



DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEI RISCHI

VALUTAZIONE DEI RISCHI FISICI

EDIZIONE N° 01
REVISIONE N° 00
DATA 20/06/08

SEZIONE 04
PAGINA 1 di 17

SOMMARIO

PREMESSA	2
<i>INFORTUNI E MALATTIE PROFESSIONALI</i>	2
RADIAZIONI IONIZZANTI, RI	3
RADIAZIONI NON IONIZZANTI, RNI	4
<i>RADIOFREQUENZE E MICROONDE</i>	5
<i>La normativa ed i limiti di esposizione</i>	5
<i>Le misure di prevenzione protezione dalle RF e MO</i>	6
<i>CAMPI MAGNETICI STATICI</i>	7
<i>Normativa e limiti di esposizione ai campi magnetici statici</i>	7
<i>Misure di prevenzione e protezione per campi magnetici</i>	8
<i>RADIAZIONE UV</i>	9
<i>SISTEMI A LASER</i>	10
<i>Misure di prevenzione e protezione</i>	12
<i>ULTRASUONI</i>	13
<i>LIQUIDI E GAS CRIOGENI</i>	13
<i>Misure di prevenzione e protezione</i>	14
<i>RUMORE E VIBRAZIONI MECCANICHE</i>	15
<i>Il rumore</i>	15
<i>Vibrazioni meccaniche</i>	16



PREMESSA

Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti, laser, rumore, vibrazioni e illuminazione, microclima e fattori termici (caldo/freddo), sono fattori di rischio fisici potenzialmente pericolosi presenti nei laboratori di ricerca e di didattica; il loro impiego è così vario da non rendere possibile in queste brevi note una trattazione esauriente di tutti gli aspetti relativi alla sicurezza. Si fornisce una panoramica generale sui rischi, specialmente su quelli più frequenti ma anche meno noti, sulle misure di prevenzione e protezione e sulla normativa vigente, con esclusione di quelli connessi alla sicurezza elettrica e chimica (es. pericolo incendi, esplosioni, particolati dispersi in aria, ecc.) e degli aspetti microclimatici e di illuminazione dell'ambiente di lavoro.

INFORTUNI E MALATTIE PROFESSIONALI

Tutti i rischi, compresi quelli fisici, possono essere divisi in due grandi categorie:

- **Rischi per la sicurezza:** possono causare danni immediati - infortuni -, essi sono intrinseci agli: impianti elettrici; apparecchi a pressione e gas compressi; gas/liquidi criogeni, ecc.
- **Rischi per la salute:** possono produrre effetti negativi sulla salute dell'individuo esposto a malattie professionali (per alcuni agenti anche sulla progenie, per effetto genotossico e teratogeno); essi sono: radiazioni ionizzanti; radiazioni non ionizzanti; ventilazione e climatizzazione locali; illuminazione; rumore e vibrazioni.

I danni per la salute sono spesso posticipati nel tempo (anche a distanza di 10 o 20 anni) rispetto all'esposizione che li ha indotti; è necessario, pertanto, documentare adeguatamente le esposizioni professionali del personale. Tali fattori di pericolo, però, sono presenti anche negli ambienti di vita e non solo di lavoro; questa concausalità, associata all'indistinguibilità del fattore scatenante ed il ritardo temporale con cui si può presentare la malattia professionale portano spesso a sovrastimare l'incidenza del nesso lavorativo rispetto a fattori non professionali.

Un'analisi degli infortuni che accadono nei laboratori di ricerca, focalizzata sugli agenti fisici pericolosi, mostra che la loro incidenza è bassa. Non ci sono molti dati disponibili sulle malattie professionali, anche perché per alcuni dei rischi fisici gli effetti sull'uomo non sono ancora noti (ad es. le radiazioni non ionizzanti). Nel caso di quelle ionizzanti, invece, il lungo tempo di impiego, e gli studi condotti su vasti campioni di popolazione esposta, hanno condotto alla diffusa consapevolezza sui possibili effetti tra gli addetti ai lavori.



Radiazioni ionizzanti, RI

L'esposizione alle radiazioni ionizzanti è abbastanza frequente nei laboratori di didattica e di ricerca. Il DPR 185 del 1964, sostituito dal D.Lgs 230 del 1995, ha regolamentato per 30 anni l'impiego di materiali radioattivi e delle sorgenti radiogene. E' la normativa specifica più vetusta che ha segnato il percorso per le altre normative di settore, delineandone i principi generali e metodologici: giustificazione, ottimizzazione e limitazione delle dosi individuali dei lavoratori e della popolazione. Il D.Lgs 230/95 quantifica il rischio *rilevante* per esposizione alle radiazioni ionizzanti, quando fissa il limite di dose per i lavoratori non esposti uguale a quello della popolazione in generale, 1 mSv/anno, e definisce i livelli di radioattività al di sotto dei quali non è applicabile la norma stessa, ex allegati I e IV del D.Lgs 230/95.

Sulla scorta delle informazioni fornite dai ricercatori responsabili, all'esperto qualificato spetta di valutare il rischio, i livelli di esposizione e le dosi assorbite dalla popolazione e dai lavoratori. Egli è un professionista iscritto che "possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare gli esami fisici, tecnici o radiotossicologici, sia per fornire le indicazioni, a seconda del caso, occorrenti per garantire una protezione efficace degli individui e della popolazione".

