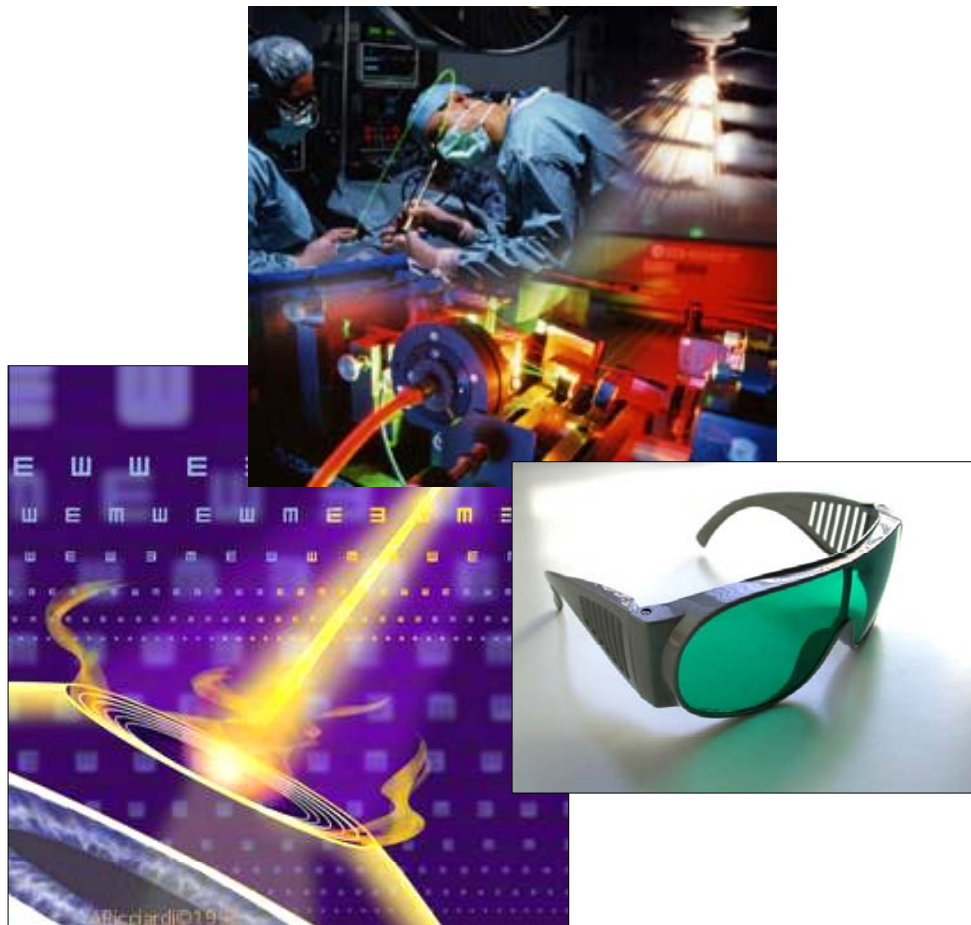


## **LASER: Analisi dei rischi e misure di sicurezza**



**T. Limongi, A. Giugni, L. Palladino, B. Paponetti**

Definizione dei parametri piu' utilizzati in ambito di sicurezza laser

Introduzione

Caratteristiche generali e principi di funzionamento dei laser

Principali riferimenti legislativi

Classificazione delle sorgenti laser

Effetti biologici e patologie indotte dalla radiazione laser

Requisiti di sicurezza

Pericoli associati all'uso di laser

Rischi collaterali

Misure di sicurezza e prevenzione

Targhettatura

Bibliografia

## **DEFINIZIONE DEI PARAMETRI PIU' UTILIZZATI IN AMBITO DI SICUREZZA LASER**

**EMP : ESPOSIZIONE MASSIMA PERMESSA:**

è il massimo livello di radiazione laser a cui si può essere esposti senza subire danni sia a breve che a lungo termine. Il valore EMP dipende da numerosi parametri, quali: lunghezza d'onda della luce laser, durata dell'impulso, tempo di esposizione, divergenza e diametro del fascio

**DNRO : DISTANZA NOMINALE DI RISCHIO OCULARE:**

è la distanza alla quale la densità di potenza (o di energia) risulta uguale al valore EMP. All'interno di questa distanza è obbligatorio l'uso di occhiali di protezione.

