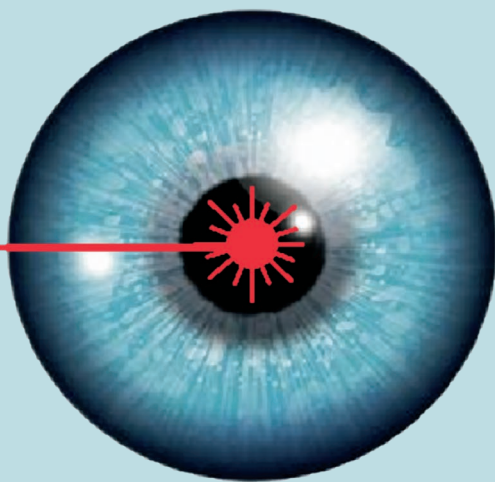


SICUREZZA LASER

INAIL

Rischi e prevenzione

2024



COLLANA **SALUTE E SICUREZZA**

SICUREZZA LASER

INAIL

Rischi e prevenzione

2024

Pubblicazione realizzata da

Inail

Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza (Ctss)

Autori

G. Rubbonello

Inail, Direzione regionale Sicilia, Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza

Per informazioni

Inail - Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza

Via Roberto Ferruzzi, 40 - 00143 Roma

ctss@inail.it

www.inail.it

© 2024 Inail

ISBN 978-88-7484-884-3

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nella pubblicazione, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail. Le pubblicazioni vengono distribuite gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione con qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

Tipolitografia Inail - Milano, novembre 2024

PREFAZIONE

L'Inail è impegnato in attività legate alla promozione della cultura della salute e sicurezza in tutti i luoghi di lavoro, con l'obiettivo di ridurre il fenomeno infortunistico e tecnopatico. In particolare, la Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza, con le sue professionalità multidisciplinari, contribuisce ad accrescere la conoscenza e la prevenzione dei rischi professionali, da quelli tradizionali a quelli emergenti legati alle nuove tecnologie e organizzazioni del lavoro.

Il presente volume nasce dall'esigenza di approfondire il rischio derivante dall'utilizzo nelle applicazioni tecnologiche che utilizzano nei processi produttivi la radiazione LASER. Si tratta di un rischio che ricade nell'ambito delle Radiazioni Ottiche Artificiali di tipo coerente, talvolta poco conosciuto e sottostimato, nonostante tali tecnologie siano sempre più diffuse in vari settori lavorativi che vanno dalla sanità, alle telecomunicazioni, alla ricerca, fino ai centri estetici o agli spettacoli pubblici. A volte, le apparecchiature sono utilizzate in contesti non sicuri e da parte di personale non adeguatamente protetto, informato e formato. Infatti, nonostante il vasto impiego, la presenza di apparecchiature che emettono una radiazione LASER non sempre è accompagnata da una corretta valutazione del rischio. L'impiego dei LASER, senza le opportune misure di prevenzione e protezione, può causare danni alla salute e, in alcuni casi, può rappresentare un fattore di rischio per la sicurezza; soprattutto gli occhi e la cute possono essere seriamente danneggiati, anche in maniera irreversibile.

Per tale motivo, la pubblicazione è rivolta non solo a datori di lavoro, ai servizi di prevenzione e protezione, e ai medici competenti, ma anche ai lavoratori stessi, con lo scopo di sensibilizzarli sul tema.

Il Coordinatore generale
Consulenza tecnica per la salute e la sicurezza
Fabrizio Benedetti

INDICE

PREMESSA

	7
1 LA RADIAZIONE OTTICA	9
1.1 Natura della radiazione ottica	9
1.2 Fenomeni ottici	14
2 LA RADIAZIONE OTTICA COERENTE	16
2.1 Assorbimento ed emissione	16
2.2 Emissione stimolata	17
2.3 La monocromaticità	17
2.4 La coerenza	18
3 IL LASER	20
3.1 Principi di funzionamento	20
3.2 Caratteristiche peculiari della radiazione LASER	21
3.3 Tipologie di LASER	22
3.4 Modalità di erogazione della radiazione LASER	24
3.5 Modalità di propagazione della radiazione LASER	25
3.6 Tipici impieghi della tecnologia LASER	27
3.6.1 Applicazioni sanitarie	27
3.6.2 Applicazioni industriali e civili	28
4 PERICOLI CONNESSI ALLA RADIAZIONE LASER	30
4.1 Pericoli per la salute	30
4.1.1 Effetti della radiazione LASER sui tessuti biologici	31
4.1.2 L'occhio umano quale organo bersaglio	32
4.1.3 Danni oculari da radiazione LASER	34
4.1.4 La cute quale organo bersaglio	37
4.1.5 Danni cutanei da radiazione LASER	38
4.2 Pericoli indiretti	39
5 NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER LA SICUREZZA LASER	41
5.1 Il Decreto Legislativo 81/08	41
5.2 La norma CEI EN 60825-1	42
5.2.1 La nuova classificazione delle apparecchiature LASER	43

6	I PARAMETRI PROTEZIONISTICI	47
6.1	Limiti espositivi	47
6.2	La distanza nominale di rischio oculare (DNRO)	48
6.3	La zona nominale di rischio oculare (ZNRO)	50
6.4	La zona LASER controllata (ZLC)	50
7	LA GESTIONE DELLA SICUREZZA LASER	52
7.1	Il tecnico - addetto alla sicurezza LASER	53
7.2	Principali compiti del TSL – ASL	53
7.3	Le misure di contenimento del rischio	54
7.3.1	<i>La formazione e le procedure operative di sicurezza (POS)</i>	55
7.3.2	<i>La cartellonistica e le segnalazioni</i>	56
7.3.3	<i>Sistemi di sicurezza ingegneristici</i>	57
7.3.4	<i>La protezione collettiva</i>	58
7.3.5	<i>La protezione individuale</i>	60
7.4	<i>La sorveglianza sanitaria</i>	63
	ALLEGATI	
1	Regole di condotta sicurezza LASER	66
2	Procedura guidata valutazione rischio LASER	67
	Bibliografia	105
	Sitografia	105

PREMESSA

Le tecnologie che utilizzano la radiazione LASER sono sempre più presenti in molti ambiti lavorativi dell'industria, dell'artigianato, della sanità, dello spettacolo, delle telecomunicazioni, della ricerca e della cura della persona. Si incontrano nella vita quotidiana, basta assistere ad un concerto o ad una presentazione, oppure semplicemente alla cassa di un supermercato. I LASER spesso li possediamo in casa senza saperlo, ad esempio in stampanti e lettori CD, DVD e Bluray.

Tuttavia, la presenza di apparecchiature che emettono una radiazione LASER non sempre è accompagnata da una corretta valutazione del rischio che ne consegue, rischio che ricade nell'ambito delle Radiazioni Ottiche Artificiali di tipo coerente. Tale criticità spesso, è riconducibile ad una cattiva percezione del rischio, alle difficoltà oggettive che si riscontrano nel corretto approccio valutativo e perfino alla carenza di informazioni tecniche fornite dal costruttore dell'apparecchiatura LASER. L'impiego sempre più diffuso, anche in contesti come quello dell'estetica (epilazione, rimozione tatuaggi, ecc.), determina il più delle volte l'utilizzo di tali apparecchiature in contesti non sicuri e a cura di personale non sempre adeguatamente informato, formato o, addirittura, adeguatamente protetto (DPI mancanti o non correttamente dimensionati, barriere non presenti, ecc.).

Il fattore di rischio, con potenziale danno a carico degli organi bersaglio (occhio e cute), può coinvolgere, oltre che il lavoratore, anche il paziente o comunque il fruitore della tecnologia LASER, rendendo indispensabile la necessità di promuovere una più attenta valutazione del rischio, anche mediante l'apporto professionale di esperti in sicurezza LASER, figure tecniche a supporto del DdL, MC e RSPP. Lo scopo di questo opuscolo, destinato agli attori della prevenzione ma anche ai lavoratori che utilizzano dei LASER, è quello di fornire le informazioni sui pericoli, e quindi sui rischi che l'uso di un LASER può rappresentare, dando anche indicazioni sulle misure di prevenzione e protezione necessarie per l'uso in sicurezza.

1 LA RADIAZIONE OTTICA

1.1 Natura della radiazione ottica

Le radiazioni ottiche rappresentano una piccola banda dello spettro delle onde elettromagnetiche che attraversano il nostro mondo e tutto il cosmo, tra loro, compresa tra la radiazione infrarossa e quella ultravioletta (entrambe non visibili all'occhio umano), si trova la porzione visibile che è rappresentata dalla luce e dai suoi colori.

La natura della luce è stata un mistero per migliaia di anni e su di essa si sono formulate, nel corso dei secoli, diverse ipotesi. Oggi sappiamo che la luce è generata dal passaggio degli elettroni da un livello ad alta energia ad un livello di energia più bassa; la parte di energia persa passando da un livello all'altro è liberata sotto forma di fotoni e dai nostri occhi, percepita come luce.

Sono stati realizzati molti esperimenti per dimostrare la particolare natura della luce e la teoria quantistica riesce a conciliare molte delle ipotesi formulate dai fisici sulla natura della luce, in quanto unifica in qualche modo la teoria corpuscolare con quella ondulatoria.

La luce è energia raggiante, e i fotoni che trasporta sono guidati lungo il loro cammino da un campo ondulatorio di tipo elettromagnetico.

Le radiazioni ottiche, così definite perché interagiscono con i mezzi ottici quali lenti, prismi e specchi, sono quindi una porzione di spettro elettromagnetico che oltre a comprendere la porzione visibile all'occhio umano comprende due porzioni limitrofe dello spettro, note come ultravioletti (oltre il colore viola) e infrarossi (prima del rosso).

La rappresentazione grafica di un fenomeno ondulatorio, espressione visiva del formalismo matematico che descrive il fenomeno fisico (Fig. 1.1), ci fa meglio comprendere cosa diversifica un'onda elettromagnetica facente parte di una banda di spettro da un'altra appartenente ad una diversa banda. È bene descriverne le grandezze che la caratterizzano.

Lunghezza d'onda - Le onde sono formate da creste e gole, e la distanza tra due creste o due gole vicine è detta lunghezza d'onda ed è indicata con λ (lambda), si misura in metri. La lunghezza d'onda λ può essere messa in relazione con la velocità di propagazione dell'onda (v) e il periodo (T):
$$v = \lambda / T.$$

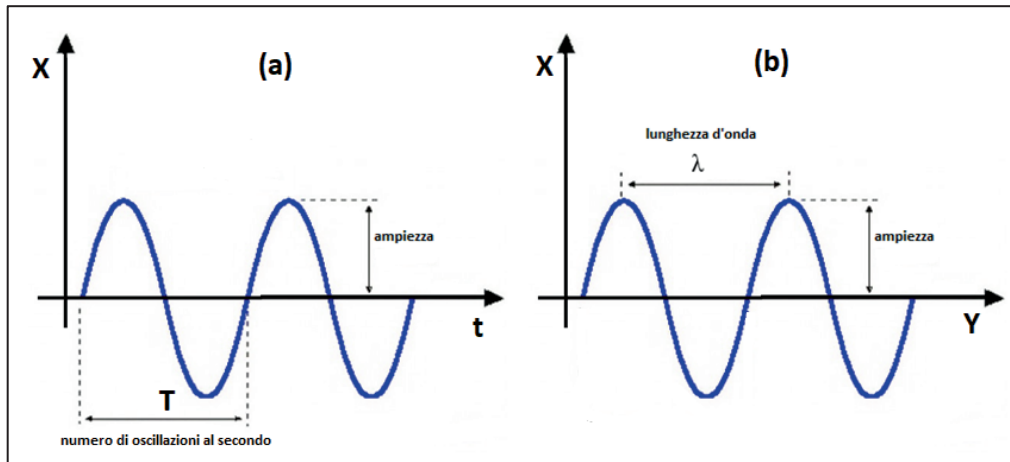


Figura 1.1- Rappresentazione grafica di un'onda: La variabile X (sulle ordinate) è l'intensità; la variabile t (sulle ascisse di Fig. 1.1- a) è il tempo; Y (sulle ascisse di Fig. 1.1- b) è la variabile spaziale

Frequenza - La frequenza di un'onda è il numero di creste che passano da un dato punto ogni secondo. La frequenza è indicata con ν (nu) ed è espressa in cicli al secondo, hertz (Hz). La relazione tra frequenza (ν) e periodo (T) è: $\nu = 1 / T$ mentre quella tra frequenza (ν) e velocità di propagazione dell'onda (c) è: $\nu = c / \lambda$.

Periodo - Il periodo di un'onda (T) è l'intervallo temporale che intercorre affinché l'onda compia un'oscillazione completa ed è il valore reciproco della frequenza $T = 1 / \nu$. Trattasi quindi del tempo necessario per percorrere una distanza pari alla lunghezza d'onda e si misura in secondi.

Velocità di un'onda - La velocità di un'onda è la distanza percorsa da una cresta nell'unità di tempo. La velocità di un'onda è uguale alla frequenza per la lunghezza d'onda. La velocità si indica con c e la relazione tra la frequenza e la lunghezza d'onda è data dalla formula: $c = \lambda \cdot \nu$. La velocità è dipendente dal mezzo di propagazione.

Ampiezza - L'ampiezza rappresenta in modo proporzionale la quantità di energia trasportata dall'onda. È la distanza tra il valore massimo (punto più alto dell'onda) e il punto di equilibrio.

Energia - L'energia di un'onda è data dal prodotto della costante di Plank (h) per la sua frequenza: $E = h \cdot \nu$, dove h vale $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$.

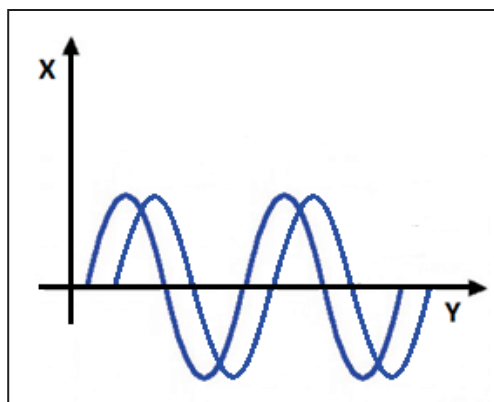


Figura 1.2 - Rappresentazione grafica di due onde con fase diversa

Due onde sono in fase quando hanno lo stesso periodo e passano insieme per i valori massimi dello stesso segno, mentre quando ciò non accade si dice che esse hanno fase diversa (Fig. 1.2).

Viste le principali grandezze che caratterizzano un'onda elettromagnetica è bene aggiungere alcune caratteristiche distintive.

Un'onda elettromagnetica nasce dal moto oscillatorio di una carica elettrica, che nello spazio circostante genererà un campo elettrico.

Un campo elettrico oscillante genera a sua volta nello spazio circostante un

campo magnetico oscillante. I due campi oscillanti, elettrico e magnetico generano un'onda elettromagnetica in cui coesistono su piani ortogonali tra loro ma con una comune direzione di propagazione (Fig.1.3). Per quanto sopra esposto, le onde elettromagnetiche sono anche definite pertanto onde trasversali, cioè la loro propagazione nello spazio è perpendicolare ai vettori di campo elettrico e di campo magnetico.

Le onde elettromagnetiche non hanno bisogno di un mezzo per propagarsi e nel vuoto raggiungono la velocità massima possibile pari al valore costante della velocità della luce 299.792.458 m/s.

Le proprietà che differenziano un'onda elettromagnetica nel suo manifestarsi come onda radio, ottica, raggio X, ecc. risiedono nell'entità di parametri caratteristici, precisamente la sua lunghezza d'onda λ e, poiché sono correlati, la frequenza e il periodo.

La porzione di spettro che definisce l'intervallo delle radiazioni ottiche

ha lunghezza d'onda compresa tra 1 mm e 100 nm, queste radiazioni possono essere di origine naturale (sole, corpi incandescenti, ecc.) oppure artificiali, cioè generate da appositi apparati; in quest'ultimo caso vengono denominate ROA acronimo di Radiazioni Ottiche Artificiali.

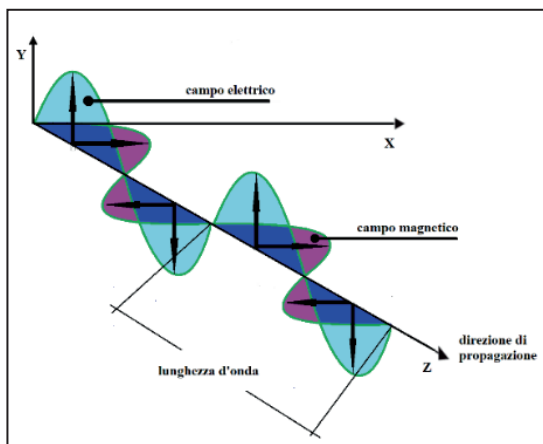


Figura 1.3 - Rappresentazione grafica di un'onda elettromagnetica con campo elettrico Y e magnetico X ortogonali e lungo l'asse z, la direzione di propagazione

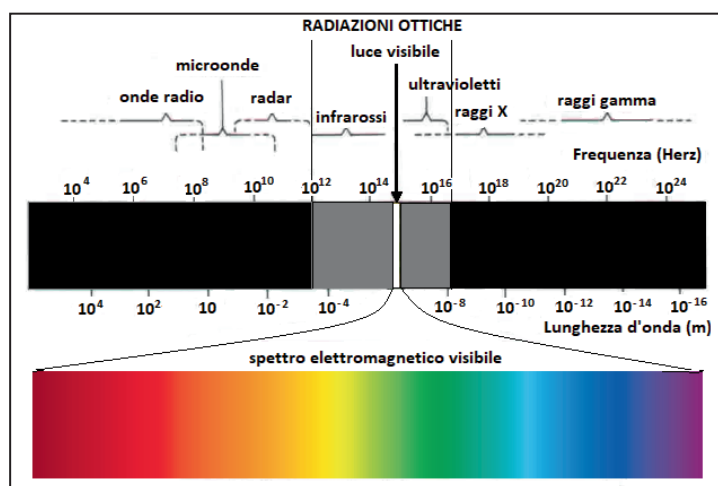


Figura 1.4 – Lo spettro elettromagnetico con evidenza della porzione visibile

Sulla base del valore di frequenza, e quindi di lunghezza d'onda, abbiamo diverse radiazioni elettromagnetiche con precise caratteristiche. Ad esempio (Fig. 1.4), analizzando lo spettro elettromagnetico, troviamo da una parte frequenze minori con lunghezze d'onda maggiori (onde radio, microonde, ecc.) e, superata la banda delle radiazioni ottiche, troviamo radiazioni con frequenze maggiori e lunghezze d'onda minori (raggi X, gamma, ecc.).

Si tenga presente che il contenuto energetico delle radiazioni elettromagnetiche cresce con il crescere della frequenza e quindi con il diminuire della lunghezza d'onda. Nella porzione di spettro a destra delle radiazioni ottiche, l'energia dell'onda elettromagnetica sarà sufficiente a ionizzare la materia attraversata da queste radiazioni, motivo per cui le radiazioni appartenenti a questa banda spettrale sono note anche come radiazioni ionizzanti.

Tornando alla porzione di spettro di nostro interesse, e quindi delle radiazioni ottiche, lo stesso può essere ulteriormente dettagliato in ulteriori sotto porzioni spettrali, così come riassunto nella Tabella 1.1, secondo l'ordine di lunghezza d'onda sempre più corta.

Infrarossi da 1 mm a 780 nm		Visibile Da 780 a 380 nm	Ultravioletti da 400 a 100 nm	
IR-C	Da 1 mm a 3000 nm		UV-A	Da 400 a 315 nm
IR-B	Da 3000 a 1400 nm		UV-B	Da 315 a 280 nm
IR-A	Da 1400 a 780 nm		UV-C	Da 280 a 100 nm
 ENERGIA CRESCENTE				

Tabella 1.1 Ulteriore suddivisione della radiazione ottica IR e UV in Intervalli di lunghezza d'onda

La radiazione ottica, che sia generata dal sole o da una sorgente artificiale, libera fotoni a svariate frequenze ed intensità e i suoi raggi non si propagano in fase tra loro, si tratta dunque di una luce incoerente (onde non in fase) e caotica (in tutte le direzioni). La luce bianca non è una radiazione semplice ma, come vedremo, è la composizione dei colori che coprono la gamma di tutte le frequenze visibili. Una sorgente incoerente è quindi generalmente policromatica e mediante dei monocromatori (prismi, reticoli, ecc.) può anche essere sufficientemente monocromatica, cioè compresa all'interno di uno stretto intervallo di lunghezze d'onda, ma difficilmente sarà rappresentata da una banda di unica lunghezza d'onda.

Per ogni raggio luminoso, il colore che noi vediamo dipende dalla frequenza di emissione. Un prisma ottico (Fig.1.5) è in grado di deviare in modo diverso i vari colori della luce, tanto minore sarà la lunghezza d'onda quanto maggiore sarà l'angolo di deviazione, di conseguenza quando un raggio di luce bianca colpisce un prisma, viene scomposto in tutti i colori che lo compongono.

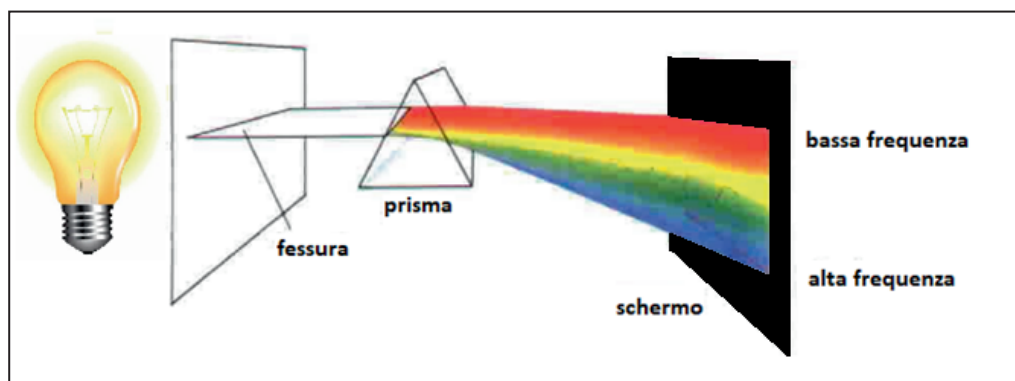


Figura 1.5 - La scomposizione della luce bianca mediante un prisma

La frequenza visibile più bassa è quella del rosso, mentre la più alta è del violetto, fra questi due colori vi sono infinite sfumature dei sette colori che formano lo spettro solare visivo.

Il colore della luce non va confuso tuttavia con il colore di un oggetto: quest'ultimo dipende da come esso trasmette, assorbe o riflette i raggi luminosi che lo colpiscono e quindi dalle diverse lunghezze d'onda della luce che rifletterà. Avremo ad esempio un corpo di colore nero opaco che mostrerà un assorbimento pressoché totale della radiazione luminosa che lo colpisce, oppure un corpo di colore bianco che invece la rifletterà quasi completamente. Invece un corpo colorato, ad esempio di rosso, assorbirà tutte le lunghezze d'onda della luce bianca che lo colpisce tranne quella del rosso che verrà riflessa.

1.2 Fenomeni ottici

Le radiazioni ottiche danno corso ad alcuni fenomeni ottici che sperimentiamo quotidianamente. La porzione dello spettro visibile tra le radiazioni ottiche, si presta ad una migliore osservazione sperimentale di tali fenomeni, fenomeni che altrimenti sarebbero difficilmente apprezzabili dall'osservatore. Tra questi fenomeni riscontriamo la rifrazione, fenomeno che si verifica quando un raggio di luce attraversa due sostanze con diverso indice di rifrazione. Essendo le due sostanze caratterizzate da un diverso indice di rifrazione, accade che il raggio incidente non proseguirà lungo la traiettoria precedente, ma sarà deviato di un certo angolo (Fig. 1-6).

Se gli indici di rifrazione dei due diversi mezzi materiali attraversati dal raggio luminoso sono diversi, anche gli angoli θ_1 e θ_2 saranno diversi.

Per capire se l'angolo θ_2 sarà più stretto o più largo di θ_1 serve conoscere gli indici di rifrazione dei due mezzi attraversati, sapendo che questo valore sarà sempre maggiore di 1 per mezzi diversi dall'aria.

Più nel dettaglio, quando il raggio passa da un mezzo ad un altro con indice di rifrazione maggiore rispetto al primo (esempio dall'aria all'acqua), l'angolo θ_2 sarà minore di θ_1 (Fig. 1.6), al contrario, se l'indice di rifrazione del secondo mezzo sarà minore rispetto al primo (esempio dal vetro all'aria), allora θ_2 sarà maggiore di θ_1 (Fig. 1.7).

Il secondo fenomeno ottico in esame descrive la riflessione.

Quando un raggio di radiazione ottica colpisce una superficie riflettente, ad esempio

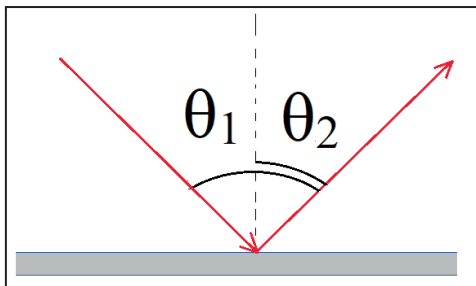


Figura 1.8 – Esempio di riflessione

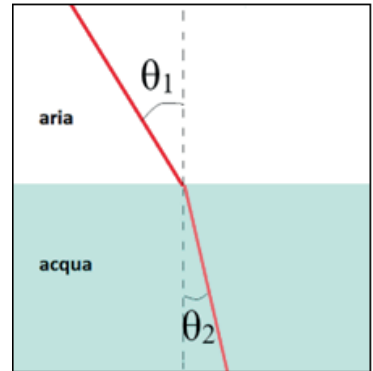


Figura 1.6 – Esempio di rifrazione

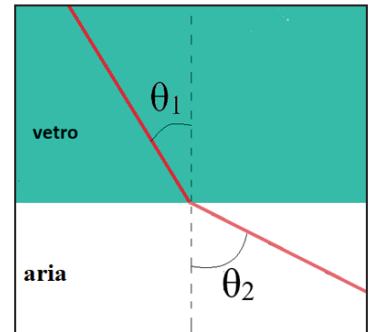


Figura 1.7 – Esempio di rifrazione data per il passaggio di un raggio luminoso dal vetro all'aria

uno specchio, otteniamo il fenomeno della riflessione. Il raggio, con un dato angolo di incidenza con l'asse perpendicolare alla superficie di riflessione, colpisce il punto dello specchio e viene deviato con un angolo di riflessione uguale all'angolo incidente e consecutivo, $\theta_1 = \theta_2$ (Fig. 1.8). Il raggio incidente e il raggio riflesso giacciono sul medesimo piano, così come l'asse perpendicolare alla superficie di riflessione.

Un ulteriore fenomeno ottico è rappresentato dalla diffusione.

Quando un fascio luminoso colpisce una superficie non speculare, cioè la superficie colpita non è riflettente come uno specchio, il fascio luminoso viene deviato in tutte le direzioni e la superficie è detta diffondente. Ogni punto della superficie diffondente colpito dall'onda luminosa diventa a sua volta sorgente di nuove onde che si propagano in tutte le direzioni sovrappondendosi.

Questo fenomeno, anche noto come riflessione diffusa, in realtà rispetta le leggi della riflessione ordinaria, ma trattandosi di superficie ruvida, questa si comporterà come un infinito insieme di piccoli piani di riflessione casualmente orientati rispetto ai raggi luminosi incidenti (Fig.1.9).

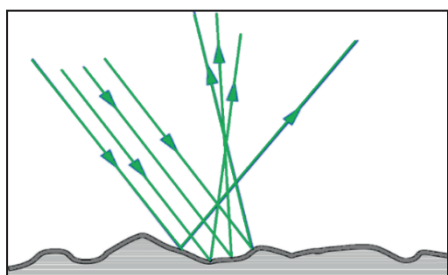


Figura 1.9 – Il fenomeno della diffusione

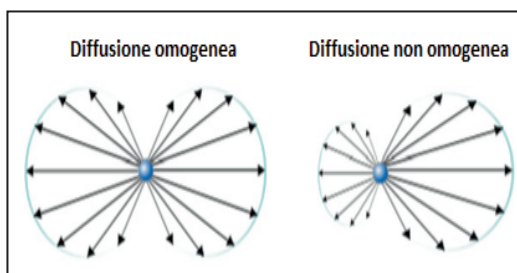


Figura 1.10 – Esempi di fenomeni diffusivi

Una superficie diffondente ideale diffonderà il fascio luminoso in tutte le direzioni (Fig. 1.10 a sinistra) altre superfici potranno essere diffuse in maniera non omogenea (Fig. 1.10 a destra) o persino parzialmente riflettenti.

Il fenomeno della diffusione è riscontrabile anche quando un fascio luminoso incontra un mezzo in cui sono disperse piccole particelle sospese, e quando le particelle sospese sono molto piccole, ad esempio molecole, sarà possibile osservare la diffusione di specifiche lunghezze d'onda componenti della luce incidente, fenomeno che spiega ad esempio il colore azzurro del cielo. Gran parte delle superfici degli oggetti che ci circondano riflettono in maniera diffusa la luce che li investe, meccanismo che ci consente di osservarne colore, lucentezza, ecc...

2 LA RADIAZIONE OTTICA COERENTE

2.1 Assorbimento ed emissione

L'interazione di un atomo con la radiazione elettromagnetica può essere di assorbimento o di emissione, e l'emissione di radiazione può essere di tipo spontaneo o di tipo stimolato. Nel 1917 Albert Einstein diede un importante contributo matematico con l'equazione che regola il sistema e il processo di emissione stimolata di radiazione da parte di un atomo, già qualche decennio prima che fosse verificata in laboratorio. Il modello atomico di Bohr e le prime ipotesi quantistiche già in quegli anni rappresentavano l'atomo come un nucleo centrale intorno al quale girano degli elettroni sui vari orbitali ben definiti.

Solo in un numero discreto di orbitali, gli elettroni possono orbitare intorno al nucleo con orbite più vicine ad esso e man mano sempre più distanti con l'aumentare del numero atomico.

Quando un atomo si trova nello stato di riposo detto "fondamentale", quindi non eccitato, gli elettroni ruotano nelle orbite più vicine al nucleo, e tali orbite sono separate tra di loro da cosiddetti livelli di energia discreti, ciò significa che un elettrone può ruotare in un'orbita o su quella successiva ma non in mezzo, quindi su due o più livelli energetici ben definiti.

In un atomo, l'assorbimento di radiazione elettromagnetica è determinato dalla possibilità che un elettrone ha di saltare da un orbitale ad energia inferiore a quello energeticamente superiore (Fig. 2.1). Ciò accade quando la radiazione ha esattamente la frequenza e quindi l'energia necessaria per fargli fare il salto tra le due orbite; tale processo pone l'atomo in una condizione di eccitazione energetica.

L'emissione di radiazione elettromagnetica invece avviene quando uno di questi elettroni eccitato ritorna spontaneamente da un'orbita più esterna ad un'orbita più interna (Fig. 2.2). La frequenza della radiazione che l'elettrone emette è esattamente determinata dalla differenza di energia tra i due livelli energetici.

