

Scuola di Dottorato Leonardo da Vinci – a.a. 2007/08

LASER: CARATTERISTICHE, PRINCIPI FISICI, APPLICAZIONI

Versione 1 – Luglio 08 – <http://www.df.unipi.it/~fuso/dida>

Parte 8

Cenni sulle norme di sicurezza nell'uso dei laser

FONTI



PROGRAMMA CORSO DI FORMAZIONE OBBLIGATORIO ANNO 2004

Il rischio da laser: cosa è e come affrontarlo; analisi di un problema non così lontano da noi

Dimitri Batani

Dipartimento di Fisica «G. Occhialini», Università di Milano-Bicocca, Milano



SOLE:

Intensità massima luce solare a terra = 1 kW/m^2 or 1 mW/mm^2

Assumendo un diametro pupillare di 2 mm l'area è circa 3 mm^2

Quindi la potenza raccolta dall'occhio è = 3 mW

Il sole forma un'immagine $\approx 100 \mu\text{m}$ di raggio sulla retina (area = 0.03 mm^2)

L'intensità sulla retina (Potenza/Area) = $3 \text{ mW}/0.03 \text{ mm}^2 = 100 \text{ mW/mm}^2$.

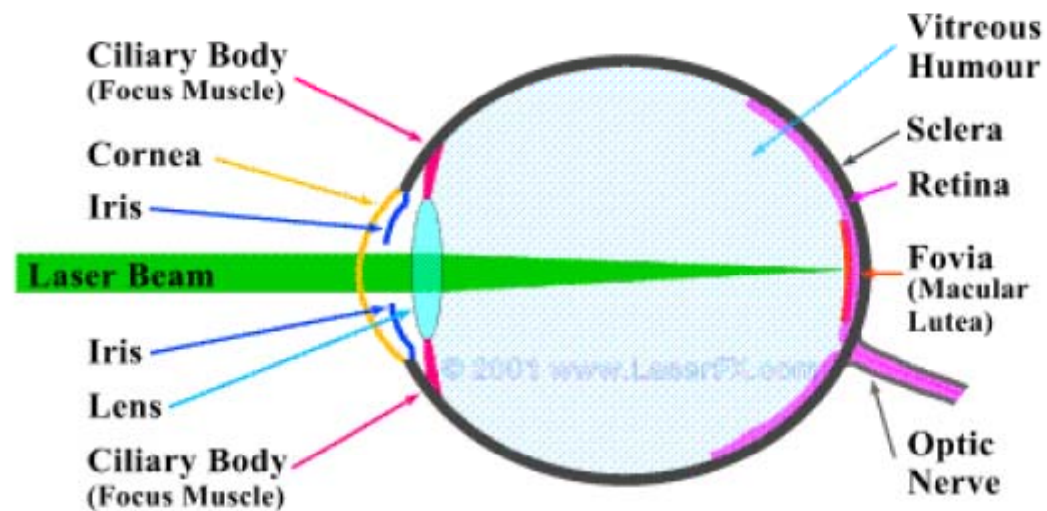
Tipico laser He Ne da 1 mW (o laser pointer):

Potenza (P) = 1 mW, raggio del fascio = 1 mm

Forma un'immagine con raggio di $10 \mu\text{m}$ (area dello spot = $3 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$)

L'**intensità** dell'HeNe sulla retina è $1 \text{ mW}/(3 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2) = 3100 \text{ mW/mm}^2$

Simplified Cross Section of the Human Eye



Laser beams are almost parallel thus the eye's lens will focus them down to a small spot causing retinal burns.

Laser safety is the avoidance of **laser** accidents, especially those involving eye injuries. Since even relatively small amounts of laser light can lead to permanent eye injuries, the sale and usage of lasers is typically subject to official regulations.

A person exposed to laser **radiation** (especially invisible radiation) may be unaware that damage is occurring. Some lasers are so powerful that even the **diffuse reflection** from a surface can be hazardous to the eye. Laser radiation predominantly causes eye injury via thermal effects on the retina. A transient increase of only 10 °C can destroy retinal **photoreceptors**.

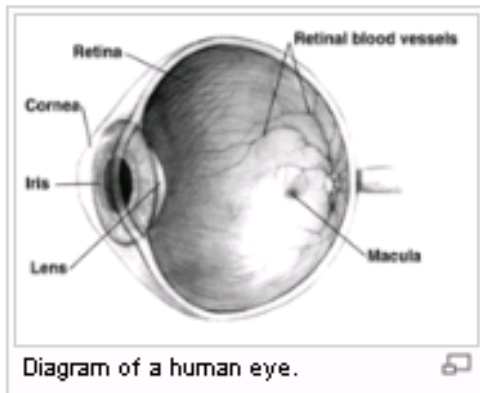


Diagram of a human eye.