Gli altri compiti (ex art. 79 e 80 D.Lgs 230/95) che spettano all'esperto sono: delimitare le aree (zone controllate ad accesso regolamentato e sorvegliate ad accesso limitato), classificare i lavoratori esposti di categoria A e B, e non esposti, proporre le norme e le procedure di radioprotezione, compresi i sistemi di controllo e di emergenza, istituire ed aggiornare la documentazione di sorveglianza fisica e partecipare alla formazione del personale e alla riunione periodica di sicurezza. In sostanza l'esperto qualificato è il consulente aziendale, interno o esterno, che affianca il Responsabile del SPP per le radiazioni ionizzanti.

Le principali misure di tutela, che devono essere valutate preventivamente dall'esperto qualificato, si basano sostanzialmente sulla combinazione di tre fattori:

- *adozione di dispositivi fissi o mobili*: schermature, difese contro le contaminazioni. sistemi di ventilazione, segnali di presenza di radiazioni o sostanze radioattive, uso di indumenti protettivi;
- *riduzione del tempo di esposizione*: la dose assorbita è proporzionale al tempo;
- *aumento della distanza* dalla sorgente: la dose assorbita è inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra operatore e sorgente γ -emittente; questo fattore riveste particolare rilevanza alle piccole distanze quando l'operatore manipola direttamente le sorgenti di irradiazione (es. provette contenenti sostanze marcate).

I possibili effetti delle radiazioni ionizzanti sull'uomo si distinguono in due categorie:



- danni *deterministici* (non *stocastici*: insorgono sull'individuo che è stato esposto - effetti somatici - abbastanza precocemente; frequenza e gravità variano con la dose; è individuabile una dose soglia al di sotto della quale l'effetto non si manifesta, che è funzione di: tipo di radiazione, frazionamento della dose, variabilità specifica del tessuto e dell'individuo;

- *danni stocastici*: per essi soltanto la probabilità di accadimento è funzione della dose e non la gravità; l'induzione è per danno ad una o poche cellule; per essi sembra non esistere una dose soglia; sono distribuiti casualmente tra la popolazione esposta, hanno un tempo di latenza anche molto lungo e sono aspecifici, e pertanto, possono essere attribuiti all'individuo solo su base probabilistica; essi comprendono; leucemie, tumori solidi, effetti genetici (mutazioni genetiche e aberrazioni cromosomi che, malattie ereditarie sulla prima generazione e quelle successive).

L'utilizzo delle radiazioni ionizzanti nei laboratori di ingegneria a Dalmine è limitato al diffrattometro a RX.

La detenzione e l'impiego delle sorgenti radiogene sono soggette a particolari autorizzazioni, locali o nazionali, in funzione del loro livello di pericolosità; inoltre, lo smaltimento dei rifiuti radioattivi segue procedure specifiche e non è regolamentato dal D.Lgs 22/97; conviene, comunque, riferirsi all'esperto qualificato incaricato della radioprotezione, per la loro corretta individuazione.

Radiazioni non ionizzanti, Rni

L'estesa varietà delle radiazioni non ionizzanti, Rni, rispetto per es. a quelle ionizzanti, risulta con evidenza fin dalla loro elencazione; esse infatti comprendono gran parte dello spettro elettromagnetico:

- Campi elettrici e magnetici statici e debolmente dinamici
- Radiazione elettromagnetica:
 - Extremely Low Frequencies, ELF, $\nu < 300$ Hz,
 - Radiofrequenze, RF:
 - Onde radio, OR: $300 \text{ Hz} < \nu < 300 \text{ MHz}$;
 - Microonde, MO: $300 \text{ MHz} < \nu < 300 \text{ GHz}$
 - Radiazione ottica: infrarosso, IR: $300 \text{ GHz} < \nu < 385 \text{ THz}$; ottica (visibile): 385-750 THz; ultravioletto, UVA+UVB+UVC; $750 \text{ THz} < \nu < 3.000 \text{ THz}$; laser (energia coerente) e varie frequenze nel visibile e nell'invisibile;
- Ultrasuoni: $\nu > 20 \text{ kHz}$ ($0,15 < \nu < 30 \text{ MHz}$); e Infrasuoni.

Non esiste per queste radiazioni una norma organica, ad eccezione di alcuni decreti specifici in particolare, per gli ambienti di vita (livelli di campo per elettrodotti, impianti radio base, ecc.); le norme tecniche CEI e le pubblicazioni dell'ISPESL o dell'ISS e dell'ACGIH, pertanto, fungono da principale riferimento (si veda la relativa bibliografia).



Si tenga presente che, spesso, a questi rischi ne sono associati altri di diversa natura, in funzione delle apparecchiature e delle metodologie utilizzate: gas compressi; gas criogeni e movimentazione manuale dei carichi (es. nel caso di magneti trasportabili); esposizione ad altri agenti fisici, chimici o biologici in relazione al tipo di attività svolta.

Radiofrequenze e Microonde

Le radiofrequenze ($100 \text{ kHz} \leq \nu \leq 300 \text{ MHz}$) -RF- e le microonde ($300 \text{ MHz} < \nu \leq 300 \text{ GHz}$) - MO -, sono radiazioni non ionizzanti la cui energia, trasportata sotto forma di campo elettromagnetico, viene in parte assorbita e in parte riflessa dagli oggetti che l'onda incontra, con modalità ed in misura diversa a seconda della sua frequenza e delle caratteristiche dell'oggetto.

