di ambienti lavorativi che a causa della natura intrinseca delle attività svolte all'interno di essi costituiscono un costante pericolo per la salute e la sicurezza dei lavoratori, ragione per cui risulta pertanto impossibile annullare completamente l'esistenza stessa del rischio. L'analisi condotta nel seguente studio viene riferita ad un ambiente lavorativo considerato come uno dei più problematici in assoluto, ovvero uno stabilimento siderurgico a ciclo integrale per la produzione di ghisa ed acciai; viene posta particolare attenzione su alcuni specifici rischi, ovvero il rumore, le vibrazioni e l'illuminazione, e la relativa metodica utilizzata per effettuare la valutazione del rischio.

Capitolo 1

Impianti siderurgici

1.1 Generalità sul comparto

Il comparto siderurgico rappresenta un settore industriale molto vasto, comprendente sia la produzione di ghisa ed acciai a partire dal minerale, sia la produzione ottenuta da rottami riciclati, nonché tutte le successive lavorazioni per la produzione di semilavorati quali tubi, profilati e lamiere.

L'acciaio e la ghisa derivanti dal processo di produzione possono essere destinati alle lavorazioni di deformazione a caldo, oppure utilizzati dalle fonderie per le colate in forme non standardizzate, al fine di ottenere prodotti solidificati con determinate geometrie.

Per quanto concerne la tipologia di produzione, in Italia vengono seguite due *filiera*, identificate come [1]:

- **Siderurgia primaria**
- **Siderurgia secondaria**

La siderurgia primaria, denominata *siderurgia integrale*, rappresenta la filiera che utilizza minerali di ferro come materia prima e carbone come ingrediente energetico riducente, ed i processi produttivi necessitano di stabilimenti siderurgici basati su altoforno e convertitore all'ossigeno. Attraverso la siderurgia integrale si produce acciaio liquido a partire da minerali e da carbone, quest'ultimo richiesto dall'esigenza di condurre operazioni di fusione e di riduzione. Nella filiera a ciclo integrale il minerale di ferro, dopo aver subito processi di frantumazione, vagliatura, arricchimento ed agglomerazione, viene caricato e portato a fusione in altoforno unitamente al coke metallurgico ed al calcare, per ottenere come prodotto la ghisa.

Il coke, che è ricavato dal carbone per pirolisi, svolge funzione di combustibile, di riducente e di legante, mentre al calcare è demandato il ruolo di fondente della carica.

In un procedimento successivo, si effettua la riduzione del tenore di carbonio della ghisa, attraverso l'insufflazione di ossigeno in un convertitore, e si ottiene acciaio.

La siderurgia secondaria invece, indicata come *siderurgia elettrica*, è un processo di riciclo poiché prevede l'utilizzo di rottami come materia prima ed energia elettrica come vettore energetico.

Esistono altri processi di produzione di acciaio, che operano attraverso la riduzione diretta e la rifusione di preridotti, ma non sono presenti nella realtà produttiva italiana.

Di seguito viene rappresentata una schematizzazione dei due differenti processi siderurgici:

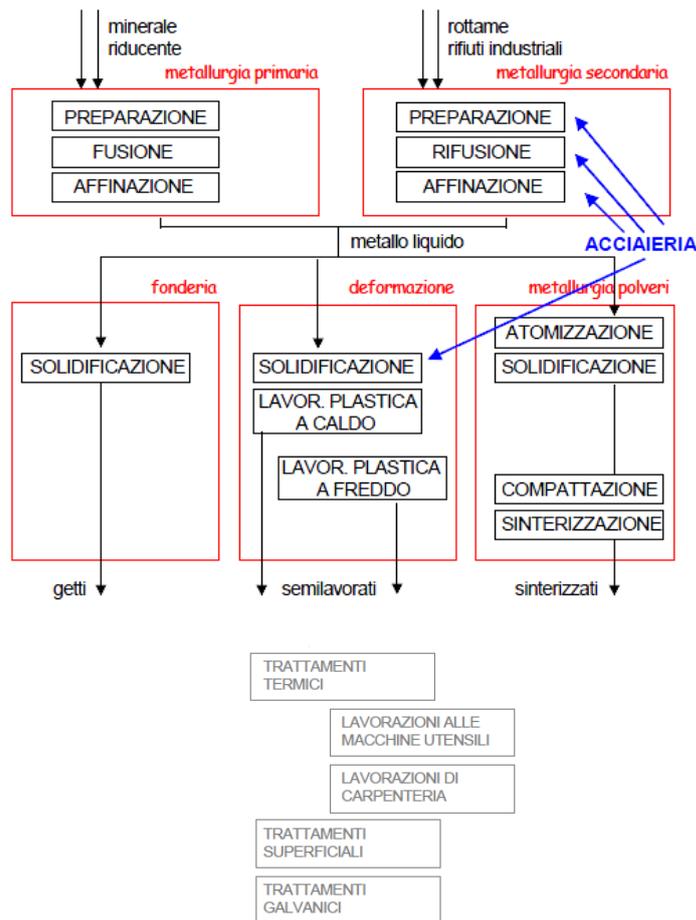


Figura 1.1 Schematizzazione processi siderurgici

1.2 Produzione siderurgica in Italia

La siderurgia in Italia rappresenta un settore strategico, poiché il nostro Paese risulta essere ancora oggi uno dei maggiori produttori di acciaio a livello globale.

La dislocazione degli stabilimenti produttivi sul territorio nazionale è rappresentata di seguito:



Figura 1.2 Dislocazione impianti siderurgici in Italia

E' possibile evincere come la maggior parte degli stabilimenti produttivi italiani utilizzino forni elettrici, seguendo pertanto la filiera della siderurgia secondaria, mentre solo pochi impianti sono inseriti nella filiera della siderurgia primaria, la quale richiede una tipologia di impianti di maggiore complessità e maggiori problematiche di gestione; tali impianti sono di taglia elevata e devono essere localizzati nei pressi delle coste, per la necessità di favorire l'approvvigionamento delle materie prime che derivano integralmente da importazione.

In riferimento ai dati relativi all'anno 2016 presentati da Federacciai [2], se ne può dedurre la significativa importanza ricoperta dall'Italia nel panorama internazionale dei maggiori produttori di acciaio.

Osservando il grafico relativo all'anno 2016, si può notare come l'Italia occupasse la undicesima posizione a livello mondiale per quantità di tonnellate di acciaio prodotto, con una produzione totale annua di 23,4 milioni di tonnellate di acciaio.

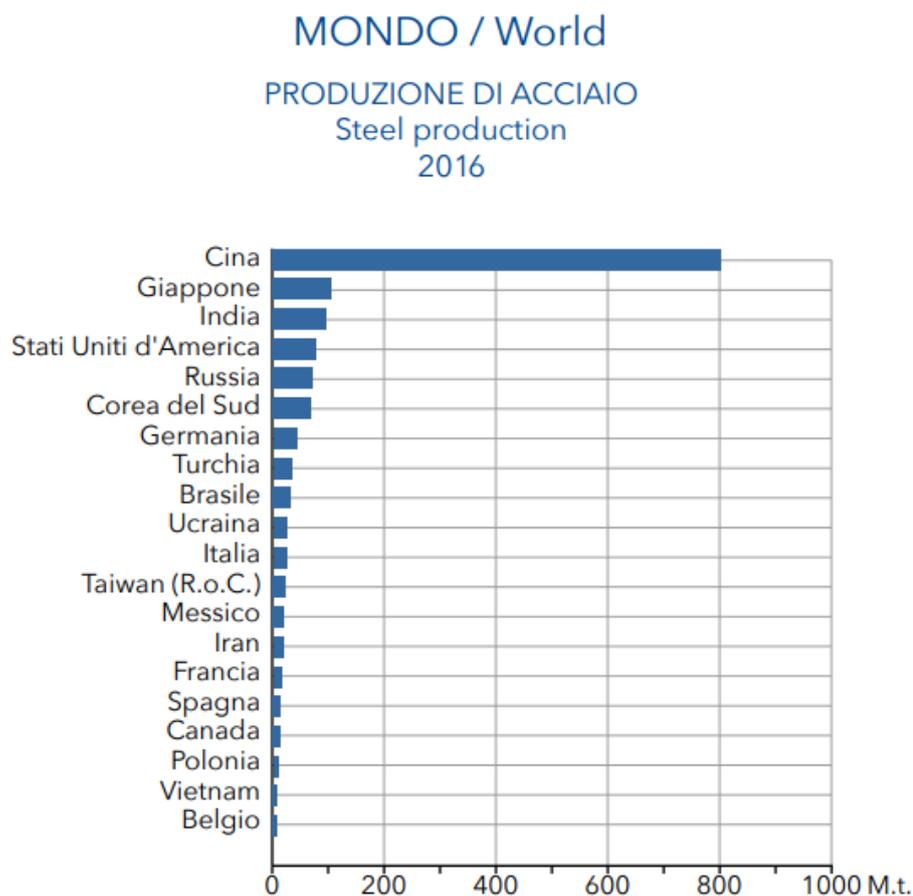


Figura 1.3 Produzione mondiale di acciaio espressa in milioni di tonnellate annue

Nella tabella successiva è possibile notare il peso in percentuale rivestito dalla nostra produzione nazionale rispetto al resto dei paesi membri dell'Unione Europea:

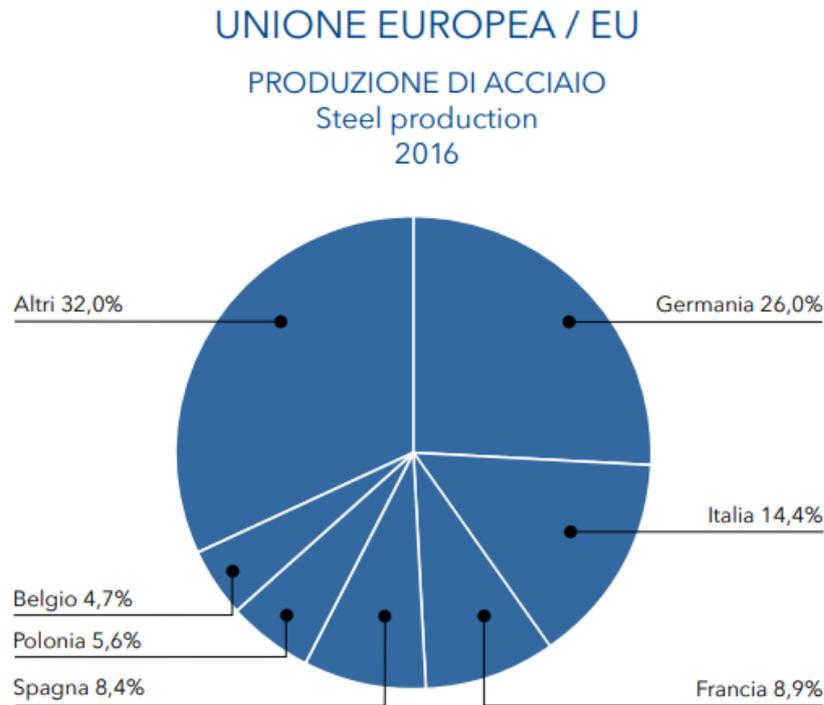


Figura 1.4 Quota produttiva di acciaio in Italia riferita alla produzione europea

Nel 2017 l'aumento ulteriore di produttività ha fatto sì che l'Italia entrasse nella top ten delle nazioni produttrici, occupando la decima posizione [3]; in tale anno, secondo i dati di Worldsteel, i produttori nazionali hanno messo a terra 24 milioni di tonnellate, circa 600mila tonnellate in più dell'anno precedente (+2,9%), riportando l'output su livelli che non si vedevano dal 2013.

Un risultato significativo, soprattutto considerando che dal mercato mancano ancora, in linea teorica, alcuni milioni di tonnellate dell'Ilva, impianto che in questo periodo storico viaggia largamente al di sotto delle sue potenzialità, a causa delle problematiche relative all'inquinamento ambientale.

Il grafico seguente riporta la serie storica dei dati italiani riguardanti l'esportazione di acciaio degli ultimi anni, e se ne evince un trend che dopo un massimo ottenuto nell'anno 2007 è risultato pressoché calante fino al 2009, fino ad intraprendere nuovamente un trend crescente.

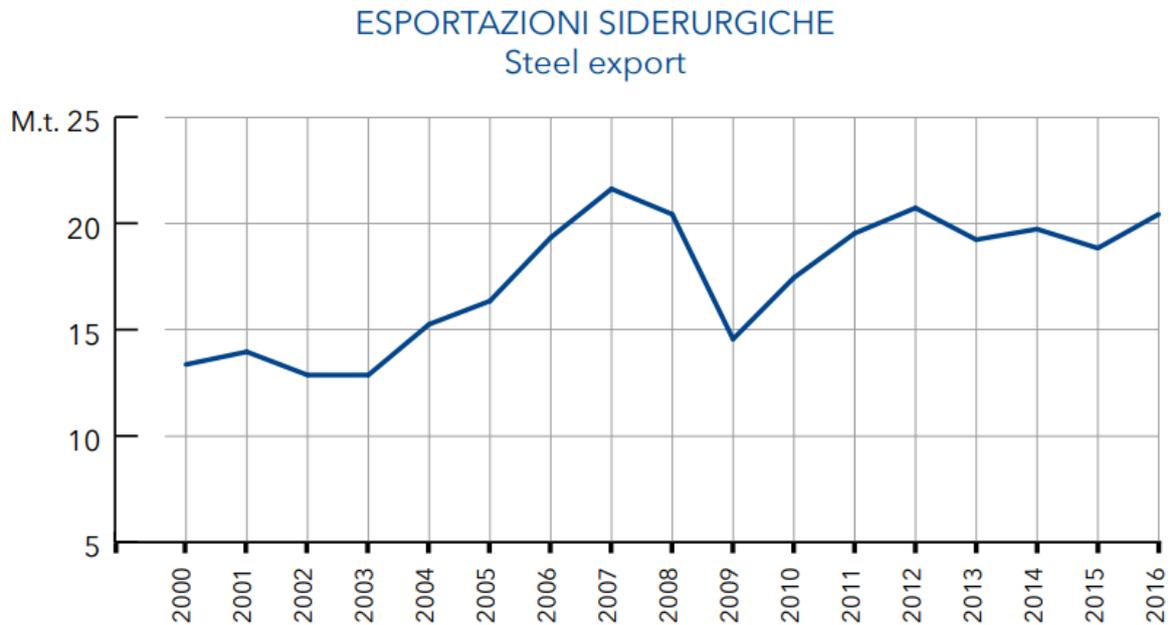


Figura 1.5 Andamento negli anni della esportazione di acciaio prodotto in Italia

1.3 Pratiche produttive

La definizione di acciaio racchiude in sé tutte le leghe di ferro e carbonio nelle quali il contenuto di carbonio non sia superiore al 2% in peso; qualora il tenore di carbonio presente nella lega risultasse superiore a questa percentuale, si entrerebbe nel campo delle ghise. La differenza tra acciaio e ghisa è consistente sotto tutti i punti di vista, poiché la ghisa trova impiego in determinati campi di applicazione per via di alcune sue proprietà meccaniche, ma sostanzialmente la maggior parte della ghisa ottenuta rappresenta un prodotto intermedio che deve essere convertito in acciaio come prodotto finale.

Per poter produrre acciaio è quindi opportuno controllare il tenore del contenuto di carbonio nella

lega, oltre al controllo del quantitativo di altri elementi secondari componenti la lega stessa. Se ne può facilmente dedurre come si possa parlare di acciaio vero e proprio solo a partire dalle leghe realizzate in periodi successivi al XV secolo, epoca in cui sono documentate le prime nozioni effettive di scienza della metallurgia [4].



Figura 1.6 Un vecchio altoforno a Sestao, in Spagna

Il ferro, componente primario degli acciai, è presente in natura allo stato di metallo puro in quantità molto limitate, essenzialmente come ferro meteoritico. Normalmente il ferro presente sulla crosta terrestre si trova come minerale metallifero, ovvero incluso in materiale roccioso, che non essendo

un metallo, viene indicato con il nome di *ganga*; con tale denominazione ci si riferisce anche al materiale scartato dai processi di separazione e concentrazione dei minerali.

Il maggior quantitativo di ferro presente sulla crosta terrestre lo si trova sotto forma di ossido (ematite, magnetite, limonite ecc.) o solfuro (pirite), oltre che come carbonato, a seconda delle profondità della crosta terrestre alle quali si forma; si considera che il minerale di ferro risulti essere presente in almeno il 5% della crosta terrestre.

L'ematite (Fe_2O_3 , $40\% \leq \text{Fe} \leq 70\%$) è ampiamente diffusa in rocce di qualsiasi era geologica e rappresenta uno dei più importanti ed abbondanti minerali di ferro esistenti in natura.

Essa si presenta nella caratteristica struttura reniforme, come rappresentato nella figura seguente:



Figura 1.7: Minerale metallifero ematite (Fe_2O_3)

L'altro minerale metallifero molto diffuso sulla crosta terrestre risulta essere la magnetite (Fe_3O_4 , $60\% \leq \text{Fe} \leq 70\%$), che rappresenta anche il minerale con la più alta concentrazione di ferro, e si presenta nell'aspetto con la conformazione in figura:



Figura 1.8 Minerale metallifero magnetite (Fe_3O_4)

Con il generico termine di “limonite” ($\text{FeO}\cdot\text{OH}$, $25\% \leq \text{Fe} \leq 60\%$) si fa riferimento ad una vasta gamma di ossidi idrati o idrossidi di ferro; la limonite si origina come degradazione atmosferica di tutti i minerali che contengono ferro.



Figura 1.9 Minerale metallifero limonite

Altro minerale metallifero contenente ferro è la pirite, un materiale solfurico (FeS) che però risulta poco sfruttato per l'estrazione del ferro a causa dell'effetto nocivo dovuto alla presenza di zolfo.



Figura 1.10 Minerale metallifero pirite

1.4 Ciclo di lavorazione dell'impianto a ciclo integrale

Il ciclo siderurgico integrale identifica un processo il quale, partendo da materie prime quali minerali ferrosi, fondenti e carbone, e attraverso una serie di opportune lavorazioni, permette di ottenere la ghisa greggia come prodotto intermedio, e gli acciai come prodotti finiti [5].

Questa tipologia di produzione viene identificata attraverso quattro passaggi, a loro volta suddivisi in varie fasi:

- Preparazione delle materie prime;
- Fabbricazione della ghisa in altoforno;
- Trasformazione della ghisa in acciaio;
- Laminazione dell'acciaio.

Tutto questo processo è continuo, viene svolto ininterrottamente di giorno e di notte per anni, senza subire interruzioni, e per poter essere svolto, necessita di impianti con altissimi costi iniziali di investimento. Le diverse fasi di lavorazione che compongono il ciclo integrale possono essere riassunte come segue:

- Preparazione e carica della materie prime
- Produzione della ghisa all'interno dell'altoforno
- Scorificazione
- Colata della ghisa
- Conversione della ghisa in acciaio
- Colata dell'acciaio
- Preparazione alla laminazione
- Laminazione in sbozzatura
- Produzione di lamiere, tubi ecc.