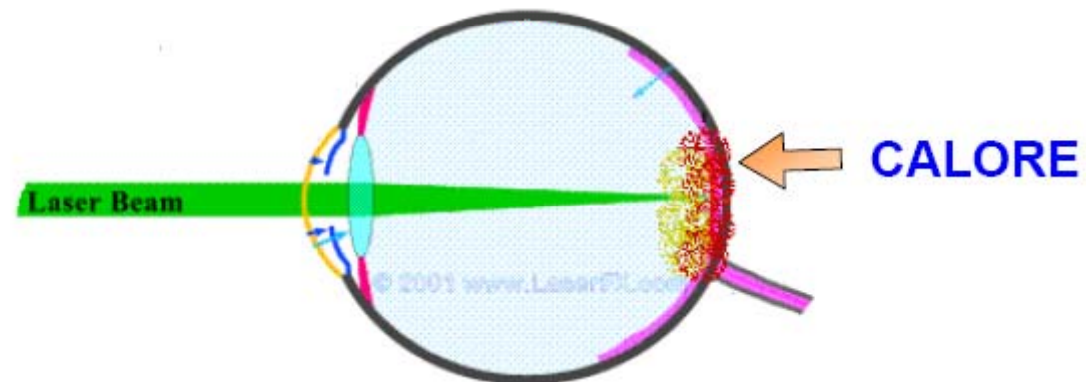
The **coherence**, the low divergence angle of laser light and the focusing mechanism of the eye means that laser light can be concentrated into an extremely small spot on the **retina**. If the laser is sufficiently powerful, permanent damage can occur within a fraction of a second, faster than the blink of an eye. Sufficiently powerful visible to near infrared laser radiation (400-1400 nm) will penetrate the eyeball and may cause heating of the retina, whereas exposure to laser radiation with wavelengths less than 400 nm and greater than 1400 nm are largely absorbed by the cornea and lens, leading to the development of **cataracts** or **burn** injuries.^[1]

Infrared lasers are particularly hazardous, since the body's protective "**blink reflex**" response is triggered only by visible light. For example, some people exposed to high power Nd:YAG laser emitting invisible 1064 nm radiation, may not feel pain or notice immediate damage to their eyesight. A pop or click noise emanating from the eyeball may be the only indication that retinal damage has occurred i.e. the retina was heated to over 100 °C resulting in localized explosive **boiling** accompanied by the immediate creation of a permanent **blind spot**.^[2]



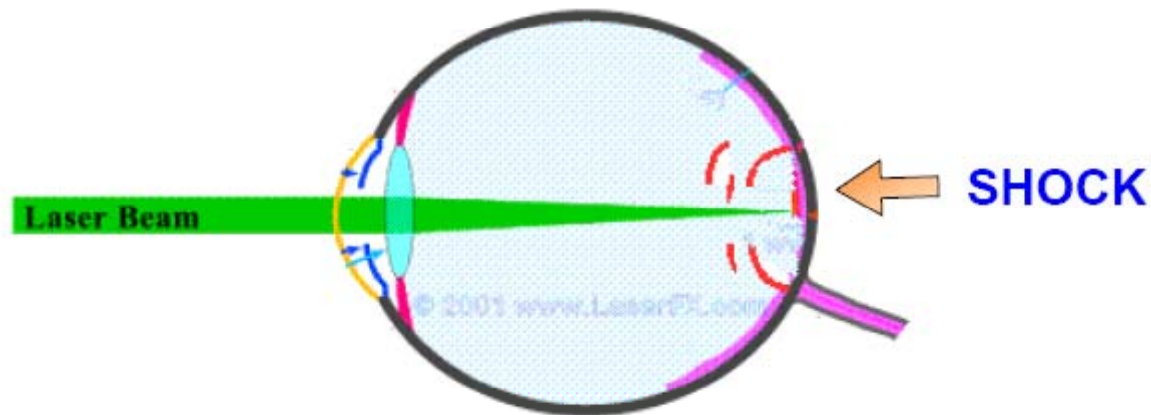
A typical laser warning symbol.

Effetto Fototermico: parte della radiazione incidente è assorbita dai tessuti. La temperatura aumenta ad un livello tale da provocare un danno. Bruciature della retina da laser



Effetto Fotochimico: impulsi lunghi che non provocano un aumento di temperatura. Dipende dall'energia totale piuttosto che dalla potenza (come l'effetto fototermico)

Effetto Fotoacustico (o da onda d'urto): Impulsi laser brevi e di alta energia. Una dose significativa di energia è assorbita in tempi brevi rispetto alla diffusione termica. Ablazione e rapida espansione del materiale, esplosione e onda d'urto, danno esteso alla retina. Effetti proporzionali all'energia dell'impulso.