**D.O.: DENSITÀ OTTICA:**

è il fattore di attenuazione del filtro per un fascio laser che lo attraversa ortogonalmente.

**TRASMITTANZA SPETTRALE:** è il rapporto tra la potenza (o l'energia) trasmessa dal filtro e quella incidente. In base a questi valori di trasmittanza, variabili da  $10^{-1}$  a  $10^{-10}$  (o densità ottica da 1 a 10), vengono definite 10 classi di protezione oculare da L1 a L10.

**STABILITÀ ALLA RADIAZIONE:** è il valore minimo di densità di potenza (o di energia) che il filtro protettore di una determinata classe deve soddisfare.

## INTRODUZIONE

Dalla invenzione dei primi LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), dispositivi capaci di produrre un fascio di luce coerente monocromatica sono passati ormai circa quarant'anni. I laser possono essere considerati tra i dispositivi più diffusi nel mondo se solo si pensa ai puntatori usati durante le presentazioni, ai lettori di codici a barre dei supermercati, e ai più disparati sistemi usati in centri estetici, ospedali e laboratori di ricerca.

L'impiego massiccio di diversi tipi di laser oramai esteso a tutti i livelli della sperimentazione scientifica porta ad accrescere l'attenzione per la sicurezza e per la prevenzione degli eventuali rischi collegati con il loro impiego.

Tutti gli operatori e loro equiparati devono prima dell'uso di una qualsivoglia apparecchiatura del tipo in questione far riferimento alle istruzioni ad esse accluse e alla seguente guida. Detta informazione si applica nell'addestramento seguito da un tutor.

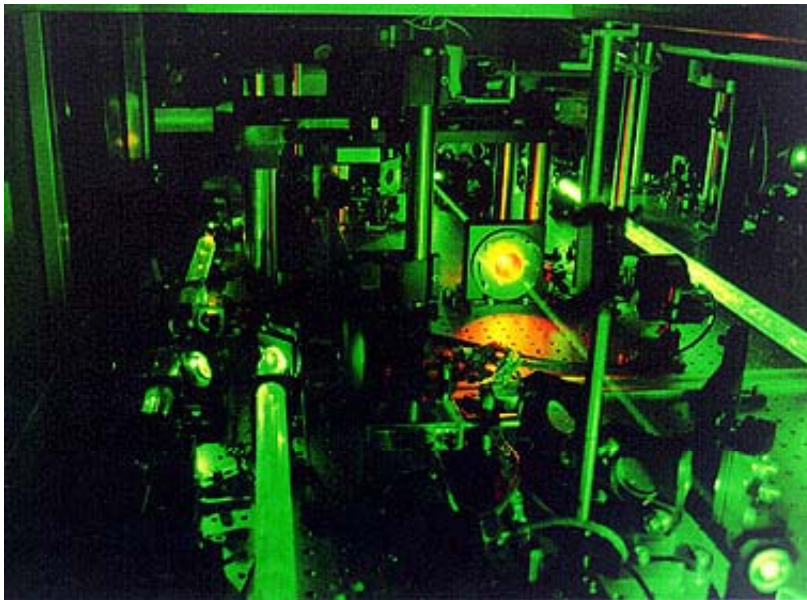


Fig.1.Foto del Laser  
VULCAN,  
Laboratorio  
Rutherford,  
Università di Jena  
Germania.

## CARATTERISTICHE GENERALI E PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DEI LASER

### Premessa

Questo breve richiamo sulla fisica dei laser potrebbe sembrare banale ma vuol porre invece l'attenzione su aspetti che proprio perché ben conosciuti a volte vengono dati per scontati e conseguentemente ignorati nelle procedure di quotidiana operatività.

E' sì fondamentale acquisire la familiarità e la manualità che permettono di utilizzare al meglio uno strumento ma bisogna comunque non trascurare gli eventuali rischi collegati ad un suo uso improprio.

### I laser

Per laser si intende un dispositivo che amplifica la luce producendo fasci luminosi monocromatici e coerenti, con frequenze che vanno dall'infrarosso all'ultravioletto e, recentemente, anche nella gamma dei raggi X; un fascio di luce laser è caratterizzato da alta potenza e forte direzionalità.