Il centro nevralgico di questa tipologia di impianti è l'*altoforno (Blast Furnace)*, ovvero l'impianto a forma di tino destinato alla produzione della ghisa madre attraverso la fusione dei minerali di

ferro.

Questi forni di grandi dimensioni, che possono arrivare ad altezze di 80 metri con diametri di 10 metri, sono costituiti da varie sezioni sovrapposte di forma tronco-conica e rivestiti internamente da materiale refrattario [6].

Ogni sezione è adibita allo svolgimento di una particolare funzione. Per la produzione di ghisa nell'altoforno sono necessarie quattro componenti:

- Minerali di ferro;
- Coke metallurgico;
- Fondente (calcare);
- Aria calda.

Grazie al suo elevato potere calorifico, il coke risulta essere il combustibile ideale, il quale svolge anche la funzione di agente riducente nei forni atti alla fusione dei minerali metalliferi.

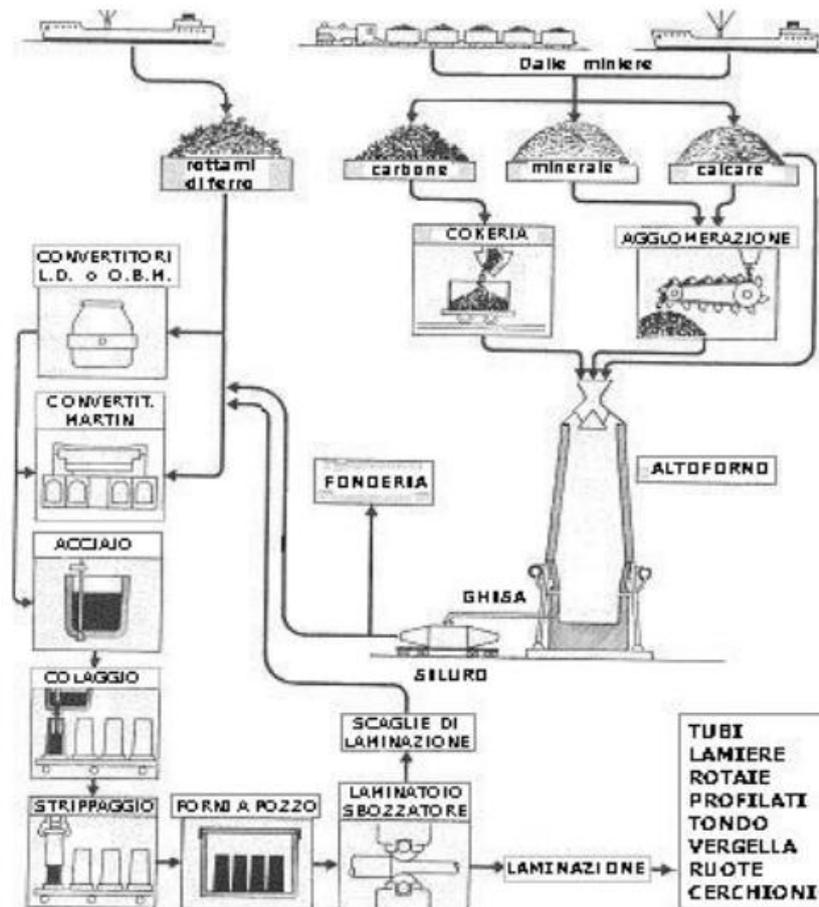


Figura 1.11 Fasi di lavorazione all'interno di un impianto siderurgico a ciclo integrale

1.5 Preparazione delle materie prime

La prima fase del processo di siderurgia a ciclo integrale consiste nel preparare le materie prime che devono essere caricate nell'altoforno. La presenza del ferro in forma di carbonato o di ossido impedisce il suo sfruttamento diretto, pertanto in un impianto appartenente alla tipologia oggetto di studio occorre preliminarmente effettuare l'estrazione del ferro metallico da poter poi successivamente portare a fusione, e trasformare il carbone in coke metallurgico all'interno di impianti denominati *cockerie*.

1.5.1 Preparazione dei minerali di ferro e agglomerazione

I minerali contenenti il ferro vengono inizialmente stoccati in determinate aree dell'impianto siderurgico, e sottoposti a processi di frantumazione, in modo tale da ottenere polveri di pezzatura utilizzabile; in questo stato tali polveri non possono ancora essere inserite direttamente come carica nell'altoforno, ma devono essere sottoposte ad ulteriori processi utili ad ottenere un prodotto consono ad essere inserito all'interno della carica.

In seguito alla frantumazione, i minerali vengono sottoposti ad un processo detto di *arricchimento*, finalizzato alla riduzione della ganga dal minerale, il quale può essere svolto utilizzando diverse metodiche differenti. Successivamente vengono effettuate operazioni di *calcinazione* e *arrostitimento* che hanno tutte lo scopo di rendere il minerale adatto a potere essere utilizzato in altoforno. Il processo terminale che normalmente viene utilizzato per la preparazione del minerale ferroso è quello della agglomerazione per polveri di dimensioni superiori a 0,1 mm [6], e della pellettizzazione per polveri di dimensioni inferiori a 0,1 mm; l'agglomerazione viene effettuata per realizzare un mescolamento di minerale polverizzato con polvere di coke da disporre in forni a griglia appositamente utilizzati, riscaldati a temperature superiori ai 1000°C, così da ottenere un agglomerato di massa spugnosa. La pellettizzazione consiste nel mescolare il minerale di piccolissima granulometria con acqua, calce ed un agglomerante (spesso viene usata bentonite) dentro tamburi rotanti che producono pallottole sferoidali, che vengono successivamente essiccate in forni continui a griglia a 1300°C. I materiali ottenuti in questo modo possono essere utilizzati per la preparazione della carica per l'altoforno.

1.5.2 Produzione del coke metallurgico

Uno dei passaggi preliminari afferenti alla fase della preparazione delle materie prime, è quella di trasformare in coke metallurgico le riserve di carbone stoccate in apposite aree dello stabilimento siderurgico attraverso un processo di distillazione secca, ovvero la pirolisi del carbon fossile. Questa trasformazione viene operata in un impianto apposito dello stabilimento, denominato *cokeria*, all'interno del quale deve essere isolato il coke, ovvero il residuo solido carbonioso di varie miscele di carbone[7] bituminoso, in particolar modo di litantrace bituminoso, contenente bassi livelli di ceneri e solfuri, dal quale vengono estratte le componenti volatili attraverso una cottura in

forno a temperatura dell'ordine dei 1000°C e in assenza di ossigeno, al fine di ottenere un prodotto finale con tenore di carbonio elevatissimo. Durante il ciclo termico i componenti volatili del carbone vengono liberati e il carbone solido passa attraverso una parziale fusione ed una successiva solidificazione in una forma di carbonio non fondibile. Il coke metallurgico è utilizzato in tutti quei casi in cui viene richiesto un carbonio di alta qualità, tenace, resistente [8].

Lo scopo della produzione del coke è quello di ottenere essenzialmente un combustibile privato della maggior parte delle componenti volatili e delle ceneri, con elevato potere calorifico (pari a circa 29,6 MJ) [7] che possa essere utilizzato come componente della carica da inserire nell'altoforno per la produzione della ghisa greggia.

Il coke permette di raggiungere temperature elevatissime, e oltre alla sua funzione di combustibile in altoforno, esso rappresenta anche la componente riducente per l'estrazione del ferro dai minerali presenti nella carica.

1.5.3 Il calcare

Per realizzare il processo di fusione nell'altoforno è necessaria la presenza di un materiale fondente, solitamente di tipo calcareo (CaCO_3) derivante da cave site nei pressi dello stabilimento siderurgico, che viene aggiunto alla carica di minerale di ferro e coke metallurgico ad una temperatura di 1200°C, che unendosi chimicamente alla ganga del minerale e alle ceneri del coke forma delle sostanze che fondono facilmente.

Il quantitativo aggiunto di fondente è calcolato in modo tale da ottenere come effetto una riduzione del coke metallurgico impiegato nell'altoforno [6].

1.6 L'altoforno

L'altoforno è l'impianto utilizzato nell'industria siderurgica per produrre ghisa partendo da minerali contenenti il ferro. In questo impianto si produce ghisa grigia, ovvero una lega binaria di ferro e carbonio; il suo nome è associato alla tipologia stessa della sua struttura, che può raggiungere gli 80 metri di altezza.

Il rivestimento interno dell'altoforno è costituito da mattoni refrattari disposti su di un sostrato di cemento refrattario; all'interno delle pareti è presente un circuito di raffreddamento che permette alle pareti più sollecitate termicamente di poter essere raffreddate.

L'altoforno è un forno a tino, la cui forma è costituita da due tratti tronco-conici: la parte superiore, il *tino*, e la parte inferiore, la *sacca*, sono unite dal *ventre*, ovvero una sezione cilindrica centrale all'interno della quale comincia la fusione delle cariche con temperature tra i 1350 °C e i 1500 °C. La carica dell'altoforno avviene dall'alto, dalla *bocca di carico*, ed è costituita da strati alternati di minerale ferroso unito al fondente e coke metallurgico unito al fondente.

Per poter raggiungere le elevate temperature necessarie alla fusione viene insufflata aria calda a circa 1100° C di temperatura attraverso degli ugelli presenti nella sacca.

In questa parte si completa la fusione delle cariche a temperature che raggiungono i 2000 °C .

La parte terminale dell'altoforno è costituita dal *crogiolo*, ovvero un cilindro costituito da blocchi di carboniosi di grafite e argilla, sul quale sono presenti due fori nella parte superiore per l'uscita delle loppe e due fori di colata della ghisa madre nella parte inferiore; in questo ambiente si raggiungono temperature di 1600°C [6].

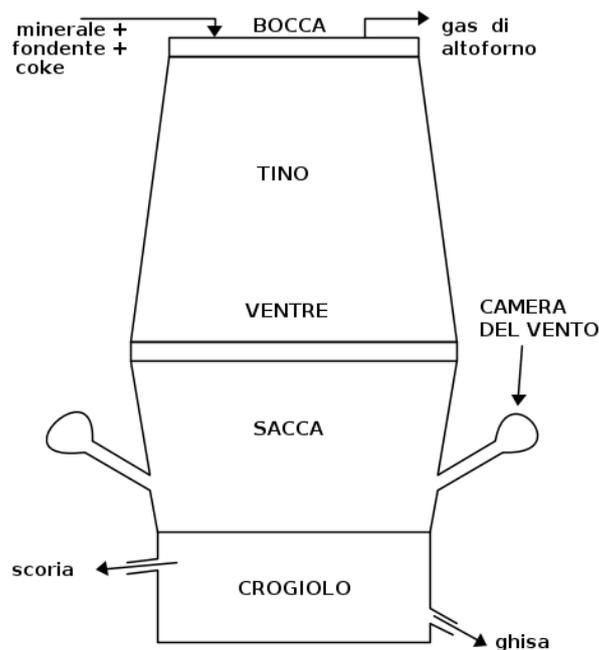
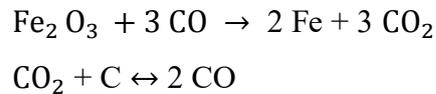


Figura 1.12 Schematizzazione di un altoforno

La riduzione del ferro avviene grazie all'ossido di carbonio che si origina dalla combustione del carbonio, secondo le due reazioni [4]:



La tipologia di impianto che prevede l'utilizzo dell'altoforno è la più antica della metallurgia moderna, ma ha subito notevoli miglioramenti nel corso degli anni, tanto che il suo elevato costo di investimento iniziale viene giustificato da costi di esercizio molto bassi, e da una produttività che raggiunge l'ordine di milioni di tonnellate all'anno. Per dar luogo alle reazioni chimiche di riduzione del ferro, la carica inserita nella bocca di carico, costituita da minerale ferroso, coke metallurgico e calcare discende lungo il tino, e viene attraversata dai gas caldi riducenti (costituiti essenzialmente da CO , CO_2 , N_2 e una piccola parte di H_2) i quali si originano nella parte bassa dell'altoforno, a causa della combustione del coke con l'aria calda insufflata.

A causa di questi gas il calcare si trasforma in calce viva, permette una efficace fusione del ferro e si combina con le impurità presenti nel minerale originando la ganga.

L'elevato quantitativo di carbonio presente nell'altoforno non permette la produzione diretta di acciaio, pertanto il prodotto che si ottiene è la ghisa. Questa ghisa, detta di prima fusione, non può essere utilizzata direttamente, ma deve subire dei trattamenti di conversione opportuni per ottenere ghisa greggia, ghisa speculare (se il tenore di manganese è compreso tra il 6% ed il 30 %) e l'acciaio stesso.

Per poter ottenere acciaio, il quantitativo di carbonio presente nella ghisa deve essere ridotto controllando il tenore degli elementi in lega desiderati. La ghisa viene rifulsa in un recipiente all'interno del quale viene insufflato O_2 permettendo l'ossidazione (parziale o integrale) ad elevata temperatura di elementi quali carbonio, manganese, silicio, zolfo e fosforo. L'ossidazione del carbonio ne riduce la concentrazione presente nella lega, portando alla formazione di acciaio voluto a seconda della concentrazione di carbonio in percentuale variabile tra 0,06 e 0,6.

Per eseguire tale procedura si utilizza essenzialmente il processo di affinazione denominato Linz-Donawitz (processo LD), in onore delle due città austriache dove è stato usato per la prima volta, in un impianto denominato *convertitore ad ossigeno*. Questo processo di affinazione della ghisa tramite insufflazione di ossigeno nella lega ha soppiantato l'obsoleto processo Martin-Siemens

(processo OH) grazie agli innumerevoli vantaggi presentati. L'impianto per la realizzazione del processo LD presenta costi iniziali e di trasformazione notevolmente inferiori, e il processo presenta velocità di reazioni 10 volte superiori rispetto al metodo Martin-Siemens.

All'interno del convertitore ad ossigeno, la combustione del carbonio avviene attraverso generazione di calore, e tale calore può essere utilizzato per fondere anche del rottame di ferro introdotto nel convertitore stesso, aumentando pertanto la quantità di acciaio prodotto, tuttavia le quantità di rottami sono molto ridotte, solitamente pari ad un 20-30% della carica di ghisa [4]. Gli impianti a ciclo integrale, che normalmente comprendono anche linee di laminazione continua, sono caratterizzati oltre che dal tipo di alimentazione, dalle dimensioni importanti dell'impianto stesso, tanto che in Italia il 40% della produzione di acciaio deriva da siderurgia integrale (oltre 10 Mt/anno) concentrata in pochissimi stabilimenti, mentre il restante 60% (circa 16 Mt/a) viene prodotto col forno elettrico in una molteplicità di siti produttivi.

Di seguito viene rappresentata la schematizzazione delle diverse fasi di un centro siderurgico a ciclo integrale:

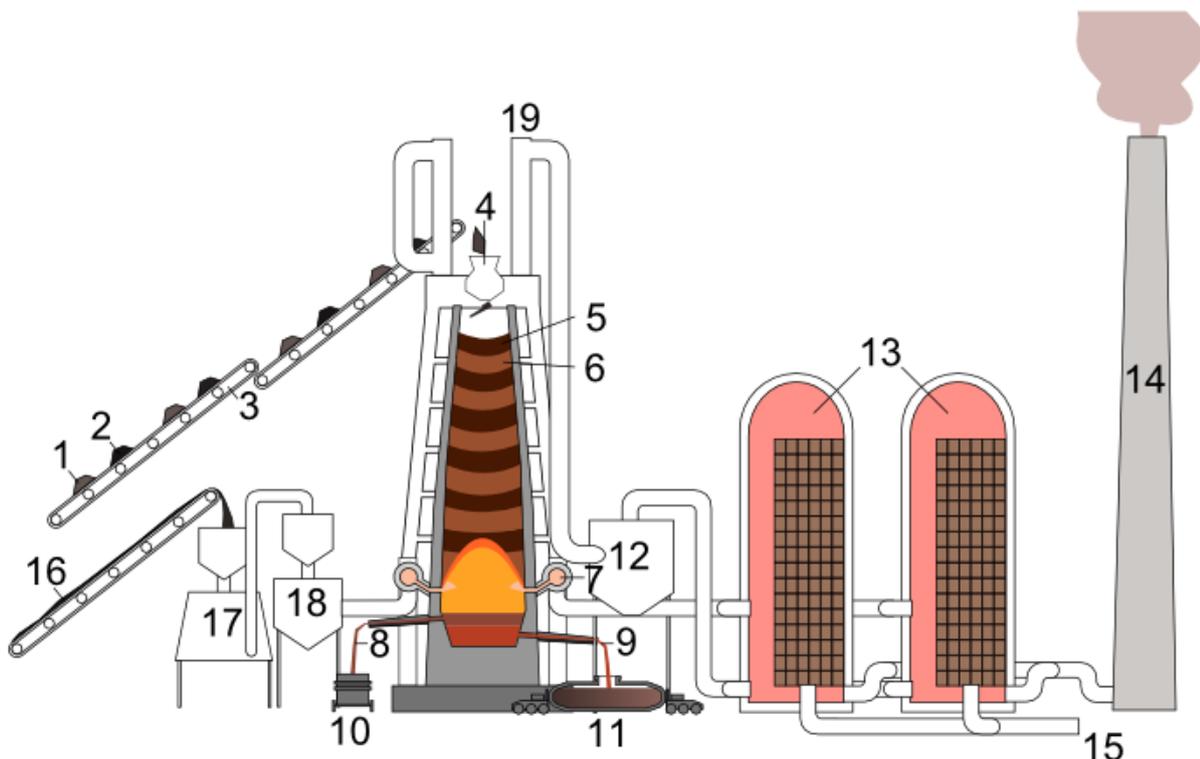


Figura 1.13 Schematizzazione impianto produttivo con altoforno

1. Minerale di ferro
2. Fondente
3. Carrelli trasportatori
4. Bocca di carico
5. Strato di Coke e fondente
6. Strato di Fondente e minerali di ferro
7. Flusso di aria calda a circa 1200 °C
8. Rimozione delle scorie
9. Crogiolo per la colata della ghisa
10. Siviera per le scorie
11. Colata in siviera
12. Contenitore per la separazione delle particelle solide
13. Ricuperatori
14. Ciminiera
15. Condotta per l'aria calda inviata all'altoforno
16. Carbone in polvere
17. Cokeria
18. Coke
19. Uscita dei fumi dall'altoforno

Capitolo 2

Legislazione sulla sicurezza e salute nei luoghi di lavoro e valutazione dei rischi

2.1 Riferimenti storici sulle normative italiane prima delle direttive europee

Le prime normative sulla sicurezza nei luoghi di lavoro risalgono alla fine del 1800, ovvero nel periodo storico nel quale fu registrata una significativa crescita del numero di incidenti sul lavoro, consequenziali al fiorente sviluppo del settore industriale [9].

In tale periodo storico i lavoratori si trovavano perlopiù ad operare con macchinari ed attrezzature prive delle più elementari norme di sicurezza, pertanto divenne necessario intraprendere una direzione in termini legislativi che prevedesse il risarcimento del danno occorso alla persona durante i turni di lavoro.