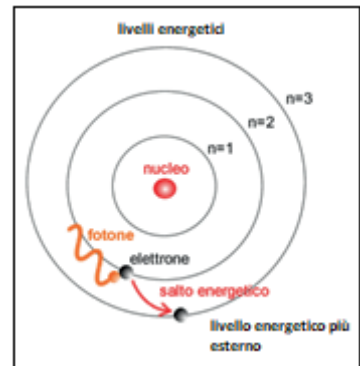


Figura 2.1 – Assorbimento di energia e salto energetico dell'elettrone

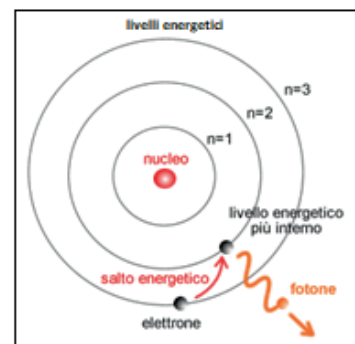


Figura 2.2 – Emissione di energia e ritorno dell'elettrone al livello energetico inferiore

2.2 Emissione stimolata

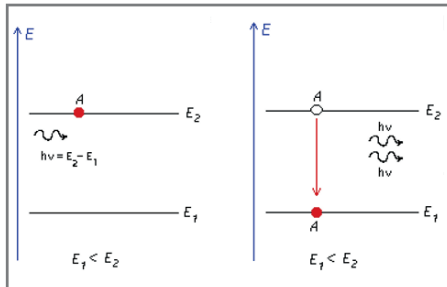


Figura 2.3 – Schema grafico dell'emissione stimolata di un fotone.

In presenza di un atomo “eccitato”, può accadere che l’elettrone orbitante su un livello energetico superiore decada su un orbitale ad un livello energetico inferiore emettendo una radiazione elettromagnetica (fotone) e facendo tornare l’atomo allo stato “fondamentale”. Tale processo, a vantaggio di uno stato energetico inferiore, è del tutto casuale e il fotone generato può prendere qualsiasi direzione nello spazio circostante.

Einstein dedusse che questo fenomeno non

è soltanto di natura spontanea, ma può anche essere anche stimolato.

In presenza di un atomo “eccitato” può accadere che un fotone incidente stimoli l’atomo alla diseccitazione emettendo un nuovo fotone, nella stessa direzione, della stessa lunghezza d’onda e quindi della stessa frequenza di quello incidente; quindi, è come se questa interazione stimolasse la generazione di un clone del fotone che ha investito, e il nuovo fotone generato non prende una direzione qualsiasi come avviene nella emissione spontanea. Tuttavia, il fotone incidente deve avere pari energia della differenza energetica tra i due livelli coinvolti nel fenomeno.

Einstein, in quella sua semplice equazione, riconobbe l’esistenza di una forma di emissione che a quell’epoca non era distinguibile sperimentalmente (infatti semplicemente guardando non è possibile distinguere un’emissione spontanea da un’emissione stimolata).

Questo fenomeno si può riscontrare per ogni radiazione elettromagnetica appartenente all’intero spettro elettromagnetico; quindi, può avvenire nella regione della luce visibile, nell’infrarosso, nell’ultravioletto, ma anche con microonde e raggi X, e questo processo di emissione stimolata, in linea di principio, può avvenire ogni qualvolta un fotone interagisce, oltre che con un atomo, anche con una molecola o un solido che ha qualche elemento in uno stato eccitato.

2.3 La monocromaticità

Una generica sorgente ottica non è quasi mai monocromatica, cioè in grado di generare onde elettromagnetiche di medesima lunghezza d’onda, il più delle volte si tratta di sorgenti che emettono uno spettro composto da un insieme di lunghezze d’onda (Fig. 2.4).

Diversi dispositivi monocromatori come prismi e reticoli possono sufficientemente monocromare uno spettro più ampio in uno spettro composto da uno stretto intervallo di lunghezze d'onda, ma mai di una sola lunghezza d'onda specifica.

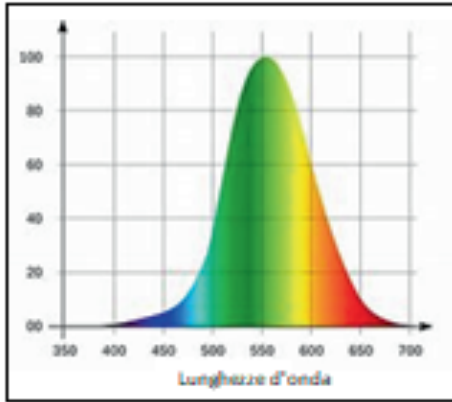


Figura 2.4 – Esempio di spettro visibile non monocromatico.

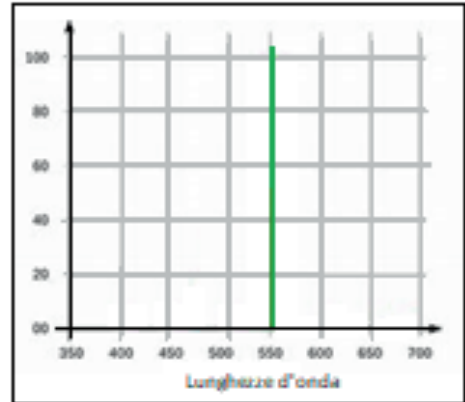


Figura 2.5 – Esempio di linea spettrale monocromatica.

L'emissione ottica frutto di emissione stimolata invece è sempre perfettamente monocromatica (Fig. 2.5) e dipende sia dal tipo di atomo sia dall'orbitale coinvolti dal fenomeno emissivo.

2.4 La coerenza

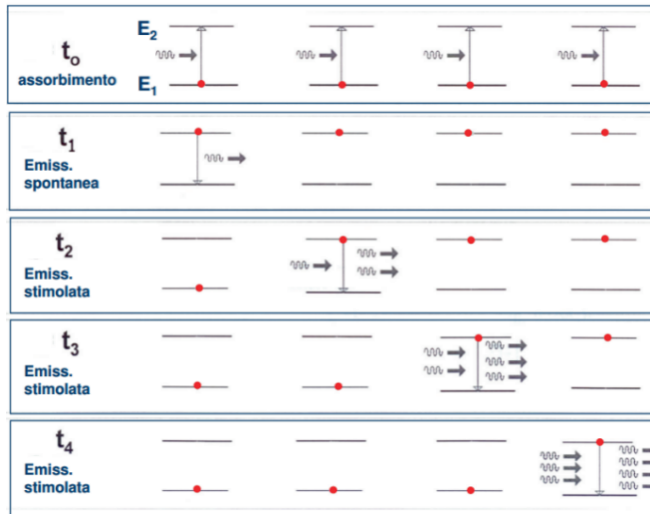


Figura 2.6 – Fasi del processo di emissione stimolata di fotoni a cascata.

Se gli atomi di un dato materiale vengono eccitati (pompati) fornendogli energia dall'esterno, si arriva ad un punto in cui la maggioranza degli atomi è nello stato eccitato rispetto a quelli che si trovano nello stato fondamentale (inversione di popolazione). In tale circostanza, nell'istante in cui anche un solo fotone verrà prima o poi generato spontaneamente dal ritorno di un atomo allo stato fondamentale, questo colpendo un

secondo atomo eccitato determinerà la produzione un secondo fotone identico al primo incidente.

Il nuovo fotone generato sarà della stessa fase, procederà nella stessa direzione di moto e, naturalmente, avrà la stessa energia del primo, quindi medesima frequenza e lunghezza d'onda. Viaggiando nel sistema di atomi eccitati, questi due fotoni stimoleranno l'emissione di ulteriori fotoni nel modo previsto da Einstein; e tutti questi nuovi fotoni potranno stimolare l'emissione di successivi fotoni, e così via con un processo di moltiplicazione a cascata (Fig. 2.6). I fotoni emessi saranno sempre tutti in fase e nella stessa direzione, generando una radiazione coerente con la caratteristica di conservare questa coerenza nel tempo e nello spazio, ossia il fatto di avere una precisa e costante fase, nello stesso punto, fra due istanti diversi (coerenza temporale) e costante, nello stesso istante, fra due punti diversi dell'onda (coerenza spaziale).

3 IL LASER

3.1 Principio di funzionamento

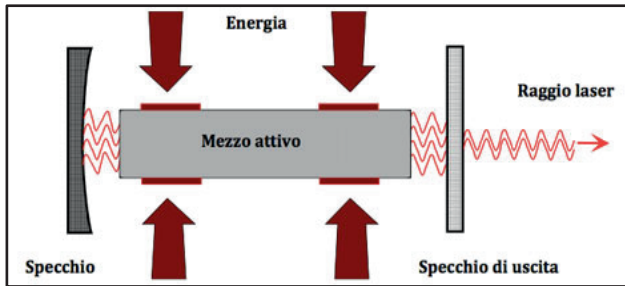


Figura 3.1 – Schema semplificato di una cavità ottica

Il termine LASER deriva dall'acronimo dei termini inglesi "*Light Amplification Stimulated Emission Radiation*", infatti per la realizzazione di un LASER occorre che la radiazione ottica coerente generata dal processo di emissione stimolata della luce venga adeguatamente amplificata. Il

processo di amplificazione, in molti dispositivi LASER, avviene in una camera detta "cavità ottica" o "risonante" (Fig. 3.1), costituita essenzialmente da una camera alle cui estremità sono posti rispettivamente uno specchio riflettente ed uno specchio semiriflettente di uscita.

Al centro della camera, è presente il cosiddetto "mezzo attivo", mezzo che contiene gli atomi che possono rispondere adeguatamente al fenomeno dell'emissione stimolata di fotoni. Questi atomi vengono eccitati mediante un contributo energetico esterno che viene dato da un sistema di "pompaggio". Gli atomi, raggiunto lo stato eccitato, emettono spontaneamente i primi fotoni verso tutte le possibili direzioni, ma i fotoni che procedono verso direzioni diverse dall'asse ortogonale alle due superfici degli specchi si perdono, e vengono assorbiti dalle pareti che confinano la cavità ottica. La porzione di fotoni che verrà emessa casualmente lungo l'asse ortogonale alle due superfici degli specchi verrà riflessa e costretta a tornare indietro, e riattraversando migliaia di volte il mezzo attivo tra i due specchi, (amplificandosi ogni volta che attraversa il materiale attivo) darà luogo, in breve tempo, ad un fascio molto intenso. Se non fossero presenti gli specchi posti alle estremità del mezzo attivo, non assisteremmo ad alcuna amplificazione. Tale condizione, quindi, innesca un processo di amplificazione man mano che i fotoni rimbalzano tra uno specchio e l'altro, e questi specchi consentiranno agli atomi del mezzo attivo di emettere esattamente nella stessa direzione, con la stessa fase e la stessa lunghezza d'onda sempre più fotoni, determinando quindi un aumento energetico della radiazione. La



Figura 3.2 – Theodore H. Maiman e il primo prototipo di LASER funzionante

fuoriuscita del fascio fotonico dalla cavità ottica è garantita dalla presenza dello specchio semi riflettente, specchio che in parte consentirà il processo di amplificazione ed in parte consentirà la fuoriuscita del raggio LASER dalla cavità ottica risonante.

Nel 1960 Theodore H. Maiman utilizzò un cristallo di rubino come mezzo attivo opportunamente inserito all'interno di una particolare lampada a spirale al neon come sistema di pompaggio, il tutto inserito all'interno di una cavità ottica. Fu così che realizzò il primo LASER funzionante della storia, con una lunghezza d'onda intorno ai 694 nanometri (quindi rosso), con una potenza non del tutto trascurabile e con impulsi che duravano qualche microsecondo. Tuttavia, servirono circa 15 anni per poter cominciare a vedere concrete applicazioni di tale tecnologia, ad oggi sempre più diffusa e in sempre più svariati ambiti.

3.2 Caratteristiche peculiari della radiazione LASER

La radiazione LASER possiede diverse caratteristiche distintive che la differenziano da altre sorgenti luminose e la rendono idonea per diverse applicazioni in svariati campi. Come visto nei paragrafi precedenti, tale radiazione trova genesi nel processo di emissione stimolata e successiva amplificazione nei diversi dispositivi tecnologici di risonanza ottica. Tale origine, fa sì che la radiazione LASER sia caratterizzata da energie di molto superiori alle comuni radiazioni ottiche incoerenti. Si tratta di una radiazione prevalentemente di tipo ottico e per tanto può essere compresa tra lo spettro ultravioletto, visibile e infrarosso con lunghezze d'onda quindi che vanno da 100 nm fino al millimetro. Si riportano a seguire le principali caratteristiche della radiazione LASER:

Monocromaticità - La luce LASER è composta da una singola lunghezza d'onda, il che significa che ha un colore unico seppur non sempre visibile all'occhio umano (IR e UV).

Coerenza - La radiazione LASER è altamente coerente, ciò significa che le onde di luce emesse dal LASER sono in fase sia temporalmente sia spazialmente, quindi la luce è molto direzionale.

Direzionalità - I LASER emettono un fascio di luce molto stretto e collimato, a differenza di altre fonti di luce che divergono rapidamente. Questo consente di concentrare l'energia su piccole aree anche su lunghe distanze.

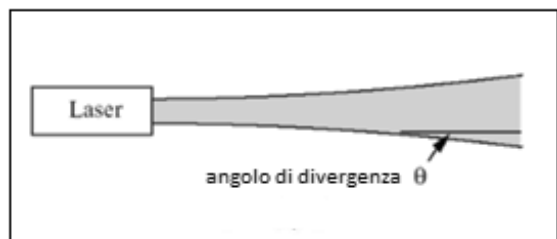


Figura 3.3 - Direzionalità e divergenza di un fascio

Intensità - I LASER possono generare livelli di intensità molto elevati, la cui potenza emessa (watt o Joule/secondo) per unità di superficie e unità di angolo solido li rendono adatti per applicazioni che richiedono molta energia in un punto specifico. Il fascio emette un alto numero di fotoni per unità di frequenza, caratterizzato dalla monocromaticità e della direzionalità (brillanza).

Polarizzazione - La luce LASER può essere polarizzata, ovvero le onde elettromagnetiche possono oscillare in una specifica direzione.

Stabilità - I LASER tendono ad avere una stabilità di frequenza molto elevata. Queste caratteristiche rendono i LASER strumenti molto versatili e utilizzati in una varietà di campi.

3.3 Tipologie di LASER

I diversi tipi di LASER si distinguono in base allo stato di aggregazione e alla tipologia di materiale costituente il mezzo attivo. Esiste pertanto un'ampia gamma di LASER con caratteristiche assai differenti tra loro, a cominciare dalla lunghezza d'onda dei fasci prodotti. Come già accennato, la gamma delle lunghezze d'onda impiegate nei LASER va dall'ultravioletto fino al lontano infrarosso, passando per il campo del visibile.

Anche i parametri operativi di funzionamento diversificano molti LASER tra loro, parametri che determinano potenze di uscita e densità di energie molto variabili a parità di mezzo attivo utilizzato.

I LASER vengono quindi suddivisi in base al mezzo attivo in essi impiegato, pertanto troviamo:

LASER a stato solido - Questi LASER utilizzano un materiale solido come mezzo attivo, spesso si tratta di un cristallo o un vetro drogato con atomi specifici. Storicamente, il primo LASER fu a stato solido con l'utilizzo di un rubino quale mezzo attivo, a seguire, sono apparsi LASER allo stato solido che utilizzano un cristallo di granato di Ittrio e Alluminio (YAG) drogato con atomi appartenenti alle terre rare quali Olmio, Neodimio, Erblio ecc. Sono LASER generalmente pompati con lampade in grado di immettere energia all'interno della matrice cristallina e quindi nella camera risonante.

L'evoluzione della tecnica, e quindi il diffondersi dei diodi led, ha consentito miglioramenti energetici a maggiore efficienza, superando l'uso delle classiche lampade quali mezzi di pompaggio.

Oggi i LASER a stato solido più diffusi sono quelli con cristalli YAG drogati rispettivamente con neodimio e Osmio: Nd:YAG, con lunghezza d'onda di 1064 nm e Ho:YAG, con lunghezza d'onda di 2100 nm, entrambi operanti nella frequenza dell'infrarosso.

LASER a fibra - Si tratta di un tipo particolare di LASER a stato solido che rappresenta una specifica categoria. Nel LASER a fibra il mezzo di attivo è costituito da una fibra ottica (vetro) drogata con elementi appartenenti alle “terre rare” come Erblio, Itterbio, Neodimio, Disprosio, Praseodimio, Tulio e Olmio.

Le proprietà di guida della luce della fibra ottica sono ciò che rende questo tipo di LASER così diverso: il raggio emesso è più piccolo rispetto ad altri tipi di LASER, il che lo rende più preciso. I LASER a fibra sono anche rinomati per il loro ingombro ridotto, buona efficienza elettrica, bassa manutenzione e bassi costi operativi.

LASER a gas - I LASER a gas rappresentano una categoria particolare e diversificata di LASER a seconda del gas impiegato. Questi dispositivi utilizzano un gas come mezzo attivo e il processo inizia con l'eccitazione degli atomi o delle molecole gassose, spesso mediante l'applicazione un'alta tensione elettrica all'interno di un tubo di scarica.

Esistono diverse configurazioni del mezzo attivo, nelle quali il flusso della miscela gassosa e quello della scarica avvengono o in direzione longitudinale o in direzione ortogonale al risonatore, con scarica elettrica che può essere prodotta da un generatore a radiofrequenza o in corrente continua o da altri LASER.

Tra gli esempi comuni di LASER a gas troviamo quelli che impiegano anidride carbonica (CO₂), Neon, Argon, Krypton, ma anche miscele di gas come Elio-Neon. Esiste poi una tipologia particolare di LASER a gas denominata “ad eccimeri” che rappresenta una categoria a sé stante in cui il mezzo attivo è costituito da alogenuri di gas nobili in grado di generare una intensa e potente radiazione ultravioletta. Un LASER ad eccimeri utilizza tipicamente una combinazione di un gas nobile (Argon, Krypton o Xenon) e un gas reattivo (Fluoro o Cloro), questi gas, sotto appropriate condizioni di stimolazione elettrica e alta pressione, creano una pseudo-molecola chiamata “eccimero”, stabile solo in uno stato eccitato e che può dar luogo a luce LASER nella regione ultravioletta.

LASER a liquido (coloranti) - I LASER a liquido utilizzano come mezzo attivo un colorante organico in forma liquida. Sono anche noti come LASER a colorante e hanno il vantaggio che possono generare una gamma molto ampia di lunghezze d'onda, rendendoli idonei ad essere “sintonizzabili”, cioè con la lunghezza d'onda può essere controllata durante l'emissione.

I coloranti impiegati sono svariati e vengono solubilizzati in specifici solventi che se eccitati da una luce con specifica lunghezza d'onda, mostrano un'intensa fluorescenza. Il sistema di pompaggio nei LASER a colorante è spesso costituito dall'uso di altri LASER.

I LASER a colorante hanno il principale vantaggio di offrire un'ampia possibilità di lunghezza d'onda, dal vicino ultravioletto, fino al vicino infrarosso, passando dal visibile. Questa disponibilità è ottenibile cambiando tipo di colorante il più delle volte di natura organica (cumarine, verde malachite, fluoresceina, ecc.).

Le criticità principali di questi LASER derivano dal fatto che il colorante liquido impiegato quale mezzo attivo degrada nel tempo e per tanto va ripreparato periodicamente.

LASER a semiconduttori (diodi LASER) - Un diodo LASER è un dispositivo optoelettronico in grado di emettere un fascio coerente in corrispondenza della parte attiva del semiconduttore. La struttura del semiconduttore è molto simile a quella impiegata nella realizzazione di LED (*Light Emitting Diode*). Un diodo LASER è composto da materiale semiconduttore “drogato”, cioè semiconduttori ai quali vengono aggiunte impurità specifiche, presente su un sottile strato depositato sulla superficie di un wafer di cristallo. Il cristallo viene drogato opportunamente per produrre una “giunzione p-n”, cioè un diodo.

Il principio di funzionamento di un LASER a semiconduttore è abbastanza complesso e pertanto esula dallo scopo del presente manuale; tuttavia, è bene sapere che la generazione del fascio avviene comunque per emissione stimolata in corrispondenza della zona attiva costituita da una sottile striscia fra la zona “p” e la zona “n” e l'emissione coerente avviene nella direzione più allungata di questa striscia.

Questa tipologia di LASER, per via del fenomeno della diffrazione, dopo avere lasciato la cavità ottica produce un raggio parecchio divergente e pertanto il più delle volte è necessaria una lente se non dispositivi ottici più complessi per formare un raggio collimato.

3.4 Modalità di erogazione della radiazione LASER

Dato un LASER, uno degli aspetti fondamentali da considerare è la modalità di erogazione della sua radiazione, questa erogazione infatti può avvenire con diversi regimi.

Continua - La prima modalità di erogazione della radiazione LASER è la modalità continua (*Continuous Wave*, CW). In questa modalità un fascio continuo di potenza costante (Fig. 3.4) viene emesso dalla cavità ottica del LASER per un tempo indeterminato.

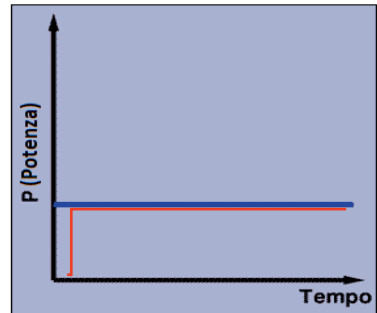


Figura 3.4 - Emissione in modalità in continua.

Impulsata - Una seconda modalità di erogazione della radiazione LASER è la modalità impulsata (Fig. 3.5), modalità che può essere ottenuta con diverse tecniche che vanno dalla modalità di pompaggio del mezzo attivo mediante impulsi, alla variazione di fase nella camera risonante mediante modulatori elettro-ottici.

La durata di questi impulsi, le frequenze di ripetizione e l'energia totale per impulso possono a loro volta variare tra loro determinando diverse modalità di erogazione:

Free running - impulsi con durata uguale all'impulso di pompaggio generalmente dell'ordine dei millisecondi;

Q-Switching - si tratta di un fascio impulsato con potenze di picco altissime anche dell'ordine dei gigawatt, decisamente superiori se il medesimo LASER emettesse in modalità continua. Il Q-switching è una tecnica che consente di ottenere una frequenza di ripetizione degli impulsi (*repetition rate*) molto breve, dell'ordine dei nanosecondi, ma con più elevate energie e maggiore durata dell'impulso. La caratteristica più importante di un LASER Q-switching è la capacità di "immagazzinare" e rilasciare energia molto rapidamente;

Mode Locking - è una modalità di erogazione per la quale un LASER, mediante opportuna tecnica, può produrre impulsi di brevissima durata, anche dell'ordine del femtosecondo. La tecnica sfrutta la capacità di indurre una differenza di fase fissa fra i modi di una cavità risonante, condizione che causa delle interferenze tra i modi, producendo nella cavità, una serie di impulsi con picchi di potenza elevatissima.

Una terza modalità di erogazione della radiazione LASER è quella mista tra l'erogazione in continua e l'erogazione pulsata.

3.5 Modalità di propagazione della radiazione LASER

La radiazione LASER può propagarsi nello spazio circostante con diverse modalità, tra queste:

A trasmissione diretta - la radiazione emessa dal LASER, con o senza lenti di focalizzazione, percorre liberamente la distanza che intercorre tra l'apertura e il bersaglio (ad esempio puntatori). Il percorso seguirà una linea retta e anche se si dovesse trattare di una radiazione compresa nello spettro visibile, questa sarà visibile solo al punto di impatto con una superficie.

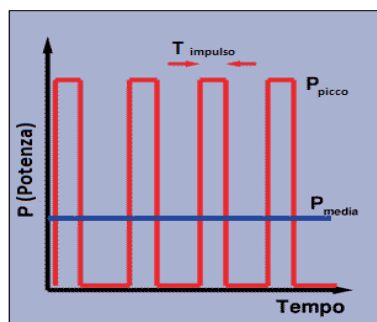


Figura 3.5 - Emissione in modalità impulsata.



Figura 3.6 - Esempio di propagazione diretta di fasci LASER

Sarà tuttavia possibile vedere l'intero fascio qualora lungo il suo percorso sia presente del materiale disperso (polveri, fumi, nebbie, ecc.).

A fibra ottica – questa modalità di propagazione della radiazione LASER necessita di una fibra ottica, materiale costituito sostanzialmente da un filo di vetro che, grazie al principio della “riflessione interna totale”, consente al fascio con “angolo critico di incidenza” (Fig. 3.7) di riflettersi infinite volte all'interno della fibra e propagarsi al suo interno per lunghissime distanze. Al termine della fibra ottica il fascio uscirà dall'estremità distale della fibra.

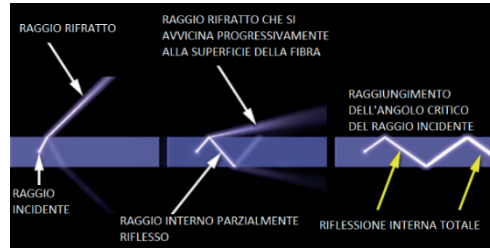


Figura 3.7 – Condizione per la propagazione di un fascio LASER all'interno di fibra ottica

A braccio articolato – Poiché alcune lunghezze d'onda ($\lambda > 4000\text{nm}$) vengono assorbite dal vetro e non possono quindi essere trasmesse mediante normali fibre in vetro o lenti, si utilizzano bracci articolati dotati di specchi riflettenti opportunamente posizionati, tali da consentire al fascio di essere orientato su specifici bersagli.

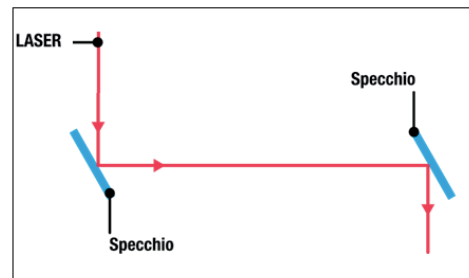


Figura 3.6 – Esempio di propagazione di fascio LASER mediante specchi

Per diffusione – si tratta di una modalità di propagazione che risponde ai criteri di diffusione più generalmente osservabili per qualsiasi fonte di radiazione ottica. Infatti, anche la radiazione LASER subisce il fenomeno della diffusione luminosa quando questa incontra sul suo tragitto una superficie più o meno diffondente o particelle sospese intercettate dal raggio. I fenomeni diffusivi assumono particolare rilevanza protezionistica per LASER di Classe 4 (vedi pag. 43).

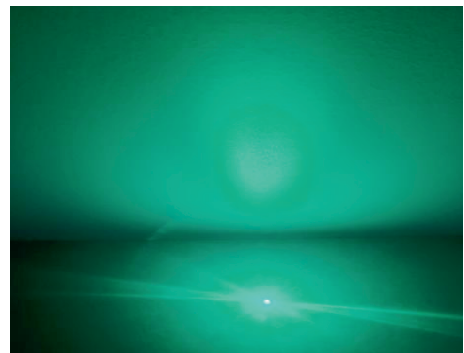


Figura 3.6 – Esempio di diffusione di luce LASER

3.6 Tipici impieghi della tecnologia LASER

I LASER trovano applicazione in diversi campi della tecnica e della scienza, oltre che nella ricerca in discipline quali la fisica, la chimica, la biologia e l'elettronica. Sono svariate le tecnologie che oggi utilizzano un LASER e quindi, può essere elencato solo un quadro riassuntivo dei principali campi di applicazione dei LASER:



3.6.1 Applicazioni sanitarie

L'oftalmologia: è la branca della medicina che per prima ha sfruttato il LASER, e ancora oggi è quella che più ne usufruisce, sfruttando tutti i tipi di interazione. Tra le applicazioni più importanti ritroviamo la chirurgia refrattiva in cui LASER agisce modificando la forma della cornea (che focalizza le immagini sulla retina) in modo correggere il difetto di focalizzazione (ipermetropia, miopia e/o astigmatismo). Ed ancora, nel trattamento del glaucoma, della cataratta e per la profilassi del distacco retinico, e per malattie degenerative della macula.

Dermatologia: La radiazione emessa dal LASER viene assorbita selettivamente dalle varie strutture cutanee, a seconda dei cromofori presenti nel tessuto, ad esempio, per l'emoglobina vengono utilizzati LASER con lunghezze d'onda del giallo o del verde. Anche nell'ambito della rimozione dei tatuaggi il LASER risulta efficace ma con radiazione che dipende dalla qualità del tatuaggio, dal pigmento da rimuovere e dal suo colore, per lo più, si usano LASER che sfruttano il fenomeno della fototermolisi selettiva in modalità Q-switching. Sempre LASER che sfruttano la fototermolisi selettiva vengono invece usati nella epilazione definitiva: l'energia luminosa si trasforma in energia termica, provocando "l'esplosione" delle cellule del bulbo pilifero.

Chirurgia: La possibilità che la radiazione LASER possa essere veicolata mediante fibra ottica all'interno del corpo umano e quindi direttamente verso specifici bersagli anatomici, ha consentito lo sviluppo di tecniche chirurgiche endoscopiche sempre meno invasive. Tra queste troviamo applicazioni in urologia nel trattamento dell'ipertrofia prostatica benigna, nella urolitiasi per la frantumazione di calcoli renali e nel carcinoma della vescica.

Fisioterapia: Grazie alle proprietà della radiazione LASER di penetrare nei tessuti, l'impiego in ambito terapeutico accelera i processi naturali di guarigione. Si tratta di una delle forme di terapia fisica sempre più diffusa, applicabile in tutte le patologie in cui sono presenti infiammazioni, edemi, algie, indolore e quasi priva

di effetti avversi oltre che minimamente invasiva. I LASER utilizzati sono quasi sempre con lunghezze d'onda appartenenti alla regione spettrale dell'infrarosso.

LASER (λ - banda spettrale)	APPLICAZIONI SANITARIE	INTERAZIONI			
		FOTO MECCANICA	FOTO ABLATIVA	FOTO TERMICA	FOTO CHIMICA
CO2 (10600 nm - IR)	Chirurgia plastica, dermatologia, urologia, odontoiatria, chirurgia vascolare, ginecologia, neurochirurgia, fisioterapia			SI	
Nd: YAG 2w (532 nm - VIS)	Dermatologia (rimozione tatuaggi) oftalmologia (trattamento glaucoma cronico) ecc.			SI	
Nd: YAG (1064 nm - IR)	Dermatologia (epilazione, rimozione tatuaggi) oftalmologia, litotrissia, odontoiatria, fisioterapia, chirurgia vascolare	SI		SI	
Er: YAG (2940 nm - IR)	Dermatologia, odontoiatria, ecc.			SI	
Ho: YAG (2127 nm - IR)	Urologia (ipertrofia prostatica benigna), ecc.			SI	
Diodi (IR)	Dermatologia (epilazione), odontoiatria, fisioterapia, ecc.			SI	
Diodi (VIS)	Oftalmologia, fisioterapia, ecc.				SI
Argon (514,5 nm - VIS)	Oftalmologia, dermatologia, urologia (tumore vescica), ecc.			SI	SI
Dye Laser (VIS)	Dermatologia, oncologia, ecc.			SI	SI
Eccimeri (UV)	Oftalmologia, chirurgia cardiovascolare, dermatologia, ecc.		SI		

Tabella 3.1 – Impiego di LASER in tipiche applicazioni sanitarie ed interazioni con il tessuto utilizzate

3.6.2 Applicazioni industriali e civili

L'impiego dei LASER nel comparto industriale ha consentito il maggior numero di benefici tecnologici. Uno dei vantaggi più rilevanti di questa tecnologia ha a che fare con la possibilità di intervenire con la massima affidabilità e sulla base di standard di precisione decisamente elevati su materiali di ogni genere, dalla ceramica alla pelle, passando per il vetro. La marcatura LASER non è che uno tra i tanti esempi che si possono citare, ma non ci si deve dimenticare del taglio, dell'incisione e di numerose altre operazioni. In riferimento all'applicazione del LASER a livello industriale, la principale attività nel settore va individuata nel trattamento dei metalli. Per esempio, attraverso la saldatura, che in campo elettronico può riguardare le batterie al litio o le guarnizioni dei pacemaker; ma anche attraverso l'indurimento superficiale su varie leghe, dal titanio alla ghisa, passando per l'acciaio, il magnesio e l'alluminio. I LASER, inoltre, trovano applicazione in campi che richiedono un livello di evoluzione tecnologica molto avanzato come l'industria aerospaziale.

