



Università degli Studi di Lecce
SERVIZIO DI PREVENZIONE E PROTEZIONE

**NORME E REGOLAMENTO
DI SICUREZZA PER L'USO DI
LASER**

Seconda versione

LECCE, NOVEMBRE 1998

Opuscolo informativo ad esclusivo uso interno

CONTENUTO:

PREMESSA	pag.	3
ORGANIZZAZIONE DELLA SICUREZZA	pag.	4
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	pag.	5
1. INTRODUZIONE	pag.	6
2. DEFINIZIONE E CLASSIFICAZIONE	pag.	7
3. REQUISITI DI SICUREZZA	pag.	9
4. ALTRE MISURE DI SICUREZZA	pag.	11
5. EFFETTI DELLA RADIAZIONE LASER SUI TESSUTI	pag.	12
6. PERICOLI ASSOCIATI	pag.	13
7. NORME OPERATIVE DI SICUREZZA	pag.	15
8. PROCEDURE DI CONTROLLO PER I SISTEMI LASER	pag.	18
9. TABELLE RIEPILOGATIVE	pag.	22

APPENDICI:

APPENDICE A. CARTELLONISTICA E SEGNALETICA	pag.	23
APPENDICE B. LE 10 REGOLE D'ORO DELLA SEGNALETICA.....	pag.	26
APPENDICE C. QUESTIONARIO	pag.	27

PREMESSA

*Nelle Università i **laser** sono generalmente utilizzati nei laboratori di ricerca.*

Gli operatori sono laureati e tecnici con alta qualificazione sull'uso della strumentazione specifica usata in laboratorio; essi sono di solito ben consapevoli dei rischi collegati a questi apparecchi ed adottano norme di sicurezza adeguate a prevenire infortuni.

Accade talvolta che le norme di sicurezza ritenute sufficienti dal singolo ricercatore non siano in tutto corrispondenti a quanto previsto dalla normativa vigente. Questo proprio perché il ricercatore, in quanto esperto nel campo, ritiene ovvie (e quindi non le segnala) alcune situazioni di pericolo o alcune norme di comportamento. Ne possono derivare sanzioni da parte degli organi di controllo sia nei confronti del responsabile del laboratorio che del datore di lavoro.

Inoltre accade spesso che i rischi a cui si è quotidianamente esposti vengano con il passare del tempo sottovalutati, per cui è indispensabile che, almeno nei casi in cui il danno possa essere grave, siano posti in opera meccanismi automatici di spegnimento; seppur fastidiosi per l'esperto, questi meccanismi possono evitare gravi pericoli nei casi di comportamento pericoloso per distrazione o per eccesso di familiarità con lo strumento, situazione in cui anche l'esperto può talvolta incorrere.

Infine occorre tener presente che nei laboratori universitari possono accedere anche persone che esperte non sono (o non lo sono ancora) come studenti, laureandi o neo-assunti.

Quest'opuscolo è quindi inteso come promemoria per i ricercatori su:

- **classificazione dei laser;***
- **norme di sicurezza da osservare per il loro utilizzo;***
- **guida per i responsabili dei laboratori in cui sono utilizzati laser;***
- **informazione e formazione nei confronti del personale e degli studenti che si muovono all'interno di laboratori contenenti attrezzature Laser.***

*L'informazione e la formazione è obbligatoria **prima** che i soggetti siano autorizzati all'accesso negli ambienti e all'utilizzo della strumentazione. Il Decreto Interministeriale applicativo alle Università dell'art. 1 del D. Lgs. 626/94 prevede espressamente tra gli obblighi dei responsabili di laboratorio :*

“Il responsabile dell'attività didattica o di ricerca in laboratorio è tenuto ... ad informare tutti i propri collaboratori sui rischi specifici connessi alle attività svolte e sulle corrette misure di prevenzione e protezione, sorvegliandone e verificandone l'operato, con particolare attenzione nei confronti degli studenti e dei soggetti ad essi equiparati”.

Pertanto in tutti i laboratori che utilizzano laser le presenti norme di sicurezza vanno pubblicizzate, osservate e fatte osservare.

*Non sono soggette a queste norme le apparecchiature commerciali che contengono laser di classe 2, 3A e 3B che escludono ogni possibilità di esposizione del personale alla radiazione ottica per mezzo di **sistemi di sicurezza non scavalcabili**. La manutenzione di tali apparecchiature (es.: stampanti laser, lettori di compact disk) va però effettuata unicamente da personale esterno, che deve operare secondo le indicazioni del costruttore.*

Sono altresì esenti da problematiche relative alla sicurezza i laser di classe 1, in quanto non pericolosi.

ORGANIZZAZIONE DELLA SICUREZZA

I responsabili dei laboratori didattici e di ricerca in cui sono utilizzati apparecchi laser devono compilare le schede di censimento per ogni singola apparecchiatura ed inviarle al Servizio di Prevenzione e Protezione (SPP).

La classificazione del laser deve essere fatta dal costruttore. Le sorgenti prototipo realizzate in laboratorio devono essere classificate dal responsabile.

In caso di nuove apparecchiature laser tale scheda va compilata ed inviata al Servizio prima della loro messa in funzione.

La delimitazione delle aree ad accesso controllato e l'indicazione delle persone autorizzate all'accesso è demandata al responsabile del laboratorio, il quale deve impartire le norme di comportamento appropriate alla classe del laser utilizzato ed assicurarsi del loro rispetto. Per tali compiti può richiedere la collaborazione del Servizio di Prevenzione e Protezione.

L'informazione e formazione degli operatori deve prevedere adeguate istruzioni in merito a:

- 1) il rischio derivante dall'uso del laser;*
- 2) la familiarizzazione con le procedure di funzionamento dell'apparecchiatura;*
- 3) l'utilizzo appropriato delle procedure di controllo del pericolo;*
- 4) la necessità di un'adeguata protezione individuale;*
- 5) le procedure di intervento in casi di emergenza;*
- 6) gli effetti biologici della radiazione laser sull'occhio e sulla pelle;*
- 7) l'eventuale obbligo di sorveglianza medica.*

Gli operatori sono responsabili dell'utilizzo del sistema laser in osservanza delle disposizioni impartite dal responsabile del laboratorio.

In ogni laboratorio il responsabile nomina un "addetto alla sicurezza laser" il quale è definito come "persona che possiede le conoscenze necessarie per valutare e controllare i rischi causati dal laser ed ha la responsabilità di supervisione sul controllo di questi rischi".

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa nazionale di riferimento è la seguente:

- *DPR del 27 aprile 1955, n. 547;*
- *DPR del 19 marzo 1956, n. 303;*
- *D. Lgs. 19 settembre 1994, n. 626, modificato dal D. Lgs. 19 marzo 1996, n.242.*

Le principali norme tecniche di riferimento sono:

- *norme tecniche CEI-EN 60825-1 del 9/95 (terza edizione; classificazione CEI 76-2): Sicurezza degli apparecchi laser, classificazione delle apparecchiature, prescrizioni e guida per l'utilizzatore;*
- *guide per l'utilizzatore CEI 1284 G del 1989;*
- *guide per l'utilizzatore CEI 1381 G del 1990;*
- *norme tecniche CEI 76-1: apparecchi e installazioni laser, norme di sicurezza elettrica.*

LASER

1. INTRODUZIONE

LASER è il noto acronimo di **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**. È incluso tra le sorgenti di **radiazione non ionizzante**. La peculiarità consiste nel fatto che la radiazione elettromagnetica emessa è coerente, direzionale e può essere molto intensa. La radiazione, a seconda del tipo di laser, può essere emessa nell'ultravioletto (190-400 nm), nel visibile (400-700 nm) o nell'infrarosso (700 nm - 3000 nm). La norma CEI definisce come laser "ogni dispositivo che può essere realizzato per produrre o amplificare radiazione elettromagnetica coerente compresa nell'intervallo di lunghezza d'onda tra 180 nm e 1 mm essenzialmente con il fenomeno dell'emissione stimolata".