L'energia assorbita dai tessuti biologici può produrre, superati taluni livelli di esposizione, effetti a breve termine di:

- natura termica: opacità del cristallino, con una soglia: $>100\text{-}150 \text{ mW/cm}^2$ e potenziale effetto cumulativo; lesioni testicolari, in discussione con soglia: $> 0,5 \text{ kW/m}^2$.
- natura non termica (ruolo concasuale) - stimolazione di organi eccitabili elettricamente: s. astenica; s. astenico-vegetativa vascolare; s. diencefalica;
- elettrocuzione e bruciature, in caso di contatto, correnti $> 50 \text{ mA}$;
- altri effetti a lungo termine (non dimostrati): insorgenza di tumori e neoplasie cerebrali. Non sono ancora noti gli effetti di esposizioni croniche a bassi livelli di energia elettromagnetica.

A titolo cautelativo sono state ipotizzate controindicazioni all'esposizione, a livelli di RF e MO superiori a quelli fissati per la popolazione, per soggetti che presentano: dispositivi elettrici impiantati (es. pacemaker, defibrillatori); gravi alterazioni ad organi ed apparati ritenuti bersaglio delle radiazioni non ionizzanti (sistema nervoso, gonadi e organi ematopoietici); donne in stato di gravidanza ed allattamento; soggetti di età inferiore a 18 anni.

La normativa ed i limiti di esposizione

In carenza di una normativa organica, si fa riferimento ai limiti di esposizione per i lavoratori fissati dalla norma CEI-ENV 50166-2 e ai limiti di esposizione per la popolazione definiti dal DM 381/98 ed a quelli proposti recentemente da ISPEL e ISS in un documento congiunto, espressi in: densità di potenza media; valore efficace del campo elettrico - mediato su un qualsiasi intervallo di 6 minuti-; valore efficace del campo magnetico; rateo assorbimento specifico, SAR, e assorbimento specifico, SA.



DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEI RISCHI

VALUTAZIONE DEI RISCHI FISICI

EDIZIONE N° 01
REVISIONE N° 00
DATA 20/06/08

SEZIONE 04
PAGINA 6di 17

Per la popolazione vengono generalmente fissati limiti inferiori rispetto a quelli dei lavoratori; per essa, infatti, si deve tenere conto di tutte le attività possibili, delle età e delle condizioni di salute dei soggetti esposti ed anche della loro non consapevolezza di alcuni degli effetti dell'esposizione ai campi elettromagnetici, mentre i lavoratori possono essere seguiti in modo particolare, addestrati ed informati. E' stato pubblicato recentemente il DM Sanità 381/98 relativo ai limiti di esposizione per la popolazione ai campi elettromagnetici connessi al funzionamento di sistemi fissi operanti nell'intervallo di frequenza compresa tra 100 kHz e 300 GHz; i valori sono più bassi di quelli indicati a livello europeo: ciò non mancherà di creare problemi applicativi.

Le misure di prevenzione protezione dalle RF e MO

I livelli di intensità di campo nelle zone di stazionamento degli operatori, dipendono da: potenza del generatore; caratteristiche degli elettrodi; grado di schermatura (completa o parziale); distanza dalla sorgente emittente in funzione della frequenza. 1 mezzo per ridurre l'intensità del campo variano in funzione della banda di frequenza, delle caratteristiche dell'apparecchiatura e della modalità di utilizzo.

La riduzione del rischio è possibile mediante: attenuazione dell'intensità dei campi; riduzione dei tempi di esposizione nel rispetto dei limiti di picco; aumento della distanza delle postazioni di lavoro dalla sorgente emittente in funzione della frequenza; eliminazione di esposizioni indebite di personale non addetto all'attività specifica.

Nei laboratori le misure di protezione possono essere attive o passive: quelle attive agiscono direttamente sul campo elettromagnetico in modo da ridurlo entro i limiti di sicurezza, quelle passive riguardano il comportamento dell'operatore. La protezione attiva si attua mediante l'introduzione di schermature (della sorgente c/o dell'area operativa) e l'utilizzo di dispositivi di protezione individuale (ad es. tessuto riflettente le MQ); quella passiva limitando l'accesso alle zone interessate da campi intensi, riducendo il tempo di esposizione e allontanando le postazioni di lavoro e i comandi dell'apparecchio dalle zone di campo più intenso. Agli ingressi alle zone delimitate che ospitano l'apparecchiatura deve essere affissa idonea segnaletica, per indicare la presenza dei campi elettromagnetici e il divieto di accesso al personale non autorizzato, nonché alle categorie di persone per cui esistano controindicazioni. Nella zona ad accesso controllato non possono essere allestite postazioni di studio o di lavoro, ovvero svolte attività che comportano permanenze prolungate nel tempo.

Diventa importante perciò che vengano delimitate zone ad accesso regolamentato e/o limitato, definite procedure e norme comportamentali e che venga formato ed informato

***Campi magnetici statici***

I campi magnetici statici possono comportare:

- effetti biologici (interazioni elettrodinamiche con elettroliti in movimento, correnti indotte a causa del movimento dell'individuo nel campo, magnetoorientamento di molecole diamagnetiche e paramagnetiche);
- effetti magnetomeccanici: traslazione di materiali paramagnetici e ferromagnetici presenti nell'organismo;
- attrazione meccanica di oggetti ferromagnetici nelle vicinanze del magnete;
- interferenza con dispositivi medicali impiantati, ad esempio pacemaker.

E' da rilevare che nei laboratori possono essere presenti elevati campi magnetici generati sia da apparecchiature di dimensioni non trascurabili (ad es. impianti di risonanza magnetica nucleare, NMR) sia da piccoli magneti, che proprio per la loro ridotta dimensione, portano a sottovalutare l'eventuale intenso campo presente.

