

PROTEZIONE DEI LAVORATORI DAI RISCHI DI ESPOSIZIONE ALLE RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

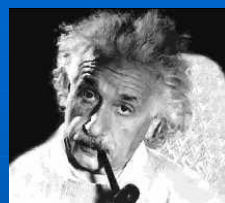
LASER



Dr.ssa L. Ferrero
DEPOSITO AVOGADRO S.r.l.
Centro di Radioprotezione

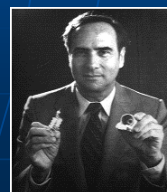


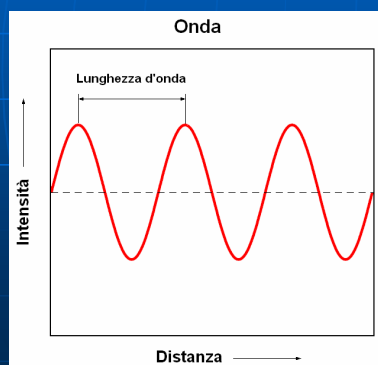
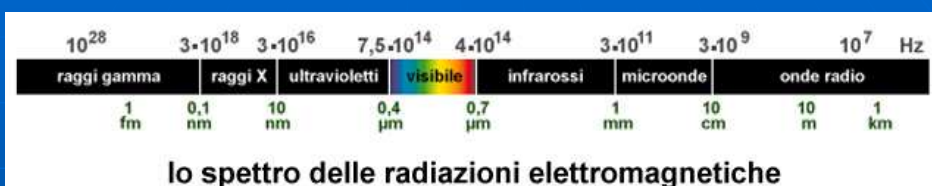
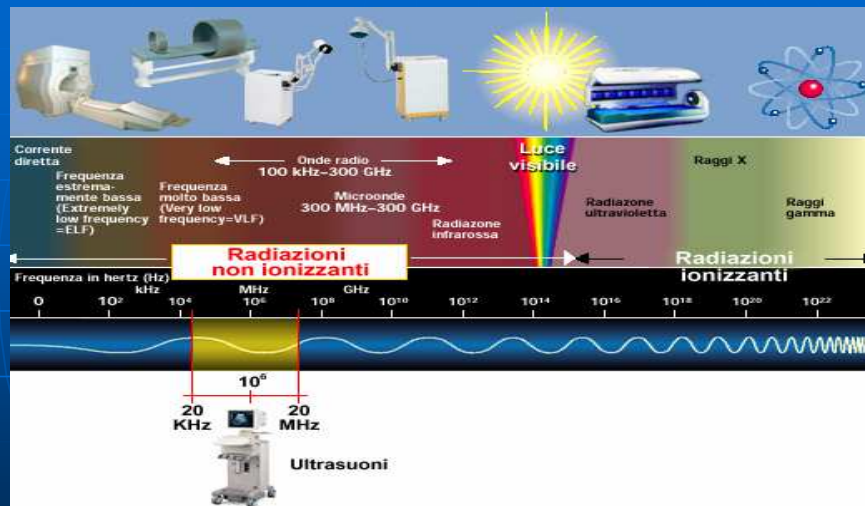
LASER



Acronimo di “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”

Einstein introdusse il concetto di emissione stimolata nel 1917
ma le prime applicazioni laser risalgono agli anni '60 ad opera di
Maiman





λ = lunghezza d'onda (espressa generalmente in nm – nanometri)

f (o ν) = frequenza (espressa in multipli di Hz – Hertz)

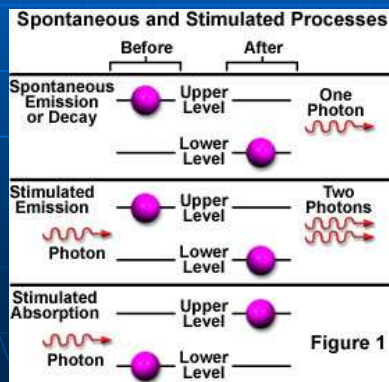
$$f = c / \lambda$$

EMISSIONE STIMOLATA

Un fotone incidente di frequenza $\nu = (E_2 - E_1)/h$ stimola l'atomo a compiere la transizione dallo stato iniziale ad energia E_2 allo stato ad energia inferiore E_1 .

Emergono 2 fotoni con stessa ν .

Il fotone stimolante ha energia, direzione, fase e polarizzazione identiche a quello incidente.

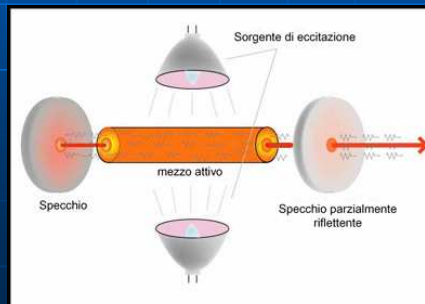


OSCILLATORE LASER

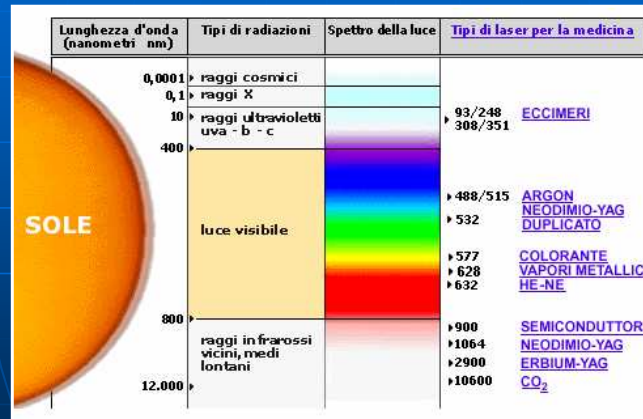
Coppia di specchi contrapposti (di cui uno totalmente e l'altro parzialmente riflettente) formano un risonatore ottico al cui interno è posto il mezzo attivo



Per mantenere l'inversione di popolazione occorre disporre di un mezzo di pompaggio



IL MEZZO ATTIVO DETERMINA IL TIPO DI LASER



PROPRIETA' DI UNA SORGENTE LASER

Coerenza di fase

Nei laser gli atomi irradiano in fase con l'onda che induce l'emissione stimolata.