I rischi connessi all'uso di laser sono sia quelli relativi alle caratteristiche del fascio (potenza per unità di superficie, lunghezza d'onda,..) sia quelli derivanti dalle apparecchiature che permettono di creare e di mantenere l'emissione laser.

L'**interazione diretta** con il fascio laser interessa in modo particolare **occhi e pelle**. L'occhio può focalizzare il fascio laser, soprattutto alle lunghezze d'onda vicine al visibile, tanto da aumentare l'esposizione sulla retina di diversi ordini di grandezza. Alcuni tipi di laser producono una radiazione sufficientemente intensa da provocare ustioni alla pelle.

Occorre poi tener presente che un laser necessita di alimentazione elettrica, talvolta ad alta tensione e con potenza elevata, con tutti i rischi conseguenti.

Spesso il mezzo attivo è un gas o una miscela di gas, quindi più difficilmente controllabile rispetto alle barrette solide. Inoltre può contenere vapori tossici, quali gli alogeni.

A volte sono utilizzate sostanze coloranti (dye laser) e quindi sono inclusi solventi.



È pertanto indispensabile che il personale non esperto venga informato su tutte le tipologie di rischio, e formato adeguatamente per evitare comportamenti od operazioni pericolose per sé o per gli altri. Il personale esperto deve comunque fare attenzione su tutti gli aspetti comportanti rischio e seguire sempre le procedure di sicurezza. Ogni sottovalutazione del rischio, dovuta ad assuefazione, è estremamente pericolosa.

2. DEFINIZIONI E CLASSIFICAZIONE

Alla base del funzionamento dei laser sta il processo quantistico dell'emissione stimolata, che può essere realizzato in diversi modi, con diversi materiali e con varie lunghezze d'onda della radiazione emessa.

Esistono quindi vari tipi di laser, con varie lunghezze d'onda della radiazione emessa.

I laser possono essere classificati tenendo conto:

- a) del tipo di funzionamento (impulsato o in continua);
- b) della lunghezza d'onda della radiazione emessa;
- c) della potenza del fascio.

Secondo la norma **CEI EN 60825** i laser sono classificati in 5 classi di pericolosità crescente.

CLASSE 1 <i>Laser esente</i>
--

Il fascio laser è considerato **sicuro** in qualsiasi condizione d'uso. Questo perché la radiazione emessa è sempre inferiore alla massima esposizione permessa (**MPE**).

Utilizzando laser di classe 1 non sono necessari interventi di protezione aggiuntivi.

I limiti di esposizione per le lunghezze d'onda più comuni sono i seguenti (apertura 50 mm a 10 cm, tempo di esposizione di 100 s):

<u>λ (nm)</u>	<u>W (μW)</u>
193	0,24
248	0,24
308	3,14
356	79
488	39
514	39
532	39
632	221
780	321
820	385
980	803
1.064	1.107
1.300	8.854
1.554	10.000
2.100	10.000
2.900	10.000

Calcoli della MPE a livello della cornea per vari intervalli di lunghezze d'onda, tempi di esposizione, etc., si possono fare utilizzando la Tabella 1 della norma CEI EN 60825-1 (pg. 57).

CLASSE 2

Laser di bassa potenza, emissione nel visibile, funzionamento in corrente continua

Sono compresi in questa classe solo i laser ad emissione continua e nel visibile, (400-700 nm) con potenza ≤ 1 mW. Questo valore è da intendersi come indicativo; i valori esatti per le varie lunghezze d'onda si possono calcolare dalle tabelle allegate alle norme CEI. Si intende per emissione continua quella di durata >0.25 s (è il tempo di intervento dei riflessi fisiologici di difesa dell'occhio).

La radiazione emessa da questi laser può essere pericolosa, tuttavia la loro potenza è sufficientemente bassa da consentire, con un'azione di riflesso incondizionato, di evitare esposizioni inattese. Questo non esclude la possibilità di riportare danni nel caso di esposizione prolungata (>0.25 s, tempo entro il quale si ha il riflesso incondizionato).

Sono considerati di classe 2 anche gli apparecchi laser che non permettono l'accesso umano a radiazione laser che supera i limiti di emissione accessibile della classe 1 per ogni altra lunghezza d'onda.

CLASSE 3A

Laser di potenza medio-bassa

Appartiene a questa classe ogni apparecchio laser che permette l'accesso umano a radiazione che supera i limiti di emissione della Classe 1 e della Classe 2 secondo il caso, ma non supera i limiti della Classe 3A per ogni durata e lunghezza d'onda. Appartengono a questa classe i laser e sistemi laser operanti nel visibile con potenza ottica fino a **5 mW** per i quali può essere pericolosa l'osservazione del fascio laser con l'ausilio di ottiche di amplificazione quali binocoli e telescopi.

L'osservazione accidentale ad occhio nudo non risulta dannosa grazie al riflesso palpebrale. I limiti di emissione accessibile si possono calcolare utilizzando la Tabella 3 della norma CEI (pg. 61).

CLASSE 3B

Laser di potenza medio-alta

Appartengono a questa classe i laser e sistemi laser che non superano i limiti di emissione accessibile alla Classe 3B, ricavabili dalle Tabelle allegate alle norme CEI. In generale appartengono a questa classe i laser con potenza ottica fino a 500 mW, per i quali è sempre pericolosa l'osservazione diretta del fascio laser. La visione di riflessione diffusa non è normalmente pericolosa.

I limiti di emissione accessibile si possono calcolare utilizzando la Tabella 4 della norma CEI (pg. 63).

CLASSE 4

Laser di alta potenza

A questa classe appartengono tutti i laser e sistemi laser che superano i limiti della Classe 3B, che hanno quindi in generale una potenza ottica superiore a 500 mW. Sono i laser di potenza tale da causare seri danni ad occhi e pelle anche per esposizione al fascio diffuso. Possono anche costituire un potenziale rischio d'incendio. Inoltre, in molti casi le tensioni e le correnti di alimentazione o di scarica sono molto elevate.

3. REQUISITI DI SICUREZZA

Molte volte i laser sono contenuti entro strutture chiuse. In questo caso la loro pericolosità viene calcolata in base della radiazione effettivamente visibile all'esterno di questa struttura, che deve essere protetta contro gli **accessi accidentali** da parte di persone non autorizzate durante il funzionamento dell'apparecchiatura.

Tutti i tipi di laser devono essere dotati di un alloggio di protezione per schermare i componenti elettrici.




Sono richieste misure di sicurezza rapportate alla classe dei laser.

CLASSE 2

Devono essere prese precauzioni per evitare lo stazionamento nella direzione del fascio diretto o del fascio riflesso da una superficie. Un'esposizione temporanea (<0.25 s), che potrebbe avvenire durante un'ispezione, non è da considerarsi pericolosa.