Taglio LASER: Azione combinata di un fascio LASER che fonde un materiale e di un getto di gas che allontana il liquido. Si ottengono velocità dell'ordine di m/s su spessori di alcuni mm su acciaio o alluminio. Ampliamente utilizzato anche per legno, plastica, plexiglass, tessuto, cuoio, ecc. I materiali tagliati a LASER hanno bordi di taglio stretti e paralleli con ridotta zona alterata termicamente. Questa

tecnologia facilmente si integra a sistemi robotici ed è utilizzabile per una vasta gamma di materiali trattabili: organici, amorfi, metallici e con elevata velocità di taglio (40m/min) su spessori consistenti.

Marcatatura LASER: Anche per realizzare scritte o disegni su diversi materiali, vengono usati i LASER. Questi inducono modifiche superficiali che evidenziano la zona irraggiata (bruciatura, microforatura, reazione chimica, ecc.). Tale tecnologia oltre a rendere indelebile quanto marcato sul materiale, offre un dettaglio difficilmente raggiungibile con altre tecniche.

Telecomunicazione: La radiazione LASER può essere proficuamente utilizzata per il “trasporto” di segnali modulanti, consentendo di realizzare sistemi di comunicazione ottica con una capacità d’informazione maggiore di quella degli ordinari sistemi di telecomunicazione generalmente affidata alla conduzione di segnali elettrici in conduttori di rame. La monocromaticità e la coerenza spaziale (che assicura la concentrazione dell’energia irraggiata in un fascio molto stretto) fanno sì che con il LASER si possano trasportare informazioni, nelle fibre ottiche o nello spazio libero, anche per lunghe distanze e con velocità di trasmissione superiore al Gbit/s.

Intrattenimento: In concerti e spettacoli dal vivo i LASER visibili si prestano già da qualche tempo a restituire suggestivi giochi di fasci e immagini. Usando degli specchi mobili comandati elettricamente, è possibile deviare un fascio LASER disegnando figure geometriche nell’aria dove il fascio di luce è reso visibile da particelle di fumo opportunamente diffuso.

Questi sono solo alcuni esempi delle molte applicazioni della tecnologia LASER, che continua a evolversi e a espandersi in nuovi ambiti.

4 PERICOLI CONNESSI ALLA RADIAZIONE LASER

4.1 Pericoli per la salute

Come evidenziato nei capitoli precedenti, i LASER producono intensi fasci di luce altamente direzionali e collimati e, per tanto, l'esposizione ad alcuni tipi di radiazione può provocare danni alla persona anche a notevoli distanze, tenuto conto dell'elevato contenuto energetico dei fasci e della piccola divergenza che li caratterizza.

Se per le radiazioni ottiche incoerenti lo spettro della radiazione di interesse protezionistico è compreso tra le lunghezze d'onda 100 nm e 1mm, per la radiazione LASER si considera uno spettro più ristretto e compreso tra 180 nm e 1mm. La ragione del limite a 180 nm è dovuta al fatto che le applicazioni LASER per lunghezze d'onda inferiori a 180 nm sono molto rare. Per quanto invece concerne l'intervallo dello spettro visibile, per la sicurezza LASER si considera l'intervallo cautelativo che va da 380nm a 700 nm anziché 780 nm. Tale necessaria restrizione è da ricondurre al fatto che in quella specifica regione spettrale (700 -780 nm) la sensibilità visiva dell'occhio è molto bassa, condizione che potrebbe impedire l'attuarsi di reazioni di difesa oculare (per esempio la chiusura delle palpebre) con il rischio di esporre l'occhio e i suoi distretti anatomici ad energie pericolose.

Come vedremo più avanti, a seconda della potenza e delle caratteristiche della radiazione emessa, il LASER può essere molto pericoloso soprattutto per gli occhi. Anche il più innocuo dei LASER, quale ad esempio il raggio di un semplice puntatore per presentazioni, può rivelare inaspettate sorprese.

Per meglio rendersene conto proviamo a confrontare la radiazione solare con la radiazione emessa da un piccolo puntatore LASER.

L'intensità massima della luce solare a terra è di circa 1 kW/m^2 quindi circa 1 mW/mm^2 e la conseguente potenza raccolta dall'occhio è di circa 3 mW (considerando una pupilla da 2 mm di diametro). Tenuto conto della capacità di focalizzazione dell'occhio e fatti i dovuti calcoli, sulla retina si formerà un'immagine del sole (diametro di circa 200 μm) con una intensità (Potenza/Area) di circa 100 mW/mm^2 .

Riformulando gli stessi calcoli per un LASER con potenza di 1 mW (puntatore) e un fascio con raggio di 1 mm, troveremo che sulla retina verrà focalizzato un fascio (diametro di circa 20 μm) con intensità (Potenza/Area) pari 3100 mW/mm^2 , cioè 31 volte l'intensità del sole. Se ne deduce quindi che l'occhio e le sue principali strutture anatomiche sono il principale organo bersaglio delle radiazioni LASER, poiché potenzialmente in condizioni di essere colpiti da fasci molto energetici, ed in certe condizioni, anche focalizzati sulla retina. Ovviamente, tenuto conto delle energie in gioco, anche la cute può subire danni più o meno gravi per esposizione a radiazione LASER e, pertanto, anch'essa rappresenta un importante organo bersaglio degno di interesse protezionistico.

Tenuto conto dei potenziali effetti avversi della radiazione LASER alla salute umana, è bene anche evidenziare che esistono diversi effetti sui tessuti biologici, dipendenti da molteplici variabili, che vengono sfruttati proficuamente in campo medico.

4.1.1 Effetti della radiazione LASER sui tessuti biologici

Gli effetti della radiazione LASER sui tessuti biologici dipendono dalla lunghezza d'onda, dalla potenza utilizzata, dal tempo di esposizione, dall'angolo di incidenza, dalla distanza fra la sorgente e il tessuto, dall'ampiezza della superficie esposta e, ovviamente, dal tipo di tessuto biologico. Per quanto riguarda i diversi tessuti biologici, esiste una variabilità di interazione tra una data lunghezza d'onda e certe sostanze in essi contenute (cromofori), che determinano diversi effetti anche sfruttabili in campo sanitario.

I principali effetti biologici della radiazione LASER sono:

Effetto fototermico - È dovuto all'aumento di temperatura del tessuto causato dall'assorbimento della radiazione, tale condizione determina modifiche strutturali delle molecole colpite dalla radiazione con conseguente formazione di nuove sostanze a seguito di reazioni chimiche attivate dalla radiazione LASER, ad esempio la denaturazione delle proteine, la vaporizzazione e la necrosi. È l'effetto più frequente, soprattutto per esposizioni dell'ordine dei millisecondi o più. Per esposizioni più prolungate e per lunghezze d'onda superiori a 600 nm è l'unico effetto che può determinare il superamento delle soglie di danneggiamento. Tale effetto viene utilizzato in applicazioni come la chirurgia LASER e la terapia fototermica.

Effetto fotochimico - È dovuto all'interazione della luce LASER con il tessuto (con conseguente modificazione delle molecole del tessuto) e/o alla produzione di nuove sostanze per effetto di reazioni chimiche attivate dalla radiazione. Questo processo è tipico per lunghezze d'onda inferiori a 600nm e per esposizioni dell'ordine dei secondi o più e determina la denaturazione e coagulazione delle proteine, la frammentazione dei nuclei cellulari e la formazione di radicali liberi. Questo effetto viene sfruttato nella terapia fotodinamica, dove un fotosensibilizzante attivato dalla luce produce specie reattive dell'ossigeno, che distruggono le cellule bersaglio come quelle tumorali.

Effetto fotomeccanico - È dovuto alla formazione di onde d'urto o onde di pressione causate dalla radiazione ed in grado di causare fratture meccaniche del tessuto danneggiandolo. Tale effetto provoca la ionizzazione di atomi e la conseguente rottura di legami molecolari del tessuto colpito. Il processo è a soglia, ciò significa che se la densità di potenza rimane al di sotto di un certo valore non viene innescata la ionizzazione. È il processo più importante nel caso di impulsi di forte intensità di picco e di brevissima durata. È l'effetto spesso utilizzato in procedure come la litotripsia LASER per frammentare i calcoli renali.

Effetto fotoablativo - È un processo complesso che determina la rimozione esplosiva di materiale dal tessuto in seguito all'irraggiamento. È rilevante principalmente nel caso di impulsi di elevata potenza, soprattutto nell'ultravioletto. Questo effetto è usato in applicazioni come la chirurgia refrattiva corneale, dove strati di tessuto vengono rimossi con precisione per correggere la vista.

4.1.2 L'occhio umano quale organo bersaglio

In questo paragrafo viene descritto in termini generali l'organo oculare, tralasciandone però molti aspetti anatomici e fisiologici, in quanto non strettamente pertinenti allo scopo del presente manuale. L'occhio o meglio gli occhi, ci consentono di vedere tutto ciò che ci circonda grazie all'elaborazione dei segnali nervosi che trasmettono al cervello e quindi ci consentono di interagire con lo spazio intorno a noi. Trattandosi di organi estremamente delicati, poiché è possibile considerarli una vera e propria estensione del nostro cervello verso l'esterno, essi trovano alloggiamento all'interno delle cavità oculari ben protetti dalle ossa del cranio. La radiazione ottica visibile interagisce con tutti i distretti anatomici di quest'organo deputati alla visione, poiché le immagini stesse sono frutto dell'interazione della radiazione ottica con la materia circostante; tuttavia, anche le componenti non visibili della radiazione ottica quali raggi UV e IR posso interagire con l'occhio a diversi livelli.

Tra le parti anatomiche dell'occhio (Fig. 4-1) strettamente deputate alla visione troviamo per prima la cornea. La cornea, costantemente nutrita e lubrificata dal liquido lacrimale e dal movimento meccanico della palpebra che scorre su e giù con ritmi variabili, è una membrana di tessuto trasparente e protettivo che, nelle parti dell'occhio non coinvolte dalla visione, si trasforma in un tessuto diverso chiamato sclera, deputato all'integrità strutturale dell'occhio. La straordinaria trasparenza della cornea è data dalla particolarità delle cellule che la costituiscono e dalla mancanza di vasi sanguigni. Nella zona retrostante la cornea, troviamo l'iride e la pupilla con uno strato intermedio di liquido trasparente, noto come umor acqueo, che li separa dalla cornea. L'iride sostanzialmente svolge la funzione di diaframmare la pupilla, cioè il foro centrale sull'asse ottico che permette l'ingresso della luce all'interno dell'organo oculare, grazie all'insieme di piccoli muscoli e fibre che la caratterizzano. L'iride riesce a modificare l'apertura e chiusura della pupilla e quindi aumentare o diminuire la quantità di luce. La pupilla, in condizioni normali, ha un intervallo di apertura che va da 2 mm in piena luce agli 8 mm in caso di buio. Tuttavia, quando l'intensità luminosa è improvvisa o superiore al quantitativo di luce necessario per la regolare visione, esiste un riflesso ottico noto come "riflesso palpebrale" che fa velocemente chiudere le palpebre (0,25 s) a protezione dell'organo dagli abbagliamenti. Al di là della pupilla si trova una sorta di lente chiamata cristallino, quest'organo, anch'esso trasparente ed elastico, è corredato di una muscolatura intorno, detta ciliare, che gli consente di modificare la sua curvatura e quindi la messa a fuoco dell'immagine sulla retina.

Sul fondo oculare, a foderare l'interno dell'occhio, troviamo la retina, un reticolo di cellule nervose irrorate da vasi sanguigni e connessa al nervo ottico. Nello spazio tra il cristallino e la retina si trova una sorta di gelatina trasparente detta umor vitreo. Come in una macchina fotografica, l'immagine messa a fuoco nella parte anteriore dell'occhio viene proiettata rovesciata sulla retina (in fondo al bulbo oculare) sollecitandone le cellule nervose.

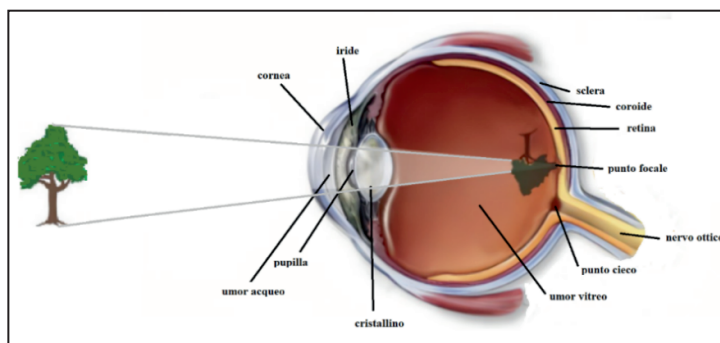


Figura 4-1. Rappresentazione schematica dell'occhio umano

La retina è una struttura estremamente sensibile, dotata di svariati milioni di cellule nervose recettrici dette coni e bastoncelli. I coni sono maggiormente concentrati in una zona detta macula, in cui cade la maggior parte delle immagini focalizzate, mentre i bastoncelli sono maggiormente concentrati nelle zone periferiche della retina. L'interazione di queste cellule con le immagini, e quindi con la radiazione ottica stimolante, è di tipo elettrochimico e selettivo in funzione della lunghezza d'onda; infatti, tra i coni troviamo tre tipologie di cellule rispettivamente specializzate nella percezione del rosso del verde e del blu, mentre i bastoncelli, sono più sensibili alla bassa luminosità, sono un insieme di cellule che reagisce specificatamente ai colori e all'intensità luminosa.

Questi svariati e continui impulsi elettrici percepiti dalle diverse cellule nervose della retina vengono mandati alla corteccia cerebrale del nostro cervello tramite il nervo ottico per le ulteriori elaborazioni e la restituzione delle immagini.

Analizzando l'occhio come sistema ottico, tenuto conto di quanto detto al paragrafo 1.4 in merito al fuoco e al potere diottrico di una lente, si nota che l'occhio umano possiede due lenti convergenti: la prima lente, formata dalla cornea e dall'umor acqueo, ha potenza focale fissa; mentre la seconda lente, il cristallino, ha la capacità di modificare la sua forma e quindi la sua potenza focale grazie ai muscoli ciliari (per mettere a fuoco le immagini lontane si rilassa, diminuendo la sua potenza focale, mentre per mettere a fuoco quelle vicine si contrae, aumentandola).

4.1.3 Danni oculari da radiazione LASER

La tipologia di effetti nocivi sull'occhio dovuti all'esposizione alle radiazioni ottiche dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione incidente, mentre la gravità degli effetti nocivi dipende dall'intensità della radiazione e ovviamente dai tempi di esposizione, condizione più significativa per le radiazioni coerenti.

Le componenti visibili della radiazione ottica possono provocare anche disturbi visivi come abbagliamento e accecamento temporanei, che possono determinare fenomeni infortunistici.

L'occhio ha solo alcuni meccanismi di difesa e solo in risposta agli stimoli visivi (380-780 nm), questi includono riflessi protettivi (battito delle palpebre, contrazione della pupilla o movimento della testa per limitare la quantità di luce che raggiunge la retina) e movimenti oculari continui (saccadi), che assicurano che la stessa area della retina non sia esposta costantemente.

Considerando gli effetti dannosi sull'occhio dal punto di vista temporale, questi possono essere di tipo acuto, anche detti a breve termine, e di tipo cronico, anche detti a lungo termine.

In generale, per ciascun effetto acuto è possibile stabilire una dose soglia al di sotto della quale l'effetto non si verifica.

La maggior parte degli effetti a lungo termine invece, non essendo dose correlato, può recare danni in termini probabilistici, la probabilità cresce con l'aumentare dell'esposizione all'agente eziologico.

L'insieme della struttura oculare deputata alla visione è sostanzialmente paragonabile ad un insieme sequenziale di filtri ottici, ciascuno con una specifica trasmissione spettrale e quindi assorbimento specifico, tutto in funzione della lunghezza d'onda incidente.

Lunghezza d'onda (nm)	Tipo	Occhio
100 - 280	UV C	Fotocheratite
280 - 315	UV B	Foto congiuntivite
315 - 400	UV A	Cataratta fotochimica
380 - 440	Luce blu	Fotoretinite
400 - 780	Visibile	Lesione fotochimica e termica della retina
780 - 1400	IR A	Cataratta Bruciatura della retina
1400 - 3000	IR B	Cataratta, Bruciatura della cornea
3000 - 10 ⁶	IR C	Bruciatura della cornea

Tabella 4-1 Effetti eziologici alle strutture oculari in funzione della lunghezza d'onda

Gli effetti sull'occhio dipendono quindi dalla capacità di penetrazione della radiazione, e la penetrazione varia con il variare della lunghezza d'onda della radiazione incidente. Anche l'energia della radiazione è da considerare un fattore determinante, infatti la radiazione incidente, per causare effetti, deve trasportare una determinata quantità di energia e deve superare un valore limite di esposizione. Quando le due condizioni sopra citate sono soddisfatte, la radiazione ottica può provocare conseguenze dannose all'occhio (Tab. 4-1).

Per un dato intervallo di lunghezze d'onda, la radiazione ottica interagisce con diversi tessuti oculari (Fig. 4-2).

Per la porzione di radiazione ottica ricadente nell'intervallo degli ultravioletti, gli effetti biologici prodotti su ogni singola struttura dipendono da quattro specifici fattori.

- 1- La dose assorbita, che a sua volta è legata anche alle proprietà filtranti delle strutture precedenti, le quali possono assorbire, completamente o in parte, la radiazione di determinate lunghezze d'onda.
- 2- Le caratteristiche intrinseche di assorbimento della struttura considerata.
- 3- La suscettibilità dei tessuti interessati all'assorbimento dei raggi ultravioletti.
- 4- La capacità di riparare il danno prodotto dalla radiazione.

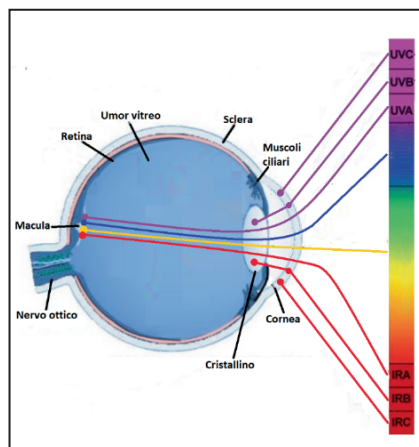


Figura 4-2. Rappresentazione grafica dell'interazione delle varie lunghezze d'onda della radiazione ottica con le diverse strutture oculari e della loro capacità di penetrazione

La trasmissione spettrale del cristallino varia progressivamente con l'età e ciò può influire sia sulla natura, sia sul livello di rischio. Discorso a parte va fatto per l'occhio afachico (privo del cristallino) oppure dotato di protesi sostitutiva del cristallino: tale condizione può alterare notevolmente la trasmissione dell'occhio nella regione spettrale dell'ultravioletto e quindi aumentare l'esposizione della retina.

Gli effetti dannosi più significativi che possono manifestarsi sulle strutture dell'occhio non protetto ed esposto alle radiazioni ultraviolette possono essere diversi. Tra questi troviamo:

Fotocheratocongiuntivite - Patologia attesa per esposizioni a radiazione con lunghezza d'onda compresa tra 100 e 330 nm. Trattasi di una patologia acuta determinata da esposizioni brevi ma intense che ha come effetto lesioni superficiali che interessano la congiuntiva e la cornea, dovute alla morte progressiva di cellule epiteliali con conseguente messa a nudo delle numerose terminazioni nervose superficiali che vengono a contatto con il velo lacrimale. Lo stato infiammatorio risultante ha però carattere transitorio e reversibile, anche

se accompagnato da dolore acuto, fotofobia e fastidiosa sensazione di sabbia negli occhi.

Danni al cristallino - Danni che possono accelerare l'insorgenza della cataratta, attesa per esposizioni a radiazioni ultraviolette con lunghezza d'onda compresa tra 290 e 340 nm. La cataratta da ultravioletti è una patologia di natura fotochimica, attesa per esposizioni croniche e favorita dai lenti meccanismi di riparazione, si esprime con l'opacizzazione, più o meno accentuata, del cristallino e conseguente riduzione della trasmissione della luce verso la retina ed un aumento della sua componente diffusa.

La cataratta, tuttavia, è anche una patologia multifattoriale dell'età avanzata, legata a processi di invecchiamento cellulare. La radiazione ultravioletta comunque è in grado di accelerare tutti i processi di invecchiamento e quindi viene considerata un fattore causale specifico.

Danno retinico - Danno di natura fotochimica per gli individui afachici, o protesizzati con cristallino artificiale. Si tratta di danni attesi per lunghezze d'onda comprese tra 300 e 550 nm.

Anche la radiazione infrarossa esplica effetti potenzialmente dannosi.

La cataratta infrarossa - Si tratta di una reazione alla luce infrarossa con ampio intervallo di lunghezza d'onda (da 700-1400 nm), il picco può essere nell'intervallo 900-1000 nm e colpisce il cristallino con conseguente disabilità visiva. Si ritiene che sia un effetto fototermico, ma può anche essere una reazione fotochimica.

A causa delle caratteristiche di trasmissione del cristallino, l'esposizione della retina deve essere considerata solo nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 300 e 1400 nm. L'eccezione è nel caso specifico dell'occhio afachico (privo del cristallino), in cui la lente non è ancora cresciuta o viene rimossa durante l'intervento chirurgico.

Quando si è esposti quindi alla radiazione infrarossa compresa tra gli 780 e i 1400 nm con livelli cronici ed elevati, si può determinare il danneggiamento la retina secondo due meccanismi:

Retinopatia termica - Danno che si verifica quando l'occhio è esposto per brevi periodi di tempo a livelli molto elevati di radiazioni. Il livello di esposizione richiesto per creare danni termici sulla retina difficilmente viene soddisfatto da dispositivi di ROA non coerente.

Retinopatia fotochimica - Danno che può manifestarsi dopo un breve periodo di esposizione intensa o dopo un lungo periodo di esposizione a livelli di luce più bassi. La luce visibile (380 -780 nm) e la radiazione nel vicino infrarosso (780 -1400

nm) si concentrano sulla retina e, quando essa è sovraesposta, possono causare lesioni retiniche determinate da danni da calore o fotochimici.

È importante ricordare che l'esposizione della retina alla sorgente luminosa dipende sia dalla durata dell'esposizione che dal grado di radiazione retinica (W/m^2), dove l'immagine retinica della sorgente luminosa è prodotta dal sistema ottico formato dalla cornea e dal cristallino.

Nota a parte merita l'esposizione alla cosiddetta "luce blu", radiazione visibile compresa tra 380 e 440 nm, in grado di attivare un meccanismo dannoso con formazione di fotoretinite. La luce blu, per tempi di esposizione superiori ai 10 secondi, stimola la produzione di specie reattive dell'ossigeno e radicali liberi, causando stress ossidativo alle cellule dell'epitelio pigmentato retinico. In tempi più brevi, l'effetto termico è più dominante e può causare la denaturazione delle proteine e di importanti componenti biologici della retina.

4.1.4 La cute quale organo bersaglio

La cute, o pelle, è un tessuto continuo che rappresenta il rivestimento più esterno del corpo umano, una vera e propria barriera tra il nostro interno anatomico e l'ambiente esterno.

La cute è un vero e proprio organo che svolge molteplici funzioni, essa si divide in tre strati: un epitelio più esterno chiamato epidermide, tessuto che svolge un ruolo di protezione da agenti esterni, previene la disidratazione ed è privo di vasi sanguigni; un tessuto connettivo intermedio chiamato derma (ricco di collagene e di molte terminazioni nervose, tattili, termiche e dolorifiche, che rendono la pelle un vero e proprio organo sensoriale), che da supporto e nutrimento all'epidermide svolgendo importanti scambi con gli strati adiacenti; e infine un ulteriore strato più

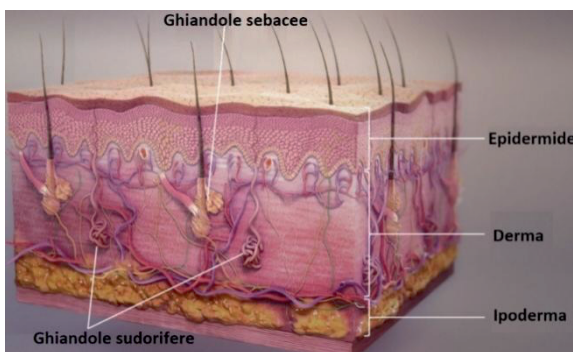


Figura 4.3 – Sezione anatomica della cute

interno detto ipoderma o sottocute, un tessuto adiposo più o meno spesso in funzione dell'aspetto nutrizionale dell'individuo, che consente alla pelle di assumere una struttura e quindi la funzione di protezione meccanica.

Tralasciando ulteriori aspetti anatomici, tra cui strati cellulari e annessi cutanei (unghie, peli ecc.), è importante ricordare la presenza di vasi sanguigni a

livello del derma e del sottocute, vasi che oltre al nutrimento cellulare, garantiscono anche importanti processi di termoregolazione. A tal proposito, grazie al fatto che la cute è una cattiva conduttrice del calore, ci difende dalle eventuali temperature esterne severe, svolgendo, per questo, un ruolo di estrema

importanza nella termoregolazione corporea, assicurando l'omeostasi della temperatura con la costrizione o dilatazione dei vasi sanguigni, variazione della traspirazione e dell'evaporazione a seconda delle temperature; infine, il pigmento, più o meno intenso in funzione anche del fenotipo, protegge la cute e quindi l'intero organismo dall'azione dannosa dei raggi luminosi.

4.1.5 Danni cutanei da radiazione LASER

Quando la pelle è esposta, parte della luce in arrivo viene riflessa mentre il resto viene trasmesso attraverso l'epidermide e il derma. Le lesioni sono dipendenti ovviamente dall'intensità della radiazione e dalla durata dell'esposizione. La principale preoccupazione per la pelle è l'esposizione ai raggi ultravioletti, che rappresentano un rischio fotochimico a causa del danno diretto al DNA, che produce una risposta infiammatoria familiare come l'eritema (scottature solari). Tuttavia, come meccanismo di difesa, se la pelle è esposta ripetutamente ai raggi UV, in essa può aumentare la produzione di melanina prevenendo gli effetti dei raggi ultravioletti che danneggiano la pelle.

Gli effetti nocivi della luce sulla pelle appaiono fondamentalmente nella gamma di lunghezze d'onda dei raggi ultravioletti; infatti, la radiazione UV compresa tra 200 e 320 nm determina una reazione fotochimica che produce eritema cutaneo nel breve periodo espositivo, mentre, per esposizioni croniche, si può giungere al cancro della pelle, invecchiamento cutaneo, melanoma, ecc.

Un altro rischio è rappresentato dalla produzione di radicali liberi che possono attaccare il DNA, alterandolo, e altre cellule della pelle come il collagene. Il collagene fornisce elasticità alla pelle e il danno al collagene causerà la perdita di elasticità della pelle, portando alla comparsa di rughe e all'invecchiamento cutaneo.

Lunghezza d'onda (nm)	Tipo	Cute	
100 - 280	UV C	Eritema (scottatura della pelle) Reazione di fotosensibilità	Tumori della pelle
280 - 315	UV B		Processo accelerato di invecchiamento cutaneo
315 - 400	UV A		
380 - 440	Luce blu		
400 - 780	Visibile		
780 - 1400	IR A		
1400 - 3000	IR B		
3000 - 10 ⁶	IR C		Bruciatura della pelle

Tabella 4-2 Effetti eziologici sulla cute in funzione della lunghezza d'onda

Anche il rischio di ustioni termiche è presente, ma meno preoccupante perché l'esposizione è solitamente limitata a causa delle sensazioni di dolore che accompagnano le esposizioni alle alte temperature.

Con la luce visibile e i raggi infrarossi, le ustioni possono essere causate da radiazioni di energia molto elevata e, salvo l'uso di dispositivi LASER, si è generalmente lontani dal raggiungere gli alti livelli di energia necessari per bruciare accidentalmente la pelle con sistemi ad emissione ottica non coerente.

Nell'insorgenza delle alterazioni cutanee da radiazione UV va sottolineata l'importanza delle sostanze fotosensibilizzanti endogene come le porfirine, o esogene come alcuni farmaci (sulfamidici, antimicotici la come griseofulvina, eritromicina ecc.) e molecole come l'esaclorofene, e altre presenti in olii essenziali (es. olio di bergamotto, ecc.) potenzialmente presenti nei prodotti cosmetici (vedi Tab. 7.1 pag. 63).

4.2 Pericoli indiretti

La presenza di un LASER può rappresentare, oltre che una fonte di pericolo per la salute, anche un pericolo per la sicurezza. Questi pericoli possono essere molteplici e certamente dipendenti sia dalla tipologia di LASER presente, sia dall'ambiente circostante. I principali pericoli indiretti detti anche collaterali, possono essere determinati dall'interazione della radiazione LASER con l'ambiente circostante o con il bersaglio colpito, ma anche dai componenti costruttivi del LASER stesso. Tra i pericoli principali si annovera ovviamente il rischio incendio; infatti, è noto che la radiazione LASER, ma anche l'eventuale materiale incandescente prodotto, può essere in grado di rappresentare un potenziale innesco in grado di causare un incendio, soprattutto se in presenza di vapori infiammabili o comunque materiali combustibili e/o comburenti (alcool, ossigeno, solventi, tessuti, ecc.). Per i LASER di grande potenza (superiori ad 1 KV) e soprattutto in regime pulsato, non è da sottovalutare, specialmente per le attività di manutenzione, il pericolo elettrico rappresentato, oltre che dalla presenza di contatti diretti, anche dalla presenza di condensatori elettrici. Questi ultimi, destinati ad immagazzinare l'energia necessaria al funzionamento del LASER, possono essere coinvolti anche in scoppi ed esplosioni. Non va sottovalutato neanche il pericolo criogenico connesso alla presenza di fluidi e gas refrigeranti, ovviamente sempre per LASER di alta potenza. Ulteriori fattori di pericolo indiretto possono essere rappresentati dall'uso di sostanze chimiche, anche con effetto cancerogeno, quali i coloranti organici utilizzati per la preparazione del mezzo attivo in LASER a liquido, ed ancora dalla generazione di gas e vapori inalabili, quando la radiazione colpisce del materiale organico (chirurgia), e perfino un pericolo biologico connesso alla potenziale inalazione di agenti biologici provenienti dalla vaporizzazione di tessuti anatomici infetti. Anche la possibilità che un LASER generi radiazione elettromagnetica collaterale può rappresentare un

pericolo, nello specifico si può riscontrare la presenza di una radiazione ultravioletta o infrarossa o addirittura X. Tali radiazioni possono provenire dalle lampade flash, dai tubi a scarica o dalle sorgenti di pompaggio, oppure essere radiazioni di ritorno dopo che il fascio ha colpito il bersaglio. Non da meno, anche il rumore può rappresentare un rischio collaterale, e questo può essere generato dai sistemi di raffreddamento, dalla presenza di condensatori e persino dall'interazione fascio-bersaglio, soprattutto per i regimi impulsati di potenza. Per quanto sopra esposto quindi, nell'ambito del processo di valutazione dei rischi, tutti gli aspetti sopra menzionati, qualora presenti, saranno oggetto di opportuna valutazione e seguite dalle opportune misure di riduzione del rischio.