I rischi principali connessi alla presenza e all'uso di sorgenti di elevato campo magnetico statico sono:

- esposizione a livelli di campo che possono essere superiori, anche di parecchi ordini di grandezza, al campo magnetico terrestre;
- movimento incontrollato di oggetti ferromagnetici attratti dal campo.

Esistono controindicazioni per esposizione a elevati campi magnetici da parte di: donne in stato di gravidanza; soggetti affetti da anemia falciforme e/o soggetti di età inferiore a 14 anni; portatori di pacemaker, protesi metalliche o dotate di circuiti elettronici, clips metalliche ferromagnetiche post-chirurgiche o schegge metalliche. E' necessario pertanto, adottare una procedura che permetta di individuare preventivamente eventuali studenti e/o frequentatori per cui sussistano controindicazioni all'esposizione, nel rispetto della legge sulla privacy anche per le attività per cui non sia richiesto un programma di sorveglianza sanitaria.

Normativa e limiti di esposizione ai campi magnetici statici

Il concetto di dosimetria per quanto concerne il campo magnetico statico è di difficile definizione in quanto deve tenere conto di molteplici aspetti di differente natura, ossia:

- parametri che riguardano la sorgente del campo: polarizzazione; intensità; uniformità e isotropia; proprietà magnetiche dei materiali circostanti;
- parametri relativi all'esposizione: caratteristiche del tessuto (conducibilità, anisotropia, permeabilità); dimensioni e geometria; orientazione in relazione al piano di polarizzazione del campo; tipo (corpo intero, o parte di esso) e durata dell'esposizione;
- altri fattori: oggetti metallici e/o dispositivi medicali impiantati; oggetti metallici nel campo.



Considerati tali aspetti, i criteri di protezione sono necessariamente basati sull'intensità del campo ove si trova l'operatore e sulla durata dell'esposizione.

In ambito nazionale non esiste una norma specifica riguardo l'esposizione a campi magnetici statici; per analogia, pertanto, i livelli di riferimento possono essere quelli riportati dal D.M. 02/08/91, che è rivolto all'utilizzo di apparecchiatura a risonanza magnetica nucleare in diagnostica, per quanto concerne i tempi massimi di esposizione degli operatori e l'inquinamento ambientale (delimitazione delle zone a rischio), e dalla norma CEI-ENV 50166-1 e dall'ISPESL-ISS per i limiti raccomandati per l'esposizione professionale e della popolazione, in sintonia con quelli proposti dall'ICNIRP.

La maggior parte degli stimolatori cardiaci non sono verosimilmente disturbati in campi al di sotto di 0,5 mT; pertanto i portatori di pacemaker e di defibrillatori impiantati devono evitare luoghi dove l'induzione magnetica sia superiore a 0,5 mT. Altri sistemi elettronici vitali, quali protesi auricolari elettroniche, pompe per insulina, protesi attive a controllo elettronico e sistemi per la stimolazione muscolare possono essere suscettibili a induzioni magnetiche statiche superiori a pochi mT, specialmente se la persona si muove all'interno del campo.

Misure di prevenzione e protezione per campi magnetici

Per il rischio da esposizione a campi magnetici la miglior garanzia di sicurezza è la distanza. La permanenza nelle zone interessate da livelli di campo elevati deve pertanto essere giustificata ed ottimizzata: il ricercatore sia esposto al livello di campo di minore intensità possibile e per il minor tempo. La miglior soluzione è la delimitazione delle zone ad accesso regolamentato e/o limitato, come definite dal D.M. 2/08/91:

- *Zone ad accesso controllato* le aree in cui il campo disperso di induzione magnetica è pari o superiore a 0,5 mT: $B > 0,5 \text{ mT}$;
- *Zone di rispetto* le aree interessate da valori di campo disperso di induzione magnetica compresi tra 0,1 mT e 0,5 mT: $0,1 \text{ mT} < B < 0,5 \text{ mT}$;
- *Zone a libero accesso* le aree interessate da valori di campo disperso di induzione magnetica inferiori a 0,1 mT: $B < 0,1 \text{ mT}$.

Agli ingressi alle zone controllate e al laboratorio che ospita l'apparecchiatura deve essere affissa idonea segnaletica permanente, atta ad indicare la presenza del campo magnetico e il divieto di accesso a portatori di pacemaker e/o defibrillatori, nonché alle categorie di persone per cui esistano controindicazioni e per impedire l'introduzione accidentale di oggetti ferromagnetici. Per individuare il limite di esposizione per sottoporre i lavoratori a visita medica, si può adottare il criterio generale, del superamento dei limiti della popolazione.

Nella zona ad accesso controllato non possono essere allestite postazioni di studio o di lavoro, ovvero svolte attività che comportano permanenze prolungate nel tempo.



L'estintore, disponibile in prossimità dell'impianto, deve essere in materiale amagnetico; è consigliabile impiegare estintori a CO₂. Ove possibile (ad esempio in caso di elettromagnete) prima di intervenire in emergenza ed in vicinanza del magnete, attivare la procedura di spegnimento del dispositivo.

Radiazione UV

Le radiazioni ultraviolette si situano tra i raggi X, $100 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$, e la luce visibile, e sono suddivise in 3 gruppi, anche in funzione dei danni che possono provocare;

- UVA, vicino: $400 < \lambda < 315 \text{ nm}$: luce nera: induce fluorescenza;
- UVB, medio: $315 < \lambda < 280 \text{ nm}$: spettro d'azione per l'eritema;
- UVC, lontano: $280 < \lambda < 200 \text{ nm}$: lampade germicide: inattivazione virus e batteri; massimo assorbimento del DNA (260 nm); mutagenicità ed oncogenicità;
- UVV, vuoto: $200 < \lambda < 100$.