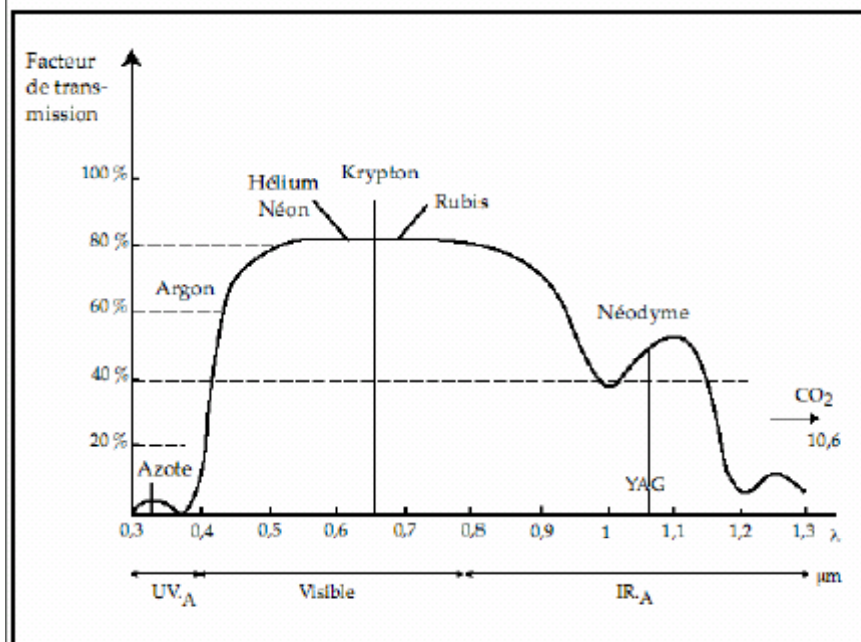
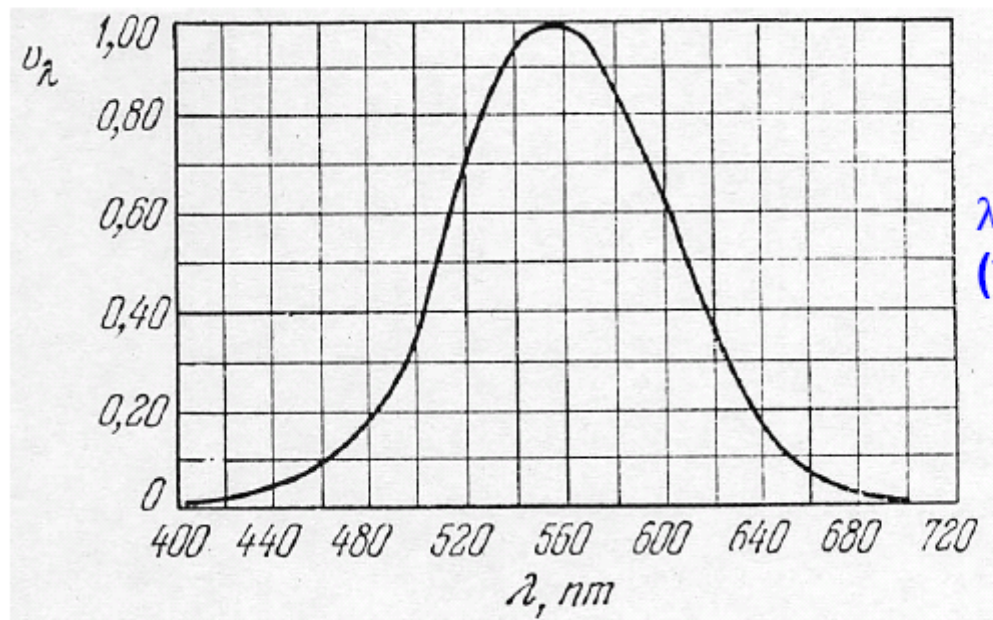


Figure 23 : Transmission des rayonnements par les milieux optiques de l'œil

Laser visibili e IR
Danni alla retina

Laser UV:
Danni alla cornea



$\lambda_{\max} = 555 \text{ nm}$
(verde)

Attenzione ai laser ai limiti della curva
che **sembrano** poco intensi!!