In osservanza di questa corrente di pensiero, in Italia divenne obbligatoria la stipula di polizze assicurative contro gli infortuni, purtroppo però tutti i regolamenti contenuti nella Legge n°80 del 1898 rimasero essenzialmente inosservati a causa della assenza di controlli.

La situazione rimase sostanzialmente invariata per moltissimi anni, fino all’emanazione nel 1942 dell’art. 2087 del c.c.[33], il quale prevede che l’imprenditore deve *“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”*, e nel 1955, attraverso l’emanazione di una serie di decreti presidenziali nell’ambito della sicurezza sul lavoro, cominciarono ad essere introdotti nel nostro sistema legislativo concetti fondamentali quali:

- *la priorità della sicurezza dei lavoratori;*
- *il criterio della presunzione assoluta di pericolo;*
- *lo scopo di realizzare una protezione obbiettiva;*
- *il principio di tassatività che sancisce l’inderogabilità e insostituibilità delle misure di sicurezza.*

Tali principi legislativi rimasero in vigore fino agli anni ’70 [9], quando un ulteriore passo in avanti venne effettuato con l’emanazione dello “STATUTO DEI LAVORATORI L.300/70”, attraverso il

quale veniva affidato alle rappresentazioni dei lavoratori il controllo della applicazione delle norme in materia di prevenzione di infortuni e malattie professionali nei luoghi di lavoro e della ricerca di soluzioni atte alla tutela del lavoratore.

Attraverso la stipula di questo importantissimo documento cominciava realmente ad affiorare la volontà di considerare il lavoratore come parte attiva nella definizione degli standard di sicurezza, i quali diventavano via via sempre più necessari ed inderogabili.

Successivamente, nel 1978, in seguito alla necessità di riformare il Sistema Sanitario Nazionale, tutti i concetti relativi alla salute e sicurezza nei luoghi di lavoro vennero ripresi nella Legge 23 Dicembre 1978, n° 38 sul riordino del SSN, all'interno della quale veniva ribadita la “necessità della prevenzione delle malattie e degli infortuni in ogni ambito di vita e lavoro”, come riportato dall' art. 2 della suddetta legge.

Con la consapevolezza di trovarsi di fronte ad un contesto sociale per il quale la legislazione era ancora essenzialmente incompleta, già nella legge sulla riforma del S.S.N. venne prevista una delega al fine di emanare successivamente un Testo Unico sulla sicurezza, che però non fu mai esercitata.

2.2 Legislazione europea

Fino alla metà degli anni '80 all'interno della Unione Europea si registrava la mancanza di una vera competenza legislativa specifica in materia di salute e sicurezza sui luoghi di lavoro, essendo questi argomenti ripresi all'interno del trattato che definisce le direttive sul funzionamento della Comunità Europea (TCE); tali aspetti erano perlopiù gestiti come integrazioni delle misure relative al mercato ed alle politiche economiche [10].

Una prima importante svolta si registrò nel 1987, con l'elaborazione dell'Atto Unico Europeo, che vide l'introduzione di una nuova disposizione giuridica finalizzata a promuovere “*il miglioramento, in particolare dell'ambiente di lavoro, per tutelare la sicurezza e la salute dei lavoratori*”; solo con il trattato di Amsterdam siglato nel 1997, sono state definitivamente inserite all'interno del TCE le disposizioni in materia di Salute e Sicurezza sul Lavoro (SSL).

Per poter ottenere una uniformità legislativa tra i vari stati aderenti all'Unione Europea in ambito di

salute e sicurezza sul lavoro, si è però resa necessaria l'emanazione di alcune direttive comunitarie, le prime delle quali sono state adottate sulla base delle disposizioni generali relative all'armonizzazione del mercato.

Tali direttive rappresentano dei provvedimenti emanati dalla Unione Europea che devono obbligatoriamente essere adottati da tutti gli stati membri entro alcuni termini temporali stabiliti; nello specifico le direttive concernenti la salute e la sicurezza sul lavoro trovano la propria base giuridica nell'articolo 153 del Trattato sul funzionamento dell'Unione Europea (ex articolo 137 del TCE), che conferisce all'UE la competenza in materia di adozione delle direttive in questo ambito. Le direttive comunitarie normalmente stabiliscono dei criteri minimi, tuttavia nella fase di recepimento, agli stati membri viene concessa la possibilità di adottare prescrizioni più severe; per questo motivo la normativa nazionale relativa agli aspetti di protezione e prevenzione sui luoghi di lavoro potrebbe variare tra i diversi paesi dell'Unione.

La direttiva principale alla base di tutta la legislazione sulla salute e sicurezza negli ambienti di lavoro è la *direttiva quadro sulla SSL (9/391)* del 1989, la quale introduce concetti fondamentalmente riconosciuti tra cui l'obbligo di effettuare la Valutazione dei Rischi, l'attribuzione di significative responsabilità e doveri al *Datore di Lavoro* e l'obiettivo di definire criteri omogenei di prevenzione per tutte le categorie lavorative.

Questa direttiva quadro rappresenta la base di partenza dalla quale sono state successivamente elaborate a livello Europeo delle "direttive particolari", che considerano gli aspetti specifici in materia di sicurezza e salute sul lavoro.

Queste direttive "secondarie" applicano i criteri definiti dalla direttiva quadro a diversi ambiti e possono essere schematicamente suddivise nei seguenti gruppi di appartenenza:

- Direttive rivolte alle prescrizioni relative ai luoghi di lavoro, attrezzature, dispositivi di protezione: si tratta di cinque direttive che coprono il ventennio 1989 – 2009 e che illustrano nel loro susseguirsi i requisiti minimi che devono possedere i luoghi di lavoro per essere conformi, incluse le modalità di valutazione del rischio da atmosfere esplosive;
- Esposizione ad Agenti Chimici: sette diverse direttive che coprono tutti gli aspetti relativi a questo ambito, con particolare attenzione alla normativa che definisce i valori limite di esposizione e tutti gli aggiornamenti nel tempo imposti dall'evoluzione della ricerca

scientifici;

- Esposizione ad agenti fisici: una serie di direttive che nell'arco degli ultimi anni coprono gli aspetti relativi alla protezione dei rischi di tipo fisico (rumore, vibrazioni, campi elettromagnetici, radiazioni);
- Esposizione ad agenti biologici: è la direttiva 54/2000/EC che definisce le linee guida ed i contenuti minimi per i lavoratori esposti a questo tipo di rischio, in riferimento alla classificazione in quattro categorie di appartenenza degli agenti biologici pericolosi;
- Disposizioni in materia di volume di lavoro, rischi psicosociali e di natura ergonomica; si tratta di due direttive (90/269/EC e 90/270/EC) relative rispettivamente all'esposizione da rischio Videoterminali e Movimentazione manuale dei carichi, con attenzione agli aspetti riguardanti l'ergonomia, la distribuzione dei carichi di lavoro e lo Stress da Lavoro Correlato;
- Disposizioni specifiche per alcuni settori, in cui si possono identificare una decina di direttive relative a titolo non esaustivo alla tutela delle lavoratrici madri, al lavoro giovanile, alle industrie estrattive e minerarie.

A queste sopracitate disposizioni si aggiungono poi una serie di linee guida, che prendono spunto dall'art. 114 del Trattato sul funzionamento dell'UE; si tratta di direttive di natura più tecnica secondo il cosiddetto "nuovo approccio", sulla base del quale i diversi organismi europei di normalizzazione elaborano ed aggiornano periodicamente la normativa comunitaria in vigore. Ne fanno parte per esempio le linee guida relative agli aspetti sulla salute e sicurezza nel campo delle telecomunicazioni (ETSI), della elettrotecnica (CENELEC), e delle normalizzazioni (CEN). È importante sottolineare infine come anche a livello Europeo, le parti sociali giochino un ruolo cruciale nell'ambito degli aspetti legislativi sulla salute e sicurezza sul lavoro; il trattato sul funzionamento dell'UE prevede infatti la possibilità di definire accordi autonomi, attraverso il consolidato meccanismo della consultazione e del dialogo, che ha già portato all'adozione di alcuni diversi accordi condivisi.

2.3 Legislazione internazionale di Paesi non aderenti alla CEE

La sicurezza e la salute nel luogo di lavoro (SSL) rivestono una importanza di interesse mondiale. Le soluzioni ideate ed adottate a livello normativo, strategico e di buone prassi al di fuori dell'UE forniscono preziose informazioni e validi punti di riferimento per la creazione di luoghi di lavoro sicuri, salubri e produttivi anche in Europa [11].

Per avere accesso a questo vasto corpus di conoscenze in materia di SSL, l'EU-OSHA ha concluso accordi di cooperazione sullo scambio di informazioni tramite Internet con diversi partner internazionali, tra cui Australia, Canada, Corea, US-OSHA, NIOSH (istituto statunitense operativo nel settore salute e sicurezza sui luoghi di lavoro), PAHO (organismo internazionale per la tutela della salute delle popolazioni latinoamericane).

L'EU-OSHA ha inoltre intrecciato forti legami con altri paesi e organizzazioni al di fuori dell'UE, come Singapore e il Consiglio Nazionale USA per la sicurezza.

Vige sempre il concetto che ciascuna Nazione recepisca la SSL con una propria legislazione ed opportune applicazioni interne in materia.

2.3.1 Sistemi di Gestione per la Salute e la Sicurezza sul lavoro “BS OHSAS 18001:2007”

La salute e sicurezza dei lavoratori è un argomento di stretta attualità.

L'efficace applicazione di un sistema di gestione conforme alla norma/standard internazionale BS OHSAS 18001:2007 ed il possesso del relativo certificato costituisce, ad oggi, la migliore garanzia che un datore di lavoro possa offrire a dimostrazione dell'adozione di tutte le misure possibili per prevenire infortuni e malattie professionali [11]. Questo standard è applicabile ad ogni tipo di organizzazione, in ogni parte del mondo.

L'efficacia di questo sistema di gestione è riconosciuta anche dalla legge italiana con l'attuazione del D.Lgs 81/2008 “Testo unico sulla salute e sicurezza sul luogo di lavoro”, recepimento della Direttiva Europea CE/1907/2006 e relativa Legge Italiana 123/2007; quindi le aziende che operano in conformità alla norma BS OHSAS 18001:2007 sono esonerate dalla responsabilità amministrativa in caso di incidente o infortunio grave.

La certificazione dei sistemi di gestione assicura la capacità di un'organizzazione produttrice di

beni o fornitrice di servizi di strutturarsi e gestire le proprie risorse e i propri processi produttivi in modo da soddisfare determinati bisogni di qualità, economica, ambientale, etica, di sicurezza e altro ancora tramite la conformità a requisiti stabiliti dai riferimenti normativi e di legge.

L'adesione alle norme è volontaria, a meno che non siano citate come testi cogenti in atti legislativi specifici.

Esistono, quindi, gli organismi accreditati secondo norme internazionali che, in seguito a verifiche ispettive condotte, secondo precisi regolamenti concordati, presso l'organizzazione richiedente rilasciano la certificazione dei sistemi di gestione.

In alcuni paesi, non essendovi ancora presente una normativa di riferimento così dettagliata da permettere di avere dei limiti precisi, solitamente si seguono le così dette regole di "Best practice", che coincidono nella maggior parte dei casi con norme del tutto simili a quelle Italiane. Caso ben più complesso è un paese con una solida normativa di sicurezza, ma diversa per piccoli aspetti da quella italiana. Risulta pertanto evidente come la materia riguardante la sicurezza sul lavoro sia una problematica molto complessa e risulta molto difficile il raggiungimento di un livellamento anche in base alle differenti culture e ai diversi modi di intendere il lavoro nelle diverse realtà internazionali.

2.4 Normative italiane emanate in seguito alle direttive europee

Il risultato della omogeneizzazione normativa effettuata dalla Unione Europea è che anche in Italia gli aspetti relativi alla sicurezza dei luoghi di lavoro sono attualmente regolamentati da un intervento legislativo emanato in recepimento delle direttive comunitarie.

La complessità delle tematiche inerenti la sicurezza dei lavoratori e la necessità di adeguamento in ottemperanza delle prime direttive europee in termini di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, indussero il Legislatore ad emanare il D.Lgs. 626 del 19 settembre 1994; tale decreto venne integrato poi con il D. Lgs. 242/96, strutturato nella seguente suddivisione [1]:

- D. Lgs. 493/96 “segnaletica di sicurezza”;
- D. Lgs. 494/96 “sicurezza nei cantieri mobili e temporanei”;
- D. Lgs. 624/96 “sicurezza nelle aziende estrattive”;
- D.P.R. 459/96 “direttiva macchine”.

Con il D. Lgs. 626/94 vennero introdotte importantissime novità rispetto alle leggi in vigore, tra le quali emergono in particolare:

- L'introduzione della valutazione dei rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori;
- Maggiori specificazioni riguardo il contenuto dell'obbligo di sicurezza gravante sul datore di lavoro;
- Ampliamento dei soggetti interessati alla gestione della sicurezza;
- Programmazione della gestione della sicurezza e l'indicazione delle procedure da attuare per la prevenzione;
- Una gestione che prevedeva la partecipazione attiva dei lavoratori e dei loro rappresentanti.

Con tale riforma legislativa si cambia totalmente la considerazione della materia prevenzionale, non più intesa come una forma statica, ma come una forma dinamica, in continua evoluzione, legata alla evoluzione della tecnologia e dei processi produttivi; si evince come questo ribaltamento concettuale rende pertanto agevole un pronto aggiornamento delle misure di sicurezza.

Il D.Lgs. 626/94 risulta suddiviso in due parti: una prima parte contenente le *disposizioni generali* riguardanti gli ambienti di lavoro e la gestione della sicurezza, e una seconda *parte speciale* all'interno della quale vengono approfondite singole tematiche. I primi importantissimi obiettivi raggiunti con questa riforma legislativa furono la valutazione dei rischi, la redazione del piano di sicurezza e l'adozione di misure di sicurezza collettive o individuali. Tale normativa ha previsto che nel piano di sicurezza (DVR) venissero inserite la relazione sulla valutazione dei rischi sulla sicurezza e la salute dei lavoratori con relativi criteri utilizzati per l'analisi, l'individuazione delle misure di prevenzione e protezione per l'annullamento o la riduzione dei rischi, ed infine il

programma aziendale delle misure da adoperare per innalzare i livelli di sicurezza.

Nella Legge 626 viene prevista una differenziazione tra le misure di sicurezza collettive o individuali, e la distinzione prevede la presenza di:

- misure tecniche nell'ambito della prevenzione oggettiva, le quali vengono applicate sulle fonti del rischio, ad esempio le macchine, gli impianti, le attrezzature;
- misure organizzative (gestionali) riguardanti nello specifico l'organizzazione del lavoro, precisamente tutti quei fattori di rischio dovuti alla ripetitività dei gesti, alla monotonia ecc;
- misure procedurali riguardanti tutti i procedimenti che devono essere attuati per garantire la sicurezza dei lavoratori, come le procedure per i casi di emergenza.

Per la prima volta viene ribadita l'importanza della formazione dei lavoratori che deve essere sufficiente ed adeguata alla tipologia di produzione o particolare lavorazione ai quali prendono parte.

Al fine di poter rispettare le prerogative di sicurezza contenute nei decreti legislativi, il datore di lavoro deve rifarsi al “Principio della massima sicurezza tecnologicamente possibile” contenuto nell' art. 2087 c.c. [12] , per il quale l'imprenditore è tenuto ad adottare all'interno della propria impresa le misure che, a seconda della tipologia e particolarità di lavorazione e produzione, sono necessarie alla tutela dell'integrità dei lavoratori. Tali misure sono contenute nelle *norme tecniche*, le quali vengono approvate da un organismo apposito e non detengono una caratteristica di obbligatorietà, e nelle *regole tecniche*, che vengono invece emanate dall' Autorità Pubblica e pertanto la loro osservanza risulta obbligatoria.

In ottemperanza alle più recenti direttive europee, in Italia la legge 626 e tutte le disposizioni in materia di sicurezza nei luoghi di lavoro sono state sostituite con il *Testo Unico in materia di salute e sicurezza negli ambienti di lavoro* con il D. Lgs. 9 aprile 2008 n. 81, integrato successivamente con il D.Lgs. 3 agosto 2009 n. 106 e aggiornato con s.m.i.

La struttura del decreto è impostata prima con la *individuazione dei soggetti responsabili* e poi con la descrizione delle *misure gestionali* e degli *adeguamenti tecnici* necessari per ridurre i rischi lavorativi; alla fine di ciascun titolo sono poi indicate le sanzioni in caso di inadempienza.

L'emanazione del Testo Unico da parte del legislatore nasce dalla esigenza di soddisfare le più

recenti direttive comunitarie in materia di sicurezza e salute negli ambienti di lavoro.

L'obiettivo della valutazione dei rischi consiste nel consentire al datore di lavoro di prendere i provvedimenti che sono effettivamente necessari per la salvaguardia della sicurezza e della salute dei lavoratori.

La valutazione dei rischi rappresenta il punto centrale della attività preventiva richiesta dagli art. 28,29,30 Sezione II, Capo III, Titolo I del D.Lgs 81/08 [13] e rappresenta uno strumento di lavoro utilizzabile per stimare la possibile entità del danno con criteri e metodologie rigorose.

Il processo della valutazione del rischio consiste nell'insieme delle strutture organizzative, delle responsabilità, delle procedure e delle risorse mobilitate al fine di:

- Identificare le fonti di pericolo presenti nel ciclo lavorativo (mansione, posto di lavoro, luogo di lavoro);
- Individuare i rischi potenziali per la sicurezza e la salute conseguenti all'esposizione durante l'attività lavorativa;
- Stimare l'entità dei rischi di esposizione.

Pertanto per procedere ad una valutazione dei rischi occorre procedere preliminarmente con l'analisi di tutti i pericoli degni di importanza, e successivamente, dopo aver individuato un determinato rischio, iniziare una valutazione per studiare la possibilità di eliminarlo, individuandone la causa sorgente [31].

Pertanto il modello di valutazione dei rischi si struttura nelle seguenti fasi:

1. Analisi del sistema organizzativo aziendale e del processo produttivo;
2. Identificazione dei pericoli (fattori di rischio) in tutti gli aspetti della attività lavorativa e delle persone che possono incorrere in pericoli;
3. Una stima dei rischi naturali e residui;
4. Decisione su quali eventuali nuove misure debbano essere introdotte per eliminare o ridurre i rischi residui;
5. Definizione, in via prioritaria, delle misure cautelari da adottare.

Solo dopo una opportuna analisi è possibile elaborare un Piano di Azione, ovvero una serie di misure atte alla eliminazione del rischio o alla sua riduzione nei casi in cui la natura stessa della attività svolta porti alla impossibilità della sua totale eliminazione. L'obiettivo di questa fase è quello di prevenire alcune possibili situazioni di pericolo e proteggere i lavoratori dai rischi individuati [31]. Per questa fase viene riportato di seguito un elenco delle misure di sicurezza da adottare per eliminare i rischi o per prevenirli. Questa definizione tiene conto:

- Della gravità dei rischi e della probabilità che si verifichi un incidente;
- Del numero delle persone che possono essere coinvolte;
- Del tempo necessario per porre in atto le misure di prevenzione.