Il funzionamento dei laser é basato sulla teoria quantistica; un atomo può assorbire un

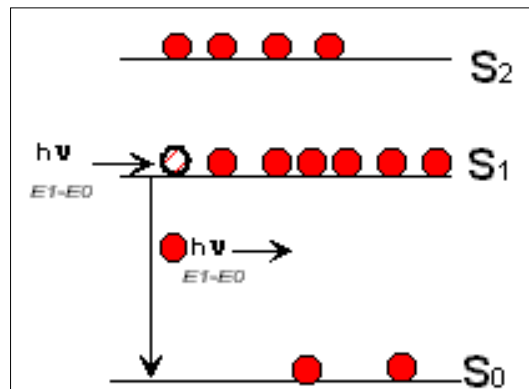


Fig.2.Schema relativo al fenomeno dell'emissione stimolata.

fotone solo se la sua energia  $E=h\nu$  corrisponde alla differenza di energia tra un livello energetico occupato e un livello eccitato libero; trattasi in un certo senso di una situazione di risonanza.

Se un atomo si trova già in uno stato eccitato può naturalmente saltare in modo spontaneo a uno stato inferiore dando luogo all'emissione di un fotone, se invece un atomo eccitato viene investito da un fotone della stessa energia, quest'ultimo è in grado di stimolare l'atomo e provocarne più prontamente la transizione allo stato inferiore (Emissione stimolata vedesi Fig.2). Durante l'emissione stimolata non solo permane il fotone originale ma, come risultato della transizione dell'atomo, ne entra in gioco un secondo della stessa frequenza che si muove nella stessa direzione. Per ottenere luce laser (coerente) dall'emissione stimolata vanno soddisfatte due condizioni:

- Gli atomi devono trovarsi nello stato eccitato ed occorre avere una inversione di popolazione, una situazione in cui vi sono più atomi nello stato superiore che I quello inferiore in modo che l'emissione di fotoni prevalga sull'assorbimento.
- Lo stato superiore deve essere uno stato metastabile, stato in cui gli elettroni rimangono più a lungo del normale, di modo che la transizione nello stato inferiore avvenga per emissione stimolata piuttosto che spontaneamente.

L' eccitazione degli atomi di un laser atta a produrre la necessaria inversione di popolazione può essere ottenuta in diversi modi ad esempio in un laser al Rubinio la sostanza laserante è una barretta di Rubinio, in un laser a HeNe è una miscela gassosa di 15% di He e 85% di Ne, mentre nei laser a stato solido trattasi di terre rare come nel caso degli efficientissimi laser Nd:Yag.

Tale eccitazione inoltre può avvenire con continuità o a impulsi; nei laser a impulsi gli atomi vengono eccitati con periodiche immissioni di energia mentre in un laser continuo l'energia viene immessa con continuità.

## PRINCIPALI RIFERIMENTI LEGISLATIVI



Le misure di sicurezza e i mezzi di controllo da adottare nel utilizzo e nella messa a punto di apparati laser sono specificati nei seguenti riferimenti legislativi:

D.P.R. del 1955 n. 547; norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro.

DPR del 1956 n. 303; norme generali per l'igiene del lavoro.

D.P.R. del 1996 n. 459; regolamento per l'attuazione delle Direttive 89/392/CEE; regolamentazione tecnica sulla sicurezza delle macchine.

Le principali norme di riferimento sono la norma CEI-EN 60825/1 e 1381G (Norme operative sulla sicurezza dei sistemi laser) e la Norma CEI 76 fascicolo 3850R Anno 1998 (Guida per l'utilizzazione di apparecchi laser per laboratori di ricerca).

Più recente é la nuova Norma Europea CEI EN 60825/1, Ed. Quarta, Fascicolo CEI 6822 del Febbraio 2003 (Parte prima: classificazione delle apparecchiature, prescrizione e guida per l'utilizzatore).

## **CLASSIFICAZIONE DELLE SORGENTI LASER**

### **CLASSE 1 - *Exempt Laser***

Il fascio di questo tipo di dispositivi è considerato innocuo perché la radiazione emessa è sempre al disotto degli standard massimi consentiti (MPE, Massima Esposizione Permissa).