LIMITI

ESPOSIZIONE MASSIMA PERMESSA (EMP o MPE):

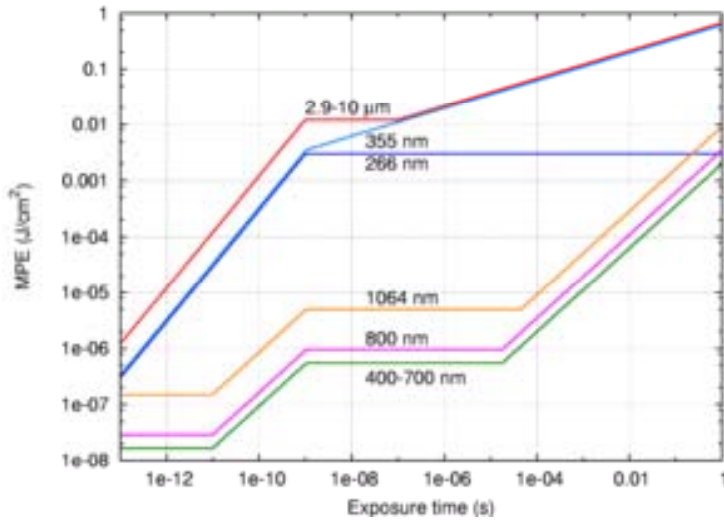
Il livello di radiazione al quale, in circostanze normali, una persona può essere esposta senza subire alcun effetto

LIMITE D'EMISSIONE ACCESSIBILE (LEA o AEL):

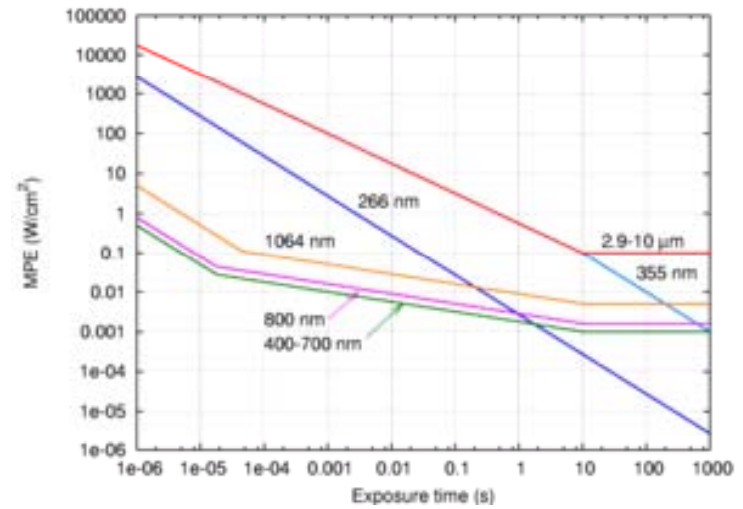
Il livello di radiazione massimo permesso in particolari in circostanze

DISTANZA E ZONA NOMINALE DI RISCHIO OCULARE (ZNR):

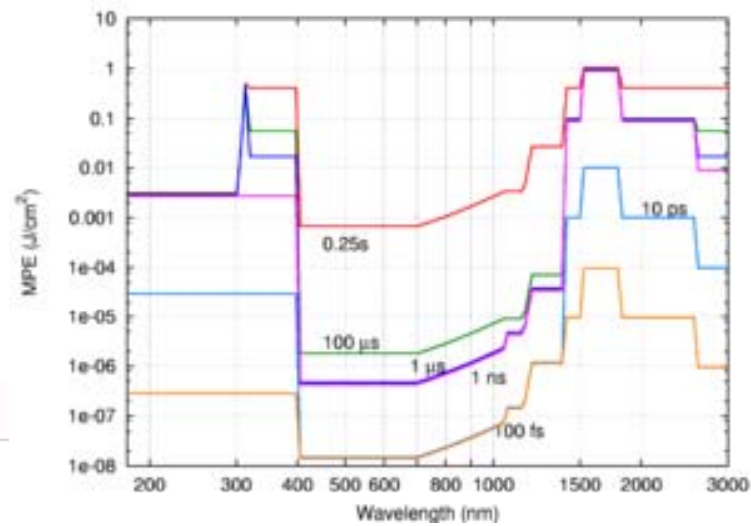
zona all'interno della quale il livello della radiazione è superiore all'EMP applicabile; all'interno di questa zona si possono avere danni oculari.



Maximum permissible exposure (MPE) at the cornea for a collimated laser beam according to IEC 60825, as energy density versus exposure time for various wavelengths.



MPE as power density versus exposure time for various wavelengths.



MPE as energy density versus wavelength for various exposure times (pulse durations).

CLASSE 1: intrinsecamente sicuri: l'EMP non può essere MAI superata (potenza bassa o laser interamente CHIUSO in un contenitore con interlock). $P < 0.4 \mu\text{W}$ nel visibile

CLASSE 2: radiazione visibile con potenza $< 1\text{mW}$. Normalmente il riflesso di chiusura delle palpebre (0.25 s) è sufficiente per la protezione dell'occhio

CLASSE 3A: radiazione visibile CW con potenza $< 5\text{mW}$ e intensità $< 2.6 \text{ mW/cm}^2$ (non più di 1 mW passi attraverso un'apertura di 7 mm di diametro). Pericolosi se visti tramite strumenti ottici.