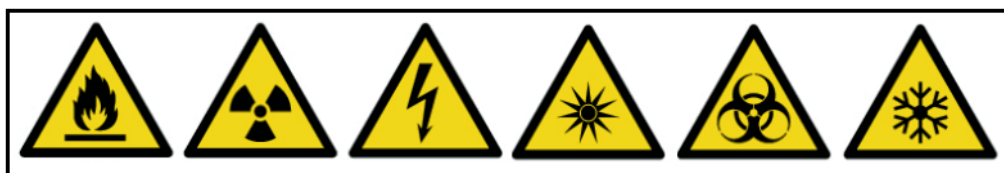


Figura 4.4 – Possibili cartelli indicatori di rischi collaterali da LASER ad integrazione di quelli previsti

5 LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER LA SICUREZZA LASER

5.1 Il Decreto Legislativo 81/08

La normativa riguardante la sicurezza dei LASER è principalmente regolata dal Decreto Legislativo 81/2008, che riguarda la salute e la sicurezza nei luoghi di lavoro. Questo decreto, al Titolo VIII "Agenti fisici", Capo V "Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a radiazioni ottiche artificiali" recepisce la Direttiva Europea 2006/25/CE per la prevenzione dei rischi da ROA, compresi quelli associati all'uso dei LASER. Lo stesso Decreto, all'Art. 215, per quanto concerne i "Valori limiti di esposizione per radiazione LASER", sia per l'occhio che per la cute, rimanda all'Allegato XXXVII (parte II), mentre all'Art. 216 stabilisce che, per quanto riguarda la valutazione dei rischi per l'uso di apparecchiature LASER, la valutazione del rischio dei sistemi LASER sia effettuata secondo quanto dettato dalle norme IEC. Tale rinvio a norma impone che, per garantire la sicurezza LASER in ambienti di lavoro, la valutazione dei rischi debba essere fatta in linea con quanto prescritto dalla norma CEI EN 60825-1.

Come per tutti gli altri rischi in ambienti di lavoro il d.lgs. 81/2008 prevede quindi che i datori di lavoro che utilizzino apparecchiature LASER nei propri processi produttivi siano tenuti a:

- 1 Valutare i rischi associati all'uso di LASER;
- 2 formazione e informazione ai lavoratori sui rischi e sulle misure di sicurezza;
- 3 Implementare misure di protezione appropriate, come barriere fisiche, occhiali protettivi e segnali di avvertimento.

A tal proposito, il Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Provincie autonome, in collaborazione con ISPESL-INAIL e ISS, con il documento n° 1-2009 (aggiornato nel 2014), riporta le indicazioni operative per la valutazione dell'esposizione a sorgenti LASER.

Esistono ulteriori norme specifiche per settori particolari, come la sanità e l'industria, che possono richiedere ulteriori precauzioni e protocolli di sicurezza per l'uso dei LASER, tra questi se ne elencano alcune tra le più importanti:

- Norma CEI 76 Fascicolo 3849 R Anno 1998 Ed Prima "Guida per l'utilizzazione di apparati LASER";
- Norma CEI 76 Fascicolo 3850 R Anno 1998 Ed Prima "Guida per l'utilizzazione di apparati LASER per laboratori di ricerca";
- Norma CEI 76 - 6 CT 76 Fascicolo 5928 "Guida all'uso di apparati LASER in medicina";
- Norma CEI EN 60825-2 "Sicurezza dei sistemi di telecomunicazione a fibre ottiche";
- Norma CEI EN 60825-4 2003 Fascicolo 6828 "Barriere per LASER";

- Norma UNI EN 12254:2010 Schermi per posti di lavoro in presenza di LASER;
- Norma UNI EN 207:2004 Protezione personale degli occhi – filtri protettori dell'occhio contro radiazioni LASER (protettori dell'occhio per LASER);
- Norma UNI EN 208:2004 Protettori dell'occhio per i lavori di regolazione sui LASER e sistemi LASER (protettori dell'occhio per regolazioni LASER).

Per quanto riguarda il personale qualificato in materia di sicurezza LASER, la Consulta Interassociativa Italiana per la Prevenzione (CIIP) in collaborazione con il gruppo di lavoro "Agenti fisici" del Coordinamento Interregionale Sicurezza e Salute Luoghi di Lavoro, con un documento del 21 maggio 2020, indica la figura tecnica dell'Esperto in sicurezza LASER, figura che a sua volta viene ulteriormente identificata come Addetto Sicurezza LASER (ASL), per uso di LASER nel settore sanitario, veterinario ed estetico, e come Tecnico Sicurezza LASER (TSL), per uso di LASER nel settore industriale, civile, telecomunicazioni, ecc. Nel documento, vengono anche stabilite le competenze tecniche necessarie per l'utilizzatore e per il preposto, in attività che prevedano l'uso di apparecchiature LASER.

5.2 La norma CEI EN 60825-1

La pubblicazione IEC 60825, emessa dalla *International Electrotechnical Commission* (IEC), rappresenta lo standard internazionale sulla sicurezza LASER. Tale pubblicazione è suddivisa in diverse parti, tra queste la principale è la pubblicazione base rappresentata dalla IEC 60825-1, successivamente recepita come norma europea, emessa dal CENELEC (ente di normazione europeo) come EN 60825-1 poi tradotta in italiano e recepita dall'Italia come norma CEI EN 60825-1 emessa dal Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI). Lo stesso percorso è stato seguito dalle altre parti della norma IEC 60825.

Lo scopo della presente norma è quello di proteggere le persone dalla radiazione LASER, stabilire prescrizioni sia per il costruttore che per l'utilizzatore, assicurare alle persone un'adeguata informazione e formazione, diminuire la possibilità di subire danni e proteggere le persone dai rischi collaterali.

Gli argomenti della norma CEI EN 60825-1 sono:

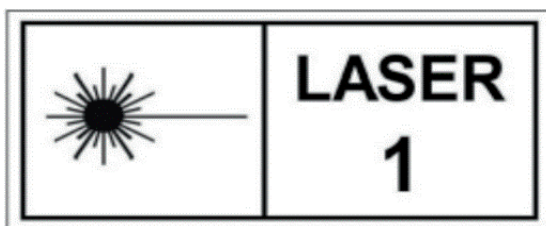
- definizioni;
- descrizione delle classi;
- prescrizioni per il costruttore e targhettatura;
- metodi di misura;
- limiti di emissione accessibile (LEA);
- livelli di esposizione massima permessa (EMP);
- distanza nominale di rischio oculare (DNRO);

In merito alla descrizione della classe di un apparecchio LASER, questa tiene conto della sua potenza, della lunghezza d'onda del fascio emesso e dei rischi associati all'uso. Tale classificazione appare fondamentale prima di procedere con la valutazione dei rischi.

5.2.1 La nuova classificazione delle apparecchiature LASER

Data la grande variabilità delle caratteristiche di un LASER (potenza emessa, modalità di erogazione, geometria del fascio, ecc.) un LASER può essere molto pericoloso o sufficientemente innocuo, pertanto le apparecchiature LASER, o apparecchiature che all'interno contengano una sorgente LASER, sono classificate secondo la norma UNI EN 60825-1. L'appartenenza di un LASER ad una classe determina la modalità di utilizzo della macchina dal punto di vista della sicurezza. La nuova classificazione in vigore dal 1° luglio 2005 si riferisce specificatamente all'emissione accessibile dei sistemi LASER ed al pericolo potenziale (per esposizioni dell'occhio e della pelle) sulla base delle differenti caratteristiche. La nuova classificazione prevede una scala di 8 valori che comprende, in ordine di pericolosità crescente, le classi: 1 - 1M - 1C - 2 - 2M - 3R - 3B - 4.

LASER di classe 1 - I LASER appartenenti a questa classe sono considerati sicuri, se usati nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili. In esercizio normale, i LASER della classe 1 si possono utilizzare in totale sicurezza senza bisogno di istruzioni specifiche e non necessitano di ulteriori misure di sicurezza.



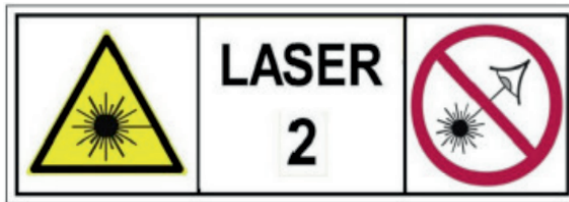
LASER di classe 1M - Sono LASER che emettono nell'intervallo di lunghezza d'onda tra 302,5 nm e 4000 nm. Essi sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili. Tuttavia, se si utilizzano

componenti ottici di osservazione all'interno del fascio (ad es. lenti di ingrandimento, oculari, ecc.) possono essere pericolosi per gli occhi. Per l'uso in sicurezza è bene non indirizzare il raggio verso altre persone e se si intende utilizzare strumenti ottici come telescopi o microscopi è bene adottare specifiche precauzioni (gli occhiali non rientrano tra gli strumenti ottici rischiosi).

LASER di classe 1C – Sono LASER per cui la radiazione emessa può corrispondere alla classe 3R, 3B o 4 e destinata ad essere diretta su una parte del corpo da trattare. Questi LASER sono monitorati da almeno un



dispositivo di sicurezza tale per cui la radiazione accessibile risponde ai requisiti previsti per la classe 1. L'esposizione massima ammessa per la pelle e gli ulteriori dispositivi di sicurezza necessari dipendono dall'impiego specifico e devono essere stabiliti in norme separate. I dispositivi di sicurezza vanno regolarmente mantenuti secondo le indicazioni del fabbricante.



LASER di classe 2 – Si tratta di LASER che devono emettere una radiazione compresa nello spettro visibile, quindi nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 400 e 700 nm. Potrebbero essere

potenzialmente in grado di danneggiare la retina, ma la protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa, compreso il riflesso palpebrale. Questa reazione, in soggetti sani, fornisce un'adeguata protezione nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, incluso l'uso di strumenti ottici per la visione del fascio. Ovviamente è bene evitare di guardare direttamente il fascio e di indirizzare il raggio LASER verso altre persone. Se si viene colpiti dalla radiazione è più sicuro distogliere immediatamente lo sguardo per scongiurare abbagliamenti con possibili disturbi temporanei alla vista: ciò può avere conseguenze gravi, ad esempio nei lavori in altezza o alla guida di un veicolo.

LASER di classe 2M – Sono come i LASER di classe 2, che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm, per i quali la protezione dell'occhio è normalmente



assicurata dalle reazioni di difesa, compreso il riflesso palpebrale. La visione del fascio può essere più pericolosa se l'operatore impiega ottiche di osservazione all'interno del fascio (lenti di ingrandimento, binoculari, ecc.). Per l'uso in sicurezza è bene non indirizzare il raggio verso altre persone e se si intendono utilizzare

strumenti ottici come telescopi o microscopi è bene adottare specifiche precauzioni (gli occhiali non rientrano tra gli strumenti ottici rischiosi).



LASER di classe 3R – La visione del fascio generato da LASER appartenenti a questa classe è potenzialmente pericolosa. Sono LASER che vanno utilizzati solo da personale adeguatamente formato e opportunamente

qualificato. I requisiti del costruttore e le misure di controllo per il responsabile delle attività sono minori rispetto ai LASER di Classe 3B.

LASER di classe 3B - I LASER appartenenti a questa classe possono generare raggi in grado di causare danni agli occhi già dopo breve tempo. L'esposizione diretta può causare lesioni alla pelle o l'accensione di materiali infiammabili. Non risulta normalmente pericolosa la visione della radiazione diffusa.



LASER di classe 4 – Questi LASER generano raggi per cui anche le riflessioni diffuse rappresentano un grave pericolo per gli occhi e la pelle. L'interazione dei raggi su determinati materiali può essere causa di incendi e può liberare

sostanze nocive. Il loro uso richiede estrema cautela. Occorre garantire che nessuno venga indebitamente esposto alle radiazioni. A tal fine è indispensabile adottare le misure di sicurezza necessarie e formare o istruire opportunamente i lavoratori. Ogni LASER deve essere classificato secondo la norma UNI EN 60825-1 ed è responsabilità del costruttore, o di chi lo immette sul mercato, certificarne la corretta classificazione anche mediante una targhetta applicata al LASER, che ne riporta la classe di appartenenza.

Nel caso in cui ad un apparecchio LASER già classificato si apportino modifiche che ne



Figura 5.1 – Esempio di targhetta di classificazione di un LASER

influenzino le prestazioni o che ne modifichino le funzioni originarie, serve provvedere alla riclassificazione del dispositivo e quindi all'applicazione di una nuova targhetta di classificazione. Tale compito sta in capo al responsabile delle attività, o all'organismo che ha effettuato le modifiche.

Ai fini della classificazione è possibile avvalersi della consulenza di personale esperto nel settore, soprattutto quando si tratta di LASER prototipi o costruiti in laboratorio. In questi casi, l'apporto professionale di un esperto può coadiuvare il responsabile delle attività anche alla produzione della documentazione di corredo in osservanza a quanto previsto dalla norma CEI EN 60825-1.

Per quanto riguarda le sorgenti prototipo non ancora caratterizzate, è consentito non predisporre le targhette né redigere la documentazione di cui sopra solo nel caso in cui vengano rispettate le norme di sicurezza per l'utilizzo di sistemi contenenti sorgenti di radiazioni ottiche coerenti, e solo se utilizzate sempre e soltanto da personale opportunamente formato.

6 I PARAMETRI PROTEZIONISTICI

Per poter procedere ad una corretta valutazione del rischio e alla disposizione delle conseguenti misure di prevenzione e protezione per l'impiego di apparecchiature LASER in ambienti di lavoro, stabilita la classe di appartenenza del LASER e quindi il livello di pericolosità che questo può rappresentare, è opportuno conoscere le sue caratteristiche prestazionali, quindi la lunghezza d'onda, la modalità di erogazione della radiazione, la potenza, la divergenza, il diametro e la geometria del fascio, ecc. Tali caratteristiche è bene siano sempre riportate nel manuale d'uso dell'apparecchio, pena l'impossibilità di determinare le misure di contenimento del rischio, quali la definizione della Distanza Nominale di Rischio Oculare, la conseguente impossibilità di conoscere i valori di esposizione a cui sarebbero esposti i lavoratori e quindi il corretto dimensionamento dei dispositivi di protezione (occhiali, barriere, ecc.).

6.1 Limiti espositivi

I valori limite di esposizione (VLE) alla radiazione ottica, che sia LASER o incoerente, sono i indicati nel d.lgs. 81/2008. L'obiettivo dei VLE è evitare che l'esposizione alla radiazione ottica causi danni a breve o a lungo termine, tali valori sono tratti da quanto stabilito dall' *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) qualche tempo fa. Tuttavia, nonostante negli ultimi anni i VLE siano stati oggetto di aggiornamento da parte dell'ICNIRP, i valori riportati dal d.lgs. 81/2008 non hanno subito conseguenti modifiche e pertanto questi ultimi, sono ancora da considerarsi vincolanti in materia di sicurezza. Come il d.lgs. 81/2008, anche norma CEI EN 60825-1 fa riferimento ai limiti dell'ICNIRP, definiti con l'acronimo EMP (Esposizione Massima Permissa), tenendo conto però dei recenti aggiornamenti. Ne consegue che i VLE differiscono dai valori di EMP della CEI EN 60825-1, più aggiornata. Tenuto conto che un decreto legislativo prevale su una norma CEI, nel valutare l'esposizione accidentale dei lavoratori è opportuno fare riferimento ai VLE del d.lgs. 81/2008 riportati nell'allegato XXXVII piuttosto che ai valori di EMP della CEI EN 60825-1. Tuttavia, è bene aggiungere che l'osservanza dei valori di legge (più restrittivi) rispetto a quelli della norma va a favore della sicurezza, e tale scostamento si evidenzia solo per alcuni parametri e alcune condizioni di esposizione.

Per l'identificazione dei valori di esposizione dati da una radiazione LASER verso occhi e cute si usano le seguenti grandezze radiometriche:

P = potenza radiante o flusso radiante (W)

Q = energia radiante (J)

E = irradianza o irradianza o densità di potenza (W/m^2)

H = esposizione radiante o energetica o fluenza (J/m^2)

I valori di EMP - VLE sono diversi per gli occhi e per la cute, e sono ricavati a partire dalle soglie di danneggiamento, espresse come ED_{50} (livello in corrispondenza del quale si ha una probabilità del 50% di avere un danno del tessuto biologico), tali valori dipendono da:

- lunghezza d'onda;
- durata dell'impulso;
- durata dell'esposizione;
- dimensione della zona irradiata;
- divergenza e diametro del fascio.

I valori di EMP-VLE sono riferiti al livello massimo di radiazione a cui gli occhi o la cute possono essere esposti senza che subiscano danni, e sono da considerarsi riferiti ad esposizioni accidentali e non ad esposizioni continuative o ripetute nel tempo. È raccomandato comunque che l'esposizione alla radiazione LASER sia sempre la più bassa possibile.

È bene aggiungere che dai valori di EMP si ricavano i Limiti di Emissione Accessibile (LEA) utili anche per classificare una sorgente LASER secondo la norma CEI EN 60825-1, tali valori prendono in considerazione i fattori che maggiormente hanno effetto sull'esposizione, considerandoli nel caso di maggiore pericolosità. I LEA dipendono da:

- dimensione del fascio;
- diametro della pupilla;
- durata dell'esposizione;
- eventuale uso di strumenti ottici.

6.2 La distanza nominale di rischio oculare (DNRO)

Come più volte riportato, una delle caratteristiche dei fasci LASER è la collimazione e quindi la piccola divergenza che li contraddistingue, ne consegue che anche su lunghe distanze l'irradiamento (W/m^2) o l'esposizione energetica (J/m^2) tende a diminuire molto lentamente. Quando il fascio raggiungerà la distanza per cui l'irradiamento (W/m^2) o l'esposizione energetica (J/m^2) sarà uguale ai valori di esposizione massima permessa (EMP) per la cornea, quella distanza rappresenterà



Figura 6.1 – Rappresentazione grafica della (DNRO) Distanza Nominale di Rischio Oculare

la DNRO (Fig. 6.1). Tale distanza sarà tanto più lunga quando più piccola sarà la divergenza del fascio. All'interno della DNRO viene identificata la Zona Nominale di Rischio Oculare (ZNRO) in cui non si potrà stare senza le dovute protezioni oculari.

Come EMP, o meglio VLE, viene considerato, quale parametro conservativo e a favore di sicurezza, i limiti di esposizione previsti per la cornea, invece di quelli relativi a distretti anatomici più sensibili (retina). Tuttavia, per radiazioni LASER comprese tra 400 e 1400 nm, cioè radiazioni che possono arrivare alla retina, servirà tenere conto delle modalità con cui il cristallino mette a fuoco l'immagine sulla retina, e ciò sarà dipendente dalla modalità con cui l'occhio "vede" la sorgente LASER, che può essere estesa o puntiforme.

Infatti, nel caso di visione di sorgente LASER puntiforme, per via dell'accomodazione dell'occhio, cioè della variazione della curvatura del cristallino, la focalizzazione dell'occhio può rendere la densità di energia sulla retina molto maggiore di quello che si misurerebbe a livello della cornea (Fig. 6.2).

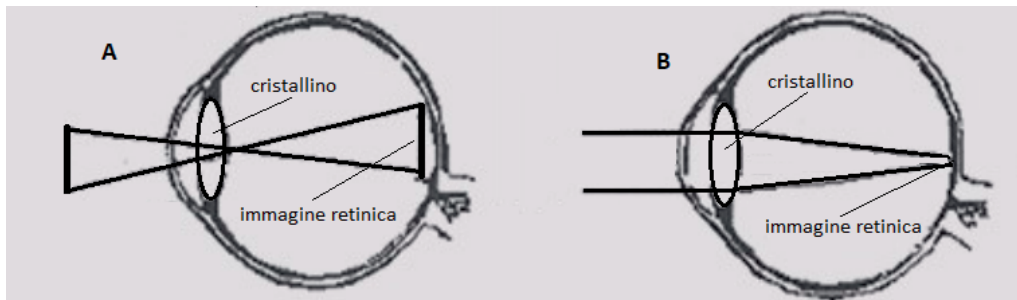


Figura 6.2 – Modalità di focalizzazione delle immagini sulla retina. A- focalizzazione di una sorgente estesa sulla superficie retinica. B – focalizzazione di una sorgente puntiforme sulla superficie retinica

Per quanto sopra accennato, tenuto conto della potenzialità del cristallino di focalizzare ulteriormente un fascio sulla retina in caso di sorgenti puntiformi (con conseguente danno retinico anche irreversibile), il rispetto del limite espositivo per la cornea non necessariamente significa anche il rispetto del limite alla retina, motivo per cui è bene fare sempre attente valutazioni, meglio se con l'apporto tecnico di esperti in sicurezza LASER.

La DNRO è tipica di ogni LASER e spesso è riportata nel manuale di uso e manutenzione dell'apparecchiatura LASER, tuttavia, è comunque determinabile mediante l'equazione riportata in basso:

$$DNRO = \frac{1}{\Phi} \sqrt{\frac{4P_0}{\pi * EMP}} - \frac{a}{\Phi}$$

Occorre conoscere comunque il diametro del fascio in uscita (**a**), la divergenza del fascio (Φ) e la potenza radiante (**P**). È bene aggiungere che i valori di diametro e di divergenza del fascio dovranno tenere in considerazione la geometria del fascio stesso, non sempre di tipo gaussiano (Fig. 6.3).

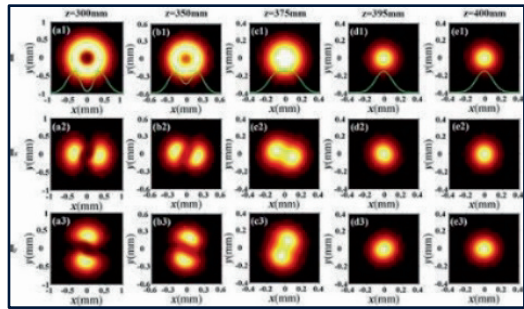


Figura 6.3 - Alcuni esempi di profilo geometrico di fasci LASER

6.3 La zona nominale di rischio oculare (ZNRO)

All'interno della DNRO viene identificata la Zona Nominale di Rischio Oculare (ZNRO), zona in cui si superano i limiti di esposizione e all'interno della quale, pertanto, andranno osservate le apposite procedure di controllo e sorveglianza. Questa zona sarà da considerare come una sfera intorno alla sorgente con raggio pari alla DNRO in cui sarà obbligatorio indossare i dispositivi di protezione previsti per occhi e cute. Si tenga presente che se la sorgente sarà rappresentata da un manipolo orientabile ed estensibile, anche la DNRO e quindi la ZNRO ne dovrà tenerne conto quale ulteriore fattore di variabilità.

6.4 La zona LASER controllata (ZLC)

La zona LASER controllata contiene al suo interno la ZNRO, nella quale i valori di esposizione superano i limiti di esposizione. All'interno della zona LASER controllata, come nella ZNRO, può esistere l'obbligo di indossare le protezioni previste e osservare le apposite procedure di controllo e sorveglianza. Spesso, le dimensioni della ZLC sono molto inferiori delle dimensioni previste per la ZNRO, ciò è plausibile fin quando i materiali che definiscono i limiti architettonici della ZLC sono in grado di fermare la radiazione LASER.

Se le dimensioni della ZNRO sono inferiori alle dimensioni della stanza identificata come ZLC, gli operatori fuori dalla ZNRO non sono tenuti ad indossare le protezioni previste.

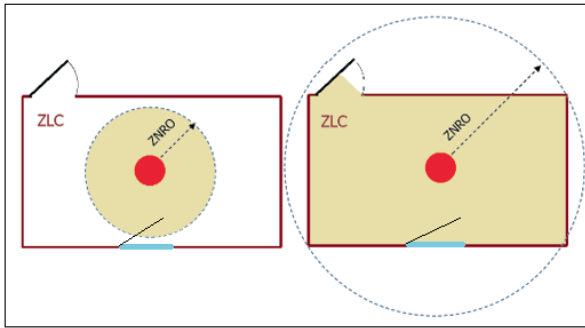


Figura 6.4 – Esempi di Zone LASER Controllate. La prima a sinistra con dimensioni superiori alla Zona Nominale di Rischio Oculare, la seconda a destra con dimensioni inferiori

Tutti gli operatori devono indossare le protezioni previste se le dimensioni della ZNRO sono superiori alle dimensioni della stanza identificata come ZLC (Fig. 6.4).

Tale valutazione assume una particolare rilevanza per la gestione degli ingressi all'interno della ZLC, seppur ogni accesso all'interno della ZLC debba essere regolamentato. Nel caso in cui

le dimensioni della ZNRO siano superiori alle dimensioni della stanza identificata come ZLC, sarà opportuno che la porta di accesso alla ZLC sia dotata di un dispositivo ingegneristico opportunamente interfacciato con l'apparecchiatura LASER (*interlock*), che consenta l'immediata interruzione dell'erogazione del fascio in caso di apertura della porta di accesso.

È opportuno precisare che la ZNRO e la ZLC non sono la stessa cosa, la seconda infatti tiene anche conto, oltre alla traiettoria prevista del fascio, anche delle eventuali riflessioni su oggetti o deviazioni involontarie del fascio. In linea generale la ZLC generalmente coincide con il locale in cui è situato il LASER secondo quanto previsto dalla norma CEI 76-6.

7 LA GESTIONE DELLA SICUREZZA LASER

Il Datore di Lavoro è il primo responsabile della sicurezza nell'utilizzo di un LASER presente in azienda, tuttavia, esiste un'altra figura aziendale con precise responsabilità, il preposto. Il preposto alla sicurezza LASER (PSL) ha la responsabilità, per conto del datore di lavoro, della sorveglianza sull'attuazione delle norme di corretto utilizzo del LASER ai fini della sicurezza nell'impiego quotidiano. Ha la responsabilità di prendere provvedimenti immediati quando si ravvisa un non rispetto o una apparente inadeguatezza nella applicazione delle procedure di sicurezza. Il datore di lavoro ha la responsabilità di assicurarsi che il PSL abbia sufficienti competenze e capacità per svolgere il proprio compito in maniera soddisfacente, e deve essere prevista idonea formazione.

Il datore di lavoro ha facoltà di potersi avvalere di personale qualificato per effettuare l'opportuna valutazione del rischio.

In linea generale, quando si impiegano dei LASER diversi dalle classi 1 e 2 è bene osservare le seguenti indicazioni:

- Redigere un regolamento per l'uso sicuro del LASER, in cui siano comprese le misure specifiche di controllo del rischio e gestione dei dispositivi di protezione sia collettivi che individuali. Tale documento sarà parte integrante del documento di valutazione dei rischi e oggetto di regolare aggiornamento. Nel caso siano presenti LASER di classe 1M o 2M, tale regolamento non è necessario se l'impiego del fascio non prevede l'uso di ottiche.
- Individuare le misure di prevenzione e protezione finalizzate alla corretta gestione del rischio LASER. Si evidenzia che per tale compito è necessaria una specifica competenza che potrebbe non essere presente all'interno del Servizio di Prevenzione e Protezione aziendale. In questo specifico caso, il datore di lavoro dovrà rivolgersi ad un tecnico che dimostri di avere sufficiente competenza in materia di sicurezza LASER, tale da poter effettuare la valutazione del rischio, la determinazione delle necessarie misure di prevenzione e protezione e la stesura di un regolamento comprendente le procedure per il corretto utilizzo del LASER presente in azienda. Il tecnico con le specifiche competenze in materia di sicurezza LASER può non essere un dipendente dell'azienda ma un semplice consulente esterno a cui è richiesta anche solo inizialmente la sua competenza per l'installazione del LASER, per la valutazione iniziale del rischio e per l'elaborazione delle procedure necessarie alla corretta gestione del LASER.
- Se presenti LASER di classe 3B o 4, dovrebbe sempre essere nominato l'Esperto della Sicurezza LASER. Tale figura è raccomandata anche quando sono presenti LASER di classe 1M e 2M che producano fasci destinati ad essere osservati attraverso strumenti ottici (anche a distanza), oppure LASER di classe 1 e 2

destinati ad essere mantenuti nel caso in cui tale operazione esponga il manutentore a fasci di classe 3B o 4 contenuti all'interno dell'apparecchio.

7.1 Il tecnico - addetto alla Sicurezza LASER

Il d.lgs. 81/08 all'art.181 prevede che per la valutazione dei rischi e l'adozione delle misure di tutela conseguenti, il datore di lavoro debba fare ricorso a "personale qualificato" in possesso di specifiche conoscenze in materia. Per quanto concerne la sicurezza connessa all'impiego di LASER in campo industriale, civile, e di ricerca, il "personale qualificato" è rappresentato dal Tecnico Sicurezza LASER (TSL). Tale figura tecnica deve possedere le competenze specifiche atte a garantire la sicurezza, predisponendo tutte le attività volte a minimizzare i rischi derivanti dall'uso di apparecchiature LASER ivi comprese le attività di monitoraggio ed efficacia delle misure di controllo.

Per l'impiego di LASER di Classe 3B e 4 in ambito sanitario, veterinario o estetico, la normativa nazionale CEI 76-6 individua la figura dell'Addetto alla Sicurezza LASER (ASL) quale "personale qualificato" per svolgere i compiti previsti in materia di sicurezza LASER. Il Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome, in collaborazione con INAIL e ISS, ha pubblicato il documento "d.lgs. n.81/2008, Titolo VIII Capo I, II, III, IV, V sulla prevenzione e protezione dai rischi dovuti all'esposizione ad agenti fisici nei luoghi di lavoro. Prime indicazioni applicative" (edizione luglio 2008 aggiornata nel 2010 e nel 2014). Il documento, definisce quale "persona qualificata" e quindi ASL o TSL, un operatore che abbia sostenuto un corso di qualificazione, della durata di almeno 40 ore di cui circa 2/3 di teoria e 1/3 di esercitazioni pratiche e laboratorio, conclusosi con una valutazione positiva e documentabile dell'apprendimento con relativo esame finale. Ovviamente in capo al datore di lavoro grava la responsabilità di assicurarsi che il Tecnico/Addetto Sicurezza LASER abbia sufficienti competenze e capacità per svolgere il proprio compito.

7.2 Principali compiti del TSL - ASL

I compiti del TSL - ASL devono essere definiti e concordati con il datore di lavoro nell'ambito del Servizio Prevenzione e Protezione dei Rischi e chiaramente documentati ed attribuiti con delega scritta e circostanziata. Tali compiti devono essere finalizzati ad assicurare l'uso sicuro dei sistemi LASER all'interno dell'azienda. IL TSL - ASL è un tecnico esperto in materia di LASER con competenze specifiche in materia di sicurezza LASER, conosce e applica la normativa vigente in materia, ed è in grado di:

- Censire e classificare una sorgente LASER;
- Indicare le caratteristiche di un LASER e di identificarne i pericoli ad esso associati;

- Individuare le precauzioni da mettere in atto per assicurare che l'esposizione degli addetti sia inferiore ai valori limite di esposizione;
- Identificare la Zona LASER Controllata sulla base della Distanza Nominale Rischio Oculare;
- Predisporre la segnaletica di avvertimento e controllo dell'accesso;
- Dimensionare e gestire i dispositivi di protezione individuale specifici per il LASER di cui è responsabile (barriere, occhiali, ecc.);
- Redigere un regolamento di sicurezza LASER specifico per il LASER di cui è responsabile, che diventerà parte integrante del rapporto di valutazione del rischio;
- Informare e formare preposti e lavoratori in materia di sicurezza LASER.

7.3 Le misure di contenimento del rischio

Negli ambienti di lavoro dove si usano LASER potenzialmente pericolosi è opportuno adottare le necessarie misure di prevenzione e protezione volte alla riduzione del rischio. La prima operazione da effettuare prima di procedere alla valutazione del rischio è il censimento delle sorgenti presenti. Bisogna prestare attenzione, perché non sempre le apparecchiature contenenti LASER, di classe di rischio anche elevata, vengono indicate come LASER. Spesso, soprattutto in campo medico, vengono denominate per il compito prioritariamente svolto, anche se con tecnologia LASER, ad esempio il "Tomografo Ottico Computerizzato" (OTC).