### **CLASSE 2 - *Low-Power, Visible, Continuous-Wave Laser***

I laser in questa classe possono emettere radiazione pericolosa, ma la loro potenza è così bassa da risultare in qualche modo dannosa solo in caso di esposizione diretta e prolungata ovvero per un tempo superiore ai 0,25 secondi. Sono compresi in questa classe i laser ad emissione continua e nel visibile (400-700 nm), con potenza  $\leq 1$  mW.

### **CLASSE 3A - *Medium Power Laser***

Sono compresi in questa classe i laser con emissione nel visibile e una potenza in uscita fino a 5mW.

Possono emettere radiazioni sia nel campo del visibile che in quello del non visibile e i loro fasci non sono pericolosi se osservati direttamente in maniera non continua, mentre lo possono diventare se si utilizzano strumenti che amplificano e concentrano il fascio ottico (quali microscopi, binocoli, ecc.).

### **CLASSE 3B - *Medium Power Laser***

I laser di classe 3B hanno potenze medie comprese tra i 5mW e i 500 mW. I laser di classe 3B sono pericolosi per gli occhi se non protetti e possono essere pericolosi per la pelle; anche le riflessioni diffuse da questi sistemi possono essere pericolosi.



Devono essere prese precauzioni per evitare lo stazionamento nella direzione del fascio o del fascio riflesso da una superficie.

#### **CLASSE 4 - *High Power Laser***

Sono i laser più pericolosi in quanto, oltre ad avere una potenza tale da causare seri danni ad occhi e pelle anche se il fascio è diffuso, possono costituire un potenziale rischio di incendio, causare fuoruscita di materiale tossico e spesso il voltaggio e l'ampereaggio di alimentazione sono pericolosamente elevati.

Molti tipi di laser sono contenuti in strutture chiuse; in questo caso, la loro pericolosità viene calcolata sulla base della radiazione effettivamente visibile all'esterno della struttura stessa.

Naturalmente il sistema deve essere protetto contro gli **accessi accidentali**, da parte di personale non autorizzato, durante il funzionamento dell'apparecchiatura.

## **EFFETTI BIOLOGICI E PATOLOGIE INDOTTE DELLA RADIAZIONE LASER**

Un fascio di luce laser sia diretto, che riflesso da superfici speculari può causare danni anche irreversibili alle strutture oculari e alla pelle; la natura di questi danni dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione, mentre la gravità è legata alla densità di potenza  $E$  (per sorgenti in funzionamento continuo) o alla densità di energia  $H$  (per fasci in funzionamento impulsato) e al tempo in cui la struttura oculare è esposta al fascio laser.

L'occhio è sicuramente l'organo più vulnerabile nei confronti della luce laser e si possono avere diversi tipi di danno a suo carico quali: danni retinici di natura fotochimica, alterazioni retiniche caratterizzate da piccoli addensamenti di pigmento, discromie, effetti catarattogeni di origine fotochimica e termica, fotocheratocongiuntivite, ustioni corneali. I danni maggiori per la struttura oculare si hanno con lunghezze d'onda che vanno dal visibile al vicino infrarosso ( $400 \text{ nm} < \lambda < 1.400 \text{ nm}$ ) a causa dell'azione focalizzante sulla retina da parte del cristallino. L'istintiva barriera data dalla chiusura delle palpebre a questa luce (tipicamente entro 0,25 s) nella maggior parte dei casi non costituisce una protezione sicura.

Da non trascurare sono anche gli eventuali danni a carico della cute tra cui: eritemi, ustioni cutanee, superficiali e profonde, la cui gravità sarà in rapporto, oltre che all'energia calorica incidente, al grado di pigmentazione, all'efficienza dei fenomeni locali di termoregolazione, alla capacità di penetrazione nei vari strati delle radiazioni incidenti.

Laser di potenza notevolmente elevata possono danneggiare seriamente anche gli organi interni.

## REQUISITI DI SICUREZZA

A seconda del tipo di apparecchiatura laser in uso presso un certo laboratorio vanno adottate delle misure di sicurezza ad essa adeguate.