Diventa necessario tener conto del fatto che alcuni problemi non possono essere risolti immediatamente, pertanto un programma basato sulla definizione di un elenco di priorità deve tenere conto della possibilità di intervenire a breve, medio e a lungo termine.

Infine, in base alla valutazione combinata dei danni e delle probabilità di rischio individuati, occorre determinare quale parte del rischio totale iniziale deve essere eliminato oppure ridotto.

2.5 Classificazione e definizione dei rischi lavorativi

Le tipologie di rischi presenti negli ambienti di lavoro in seguito all'espletamento delle attività lavorative si possono classificare in tre categorie [32]:

- Rischi per la sicurezza dei lavoratori;
- Rischi per la salute dei lavoratori;
- Rischi legati ad aspetti organizzativi e gestionali.

2.5.1 Rischi per la sicurezza dei lavoratori

I rischi per la sicurezza rappresentano i rischi di natura infortunistica; questi rischi sono responsabili del potenziale verificarsi di incidenti o infortuni, che causano danni o menomazioni fisiche, per le persone addette alle varie attività lavorative, in conseguenza di un impatto fisico- traumatico di natura diversa (meccanica, elettrica, chimica, termica ecc.). Generalmente le cause di tali rischi sono da ricercare in situazioni di non idoneità delle caratteristiche di sicurezza inerenti (l'ambiente di lavoro, le macchine e/o apparecchiature utilizzate, le modalità operative, ecc.). I rischi per la sicurezza comprendono:

- Aree di transito
- Spazi di lavoro e strutture
- Caduta dall'alto
- Macchine
- Attrezzi manuali
- Manipolazione manuale di oggetti
- Immagazzinamento di oggetti
- Impianti elettrici
- Apparecchi a pressione
- Reti e apparecchi di distribuzione del gas
- Apparecchi di sollevamento
- Mezzi di trasporto
- Rischi di incendio ed esplosione
- Rischi di presenza di esplosione
- Rischi chimici

2.5.2 Rischi per la salute dei lavoratori

I rischi per la salute sono indicati anche come rischi igienico-ambientali, e sono responsabili della potenziale compromissione dell'equilibrio biologico del personale addetto a determinate operazioni o lavorazioni che comportano l'emissione nell'ambiente di fattori ambientali di rischio, di natura chimica, fisica o biologica.

Le cause di tali rischi sono principalmente dovute alla presenza di fattori ambientali di rischio generati dalle lavorazioni (caratteristiche del processo e/o apparecchiature).

I rischi per la salute sono classificabili in:

- Esposizione ad agenti chimici
- Esposizione ad agenti cancerogeni
- Esposizione ad agenti biologici
- Ventilazione industriale
- Esposizione a rumore
- Microclima termico
- Esposizione a radiazioni ionizzanti
- Illuminazione
- Carico di lavoro fisico
- Carico di lavoro mentale
- Lavoro ai videoterminali
- Campi elettromagnetici

2.5.3 Rischi legati ad aspetti organizzativi e gestionali

Questi rischi comprendono una serie di fattori gestionali di prevenzione, che risultano correlati con le misure generali di tutela e prevenzione presenti a livello aziendale (aspetti organizzativi, formativi e procedurali):

- Organizzazione del lavoro
- Formazione
- Informazione
- Partecipazione
- Norme e procedure di lavoro
- Manutenzione e collaudi
- Dispositivi di protezione individuali

- Emergenza e pronto soccorso
- Sorveglianza sanitaria

Di seguito si farà riferimento ai possibili rischi individuati in un ambiente lavorativo complesso come quello di una acciaieria a ciclo integrale; è pertanto facilmente intuibile come possa essere impegnativo elaborare un documento di valutazione dei rischi che tenga conto non solo delle informazioni, delle disposizioni generali, dei comportamenti da seguire e dei criteri adottati per la valutazione dei rischi comuni per tutte le aree, ma anche di documenti particolari relativi a specifiche aree che possono risultare più o meno pericolose a seconda delle tipologie di attività svolte al loro interno, tra le quali è possibile citare le cokerie, le aree di laminazione a freddo, o le officine di manutenzione.

2.6 Valutazione dei rischi

Con il termine “valutazione del rischio” si intende la determinazione quantitativa o qualitativa del rischio associato ad una ben definita situazione o minaccia indicata come *pericolo* [14].

La valutazione quantitativa del rischio presuppone la determinazione della gravità di un potenziale pericolo e la sua probabilità di accadimento.

Nelle situazioni per le quali un certo rischio conosciuto può essere tollerato, questo viene definito come “rischio accettabile”; tale tipologia di rischi viene accettata perché i costi o le difficoltà legate alle possibili contromisure efficaci risultano eccessive se confrontati con l’aspettativa di perdita.

L’importanza della valutazione del rischio risiede nel fatto che solo una adeguata conoscenza consente l’implementazione di misure di prevenzione e protezione, e successivamente l’attivazione di piani attuativi, nonché la valutazione di efficienza ed efficacia.

Le disposizioni legislative vigenti, con gli art. 28 e 29 [13] del Testo Unico sulla sicurezza impongono che la valutazione dei rischi debba essere contenuta in un documento aziendale contenente:

1. Una relazione sulla valutazione dei rischi, nella quale sono specificati i criteri adottati ai fini della valutazione medesima;
2. L'individuazione delle misure di prevenzione e protezione (DPI);
3. Il programma delle misure da adottare, ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza;
4. Individuazione delle procedure per l'attuazione delle misure da realizzare, e dei ruoli dell'organizzazione aziendale che vi debbono provvedere, a cui devono essere assegnati soggetti con comprovate competenze;
5. Indicazione del responsabile del servizio di prevenzione e protezione, del rappresentante dei lavoratori e del medico competente;
6. Individuazioni delle mansioni che espongono i lavoratori a rischi specifici che richiedono capacità professionale riconosciuta, adeguata formazione ed esperienza.

Le misure da adottare secondo la legislazione vigente devono essere mirate alla eliminazione del pericolo, alla eliminazione del danno o quantomeno alla sua riduzione a bassi valori di gravità e la modifica delle circostanze e delle cause che determinanti situazioni di pericolo e che non possono essere completamente eliminate ma poste sotto controllo.

La valutazione seguente si riferisce ad un documento del Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino relativo ad uno Stabilimento del quale non viene citato il nome per ragioni di segretezza.

Per la valutazione dei rischi nella situazione oggetto dello studio si è proceduto dapprima con l'individuazione degli elementi di pericolo presenti negli ambienti di lavoro, e successivamente con l'identificazione dei rischi ad essi associati.

In ultima analisi, una volta che sono stati individuati ed analizzati i rischi, è possibile affrontare lo studio relativo alla ricerca di scelte organizzative, mezzi e risorse atte alla eliminazione dei rischi o alla riduzioni degli stessi laddove non fosse possibile annullarli completamente a causa della natura intrinseca di alcuni di essi.

In questo studio vengono analizzati solo alcuni degli innumerevoli elementi di pericolo presenti in uno stabilimento di tale complessità. Gli elementi di pericolo considerati sono:

- Rumore
- Vibrazioni
- Illuminazione

Per ogni agente fisico oggetto della valutazione del rischio, la metodica utilizzata nello Stabilimento esaminato per la valutazione dell'entità del rischio si basa sul *Metodo a indice di matrice*.

Tale metodo prevede che la definizione e quantificazione del rischio avvenga tramite una funzione del tipo:

$$\mathbf{R} = \mathbf{f} (\mathbf{D}, \mathbf{P})$$

Con questo metodo viene individuata la gravità del rischio rappresentata da **R** associando in forma matriciale l'entità del danno **D** alla probabilità che quel determinato evento accada **P**.

Il rischio è tanto più alto quanto più è grande l'entità del danno e tanto più è probabile che accada l'evento. Nel caso in cui viene determinato un *rischio accettabile* indicato con **R_a**, si procede assegnando la priorità a tutte le situazioni nelle quali risulta che il rischio stimato **R** sia [15]:

$$\mathbf{R} > \mathbf{R}_a$$

Lo scopo dell'elaborazione di modelli matematici per la stima del rischio è quello di eliminarlo attraverso opportuni interventi, quali ad esempio la modifica dei metodi di lavoro, il rinnovamento di attrezzature e altri accorgimenti simili.

Nella maggior parte dei casi però, a causa della natura intrinseca di determinati processi lavorativi, non è possibile eliminare totalmente il rischio, pertanto in tal caso si opera al fine di ridurlo il più possibile, adottando alcune misure preventive atte a ridurre la probabilità che un determinato evento atteso si verifichi, e adottando delle misure protettive che riescano a circoscriverne gli effetti. Il rischio ridotto in tale maniera viene denominato *rischio residuo* **R_r**.

Una valutazione molto importante che deve essere fatta nella considerazione di misure attuate per effettuare una riduzione del rischio è che però tali misure non entrino in conflitto con altre situazioni, perché non è concepibile che la soluzione di un problema finisca per crearne degli altri. In generale la procedura per la valutazione del rischio prevede che vengano innanzitutto identificati i pericoli, e che si individuino i rischi significativi quantificando il pericolo attraverso il calcolo dei parametri **D** e **P**. Viene altresì individuato il rischio residuo **Rr**.

Successivamente è opportuno redigere un documento svincolato dal DVR che tenga conto della correlazione tra il personale e i processi interessati, e a questo punto dopo aver analizzato tutti i dati e le informazioni acquisite viene definito il “Piano delle misure per il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza e verifica dello stato di attuazione”.

2.6.1 Definizione dei parametri matriciali

La scala delle probabilità P si riferisce ad una correlazione esistente tra la tipologia di attività svolta con il danno che potrebbe derivarne. Di seguito viene rappresentata la scala delle probabilità:

VALORE	LIVELLO	CRITERI
4	Altamente probabile	<ol style="list-style-type: none"> 1. Esiste una correlazione diretta tra l'attività presa in esame ed il verificarsi del danno ipotizzato; 2. Dallo studio puntuale dell'attività presa in esame è chiara e palese l'iterazione esistente tra le carenze riscontrate e il verificarsi del danno ipotizzato; 3. Dall'analisi dei dati statistici in possesso dell'Agenzia, delle autorità competenti si evince uno stretto legame tra il tipo di attività svolta (similare a quella presa in esame) e i danni da essa derivati; 4. Frequenza di accadimento alta (attraverso l'analisi dei dati riportati nel registro infortuni).
3	Mediamente Probabile	<ol style="list-style-type: none"> 1. Esiste una potenziale correlazione tra l'attività presa in esame ed il verificarsi del danno ipotizzato; 2. Dallo studio puntuale dell'attività presa in esame emergono possibili iterazioni tra le carenze riscontrate e il verificarsi del danno ipotizzato; 3. Dall'analisi dei dati statistici in possesso dell'Agenzia e delle autorità competenti, si evince un potenziale legame tra il tipo di attività svolta (similare a quella presa in esame) e i danni da essa derivati. 4. Frequenza di accadimento media (attraverso l'analisi dei dati riportati nel registro infortuni).
2	Poco probabile	<ol style="list-style-type: none"> 1. E' difficilmente ipotizzabile una correlazione tra l'attività presa in esame ed il verificarsi del danno ipotizzato; 2. Dallo studio puntuale dell'attività presa in esame, le carenze riscontrate non presuppongono il verificarsi del danno ipotizzato. 3. Dall'analisi dei dati statistici in possesso dell'Agenzia e delle autorità competenti, sono minimi i legami tra il tipo di attività svolta (similare a quella presa in esame) e i danni da essa derivati. 4. Frequenza di accadimento bassa (attraverso l'analisi dei dati riportati nel registro infortuni).
1	Improbabile	<ol style="list-style-type: none"> 1. Non esiste nessuna correlazione diretta tra l'attività presa in esame ed il verificarsi del danno ipotizzato; 2. Dallo studio puntuale dell'attività presa in esame non sussistono carenze tali che si leghino al verificarsi del danno ipotizzato; 3. Dall'analisi dei dati statistici in possesso dell'Agenzia, delle autorità competenti non si evincono legami tra il tipo di attività svolta (similare a quella presa in esame) e il danno ipotizzato; 4. Frequenza di accadimento molto bassa (attraverso l'analisi dei dati riportati nel registro infortuni).

Tabella 2.1 Livelli di probabilità nel metodo a matrice

La scala rappresentativa della gravità del danno richiede però la conoscenza anche di competenze sanitarie affinché possa derivarne una corretta applicazione.

Tale scala fa riferimento infatti alla gravità della patologia prodotta dal pericolo valutato, alla reversibilità totale o parziale che l'esposizione del personale al pericolo considerato può comportare, in funzione anche del tempo di esposizione. Il valore associato non è quindi vincolato alla frequenza con la quale l'evento negativo possa accadere. La scala del danno viene riportata nella tabella seguente:

VALORE	LIVELLO	CRITERI
4	Gravissimo	A) Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti letali o di invalidità totale. B) Esposizione continua con effetti letali e/o gravemente invalidanti.
3	Grave	A) Infortunio o episodio di esposizione acuta con effetti di inabilità permanente. B) Se l'evento negativo porta ad un'inabilità permanente.
2	Medio	A) Infortunio o episodio di esposizione acuta con invalidità reversibile. B) Esposizione continua con effetti reversibili. C) Se l'evento negativo porta ad un'inabilità reversibile .
1	Lieve	A) Infortunio o episodio di esposizione acuta con inabilità temporanea rapidamente reversibile. B) Esposizione continua con effetti rapidamente reversibili. C) Se l'evento negativo porta ad un'invalidità temporanea.

Tabella 2.2 Livelli di danno nel metodo a matrice

La definizione del livello del rischio viene effettuata attraverso l'applicazione della seguente formula matematica:

$$R = D \times P$$

Se ne deduce quindi che il rischio è tanto più grande quanto maggiore è la probabilità che accada l'incidente e tanto maggiore è la entità del danno. Di seguito viene riportata la matrice utilizzata nello stabilimento oggetto dello studio.

L'indice di rischio (IR), così determinato, è caratterizzato da una scala di valori compresi tra 1 e 16 che definisce le priorità di intervento e, di conseguenza, la loro programmazione.

INDICE "D" (Danno potenziale)	4	4 MODESTO	8 MODERATO	12 ALTO	16 MOLTO ALTO
	3	3 MODESTO	6 MODERATO	9 MODERATO	12 ALTO
	2	2 MODESTO	4 MODESTO	6 MODERATO	8 MODERATO
	1	1 MODESTO	2 MODESTO	3 MODESTO	4 MODESTO
		1	2	3	4
		INDICE "P" (Probabilità)			

Tabella 2.3 Metodo a matrice

L'indice di rischio esprime pertanto dei valori inseriti in una scala ove sono presenti dei limiti di soglia al di sopra dei quali il rischio viene ritenuto non accettabile.

La valutazione del rischio con la seguente modalità denota una stretta dipendenza dalla probabilità di accadimento e dall'entità del danno, senza però tenere in considerazione gli effetti delle misure di prevenzione e protezione adottate. Per poter effettuare una valutazione tenendo conto anche di tali misure, risulta necessaria l'introduzione di opportuni fattori correttivi dell'indice di rischio per determinare il valore del rischio residuo.

Per quanto concerne le misure di prevenzione da considerare per la correzione dell'indice, vengono considerate sia la formazione, informazione e addestramento del personale, sia anche l'organizzazione interna. L'effetto delle misure di prevenzione è la riduzione della probabilità di accadimento di un evento dannoso, e il corrispettivo fattore correttivo viene indicato con **Ff**, ovvero *fattore di formazione*:

Fattore Formazione, Ff	Ff
Se le procedure di informazione, formazione ed addestramento vengono ripetute periodicamente attraverso lo svolgimento di corsi, incontri con verifica di apprendimento	0,500
Se le procedure di informazione, formazione vengono ripetute periodicamente attraverso lo svolgimento di corsi con verifica di apprendimento.	0,400
Se il personale è stato informato/formato attraverso la partecipazione ad un corso con verifica di apprendimento.	0,300
Se è stata programmata ma non ancora realizzata l'informazione/formazione del personale attraverso corsi con verifica di apprendimento.	0,150
Se il personale è stato informato attraverso la consegna di un opuscolo informativo.	0,000

Tabella 2.4 Valori del fattore di formazione nel metodo a matrice

Analogamente, al fine di considerare le procedure attuative dell'organizzazione interna come fonte di riduzione della probabilità, si utilizza un altro fattore correttivo identificato con **Fo**, ovvero *fattore organizzativo*, il quale viene suddiviso nelle sue peculiarità nella tabella seguente:

Fattore Organizzativo, Fo	Fo
L'Ente si è dotato di un Sistema di Gestione della Sicurezza	0,500
Se le misure organizzative adottate sono adeguate.	0,400
Se le misure organizzative previste sono adeguate ma in fase di completamento.	0,300
Se le misure organizzative adottate non sono adeguate.	0,150
Se le misure organizzative sono assenti.	0,000

Tabella 2.5 Valori del Fattore Organizzativo

L'assegnazione dei fattori correttivi permette infine di poter ricavare la *probabilità residua*, indicata con **Pr**, attraverso la seguente correlazione:

$$Pr = \frac{P}{(1 + Ff + Fo)}$$

Utilizzando i valori assegnati per i fattori **Ff** e **Fo**, **Pr** sarà un valore compreso tra **P** e il 50% di **P**. Anche per il parametro relativo al danno **D** è possibile introdurre alcuni fattori correttivi al danno teorico. Il fattore correttivo in questo caso viene indicato come **Fmp**, ovvero *Fattore misure di protezione*, e viene valutato in funzione delle misure di protezione adottate al fine di diminuire l'incidenza della gravità del danno; vengono a tal proposito indicate misure di protezione attiva, tra le quali si possono includere la formazione e l'addestramento di squadre di emergenza e primo soccorso, o la presenza di procedure da avviare in caso di emergenza, e misure di protezione passiva, che include la presenza di dispositivi di protezione individuali. Laddove non fossero presenti i dispositivi di protezione individuali (DPI) nella dotazione del personale, non si potrebbe applicare il fattore correttivo analizzato.

Misure di Protezione attiva	Misure di protezione passiva			
	Adeguate	Sufficienti	Non sufficienti	Assenti
Adeguate	1,00	0,750	0,500	0,350
Sufficienti	0,750	0,500	0,350	0,150
Non Sufficienti	0,500	0,350	0,150	0
Assenti	0,350	0,150	0	0

Tabella 2.6 Coefficienti delle misure di protezione

La gravità residua del danno **Dr** che tiene conto degli effetti delle misure di protezione viene valutato tramite la seguente formula:

$$Dr = \frac{D}{(1 + Fmp)}$$

Il valore di **Dr**, tenuto conto dei valori del fattore correttivo, sarà corrispondente ad un intervallo variabile tra il valore del danno **D** ed il 50% di tale valore, perché si deve tenere conto del fatto che per quanto si possano impiegare sistemi di protezione completi, la gravità del danno residuo non si può comunque considerare inferiore alla metà del valore della gravità del danno teorico.