La problematica è complessa, perché spesso l'irradiazione non è monocromatica, ma si estende su uno spettro ampio. A titolo di esempio, si riportano gli effetti biologici e le caratteristiche della luce di saldatura:

- le saldature comprendono buona parte dello spettro, le λ emesse dipendono dal tipo di saldatura (gas, saldo-brasatura, ossitaglio - tenore di O):
- luce UV è il 5% energia emessa e viene assorbita dalla cornea e congiuntiva, provocando la congiuntivite da saldatore ovvero bruciate della pelle
- luce visibile è il 25% energia emessa, arriva alla retina e può provocare emicranie, abbagliamento, lesioni alla retina;
- l'IR è il 70% dell'energia emessa, il 12% di essa raggiunge la retina, provocando lesioni per il calore, il rimanente provoca la cataratta da calore ed il riscaldamento della pelle del viso e mani.

L'esposizione agli UV è legata principalmente ad attività di: fusione e taglio del metallo; fabbricazione, controllo e impiego di lampade fluorescenti ed ai vapori di mercurio, sterilizzazione, fototerapia, studio di danni da radiazioni, ecc. Le sorgenti artificiali di UV maggiormente impiegate sono:

- sorgenti incandescenti: lampade al tungsteno;
- sorgenti a scarica in un gas: lampade al mercurio (bassa, media, alta pressione); lampade germicide; lampade allo xenon; lampade ad idrogeno e deuterio;
- sorgenti fluorescenti: lampade fluorescenti; lampade solari, UVB; lampada a luce nera, UVA.



Di queste, quelle che si incontrano più frequentemente nei laboratori sono:

- lampade germicide a bassa pressione di mercurio, UVC. per disinfezione dell'aria di ambienti confinati o di liquidi e nella sterilizzazione dei materiali;
- lampade fluorescenti a bassa, media e alta pressione impiegate in applicazioni di fotochimica, induzione di reazioni e danni sui materiali, polimerizzazione di molecole ed induzione di fluorescenza nei materiali;
- transilluminatori, 312 nm, per la visualizzazione di strutture molecolari, DNA;

In Italia non esiste una legge specifica, per cui si fa riferimento alle linee guida IRPA/ICNIRP recepite dall'Istituto Superiore di Sanità.

Le principali misure di prevenzione e protezione, oltre ai DPI, alla formazione ed informazione del personale ed alle eventuali visite mediche, sono:

- *confinamento delle sorgenti*, attraverso la delimitazione delle aree e la predisposizione di segnalazioni e di idonee barriere che impediscano l'accesso accidentale;
- *riduzione del tempo di esposizione*: la dose assorbita è proporzionale al tempo;
- *aumento della distanza sorgente-operatore*: i livelli di esposizione sono inversamente proporzionali al quadrato della distanza tra operatore e sorgente.

Sistemi a laser

La luce laser, acronimo di Light Amplification Stimulated Emission of Radiation, perdura se gli atomi che la generano sono allo stato eccitato (pompaggio); le sue caratteristiche sono:

- luce: monocromatica e coerente in fase;
- alta collimazione: marcata direzionalità e bassa divergenza;
- elevata intensità solo nel fascio.

I pericoli da radiazione ottica sono classificati dal costruttore sulla base della esposizione massima permessa, con criteri definiti dalle norme CEI, su una scala a 5 valori: 1, 2, 3A, 3B e 4, con indice di pericolosità crescente:

- *Classe 1*: sistema intrinsecamente sicuro; non occorre alcun intervento di protezione, purché la manutenzione sia effettuata solo da personale esperto;
- *Classe 2*: emettono radiazione a bassa potenza; non occorre alcun intervento di protezione, purché la manutenzione sia effettuata solo da personale esperto;
- *Classe 3A*: sono sistemi sicuri purché non osservati tramite ottiche; non occorre alcun intervento di protezione, se non ci sono ottiche di osservazione;



DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEI RISCHI

VALUTAZIONE DEI RISCHI FISICI

EDIZIONE N° 01
REVISIONE N° 00
DATA 20/06/08

SEZIONE 04
PAGINA 11 di 17

- *Classe 3B*: l'esposizione diretta è pericolosa, ma non lo è quella diffusa; occorrerà un intervento di protezione;
- *Classe 4*: sono sempre pericolosi e c'è rischio incendio; occorre un intervento di protezione

Si devono considerare anche gli eventuali rischi associati all'utilizzo dei laser:

a) gas dai sistemi laser: bromo, cloro, fluoro, acido cianidrico, ecc., usati nei laser a gas o provenienti da reazioni con il fascio laser;

b) gas o vapori o liquidi criogeni;

c) radiazione ultravioletta da flash-lamps o da tubi a scarica di laser CW, particolarmente quando si usano tubi o specchi che trasmettono l'UV (quarzo); i tubi elettronici dei circuiti laser con tensioni anodiche maggiori di 5kV possono emettere raggi X;

d) radiazione visibile o infrarossa da flash-lamps, da sorgenti di pompaggio e da radiazione di ritorno dal bersaglio, può essere di una radianza sufficiente per creare pericolo potenziale;

e) pericoli elettrici: molti laser fanno uso di alte tensioni (> 1kV). I laser ad impulsi sono particolarmente pericolosi per l'energia immagazzinata nei banki di condensatori;

f) incendio e combustione per l'interazione del fascio con sostanze infiammabili ed emissione di particelle incandescenti nelle lavorazioni meccaniche;

g) altri rischi: esplosioni nel banco di condensatori o nei sistemi di pompaggio ottico per i laser di potenza; reazioni esplosive di reagenti nei laser chimici o di altri gas usati in laboratorio.