Per esposizioni dirette e continuative è obbligatorio l'uso di appositi filtri di protezione per gli occhi.

Per i laser di classe 2 occorre rispettare le seguenti richieste:

-  il fascio laser non deve mai essere diretto verso gli occhi di una persona;
-  sul laser deve essere posto un cartello di pericolo, in bene evidenza, con la scritta
**“ATTENZIONE:
NON STAZIONARE IN PROSSIMITA' DEL FASCIO LASER”**;
-  tutti gli ingressi e gli schermi di osservazione inclusi come parte del laser, nonché l'ottica collegata (lenti, microscopi, etc.) utilizzata come punto di osservazione, dovranno incorporare connessioni, filtri, attenuatori od altri dispositivi atti a mantenere l'intensità della radiazione entro i livelli di sicurezza durante tutte le situazioni di utilizzo e di manutenzione.

CLASSE 3A






Devono essere prese tutte le precauzioni previste per la classe 2.

Bisogna evitare di fissare il fascio ad occhio nudo. Per esposizioni dirette e continuative è obbligatorio l'uso di appositi filtri di protezione per gli occhi.

CLASSE 3B

Questi laser sono potenzialmente pericolosi se il fascio diretto o il fascio riflesso da una superficie riflettente (specchi, orologi, anelli, penne, etc.) è intercettato da un occhio non protetto.

In aggiunta a quelle già citate per la classe 2, si devono seguire le seguenti precauzioni:



-  il fascio deve essere **bloccato alla fine del suo percorso utile** da un materiale di colore tale da permetterne il posizionamento con una riflessione minima;
-  i laser devono essere utilizzati in **luoghi ad accesso controllato**;
-  sono necessarie **protezioni per gli occhi** se è possibile che l'occhio possa intercettare accidentalmente il fascio;
-  è richiesta la **sorveglianza medica** per prevenire od evidenziare eventuali danni agli occhi;
-  tutte le parti dell'alloggiamento che durante le operazioni di manutenzione vengono rimosse, consentendo così l'accesso alla radiazione, devono essere fornite di **connessioni di sicurezza**, per impedire l'accesso all'interno durante il funzionamento.






CLASSE 4

Per questa classe di laser bisogna prevenire **danni all'occhio** che possono derivare da qualsiasi riflessione del fascio, **danni alla pelle** e possibili **rischi d'incendio**.

Le precauzioni da adottare devono includere il controllo dell'intero percorso del fascio.

Le misure di sicurezza da adottare, in aggiunta a quelle precedentemente enunciate per le altre classi, sono:

-  il laser deve essere utilizzato in un'area ad **accesso controllato**; devono essere previste chiusure di sicurezza per evitare l'ingresso di persone non autorizzate nell'area di funzionamento del laser; l'accesso deve essere limitato a persone che indossino **dispositivi di protezione individuali** (DPI) per la protezione degli occhi quando il laser è in funzione;
-  per laser impulsati tali connessioni devono impedire la focalizzazione del fascio, scaricando l'energia immagazzinata; nei laser in continua i sistemi di sicurezza dovranno essere tali da spegnere il laser o da interrompere il fascio;

- 
 i laser di questa classe devono essere forniti di una **chiave di sicurezza** o di un dispositivo di accensione e spegnimento; la chiave deve essere custodita da persona autorizzata;
- 
 i laser devono essere forniti di un sistema di bloccaggio o attenuazione del fascio;
- 
 durante l'attivazione e la procedura di avviamento devono essere utilizzati **sistemi di allarme, luci di segnalazione e comando di conto alla rovescia**; questo sistema di segnalazione va attivato prima che si abbia l'emissione laser, in modo da consentire ai presenti di prendere le misure appropriate per evitare l'esposizione al fascio;
- 
 devono essere disponibili **procedure scritte** per l'allineamento del fascio, il suo utilizzo e la manutenzione;
- 
 il personale addetto deve essere sottoposto a **sorveglianza medica** per prevenire o evidenziare eventuali danni agli occhi.

4. ALTRE MISURE DI SICUREZZA

Ogni qualvolta si effettuano operazioni al laser devono essere indossati occhiali di protezione a norma. E' pertanto opportuno lasciarne un paio nella zona di funzionamento.

E' importante ricordare che laser di lunghezze d'onda diverse richiedono diversi tipi di occhiali di protezione.

Su ogni tipo di occhiali deve essere indicato l'intervallo di lunghezze d'onda per il quale è adatto. Prima dell'uso bisogna verificare che gli occhiali di protezione siano adatti al laser utilizzato.

Le lenti di protezione, se colpite da un fascio laser che supera le specifiche per le quali sono state scelte, possono rompersi, fondere o bucarsi, non garantendo più un'ideale protezione.

Gli appositi cartelli di segnalazione devono essere sempre posti bene in evidenza su ogni sistema laser. Apposite segnalazioni devono essere apposte anche all'esterno dell'area operativa. La segnalazione di "ATTENZIONE" deve essere utilizzata in tutti i cartelli associati ai laser di classe 2 e la segnalazione di "PERICOLO" deve essere utilizzata in tutti i cartelli associati ai laser di classe 3 e classe 4.

5. EFFETTI DELLA RADIAZIONE LASER SUI TESSUTI BIOLOGICI

Il meccanismo con il quale la radiazione laser provoca un danno è simile in tutti i sistemi biologici e può comportare sviluppo di calore, processi fotochimici e fenomeni termoacustici transitori. Il grado di responsabilità imputabile a ciascuno di questi meccanismi in caso di danno può essere riferito ad alcuni parametri fisici della sorgente di radiazione, i più importanti dei quali sono la lunghezza d'onda, la durata dell'impulso, la dimensione dell'immagine, l'irradiazione e l'esposizione energetica.

In generale, nelle esposizioni che superano la soglia di danno, il fattore predominante è la durata dell'esposizione. In ordine crescente di durata dell'impulso, gli effetti predominanti sono:

- **fenomeni acustici transitori per esposizioni nel campo del nanosecondo e subnanosecondo;**
- **effetti termici nel campo da 100 ms a diversi secondi;**
- **effetti fotochimici al di sopra di 100 s.**

L'assorbimento di energia da parte dei tessuti biologici si produce a livello atomico e molecolare, ed è la lunghezza d'onda che determina il tessuto che un particolare laser può danneggiare. Assorbendo energia, le molecole costituenti il sistema aumentano le vibrazioni, il che si traduce in un aumento di calore e, quindi, di temperatura. La maggior parte dei danni causati dai laser sono dovuti al riscaldamento del tessuto o dei tessuti assorbenti. Questo danneggiamento termico è generalmente limitato ad una zona ristretta che si estende ai lati della regione che assorbe direttamente energia dal laser ed è centrata sul fascio di radiazione. Le cellule all'interno di questa zona mostrano le caratteristiche della bruciatura e il tessuto risulta danneggiato principalmente per la denaturazione delle proteine. Se un laser ad emissione continua o a impulsi lunghi è diretto su un tessuto, a causa della conduzione termica la zona di tessuto interessata all'aumento di temperatura si estende progressivamente. Un numero crescente di cellule è portato ad una temperatura che supera la loro tolleranza termica. Anche la dimensione dell'immagine del fascio è di grande importanza, poiché il grado dell'estensione periferica dovuta alla conduzione è funzione della dimensione e della temperatura della zona iniziale di riscaldamento del tessuto. Questo tipo di lesione termica si riscontra comunemente su tessuti esposti a laser ad emissione continua o a impulsi lunghi.