La formulazione dell'indice di rischio residuo risulta pertanto essere la seguente:

$$\mathbf{Rr = Pr \times Dr}$$

In base ai risultati conseguenti tale valutazione, devono essere adottate opportune strategie in termini sia di *Prevenzione* che di *Protezione*. Tutti i casi nei quali sono presenti valori di rischio non accettabili, costituiscono delle situazioni da trattare in via prioritaria. Se ne deduce che il *programma di attuazione* delle misure di prevenzione e protezione da adottare viene stabilito in relazione alle priorità dello Stabilimento stesso.

Successivamente ogni elemento di pericolo viene esaminato singolarmente, e per ognuno di essi viene analizzata la procedura discussa circa la valutazione del rischio con il metodo a matrice anche in riferimento a possibili criticità del metodo e situazioni alternative.

Capitolo 3

Il rumore

3.1 Definizione del rumore

La parte relativa al rumore trattata nel D.Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008 è stata redatta in ottemperanza alla direttiva europea specifica 2003/10/CE, relativa all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici. Nell'ambito della valutazione di cui all'articolo 28, il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici, in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alla buona prassi. Nel caso oggetto di studio, che si riferisce a lavoratori non occasionali o stagionali, ma a lavoratori abituali, il Testo Unico sulla Sicurezza prevede determinati parametri da considerare ai fini della valutazione. Con il termine *rumore* [16] si definisce in genere un suono che provoca una sensazione sgradevole, fastidiosa o intollerabile; un suono è una perturbazione meccanica (onda di pressione) che si propaga in un mezzo elastico (gas, liquido, solido) e che è viene percepito dal senso dell'udito. Quando un corpo vibra provoca nell'aria oscillazioni della pressione intorno al valore della pressione atmosferica, che si propagano come onde progressive nel mezzo e giungono all'orecchio producendo la sensazione sonora. Si definisce pressione sonora istantanea $p(t)$ la differenza indotta dalla perturbazione sonora tra la pressione totale istantanea e il valore della pressione statica all'equilibrio. Nel caso più semplice le variazioni della pressione sono descritte da una funzione sinusoidale caratterizzata dalle seguenti grandezze [17]:

- frequenza (f): numero di oscillazioni complete nell'unità di tempo (Hz).
- periodo (T): durata di un ciclo completo di oscillazione (s); è l'inverso della frequenza.
- velocità di propagazione (c): velocità con la quale la perturbazione si propaga nel mezzo, in dipendenza dalle caratteristiche del mezzo stesso (m/s); in aria c è pari a circa 340 m/s.
- lunghezza d'onda (λ): distanza percorsa dall'onda sonora in un periodo (m).
- ampiezza (A): valore massimo dell'oscillazione di pressione (N/m^2).

Qualora le onde abbiano frequenza approssimativamente compresa fra 20 e 20000 Hz ed ampiezza superiore ad una certa entità che dipende dalla frequenza, l'orecchio umano è in grado di percepirle. La determinazione del contenuto in frequenza di un certo suono è chiamata analisi in frequenza o analisi di spettro.

Capitolo 3.2 Parametri da rilevare per l'analisi

In tutti quei casi in cui si ritiene possa sussistere la possibilità di superamento dei valori di azione indicati dalla legge, il datore di lavoro richiede la misurazione dei livelli di rumore presenti nell'ambiente di lavoro e a cui sono sottoposti i lavoratori, riportandone l'analisi nel documento di valutazione.

Per effettuare l'analisi acustica degli ambienti lavorativi, vengono effettuate delle misurazioni in riferimento ad alcuni parametri che sono indicati sia dal Titolo VIII - capo II del D.Lgs. 81/08 nell'articolo 189, che dalle norme ISO 1999:1990, UNI 9432:2011 [18] e UNI EN ISO 9612:2011 [19]. Queste due ultime normative sono state revisionate nell'edizione del 2011 per evitare sovrapposizioni di alcune parti che erano presenti in ambedue le normative nelle precedenti edizioni. La revisione comporta infatti la complementarità delle norme che devono essere consultate contemporaneamente per poter effettuare le misurazioni in ambito acustico considerando tutti gli aspetti necessari.

Le grandezze da misurare in ottemperanza alla legislazione vigente risultano essere:

- **Livello di esposizione giornaliera al rumore, $L_{EX,8h}$** , ovvero il livello sonoro medio, espresso in dB(A), che normalizza alla durata nominale di 8 ore l'esposizione quotidiana, di più breve o più lunga durata, del lavoratore al rumore (T_e), in base della seguente relazione:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,Te} + 10 \log \left(\frac{T_e}{T_0} \right) \quad \text{dB(A)}$$

dove :

T_e è la durata quotidiana dell'esposizione personale del lavoratore al rumore, comprensiva sia delle pause che dell'eventuale quota giornaliera di lavoro

straordinario;

T_0 è la durata convenzionale di riferimento della giornata lavorativa fissata ad 8 ore;

$L_{Aeq,Te}$ è il livello sonoro continuo equivalente, ponderato A, relativo alla durata di esposizione quotidiana T_e

- **Livello di esposizione settimanale al rumore, $L_{EX,W}$:** Livello sonoro medio, espresso in dB (A) e ponderato in funzione del tempo, calcolato sulla base dei livelli di esposizione giornaliera al rumore per una settimana nominale di cinque giornate lavorative di otto ore, secondo la seguente relazione:

$$L_{EX,W} = 10 \log \left[\frac{1}{5} \sum_{K=1}^m \cdot 10^{0,1(L_{EX,8h})_K} \right] \quad \text{dB(A)}$$

dove:

$L_{EX,8h}$ è il valore del livello di esposizione giornaliera relativo alla k-esima giornata lavorativa;

m rappresenta il numero dei giorni lavorativi della settimana, mentre k è l'indice rappresentativo della giornata lavorativa.

- **Livello sonoro di picco ponderato C, $L_{picco,C}$:** livello degli impulsi sonori rilevati, durante il periodo di esposizione al rumore del lavoratore, con lo strumento regolato con caratteristica dinamica “peak” e curva di ponderazione C, secondo la norma CEI EN 61672-1.

I valori soglia fissati sono riportati nell'articolo 189 del T.U. e corrispondono esattamente a quelli indicati all'interno della direttiva comunitaria [25]:

- **Valori limite di esposizione (VLE):** rispettivamente $L_{EX} = 87$ dB(A) e $p_{peak} = 200$ Pa (140 dB(C) riferito a 20 μ Pa);
- **Valori superiori di azione (VSA):** rispettivamente $L_{EX} = 85$ dB(A) e $p_{peak} = 140$ Pa (137 dB(C) riferito a 20 μ Pa);
- **Valori inferiori di azione (VIA):** rispettivamente $L_{EX} = 80$ dB(A) e $p_{peak} = 112$ Pa (135 dB(C) riferito a 20 μ Pa).

La classificazione dei rumori di seguito indicata si basa sulle definizioni della norma UNI 9432:2011, ed è la seguente:

- Rumore costante (stazionario): viene definito rumore costante un qualsiasi rumore che abbia durata maggiore di 1 s, caratterizzato da una differenza tra i livelli di pressione sonora massimo e minimo, in costante di tempo "slow", inferiore a 3 dB(A);
- Rumore fluttuante (non stazionario): si definisce nella seguente maniera un rumore di durata maggiore di 1 s, ma caratterizzato da una differenza tra i livelli di pressione sonora massimo e minimo, in costante di tempo "slow", maggiore di 3 dB(A);
- Rumore ciclico: con tale definizione si intende un rumore di durata maggiore di 1 s che si ripete con le medesime caratteristiche ad intervalli di tempo eguali e maggiori di 1 s;
- Rumore impulsivo: si definisce rumore impulsivo un rumore caratterizzato da una rapida crescita e da un rapido decadimento, della durata temporale minore o eguale ad 1 s, ed eventualmente ripetuto ad intervalli più o meno regolari. Con particolare riferimento alla norma UNI EN ISO 12001(1998) si possono considerare impulsi isolati quelli in cui l'intervallo di tempo tra l'uno e l'altro è superiore a 0,2 s; è da considerarsi invece un

rumore quasi impulsivo quello in cui si ha una serie di impulsi sonori di ampiezza comparabile con intervalli minori di 0,2 s tra singoli impulsi.

- Incertezza: rappresenta il parametro associato al risultato di una misurazione che ne definisce, con ragionevole probabilità, la dispersione dei valori ad essa attribuibili.

La legge prevede la possibilità che la caratteristica intrinseca di alcune attività lavorative possa comportare una esposizione giornaliera dei lavoratori al rumore significativamente variabile, pertanto ai fini della valutazione dei valori di esposizione e di azione è possibile in via eccezionale sostituire il livello di esposizione giornaliera con il livello di esposizione settimanale. Tale modifica è però effettuabile solo a condizione che il livello di esposizione settimanale al rumore non ecceda il valore limite di esposizione di 87 dB (A), e che siano adottate le adeguate misure per ridurre al minimo i rischi associati a tali attività.

Nel caso in cui ci sia variabilità del livello di esposizione settimanale al rumore si dovrà considerare il livello settimanale massimo ricorrente.

3.3 Valutazione del rischio rumore

Nell'articolo 190 del D.Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008 e s.m.i. , nell'ambito di quanto previsto dall'articolo 181, viene riportata la procedura che deve essere messa in campo dal datore di lavoro per la valutazione dell'esposizione dei lavoratori al rumore durante il lavoro [13].

Devono essere presi in considerazione:

- a) il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, ivi inclusa ogni esposizione a rumore impulsivo;
- b) i valori limite di esposizione e i valori di azione di cui all'articolo 189;
- c) tutti gli effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rumore, con particolare riferimento alle donne in gravidanza e i minori;
- d) per quanto possibile a livello tecnico, tutti gli effetti sulla salute e sicurezza dei lavoratori derivanti da interazioni fra rumore e sostanze ototossiche connesse con l'attività svolta e fra rumore e vibrazioni;
- e) tutti gli effetti indiretti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori risultanti da interazioni fra rumore e segnali di avvertimento o altri suoni che vanno osservati al fine di ridurre il rischio di infortuni;

- f) le informazioni sull'emissione di rumore fornite dai costruttori dell'attrezzatura di lavoro in conformità alle vigenti disposizioni in materia;
- g) l'esistenza di attrezzature di lavoro alternative progettate per ridurre l'emissione di rumore;
- h) il prolungamento del periodo di esposizione al rumore oltre l'orario di lavoro normale, in locali di cui è responsabile;
- i) le informazioni raccolte dalla sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica;
- j) la disponibilità di dispositivi di protezione dell'udito con adeguate caratteristiche di attenuazione.

Come precedentemente evidenziato, se vi sono situazioni nelle quali può fondatamente ritenersi che i valori inferiori di azione possono essere superati, il datore di lavoro misura i livelli di rumore cui i lavoratori sono esposti, i cui risultati sono riportati nel documento di valutazione.

I metodi e le strumentazioni utilizzati devono essere adeguati alle caratteristiche del rumore da misurare, alla durata dell'esposizione e ai fattori ambientali secondo le indicazioni delle norme tecniche, è possibile includere la campionatura, purché sia rappresentativa dell'esposizione del lavoratore.

La normativa vigente impone anche che durante i rilievi e le procedure di analisi il datore di lavoro tenga conto dell'incertezza delle misure determinate secondo la prassi metrologica.

A conclusione delle procedure di acquisizione dati e analisi del rischio, devono essere individuate le misure di prevenzione e protezione necessarie.

L'emissione sonora di attrezzature di lavoro, macchine e impianti può essere stimata in fase preventiva facendo riferimento alle banche dati sul rumore approvate dalla Commissione consultiva permanente di cui all'articolo 6, riportando la fonte documentale cui si è fatto riferimento.

3.4 Il fonometro

Per poter procedere con la raccolta dei dati per la valutazione del rumore in ambiente di è necessario utilizzare una strumentazione che deve essere finalizzata, sotto il profilo tecnico, al contenimento ed al controllo dell'incertezza di misura strumentale che sommandosi all'incertezza derivante dal procedimento di rilevazione e dall'operatore incaricato di effettuare i rilievi, contribuisce a determinare l'incertezza complessiva di questo tipo di misure.

Le prescrizioni indicate per poter minimizzare l'incertezza sono raccolte all'interno delle norme UNI 9432:2011 e UNI EN ISO 9612:2011, riguardanti le caratteristiche acustiche richieste alla catena di misura per il corretto rilievo delle due grandezze fondamentali, indicate dal D.Lgs. 81/08, per la definizione del rischio di danno uditivo da rumore, ovvero il livello sonoro continuo equivalente ponderato A ($L_{A_{eq,T}}$) ed il livello sonoro di picco ponderato C ($L_{picco,C}$). Nel caso in cui la catena di misura sia costituita, come quasi sempre accade, da un fonometro integratore, la norma prescrive che tale strumento soddisfi, microfono ed eventuale cavo di prolunga compresi, i requisiti della classe 1 stabiliti dalla norma CEI EN 61672-1, e che, in particolare, sia dotato di indicatore di sovraccarico con relativa memorizzazione.

Oltre a ciò, per essere idoneo ad eseguire misure in ambiente di lavoro secondo quanto richiesto dal DLgs 81/08, il fonointegratore dovrà avere, anche se non esplicitamente indicate dalla norma UNI, almeno le seguenti capacità di misura:

- curve di ponderazione A, C e L_{in} ;
- costanti di tempo Fast, Slow e Peak;
- livello sonoro continuo equivalente (L_{eq});
- livello di pressione sonora istantaneo (SPL);
- livello massimo di pressione sonora (L_{max});
- valore di fondo scala ≥ 140 dB.

L'uso di strumenti di classe 2 non è previsto dalla norma UNI 9432, anche se non espressamente escluso dal D.Lgs. 81/08, a causa di importanti limitazioni che in definitiva ne sconsigliano l'adozione. Oltre all'ovvio limite costituito dalla più elevata incertezza strumentale che questa classe di strumenti presenta, occorre considerare l'impossibilità di ottenere con essi risultati corretti in diversi casi specifici. In particolare nel caso di misure riguardanti rumori con componenti dominanti alle alte frequenze, ovvero maggiori di 8kHz, a causa dei limiti della risposta in frequenza dei microfoni utilizzati per questa categoria di strumenti; oppure nel caso di misure da effettuarsi in condizioni ambientali di temperature basse (tra 0°C e -10°C) o alte (tra 40°C e 50°C).

A ciò si aggiunga che molti dei fonointegratori di classe 2 in commercio non sono omologati (ovvero privi di un certificato di parte terza che ne attesti le caratteristiche acustiche), rendendo così assai dubbi i risultati delle misure eseguite e di quelle

riguardanti i livelli di picco in particolare, a causa del non verificato rispetto delle garanzie metrologiche richieste dalla relativa normativa. Altro aspetto da non trascurare è che alcuni di questi strumenti non possono neppure essere sottoposti a verifica periodica, avendo il microfono non rimovibile o di dimensioni non standard. Caratteristica questa che può rendere assai improbabile la definizione dell'incertezza strumentale e di conseguenza il calcolo dell'incertezza complessiva di misura. Un'importante categoria di fonointegratori considerata dalla norma UNI 9432, è quella costituita dai cosiddetti "fonointegratori fissati sulla persona", spesso impropriamente detti dosimetri [17].



Figura 3.1 Fonometro

3.5 Programma aziendale di riduzione dell'esposizione

Al fine di redigere un programma aziendale di riduzione dell'esposizione (PARE) al rumore per poter ridurre l'esposizione al rumore nei luoghi di lavoro e per identificare le aree di maggior rischio in osservazione della legislazione vigente, è opportuno consultare la normativa UNI 11347:2015 [20].

Tra gli aspetti più importanti introdotti nel T.U. vi è senza dubbio quello riguardante l'obbligo per le aziende con livelli di esposizione al rumore elevati di elaborare un programma di misure tecniche e organizzative il cui scopo risulta essere la riduzione dell'esposizione dei lavoratori al rumore. A tale scopo la valutazione del rischio prevede di svolgere delle misurazioni con i seguenti obiettivi:

- A. Definire i L_{Aeq} per poter calcolare il valore di esposizione personale L_{EX} e i valori di picco $L_{picco,C}$ misurati in dB(C) da cui discendono le misure di prevenzione per la salute dei lavoratori esposti, e stabilire l'efficacia dei dispositivi di protezione auricolare utilizzati per una corretta attenuazione;
- B. Indicare interventi tecnici ed organizzativi da adottare da parte dell'azienda per ridurre l'esposizione al rischio nei casi in cui vi siano livelli di rumorosità superiori a quelli consentiti dalla legislazione vigente, e inoltre individuare le aree di lavoro con maggiore rumorosità per poterle segnalare e delimitare con restrizione all'accesso.

La normativa che si occupa della parte A) è la UNI 9432, mentre la normativa in questione si occupa degli ambiti indicati nella parte B). La norma Uni 11347:2015 distingue due classi di interventi da adoperare, ovvero gli *interventi tecnici* e gli *interventi organizzativi*.

Per la redazione del PARE è necessario considerare le azioni volte alla riduzione dell'esposizione al rumore in tutte le situazioni in cui viene superato il valore previsto dalla legislazione, e le misure messe in campo per tale obiettivo devono prevedere interventi che riducano il rumore alla sorgente, che riducano il rumore lungo il percorso di propagazione, infine che riducano il rumore direttamente sul posto di lavoro occupato dal lavoratore. Si possono annoverare a titolo di esempio tra gli *interventi tecnici*, la sostituzione di attrezzature da lavoro rumorose con altre meno rumorose, la adozione di sistemi antivibranti, l'insonorizzazione tramite silenziatori o cappottature delle macchine più rumorose e varie altre; tra gli *interventi organizzativi* si possono annoverare ad esempio la modifica della distribuzioni delle postazioni di lavoro, la manutenzione dei macchinari industriali, la turnazione del personale, l'adozione di misure di segnaletica, l'informazione e la formazione dei lavoratori. Per attuare interventi organizzativi non è necessaria alcuna competenza specifica, a differenza di quanto richiesto invece per attuare interventi tecnici.

3.6 Comparazione con altre normative

In Italia una integrazione importante a livello legislativo riguardante le pratiche legate alla riduzione del rumore delle macchine e delle attrezzature è stata effettuata mediante l'emanazione del D.Lgs. 17 del 20 gennaio 2010, in ottemperanza della direttiva europea 2006/42/CE denominata "nuova direttiva macchine".

Negli Stati Uniti l'ente preposto alla legiferazione nell'ambito della sicurezza nei luoghi di lavoro è un organismo federale denominato OSHA, ovvero Occupational Safety and Health Administration, e la corrispondente normativa vigente per la sicurezza e la salute dei lavoratori legata alle emissioni sonore è la OSHA 1910.95, identificata con la dicitura "Esposizione al rumore sul lavoro" [21].