Anche la verifica di idoneità dei locali in cui si trova il LASER, o comunque in cui si intende installarlo, appare prioritaria, tenuto conto dei requisiti specifici che una ZLC deve possedere. Sarebbe meglio definire i locali di utilizzo e la loro idoneità prima dell'acquisto del LASER, una volta note le caratteristiche del LASER in arrivo e le sue modalità di funzionamento. Ciò in molti casi consente di mettere in atto le prime misure operative semplici da realizzare ma che eliminano alcune possibili situazioni di rischio di esposizione indebita:

- posizionamento del LASER;
- modalità di utilizzo;
- schermature di finestre;
- opacizzazione di superfici lucide;
- implementazione delle dotazioni antincendio;
- eventuali adeguamenti aggiuntivi (luminosità, aerazione, ecc.).

In particolare, all'interno del sito bisogna controllare la presenza di finestre e di superfici riflettenti poiché sono potenziali fonti di fuga di radiazione verso l'esterno

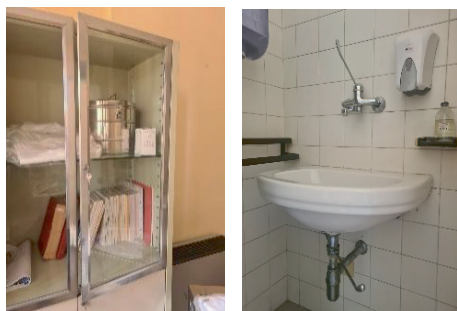


Figura 6.1 – Esempi di possibili superfici riflettenti in ambito sanitario

e riflessioni. Nel caso in cui siano presenti, bisogna valutare la possibilità di trattarle opportunamente o di schermarle per confinare il fascio LASER all'interno del locale ed evitare traiettorie inaspettate. La mancanza di tali requisiti può determinare l'inidoneità ambientale per l'uso del LASER.

7.3.1 La formazione e le procedure operative di sicurezza (POS)

La formazione è tra le principali misure di prevenzione del rischio, assieme alla predisposizione di opportune Procedure Operative di Sicurezza: entrambe sono le prime e più importanti misure da mettere in atto per ridurre il rischio di esposizione LASER da parte degli operatori e dei preposti. Emerge da studi scientifici che circa l'80% degli infortuni è determinato dai comportamenti insicuri degli operatori, dovuti alla scarsa percezione dei rischi conseguente alla limitata conoscenza delle apparecchiature e della loro gestione. La formazione, comunque sempre prevista ai sensi dell'Art. 37 del d.lgs. 81/08, è dovuta quando vengono usate sorgenti LASER di classe diversa da 1.

A maggior garanzia di comportamenti corretti da parte degli operatori ma non solo, è bene stilare delle Procedure Operative di Sicurezza (POS). La lettura di dette POS, potrà aumentare la consapevolezza dei pericoli e di conseguenza aumentare il livello di protezione degli operatori e della popolazione dai rischi associati all'impiego del LASER.

Le POS rappresentano infatti una misura scritta in cui vengono descritte le fasi di un lavoro, in condizioni di sicurezza individuale e collettiva, in modo che l'operatore abbia sempre disponibili tutte le informazioni di prevenzione e protezione di cui ha bisogno in ogni momento dell'attività lavorativa e in lingua italiana e nella lingua madre dell'operatore. Le POS vengono stabilite in base a valutazioni di criticità del sistema, delle condizioni di lavoro e delle operazioni da fare e da non fare durante l'attività lavorativa.

Anche la predisposizione di norme di comportamento e sicurezza, note come "regole di condotta" (vedi allegato 1), sono auspicabili per far sì che l'operatore, seguendole, non metta a rischio la propria e l'altrui salute (oggetti riflettenti indossati, uso di materiali infiammabili, ecc.).

7.3.2 La cartellonistica e le segnalazioni

Ogni accesso alla zona LASER controllata (ZLC) deve essere contrassegnato da cartelli di avvertimento conformi alla normativa, tra questi figurano:

- Cartello giallo di avviso di pericolo LASER;
- Cartello di delimitazione di ZLC;
- Cartello di indicazione di classe del LASER;
- Obbligo uso dei DPI (se previsti);
- Targhette.

I cartelli con segnalazione “ATTENZIONE” devono essere associati ai LASER di classe 2 e 2M, mentre quelli con segnalazione “PERICOLO” devono essere associati ai LASER di classe 3R, 3B e 4.



Figura 7.2 – Esempi di cartellonistica prevista a delimitazione della Zona LASER controllata

Se all'interno della ZLC è previsto l'uso di occhiali o indumenti di protezione, questo obbligo andrà segnalato con apposito cartello. È possibile apporre un unico cartello che raccolga tutte le informazioni e che includa eventualmente informazioni specifiche sul LASER in oggetto, quali lunghezza d'onda e potenza massima emessa, in modo da fornire all'utilizzatore indicazioni sul tipo di protezione oculare da indossare.



Figura 7.3 – Cartello riepilogativo a delimitazione della ZLC



Figura 7.4 – Esempio di segnalazioni luminose erogazione LASER in corso

All'ingresso della ZLC è anche bene installare un segnale luminoso che avverte dell'erogazione della radiazione LASER in corso, anche nel caso in cui la porta d'ingresso sia collegata al sistema di interblocco (Par. 7.3.3). In tal caso, la segnalazione luminosa consentirà di ridurre la probabilità che qualcuno acceda all'interno della ZLC sospendendo il trattamento o la lavorazione in corso, condizione che

spesso determina il riavvio di uno specifico programma di lavorazione o terapia precedentemente avviata dal LASER.

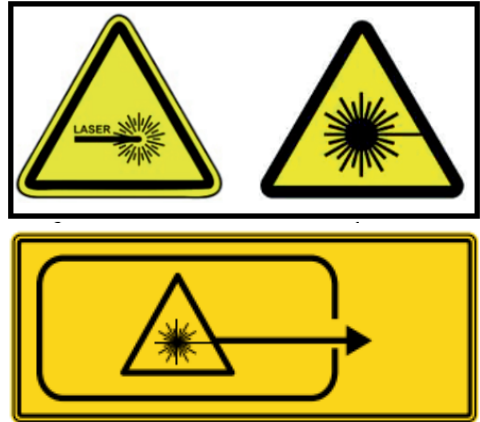
La norma CEI EN 60825 prevede l'apposizione di specifiche targhette a corredo dell'apparecchiatura LASER. Sono targhette gialle con scritte nere e si dividono in:

Targhette di avvertimento: Sono triangolari con il simbolo di radiazione LASER;

Per le classi laser 3R, 3B e 4, si deve contrassegnare anche il foro di uscita del raggio LASER con una delle seguenti diciture:

- uscita raggio LASER;
- Uscita raggio LASER invisibile.

In alternativa si può anche utilizzare la targhetta riportata accanto;



Targhette di informazione: Sono rettangolari, con informazioni sulla radiazione LASER emessa (classe di appartenenza secondo la norma CEI EN 60825-1, potenza massima, lunghezza d'onda, durata impulso, ecc.).

7.3.3 Sistemi di sicurezza ingegneristici

Tra le misure di sicurezza LASER è previsto che l'apparecchiatura sia dotata e/o predisposta prioritariamente di requisiti tecnologici che ne consentano un funzionamento in condizioni di sicurezza. Tali misure sono note come misure ingegneristiche di protezione della sorgente e sono:

Interruttore di emergenza: In caso di emergenza, permette di spegnere completamente l'apparecchiatura LASER interrompendo l'erogazione di radiazione LASER;

Comando a chiave: Il comando a chiave deve essere presente e la chiave deve essere rimossa dall'operatore quando il LASER non è utilizzato, e deve



Figura 7.5 – Pulsante di emergenza in LASER per fisioterapia

essere conservata in un luogo non accessibile a personale non autorizzato. Spesso questa misura di sicurezza è integrata dalla necessità di inserimento di una password alfanumerica. Se il comando a chiave non fosse presente, in alternativa, il locale in cui è installato il LASER deve essere tenuto chiuso a chiave per prevenirne un uso non autorizzato;

Connettore di blocco a distanza: Si tratta di un dispositivo di sicurezza che collega il LASER a pulsanti di emergenza e sensori installati alle porte dei locali che, se aperte, determinano la sospensione dell'erogazione della radiazione LASER. Normalmente non viene installato in ambito ospedaliero, per non mettere a rischio la salute del paziente. Molti LASER di Classe 4 hanno già un ingresso specifico per il comando di interblocco a distanza, quindi non necessitano di ulteriore interfaccia. Nel caso in cui non sia presente il connettore di blocco a distanza, si dovrà permettere l'accesso solo a un numero limitato di operatori autorizzati e apporre segnali di divieto di accesso all'ingresso del locale, per segnalare il pericolo.

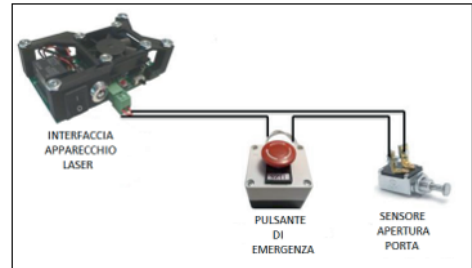


Figura 7.4 – Esempio di predisposizione di interblocco a distanza

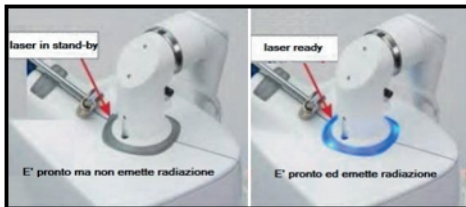


Figura 7.5 – Tipologia di indicazione luminosa sorgente LASER in erogazione

Avvisatore acustico o visivo di emissione di radiazione LASER: Sono segnali sonori e/o visivi che vengono emessi quando la sorgente LASER è attivata e sono importanti specialmente quando il fascio LASER è invisibile.

Tragitto del fascio: Quando è possibile, il fascio LASER deve essere racchiuso in tubi di protezione onde evitare la libera propagazione. Il fascio, per quanto possibile, deve propagarsi da un'altezza tale da non essere intercettato dagli occhi dell'operatore e quando esce dall'area di lavoro, questo deve essere terminato su una superficie che lo assorbe o che non ne consenta la diffusione.

7.3.4 La protezione collettiva

Le misure di protezione nel sistema prevenzionistico rappresentano l'ultima difesa per la sicurezza e la salute in ambiente di lavoro. Nell'ambito della riduzione del rischio, le misure di protezione incidono sulla magnitudo del danno e per tanto l'adozione di sistemi di protezione, prioritariamente di tipo collettivo e poi di tipo individuale, consentono di mitigare i potenziali effetti dannosi da esposizione al rischio. L'esposizione dei lavoratori a valori di radiazione LASER superiori ai Valori

Limite di Esposizione (VLE) previsti nel d.lgs. 81/2008 può efficacemente essere contenuta, e quindi riportata a valori inferiori dei VLE per occhio e cute, mediante l'uso di Dispositivi di Protezione Collettiva (DPC) e Dispositivi di Protezione Individuale (DPI). Le misure che proteggono contemporaneamente più lavoratori (DPC) sono sostanzialmente le seguenti:

Schermi: Per LASER di potenza massima 100 W ed energia di singolo impulso non superiore a 30 J, con emissione compresa tra 180 nm e 1 mm, la norma UNI EN 12254 consente l'uso di schermi con specifici requisiti volti a contenere la radiazione. Gli schermi, realizzati in materiale plastico o vetro, vengono interposti tra la sorgente LASER e l'osservatore e consentono il monitoraggio della lavorazione in modalità protetta senza uso di ulteriori DPI.

Il dimensionamento degli schermi deve tenere conto della densità ottica del materiale che si intende utilizzare, della lunghezza d'onda del LASER da schermare e dal tipo di emissione.

Il tipo di emissione si riferisce alla durata dell'impulso ed è indicato nel modo seguente:

D = LASER ad emissione continua;

I = LASER ad impulsi;

R = LASER ad impulsi giganti (*Q-switch*);

M = LASER ad impulsi con accoppiamento di modo (*mode-coupled*).

Lo schermo, dimensionato secondo i criteri della norma UNI EN 12254, avrà un fattore di attenuazione con un "Livello di scala compreso tra A1 e A10" (dove tra un livello e il successivo il fattore di attenuazione è 10 volte superiore). I dati caratteristici di schermatura andranno riportati nella marcatura del prodotto (Fig. 7.6).

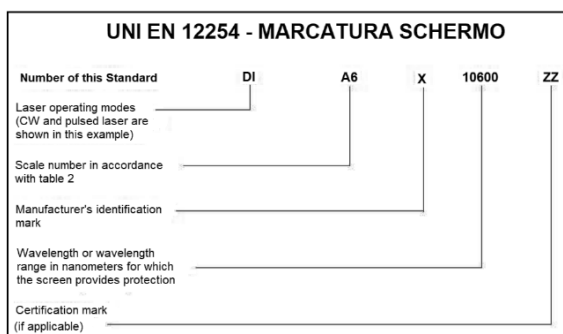


Figura 7.6 – Esempio di marcatura di uno schermo secondo la norma UNI EN 12254

Barriere: Un fascio LASER può essere efficacemente contenuto da un'idonea barriera (*LASER guard*) che racchiuda la zona pericolosa. La norma CEI EN 60825-4 prevede i requisiti specifici per le barriere volti a fare in modo che la radiazione accessibile sulla superficie posteriore della barriera non sia mai superiore ai limiti previsti per i LASER della classe 1. Le barriere si dividono in barriere passive e barriere attive, le prime funzionano semplicemente per le proprietà fisiche che le caratterizzano, mentre le seconde fanno parte di un più complesso sistema di controllo che consente l'interruzione dell'emissione della radiazione LASER quando

queste ne vengono colpite. In quest'ultimo caso, l'ipotetica interruzione della lavorazione per l'intervento del sistema di protezione mediante barriera attiva prevede l'attivazione di uno specifico allarme e il riavvio manuale della lavorazione. Nessun guasto ragionevolmente prevedibile deve poter impedire il funzionamento corretto della barriera attiva.

7.3.5 La protezione individuale

Per dispositivo di protezione individuale (DPI) si intende un'attrezzatura destinata ad essere indossata dal lavoratore con lo scopo di proteggerlo dai potenziali effetti avversi residuali e connessi all'esposizione di un rischio lavorativo, nonostante l'adozione di tutte le misure di prevenzione e di protezione collettiva che la tecnica mette a disposizione per ridurlo ad un livello accettabile. Il Testo Unico sulla sicurezza prescrive che i DPI debbano essere impiegati quando i rischi non possono essere eliminati o sufficientemente ridotti ad un livello accettabile mediante misure tecniche di prevenzione, da mezzi di protezione collettiva e da misure organizzative del lavoro e per tanto, rimangono l'ultima risorsa possibile di sicurezza.

Protezione oculare: Per i DPI volti alla protezione oculare dalla radiazione LASER, si applica la norma UNI EN 207. La norma prevede tuttavia la sola possibilità di esposizione accidentale alla radiazione LASER di lunghezza d'onda compresa tra 180 nm e 1 mm, definendone i requisiti del protettore, i metodi di prova e la sua marcatura, e contiene una guida in allegato per scegliere ed utilizzare correttamente il protettore oculare. Questa norma non si applica ai protettori per esposizione intenzionale alla radiazione. Si evidenzia che, gli occhiali di protezione non sono occhiali di protezione universali, questi infatti possono essere utilizzati solo per quei tipi di LASER per i quali sono stati dimensionati. Ciò significa che i parametri di dimensionamento a seguire elencati, devono concordare con i parametri del LASER per cui sono stati dimensionati.

I protettori oculari sono definiti in base alla densità ottica, dipendente dal materiale utilizzato, dalla lunghezza d'onda del LASER da cui proteggersi e dal tipo di emissione. Nello specifico, il protettore oculare avrà un fattore di attenuazione "Livello di scala compreso tra LB1 e LB10" (dove tra un livello e il successivo il fattore di attenuazione è 10 volte superiore). Per ogni livello di scala sarà indicato il fattore spettrale massimo di trasmissione per lunghezza d'onda, nonché le densità di potenza e/o di energia utilizzata per i test di prova. In merito al tipo di emissione e alla durata dell'impulso, questi saranno indicati nel modo seguente:

D = LASER ad emissione continua;

I = LASER ad impulsi;

R = LASER ad impulsi giganti (*Q-switch*);

M = LASER ad impulsi con accoppiamento di modo (*mode-coupled*).

La stabilità ottica del protettore oculare, e quindi la resistenza alla radiazione, deve essere garantita per la durata dell'esposizione considerata, che secondo la norma sarà di almeno 5 secondi (per i LASER continui), o di 50 impulsi (per LASER ad impulsi).

Oltre al livello protettivo, ai fini della scelta del dispositivo idoneo, è necessario prendere in considerazione anche la trasmissione luminosa da esso permessa, necessaria ad avere la visione più nitida possibile e consentire il riconoscimento dei colori. Il protettore deve restare aderente al volto, permettendo comunque una ventilazione sufficiente per evitare l'appannamento; la montatura e i ripari laterali devono dare una protezione equivalente a quella assicurata dalle lenti. Inoltre, i filtri nella montatura non devono essere intercambiabili. La montatura deve essere

progettata in modo che la radiazione LASER non possa penetrare dai lati. Anche indossando un occhiale protettivo non si deve per nessun motivo fissare il raggio. I parametri riportati ad esempio nelle Fig.7.7 e 7.8 devono essere riportati sul protettore oculare in maniera indelebile (Fig. 7.9).

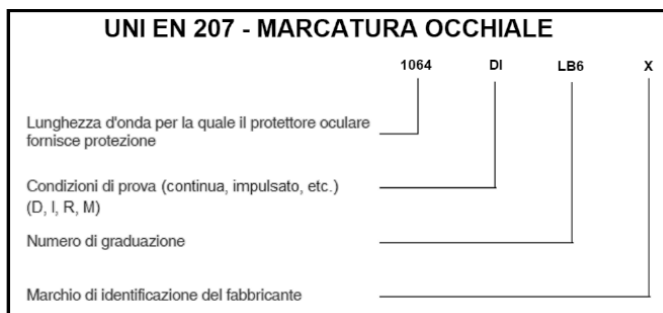


Figura 7.7 - Esempio di marcatura occhiale con caratteristiche di protezione della radiazione continua (D) e impulsata (I) di lunghezza d'onda 1064 nm e fattore di attenuazione LB7

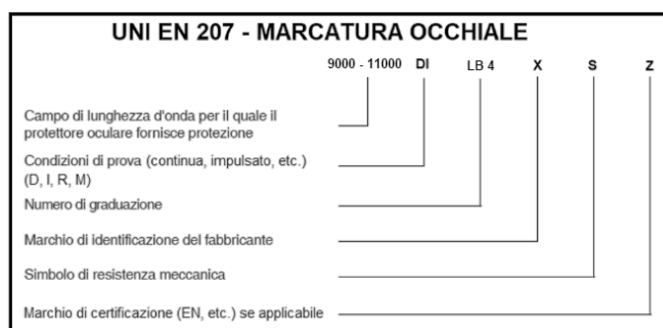


Figura 7.8 - Esempio di marcatura occhiale con caratteristiche di protezione della radiazione continua (D) e impulsata (I) di lunghezza d'onda compresa tra 9000 e 11000 nm e fattore di attenuazione LB4

Se il LASER ha la caratteristica di emettere anche più di una radiazione con energie, modalità di emissione e lunghezze d'onda diverse tra loro, il protettore oculare deve essere dimensionato e quindi realizzato con caratteristiche tali da essere in grado di proteggere da tutte le radiazioni contemporaneamente.

Per meglio comprendere quanto finora detto in merito ai protettori oculari analizziamo quanto riportato da un protettore oculare in merito alle sue caratteristiche di protezione D 620 LB5 +



Figura 7.9 – Particolare del protettore oculare con stampigliati sulla lente i parametri di protezione

DI 730-1090 LB7. La lettera (D) indica che l'occhiale garantisce una protezione dall'esposizione di una radiazione LASER erogata in modalità continua e di lunghezza d'onda di 620 nm con fattore di attenuazione pari a LB5. Contemporaneamente, nell'intervallo compreso tra 730 nm e 1090 nm, garantisce una protezione dall'esposizione di una radiazione LASER erogata in modalità sia continua che impulsata (DI) fattore di attenuazione pari a LB7.

Nell'ambito delle attività connesse all'uso di LASER, esiste la possibilità che specifici operatori debbano procedere con operazioni di regolazione dei fasci, ad esempio allineamento, puntamento, ecc. Per tali attività, ovviamente solo per LASER con emissioni comprese nello spettro visibile, quindi tra 400 e 700 nm, la protezione oculare per radiazioni pericolose è definita dalla norma UNI EN 208, norma meno stringente della precedente. Come per la UNI EN 207, la norma definisce i requisiti, i metodi di prova e la marcatura. I livelli di protezione possibili si riducono a cinque, con un numero di graduazione espresso con il simbolo RB, seguito da un numero da 1 a 5, ma sempre con un fattore di attenuazione di 10 volte superiore tra un livello e il successivo.

Per quanto riguarda la modalità di emissione della radiazione si tiene conto della potenza massima del LASER e della massima energia per impulso. Il protettore dell'occhio pertanto garantisce la protezione soltanto contro le radiazioni secondo la seguente scala di protezione:

- Numero di graduazione RB1 fino a 0,01 W e fino a 2×10^{-6} J;
- Numero di graduazione RB2 fino a 0,1 W e fino a 2×10^{-5} J;
- Numero di graduazione RB3 fino a 1 W e fino a 2×10^{-4} J;
- Numero di graduazione RB4 fino a 10 W e fino a 2×10^{-3} J;
- Numero di graduazione RB5 fino a 100 W e fino a 2×10^{-2} J.

Le norme UNI EN 207 e UNI EN 208 prescrivono che i filtri devono soddisfare i requisiti di “robustezza meccanica” della norma EN 166. Maggiore robustezza e quindi requisiti meccanici più stringenti devono essere previsti quando ci si trova in ambienti di lavoro particolari in cui può esserci il rischio di impatti con materiali provenienti dalla lavorazione.

È bene sottolineare che data la complessità e le variabili da considerare per il corretto dimensionamento dei protettori oculari secondo le norme sopra citate, serviranno competenze specifiche. Tali competenze sono generalmente possedute dal Tecnico o Addetto alla sicurezza LASER, in quanto fondamentali per il ruolo svolto.

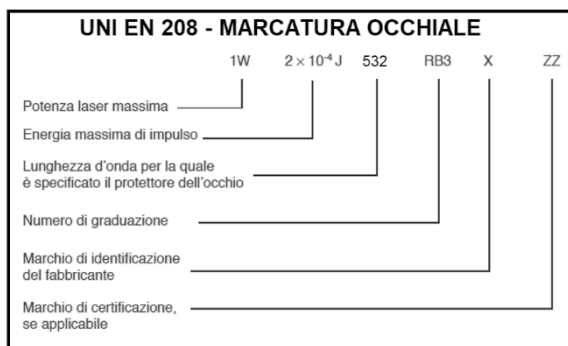


Figura 7.7 – Esempio di marcatura di protettore oculare secondo la norma UNI EN 208

Protezione della cute: La pelle, in generale, può tollerare livelli di radiazione superiori a quelli dell'occhio; tuttavia, quando i Valori Limite di Esposizione per la pelle vengono superati è opportuno indossare idonei indumenti protettivi. Si tratta di DPI per LASER non molto diffusi poiché gli indumenti (tute, camici e guanti, realizzati in cotone pesante) riescono a proteggere sufficientemente. È bene però che tali indumenti abbiano caratteristiche termoresistenti e ignifughe in caso di potenziali esposizioni molto energetiche. Particolare attenzione va posta in ambienti sanitari, poiché l'eventuale protezione da rischio biologico, realizzata con tute e camici usa e getta in materiale detto “tessuto non tessuto”, non rispondono ai criteri di protezione LASER e soprattutto possono rappresentare un concreto fattore di rischio incendio in quanto non ignifughi.

7.4 La sorveglianza sanitaria

Per i lavoratori esposti a ROA, e quindi anche alla radiazione LASER, è prevista ai sensi dell'art. 218 del d.lgs. 81/08 la sorveglianza sanitaria. Tale sorveglianza è finalizzata a prevenire tutti gli effetti dannosi derivanti dall'esposizione e, per tanto, tutti gli accertamenti sanitari preventivi e periodici saranno previsti per quei lavoratori che, sulla base dei risultati della valutazione del rischio, debbano indossare DPI di protezione degli occhi o della pelle in quanto altrimenti potrebbero risultare esposti a livelli superiori ai VLE. Per quanto concerne gli effetti a lungo termine, particolare attenzione va posta alla radiazione ultravioletta e alla luce blu, radiazioni per cui possono essere messi in atto interventi mirati di

sorveglianza sanitaria finalizzata alla prevenzione dei danni a lungo termine, danni probabili anche per esposizioni inferiori ai VLE, ma protratti nel tempo.

La sorveglianza sanitaria è di norma annuale, ma il Medico Competente, soprattutto per quanto riguarda i soggetti particolarmente sensibili, può stabilire una periodicità inferiore, che deve prevedere anche le condizioni di suscettibilità individuale emerse dal controllo sanitario.

Tra i soggetti particolarmente sensibili al rischio, ad esempio, figurano le donne in gravidanza, i minorenni, gli albinici e gli individui di fototipo 1 (per esposizione a radiazione UV).

Particolare attenzione va posta verso i lavoratori che:

- fanno uso, anche temporaneamente, di farmaci foto sensibilizzanti (Tabella 7.1);
- sono affetti da alterazioni dell'iride e della pupilla;
- sono epilettici per esposizioni a luce visibile di tipo intermittente;
- lavoratori che abbiano lesioni cutanee maligne o pre-maligne, per esposizioni a radiazioni UV;
- lavoratori affetti da patologie cutanee foto-indotte o foto-aggravate, per esposizioni a radiazioni UV e IR;

Ai fini della sorveglianza sanitaria devono essere cautelativamente considerati particolarmente sensibili al danno retinico di natura fotochimica i lavoratori che hanno subito un impianto IOL "cristallino artificiale".

Fatto salvo quanto sopra esposto è bene ricordare che, a seguito di un'irradiazione improvvisa e imprevista degli occhi, è necessario consultare sempre e rapidamente un medico, poiché un raggio LASER può avere un effetto dannoso immediato causando un infortunio generalmente riconducibile ad un danneggiamento della retina spesso con esiti irreversibili.

Agenti	Incidenza	Tipo di reazione	Intervallo delle lunghezze d'onda efficaci
Agenti fotosensibilizzanti dopo somministrazione locale			
Solfonammidi e prodotti chimici associati (schermi solari, sbiancanti ottici)	n.d.*	fototossica e fotoallergica	290 - 320 nm
Disinfettanti (composti di salicilanilide in saponi e deodoranti)	n.d.	fototossica e fotoallergica	290 - 400 nm
Fenotiazine (creme, coloranti e insetticidi)	n.d.	fototossica e fotoallergica	320 nm - Visibile
Coloranti	n.d.	fototossica iperpigmentazione	Visibile
Catrame di carbone e derivati (composti fenolici)	n.d.	fototossica	340 - 430 nm
Oli essenziali (profumi e acque di colonia)	n.d.	fototossica iperpigmentazione	290 - 380 nm
Composti furocumarinici (psoraleni)	n.d.	fototossica iperpigmentazione	290 - 400 nm
Solfuro di cadmio (tatuaggi)	n.d.	fototossica	380 - 445 nm
Agenti fotosensibilizzanti dopo somministrazione orale o parenterale			
Amiodarone	Alta	fototossica	300 - 400 nm
Diuretici a base di tiazide	Media	fotoallergica	300 - 400 nm
Clorpromazina e fenotiazine associate	Media	fototossica e fotoallergica	320 - 400 nm
Acido nalidixico	Alta	fototossica	320 - 360 nm
Farmaci antinfiammatori non steroidei	Bassa	fototossica e fotoallergica	310 - 340 nm
Protriptilina	Alta	fototossica	290 - 320 nm
Psoraleni	Alta	fototossica	320 - 380 nm
Sulfamidici (batteriostatici e antidiabetici)	Bassa	fotoallergica	315 - 400 nm
Tetracicline (antibiotici)	Media	fototossica	350 - 420 nm

Tabella 7.1- Agenti fotosensibilizzanti (da ICNIRP, 2004). *n.d. = non disponibile

ALLEGATO 1

REGOLE DI CONDOTTA SICUREZZA LASER

- Non guardare il raggio LASER.
- Non guardare le riflessioni speculari (ad es.: da specchi o altre superfici riflettenti).
- Non fissare i raggi diffusi.
- Se possibile, mantenere le luci della stanza accese. Migliore è il livello di illuminazione ambientale, minore sarà il diametro della pupilla e diminuirà la probabilità che un raggio LASER entri nell'occhio.
- Rimuovere gioielli personali. Orologi, anelli ecc. fungono da riflettori. Quando si entra in un laboratorio LASER rimuovere tutto ciò che può rappresentare un rischio di riflessione accidentale.
- Individuare e bloccare tutti i raggi LASER vaganti.
- Assicurarsi che tutti i fasci vaganti siano bloccati con uno schermo opaco.
- Assicurare saldamente tutti i componenti ottici (se presenti) con morsetto e doppio morsetto se possibile.
- Mantenere i fasci LASER orizzontali. In questo modo è più semplice lavorare e le traiettorie sono più prevedibili.
- Indossare i DPI (occhiali idonei, camice in cotone pesante, guanti) prima di utilizzare il LASER;
- Far indossare gli occhiali idonei ad eventuali altri presenti in ZLC.;
- Evitare, se possibile, fasci verticali e obliqui. Se occorre modificare l'altezza del fascio con un periscopio e prestare attenzione quando si allinea.
- Sottoporsi a sorveglianza sanitaria per il rischio da Radiazioni Ottiche Artificiali – LASER;
- Sottoporre e registrare la regolare manutenzione delle sorgenti LASER;
- Controllare il manuale d'uso e manutenzione redatto dal costruttore del LASER.
- Non chinarsi sotto l'altezza del raggio. Se cade qualcosa, blocca il raggio LASER prima di raccogliere l'oggetto.

ALLEGATO 2

PROCEDURA GUIDATA VALUTAZIONE RISCHIO LASER

(PROCEDURA ESTRATTA DAL PORTALE AGENTI FISICI – PREVENZIONE E SICUREZZA)

GUIDA ALL'UTILIZZO

L'obiettivo principale della presente procedura è guidare al corretto impiego e alla corretta gestione ai fini della sicurezza delle apparecchiature LASER appartenenti alle differenti classi, nei diversi ambiti di utilizzo, al fine di prevenire il rischio derivante dall'esposizione alla radiazione emessa dall'apparato LASER sia per gli operatori che per tutte le categorie di persone potenzialmente esposte. L'Art. 216 del d.lgs. 81/08 prescrive che per quanto riguarda le radiazioni LASER la metodologia seguita nella valutazione, nella misurazione e/o nel calcolo deve rispettare le norme della Commissione elettrotecnica internazionale IEC, recepite in Italia dalle norme CEI.

Il riferimento normativo principale sui LASER è la norma tecnica quadro CEI EN 60825-1, norma che il costruttore è tenuto a rispettare ai fini della marcatura CE. La presente procedura si basa su tale norma e consente l'individuazione da parte dell'esercente o di un operatore privo di conoscenze specifiche in materia LASER, delle corrette condizioni di impiego ed installazione dell'apparato LASER; essa consente nel contempo l'individuazione di situazioni di utilizzo non conformi o inappropriate in piena autonomia, senza l'ausilio di personale tecnico specializzato; tale procedura facilita anche l'acquisto e la scelta di nuovi macchinari, prendendo in considerazione anche i requisiti per i locali d'installazione, in relazione alla tipologia di LASER che verrà installato.