Effetti dannosi possono essere anche il risultato diretto dell'assorbimento specifico ad una data lunghezza d'onda. La specie chimica che assorbe la radiazione passa in uno stato eccitato e subisce una reazione chimica particolare, dovuta al suo stato eccitato. Questo fenomeno può essere responsabile di danni anche a bassi livelli di esposizione.

Laser ad impulsi corti con grande potenza di picco (per esempio laser Q-switched o a mode-locking) possono provocare danni ai tessuti attraverso una combinazione di diversi meccanismi. L'energia è fornita al bersaglio biologico in un tempo molto breve. I tessuti del bersaglio subiscono un aumento di temperatura tanto rapido che i liquidi delle loro cellule si trasformano in gas. Nella maggior parte dei casi questi cambiamenti di fase sono così rapidi che hanno carattere esplosivo, e le cellule si rompono. Fenomeni transitori di pressione possono essere anche il risultato di espansione termica, ed entrambi possono provocare anche una recisione di tessuti relativamente lontani dagli strati assorbenti a causa di uno spostamento fisico di materia.

Alcuni tessuti biologici quali la pelle, il cristallino e, in particolare, la retina, possono manifestare cambiamenti irreversibili provocati da un'esposizione prolungata a livelli moderati di irradiazione. I cambiamenti sono il risultato di reazioni fotochimiche che si producono a seguito dell'attivazione di molecole indotta dall'assorbimento di fotoni. Questi cambiamenti di origine fotochimica possono causare danni ad un sistema se la durata dell'esposizione è eccessiva o se brevi esposizioni sono ripetute per un periodo lungo.

Schema degli effetti patologici associati a un'esposizione eccessiva alla radiazione laser

Regione spettrale	Occhio	Pelle
Ultravioletto C (180-280 nm)	Fotocheratite	Eritema Accelerazione del processo di invecchiamento della pelle Aumento della pigmentazione
Ultravioletto B (280-315 nm)		
Ultravioletto A (315-400 nm)	Cataratta fotochimica Lesione fotochimica e termica della retina	Annerimento del pigmento Reazioni fotosensibili Bruciatura della pelle
Visibile (400-780 nm)		
Infrarosso A (780-1400 nm)	Cataratta Bruciatura della retina	Come sopra
Infrarosso B (1.4-3.0 μm)	Infiammazione acquosa Cataratta Bruciatura della cornea	Come sopra
Infrarosso C (3.0 μm – 1 mm)	Bruciatore della sola cornea	Come sopra

5.1 Pericoli per l'occhio

I laser che emettono nell'ultravioletto e nel lontano infrarosso rappresentano un pericolo per la cornea, mentre quelli che mettono nel visibile e nel vicino infrarosso sono pericolosi per la retina.

Infatti l'occhio focalizza sulla retina la radiazione a queste lunghezza d'onda. L'aumento dell'irradiazione, quando si passa dalla cornea alla retina, è dato approssimativamente dal rapporto tra la superficie della pupilla e quella dell'immagine sulla retina. Questo aumento si verifica perché la luce che entra nella pupilla viene focalizzata su un "punto" della retina. L'apertura della pupilla è variabile, ma il suo diametro può arrivare a 7 mm quando è dilatata al massimo. L'immagine retinica corrispondente può avere un diametro tra i 10 ed i 20 μm. L'aumento dell'irradiazione tra la cornea e la retina è compreso tra 2×10^5 e 5×10^5 . Se si suppone un aumento di 5×10^5 , un fascio di 50 W/m^2 sulla cornea diventa di $2.5 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ sulla retina. Se un fascio intenso di luce laser è focalizzato sulla retina, solo una piccola parte (~5%) sarà assorbita dai pigmenti visivi di coni e bastoncelli. La maggior parte della luce sarà assorbita dal pigmento detto melanina che si trova nell'epitelio pigmentato. L'energia assorbita provocherà un riscaldamento locale e brucerà sia l'epitelio pigmentato sia i coni e bastoncelli adiacenti. Questa bruciatura o lesione può provocare la cecità.

In funzione dell'intensità dell'esposizione la perdita della vista può essere o non essere permanente. In generale, la persona esposta noterà soggettivamente una diminuzione della vista solo quando è stata coinvolta la parte centrale o foveale della macula. La fovea, infossamento al centro della macula, è la parte più importante della retina perché è responsabile della visione più nitida. È questa la porzione della retina che è utilizzata per osservare nitidamente un oggetto. Se questa regione è danneggiata, la diminuzione della vista

puo` comparire inizialmente sotto forma di una macchia bianca sfocata che oscura la zona centrale della visione. In circa due settimane essa puo` trasformarsi in una macchia nera. Alla fine puo` essere che la persona colpita cessa di percepire questa macchia. Tuttavia essa puo` essere percepita chiaramente guardando, ad esempio, un foglio bianco.

Lesioni periferiche leggere passano di solito inosservate.

Nell'intervallo tra 400 e 1400 nm il pericolo piu` grande e` il danno retinico. La cornea, l'umor acqueo, il cristallino e l'umor vitreo sono trasparenti a queste lunghezze d'onda. Per lunghezze d'onda inferiori a 400 nm o superiori a 1400 nm il pericolo maggiore e` rappresentato dal danno al cristallino ed alla cornea.

5.2 Pericoli per la pelle

In generale, la pelle puo` sopportare un'esposizione molto maggiore di quanto non sia in grado di fare l'occhio. L'effetto biologico dell'irradiazione della pelle con laser funzionanti nel visibile e vicino infrarosso (tra 440 e 1060 nm) puo` variare da un lieve eritema a grosse vesciche. Una carbonizzazione color cenere e` prevalente in tessuti ad alto assorbimento superficiale in seguito ad esposizione ad impulsi molto corti con grande potenza di picco. Questo fenomeno puo` essere seguito da un eritema.

La pigmentazione, l'ulcerazione, la comparsa di cicatrici sulla pelle ed il danneggiamento di tessuti od organi sottostanti possono risultare da irradiazioni molto elevati. Si e` constatato che non sono frequenti effetti latenti o cumulativi dovuti all'esposizione a radiazione laser. Tuttavia alcune ricerche hanno mostrato che, in condizioni particolari, esposizioni locali ripetute possono sensibilizzare piccole zone del tessuto umano, provocando l'aggravarsi delle reazioni nei tessuti per successive esposizioni anche a livelli molto bassi.

6. PERICOLI ASSOCIATI

In base al tipo di laser utilizzato i pericoli associati all'utilizzo del fascio possono includere:

A. Inquinamento atmosferico

- 1) Diffusione nell'aria di materiale del bersaglio vaporizzato, proveniente da operazioni di taglio, perforazione o saldatura. I prodotti della lavorazione e/o delle ricerche potrebbero essere nocivi (amianto, monossido o biossido di carbonio, ozono, piombo, mercurio, altri metalli, sostanze organiche volatili, vapori, etc.).
- 2) Gas provenienti da laser a flusso di gas o prodotti di reazione della miscela laser, quali fluoro, cloro, bromo, etc.
- 3) Gas e vapori provenienti da raffreddamento criogenico.
- 4) Materiale ablato da bersagli biologici con laser ad elevata potenza in applicazioni mediche o biologiche.