I tipi di sorgenti che si utilizzano nei laboratori sono materiali solidi, liquidi, gassosi, semiconduttori. Le frequenze di emissione sono le più diverse, spesso accoppiate e non monocromatiche: da ultravioletto, 180 nm, a infrarosso, 1 nm.

Nella ricerca, spesso, un fascio laser viene utilizzato libero su un banco ottico, anche con eventuali focalizzazioni, il che può comportare la riclassificazione complessiva del sistema da parte di un tecnico sicurezza laser. Infatti, le normative CEI prevedono la nomina, nei laboratori del Tecnico Sicurezza Laser, TSL, e, nelle strutture sanitarie dell'Addetto Sicurezza laser, ASL, cui compete di valutare il rischio del sistema e di individuare le procedure di sicurezza. La variabilità delle situazioni che si possono incontrare nella ricerca e la necessità di accedere frequentemente a fasci liberi, ha indotto il CEI a proporre una norma specifica per i laboratori di ricerca e l'UNI a definire due diverse guide tecniche per i DPI oculari: protezione totale e allineamento.

Gli effetti sulla sicurezza e salute degli operatori si possono dividere in tre gruppi:

- *effetti di natura termica* (dipendenti da; frequenza, potenza, durata, area colpita, vascolarizzazione del tessuto):



DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEI RISCHI

EDIZIONE N° 01
REVISIONE N° 00
DATA 20/06/08

VALUTAZIONE DEI RISCHI FISICI

SEZIONE 04
PAGINA 12 di 17

- 40-60°C: rallentamento reversibile delle funzioni biologiche;
- 60-100°C: necrosi, con ebollizione ed evaporazione tessutale;
- > 100°C: carbonizzazione tessutale;
- *effetti di natura non termica*: fotochimico (formazione di nuove molecole); fotoacustico/meccanico (vibrazioni, espansioni, esplosioni, distruzioni tessutali, cellulari e subcellulari);
- *elettrico* (modificazioni della costante dielettrica).

I possibili organi bersaglio sono due: *occhio* (lesioni retiniche e lesioni oculari anteriori: cataratta, ecc.); *pelle* (ustioni di diverso grado); rischi secondari possono derivare da incendi, contaminanti chimici, UV, ecc.

Misure di prevenzione e protezione

Ai laser o sistemi laser collocati nelle classi 3A, 3B o 4, visto il loro potenziale pericolo, devono essere adottate particolari procedure di controllo

Precauzioni generali per le sorgenti laser

PRECAUZIONI DI BASE	1	2	3A	3B	4
nessuna precauzione aggiuntiva	x				
non osservare direttamente il fascio laser		x	x	x	x
non utilizzare ottiche di osservazione (binocoli, microscopi, telescopi, ecc.)			x	x	x
evitare l'esposizione diretta dell'occhio (sia deliberata che accidentale)				x	x
evitare l'esposizione dell'occhio e della pelle a radiazione diretta o diffusa; usare particolare cautela, potrebbero essere fonte di incendio					x
usare specifiche precauzioni luce laser non visibile (<400 e >700 nm)		x	x	x	x



DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEI RISCHI

EDIZIONE N° 01
REVISIONE N° 00
DATA 20/06/08

VALUTAZIONE DEI RISCHI FISICI

SEZIONE 04
PAGINA 13di 17

Ultrasuoni

Gli ultrasuoni sono radiazioni acustiche a frequenza superiore a quelle udibili dall'uomo, generalmente 20 kHz. Non esistendo una norma italiana sugli ultrasuoni, si fa riferimento alle indicazioni dell'IRPA/INIR

Frequenz a Media (kHz)	Livello Pressione Sonora in aria (dB)				
	Lavoratori				Popolazion e
	8h	2-4 h	1-2 h	0-1 h	24 h
20	75	78	81	84	70
>25	110	113	116	119	100

Fonte: IRPA/INIR, Health Physics, 46(4), 1984

Le sorgenti a ultrasuoni possono essere presenti nei laboratori chimici e biologici, ove però non costituiscono grave pericolo se si seguono le procedure indicate dai fabbricanti delle apparecchiature e se si utilizzano bagni a ultrasuoni e sonicatori standard di potenza contenuta.

Liquidi e gas criogeni

I liquidi criogeni frequentemente impiegati nei laboratori sono: azoto, argon, elio e anidride carbonica. I pericoli potenziali derivano dalle loro caratteristiche:

- sono estremamente freddi (l'elio è il più freddo); provocano ustioni;
- la bassa temperatura fa condensare e solidificare l'aria, con conseguente riduzione della quantità di ossigeno nell'ambiente ove sono stoccati o utilizzati; gli operatori esposti possono pertanto manifestare sintomi e segni clinici da ipo-anossia fino alla morte per asfissia;
- l'aria condensata è arricchita di ossigeno (l'azoto evapora prima dell'ossigeno), pertanto, soprattutto in prossimità delle valvole e degli sfiati, dove può essere presente olio o altro lubrificante, un'elevata concentrazione di ossigeno può accrescere il rischio di incendio; piccolissime quantità di liquido vengono convertite in grandi volumi di gas (ad esempio 1 litro di azoto liquido si espande, a condizioni standard, in circa 700 litri di gas);
- pur essendo gas inerti, una volta espansi incidentalmente nell'ambiente possono dare luogo ad una atmosfera con percentuale di ossigeno inferiore a quella dell'aria e pertanto ingenerare sintomi da ipossia negli operatori esposti.