### CLASSE 1

Utilizzo senza prescrizioni

### CLASSE 2

1. il laser non dovrà mai essere diretto verso gli occhi di una persona;
2. un cartello di pericolo con la scritta “**ATTENZIONE - NON STAZIONARE IN PROSSIMITÀ DEL FASCIO LASER**” dovrà essere posizionato in un punto evidente sul laser;
3. tutti gli ingressi di osservazione e gli schermi di osservazione inclusi come parti 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 la radiazione ai livelli di sicurezza durante tutte le situazioni di utilizzo e di manutenzione.

### CLASSE 3A

Questi laser sono potenzialmente pericolosi se il fascio, diretto o riflesso da una superficie (orologi, anelli, penne,etc), è intercettato da un occhio non protetto. Si devono seguire queste prescrizioni, in aggiunta a quelle già citate per la classe2:

- 1.Evitare l’uso di strumenti ottici e teodoliti
- 2.Effettuare l’allineamento tramite mezzi meccanici o elettronici

3. Fissare la quota del fascio laser molto al di sopra o al di sotto dell'altezza degli occhi
  1. Evitare che il fascio sia diretto verso superfici riflettenti;

### CLASSE 3B

2. i laser dovrebbero essere utilizzati in luoghi ad accesso controllato;
3. Evitare riflessioni speculari e indossare protezioni per gli occhi
4. è richiesta la sorveglianza medica per prevenire od evidenziare possibili danni agli occhi;
5. 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 i laser appartenenti a questa classe bisogna prevenire danni all'occhio derivanti dal fascio diretto, riflessioni speculari e diffuse, così come i possibili rischi di incendio e danni alla pelle. Le precauzioni da adottare dovranno includere un progetto che controlli l'intero percorso del fascio dato che questo tipo di laser rappresenta anche un potenziale pericolo di incendio. Per evitare la presenza di personale sarebbe preferibile se tali dispositivi fossero comandati a distanza

Le misure di sicurezza da adottarsi, in aggiunta a quelle precedentemente enunciate, sono:

1. il laser deve essere utilizzato in un'area ad accesso controllato: chiusure di sicurezza devono essere previste per evitare ingressi non autorizzati nell'area di

funzionamento, e l'accesso deve essere limitato a persone che indossino DPI per la protezione degli occhi quando il laser è in funzione;

2. per assicurare la massima protezione nell'area controllata, l'intero percorso del fascio, inclusa l'area di irraggiamento, dovrà essere chiuso. Devono essere installate intorno al sistema opportune strutture che impediscano l'eccessivo avvicinamento al fascio, e con connessioni tali che il laser senza di esse non possa operare;
3. per sistemi pulsati queste connessioni devono essere progettate in modo tale da prevenire che il laser vada a fuoco, scaricando l'energia immagazzinata. Per laser ad onda continua, le sicurezze dovranno spegnere l'alimentazione del fascio o interrompere il fascio per mezzo di chiusure;
4. i laser devono essere forniti di una chiave di sicurezza o dispositivo di accensione e spegnimento. La chiave deve essere custodita da persona autorizzata;
5. i laser saranno forniti di sistema di bloccaggio o attenuazione del fascio;
6. durante l'attivazione o la procedura di avviamento devono essere utilizzati: sistema di allarme, luce di segnalazione, comando di conto alla rovescia. Questo sistema di segnalazione sarà attivato prima dell'emissione, in modo da consentire di prendere le misure appropriate per evitare l'esposizione al laser;
7. devono essere disponibili procedure scritte per l'allineamento del fascio, il suo utilizzo e la manutenzione;
8. il personale addetto deve essere sottoposto a sorveglianza medica per prevenire od

evidenziare possibili danni agli occhi.

Le nuove installazioni di laser di classe 3A se osservati con ottiche di raccolta (microscopi, binocoli, ecc), e di classe 3B o 4 devono essere approvate preventivamente da un tecnico responsabile che possiede le conoscenze necessarie per valutare e controllare i rischi causati dai laser e ha la responsabilità di supervisione sul controllo di questi rischi.

Pertanto è bene, prima di procedere con una nuova installazione di un laser valutare attentamente le condizioni ambientali in relazione allo strumento e alla sua potenziale pericolosità.