La filosofia alla base delle direttive europee è legata alla massima riduzione possibile delle emanazioni acustiche in rapporto allo sviluppo tecnologico e alla disponibilità di mezzi idonei alla riduzione del rumore. Nel caso di superamento del limite di esposizione occorre identificare la causa che determina tale situazione e definire le misure correttive necessarie; l'esposizione deve essere ridotta quanto più è possibile al di sotto del valore soglia.

In base alle direttive europee il personale deve essere informato nel caso in cui si rilevi un superamento dei valori consentiti e sulle misure adottate per il superamento del problema. Il personale deve essere dotato anche di dispositivi di protezione che devono essere obbligatoriamente indossati, e deve essere correttamente informato dei rischi per l'udito.

Tutte le macchine e i dispositivi e le attrezzature impiegate nei luoghi di lavoro devono essere progettate e realizzate in accordo con gli ultimi sviluppi tecnologici a disposizione atti alla riduzione del rumore; normalmente risulta conveniente dal punto di vista economico e della efficacia l'abbattimento dei rumori alla sorgente.

Si evince che lo scopo dell'Unione Europea è quello di evitare che le aziende e i vari Paesi dell'Unione possano aumentare la propria competitività a discapito della sicurezza del personale lavoratore.

In generale, tutte le legislazioni relative all'abbattimento del rumore nei luoghi di lavoro indicano un livello sonoro massimo di 85 – 90 dB(A) L_{eq} per una esposizione di otto ore, in ottemperanza alle linee guida della norma internazionale ISO 1999:1990.

Come precedentemente descritto, la direttiva europea 2003/10/CE relativa ai rischi in caso di esposizione al rumore sul lavoro, emanata come linea guida specifica da adottare in brevi termini dai vari Paesi dell'Unione, indica un valore limite di 87 dB(A) L_{eq} per una giornata lavorativa di otto ore.

Tale normativa rappresenta il vincolo al quale i vari Paesi devono attenersi, ma il valore limite può essere abbassato nelle varie legislazioni nazionali, pertanto si ha una leggera discrepanza tra le varie legislazioni: infatti Paesi come Francia, Svezia, e Spagna consentono 85 dB(A) L_{eq} per un giorno lavorativo di otto ore con un livello di dimezzamento di 3 dB(A); al di fuori dell'Unione Europea tale valore soglia viene adoperata anche da Norvegia e Nuova Zelanda.

In Gran Bretagna, le norme nazionali (Control of Noise at Work Regulations 2005) indicano un valore limite di 87 dB(A) L_{eq} per un'esposizione di otto ore, in linea con la direttiva europea, esattamente come avviene in Italia.

I Paesi considerati in via di sviluppo hanno adottato perlopiù le leggi e i regolamenti dei Paesi industrializzati, adattandoli alle condizioni locali: ad esempio, dal 1948 in India si applica un valore limite di 90 dB(A) per un'esposizione di otto ore, ma poiché nella maggior parte delle fabbriche indiane i giorni lavorativi risultano essere sei alla settimana, e non cinque, l'esposizione complessiva diventa di 48 ore alla settimana ed è quindi superiore a quella consentita nei Paesi industrializzati.

Nella già citata norma OSHA 1910.95 vengono definiti i valori limite per l'esposizione al rumore sul luogo di lavoro nella legislazione del USA; tali valori si basano sulla media ponderata di un lavoratore in una giornata lavorativa di otto ore e il livello di esposizione massimo consentito PEL (Permissible exposure limit) di 90 dB(A) per un giorno lavorativo. Questi valori prevedono un livello di dimezzamento di 5 dB(A). Ad esempio se il livello di dimezzamento è 3 dB(A) significa che, in caso di aumento del livello sonoro di 3 dB(A), si dimezza il tempo di esposizione consentito. Per ridurre il rischio di lesioni all'udito, l'istituto americano NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) raccomanda un valore limite di 85 dB(A) per il livello di rumore equivalente a cui un lavoratore è esposto in una giornata lavorativa di otto ore.

Sulla base di studi recenti, il NIOSH ha scoperto che anche entro i valori limite previsti dal livello OSHA PEL possono insorgere lesioni all'udito significative; inoltre, il NIOSH raccomanda un livello di dimezzamento di 3 dB(A), cioè a ogni aumento di 3 dB(A) dare seguito al dimezzamento del tempo di esposizione consentito.

La norma OSHA consente un'esposizione di otto ore a livelli sonori di 90 dB(A) ma un'esposizione di appena due ore a 100 dB(A); per una esposizione di otto ore, il NIOSH raccomanda di ridurre il valore limite a 85 dB(A), e raccomanda inoltre di non esporsi a 100 dB(A) per più di quindici minuti al giorno.

Nel 1981 è entrato in vigore un nuovo requisito OSHA per tutelare i lavoratori dell'industria

manifatturiera. Se i lavoratori sono esposti a un livello sonoro ponderato equivalente di 85 dB(A) o superiore per un turno di lavoro di otto ore, il datore è tenuto a implementare un programma di protezione dell'udito (Hearing Conservation Program). A tal fine, il datore deve misurare il livello sonoro, offrire controlli annuali gratuiti dell'udito, fornire protezioni acustiche e corsi di formazione adeguati nonché valutare misure protettive nei casi in cui non sia possibile ridurre il livello di esposizione dei lavoratori a meno di 85 dB(A) applicando diversi metodi di lavoro, utensili e attrezzature di altro tipo.

3.7 Metodo a matrice per il rumore

In un ambiente di lavoro che non susciti nel datore di lavoro particolare preoccupazione per quanto riguarda lo sfioramento dei valori soglia previsti dalla legislazione vigente a causa della trascurabilità dell'esposizione al rumore, si può evitare di effettuare un approfondimento della valutazione del rischio ricorrendo alla cosiddetta "giustificazione", mentre nei casi in cui si possono verificare delle situazioni di incertezza è possibile ricorrere ad alcune misurazioni tali da dimostrare che i valori inferiori di azione non vengono superati nemmeno dai lavoratori più esposti al rischio. L'applicazione del metodo a matrice utilizzato nello stabilimento in questione per definire la priorità di intervento, nel caso del rumore porta a sviluppare la seguente schematizzazione [31]:

Livello di Rischio	Piano di azione
Irrilevante Sempre	<ul style="list-style-type: none"> • Valutazione del rischio • Riduzione al minimo
Moderato > Valori inferiori di azione 80 dB(A) e/o 135 dB(C)picco	<ul style="list-style-type: none"> • Misurazione del rumore, • Fornitura di DPI uditivi, • Informazione e formazione, • Controllo sanitario a richiesta
Alto > Valori superiori di azione 85 dB(A) e/o 137 dB(C)picco	<ul style="list-style-type: none"> • Obbligo all'uso dei DPI uditivi • Programma di riduzione del rumore • Segnalazione • Delimitazione e limitazione d'accesso dei luoghi di lavoro • Controllo sanitario
Molto Alto > Valori limite di esposizione 87 dB(A) e/o 140 dB(C)picco	<ul style="list-style-type: none"> • Obbligo di misure immediate

Tabella 3.1 Livello di rischio del rumore

Il rischio rumore dello stabilimento per definire le priorità di intervento è stato stimato valutando inizialmente l'indice di danno (ID) in base ai limiti di esposizione indicato nel D.Lgs. 81/2008 e successivamente indicando l'indice di probabilità (IP).

<input type="checkbox"/> ID=1	<input type="checkbox"/> ID=2	<input type="checkbox"/> ID=3	<input type="checkbox"/> ID=4
livello di esposizione inferiore a 80 dBA Lex(8h) e minore 135 dBC (picco)	livello di esposizione compreso tra 80 - 85 dBA Lex(8h) e compreso tra 135-137 dBC (picco)	livello di esposizione compreso tra >85 - 87 dBA Lex(8h) e compreso tra 137-140 dBC (picco)	livello di esposizione > 87 dBA Lex(8h) e > 140 dBC (picco)

Tabella 3.2 Valutazione indice di danno ID

□ IP=1	□ IP=2	□ IP=3	□ IP=4
<ul style="list-style-type: none"> • Esiste una correlazione tra l'attività e un positivo andamento infortunistico e/o malattie professionali su un periodo significativo (tre, cinque anni o oltre). • Il fattore di rischio può provocare un danno solo in circostanze occasionali o sfortunate di eventi (es. persone ipersuscettibili, ecc.) • Non sono noti o sono noti solo rari episodi già verificatisi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Esiste una correlazione tra l'attività e/o l'agente pericoloso utilizzato e un casuale andamento infortunistico e/o malattie professionali su un periodo significativo (tre, cinque anni o oltre). • Il fattore di rischio può provocare un danno, anche se non in maniera automatica e diretta. • E' noto qualche episodio in cui alla mancanza rilevata ha fatto seguito un danno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Esiste una correlazione tra l'attività e/o l'agente pericoloso utilizzato ed un costante andamento infortunistico e/o malattie professionali su un periodo significativo (tre, cinque anni). • Esiste una correlazione diretta tra il fattore di rischio e la causa legata a un danno al manifestarsi di specifiche circostanze (es. interazioni con sostanze ototossiche, interazioni con sorgenti vibranti, ecc.) • Si sono già verificati danni per la stessa mancanza rilevata (incidenti, infortuni, malattie professionali). 	<ul style="list-style-type: none"> • Esiste una correlazione tra l'attività e/o l'agente pericoloso utilizzato e il peggioramento dell'andamento infortunistico e/o malattie professionali su un periodo significativo (tre, cinque anni). • Esiste una correlazione diretta tra il fattore di rischio e la causa legata a un danno. • Si sono già verificati danni per la stessa mancanza rilevata (incidenti, infortuni, malattie professionali) in un arco di tempo ristretto

Tabella 3.3 Valutazione indice di probabilità IP

Ai fini della corretta indagine valutativa nell'ambito del rumore, occorre tenere conto anche delle sostanze ototossiche, che vengono classificate in non occupazionali e occupazionali. Le prime sono costituite essenzialmente da farmaci (che associano alla loro specifica efficacia terapeutica una attiva ototossicità) in gran parte antibiotici, con preminenza per gli aminoglicosidi, alcuni diuretici salicilati, antimalarici, antineoplastici. Anche il fumo di sigaretta ed il consumo di alcol rientrano in tale raggruppamento [22]. Le sostanze ototossiche occupazionali, alle quali vengono esposti i lavoratori di un impianto siderurgico sono presenti sostanzialmente [23]:

- nei solventi (es.: toluene, xileni, etilbenzene, stirene, esano, alcool n-butilico);
- nei metalli (es.: piombo, mercurio, manganese);
- negli asfissianti (es.: monossido di carbonio ed acido cianidrico).

Un agente ototossico può essere definito come una sostanza che può danneggiare le strutture e/o la funzione dell'orecchio interno (apparato uditivo e vestibolare) e le vie neurali collegate. Pertanto, l'effetto combinato delle sostanze chimiche ototossiche, per inalazione o per contatto cutaneo, e dell'esposizione al rumore è particolarmente dannoso per l'udito. Infatti la presenza di sostanze ototossiche causa uno stato anormale dell'orecchio interno, rendendolo particolarmente vulnerabile ai danni meccanici dovuti al rumore. Nel 2002 il National Institute for Occupational Safety and

Health (NIOSH), nel 2006 l'European Risk Observatory Report Noise in Figures pubblicato dall' European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA), nel 2010 il Report Combined exposure to Noise and Ototoxic Substances sempre dell' EUOSHA e la stessa direttiva 2003/10/CE relativa all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (rumore) hanno evidenziato in maniera molto incisiva questa correlazione [24].

L'individuazione e la valutazione di tali sostanze viene effettuata nel rischio chimico per ogni tipologia di figura professionale.

Indice di rischio ID	Valutazione	Piano di azione
4	MOLTO ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità molto alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
3	ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
2	MODERATO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Verificare che esistano i controlli degli elementi di rischio e se sia necessario sottoporre l'Area ad analisi per definire, se del caso, gli interventi di prevenzione e protezione, per ridurre i rischi
1	IRRILEVANTE	Mantenere il controllo degli elementi di rischio

Tabella 3.4 Piano di azione

Il responsabile al fine di attuare il piano di azione attraverso misure organizzative, procedurali e tecniche è il Dirigente di Area.

Capitolo 4

Le vibrazioni

4.1 Definizione di vibrazione

Le macchine vibranti o pezzi sottoposti a lavorazione possono trasmettere alle mani e alle braccia degli operatori delle vibrazioni intense. Questa situazione riguarda i lavoratori che utilizzano macchine pneumatiche, elettriche, idrauliche o a combustione interna quali motoseghe, macchine a percussione e smerigliatrici. Le vibrazioni trasmesse a parti del corpo possono essere causa di malesseri e di probabile riduzione di rendimento. È stato dimostrato che l'utilizzo continuativo di macchine vibranti causa disturbi vascolari e neurologici, oltre che lesioni a carico delle ossa, delle articolazioni e dei tessuti connettivi della mano e dell'avambraccio [26].

I lavoratori durante l'espletamento delle attività lavorative possono utilizzare veicoli (di terra, mare o aria) o macchinari come ad esempio quelli utilizzati nel settore agricolo, o inoltre effettuare operazioni come il brillamento di mine, che espongono l'operatore a vibrazioni che investono la totalità dell'organismo umano, causando nel tempo interferenze con il benessere e con la salute. Le vibrazioni nella maggior parte dei casi sono complesse, contenendo differenti frequenze e verificandosi in direzioni variabili nel tempo, pertanto se ne deduce come un corpo investito da esse viene sottoposto ad una molteplicità di movimenti oscillatori e di forze che oltre a provocare sensazioni disturbanti, possono influenzare le capacità prestazionali e minare seriamente la salute del soggetto da esse investito [27].

La direttiva europea che ha rivisitato la legislazione vigente nell'ambito del rischio legato alle vibrazioni [28] è la 2002/44/CE, all'interno della quale viene operata la seguente divisione:

- *Vibrazioni trasmesse al sistema mano-braccio*, per la quale vengono considerate le vibrazioni meccaniche che se trasmesse al sistema mano-braccio, comportano un rischio per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolare disturbi vascolari, osteoarticolari, neurologici e muscolari;
- *Vibrazioni trasmesse al corpo intero*, ovvero le vibrazioni meccaniche che trasmesse al corpo intero comportano rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori, in particolari lombalgie e traumi del rachide.

Tale direttiva è stata recepita dal legislatore nazionale all'interno del D.Lgs. 81/2008 nel titolo VIII, Capo III [13]; la definizione delle vibrazioni viene ripresa nell'articolo 200, all'interno del quale vengono anche specificati i valori limite di esposizione ed i valori di azioni per ambedue le distinzioni di vibrazioni menzionate, i quali possono essere più restrittivi a seconda delle scelte degli stati membri dell'Unione Europea.

In tale articolo viene definita l'esposizione giornaliera alle vibrazioni del sistema mano-braccio come il valore mediato nel tempo, ponderato in frequenza, delle accelerazioni misurate per una giornata lavorativa di 8 ore, ed anche l'esposizione giornaliera a vibrazioni trasmesse al corpo intero viene definita come il valore mediato nel tempo, ponderato, delle accelerazioni misurate per una giornata lavorativa di 8 ore.

Per quanto riguarda le vibrazioni del sistema mano-braccio il valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato ad un periodo di riferimento di 8 ore, viene fissato a 5 m/s^2 , mentre tale valore per periodi brevi viene fissato a 20 m/s^2 . Il valore di azione giornaliero, normalizzato ad un periodo di riferimento di 8 ore, viene fissato al valore corrispondente a $2,5 \text{ m/s}^2$.

Per le vibrazioni riguardanti il corpo intero il limite di esposizione giornaliero, normalizzato ad un periodo di riferimento di 8 ore, risulta fissato a 1 m/s^2 , valore che aumenta fino a $1,5 \text{ m/s}^2$ per periodi brevi.

Il valore di azione giornaliero, normalizzato su un periodo di 8 ore, risulta invece corrispondere a $0,5 \text{ m/s}^2$.

4.2 Parametri da rilevare per il rischio

Nell'ambito della misurazione dei parametri da considerare per valutare il rischio delle vibrazioni, bisogna scindere le due diverse tipologie di vibrazioni esaminate. Per la tipologia di vibrazioni riguardanti il sistema mano-braccio la normativa di riferimento è la UNI EN ISO 5349-1, all'interno della quale viene descritta la valutazione del livello di esposizione, basata essenzialmente sul calcolo del valore dell'esposizione giornaliera normalizzato ad un periodo di riferimento di 8 ore, indicato nel Testo unico sulla sicurezza come $A(8)$, calcolato come radice quadrata della somma dei quadrati (valore totale) dei valori quadratici medi delle accelerazioni ponderate in frequenza, determinati sui tre assi ortogonali. Di seguito vengono indicati i parametri indicati all'interno della norma:

- $a_{hw}(t)$, ovvero il valore di accelerazione istantanea su un singolo asse della vibrazione trasmessa alla mano, ponderata in frequenza, all'istante di tempo t , in metri al secondo quadrato (m/s^2);
- a_{hw} , ovvero il valore della accelerazione quadratica media su un singolo asse della vibrazione trasmessa alla mano, ponderata in frequenza, in metri al secondo quadrato (m/s^2);
- a_{hw_x} , a_{hw_y} , a_{hw_z} rappresentativi dei valori di a_{hw} in metri al secondo quadrato (m/s^2) per gli assi denominati rispettivamente x, y e z ;
- a_{hv} ovvero il valore totale della vibrazione della accelerazione quadratica media ponderata in frequenza; corrisponde alla somma quadratica media dei valori a_{hw} dei tre assi misurati, in metri al secondo quadrato (m/s^2);
- $a_{hv(eq,8h)}$, esposizione di vibrazione giornaliera (valore totale di vibrazione per un periodo di riferimento di 8h), in metri al secondo quadrato (m/s^2);
- $A(8)$ termine alternativo conveniente per l'esposizione alla vibrazione giornaliera $a_{hv(eq,8h)}$;
- D_y durata della esposizione totale media del gruppo, in anni;
- T durata totale giornaliera dell'esposizione alla vibrazione a_{hv} ;
- T_0 durata di riferimento di 8 ore (28.800 s);
- W_h caratteristiche di ponderazione in frequenza della vibrazione trasmessa alla mano.

La norma in esame è incentrata sulla applicazione di un metodo che prevede di tener conto dei seguenti fattori che influenzano gli effetti dell'esposizione umana alle vibrazioni trasmesse alla mano durante le attività lavorative:

- a) Lo spettro in frequenza delle vibrazioni;
- b) L'ampiezza della vibrazione;
- c) La durata dell'esposizione per la giornata lavorativa;
- d) L'esposizione complessiva a quella.

Per la tipologia di vibrazioni analizzate, per procedere con le misurazioni si deve considerare preliminarmente che:

- i metodi utilizzati possono includere la campionatura, purché sia rappresentativa dell'esposizione di un lavoratore alle vibrazioni meccaniche considerate; i metodi e le apparecchiature utilizzati devono essere adattati alle particolari caratteristiche delle

vibrazioni meccaniche da misurare, ai fattori ambientali e alle caratteristiche dell'apparecchio di misurazione, conformemente alla norma UNI EN ISO 5349-1;

- nel caso di attrezzature che devono essere tenute con entrambe le mani, la misurazione è eseguita su ogni mano. L'esposizione è determinata facendo riferimento al più alto dei due valori; deve essere inoltre fornita l'informazione relativa all'altra mano.