La procedura è mirata soprattutto ai LASER di classe 3B e 4, in considerazione della maggiore pericolosità e complessità di gestione del rischio associato a tali apparati. Nella norma CEI EN 60825-1 vengono descritte le differenti classi dei LASER, inoltre viene definito il parametro Distanza Nominale di Rischio Oculare (DNRO): questa è la distanza oltre la quale intercettare il fascio con gli occhi non provoca alcun danno. La norma prescrive l'obbligo da parte del produttore di fornire la DNRO se questa risulta rilevante ai fini della gestione della sicurezza. Tale parametro, fondamentale nelle classi di rischio più alte, può essere utilizzato come punto di partenza per una corretta gestione della sicurezza dell'apparecchio: a seconda di quanto sia la distanza alla quale il LASER è in grado di procurare un danno, si può decidere come dimensionare le misure di prevenzione e protezione: se la DNRO è di pochi centimetri sarà sufficiente l'utilizzo di opportuni DPI oculari per il solo operatore; viceversa nei casi in cui la DNRO sia dell'ordine dei metri, sarà necessario delimitare un ambiente completamente isolato ad accesso controllato con interblocchi nel quale utilizzare l'apparecchio LASER (Zona LASER

Controllata), con obbligo di impiego di DPI idonei per tutti coloro che si trovino in tale area.

Per quanto riguarda le informazioni essenziali per una corretta valutazione del rischio LASER ed i requisiti dell'ambiente di utilizzo si può fare riferimento alla IEC-TR 60825-14 "A User Guide".

I requisiti delle barriere da utilizzare per compartimentare una sorgente LASER sono specificati nella norma CEI-EN 60825-4. I requisiti dei DPI oculari sono contenuti nelle norme UNI EN 207 e UNI EN 208.

Si ricorda che secondo quanto previsto dalla norma tecnica e consolidato dalla prassi operativa, nei casi di utilizzo di sistemi contenenti LASER di classe 3B e/o di classe 4, ci si dovrebbe sempre avvalere dell'Esperto Sicurezza LASER o ESL, nelle due accezioni di Addetto Sicurezza LASER (ASL) in ambito sanitario/estetico/veterinario e di Tecnico Sicurezza LASER (TSL) negli altri ambiti. L'ASL ed il TSL sono figure professionali idonee ad effettuare la valutazione e gestione del rischio LASER. Gli aspetti di sicurezza riguardano prima di tutto la rispondenza del macchinario e del suo manuale d'uso e manutenzione a quanto richiesto dalle vigenti normative, l'idoneità del locale di utilizzo, le corrette procedure di utilizzo. Una volta stabilite le condizioni per un utilizzo in sicurezza dell'apparecchio, l'ESL o chi per lui, formerà l'utilizzatore del LASER su tutti gli aspetti della sicurezza che gli competono, comprese le corrette procedure atte a garantire il controllo del rischio nell'utilizzo quotidiano. Per ulteriori approfondimenti vedi il documento "Indicazioni operative per la prevenzione del rischio da Agenti Fisici ai sensi del Decreto Legislativo 81/08 - Parte 6: RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI" scaricabile dalla sezione Normativa e Linee Guida.

Glossario utilizzato all'interno della procedura

Apertura: qualsiasi apertura nella custodia di protezione o in un'altra custodia dell'apparecchiatura LASER, attraverso la quale la radiazione LASER viene emessa, permettendo, in questo modo, l'accesso delle persone a tale radiazione

Apparecchio con LASER incorporato: indica un apparecchio LASER al quale, a seguito di dispositivi tecnici che limitano le emissioni accessibili, è stata assegnata una classe inferiore rispetto a quella inerente alle caratteristiche del LASER incorporato, cioè un LASER inserito dentro un apparecchio. Ad esempio, un LASER industriale per il taglio dei metalli in classe 4 che sia inserito in un apparecchio completamente chiuso, in modo che l'apparecchio risulti di classe 1, cioè non costituisca un rischio per chi lo utilizza correttamente.

Apparecchio LASER: qualsiasi apparecchio o insieme di componenti che costituisce, incorpora o è destinato ad incorporare un LASER od un sistema LASER

Attenuatore del fascio: dispositivo che riduce la radiazione LASER ad un valore uguale o inferiore ad un determinato livello

Blocco di sicurezza (interblocco): dispositivo automatico, associato ad una barriera di un apparecchio LASER, con lo scopo di impedire l'accesso umano alla radiazione LASER di Classe 3A, di Classe 3B o di Classe 4, quando tale barriera viene rimossa, aperta o spostata. In determinate condizioni le porte di accesso alla zona LASER controllata di un LASER in classe 4 vengono connessi ad interblocchi, in modo tale che se vengono aperte per errore, l'emissione LASER viene interrotta automaticamente per prevenire esposizioni superiori ai limiti di chiunque si trovi ad entrare.

Componente ottico sul percorso del fascio: componente ottico che si trova su una traiettoria definita del fascio (per esempio una lente di focalizzazione).

Connettore di blocco a distanza: connettore che permette la connessione di comandi esterni posti a distanza dagli altri componenti dell'apparecchio LASER

Controlli procedurali amministrativi: misure di sicurezza di tipo non tecnico, quali metodi di supervisione, addestramento del personale nel settore della sicurezza, avvertenze e controlli sulle zone di sicurezza

Custodia di protezione: mezzo fisico per impedire l'esposizione umana alla radiazione LASER, a meno che l'accesso alla radiazione sia necessario per le operazioni previste dal costruttore.

Dispositivo di arresto del fascio: dispositivo che interrompe la traiettoria di un fascio LASER

Distanza nominale di rischio oculare - DNRO: distanza dall'apertura di emissione per la quale l'irradiazione o l'esposizione energetica del fascio è uguale all'esposizione massima permessa (EMP) per la cornea. Chiunque si trovi ad una distanza dalla sorgente LASER inferiore alla DNRO deve indossare idonei DPI oculari.

Emissione continua - CW: un LASER che funziona in modo continuo, per una durata uguale o superiore a 0,25 s è considerato come un LASER ad emissione continua.

Esposizione massima permessa - EMP: livello della radiazione LASER alla quale, nelle normali condizioni, possono essere esposte le persone senza subire effetti dannosi. I livelli di EMP rappresentano il livello massimo al quale l'occhio o la pelle possono essere esposti senza subire un danno a breve o a lungo termine; questi

livelli dipendono dalla lunghezza d'onda della radiazione LASER, dalla durata dell'impulso o dalla durata dell'esposizione, dal tipo di tessuto esposto.

LASER: qualsiasi dispositivo che può essere realizzato per produrre o per amplificare una radiazione elettromagnetica compresa nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 180 nm e 1 mm, essenzialmente per mezzo del fenomeno dell'emissione stimolata controllata

Pannello di accesso: parte dell'involucro o della custodia di protezione che permette l'accesso alla radiazione LASER quando viene rimossa o spostata

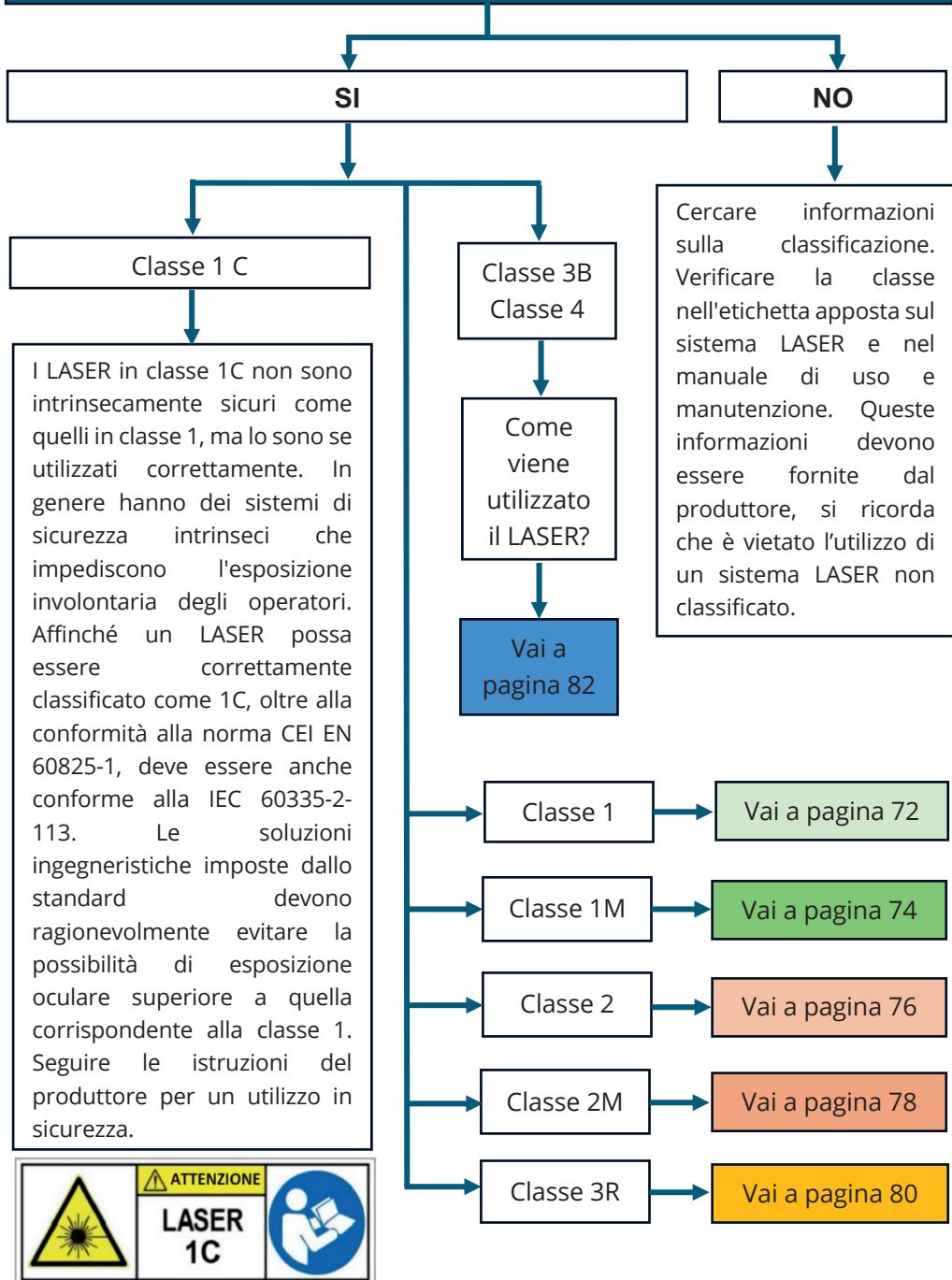
Radiazione LASER: qualsiasi radiazione elettromagnetica emessa da un apparecchio LASER, compresa nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 180 nm e 1 mm, che è prodotta a seguito di un'emissione stimolata.

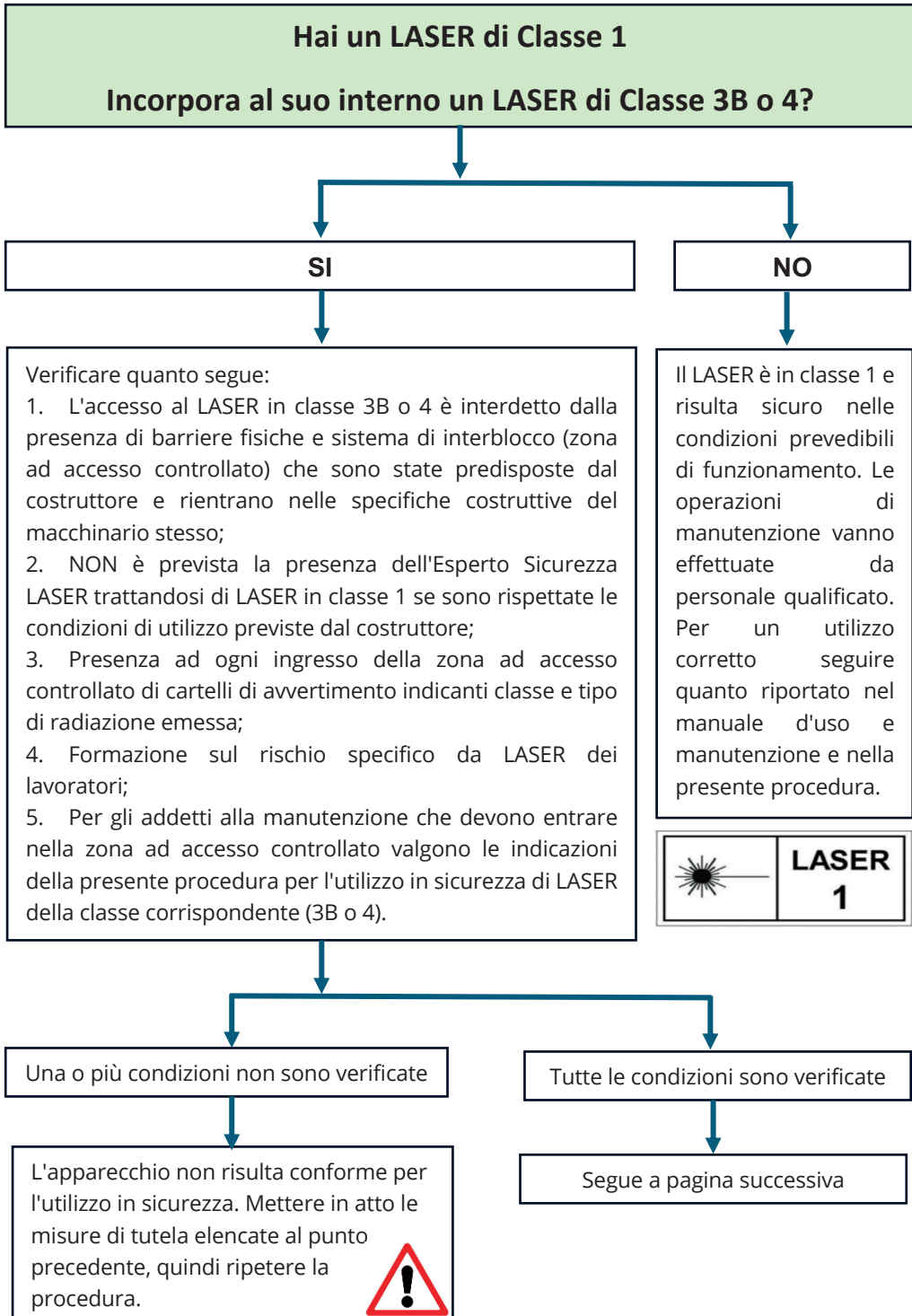
Visione diretta del fascio: tutte le condizioni di visione nelle quali l'occhio è esposto ad un fascio LASER diretto o riflesso specularmente diverse dalla visione, per esempio, delle riflessioni diffuse

Zona LASER controllata: zona dove la presenza e l'attività delle persone al suo interno sono regolate da apposite procedure di controllo e sottoposte a sorveglianza al fine della protezione dai rischi da radiazione. Normalmente nella zona LASER controllata la radiazione ottica supera i limiti di esposizione ed al suo interno può esistere l'obbligo di indossare protezioni. La zona LASER controllata è delimitata da barriere fisiche: pareti della stanza di utilizzo, schermature dell'apparecchio.

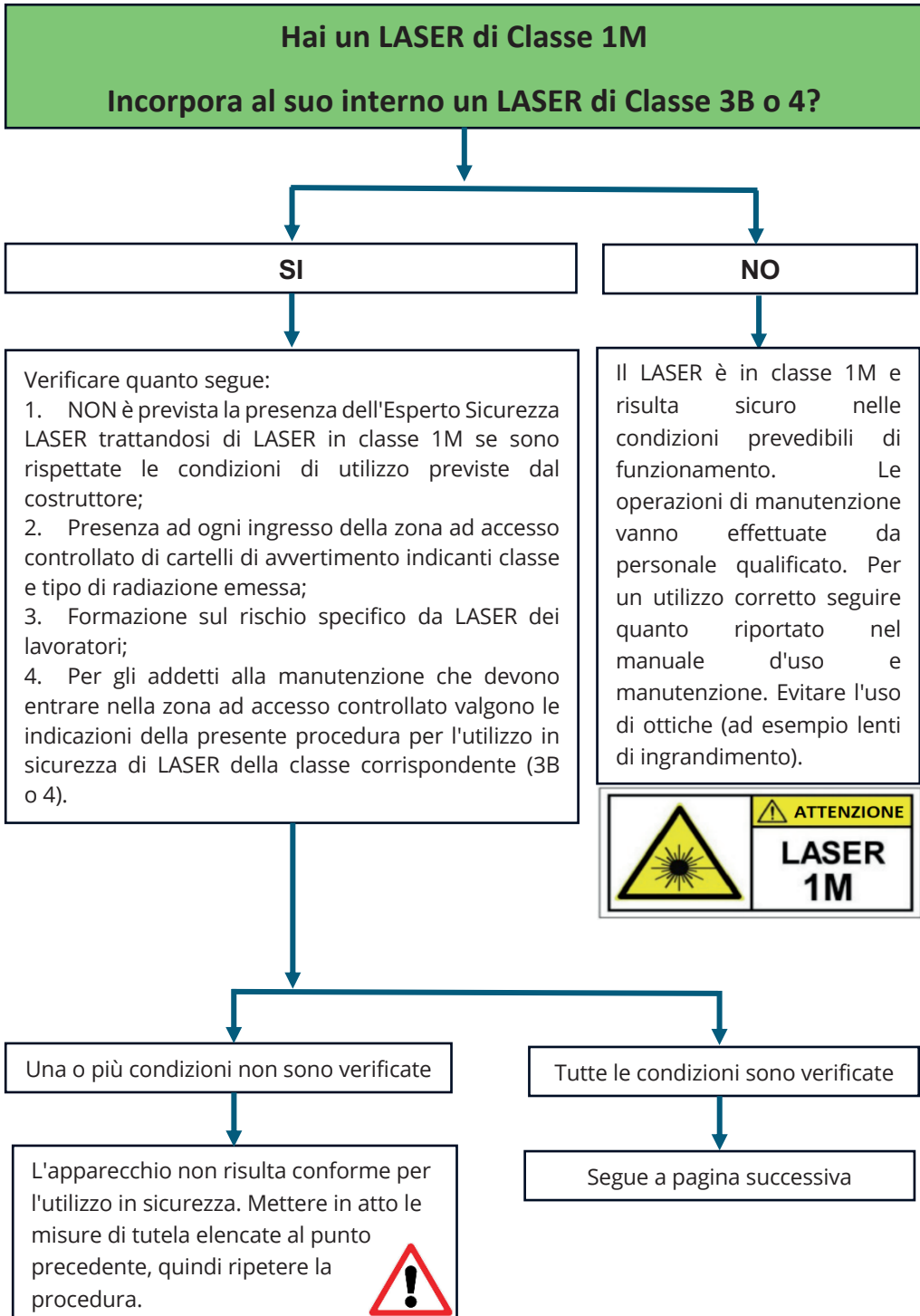
Zona nominale di rischio oculare - ZNRO: zona all'interno della quale l'irradimento o l'esposizione energetica del fascio supera l'esposizione massima permessa (EMP) per la cornea; essa include la possibilità di errato puntamento accidentale del fascio LASER. Nella zona nominale di rischio oculare è obbligatorio indossare idonei DPI oculari.

Conosci la classe di appartenenza del tuo LASER?

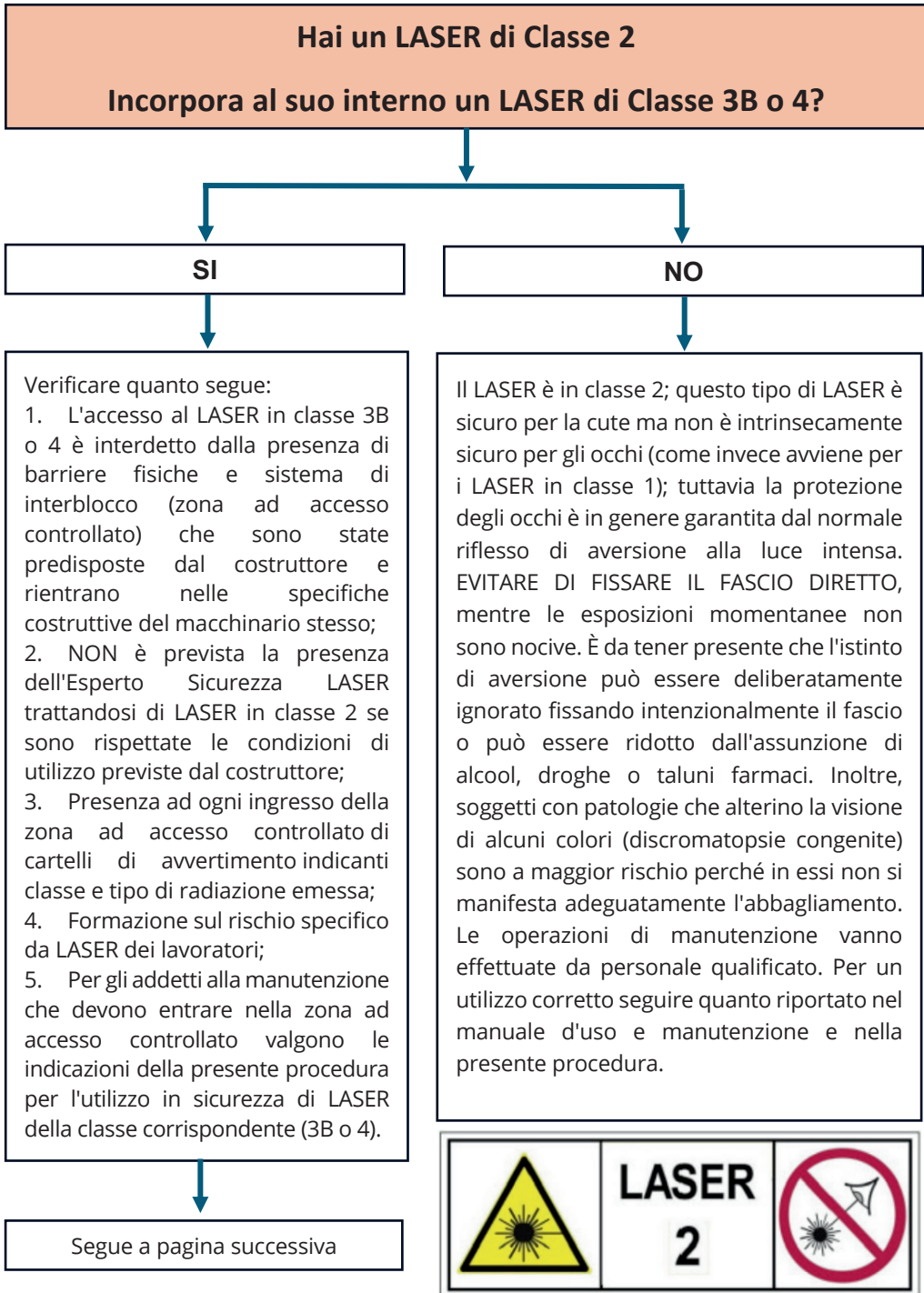


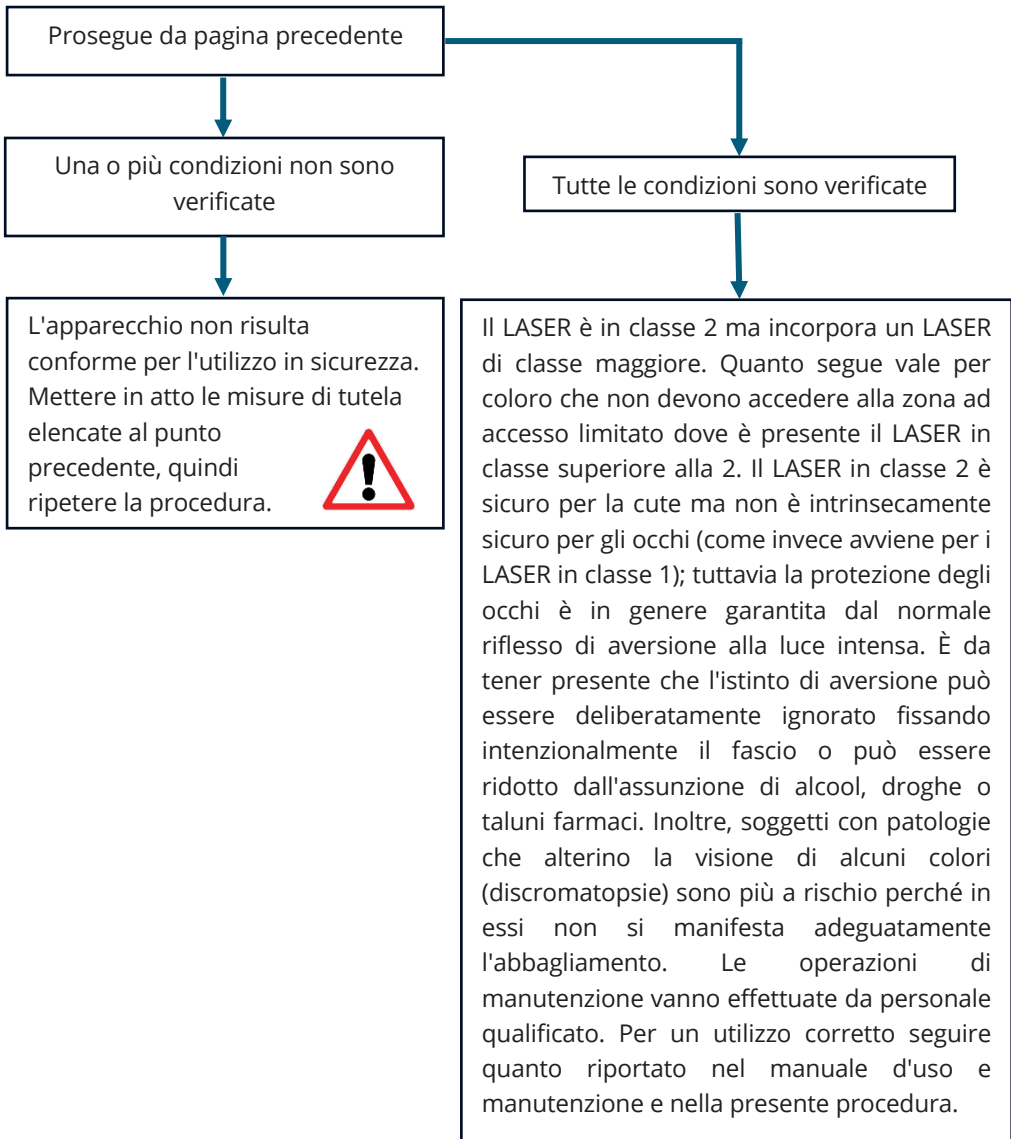


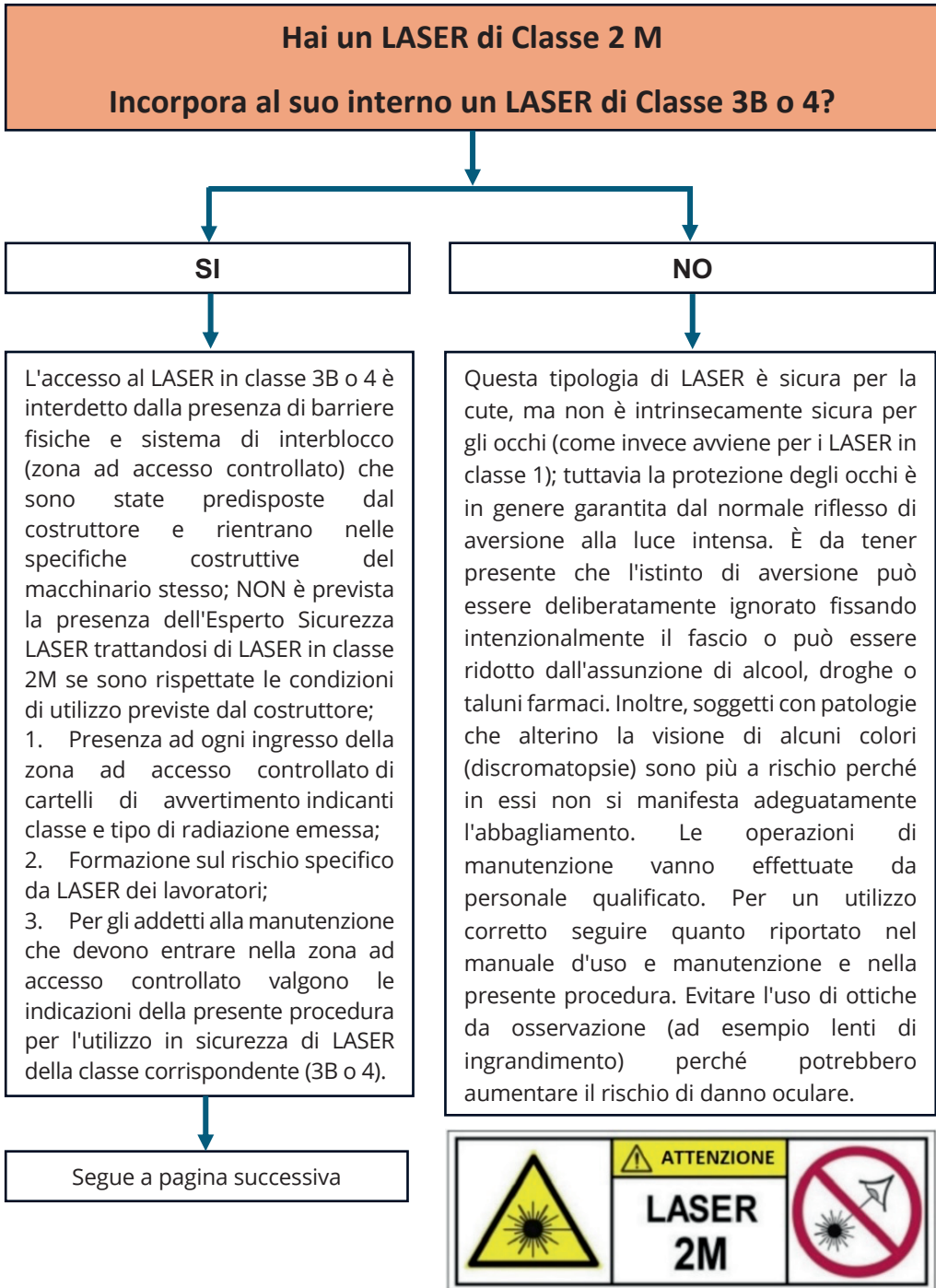
Il LASER è in classe 1 ma incorpora un LASER di classe maggiore. Coloro che non devono accedere alla zona ad accesso controllato dove è presente il LASER in classe superiore alla 1 devono seguire le procedure per l'utilizzo in sicurezza dell'apparecchiatura LASER elencate nel manuale di uso e manutenzione e nella presente procedura. Si consideri che un LASER in classe 1 è sicuro in tutte le condizioni prevedibili di funzionamento; quindi, fintanto che tutte le protezioni vengono mantenute integre e gli operatori rimangono fuori dalla zona ad accesso controllato il rischio è irrilevante. Le operazioni di manutenzione vanno effettuate da personale qualificato.