## PERICOLI ASSOCIATI ALL' USO DI LASER

All'uso dei laser possono essere associati diversi pericoli:

### 1. Inquinamento atmosferico dovuto a

- vaporizzazione del materiale di lavorazione durante operazioni di taglio perforazione e saldatura effettuate con strumentazioni laser
- gas provenienti da laser a flusso di gas o prodotti da reazioni nel laser
- gas e vapori provenienti da raffreddatori criogenici
- materiale proveniente da bersagli biologici proveniente da laser ad elevata energia usati in applicazioni medico-biologiche

### 2. Raggi X

- Prodotti da collisione di particolari fasci laser su speciali targhet
- Originati da tubi di alimentazione e di alta tensione

### 3. Raggi UV

- Generalmente presenti durante l'utilizzo di laser al quarzo

### 4. Rischi elettrici

- Possibili shock elettrici dovuti alle alte tensioni con cui lavorano la maggior parte dei laser

### 5. Rischi criogenici

- Possibili ustioni dovute ai liquidi criogenici (idrogeno liquido, elio liquido, azoto liquido)

## 6. Rischio chimico

- Possibili esplosioni dovute all' interazione tra i reagenti del laser e altre sostanze presenti nel laboratorio in cui il laser è collocato

## 7. Fasci riflessi

- Banchi di lavoro, orologi e gioielli spesso possono essere sorgente sottostimata di esposizione a fascio riflesso dalla loro superficie riflettente.



## RISCHI COLLATERALI

### RADIAZIONI OTTICHE COLLATERALI

- a) radiazioni UV provenienti da lampade flash e da tubi di scarica dei laser in continua (ottiche al quarzo)
- b) radiazioni nel visibile e nell'IR emesse da tubi del flash, da sorgenti di pompaggio ottico e da reirradiazione emessa dai bersagli

### ELETTRICITA'

- a) maggior parte dei laser ad alto voltaggio (>1KV)
- b) banchi di condensatori per laser pulsati

### REFRIGERANTI CRIOGENICI

- a) ustioni da freddo
- b) esplosione (gas a pressione)
- c) incendio
- d) asfissia (condensazione dell'ossigeno atmosferico)
- e) intossicazione (CO<sub>2</sub>)

### ESPLOSIONI

- a) banco dei condensatori o sistema di pompaggio ottico (laser di alta potenza)
- b) reazioni esplosive di reagenti nei laser chimici o di altri gas usati nel laboratorio

### INCENDIO

- a) fasci laser di energia elevata
- b) apparati elettrici

### RUMORE

- a) condensatori di laser pulsati di potenza molto elevata
- b) interazioni con il bersaglio

## MISURE DI SICUREZZA E PREVENZIONE

Nei laboratori dove si usano laser di classe superiore alla Classe 3 A, l'utilizzatore deve servirsi della consulenza specialistica di un **Tecnico Laser con competenze specifiche relative ai problemi di sicurezza (TSL)** per la verifica del rispetto della Normativa corrispondente (CEI 1384 G – CT-76 del CEI Guida E) e per l'adozione delle necessarie misure di prevenzione. Queste ultime riguardano solitamente:

### **Protezione sulla sorgente**

- Segnali di avvertimento
- Schermi protettivi
- Cartelli di avvertimento
- Connettore di blocco a distanza collocato a <5m dalla zona in cui si svolge l'attività
- Chiave di comando, per un utilizzo dell'apparecchio solo delle persone autorizzate

### **Protezione dal fascio laser**

- Arresto di fascio automatico in caso di radiazione eccedente i livelli prestabiliti
- Tragitto dei fasci su materiali con proprietà termiche e di riflessività adeguate e schermature
- Evitare assolutamente le riflessioni speculari

### **Protezione degli occhi**

- Un protettore oculare previsto per assicurare una protezione adeguata contro le radiazioni laser specifiche deve essere utilizzato in tutte le zone pericolose dove sono in funzione laser della classe 3 e 4.

La scelta dell'occhiale di protezione laser più appropriato deve essere effettuata seguendo le indicazioni delle norme EN 166, EN 207 e EN 208. È necessario prestare la massima attenzione alla marcatura indelebile posta su ogni occhiale.