La grandezza primaria utilizzata per descrivere l'ampiezza della vibrazione deve essere l'accelerazione quadratica media (r.m.s.) ponderata in frequenza espressa in metri al secondo quadrato (m/s^2); per eseguire tale misurazione si rende necessaria l'applicazione di una ponderazione della frequenza e di filtri di limitazione della banda. La ponderazione della frequenza W_h dimostra l'importanza delle diverse frequenze nel provocare lesioni alla mano. Il valore r.m.s. deve essere misurato utilizzando un metodo di integrazione lineare.

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2}$$

Le macchine provocano delle vibrazioni multi-assiali, pertanto si evince la necessità di effettuare la misurazione nelle tre direzioni spaziali, come riportato nella seguente figura:

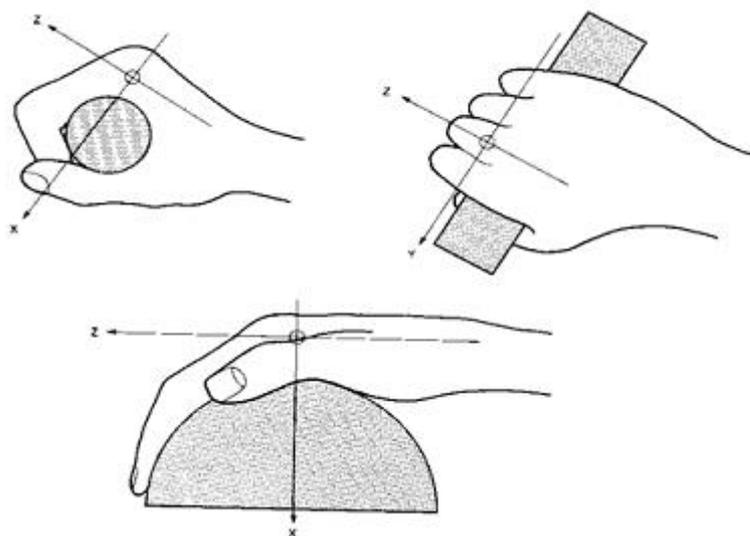


Figura 4.1 Misurazione delle vibrazioni

La curva di ponderazione in frequenza W_h definita dallo standard è la stessa per ciascuno dei tre assi di misura dell'accelerazione ed è riportata in figura, insieme al filtro di ponderazione "lineare" W_{lin} , definito dallo stesso standard. Da tali grafici appare che, in accordo con tale standard, l'intervallo di frequenze di interesse igienistico si estende da 8 Hz a 1000 Hz.

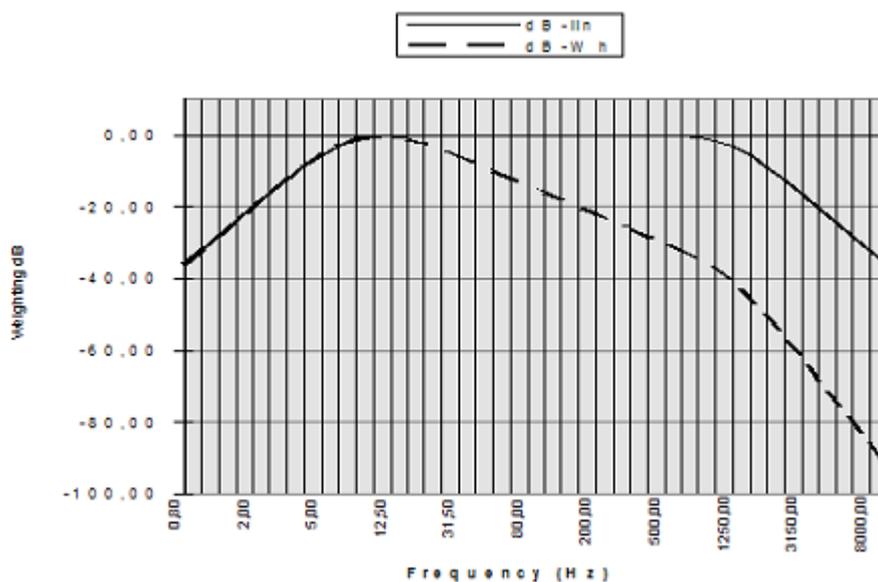


Figura 4.2 Frequenza delle vibrazioni

La formulazione di riferimento è la seguente:

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2}$$

Il valore da considerare nel calcolo dell'esposizione giornaliera $A(8)$ rappresenta la somma dei quadrati dei valori componenti sui tre assi; essa è l'accelerazione ponderata in frequenza riferita ad 8 ore di lavoro espressa in metri al secondo quadrato.

Si calcola mediante la seguente formula:

$$A(8) = a_{hv} \sqrt{\frac{T_e}{8}}$$

dove T_e rappresenta la durata complessiva giornaliera di esposizioni alle vibrazioni, espressa in ore. In tutte quelle situazioni in cui non possano essere effettuate le misurazioni in lungo tutte e tre le direzioni è necessario applicare opportuni coefficienti correttivi. L'esposizione alla vibrazione dipende dalla ampiezza della vibrazione e dalla durata dell'esposizione. Nella normativa vengono indicati anche differenti tipologie di disturbi a cui vengono assoggettati i lavoratori che sono sottoposti alle vibrazioni.

Al fine dei rilievi la normativa in questione viene integrata con la norma UNI EN ISO 5349-2, la quale aggiunge ulteriori informazioni per l'esecuzione delle misurazioni.

Per l'analisi della tipologia di vibrazioni trasmesse all'intero corpo, si fa riferimento invece alla norma ISO 2631-1, la quale considera la valutazione del livello di esposizione alle vibrazioni basata sul calcolo dell'esposizione giornaliera, indicata con $A(8)$ nel testo di legge, ed espressa come l'accelerazione continua equivalente su 8 ore, calcolata come il più alto dei valori quadratici medi delle accelerazioni ponderate in frequenza, determinati sui tre assi ortogonali ($1,4 \cdot a_{wx}$, $1,4 \cdot a_{wy}$, $1 \cdot a_{wz}$, per un lavoratore seduto o in piedi). Ai fini della misurazione, i metodi utilizzati possono includere la campionatura, purché sia rappresentativa dell'esposizione del lavoratore alle vibrazioni meccaniche considerate. I metodi utilizzati devono essere adeguati alle particolari caratteristiche delle vibrazioni meccaniche da misurare, ai fattori ambientali e alle caratteristiche dell'apparecchio di misurazione; vengono ritenuti adeguati per tale scopo i metodi rispondenti alle norme di buona tecnica.

Lo scopo di tale norma è quello di definire metodi per quantificare le vibrazioni trasmesse al corpo intero in relazione a:

- La salute umana e il benessere;
- La probabilità di percezione delle vibrazioni;
- L'incidenza del male dei trasporti.

La valutazione delle vibrazioni viene effettuata attraverso le misurazioni della accelerazione quadratica media (r.m.s.) ponderata, la quale viene espressa in metri al secondo quadrato (m/s^2) per le vibrazioni traslatorie, ed in radianti al secondo quadrato (rad/s^2) per le vibrazioni rotatorie. La r.m.s. ponderata in frequenza viene calcolata secondo la formulazione che segue:

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

dove:

$a_w(T)$ indica l'accelerazione ponderata, traslatoria o rotatoria, in funzione del tempo, in metri al secondo quadrato (m/s^2) o in radianti al secondo quadrato (rad/s^2) rispettivamente;

T indica il tempo della misurazione espresso in secondi (s).

4.3 Valutazione del rischio vibrazioni

Il datore di lavoro pone in essere la procedura di analisi del rischio tramite la valutazioni di misurazioni specifiche allorquando sussistano le condizioni che possono indurre a supporre che i lavoratori possano essere esposti in maniera significativa alle vibrazioni.

Per la valutazione, come riportato nel comma 5 dell'articolo 202 comma 5 del [13] occorre tener conto dei seguenti elementi:

- a) il livello, il tipo e la durata dell'esposizione, inclusa ogni esposizione a vibrazioni intermittenti o a urti ripetuti;
- b) i valori limite di esposizione e i valori d'azione definiti;
- c) gli eventuali effetti sulla salute e sulla sicurezza dei lavoratori particolarmente sensibili al rischio con particolare riferimento alle donne in gravidanza e ai minori;
- d) gli eventuali effetti indiretti sulla sicurezza e salute dei lavoratori, determinati da interazioni tra le vibrazioni meccaniche, il rumore e l'ambiente di lavoro o altre attrezzature;
- e) le informazioni fornite dal costruttore dell'attrezzatura di lavoro;
- f) l'esistenza di attrezzature alternative progettate appositamente al fine di ridurre i livelli di esposizione alle vibrazioni meccaniche;
- g) il prolungamento del periodo di esposizione a vibrazioni trasmesse al corpo intero al di fuori delle ore lavorative, in locali di cui è responsabile;
- h) condizioni di lavoro particolari, come ad esempio le basse temperature, il bagnato, l'elevata umidità o il sovraccarico biomeccanico degli arti superiori e del rachide;
- i) informazioni raccolte attraverso la sorveglianza sanitaria, comprese, per quanto possibile, quelle reperibili nella letteratura scientifica.

La legislazione vigente impone che debbano essere adottate determinate misure di prevenzione e protezione allorquando i risultati della analisi effettuata per la valutazione dei rischi dimostrino il superamento dei valori indicati nel testo di legge.

Spesso è possibile che nonostante tutte le misure adottate, ci si possa trovare nel caso che il valore limite di esposizione risulti superato, pertanto il datore di lavoro deve prendere immediati provvedimenti che permettano di riportare il valore al di sotto del valore critico, deve individuare le cause del superamento e conseguentemente riadattare le misure di prevenzione e protezione. La verifica dei valori ottenuti dalle misurazioni è necessaria perché presuppone [29]:

- obbligatorietà o meno a redigere il piano di riduzione del rischio vibrazioni;
- obbligatorietà o meno di effettuare l'informazione e la formazione dei lavoratori;

- obbligatorietà o meno di far effettuare la sorveglianza sanitaria a cura del medico competente.

4.4 Programma aziendale di riduzione del rischio vibrazioni

Nel caso di situazioni lavorative nelle quali risulti il superamento dei valori di azione, la legge nell'articolo 203 del D.Lgs. 81/2008 e s.m.i impone al datore di lavoro di elaborare un programma di misure tecniche o organizzative finalizzate alla riduzione della esposizione e i rischi che ne conseguono, considerando in particolare quanto segue [13]:

- a) metodi di lavoro differenti che richiedono una minore esposizione alle vibrazioni meccaniche;
- b) la scelta di attrezzature di lavoro adeguate concepite nel rispetto dei principi ergonomici e che producono, in considerazione del lavoro da svolgere, il minor livello possibile di vibrazioni;
- c) la fornitura di attrezzature accessorie volte a ridurre i rischi di lesioni provocate dalle vibrazioni, tra le quali sedili che attenuano efficacemente le vibrazioni trasmesse al corpo intero e maniglie o guanti che attenuano la vibrazione trasmessa al corpo intero e maniglie o guanti che attenuano la vibrazione trasmessa al sistema mano-braccio;
- d) adeguati programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, del luogo di lavoro, dei sistemi sul luogo di lavoro e dei DPI;
- e) la progettazione e l'organizzazione dei luoghi e dei posti di lavoro;
- f) l'adeguata informazione e formazione dei lavoratori sull'uso corretto e sicuro delle attrezzature di lavoro e dei DPI, così da ridurre al minimo la loro esposizione a vibrazioni meccaniche;
- g) la limitazione della durata e dell'intensità dell'esposizione;
- h) l'organizzazione di orari di lavoro appropriati, con adeguati periodi di riposo;
- i) la fornitura, ai lavoratori esposti, di indumenti per la protezione dal freddo e dall'umidità.

4.5 Metodo a matrice per le vibrazioni

Nel caso in cui emerge il superamento dei valori di azione, i lavoratori vengono sottoposti a sorveglianza sanitaria, la quale implica un controllo medico periodico, che si attesta normalmente sulla frequenza di una volta all'anno, salvo differente indicazione fornita dal medico competente basata su una opportuna motivazione, e le informazioni vengono riportate nel documento di valutazione dei rischi. L'organo di vigilanza ha la possibilità, previa adeguata motivazione, di modificare la frequenza della sorveglianza sanitaria stabilita dal medico competente.

I lavoratori possono essere sottoposti a sorveglianza sanitaria stabilita dal medico competente allorquando risulti possibile l'individuazione del nesso tra l'esposizione alle vibrazioni ed effetti nocivi da essa derivanti [13].

Il rischio vibrazioni nello stabilimento considerato, utilizzando il metodo a matrice viene stimato valutando l'indice di danno (ID) in base ai limiti indicati nel testo di legge 81/2008 e indicando la probabilità (IP) [31]:

<input type="checkbox"/> ID=1	<input type="checkbox"/> ID=2	<input type="checkbox"/> ID=3	<input type="checkbox"/> ID=4
WBV: $A(8) < 0,25 \text{ m/s}^2$ HAV: $A(8) < 1 \text{ m/s}^2$	WBV: $0,25 \text{ m/s}^2 \leq A(8) < 0,5 \text{ m/s}^2$ HAV: $1 \text{ m/s}^2 \leq A(8) < 2,5 \text{ m/s}^2$	WBV: $0,5 \text{ m/s}^2 \leq A(8) < 1 \text{ m/s}^2$ HAV: $2,5 \text{ m/s}^2 \leq A(8) < 5 \text{ m/s}^2$	WBV: $A(8) > 1,00 \text{ m/s}^2$ (8 ore) HAV: $A(8) > 5 \text{ m/s}^2$ (8 ore) WBV: a (periodi brevi) $> 1,5 \text{ m/s}^2$ HAV: a (periodi brevi) $> 20 \text{ m/s}^2$

Tabella 4.1 Valutazione indice del danno ID

<input type="checkbox"/> IP=1	<input type="checkbox"/> IP=2	<input type="checkbox"/> IP=3	<input type="checkbox"/> IP=4
<ul style="list-style-type: none"> • Esiste una correlazione tra l'attività e un positivo andamento infortunistico e/o malattie professionali su un periodo significativo (tre, cinque anni o oltre). • Il fattore di rischio può provocare un danno solo in circostanze occasionali o sfortunate di eventi (es. persone ipersuscettibili, ecc.) • Non sono noti o sono noti solo rari episodi già verificatisi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Esiste una correlazione tra l'attività e/o l'agente pericoloso utilizzato e un casuale andamento infortunistico e/o malattie professionali su un periodo significativo (tre, cinque anni o oltre). • Il fattore di rischio può provocare un danno, anche se non in maniera automatica e diretta. • E' noto qualche episodio in cui alla mancanza rilevata ha fatto seguito un danno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Esiste una correlazione tra l'attività e/o l'agente pericoloso utilizzato ed un costante andamento infortunistico e/o malattie professionali su un periodo significativo (tre, cinque anni). • Esiste una correlazione diretta tra il fattore di rischio e la causa legata a un danno al manifestarsi di specifiche circostanze (es. interazioni con sostanze ototossiche, interazioni con sorgenti vibranti, ecc.) • Si sono già verificati danni per la stessa mancanza rilevata (incidenti, infortuni, malattie professionali). 	<ul style="list-style-type: none"> • Esiste una correlazione tra l'attività e/o l'agente pericoloso utilizzato e il peggioramento dell'andamento infortunistico e/o malattie professionali su un periodo significativo (tre, cinque anni). • Esiste una correlazione diretta tra il fattore di rischio e la causa legata a un danno. • Si sono già verificati danni per la stessa mancanza rilevata (incidenti, infortuni, malattie professionali) in un arco di tempo ristretto

Tabella 4.2 Valutazione indice delle probabilità IP

Indice di rischio ID	Valutazione	Piano di azione
4	MOLTO ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità molto alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
3	ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
2	MODERATO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Verificare che esistano i controlli degli elementi di rischio e se sia necessario sottoporre l'Area ad analisi per definire, se del caso, gli interventi di prevenzione e protezione, per ridurre i rischi
1	IRRILEVANTE	Mantenere il controllo degli elementi di rischio

Tabella 4.3 Piano di azione

Per l'applicazione del piano di azione è possibile notare come anche in questo in questo caso viene riferito esclusivamente in merito all'indice di rischio ID.

Capitolo 5

Illuminazione

5.1 Legislazione sull'illuminazione

Per quanto concerne la valutazione del rischio illuminazione all'interno delle strutture lavorative, l'allegato IV D.Lgs. 81/2008 [13] e s.m.i. specifica che, ad esclusione dei casi in cui ci si trovi in luoghi di lavori quali i sotterranei, che necessitano obbligatoriamente di luce artificiale, è sempre obbligatorio disporre di sufficiente luce naturale.

Il rispetto delle prescrizioni deve tener conto della sicurezza, del comfort visivo, della limitazione dell'abbagliamento e della resa dei colori, così da non cagionare il peggioramento della vista.

Laddove le condizioni impongono l'adozione di luce artificiale, i dispositivi utilizzati devono essere conformi a tutte le disposizioni in merito al fine di salvaguardare sicurezza, salute e benessere dei lavoratori.

Gli impianti di illuminazione devono essere installati evitando accuratamente che possano poi costituire un pericolo di natura infortunistica ai lavoratori, e poiché la sola illuminazione artificiale può essere soggetta a dei guasti, è necessario provvedere ad una illuminazione di sicurezza di opportuna intensità.

La legge prescrive che le vetrate illuminanti e i dispositivi di illuminazione artificiale devono essere costantemente sottoposti a pulizia ed in condizioni di efficienza.

Gli ambienti, i posti di lavoro e i passaggi devono essere predisposti ad essere adeguatamente illuminati da luce naturale od artificiale, e devono inoltre essere presenti dispositivi di illuminazione sussidiaria in determinati luoghi conosciuti dal personale.

Il D.Lgs. 81/2008 non fornisce dei limiti minimi, permettendo l'adeguamento in ottemperanza delle più diffuse normative internazionali [30]. In Italia le normative di riferimento sono la UNI EN 12464:2011 "Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni", e la UNI EN 12464:2014 "Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 2: Posti di lavoro in esterno". I parametri considerati nella normativa sono [31]:

- Illuminamento;
- Resa dei colori;
- Abbagliamento.

La normativa prescrive per ogni tipologia di condizione e ambiente lavorativo, l'osservanza di valori minimi di Lux per la realizzazione di una efficace illuminazione; inoltre per garantire ambienti di lavoro sani è bene preferire:

- lampade aventi uno spettro quanto più possibile simile a quello della luce naturale;
- evitare di collocare le sorgenti luminose in modo che originino ombre sul piano di lavoro;
- mantenere la pulizia e l'efficienza dei corpi luminosi, ricordando che il flusso luminoso emesso dalle lampade si riduce nel tempo non solo in funzione della durata di vita media, ma pure per il depositarsi di polvere e sporczia su di esse.