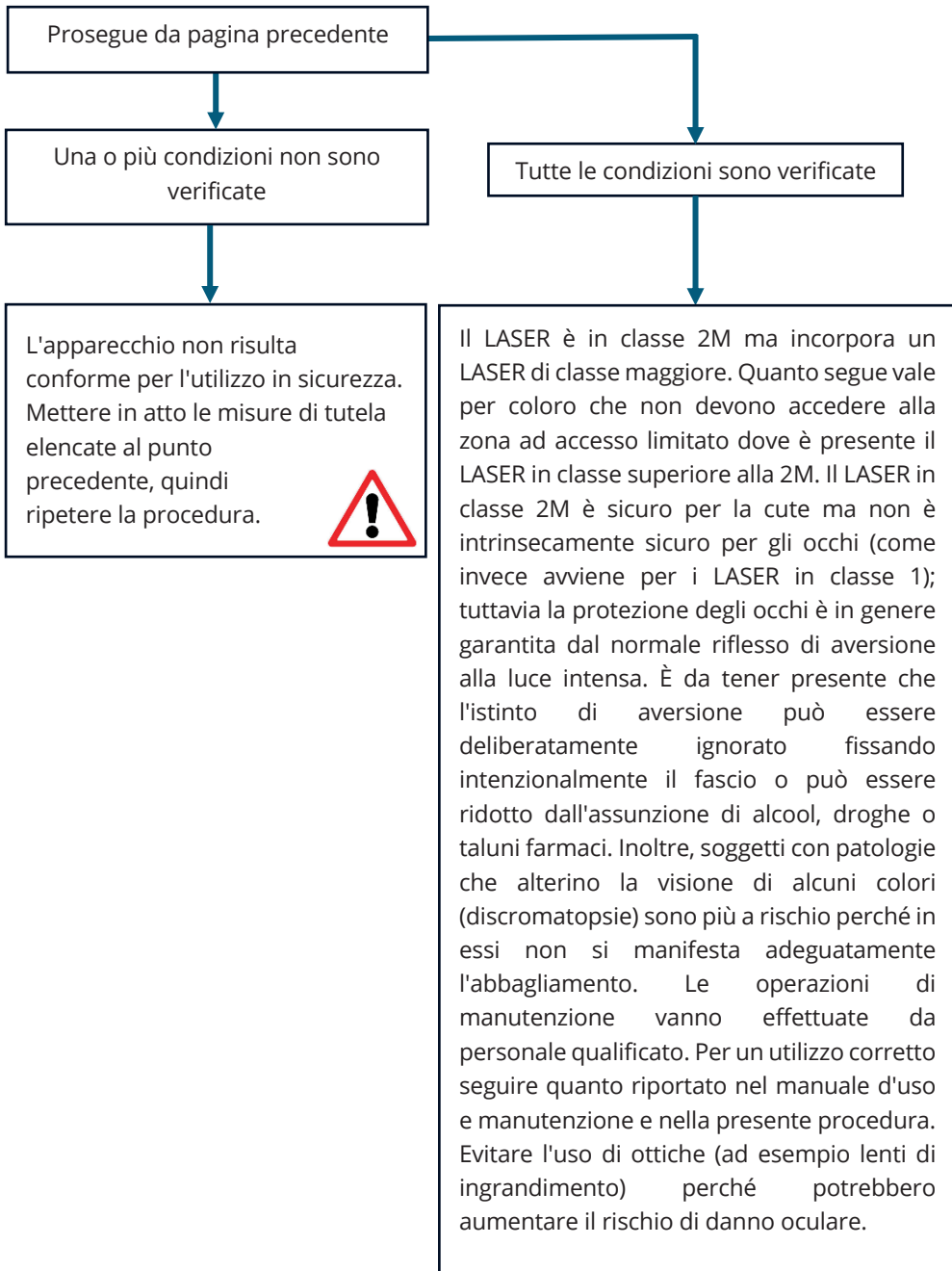


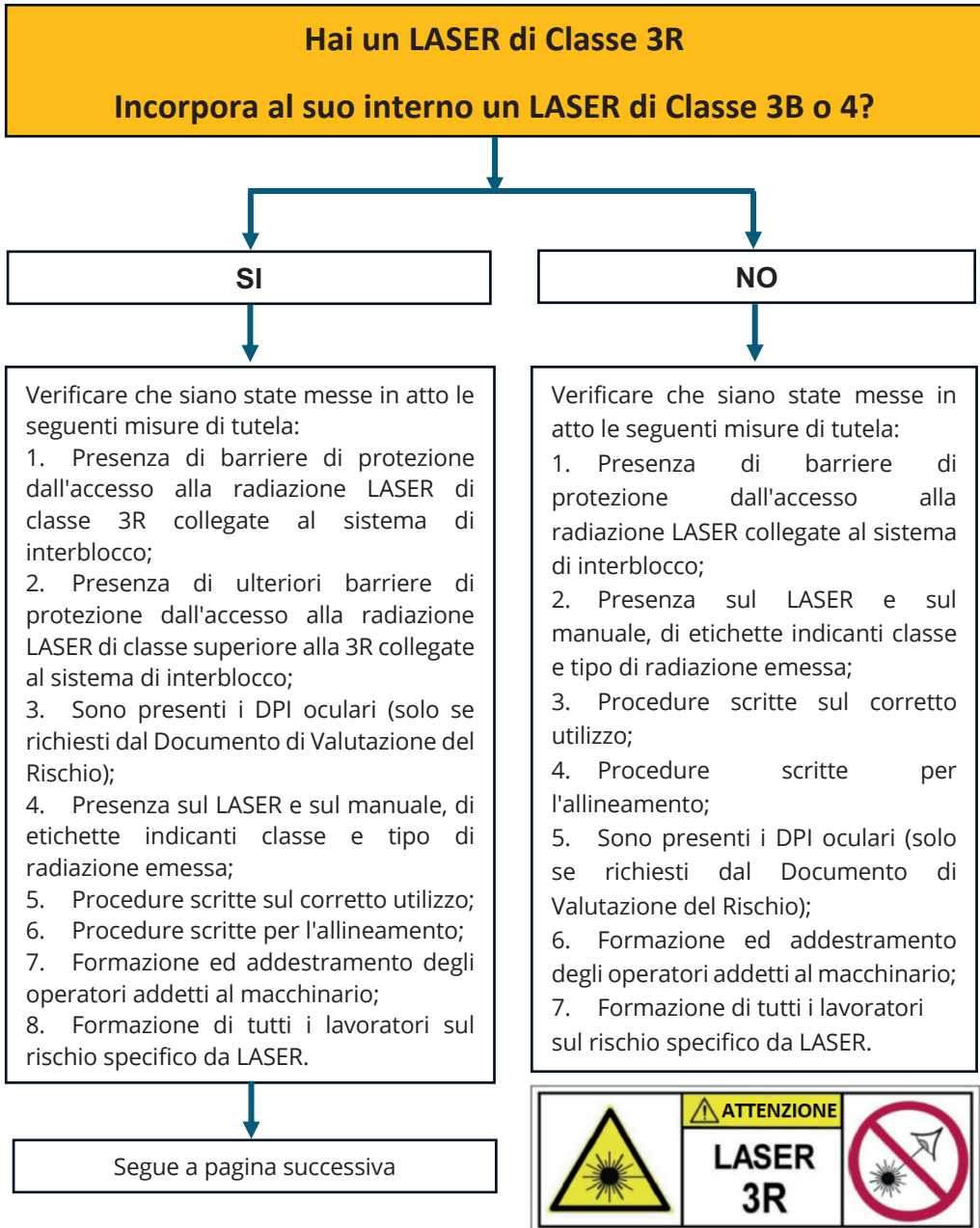
Il LASER è in classe 1M ma incorpora un LASER di classe maggiore. Coloro che non devono accedere alla zona ad accesso controllato dove è presente il LASER in classe superiore alla 1M, devono seguire le procedure per l'utilizzo in sicurezza dell'apparecchiatura LASER elencate nel manuale di uso e manutenzione e nella presente procedura. Si consideri che un LASER in classe 1M è sicuro in tutte le condizioni prevedibili di funzionamento, con l'avvertenza di evitare l'uso di ottiche (ad esempio lenti di ingrandimento) dentro il fascio perché potrebbero concentrare la radiazione. Quindi fintanto che tutte le protezioni vengono mantenute integre e gli operatori rimangono fuori dalla zona ad accesso controllato il rischio è irrilevante. Le operazioni di manutenzione vanno effettuate da personale qualificato.

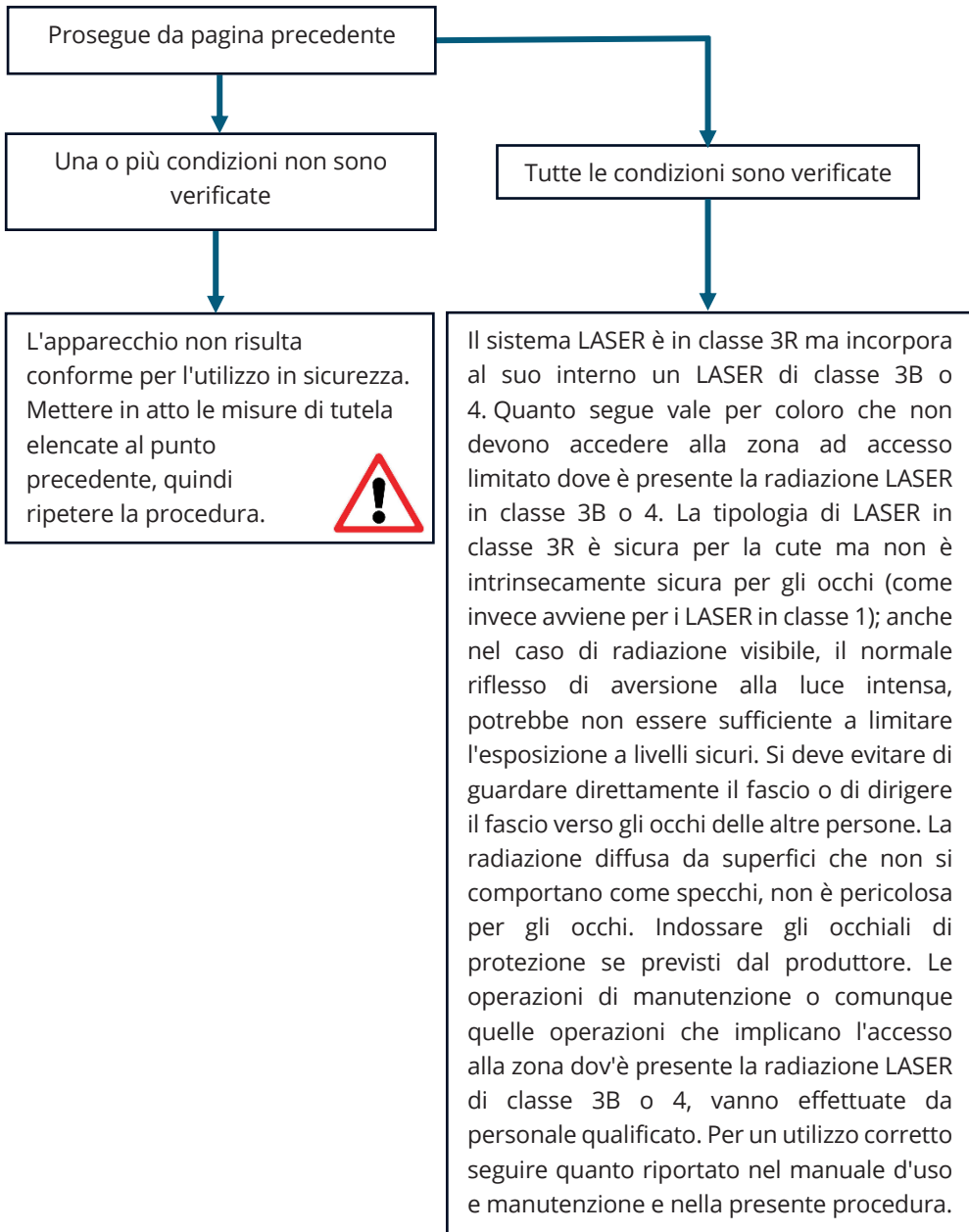






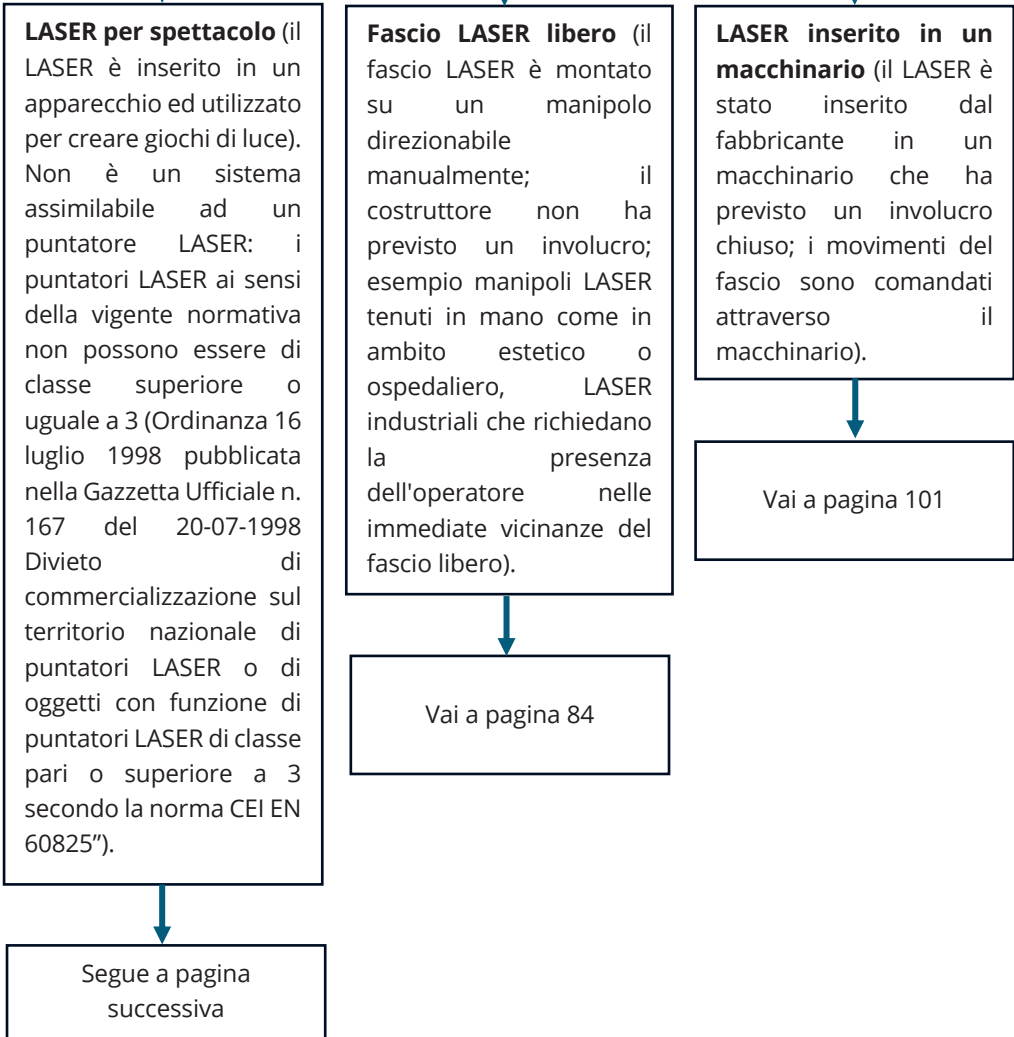






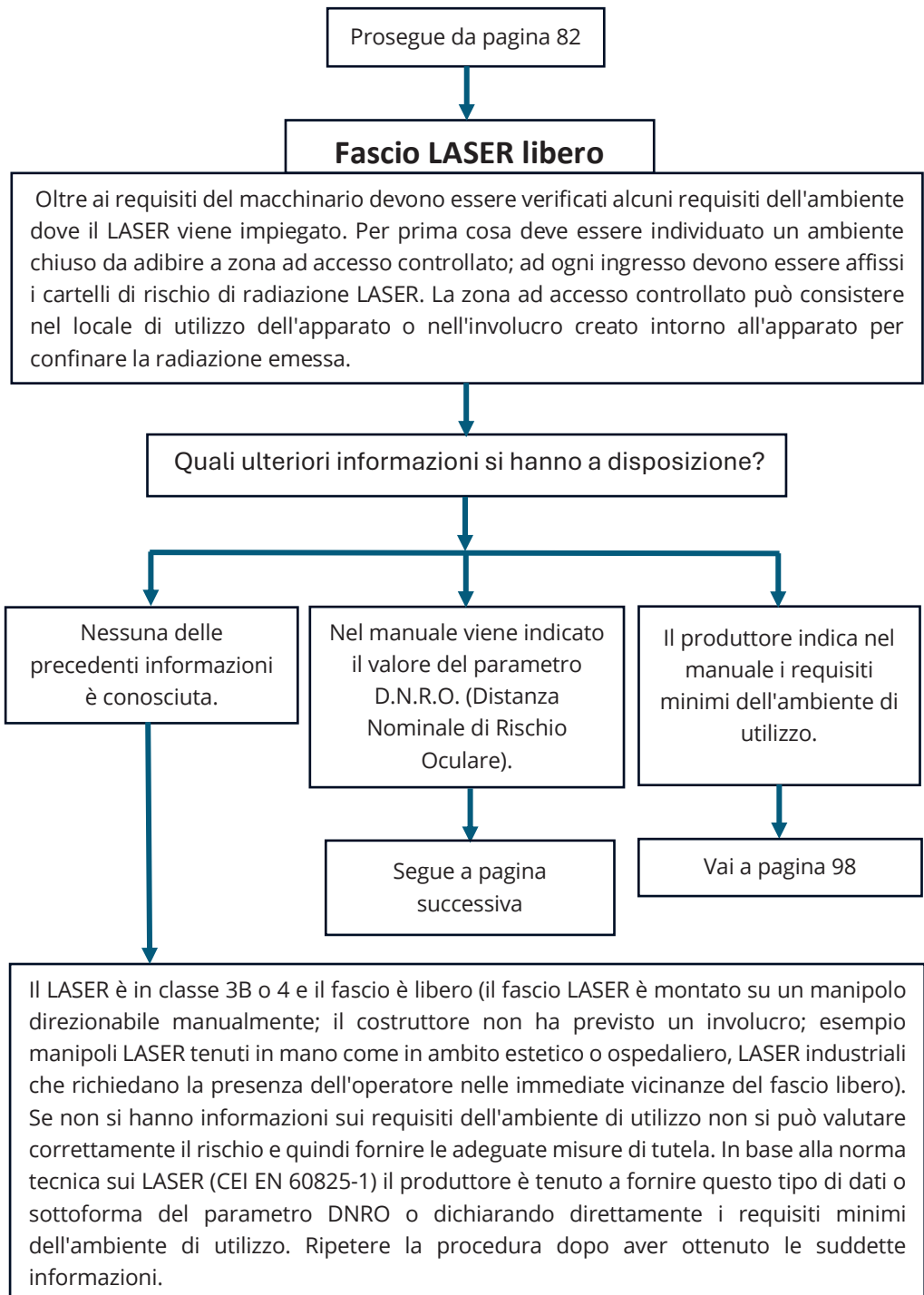
Hai un LASER di Classe 3B o 4

Come viene utilizzato il LASER?



LASER per spettacolo

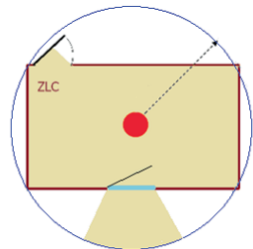
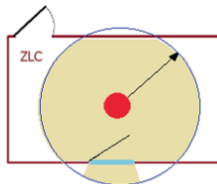
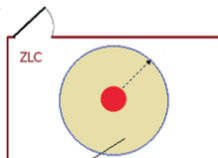
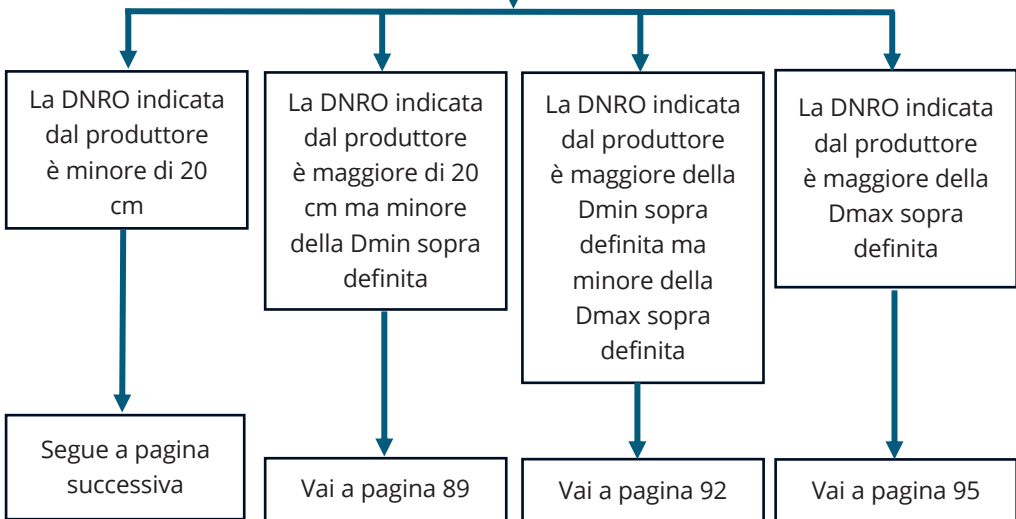
Il LASER è per spettacolo ed è utilizzato per creare giochi di luce. I LASER per spettacolo devono essere utilizzati da personale qualificato, formato sui rischi e sulle procedure per un utilizzo in sicurezza. Per l'installazione attenersi scrupolosamente alle istruzioni presenti nel manuale di uso e manutenzione fornito dal produttore. Se tali istruzioni non sono presenti, queste devono essere richieste ed il produttore è tenuto a fornirle secondo quanto prescritto dalle norme di prodotto. Per i LASER da spettacolo in classe 3 B la norma IEC/TR 60825-3 "Safety of LASER products - Part 3: Guidance for LASER displays and shows", e la normativa italiana norma CEI 76-fasc. 3849 R paragrafi B.12.2.4 e B.12.4 prescrivono specifici requisiti di sicurezza per i dispositivi di spettacolo luce con LASER e le informazioni che il costruttore è tenuto a fornire sul manuale di istruzioni ed uso dell'apparato. Esso deve essere impiegato da personale professionale, formato sui rischi, attenendosi rigidamente alle istruzioni di sicurezza riportate sul manuale di istruzioni fornito dal produttore (che ha l'obbligo di fornirle). Il funzionamento del LASER di spettacolo di classe 3B è consentito solo se lo spettacolo è controllato da un operatore esperto e ben addestrato sulle informazioni inerenti all'impiego sicuro del dispositivo, contenute nel manuale, così come richiesto dalla norma di sicurezza IEC. Le principali misure di sicurezza che dovrebbero essere attuate conformemente a quanto indicato dal costruttore per tale tipologia di apparati sono: Non puntare i LASER di classe 3B in aree dove possono essere esposte persone; Configurare sempre l'installazione di tutti gli effetti LASER in modo che il fascio emesso dal LASER sia ad almeno 3 metri di altezza dai pavimenti dove possono essere presenti persone. Dopo il montaggio e prima dell'utilizzo con il pubblico testare il LASER per garantire il corretto funzionamento. Non puntare LASER su persone o animali. Non guardare nell'apertura del LASER. Non puntare i LASER nei settori in cui le persone possono potenzialmente essere esposti, come i balconi non controllati, terrazze ecc. Non puntare i LASER su superfici altamente riflettenti come finestre, specchi e metallo lucido. Anche le riflessioni LASER possono essere pericolose. Non puntare mai il fascio LASER contro aerei. Non puntare mai il fascio LASER senza terminatore verso il cielo. Non esporre l'uscita ottica (apertura) a prodotti chimici per la pulizia. Il funzionamento di un LASER di spettacolo di classe 3B è consentito solo se lo spettacolo è controllato da un operatore esperto e ben addestrato sulle procedure di sicurezza contenute nel manuale di istruzioni ed uso fornito dal costruttore a corredo del LASER.

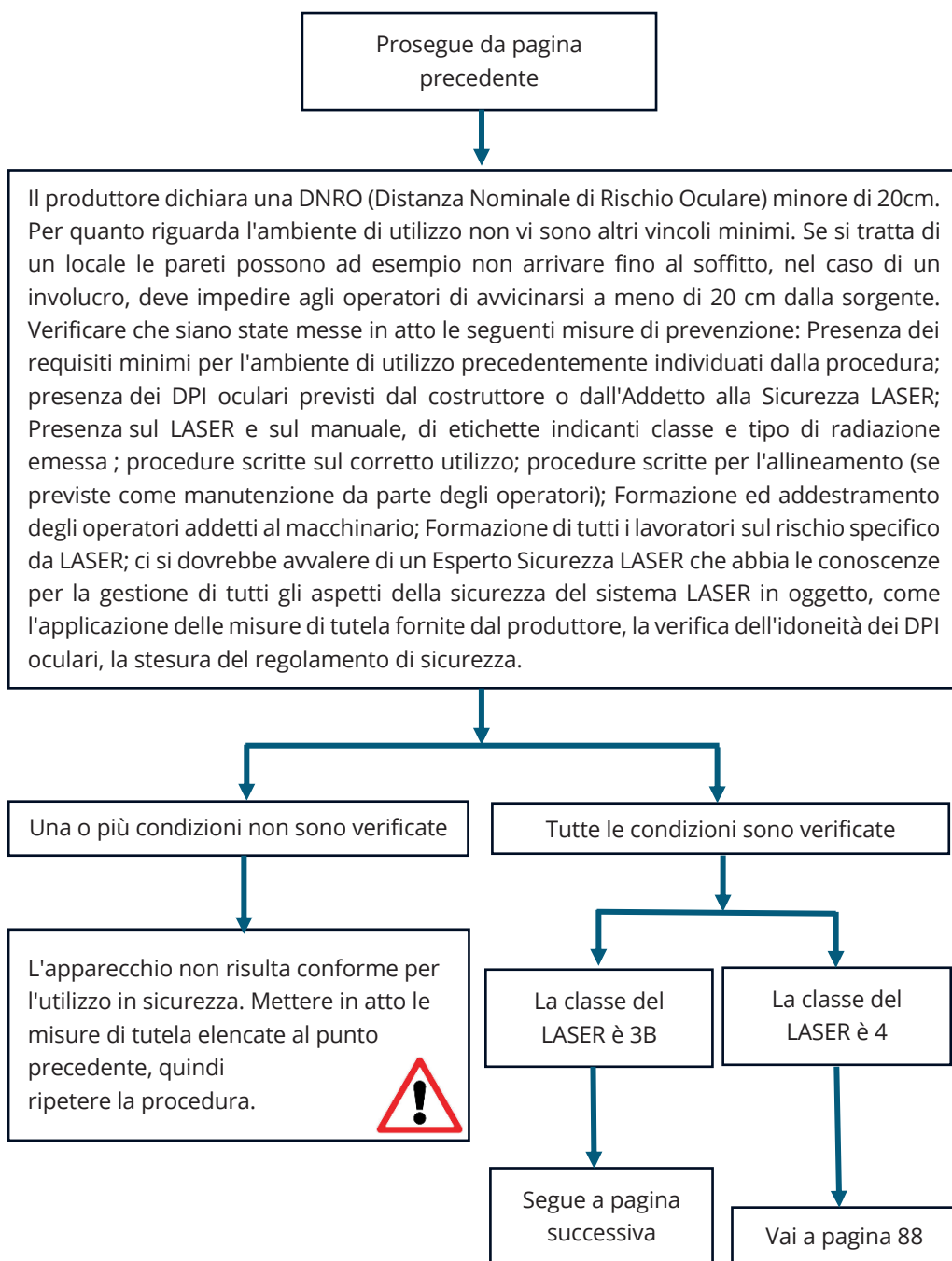


Prosegue da pagina
precedente

I requisiti dell'ambiente di utilizzo, che costituisce la zona ad accesso controllato, dipendono dal rapporto fra il parametro DNRO e le dimensioni dell'ambiente. Sia D_{min} la distanza fra la posizione tipica del LASER e l'apertura più vicina dell'ambiente verso l'esterno (porta, finestra, fine parete); D_{max} la distanza fra la posizione tipica del LASER e l'apertura più lontana dell'ambiente verso l'esterno (porta, finestra, fine parete).

Quale delle seguenti situazioni si presenta?





Prosegue da pagina
precedente

Questa tipologia di LASER può portare ad un'esposizione superiore ai limiti di legge. La radiazione diretta può provocare un danno se il fascio è diretto contro gli occhi ed anche nel caso di radiazione visibile, il normale riflesso di aversione dovuto alla visione di una luce intensa, potrebbe non essere sufficiente a limitare l'esposizione a livelli sicuri. Per questo motivo la radiazione deve essere confinata quanto più possibile, creando una zona LASER ad accesso controllato, all'esterno della quale il LASER sia al massimo di classe 2. Tutti coloro che si trovano all'interno della zona ad accesso controllato ad una distanza dalla sorgente inferiore alla Distanza Nominale di Rischio Oculare, dovrebbero indossare idonee protezioni oculari. Si deve prevenire l'esposizione degli occhi alla radiazione diretta. La radiazione riflessa è normalmente sicura. Il rischio per la cute potrebbe essere rilevante per i LASER con potenze al limite superiore della classe 3B. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza. Mettere in atto le misure di tutela presenti sul manuale di uso e manutenzione e nella presente procedura.



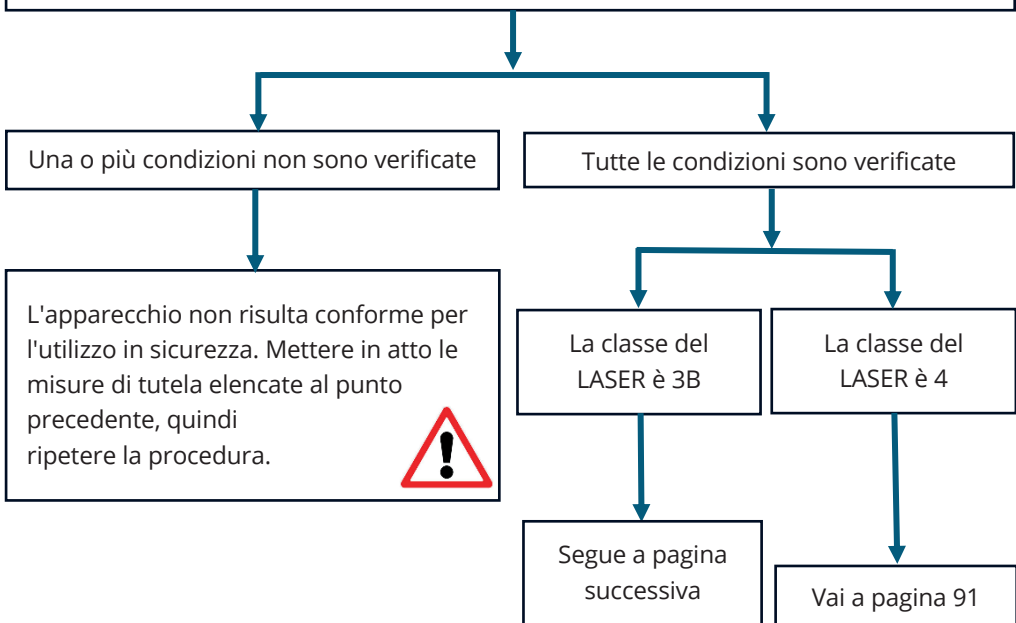
Prosegue da pagina 86

Il LASER in classe 4 può rappresentare un pericolo per gli occhi e in generale anche per la cute, se si intercetta la radiazione sia essa diretta che riflessa, fino a distanze pari alla DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare); quindi tutti coloro che si trovano ad una distanza minore della DNRO devono indossare gli appositi DPI forniti dal produttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER e prevenire l'esposizione della cute alla radiazione. Devono inoltre essere evitati gli oggetti riflettenti non strettamente funzionali alla procedura in corso. Per questa classe di LASER può sussistere anche il rischio di innesco di incendio, per questo è importante creare un ambiente ad accesso controllato, verificando l'idoneità degli oggetti e delle sostanze che vengono di volta in volta introdotte. L'ambiente ad accesso controllato deve essere delimitato da barriere fisiche che impediscano al fascio LASER di uscire; il materiale delle barriere deve essere idoneo sia a fornire l'opportuna attenuazione della radiazione che a resistere anche al fascio diretto, se è verosimile che questa eventualità possa accadere. Per il calcolo delle barriere e per la verifica dell'idoneità si può utilizzare la norma CEI EN 60825-4 "Sicurezza degli apparecchi LASER Parte 4: Barriere per LASER". Durante il normale funzionamento dalla zona colpita dal fascio LASER si potrebbero sviluppare fumi che devono essere eliminati con apposita aspirazione. Nell'area ad accesso limitato, quando il macchinario è in funzione, deve essere presente solo il personale autorizzato; si dovrebbe evitare la presenza di persone non necessarie allo svolgimento della procedura in corso. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.