B. Radiazione ultravioletta

La radiazione UV è generalmente presente durante l'utilizzo di laser ad eccimero e di laser a Nd:YAG triplicati in frequenza. Bisogna ricordare che la radiazione UV costituisce un pericolo anche quando la sua intensità non è tale da produrre effetti immediatamente avvertibili.

C. Rischio elettrico

La maggior parte dei laser lavora a tensioni tali da poter provocare shock elettrico.

Durante le operazioni di manutenzione i punti eventualmente a tensione devono essere opportunamente protetti.

D. Raffreddamento criogenico

I liquidi criogenici (azoto liquido, elio liquido, etc.) possono causare ustioni.

E. Altri pericoli

In qualche caso, durante l'utilizzo di laser ad elevata potenza può esistere il rischio di esplosione (ad es. sistemi a pompaggio ottico).

Esiste il rischio di particelle volanti nell'area del bersaglio durante le operazioni di taglio, perforazione e saldatura.

In alcuni casi può esistere il rischio di reazioni chimiche esplosive tra i reagenti del laser o altri gas presenti in laboratorio.

F. Raggi X

Possono esserci rischi da raggi x originati da tubi di alimentazione ad alta tensione.

G. Gioielli ed orologi

L'uso di gioielli ed orologi possono causare esposizione al fascio riflesso dalla loro superficie.

H. Prodotti chimici

Molti dei prodotti chimici usati nei laser a colorante (dye) sono mutageni e cancerogeni e, in ogni caso, tossici. Questo non va dimenticato durante la preparazione delle soluzioni attive.

7. NORME OPERATIVE DI SICUREZZA

Di seguito vengono riportate le norme operative, specifiche per l'Università di Lecce sulla sicurezza laser, emanate su indicazione del Servizio di Prevenzione e Protezione ai sensi dell'art. 4, comma 5, lettera f del D. Lgs. 626/94 e delle norme CEI-EN 60825-1 e 1381 E.

NORME OPERATIVE PER L'UTILIZZO DI LASER

- 1) L'utilizzo di laser di classe 2, 3 e 4, classificati dal produttore, e di quelli realizzati in laboratorio, è regolamentato dalle presenti disposizioni operative.**
- 2) L'uso di laser di classe 1 e di quelli inseriti in dispositivi commerciali (stampanti laser, lettori di compact disc, etc.) non è regolamentato dalle presenti norme. Per il loro utilizzo gli operatori devono comunque osservare le indicazioni di sicurezza fornite dal costruttore e non può essere effettuato alcun intervento che consenta l'esposizione alla luce laser.**
- 3) Per i laser di classe 2 è sufficiente attenersi alle norme di sicurezza di cui al paragrafo 3.**
- 4) Il responsabile del laboratorio risponde dell'applicazione del presente regolamento. Egli è tenuto a illustrare le presenti norme al personale interessato, richiedendo eventualmente l'intervento del Servizio di Prevenzione e Protezione, a richiederne l'osservanza, a verificarne l'applicazione e ad intervenire in caso di inadempienza e di situazione di pericolo.**
- 5) I laser di classe 3 e 4 possono essere messi in funzione solo dopo che il Servizio di Prevenzione e Protezione, su richiesta del responsabile del laboratorio, ha verificato la messa in opera delle norme di sicurezza previste.**
- 6) L'utilizzo dei laser di classe 3 e 4 e l'accesso alle zone controllate è concesso solo al personale autorizzato dal responsabile del laboratorio, adeguatamente informato e formato e sottoposto a visita medica preventiva, ove richiesto.**
- 7) Il responsabile predispone, d'intesa con il Servizio di Prevenzione e Protezione, le misure di sicurezza e, in particolare:**
 - verifica preventivamente i pericoli, riduce al minimo indispensabile l'uso dei laser ed il numero degli operatori esposti;**
 - predispone le procedure specifiche ed i dispositivi di protezione individuali, anche sulla base delle indicazioni fornite dal Servizio di Prevenzione e Protezione;**
 - espone i cartelli e le segnalazioni previsti;**
 - delimita e segnala le aree controllate e ne regola l'accesso;**
 - dispone idonee misure per arrestare il fascio al termine della zona di lavoro, ne delimita il tragitto con idonee schermature ed evita che il fascio interessi porte, finestre ed aree di passaggio;**
 - fa in modo che il tragitto del fascio non sia ad altezza degli occhi degli operatori e provvede che essi siano forniti dei DPI necessari;**
 - evita riflessioni speculari, valuta e previene il verificarsi di quelle accidentali;**

- evita la diffusione libera di fasci di laser di classe 4 e la loro interazione con sostanze infiammabili;
- verifica che i collegamenti elettrici e la messa a terra delle parti metalliche potenzialmente a tensione siano effettuati correttamente;
- verifica l'eventuale presenza di rischi collaterali (gas in pressione, liquidi criogenici, etc.), predisporre le misure per un'adeguata protezione degli stessi ed evita la produzione di gas o vapori nocivi, fumi o particolati che non siano adeguatamente aspirati;
- nomina l'addetto alla sicurezza laser.

8) L'operatore osserva il regolamento e tutte le specifiche disposizioni impartite dal responsabile del laboratorio e le eventuali direttive del Servizio di Prevenzione e Protezione, ed in particolare:

- indossa gli occhiali o le maschere specifici per la sorgente in uso e li conserva con cura;
- non osserva il fascio laser attraverso fibre ottiche o sistemi di raccolta della radiazione (microscopi, telescopi, etc.) senza espressa autorizzazione del responsabile del laboratorio, né tenta mai di osservare direttamente il fascio, anche se indossa occhiali protettivi;
- evita con cura di provocare riflessioni accidentali (non porta orologi, gioielli, etc.);
- verifica che tutte le condizioni di sicurezza previste siano state correttamente predisposte prima di inviare il fascio in un'area che non è sotto il suo diretto controllo visivo;
- non rimuove né modifica, senza l'autorizzazione del responsabile del laboratorio, i dispositivi di protezione e di interblocco e non compie manovre che non siano di sua competenza o che possano compromettere la sicurezza;
- avvisa il responsabile del laboratorio se si accorge che dispositivi di prevenzione e protezione non funzionano o sono danneggiati, nonché di eventuali pericoli di cui venga a conoscenza; nel contempo deve sospendere l'uso del laser ed eliminare eventuali pericoli immediati;
- non effettua interventi di manutenzione, ivi compreso l'allineamento del fascio, che comportino l'apertura dell'involucro del laser senza specifica autorizzazione del responsabile del laboratorio; detti interventi sono sempre e comunque vietati agli studenti non laureati;
- in caso di incidente, provvede a contenerne le conseguenze ed avvisa immediatamente il responsabile del laboratorio ed il direttore della struttura, i quali attivano tempestivamente il responsabile del Servizio di Prevenzione e Protezione e, ove necessario, il medico competente.

9) Quando non è in uso il laser deve essere disabilitato, in modo da prevenire un utilizzo non autorizzato.

10) Le pulizie dei locali che ospitano laser devono essere fatte solo ad apparecchiature spente.

11) Quando il laser è acceso non deve essere mai lasciato senza il controllo dell'operatore.

8. PROCEDURE DI CONTROLLO PER I SISTEMI LASER

Di seguito sono indicate le principali procedure di verifica e controllo sulla corretta predisposizione delle misure di sicurezza.

La loro predisposizione e verifica compete al responsabile del laboratorio.