La norma UNI EN 12464 dà indicazioni sulle scelte delle tipologie luminose da utilizzare negli impianti interni in base alle destinazioni d'uso degli ambienti:

- Uffici: tubi fluorescenti, lineari o compatti;
- Stabilimenti: tubi fluorescenti lineari, sodio ad alta pressione, alogenuri metallici;
- Abitazioni: tubi fluorescenti compatti.

Per le eventuali operazioni di saldatura è obbligatorio usare sempre gli appropriati occhiali o maschere protettive per gli occhi come indicato nell'allegato VIII del D.Lgs. 81/08; per questo tipo di operazioni che producono elevati livelli di luminanza nel campo visivo, quindi estremamente nocivo per gli occhi.

Di seguito viene riportata una schematizzazione dei valori di luminosità indicati in un ambiente quale il siderurgico in questione:

Industrie	Grossolano 50 - 300 Lx	Medio 150 - 500 Lx	Fine 300 - 750 Lx	Finissimo 750 - 2000 Lx
Metalmeccanica	Grosse fusioni, trafilatura, forgiature, pulizia grossolana	Fusioni piccole o di forma semplice, torni, frese, montaggi semplici	Fusioni complesse, trafilatura fine, fresatura, regolazione di macchine, montaggi fini, stampaggio	Lavori di precisione, incisioni, cesellatura, bobinatura, orologeria e simili
Chimica	Lavori al forno, macinazione, sedimentazione, essiccazione	Distillazione, filtrazione, cristallizzazione, essiccazione meccanica	Filtrazioni delicate, estrazioni, celle elettrolitiche	Misure colorimetriche, misure di precisione

Tabella 5.1 Valori di illuminamento

I valori relativi agli illuminamenti possono variare da un massimo ad un minimo sulla base delle variazioni positive o negative di varie condizioni influenti sul compito visivo; i lavoratori che operano con oggetti di piccole dimensioni o quando il compito visivo è di notevole importanza dovrebbero utilizzare l'illuminamento massimo consigliato per il tipo di lavoro.

5.2 Valutazione indice di rischio e piano di azione

Nel caso della valutazione dei rischi prevista per lo stabilimento in questione risultano valide le seguenti definizioni [31]:

E_{mis} = valore di illuminamento misurato in lux, mediante luxmetro posto direttamente sul piano di lavoro;

E_{rif} = valore di illuminamento misurato sempre in lux, riportato per specifica attività lavorativa nella norme tecniche precedentemente indicate con l'indice E_m .

<input type="checkbox"/> IR=4	<input type="checkbox"/> IR=9	<input type="checkbox"/> IR=12	<input type="checkbox"/> IR=16
Ambienti di lavoro con valori di illuminamento E_{mis} superiore o uguali ai rispettivi valori di norma per specifica attività lavorativa così come definita dalla norma UNI EN 12464 -1 (ambienti di lavoro interni) e UNI EN 12464 - 2 (ambienti di lavoro esterni).	Ambienti di lavoro con valori di illuminamento E_{mis} compresi tra il rispettivo valore di norma e il 75% di esso per specifica attività lavorativa così come definita dalla norma UNI EN 12464 -1 (ambienti di lavoro interni) e UNI EN 12464 - 2 (ambienti di lavoro esterni).	Ambienti di lavoro con valori di illuminamento E_{mis} compresi tra il 75% del rispettivo valore di norma e il 50% di esso per specifica attività lavorativa così come definita dalla norma UNI EN 12464 -1 (ambienti di lavoro interni) e UNI EN 12464 - 2 (ambienti di lavoro esterni).	Ambienti di lavoro con valori di illuminamento E_{mis} inferiore al 50% del rispettivo valore di norma per specifica attività lavorativa così come definita dalla norma UNI EN 12464 -1 (ambienti di lavoro interni) e UNI EN 12464 - 2 (ambienti di lavoro esterni).
$E_{mis} \geq E_{rif}$	$0.75 E_{rif} \leq E_{mis} < E_{rif}$	$0.75 E_{rif} < E_{mis} \leq 0.5 E_{rif}$	$E_{mis} < 0.5 E_{rif}$

Tabella 5.2 Indice di rischio IR

L'attuazione del piano di azione effettuato attraverso l'indice IR viene indicato di seguito:

Indice di rischio IR	Valutazione	Piano di azione
16	MOLTO ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità molto alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
12	ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
9	MODERATO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Verificare che esistano i controlli degli elementi di rischio e se sia necessario sottoporre l'Area ad analisi per definire, se del caso, gli interventi di prevenzione e protezione, per ridurre i rischi
4	IRRILEVANTE	Mantenere il controllo degli elementi di rischio

Tabella 5.3 Piano di azione

Per questo come per tutti gli altri rischi resta imprescindibile la responsabilità del Dirigente di Area.

Capitolo 6

Conclusioni - Criticità del metodo a matrice

Nella tabella seguente viene ripresa la matrice utilizzata nello stabilimento per la valutazione del rischio adoperato:

INDICE "D" (Danno potenziale)	4	4 MODESTO	8 MODERATO	12 ALTO	16 MOLTO ALTO
	3	3 MODESTO	6 MODERATO	9 MODERATO	12 ALTO
	2	2 MODESTO	4 MODESTO	6 MODERATO	8 MODERATO
	1	1 MODESTO	2 MODESTO	3 MODESTO	4 MODESTO
		1	2	3	4
		INDICE "P" (Probabilità)			

Una prima criticità che risulta essere evidente analizzando il piano di azione sia per il rischio legato al rumore che quello legato alle vibrazioni, è il fatto che venga considerato esclusivamente l'indice legato al rischio del danno ID per l'applicazione del piano; di seguito vengono riprese le schematizzazioni legate ad i piani di azione rispettivamente nel caso di rischio rumore e di rischio vibrazioni:

Indice di rischio ID	Valutazione	Piano di azione
4	MOLTO ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità molto alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
3	ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
2	MODERATO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Verificare che esistano i controlli degli elementi di rischio e se sia necessario sottoporre l'Area ad analisi per definire, se del caso, gli interventi di prevenzione e protezione, per ridurre i rischi
1	IRRILEVANTE	Mantenere il controllo degli elementi di rischio

Indice di rischio ID	Valutazione	Piano di azione
4	MOLTO ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità molto alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
3	ALTO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Area da sottoporre ad analisi specifica per definire con priorità alta i miglioramenti da apportare per ridurre i rischi
2	MODERATO	Obbligo di attuazione di un piano di miglioramento Verificare che esistano i controlli degli elementi di rischio e se sia necessario sottoporre l'Area ad analisi per definire, se del caso, gli interventi di prevenzione e protezione, per ridurre i rischi
1	IRRILEVANTE	Mantenere il controllo degli elementi di rischio

Si nota quindi come venga data priorità all'esame del danno non tenendo in considerazione che nella tabella matriciale si possono raggiungere le stesse soglie che implicano l'applicazione del piano di azione anche considerando invece esclusivamente l'indice legato alla probabilità che una evento negativo per la salute e la sicurezza dei lavoratori possa accadere.

A tal proposito potrebbe rivelarsi opportuna una modifica nella valutazione del piano di azione sostituendo l'*indice di rischio ID* con l'*indice di rischio ID=IP* che tenga conto quindi della criticità derivante dalla valutazione definita MODERATO ALTO E MOLTO ALTO anche nel caso di basso indice del danno ma con elevata probabilità di accadimento.

Se la modifica ipotizzabile da una parte rende più completo e affidabile lo sviluppo del piano di azione, dall'altra non induce alcuna soluzione alla problematica relativa ai diversi effetti implicati quando la valutazione viene indirizzata sui livelli indicati MODESTO MODERATO E ALTO.

Il livello denominato MOLTO ALTO infatti non mostra criticità concettuali dal momento che l'unica combinazione in grado di attivare tale soglia è quella che prevede la contemporanea presenza dei valori massimi di scala dei parametri indice di danno ed indice di probabilità.

Nel dettaglio è possibile esemplificare tale criticità considerando separatamente le due direzioni che inducono a trovarsi nella situazione del livello ALTO che quindi induce una elevata allerta per il piano di azione.

Considerando la tabella matriciale orientata secondo il classico riferimento delle ascisse e delle ordinate, si può a titolo di esempio raggiungere il livello identificato con la denominazione ALTO procedendo lungo la direzione orizzontale delle ascisse, e tale livello si ottiene quindi per valore individuato attraverso indice di danno di valore 2, e probabilità di valore 4.

Lo stesso risultato si ottiene procedendo lungo le ordinate, considerando l'indice di probabilità di valore 2, ed indice di danno di valore 4. Da questo esempio si evince come per assurdo si attiva il medesimo livello del piano di azione, il terzo per gravità su una scala di quattro azioni sia per situazioni che hanno una elevata probabilità di accadimento ma con conseguenze abbastanza

limitate, sia invece in situazioni in cui l'evento ha una non elevata probabilità di accadimento, ma nei casi in cui si verifica induce conseguenze incluse nel livello massimo. Risulta evidente come non possa essere considerata ottimale una valutazione effettuata secondo tali principi, dal momento che in situazioni che presentano indice di danno massimo (4), scatti il piano di azione previsto al terzo posto di quattro indicati nella scala di drasticità e immediatezza degli interventi.

Una ulteriore criticità viene indotta dalla analisi delle misure legate al livello denominato con MODESTO; se si procede nella direzione delle ascisse, si nota come il livello risulti MODESTO nella condizione in cui si ha un elevata probabilità di accadimento (4) con il minimo del danno (1); identico livello si raggiunge effettuando una analisi lungo la direzione delle ordinate, considerando una bassa probabilità di accadimento (1) ma considerando il massimo valore del danno presente in scala (4); gli interventi previsti risultano essere racchiusi nello stesso livello di azione denominato MODESTO, che non tiene conto degli effetti e per assurdo prevede le stesse misure quando un evento ha basse probabilità di accadimento, sia che possa provocare danni limitatissimi, sia che possa provocare invece danni gravissimi e potenzialmente letali. Risulta abbastanza evidente come non sia possibile ritenere ottimale un sistema che prevede il minimo degli interventi per ogni tipologia di gravità del danno considerata, solo per il fatto che si basa su una scarsa probabilità di accadimento; deve essere chiaro come non possa essere tralasciata la sicurezza e la salute del lavoratore, e per quanto bassa possa essere la probabilità di danni che causino danni permanenti o peggio lesioni letali, non è possibile tralasciarla senza porre in essere misure più restrittive per evitarne l'accadimento.

Per l'illuminamento la criticità è legata al fatto che risulta necessario riportare in modo esplicito il riferimento utilizzato per la stima dei limiti delle successive categorie dell'indice di rischio (IR = 9, 12, 16), e oltretutto non è spiegata in modo esaustivo la scelta dei limiti calcolati a 75% e 50% di E_{rif} . In conclusione sarebbe auspicabile effettuare una differente ripartizione delle valutazioni in molte situazioni di rischio nelle quali risulta un indice di rischio definito MODESTO.

Bibliografia

- [1] Borroni A. , *Notizie generali sul comparto - I profili di rischio nei comparti produttivi dell'artigianato, delle piccole e medie industrie e pubblici esercizi: "Acciaierie ad arco"*, Milano, maggio 2005
- [2] http://www.federacciai.it/wp-content/uploads/2017/09/Siderurgia_in_cifre2016.pdf (ultima visita: aprile 2018)
- [3] <http://www.ilsole24ore.com/art/impresa-e-territori/2018-01-31/l-italia-resta-top-ten-produttori-acciaio-110535.shtml?uuid=AEJZX1rD> (ultima visita: aprile 2018)
- [4] Milella Ing.P.P., *APAT: Il ciclo industriale dell'acciaio da forno elettrico in Italia, 2004* (<http://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003700/3778-ciclo-acciaio.pdf/>)
- [5] Ranieri Prof. G., *L'altoforno*
- [6] <https://it.wikipedia.org/wiki/Altoforno> (ultima visita: giugno 2018)
- [7] <https://it.wikipedia.org/wiki/Carbone> (ultima visita: giugno 2018)
- [8] <http://www.itaprochim.it/it/prodotti/coke-metallurgico> (ultima visita: giugno 2018)
- [9] http://www.liceovallone.gov.it/sicurezza/images/pdf/Formazione/storia_giuridica.pdf (ultima visita: luglio 2018)
- [10] <https://www.anfos.it/sicurezza/europa/> (ultima visita: aprile 2018)
- [11] <https://www.alavie.it/2014/06/30/obblighi-sulla-salute-sicurezza-ambienti-di-lavoro-aziende-con-sedi-anche-allestero/> (ultima visita: aprile 2018)
- [12] <https://www.puntosicuro.it/sicurezza-sul-lavoro-C-1/altre-categorie-C-8/lo-sapevi-che-il-significato-della-massima-sicurezza-fattibile-AR-8715/>(ultima visita: aprile 2018)
- [13] D.Lgs . 9 Aprile 2008, n°81, testo coordinato con il D.Lgs. 3 Agosto 2009, n° 106
- [14] https://it.wikipedia.org/wiki/Valutazione_del_rischio(ultima visita: giugno 2018)
- [15] *Attività subacquee di ISPRA e AA – criteri di valutazione dei rischi ed esempi di valutazione.* Rev giugno 2013
- [16] *Linee guida per la valutazione del rischio rumore negli ambienti di lavoro*, ISPESL 2005
- [17] *Raccomandazioni per la prevenzione dei rischi da rumore in applicazione del titolo VIII – capo II del Dlgs. 9/4/2008 n°81 , Regione Piemonte*
- [18] UNI 9432:2011, *Determinazione del livello di esposizione personale al rumore nell'ambiente di lavoro*

- [19] UNI EN ISO 9612:2011, *Acustica - Determinazione dell'esposizione al rumore negli ambienti di lavoro - Metodo tecnico progettuale*
- [20] UNI 11347:2015, *Acustica - Programmi aziendali di riduzione dell'esposizione a rumore nei luoghi di lavoro*
- [21] <https://www.silvent.com/it/come-possiamo-aiutarti/ambiente-di-lavoro/dati-su-suoni-e-rumore/rumore-e-livelli-di-rumore-normative-e-regolamenti/> (ultima visita: agosto 2018)
- [22] <https://www.slideshare.net/famianigiuseppe/la-ototossicit> (ultima visita: settembre 2018)
- [23] <https://www.safe-engineering.it/2016/06/13/influenza-tra-rumore-vibrazioni-e-sostanze-ototossiche/> (ultima visita: settembre 2018)
- [24] MACI L., DE BELVIS A.G., TAVOLARO M., *Sulla possibile interazione tra rumore "occupazionale" e sostanze ototossiche .*
- [25] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0010&from=IT> (ultima visita: luglio 2018)
- [26] UNI EN ISO 5349-1:2004, *Vibrazioni meccaniche - Misurazione e valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse alla mano - Parte 1: Requisiti generali*
- [27] ISO 2631-1:2014, *Vibrazioni meccaniche e urti - Valutazione dell'esposizione dell'uomo alle vibrazioni trasmesse al corpo intero - Parte 1: Requisiti generali*
- [28] Direttiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, giugno 2002 (<https://www.ambientediritto.it/Legislazione/Sicurezzalavoro/2002/dir%202002%2044%20ce.pdf>)
- [29] http://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_calcolo_livello_1.php?lg=IT (ultima visita: maggio 2018)
- [30] <http://www.ingegneri.info/news/sicurezza/illuminamento-nei-luoghi-di-lavoro-e-valutazione-dei-rischi/>(ultima visita: agosto 2018)
- [31] M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato
- [32] ISPESL, *Linee guida per la valutazione del rischio nella Piccola e Media impresa*
- [33] Stolfa A., *La valutazione dei rischi*, I working papers di Olympus – 36/2014, 2014

Immagini

Figura 1.1 Borroni A. , *Notizie generali sul comparto - I profili di rischio nei comparti produttivi dell'artigianato, delle piccole e medie industrie e pubblici esercizi: "Acciaierie ad arco"*, Milano, maggio 2005

Figura 1.2 Federacciai, *La siderurgia italiana in cifre 2016*

Figura 1.3 Federacciai, *La siderurgia italiana in cifre 2016*

Figura 1.4 Federacciai, *La siderurgia italiana in cifre 2016*

Figura 1.5 Federacciai, *La siderurgia italiana in cifre 2016*

Figura 1.6 Josu P., *Opera propria, un vecchio altoforno a Sestao*, Spagna

Figura 1.7 APAT, *Il ciclo industriale dell'acciaio da forno elettrico in Italia*, 2004
(<http://www.isprambiente.gov.it/contentfiles/00003700/3778-ciclo-acciaio.pdf/>)

Figura 1.8 Rob Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0, CC BY-SA 3.0,
(<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10429382>)

Figura 1.9 U.S. Geological Survey and the Mineral Information Institute - US Government,
Pubblico dominio, (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=188992>)

Figura 1.10 Aangelo - Opera propria, CC BY-SA 3.0,
(<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3104980>)

Figura 1.11 Ranieri Prof. G., *L'altoforno*

Figura 1.12 <http://www.electroyou.it/asdf/wiki/ghisa-produzione-altoforno-classificazione-e-designazione> (Copyright© 2001-2015 Ing. Zeno Martini & dr. Nicolò Martini. Tutti i diritti riservati.)

Figura 1.13 Tosaka - Opera propria, CC BY 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4210261>

Tabella 2.1 *Attività subacquee di ISPRA e AA – criteri di valutazione dei rischi ed esempi di valutazione*. Rev giugno 2013

Tabella 2.2 *Attività subacquee di ISPRA e AA – criteri di valutazione dei rischi ed esempi di valutazione*. Rev giugno 2013

Tabella 2.3 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Tabella 2.4 *Attività subacquee di ISPRA e AA – criteri di valutazione dei rischi ed esempi di valutazione*. Rev giugno 2013

Tabella 2.5 *Attività subacquee di ISPRA e AA – criteri di valutazione dei rischi ed esempi di valutazione.* Rev giugno 2013

Tabella 2.6 *Attività subacquee di ISPRA e AA – criteri di valutazione dei rischi ed esempi di valutazione.* Rev giugno 2013

Figura 3.1 *Fonometro*, <https://www.dgtechgroup.it/fonometri.php>

Tabella 3.1 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Tabella 3.2 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Tabella 3.3 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Tabella 3.4 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Figura 4.1 http://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_calcololivello_1.php?lg=IT

Figura 4.2 http://www.portaleagentifisici.it/fo_hav_calcololivello_1.php?lg=IT

Tabella 4.1 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Tabella 4.2 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Tabella 4.3 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Tabella 5.1 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Tabella 5.2 M.Masoero, L, Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato

Tabella 5.3 M.Masoero, L. Shtrepi, F. Bronuzzi- Documento interno al DENERG del Politecnico di Torino sull' analisi tecnica dei criteri di valutazione dei rischi di uno stabilimento siderurgico, non pubblicato