Prosegue da pagina 85

Il parametro DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare) è maggiore di 20 cm ma minore della distanza tipica di separazione fra la posizione di utilizzo dell'apparecchiatura e l'apertura più vicina della barriera che delimita la zona ad accesso controllato. Quindi è improbabile che il LASER rappresenti un rischio per chi si trova all'esterno di tale zona. Verificare l'assenza di superfici riflettenti intorno all'area di lavoro. Verificare che siano state messe in atto le seguenti misure di prevenzione: presenza dei requisiti minimi per l'ambiente di utilizzo precedentemente individuati dalla procedura; presenza dei DPI oculari previsti dal costruttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER; presenza sul LASER e sul manuale, di etichette indicanti classe e tipo di radiazione emessa; Procedure scritte sul corretto utilizzo; Procedure scritte per l'allineamento (se previste come manutenzione da parte degli operatori); formazione ed addestramento degli operatori addetti al macchinario; Formazione di tutti i lavoratori sul rischio specifico da LASER; ci si dovrebbe avvalere di un Esperto Sicurezza LASER che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.



Prosegue da pagina
precedente

Questa tipologia di LASER può portare ad un'esposizione superiore ai limiti di legge. La radiazione diretta può provocare un danno se il fascio è diretto contro gli occhi ed anche nel caso di radiazione visibile, il normale riflesso di aversione dovuto alla visione di una luce intensa, potrebbe non essere sufficiente a limitare l'esposizione a livelli sicuri. Per questo motivo la radiazione deve essere confinata quanto più possibile, creando una zona LASER ad accesso controllato, all'esterno della quale il LASER sia al massimo di classe 2. Tutti coloro che si trovano all'interno della zona ad accesso controllato ad una distanza dalla sorgente inferiore alla Distanza Nominale di Rischio Oculare, dovrebbero indossare idonee protezioni oculari. Si deve prevenire l'esposizione degli occhi alla radiazione diretta. La radiazione riflessa è normalmente sicura. Il rischio per la cute potrebbe essere rilevante per i LASER con potenze al limite superiore della classe 3B. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza. Mettere in atto le misure di tutela presenti sul manuale di uso e manutenzione e nella presente procedura.



Prosegue da pagina 89

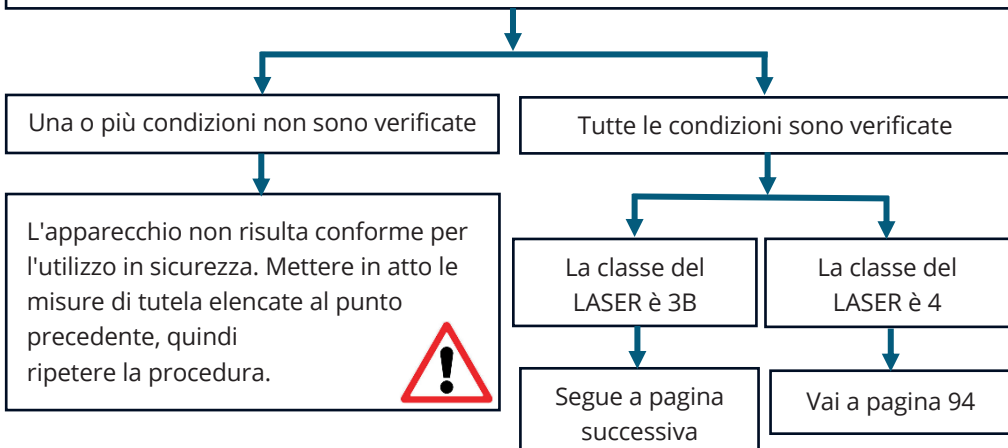


Il LASER in classe 4 può rappresentare un pericolo per gli occhi e in generale anche per la cute, se si intercetta la radiazione sia essa diretta che riflessa, fino a distanze pari alla DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare); quindi tutti coloro che si trovano ad una distanza minore della DNRO devono indossare gli appositi DPI forniti dal produttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER e prevenire l'esposizione della cute alla radiazione. Devono inoltre essere evitati gli oggetti riflettenti non strettamente funzionali alla procedura in corso. Per questa classe di LASER può sussistere anche il rischio di innesco di incendio, per questo è importante creare un ambiente ad accesso controllato, verificando l'idoneità degli oggetti e delle sostanze che vengono di volta in volta introdotte. L'ambiente ad accesso controllato deve essere delimitato da barriere fisiche che impediscano al fascio LASER di uscire; il materiale delle barriere deve essere idoneo sia a fornire l'opportuna attenuazione della radiazione che a resistere anche al fascio diretto, se è verosimile che questa eventualità possa accadere. Per il calcolo delle barriere e per la verifica dell'idoneità si può utilizzare la norma CEI EN 60825-4 "Sicurezza degli apparecchi LASER Parte 4: Barriere per LASER". Durante il normale funzionamento dalla zona colpita dal fascio LASER si potrebbero sviluppare fumi che devono essere eliminati con apposita aspirazione. Nell'area ad accesso limitato, quando il macchinario è in funzione, deve essere presente solo il personale autorizzato; si dovrebbe evitare la presenza di persone non necessarie allo svolgimento della procedura in corso. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.



Prosegue da pagina 85

La DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare) è abbastanza grande per cui il LASER può rappresentare un rischio per chiunque si trovi in corrispondenza delle aperture della zona ad accesso controllato più vicine al LASER. In questo caso se la zona ad accesso controllato è costituita dal locale di utilizzo, esso deve avere almeno i seguenti requisiti: ogni ingresso deve essere collegato al sistema di interblocco; Fuori di ogni ingresso deve esserci una segnalazione luminosa di LASER in funzione; Nell'ambiente non vi devono essere superfici riflettenti; Ogni apertura che si trovi ad una distanza dalla posizione del LASER minore della DNRO deve essere fatta in modo che resista alla radiazione e non la lasci uscire dall'ambiente (vedi requisiti per le barriere LASER descritti nel seguito della procedura); Se la zona ad accesso controllato è costituita da un involucro, esso deve racchiudere al meglio la sorgente in modo che sia altamente improbabile un'esposizione degli operatori ad una distanza inferiore alla DNRO, Anche in questo caso per il materiale dell'involucro vedi requisiti per le barriere LASER descritti nel seguito della procedura. Verificare che siano state messe in atto le seguenti misure di prevenzione: Presenza dei requisiti minimi per l'ambiente di utilizzo precedentemente individuati dalla procedura; Presenza dei DPI oculari previsti dal costruttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER; Presenza sul LASER e sul manuale, di etichette indicanti classe e tipo di radiazione emessa; Procedure scritte sul corretto utilizzo; Procedure scritte per l'allineamento (se previste come manutenzione da parte degli operatori); Formazione ed addestramento degli operatori addetti al macchinario; Formazione di tutti i lavoratori sul rischio specifico da LASER; Ci si dovrebbe avvalere di un Esperto Sicurezza LASER che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.



Prosegue da pagina
precedente

Questa tipologia di LASER può portare ad un'esposizione superiore ai limiti di legge. La radiazione diretta può provocare un danno se il fascio è diretto contro gli occhi ed anche nel caso di radiazione visibile, il normale riflesso di aversione dovuto alla visione di una luce intensa, potrebbe non essere sufficiente a limitare l'esposizione a livelli sicuri. Per questo motivo la radiazione deve essere confinata quanto più possibile, creando una zona LASER ad accesso controllato, all'esterno della quale il LASER sia al massimo di classe 2. Tutti coloro che si trovano all'interno della zona ad accesso controllato ad una distanza dalla sorgente inferiore alla Distanza Nominale di Rischio Oculare, dovrebbero indossare idonee protezioni oculari. Si deve prevenire l'esposizione degli occhi alla radiazione diretta. La radiazione riflessa è normalmente sicura. Il rischio per la cute potrebbe essere rilevante per i LASER con potenze al limite superiore della classe 3B. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza. Mettere in atto le misure di tutela presenti sul manuale di uso e manutenzione e nella presente procedura.



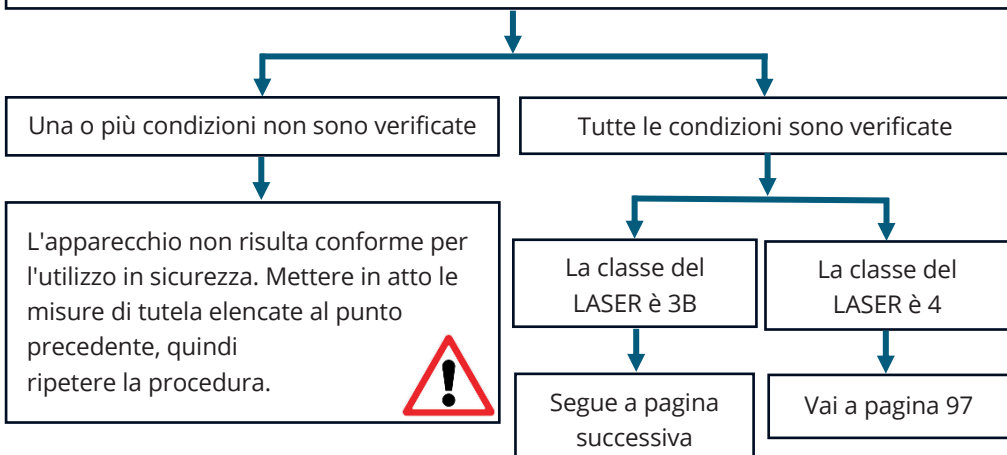
Prosegue da pagina 92

Il LASER in classe 4 può rappresentare un pericolo per gli occhi e in generale anche per la cute, se si intercetta la radiazione sia essa diretta che riflessa, fino a distanze pari alla DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare); quindi tutti coloro che si trovano ad una distanza minore della DNRO devono indossare gli appositi DPI forniti dal produttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER e prevenire l'esposizione della cute alla radiazione. Devono inoltre essere evitati gli oggetti riflettenti non strettamente funzionali alla procedura in corso. Per questa classe di LASER può sussistere anche il rischio di innesco di incendio, per questo è importante creare un ambiente ad accesso controllato, verificando l'idoneità degli oggetti e delle sostanze che vengono di volta in volta introdotte. L'ambiente ad accesso controllato deve essere delimitato da barriere fisiche che impediscano al fascio LASER di uscire; il materiale delle barriere deve essere idoneo sia a fornire l'opportuna attenuazione della radiazione che a resistere anche al fascio diretto, se è verosimile che questa eventualità possa accadere. Per il calcolo delle barriere e per la verifica dell'idoneità si può utilizzare la norma CEI EN 60825-4 "Sicurezza degli apparecchi LASER Parte 4: Barriere per LASER". Durante il normale funzionamento dalla zona colpita dal fascio LASER si potrebbero sviluppare fumi che devono essere eliminati con apposita aspirazione. Nell'area ad accesso limitato, quando il macchinario è in funzione, deve essere presente solo il personale autorizzato; si dovrebbe evitare la presenza di persone non necessarie allo svolgimento della procedura in corso. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.



Prosegue da pagina 85

La DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare) è abbastanza grande per cui il LASER può rappresentare un rischio per chiunque si trovi nelle immediate vicinanze dell'ambiente di utilizzo. In questo caso bisogna creare un ambiente completamente isolato: le barriere che delimitano la zona ad accesso controllato (pareti, finestre, lastre dell'involucro) devono racchiudere completamente la radiazione LASER; devono essere idonee sia a fornire l'opportuna attenuazione della radiazione che a resistere anche al fascio diretto, se è verosimile che questa eventualità possa accadere. Per il calcolo delle barriere e per la verifica dell'idoneità si può utilizzare la norma CEI EN 60825-4 "Sicurezza degli apparecchi LASER Parte 4: Barriere per LASER" ogni ingresso deve essere collegato al sistema di interblocco; fuori di ogni ingresso deve esserci una segnalazione luminosa di LASER in funzione; nell'ambiente non vi devono essere superfici riflettenti. Verificare che siano state messe in atto le seguenti misure di prevenzione: presenza dei requisiti minimi per l'ambiente di utilizzo precedentemente individuati dalla procedura; presenza dei DPI oculari previsti dal costruttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER. presenza sul LASER e sul manuale, di etichette indicanti classe e tipo di radiazione emessa; procedure scritte sul corretto utilizzo; procedure scritte per l'allineamento (se previste come manutenzione da parte degli operatori); formazione ed addestramento degli operatori addetti al macchinario; formazione di tutti i lavoratori sul rischio specifico da LASER; ci si dovrebbe avvalere di un Esperto Sicurezza LASER che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.



Prosegue da pagina
precedente

Questa tipologia di LASER può portare ad un'esposizione superiore ai limiti di legge. La radiazione diretta può provocare un danno se il fascio è diretto contro gli occhi ed anche nel caso di radiazione visibile, il normale riflesso di aversione dovuto alla visione di una luce intensa, potrebbe non essere sufficiente a limitare l'esposizione a livelli sicuri. Per questo motivo la radiazione deve essere confinata quanto più possibile, creando una zona LASER ad accesso controllato, all'esterno della quale il LASER sia al massimo di classe 2. Tutti coloro che si trovano all'interno della zona ad accesso controllato ad una distanza dalla sorgente inferiore alla Distanza Nominale di Rischio Oculare, dovrebbero indossare idonee protezioni oculari. Si deve prevenire l'esposizione degli occhi alla radiazione diretta. La radiazione riflessa è normalmente sicura. Il rischio per la cute potrebbe essere rilevante per i LASER con potenze al limite superiore della classe 3B. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza. Mettere in atto le misure di tutela presenti sul manuale di uso e manutenzione e nella presente procedura



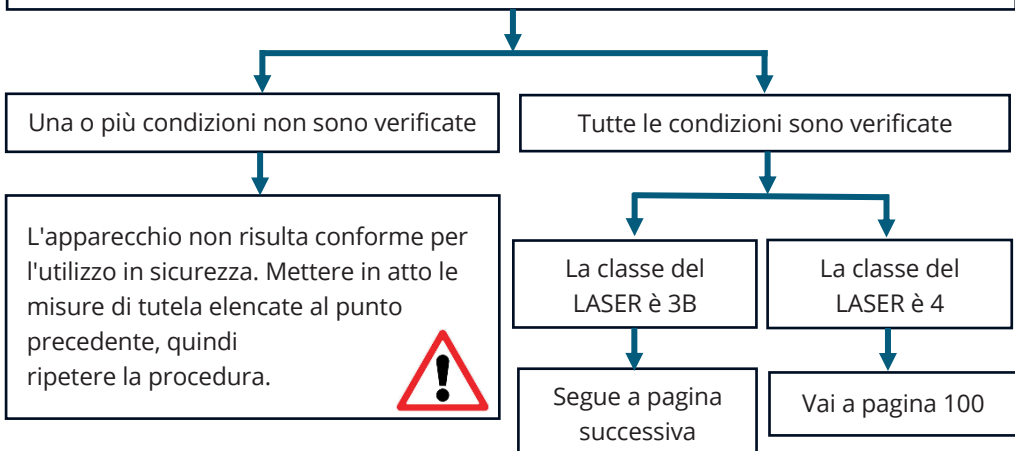
Prosegue da pagina 95

Il LASER in classe 4 può rappresentare un pericolo per gli occhi e in generale anche per la cute, se si intercetta la radiazione sia essa diretta che riflessa, fino a distanze pari alla DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare); quindi tutti coloro che si trovano ad una distanza minore della DNRO devono indossare gli appositi DPI forniti dal produttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER e prevenire l'esposizione della cute alla radiazione. Devono inoltre essere evitati gli oggetti riflettenti non strettamente funzionali alla procedura in corso. Per questa classe di LASER può sussistere anche il rischio di innesco di incendio, per questo è importante creare un ambiente ad accesso controllato, verificando l'idoneità degli oggetti e delle sostanze che vengono di volta in volta introdotte. L'ambiente ad accesso controllato deve essere delimitato da barriere fisiche che impediscano al fascio LASER di uscire; il materiale delle barriere deve essere idoneo sia a fornire l'opportuna attenuazione della radiazione che a resistere anche al fascio diretto, se è verosimile che questa eventualità possa accadere. Per il calcolo delle barriere e per la verifica dell'idoneità si può utilizzare la norma CEI EN 60825-4 "Sicurezza degli apparecchi LASER Parte 4: Barriere per LASER". Durante il normale funzionamento dalla zona colpita dal fascio LASER si potrebbero sviluppare fumi che devono essere eliminati con apposita aspirazione. Nell'area ad accesso limitato, quando il macchinario è in funzione, deve essere presente solo il personale autorizzato; si dovrebbe evitare la presenza di persone non necessarie allo svolgimento della procedura in corso. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.



Prosegue da pagina 84

Il LASER è in classe 3B o 4 ed il fascio è libero (il fascio LASER è montato su un manipolo direzionabile manualmente; il costruttore non ha previsto un involucro; esempio manipoli LASER tenuti in mano come in ambito estetico o ospedaliero, LASER industriali che richiedano la presenza dell'operatore nelle immediate vicinanze del fascio libero). Il materiale delle barriere che delimitano la zona ad accesso controllato, deve essere idoneo sia a fornire l'opportuna attenuazione della radiazione che a resistere anche al fascio diretto, se è verosimile che questa eventualità possa accadere. Per il calcolo delle barriere e per la verifica dell'idoneità si può utilizzare la norma CEI EN 60825-4 "Sicurezza degli apparecchi LASER Parte 4: Barriere per LASER". Oltre a quanto indicato nella presente procedura, seguire le indicazioni del produttore per quanto riguarda i requisiti minimi dell'ambiente di utilizzo. Verificare che siano state messe in atto le seguenti misure di prevenzione: presenza dei requisiti minimi per l'ambiente di utilizzo precedentemente individuati dalla procedura; presenza dei DPI oculari previsti dal costruttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER. presenza sul LASER e sul manuale, di etichette indicanti classe e tipo di radiazione emessa; procedure scritte sul corretto utilizzo; procedure scritte per l'allineamento (se previste come manutenzione da parte degli operatori); formazione ed addestramento degli operatori addetti al macchinario; formazione di tutti i lavoratori sul rischio specifico da LASER; ci si dovrebbe avvalere di un Esperto Sicurezza LASER che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.



Prosegue da pagina
precedente

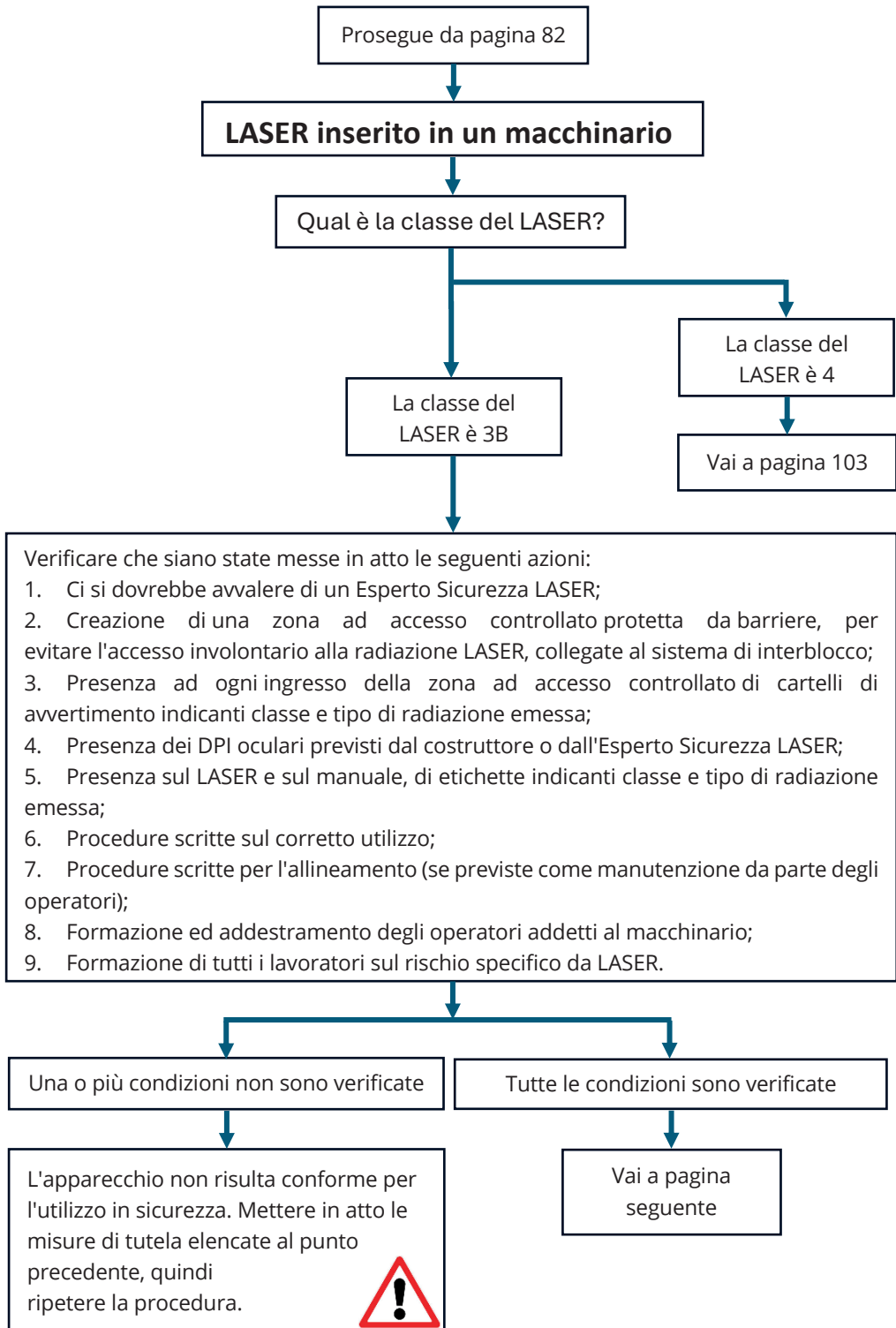
Questa tipologia di LASER può portare ad un'esposizione superiore ai limiti di legge. La radiazione diretta può provocare un danno se il fascio è diretto contro gli occhi ed anche nel caso di radiazione visibile, il normale riflesso di aversione dovuto alla visione di una luce intensa, potrebbe non essere sufficiente a limitare l'esposizione a livelli sicuri. Per questo motivo la radiazione deve essere confinata quanto più possibile, creando una zona LASER ad accesso controllato, all'esterno della quale il LASER sia al massimo di classe 2. Tutti coloro che si trovano all'interno della zona ad accesso controllato ad una distanza dalla sorgente inferiore alla Distanza Nominale di Rischio Oculare, dovrebbero indossare idonee protezioni oculari. Si deve prevenire l'esposizione degli occhi alla radiazione diretta. La radiazione riflessa è normalmente sicura. Il rischio per la cute potrebbe essere rilevante per i LASER con potenze al limite superiore della classe 3B. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza. Mettere in atto le misure di tutela presenti sul manuale di uso e manutenzione e nella presente procedura.



Prosegue da pagina 98

Il LASER in classe 4 può rappresentare un pericolo per gli occhi e in generale anche per la cute, se si intercetta la radiazione sia essa diretta che riflessa, fino a distanze pari alla DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare); quindi tutti coloro che si trovano ad una distanza minore della DNRO devono indossare gli appositi DPI forniti dal produttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER e prevenire l'esposizione della cute alla radiazione. Devono inoltre essere evitati gli oggetti riflettenti non strettamente funzionali alla procedura in corso. Per questa classe di LASER può sussistere anche il rischio di innesco di incendio, per questo è importante creare un ambiente ad accesso controllato, verificando l'idoneità degli oggetti e delle sostanze che vengono di volta in volta introdotte. L'ambiente ad accesso controllato deve essere delimitato da barriere fisiche che impediscano al fascio LASER di uscire; il materiale delle barriere deve essere idoneo sia a fornire l'opportuna attenuazione della radiazione che a resistere anche al fascio diretto, se è verosimile che questa eventualità possa accadere. Per il calcolo delle barriere e per la verifica dell'idoneità si può utilizzare la norma CEI EN 60825-4 "Sicurezza degli apparecchi LASER Parte 4: Barriere per LASER". Durante il normale funzionamento dalla zona colpita dal fascio LASER si potrebbero sviluppare fumi che devono essere eliminati con apposita aspirazione. Nell'area ad accesso limitato, quando il macchinario è in funzione, deve essere presente solo il personale autorizzato; si dovrebbe evitare la presenza di persone non necessarie allo svolgimento della procedura in corso. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.





Prosegue da pagina
precedente



Questa tipologia di LASER può portare ad un'esposizione superiore ai limiti di legge. La radiazione diretta può provocare un danno se il fascio è diretto contro gli occhi ed anche nel caso di radiazione visibile, il normale riflesso di aversione dovuto alla visione di una luce intensa, potrebbe non essere sufficiente a limitare l'esposizione a livelli sicuri. Per questo motivo la radiazione deve essere confinata quanto più possibile, creando una zona LASER ad accesso controllato, all'esterno della quale il LASER sia al massimo di classe 2. Tutti coloro che si trovano all'interno della zona ad accesso controllato ad una distanza dalla sorgente inferiore alla Distanza Nominale di Rischio Oculare, dovrebbero indossare idonee protezioni oculari. Si deve prevenire l'esposizione degli occhi alla radiazione diretta. La radiazione riflessa è normalmente sicura. Il rischio per la cute potrebbe essere rilevante per i LASER con potenze al limite superiore della classe 3B. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza. Mettere in atto le misure di tutela presenti sul manuale di uso e manutenzione e nella presente procedura.



Prosegue da pagina 101

Verificare che siano state messe in atto le seguenti azioni:

1. Ci si dovrebbe avvalere di un Esperto Sicurezza LASER;
2. Creazione di una zona ad accesso controllato protetta da barriere, per evitare l'accesso involontario alla radiazione LASER, collegate al sistema di interblocco;
3. Presenza ad ogni ingresso della zona ad accesso controllato di cartelli di avvertimento indicanti classe e tipo di radiazione emessa;
4. Presenza dei DPI oculari previsti dal costruttore o dall'Esperto Sicurezza LASER;
5. Assenza di sostanze od oggetti infiammabili all'interno della zona ad accesso controllato;
6. Assenza di superfici riflettenti non necessarie all'interno della zona ad accesso controllato;
7. Presenza di un comando a chiave per l'accensione del macchinario;
8. Presenza sul LASER e sul manuale, di etichette indicanti classe e tipo di radiazione emessa;
9. Procedure scritte sul corretto utilizzo;
10. Procedure scritte per l'allineamento (se previste come manutenzione da parte degli operatori);
11. Formazione ed addestramento degli operatori addetti al macchinario;
12. Formazione di tutti i lavoratori sul rischio specifico da LASER.

Una o più condizioni non sono verificate

L'apparecchio non risulta conforme per l'utilizzo in sicurezza. Mettere in atto le misure di tutela elencate al punto precedente, quindi ripetere la procedura.



Tutte le condizioni sono verificate

Vai a pagina
seguente

Prosegue da pagina
precedente

Il LASER in classe 4 può rappresentare un pericolo per gli occhi e in generale anche per la cute, se si intercetta la radiazione sia essa diretta che riflessa, fino a distanze pari alla DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare); quindi tutti coloro che si trovano ad una distanza minore della DNRO devono indossare gli appositi DPI forniti dal produttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) e prevenire l'esposizione della cute alla radiazione. Devono inoltre essere evitati gli oggetti riflettenti non strettamente funzionali alla procedura in corso. Per questa classe di LASER può sussistere anche il rischio di innesco di incendio, per questo è importante creare un ambiente ad accesso controllato, verificando l'idoneità degli oggetti e delle sostanze che vengono di volta in volta introdotte. L'ambiente ad accesso controllato deve essere delimitato da barriere fisiche che impediscano al fascio LASER di uscire; il materiale delle barriere deve essere idoneo sia a fornire l'opportuna attenuazione della radiazione che a resistere anche al fascio diretto, se è verosimile che questa eventualità possa accadere. Per il calcolo delle barriere e per la verifica dell'idoneità si può utilizzare la norma CEI EN 60825-4 "Sicurezza degli apparecchi LASER Parte 4: Barriere per LASER". Durante il normale funzionamento dalla zona colpita dal fascio LASER si potrebbero sviluppare fumi che devono essere eliminati con apposita aspirazione. Nell'area ad accesso limitato, quando il macchinario è in funzione, deve essere presente solo il personale autorizzato; si dovrebbe evitare la presenza di persone non necessarie allo svolgimento della procedura in corso. Ci si dovrebbe avvalere di un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.



Bibliografia

1. Decreto Legislativo 81/08: "Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro";
2. Coordinamento Tecnico per la sicurezza nei luoghi di lavoro delle Regioni e delle Province autonome: Indicazioni operative sulla prevenzione e protezione dei rischi dovuti a radiazioni ottiche artificiali nei luoghi di lavoro;
3. CEI EN 60825-1 (classificazione CEI: 76-2): "Sicurezza degli apparecchi laser – Parte 1: Classificazione delle apparecchiature, prescrizioni e guida per l'utilizzatore" (2003);
4. Norma CEI EN 60825-4 2003 Fascicolo 6828 "Barriere per LASER";
5. Norma CEI 76 Fascicolo 3849 R Anno 1998 Ed Prima "Guida per l'utilizzazione di apparati LASER";
6. Norma UNI EN 12254:2010 Schermi per posti di lavoro in presenza di LASER;
7. Norma UNI EN 207:2004 Protezione personale degli occhi – filtri protettori dell'occhio contro radiazioni LASER (protettori dell'occhio per LASER);
8. Norma UNI EN 208:2004 Protettori dell'occhio per i lavori di regolazione sui LASER e sistemi LASER (protettori dell'occhio per regolazioni LASER).
9. CEI 76: "Sicurezza degli apparecchi laser – Parte 8: Guida all'uso degli apparecchi laser in medicina"
10. UNI EN 207: "Filtri e protettori dell'occhio contro radiazioni laser (protettori dell'occhio per laser)" (2000)

Sitografia

www.portaleagentifisici.it

www.suva.ch

www.ceimagazine.ceinorme.it

www.testo-unico-sicurezza.com

INAIL - Direzione centrale pianificazione e comunicazione

Piazzale Giulio Pastore, 6 - 00144 Roma
dcpianificazione-comunicazione@inail.it

www.inail.it

ISBN 978-88-7484-884-3