I rischi principali sono per contatto di parti del corpo con la sostanza criogena e per riduzione della quantità di ossigeno nell'aria ambiente ovvero per l'aumento di concentrazione di ossigeno nelle zone di condensa.



Misure di prevenzione e protezione

Al fine di garantire la sicurezza del personale è opportuno rispettare le seguenti norme:

- Evitare il contatto accidentale con liquidi criogeni o gas evaporati a temperature criogene;
- Stoccare ed utilizzare i liquidi criogeni in sistemi chiusi con pressione positiva;
- Mantenere pulite le superfici su cui l'aria si condensa e vicino alle valvole di sfianto;
- Controllare il corretto funzionamento delle valvole di sicurezza dei contenitori di criogeni;
- 5. Mantenere i contenitori dei criogeni in aree ben ventilate;
- 6. In funzione delle dimensioni del locale e della quantità di gas criogeno conservata, può essere necessario predisporre un rilevatore del livello di ossigeno in aria, collegato ad un sistema di allarme visivo ed acustico, che segnali il livello di concentrazione dell'ossigeno in aria: livello attenzione, 19%, e di allarme, 17%.
- 7. Precauzioni per la detenzione e il trasporto:
 - Controllare che sui contenitori in pressione, es. bombole di CO₂, siano installate valvole di pressione;
 - I contenitori sono progettati per essere utilizzati in posizione verticale, pertanto non appoggiarli mai di fianco;
 - Fissare in modo sicuro ed indipendente ciascuna bombola di gas criogeno, es.
 - Non lubrificare valvole o riduttori con oli e grassi, in presenza di ossigeno;
 - La ventilazione all'interno del locale dove sono staccati i contenitori, sia pieni che vuoti, sia adeguata;
 - Spostare i contenitori dei criogeni evitando urti e agitazione eccessiva, siano essi pieni o vuoti;
 - Effettuare il trasporto dei contenitori dei gas criogeni con appositi carrelli; per i gas in bombole apporre l'apposito cappellotto.
- 8. Procedure per il travaso delle sostanze criogene
 - Prima di dare il consenso all'inizio dell'operazione di travaso e per tutta la sua durata: accertarsi che il sensore di monitoraggio dell'ossigeno, ove presente, sia funzionante; evitare il contatto diretto con i gas criogeni, indossando i dispositivi di protezione individuale: guanti resistenti al freddo, visiera o occhiali, grembiule, scarpe; portare al massimo la portata dell'impianto di ricambio dell'aria ed in mancanza di esso aprire le aperture verso l'ambiente esterno (ad esempio finestre).
 - Durante le operazioni di travaso controllare il livello di ossigeno rilevato dal sensore e la pressione;
 - Nel caso di intervento del dispositivo di allarme del livello di ossigeno: abbandonare rapidamente il locale; attendere un certo periodo di tempo prima di rientrare; effettuare l'operazione di rientro alla presenza almeno di un altro operatore che resta all'esterno del locale e pronto ad intervenire.



Rumore e vibrazioni meccaniche

Il rumore

Il rischio rumore è poco presente nei laboratori didattici e di ricerca; i valori generalmente sono inferiori ai limiti di legge, D.Lgs 277/91, in relazione al livello di esposizione medio sulla giornata lavorativa (livello equivalente), al picco massimo ammesso, oltre il quale è necessario predisporre misure particolari di sorveglianza sanitaria.

I danni che possono derivare in generale da una eccessiva e prolungata esposizione al rumore sono i seguenti:

- *Fatica uditiva*: innalzamento temporaneo e reversibile della soglia uditiva (di solito entro 0-20 gg);
- *Ipoacusia da rumore percettiva*: spostamento permanente della soglia uditiva, che avviene in modo lento e graduale;
- *Sordità professionale*: deficit uditivo manifesto; IV fase della fatica uditiva, danno irreversibile;
- *Effetti extrauditivi*: di solito legati ad un evento traumatico acustico acuto (ma anche per esposizione cronica), a carico dell'apparato cardiovascolare, sistema nervoso centrale, sistema endocrino e apparato gastrointestinale.

Pur considerando che il rischio, compreso quello da rumore, vada sempre eliminato o ridotto al minimo e che gli interventi "collettivi" hanno la precedenza rispetto a quelli individuali, le misure generali di tutela da attuare in relazione ai livelli di rumore rilevati nei laboratori sono le seguenti, ex. D.Lgs 277/91:

- *Livello equivalente* di riferimento giornaliero:
 - **$L_{eq} < 80$ dB(A)**: livello da considerare sicuro o da ottimizzare sempre, non esiste comunque un rischio di ipoacusia da rumore;
 - **$80 < L_{eq} < 85$ dB(A)**: informazione sui danni, eventualmente i DPI a richiesta del lavoratore, segnaletica, visita sanitaria a richiesta dell'interessato;
 - **$85 < L_{eq} < 90$ dB(A)**: informazione e formazione, DPI (uso non obbligatorio), segnaletica, controlli sanitari biennali, uso corretto macchinari;
 - **$L_{eq} > 90$ dB(A)**: informazione e formazione, DPI obbligatori, segnaletica, controlli sanitari annuali, delimitazione delle zone, uso corretto dei macchinari, ridurre l'esposizione, registro degli esposti, nota con elenco esposti a ISPESL e ASL.
- *Livello istantaneo* (peak) massimo: 140 dB: valore da non superare mai, procedere come $L_{eq} > 90$ dB(A).