CLASSE 3B: radiazione visibile o invisibile, CW o impulsata. La visione diretta o tramite riflessione speculare è SEMPRE pericolosa ma in certe circostanze possono essere visti tramite riflessione diffusa

CLASSE 4: laser di potenza. Danni da riflessioni diffuse. Danni alla pelle. Pericoli di incendio

Revised system

[\[edit\]](#)

Below, the main characteristics and requirements for the classification system from 2002 are listed, along with typical required warning labels. Additionally, classes 2 and higher must have the triangular warning label shown here and other labels are required in specific cases indicating laser emission, laser apertures, skin hazards, and invisible wavelengths.

Class 1

[\[edit\]](#)

A class 1 laser is safe under all conditions of normal use. This means the maximum permissible exposure (MPE) cannot be exceeded. This class includes high-power lasers within an enclosure that prevents exposure to the radiation and that cannot be opened without shutting down the laser. For example, a continuous laser at 600 nm can emit up to 0.39 mW, but for shorter wavelengths, the maximum emission is lower because of the potential of those wavelengths to generate photochemical damage. The maximum emission is also related to the pulse duration in the case of pulsed lasers and the degree of spatial coherence.



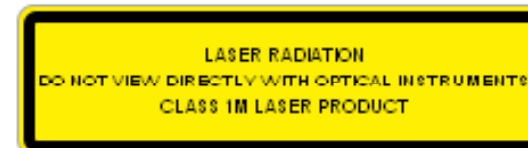
Warning label for class 2 and higher



Class 1M

[\[edit\]](#)

A Class 1M laser is safe for all conditions of use except when passed through magnifying optics such as microscopes and telescopes. Class 1M lasers produce large-diameter beams, or beams that are divergent. The MPE for a Class 1M laser cannot normally be exceeded unless focusing or imaging optics are used to narrow the beam. If the beam is refocused, the hazard of Class 1M lasers may be increased and the product class may be changed. A laser can be classified as Class 1M if the total output power is below class 3B but the power that can pass through the pupil of the eye is within Class 1.



Class 2

[\[edit\]](#)

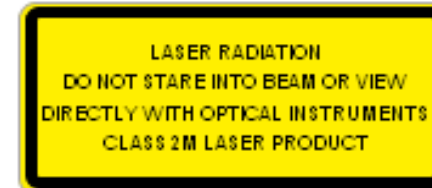
A Class 2 laser is safe because the [blink reflex](#) will limit the exposure to no more than 0.25 seconds. It only applies to visible-light lasers (400–700 nm). Class-2 lasers are limited to 1 mW continuous wave, or more if the emission time is less than 0.25 seconds or if the light is not spatially coherent. Intentional suppression of the blink reflex could lead to eye injury. Many [laser pointers](#) are class 2.



Class 2M

[\[edit\]](#)

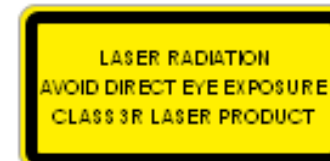
A Class 2M laser is safe because of the blink reflex if not viewed through optical instruments. As with class 1M, this applies to laser beams with a large diameter or large divergence, for which the amount of light passing through the pupil cannot exceed the limits for class 2.



Class 3R

[\[edit\]](#)

A Class 3R laser is considered safe if handled carefully, with restricted beam viewing. With a class 3R laser, the MPE can be exceeded, but with a low risk of injury. Visible continuous lasers in Class 3R are limited to 5 mW. For other wavelengths and for pulsed lasers, other limits apply.



Class 3B

[\[edit\]](#)

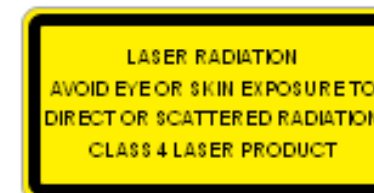
A Class 3B laser is hazardous if the eye is exposed directly, but diffuse reflections such as from paper or other [matte](#) surfaces are not harmful. Continuous lasers in the wavelength range from 315 nm to far infrared are limited to 0.5 W. For pulsed lasers between 400 and 700 nm, the limit is 30 mJ. Other limits apply to other wavelengths and to [ultrashort pulsed](#) lasers. Protective eyewear is typically required where direct viewing of a class 3B laser beam may occur. Class-3B lasers must be equipped with a key switch and a safety interlock.