- 1) **Valutazione preventiva da parte del Servizio di Prevenzione e protezione.** Secondo la norma CEI 1284 G (Sez. A) per installazioni in cui sono messi in opera laser di classe superiore a 3A, l'utilizzatore **deve** servirsi della consulenza specialistica di un tecnico laser, con competenze specifiche relative ai problemi di sicurezza, per la verifica ed il rispetto della normativa vigente e per l'adozione delle necessarie misure di prevenzione. Nell'Università di Lecce tali funzioni di consulenza sono svolte attualmente dal Servizio di Prevenzione e Protezione, che le esercita attraverso il Prof. Armando Luches ed il dott. Maurizio Martino, esperti del settore. Pertanto per l'utilizzo di laser di classe 3B e 4 è necessaria la verifica preventiva da parte del Servizio di Prevenzione e Protezione. Il responsabile del laboratorio ha l'obbligo di richiedere l'intervento del Servizio, che valuta i rischi connessi all'uso dell'apparecchiatura, accerta la corretta identificazione della zona di rischio, verifica l'adeguatezza delle procedure da applicare in armonia con la normativa CEI in materia di sicurezza laser, delle misure di prevenzione e protezione e dei dispositivi di prevenzione individuale ai sensi dell'art. 4 del D. Lgs. 626/94 ed effettua le visite semestrali di controllo. Per ottemperare alla già citata norma CEI (Sez. D) è anche necessario che il responsabile del laboratorio designi un addetto alla sicurezza laser, che deve curare l'attuazione delle disposizioni impartite dal SPP, istituire ed aggiornare un registro contenente l'elenco del personale autorizzato all'azionamento del laser e del personale autorizzato a rimanere nel laboratorio durante l'uso del laser.
- 2) **Area controllata.** Durante il funzionamento e la manutenzione dei laser di classe 3B e 4 può essere creata un'area controllata temporanea, il cui accesso è limitato alle sole persone autorizzate. Essa deve essere indicata da appositi cartelli di avvertimento e deve essere tale da includere la possibilità di errato puntamento accidentale del fascio laser.
- 3) **Attenuatore o terminatore del fascio.** Per evitare che il personale presente sia esposto involontariamente a radiazione di laser di classe 3B e 4 ovvero che si creino riflessi accidentali, si deve terminare il fascio su di un attenuatore o terminatore alla fine della zona utile di lavoro.
- 4) **Classificazione.** Di tutti i sistemi laser deve essere nota la classe. La classificazione è certificata dal costruttore ovvero dal responsabile del laboratorio se si tratta di un prototipo. Qualora un laser venga modificato, il responsabile del laboratorio ha l'obbligo di riclassificarlo. Al fascicolo delle norme CEI EN 60825-1 è allegato un dischetto con programma che, inserendo i parametri della sorgente Laser, ne determina la classe.

- 5) **Comando a chiave.** I laser di classe 3B e 4 devono essere forniti di comando a chiave. Le chiavi devono essere rimosse quando il laser non è in funzione, al fine di evitare un uso non autorizzato.
- 6) **Connettore di blocco a distanza.** I laser di classe 4 devono essere forniti di interblocco di sicurezza facilmente accessibile dalla posizione dell'operatore.
- 7) **Etichettatura.** Ogni laser deve essere provvisto di opportune targhette che riportino la classe e la segnalazione delle aperture da cui emerge la radiazione.
- 8) **Idoneità alla mansione.** Gli operatori che utilizzano abitualmente laser delle classi 3B e 4 devono risultare idonei a tale mansione a giudizio del medico competente.
- 9) **Indicatori di emissione.** Durante l'attivazione ed il funzionamento di laser di classe 3B e 4 devono essere utilizzati segnali di avvertimento luminoso, posti esternamente al laboratorio, con dispositivo automatico di accensione.
- 10) **Interblocchi di sicurezza.** Per evitare l'accesso alla radiazione di laser di classe 3B e 4 sono necessari interblocchi di sicurezza che spengano l'emissione in caso di apertura dell'involucro di protezione del laser. Essi possono essere disattivati solo per particolari esigenze di manutenzione, con il consenso del responsabile del laboratorio, il quale è tenuto a verificare la loro corretta riattivazione al termine dei lavori di manutenzione.
- 11) **Norme operative specifiche.** Per i laser di classe 3B e 4 il responsabile del laboratorio predisponde le norme operative generali di sicurezza e le precauzioni specifiche e le espone presso l'installazione laser; ad esse gli operatori si devono attenere.
- 12) **Ottiche di osservazione.** Tutte le ottiche di raccolta della radiazione (lenti, telescopi, microscopi, etc.) finalizzati all'osservazione con laser o sistemi laser devono incorporare opportuni sistemi di sicurezza (interblocchi, filtri, attenuatori) ad inserimento automatico, per mantenere la radiazione laser entro il sistema di raccolta a livello di sicurezza.
- 13) **Posizionamento dei comandi.** I comandi devono essere posizionati in modo che, quando vengono effettuate le regolazioni, non ci sia rischio di esposizione superiore ai livelli massimi di emissione permessi (LEA) per le classi 1 e 2.
- 14) **Precauzioni di base sul fascio:**
- Non osservare mai direttamente il fascio di laser di classe 2, 3 e 4;
 - Predisporre particolari cautele per i laser che emettono radiazione non visibile;
 - Non osservare tramite strumenti ottici i fasci di laser di classe 3 e 4;
 - Evitare l'esposizione diretta dell'occhio a radiazione di laser di classe 3B e 4;
 - Evitare l'esposizione dell'occhio e della pelle a radiazione diretta o diffusa di laser di classe 4 ed usare le dovute cautele per evitare incendi.

15) Precauzioni per i visitatori. L'accesso di visitatori a laboratori con laser di classe 3B e 4 è subordinato all'autorizzazione ed al controllo del responsabile; essi devono essere accompagnati da un operatore qualificato, che è responsabile della loro sicurezza.

16) Precauzioni per la manutenzione. Le operazioni di manutenzione, riparazione e modifica possono essere effettuate solo da operatori qualificati per lo specifico scopo ed a ciò autorizzati dal responsabile del laboratorio. Tali operazioni sono comunque proibite agli studenti. Si intende per manutenzione anche l'allineamento del fascio che comporti l'apertura dell'involucro del laser e l'accoppiamento di fibre ottiche per la trasmissione di dati.

17) Protezioni oculari. Gli occhiali sono un dispositivo di protezione individuale (**DPI**) e come tale deve rispondere alla norma CE.

Essi devono essere scelti tenendo conto delle seguenti specifiche:

- a) lunghezza d'onda di lavoro del laser;
- b) esposizione energetica o irradiazione;
- c) esposizione massima permessa;
- d) densità ottica del protettore oculare alla lunghezza d'onda di emissione del laser;
- e) valori dell'esposizione energetica o irradiazione per i quali vengono danneggiati;
- f) eventuale necessità di utilizzare lenti correttive;
- g) confortevolezza e ventilazione;
- h) solidità dei materiali (resistenza agli urti).

L'utilizzatore deve usarli sempre e con cura. Egli deve evitare sempre e comunque l'esposizione dell'occhio al fascio diretto o riflesso specularmente, anche quando indossa gli occhiali, in quanto il loro grado di protezione potrebbe essere inadeguato.