Ad esempio: D633L5 + DI700-1100L7 indica che l'occhiale garantisce protezione per il solo funzionamento continuo (D), alla lunghezza d'onda di 633 nm con densità ottica 5 e contemporaneamente nell'intervallo 700 nm 1100 nm sia in continuo che in impulsato (DI) con densità ottica pari a 7. I filtri per occhiali laser si distinguono in:

filtri in vetro che offrono elevati livelli di protezione, ed ottima trasmittanza luminosa;

filtri in policarbonato che sono più leggeri dei filtri in vetro, offrono buoni livelli di protezione e buona trasmittanza luminosa, sono utilizzabili con modelli di occhiali più ergonomici;

occhiali per laser di allineamento che sono utilizzati per raggi laser a bassa potenza durante le operazioni di allineamento.

### **Vestiti protettivi**

- Da prevedere nel caso il personale sia sottoposto a livelli di radiazione che superano le EMP (esposizione massima permessa) per la pelle (i laser di classe 4 rappresentano un potenziale di pericolo di incendio e i vestiti di protezione devono essere fabbricati con materiali appositi).

### **Formazione**

- I laser di classe 3 e 4 possono rappresentare un pericolo non solo per l'utilizzatore, ma anche per altre persone, anche a considerevole distanza. Il personale, quindi, che opera in questi ambienti deve avere adeguata preparazione

al fine di rendere minimo il rischio professionale.

### **Sorveglianza medica**

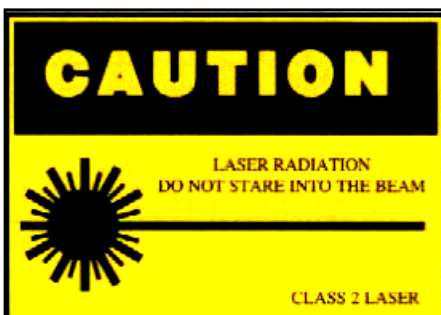
- Esami oculistici di preimpiego dovrebbero essere eseguiti limitatamente ai lavoratori che utilizzano laser di Classe 3 e 4.
- Nella valutazione dei rischi e nell'applicazione delle misure di controllo vanno presi in considerazione tre aspetti:
- La possibilità per il laser o il sistema laser di nuocere alle persone
- L'ambiente nel quale il laser viene utilizzato
- Il livello di formazione del personale che fa funzionare il laser o che può essere esposto alla sua radiazione

## TARGHETTATURA



La presenza di laser all'interno di un laboratorio deve essere segnalata mediante **cartelli di segnalazione** appropriati posti in evidenza sull'apparecchiatura. Apposite segnalazioni devono essere poste al di fuori 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 4 .

Il testo deve essere:

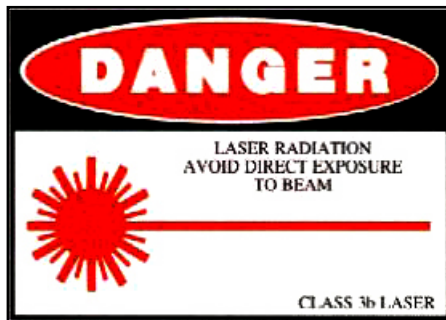


classe 1: apparecchio laser di classe 1 in accordo con la norma CEI 76-2

classe 2: radiazione laser - non fissare il fascio - apparecchio laser di classe 2 in accordo con la norma CEI 76-2



classe 3A : radiazione laser - non fissare il fascio né ad occhio nudo né tramite uno strumento ottico - apparecchio laser di classe 3A in accordo con la norma CEI 76-2



classe 3B: radiazione laser - evitare l'esposizione al fascio - apparecchio laser di classe 3B in accordo con la norma CEI 76-2



classe 4 : radiazione laser - evitare l'esposizione dell'occhio o della pelle alla radiazione diretta o diffusa - apparecchio laser di classe 4 in accordo con la norma CEI 76-2

## **BIBLIOGRAFIA**

Le Scienze quaderni N° 110.LASER

Fisica, Giancoli

Princeton University, Environmental Health and Safety website

Sicurezza laser, Ing. Piergiorgio Aprili