Class 4

[\[edit\]](#)

Class 4 lasers include all lasers with beam power greater than class 3B. By definition, a class-4 laser can burn the skin, in addition to potentially devastating and permanent eye damage as a result of direct or diffuse beam viewing. These lasers may ignite combustible materials, and thus may represent a fire risk. Class 4 lasers must be equipped with a key switch and a safety interlock. Many industrial, scientific, and medical lasers are in this category.



PERICOLO	classe dei laser				
	1	2	3A	3B	4
Occhio:					
i) irraggiamento diretto		1*	*	*	*
ii) riflessioni speculari		1*	*	*	*
iii) riflessioni diffuse					*
Pelle :					
i) Lesioni					*
ii) Rischio cancerogeno		UV	UV	UV	UV
Incendio					*
Rischio Elettrico	Per laser alimentati ad alta tensione e quando vengono aperti				
Rischio Chimico	Laser a coloranti (DYE) Laser a gas (KrF, XeCl, ...) Gas da interazione laser bersaglio				

1* solo se il laser viene guardato volontariamente per più di 0.25 s

Protective eyewear

[edit]

Protective eyewear in the form of spectacles or goggles with appropriately filtering optics can protect the eyes from the reflected or scattered laser light with a hazardous beam power, as well as from direct exposure to a laser beam. Eyewear must be selected for the specific type of laser, to block or attenuate in the appropriate wavelength range. For example, eyewear absorbing 532 nm typically has an orange appearance, transmitting wavelengths larger than 550 nm. Such eyewear would be useless as protection against a laser emitting at 800 nm. Eyewear is rated for **optical density** (OD), which is the base-10 logarithm of the attenuation factor by which the optical filter reduces beam power. For example, eyewear with OD 3 will reduce the beam power in the specified wavelength range by a factor of 1,000. In addition to an optical density sufficient to reduce beam power to below the maximum permissible exposure (see [above](#)), laser eyewear used where direct beam exposure is possible should be able to withstand a direct hit from the laser beam without breaking. The protective specifications (wavelengths and optical densities) are usually printed on the goggles, generally near the top of the unit. In the [European Community](#), manufacturers are required by European norm [EN 207](#) to specify the maximum power rating rather than the optical density.



In an environment with potential exposure to laser beams, suitable eye protection is recommended for beams of Class 3B and Class 4.

In the [U.S.](#), guidance for the use of protective eyewear, and other elements of safe laser use, is given in the [ANSI Z136](#) series of standards. They are:

[ANSI Z136.1](#) - Safe Use of Lasers

[ANSI Z136.2](#) - Safe Use of Lasers in Optical Fiber Communication Systems Utilizing Laser Diode and LED Sources

[ANSI Z136.3](#) - Safe Use of Lasers in Health Care Facilities

[ANSI Z136.5](#) - Safe Use of Lasers in Educational Institutions

[ANSI Z136.6](#) - Safe Use of Lasers Outdoors

Trasparenza di un filtro (ad una *data* λ)

$$T = I_{\text{out}} / I_{\text{in}} = 10^{-D}$$

**Cioè $D = \text{Log} (I_{\text{out}} / I_{\text{in}})$ (numero puro)
Per occhiali laser servirebbe:**

$$D = \text{Log} (\text{EMP} / I_{\text{in}})$$

dove I e EMP sono espresse in W/m^2 per laser continui ed in J/m^2 per laser impulsati

Etichettatura degli occhiali di protezione (cfr. norma EN207)

- D** per laser continui
I per laser impulsati (μs)
R per laser ad impulsi «giganti» in regime di «Q switch» (ns)
M per laser ad impulsi brevi in regime di «mode locking» (ps, f)

La lunghezza d'onda (o le lunghezze d'onda) o il dominio spettrale per cui gli occhiali assicurano protezione

Il valore della densità ottica (da 1 a 10) a quella lunghezza d'onda

L'identificazione del produttore

Il marchio di certificazione

Riferimento norma EN 207 (o EN 208 per occhiali di allineamento)

NORME PER L'USO DEGLI OCCHIALI

- Utilizzare esclusivamente occhiali:
 - conformi alle norme EN 207 (uso) o EN 208 (allineamento)
 - adatti al laser utilizzato
 - in buono stato
- Leggere le note d'uso fornite dal produttore
- Non guardare mai volontariamente il fascio o una delle sue riflessioni, nemmeno con protezione oculare
- Pulire regolarmente gli occhiali
- Dopo l'uso rimettere gli occhiali nei loro contenitori
- Sistemare gli occhiali fuori dalla zona laser
- Eliminare gli occhiali difettosi o rovinati
- Prevedere degli occhiali supplementari per i visitatori