Esistono, inoltre, limiti di rumore che si devono rispettare verso l'ambiente esterno, con la finalità di proteggere la popolazione vicina e verso quello interno, per salvaguardare il personale dalle sorgenti esterne, es. traffico.

Essendo riferiti alla popolazione, questi limiti sono più bassi di quelli dei lavoratori e sono diversificati tra il giorno e la notte in funzione della "classe d'uso" delle zone urbane ove l'insediamento è inserito, DPCM 113/91.



La legge quadro n. 447 del 1995, a sua volta, detta le regole su cui si devono basare le successive disposizioni normative sull'inquinamento acustico, per le quali la stessa prevede un congruo numero di decreti applicativi, alcuni dei quali già emanati. Benché la Legge n. 447/95 faccia riferimento alle abitazioni, i laboratori sono coinvolti nel momento in cui l'immissione acustica è dovuta a sorgenti esterne; la norma introduce i seguenti valori di riferimento, che sono quantificati nel DPCM 14/11/97:

- *Valore limite di emissione*: massimo rumore emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della stessa;
- *Valori limite, assoluti e differenziali, di immissione*: limite massimo che può essere immesso nell'ambiente abitativo (e di lavoro) o esterno, misurato in prossimità dei soggetti interessati;
- *Valori di attenzione*: valori che evidenziano un potenziale rischio per la salute delle persone e dell'ambiente;
- *Valori di qualità*: livelli da raggiungere nel tempo, con interventi di risanamento, per il rispetto della normativa.

La legge introduce anche:

- *i valori limite delle sorgenti sonore mobili e per quelle fisse* costituite dai singoli macchinari, quantificati nel DPCM 14/11/97;
- *i requisiti acustici passivi degli edifici*, stabiliti dal DPCM 5/12/97 che sono molto bassi e che non mancheranno di creare problemi sia realizzativi che di verifica sugli edifici e sugli impianti.

Vibrazioni meccaniche

Esposizioni a vibrazioni meccaniche sono rare nei laboratori di didattica e ricerca; al momento non esistono norme italiane che le regolamentano, mentre le norme tecniche ISO ne specificano le caratteristiche e la valenza. Non si ritiene pertanto, in questa sede, affrontare in dettaglio la questione, ma fornire semplicemente un quadro generale.

Per vibrazione si intende una oscillazione meccanica generata da onde di pressione che si trasmette attraverso corpi solidi; i parametri caratteristici da considerare sono: periodo, frequenza, ampiezza dello spostamento (istantanea ed efficace), velocità, accelerazione;

quest'ultimo è il parametro più importante in quanto l'uomo avverte di più la variazione allo stimolo che il suo perdurare. Le modalità di vibrazione da considerare ai fini della salvaguardia della salute sono:

- moto oscillatorio periodico o alternativo;
- oscillazioni libere (decrescenti) o forzate (le più frequenti).



DOCUMENTO DI VALUTAZIONE DEI RISCHI

VALUTAZIONE DEI RISCHI FISICI

EDIZIONE N° 01
REVISIONE N° 00
DATA 20/06/08

SEZIONE 04
PAGINA 17 di 17

Le vibrazioni si distinguono in:

- Vibrazione al corpo intero, WBC: il corpo umano viene sollecitato nella sua totalità dalla struttura che vibra attraverso la superficie di appoggio; si incontra maggiormente in edilizia, agricoltura, industria estrattiva e nei trasporti: di solito alla guida di automezzi pesanti;
- Vibrazione locale, di solito sistema mano-braccio, dovuta a utensili vibranti, tradizionalmente macchine ad aria compressa (smerigliatrici, frese, trapani, ecc.) o piallatrici, ecc.. Si incontrano maggiormente in edilizia, industria estrattiva, metallurgia, metalmeccanica, del legno, manifatturiera ed in agricoltura.

Gli effetti delle vibrazioni meccaniche, sono amplificati dalle posture viziate e dalla eventuale contrazione muscolare; essi dipendono da: regione ingresso e loro direzione nel corpo; frequenza, accelerazione; intensità; durata della esposizione e risonanza: ogni organo ha una propria frequenza caratteristica di vibrazione (risonanza) e lo scuotimento dovuto alla vibrazione può essere amplificato dalla risonanza stessa.

Le vibrazioni che coinvolgono il corpo umano possono abbassare la soglia della fatica e alterare il grado di efficienza. Gli effetti si possono riassumere:

- alterazioni vascolari: sono le più rilevanti per esposizione a vibrazioni di alta frequenza, 40-300 Hz;
- alterazioni osteoarticolari: sono riportate frequentemente in soggetti esposti, artrosi della colonna vertebrale, lesioni dei dischi intervertebrali, artrosi cervicale, alterazioni trofiche ossee, ecc.;
- alterazioni neuromuscolari: aumento del tono muscolare; disturbi neurosensitivi periferici.

I limiti di esposizione sono proposti dalla norma ISO 2631; la loro applicazione però è assai difficile, specialmente per la misura delle vibrazioni stesse e dell'effettivo tempo di esposizione.

Le attività di prevenzione, originano spesso direttamente a livello di progettazione - compresa l'ergonomia - delle attrezzature e delle macchine, ed anche da una buona manutenzione delle stesse: es. ricambio dei cuscinetti a sfera, ecc. ovvero rivestendo le impugnature con idonei materiali assorbenti.