18) Riflessione speculare. Devono essere evitate riflessioni speculari (equivalenti ad esposizione diretta al fascio) per i laser di classe 3 e 4. Bisogna porre attenzione per evitare riflessioni accidentali, ed in particolare occorre fare attenzione ad usare solo strumenti che non abbiano superfici speculari e a non indossare orologi, bracciali o anelli che possano causare riflessioni. Per i laser di classe 4 vanno evitate anche le riflessioni diffuse.

19) Rischi collaterali. Il responsabile del laboratorio deve predisporre tutte le misure di tutela nei confronti degli eventuali rischi collaterali connessi all'uso di laser, che sono rappresentati da:

- a) Emissione di gas come cloro, fluoro, ecc. usati in laser a gas o vapori provenienti da reazioni indotte dal laser;
- b) Emissione di gas, vapori o liquidi criogenici;
- c) Radiazione ultravioletta da flash lamp o da tubi di scarica di laser in continua, soprattutto quando si usano tubi, specchi e finestre che trasmettono nell'UV (quarzo, silice fusa); i tubi elettronici dei circuiti laser con tensione anodica maggiore di 5 kV possono emettere raggi x e per essi si devono adottare misure di protezione da concordare con l'esperto qualificato della struttura;
- d) Radiazione visibile o infrarossa da flash lamp, da sorgenti di pompaggio e da radiazione diffusa dal bersaglio; può essere di intensità tale da creare rischio;

- e) Pericoli elettrici: molti laser fanno uso di alte tensioni (>1 kV). I laser impulsati danno luogo a rischio per l'energia immagazzinata nei condensatori. Si raccomanda di collegare a massa tutte le parti metalliche potenzialmente a tensione, compresi i banchi di lavoro;
- f) Incendio e combustione per interazione del fascio con sostanze infiammabili (tale rischio va considerato per emissioni laser con potenza media >0.5 W e fluensa >10 J/cm²); emissione di particelle incandescenti nelle lavorazioni meccaniche con laser;
- g) altri rischi: esplosioni nel banco di condensatori o nei sistemi di pompaggio ottico di laser di potenza; reazioni esplosive di reagenti nei laser chimici o in altri gas presenti nel laboratorio.

20) **Segnali di avvertimento.** Agli ingressi di zone o di ambienti controllati, in cui sono contenuti laser di classe 3B o 4, devono essere apposti cartelli di avvertimento e segnali di accesso regolamentato indicanti anche la classe del laser e l'eventuale presenza di luce non visibile.

21) **Sorgenti prototipo.** Sono le sorgenti in studio e non ancora caratterizzate, quindi a se stanti e non ancora utilizzate per applicazioni specifiche. Esse possono essere messe in funzione senza gli interblocchi di sicurezza, le segnalazioni acustiche ed ottiche automatizzate e le etichettature. Gli interventi di modifica e la manutenzione di queste sorgenti è concesso solo a personale altamente qualificato ed autorizzato dal responsabile del laboratorio. Un laboratorio prototipi deve essere adeguatamente segnalato e l'ingresso va rigidamente regolamentato. Esso deve essere denunciato al Servizio di Prevenzione Protezione, per le eventuali prescrizioni di uso e di accesso e per le visite di controllo periodico.

22) **Traiettoria del fascio.** Il fascio non deve interessare porte, finestre, corridoi o postazioni di lavoro. Il fascio deve essere confinato da idonee barriere. La sua altezza deve essere tale da non interessare quella degli occhi dell'operatore nella sua postazione di lavoro.

23) **Trasmissione dati.** La manutenzione dei sistemi a fibre ottiche utilizzati per la trasmissione di dati è permessa unicamente a personale adeguatamente formato ed a ciò autorizzato dal direttore della struttura con specifica lettera di servizio. Nei locali in cui convergono fibre con radiazione superiore alla classe 3A l'accesso deve essere regolamentato. Il personale deve evitare di guardare direttamente i terminali di fibra attivi o i connettori aperti.

TABELLE RIEPILOGATIVE

PRECAUZIONI DI BASE	1	2	3A	3B	4
<i>Nessuna precauzione aggiuntiva</i>	X				
<i>Non osservare direttamente il fascio laser</i>		X	X	X	X
<i>Non utilizzare ottiche di osservazione (lenti, microscopi, telescopi, etc.)</i>			X	X	X
<i>Evitare l'esposizione diretta dell'occhio</i>				X	X
<i>Evitare l'esposizione diretta dell'occhio e della pelle a radiazione diretta e diffusa; fare attenzione a possibili fonti d'incendio</i>					X
<i>usare specifiche precauzioni per luce laser non visibile (<400nm, >700 nm)</i>		X	X	X	X

PROCEDURE DI CONTROLLO PER I SISTEMI LASER	1	2	3A	3B	4
<i>numero di laser presenti in laboratorio</i>	X	X	X	X	X
<i>Classificazione</i>	X	X	X	X	X
<i>approvazione del SPP per poter operare</i>			X*	X	X
<i>precauzioni per la manutenzione</i>	X	X	X	X	X
<i>precauzioni di base sul fascio</i>		X	X	X	X
<i>formazione ed informazione degli operatori</i>			X	X	X
<i>idoneità alla mansione (visita medica periodica)</i>			X*	X	X
<i>zona di utilizzo visibile all'operatore</i>				X	X
<i>uso della minima potenza necessaria</i>	X	X	X	X	X
<i>precauzioni per radiazione non visibile (UV, IR)</i>			X	X	X
<i>cartelli di avvertimento</i>				X	X
<i>area controllata</i>				X	X
<i>precauzioni per i visitatori</i>				X	X
<i>protezioni oculari</i>				X	X
<i>indicazione di emissione</i>				(X)	X
<i>norme operative di sicurezza</i>				(X)	X
<i>interblocchi di sicurezza</i>				X	X
<i>connettore di blocco a distanza</i>				(X)	X
<i>comando a chiave</i>				(X)	X
<i>attenuatore o terminatore del fascio</i>				(X)	X
<i>traiettoria del fascio: contenimento</i>				X	X
<i>traiettoria del fascio: altezza controllata</i>				X	X
<i>evitare riflessione speculare</i>				X	X
<i>Etichettatura</i>	X	X	X	X	X
<i>ottiche di osservazione</i>			X	X	X
<i>posizionamento dei comandi</i>			X	X	X
<i>rischi collaterali</i>	X	X	X	X	X
<i>rischi collaterali: alta tensione</i>	X	X	X	X	X
<i>rischi collaterali: incendio</i>					X

Note alla Tabella: il segno **X** indica l'obbligo di predisporre la procedura; il segno **(X)** per la classe 3B indica l'obbligo di seguire la procedura tranne nel caso in cui l'intensità del fascio accessibile non sia superiore a 5 volte l'intensità della classe 2 nell'intervallo di lunghezza d'onda tra 400 e 700 nm; in tal caso si applica la prescrizione per la classe 3A. Il segno **X*** indica che la procedura è obbligatoria per laser della classe 3A osservati con ottiche.