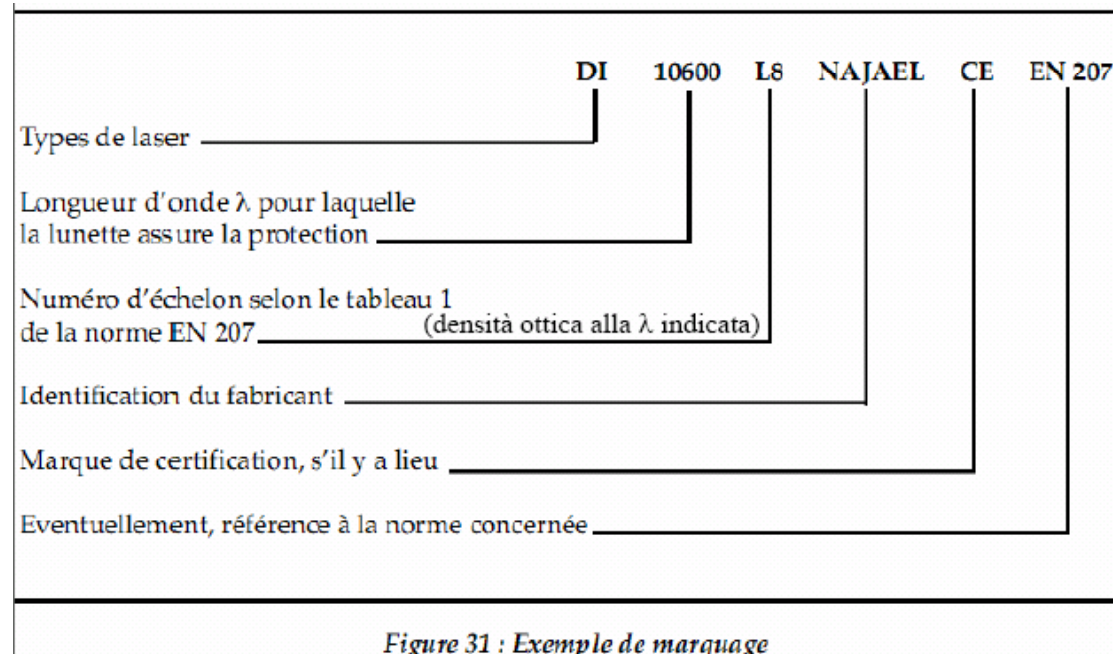


Figure 31 : Exemple de marquage



UFFICI AMMINISTRATIVI

SERVIZIO PREVENZIONE PROTEZIONE

Lungarno Pacinotti, 44
56100 Pisa
Tel. 050/2212140 (Segreteria)
Fax 050/2212663
E-mail spp@adm.unipi.it

Breve opuscolo informativo ai fini della sicurezza per gli utilizzatori di laboratori laser

Premessa

L'utilizzo dei laser comporta a seconda del tipo di sorgente usata, l'osservanza di alcune norme operative per garantire sicurezza a tutto il personale potenzialmente esposto.

Classe I : laser sicuri; l'osservazione diretta del fascio non risulta pericolosa.

Classe II: nell'osservazione diretta del fascio la protezione dell'occhio è generalmente assicurata dai riflessi di difesa (riflesso palpebrale); danni possono essere provocati con deliberata e prolungata visione del fascio o quando i riflessi sono compromessi.

Classe IIIA : l'osservazione diretta del fascio con strumenti ottici è pericolosa (oculari, microscopi, ecc.).

Classe IIIB : l'osservazione diretta del fascio è sempre pericolosa.

Classe IV : è pericolosa l'osservazione anche della radiazione diffusa da uno schermo. Possono causare danni a carico della cute e possono essere causa d'incendio. E' necessario evitare l'esposizione dell'occhio e della pelle alla radiazione diretta o diffusa.

Laser di Classe I : nessuna precauzione
Laser di Classe II : non osservare direttamente il fascio laser
Laser di Classe III : non fissare il fascio né ad occhio nudo né utilizzando strumenti ottici
Laser di Classe IV : evitare l'esposizione dell'occhio e della pelle a radiazione diretta o diffusa; usare particolare cautela in quanto probabile fonte di incendio

CARATTERISTICHE AMBIENTALI

- La zona deve essere segnalata da cartelli indicanti il segnale di pericolo di emissione laser e la dicitura: pericolo radiazione laser.
- All'interno della stanza deve essere presente cartellonistica indicante: evitare esposizione dell'occhio e della pelle alle radiazioni laser.
- L'interruttore di accensione dello strumento deve essere collegato con un segnalatore luminoso posto all'esterno indicante il funzionamento del laser.
- Devono essere evitate le riflessioni speculari involontarie (pareti, infissi, specchi, ecc.).
- Deve essere evitata la fuga di radiazioni: la presenza di eventuali finestre deve essere schermata o smerigliata o ricoperta da pellicole rifrangenti.
- I tubi dei ventilatori od altri tubi che trasportano gas devono essere ricoperti da pellicola riflettente o in caso di necessità da garze o panni bagnati.
- Devono essere previsti sistemi di aspirazione per evitare che fumi derivanti dalla vaporizzazione di materiali possano disperdersi negli ambienti di lavoro.
- Le pareti e gli armadi compresi i tendaggi devono essere di tipo incombustibile od autoestingente.
- I locali devono essere possibilmente ben illuminati allo scopo di favorire la miosi pupillare.

MISURE TECNICHE

- Deve essere disponibile un dispositivo di blocco (es. pulsante di emergenza) facilmente accessibile tale da permettere l'arresto di emissione laser per qualsiasi necessità.
 - I comandi devono essere disposti in modo tale ad evitare l'esposizione al raggio durante l'azionamento dell'attrezzatura
 - Comando a chiave: quando non in funzione il laser deve essere protetto contro ogni uso non autorizzato mediante l'uso della chiave sotto il controllo del Responsabile dell'apparecchiatura laser.
 - Gli strumenti devono essere muniti di spia luminosa che ne indichi il funzionamento in atto.
 - Deve essere disponibile presso la sede di utilizzo il manuale di uso dell'apparecchiatura (in italiano).
 - Ciascuna attrezzatura deve essere contrassegnata da un'etichetta con l'indicazione della classe e del relativo rischio
 - Lo strumentario chirurgico usato deve essere di superficie che eviti le riflessioni speculari del raggio.
- Laser a.a. 2007/08 - Parte 8 - Versione 1

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

- Gli occhiali protettivi devono essere usati da TUTTI coloro che accedono alle zone in cui ci sono laser in funzione e, in particolare, durante le operazioni di allineamento dei sistemi.
- I protettori oculari: gli occhiali sono un dispositivo di protezione individuale (DPI) e devono essere a norma CE. Il protettore oculare deve essere scelto tenendo conto delle seguenti specifiche:
 - o lunghezza d'onda di lavoro del sistema laser
 - o esposizione energetica o irradiazione esposizione massima permessa
 - o densità ottica del protettore oculare alla lunghezza di emissione del laser
 - o valori dell'esposizione energetica o irradiazione per i quali vengono danneggiati
 - o necessità di utilizzare lenti correttive
 - o confortevolezza e ventilazione
 - o degradazione o modifica temporanea o permanente dei mezzi assorbenti
 - o solidità dei materiali (resistenza agli urti)
- L'operatore deve utilizzarli 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 limitato dalla necessità di avere una adeguata visione e, pertanto, l'occhiale potrebbe non riportare in classe 1 il sistema laser osservato.
- Il personale deve indossare indumenti protettivi completi (maniche lunghe) possibilmente resistenti al fuoco.
- In caso di attività manuali in prossimità dell'emettitore usare sottoganti in filo inumiditi per la protezione dalle ustioni.

INDICAZIONI COMPORTAMENTALI

- Deve essere individuato all'interno dell'Unità operativa un Responsabile per l'apparecchiatura laser con compiti di organizzazione, controllo delle misure di sicurezza.
 - Per tutti gli operatori che lavorano negli ambienti delimitati dalla cartellonistica di pericolo da esposizione al laser, deve essere prevista attività di formazione ed informazione.
 - Il funzionamento del laser deve avvenire solo in zona controllata e l'apparecchio può essere azionato solo dopo essersi accertati dell'assenza di persone nell'area pericolosa.
 - L'accesso alle zone ove è in funzione il laser deve essere consentito solo alle persone autorizzate.
 - Quando il laser è in funzione tutti devono indossare occhiali di protezione. In particolare, coloro che sono addetti alle operazioni di allineamento dei sistemi devono indossare occhiali e indumenti specifici di protezione.
 - Anche le ottiche degli endoscopi devono essere provviste di filtro specifico.
 - Sono da evitare le riflessioni non controllate ed accidentali (non indossare orologi o gioielli).
-
- Verificare che tutte le norme di comportamento siano in atto.
 - Adottare cautele contro il rischio elettrico
 - Avvisare il Responsabile di eventuali pericoli o deterioramento dei Dispositivi di Protezione funzionamento del laser deve avvenire solo in zona controllata.
 - In caso di incidente comunicare al Responsabile l'accaduto.
 - Quando non in uso il laser deve essere spento e senza chiave.
 - Le pulizie dei locali devono avvenire a laser spento.