APPENDICE A

CARTELLONISTICA E SEGNALETICA

Su ogni apparecchio laser e sulle porte di accesso ai locali dove si utilizzano laser devono essere fissate una targhetta di avvertimento “**PERICOLO LASER**”, con l’apposita figura, ed una targhetta informativa, diversa a seconda della classe del laser, riportante le parole sottoindicate:



CLASSE 3A

RADIAZIONE LASER
NON FISSARE IL FASCIO AD OCCHIO NUDO NE’ OSSERVARLO
DIRETTAMENTE CON STRUMENTI OTTICI.
APPARECCHIO LASER DI CLASSE 3A



CLASSE 3B

RADIAZIONE LASER
EVITARE L’ESPOSIZIONE AL FASCIO.
APPARECCHIO LASER DI CLASSE 3B



CLASSE 4

RADIAZIONE LASER
EVITARE L’ESPOSIZIONE DELL’OCCHIO E DELLA PELLE
ALLA RADIAZIONE DIRETTA O DIFFUSA
APPARECCHIO LASER DI CLASSE 4

TARGHETTA INDICANTE L’APERTURA

Sugli apparecchi di classe 3B e 4 deve essere fissata una targhetta in prossimità dell’apertura da cui è emessa la radiazione laser, con la scritta:

APERTURA LASER

Oppure:

EVITARE L’ESPOSIZIONE
DA QUESTA APERTURA E’ EMESSA RADIAZIONE LASER

La targhetta informativa posta su ogni apparecchio laser, ad eccezione di quelli di classe 1, deve indicare la potenza massima della radiazione laser emessa, la durata dell'impulso (in caso di laser impulsati) e la lunghezza d'onda della radiazione emessa. Il nome e la data di pubblicazione della norma in base alla quale è stato classificato il laser devono essere riportati sulla targhetta informativa o molto vicino ad essa.

TARGHETTA PER I PANNELLI DI ACCESSO

Ogni pannello di protezione del fascio ed ogni pannello di accesso di un involucro di protezione del laser che, una volta tolto o spostato, permetta l'accesso a radiazione laser che superi il LEA della classe 1 deve portare una targhetta con la scritta:

**ATTENZIONE: RADIAZIONE LASER
IN CASO DI APERTURA NON FISSARE IL FASCIO**

Se la radiazione accessibile non supera i LEA della classe 2;

**NON FISSARE IL FASCIO AD OCCHIO NUDO
NE' GUARDARE DIRETTAMENTE IL FASCIO
CON STRUMENTI OTTICI**

se la radiazione accessibile non supera i LEA della classe 3A;

EVITARE L'ESPOSIZIONE AL FASCIO

se la radiazione accessibile non supera i LEA della classe 3B;

**EVITARE L'ESPOSIZIONE
DELL'OCCHIO O DELLA PELLE
ALLA RADIAZIONE DIRETTA O DIFFUSA**

se la radiazione accessibile supera i limiti della classe 3B a una qualsiasi lunghezza d'onda.

TARGHETTE PER PANNELLI MUNITI DI BLOCCO DI SICUREZZA

Targhette appropriate devono essere chiaramente associate ad ogni blocco di sicurezza che può essere rapidamente escluso e che potrebbe quindi permettere l'accesso a radiazione laser che supera i LEA della classe 1. Tali targhette devono essere visibili prima e durante l'esclusione del blocco, devono stare molto vicine all'apertura creata dalla rimozione dell'involucro di protezione e devono riportare le parole:

**ATTENZIONE :RADIAZIONE LASER
PERICOLOSA IN CASO DI APERTURA E QUANDO IL
BLOCCO DI SICUREZZA E' DISATTIVATO**

In aggiunta, la targhetta deve riportare le parole indicate sopra per la classe di appartenenza.

AVVERTIMENTO PER LA RADIAZIONE LASER NON VISIBILE

Se la radiazione laser è al di fuori dell'intervallo di lunghezze d'onda del visibile, la targhetta "RADIAZIONE LASER" deve essere modificata in

RADIAZIONE LASER NON VISIBILE

Nel caso in cui siano presenti contemporaneamente sia emissioni nel visibile che nel non visibile, vanno apposti entrambi i cartelli.



CARTELLLO GENERALE DI PERICOLO RAGGI LASER

(Segni neri su fondo giallo - la scritta aggiuntiva "raggi laser" non è obbligatoria)

LE 10 REGOLE D'ORO DELLA SICUREZZA LASER

- 1. Non guardare all'interno di un fascio laser. Non guardare riflessioni speculari. Non guardare riflessioni diffuse. Non sostare nel raggio d'azione di un fascio laser.**
- 2. Tenere l'illuminazione della stanza il più brillante possibile. Più è elevata l'illuminazione ambientale più piccola è la dimensione della pupilla, diminuendo il rischio che sia colpita dal fascio laser.**
- 3. Quando entri nel laboratorio laser toglì l'orologio, gli anelli, i gioielli che agiscono come riflettori. Rimuovi dal laboratorio tutto ciò che può causare riflessioni incontrollate.**
- 4. Accertati che tutti i fasci laser dispersi terminino su di una superficie opaca in grado di assorbire il fascio.**
- 5. Fissa in modo sicuro tutti i componenti ottici. Questo evita perdite di allineamento e riduce il rischio di essere colpiti accidentalmente dal fascio laser.**
- 6. Mantieni il fascio laser orizzontale. Modifica l'altezza del fascio laser tramite sistemi a periscopio.**
- 7. Non abbassare la testa al di sotto del fascio laser. Se devi raccogliere qualcosa da terra, blocca prima il laser. Nell'impossibilità di farlo, bada a non inciampare nell'oggetto caduto. Se devi sederti, bada che la testa sia comunque ad altezza superiore a quella del fascio laser.**
- 8. Ricorda che i componenti ottici trasmettono, assorbono ma anche riflettono la radiazione. Fa attenzione al fatto che i componenti ottici usati con laser di potenza possono modificare con l'uso le loro caratteristiche.**
- 9. Non sottovalutare i rischi di natura non ottica. Accertati che l'impianto elettrico sia a norma e controlla periodicamente l'efficacia del ritorno a massa. Fai attenzione ai gas, ai vapori, alle polveri ed alle bombole in pressione.**
- 10. Indossa gli occhiali di protezione.**

APPENDICE C

QUESTIONARIO

- 1) *Quali sono gli organi più soggetti a danno in caso di esposizione al fascio laser?*
- 2) *In quanti tipi è possibile raggruppare i laser, e in dipendenza da quali caratteristiche?*
- 3) *Quali misure di sicurezza occorre adottare quando si fanno interventi su di un laser?*
- 4) *Per quali classi di laser occorre applicare la segnaletica appropriata, e con quali indicazioni specifiche?*
- 5) *I laser di quali classi devono essere posti in zone ad accesso controllato?*
- 6) *Per i laser di quali classi è necessaria la sorveglianza sanitaria degli addetti?*
- 7) *Quali laser devono essere protetti da strutture per impedire un avvicinamento pericoloso?*
- 8) *I DPI utilizzati per questo tipo di apparecchiature sono gli occhiali. A che cosa va prestata particolare attenzione prima del loro utilizzo (o dell'acquisto)?*
- 9) *Elencare almeno cinque fonti di pericolo "secondario" associate all'utilizzo di laser.*

Riferimenti

- *Università degli Studi di Pavia, Norme Operative sulla Sicurezza dei Sistemi Laser, Pavia 1996*
- *INFM, Manuale tecnico di informazione, Genova 1997*
- *G. Luoni, Sicurezza Laser, Editoriale Delfino, Milano 1997*
- *Norma CEI EN 60825-1, terza edizione - CEI, Milano 1995*

N.B.: Il presente opuscolo è stato redatto dal Servizio Prevenzione e Protezione dell'Università di Lecce ad esclusivo uso interno all'Ateneo. Non sono consentiti usi diversi.

Lecce, novembre 1998