L'emissione laser è un'onda sinusoidale continua senza salti di fase o modulazioni di ampiezza.

La coerenza di fase è sia spaziale sia temporale.

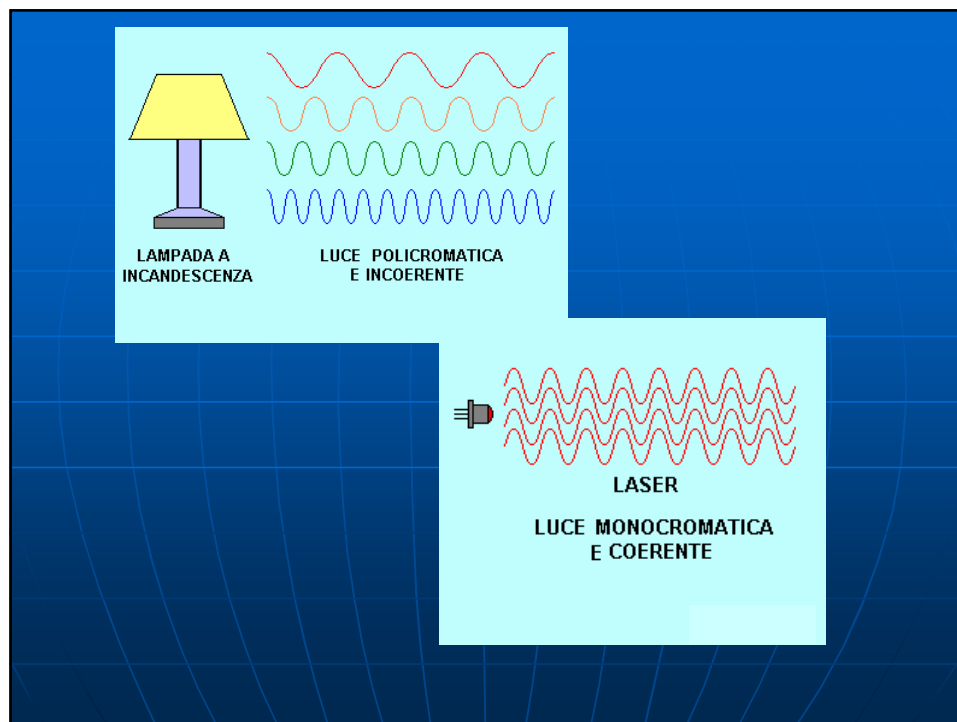
Monocromaticità

Nei laser la transizione avviene tra 2 livelli di energia definiti quindi la radiazione emessa è monocromatica (una sola frequenza).

Unidirezionalità

La proprietà di coerenza spaziale consente di ottenere fasci collimati (tutta l'energia in una sezione di alcune lunghezze d'onda).

Un fascio laser si discosta da uno stretto parallelismo a causa di effetti di diffrazione dipendenti dalla lunghezza d'onda e dal diametro del foro di uscita.



TIPI DI LASER

I laser si distinguono per consuetudine a seconda dello stato fisico del materiale attivo in sistemi:

- ⇒ a stato solido
- ⇒ a cristalli o vetri
- ⇒ a semiconduttore
- ⇒ liquidi
- ⇒ a gas (ad atomi neutri o a ioni)
- ⇒ molecolari
- ⇒ ad eccimeri

MODI DI FUNZIONAMENTO

Si distinguono sistemi laser :

⇒ ad azione normale

Pompaggio continuo (CW - Continue Wave), emissione continua

⇒ ad oscillazione libera

(FR - Free Running), impulso di durata circa uguale alla durata dell'impulso di pompaggio ($\mu\text{s} \div \text{ms}$)

⇒ a impulsi giganti

(Q-Switching), impulso di durata definita dalla rotazione dello specchio di uscita o dall'inserimento di un otturatore in cavità; impulsi brevi (ns) con elevati picchi di potenza (Mwatt - G Watt)

⇒ a modi vincolati

(ML - Mode Locking); si utilizzano modulatori di fase attivi (acustooptici o elettronici) o passivi (assorbitori a saturazione) inseriti in cavità. Si forzano i modi di oscillazione amplificando solo quelli con una determinata relazione di fase. Si ottengono impulsi brevissimi (ps) con picchi di potenza superiori alla modalità Q-switching

TIPICHE APPLICAZIONI DI SISTEMI LASER

LAVORAZIONI DI MATERIALI

- ✓ Taglio
- ✓ Forature
- ✓ Saldature
- ✓ Trattamenti superficiali
- ✓ Incisioni
- ✓ Lavorazioni di componenti elettronici (trimming)

CONTROLLI INDUSTRIALI

- ✓ Rugosità superficiali
- ✓ Olografie
- ✓ Interferometria
- ✓ Individuazione di saldature
- ✓ Determinazione di velocità e composizione fluidi
- ✓ Anemometria doppler
- ✓ Granulometria
- ✓ Ampiezza vibrazioni

TIPICHE APPLICAZIONI DI SISTEMI LASER

MISURE E CONTROLLI

- ✓ Distanze e allineamenti (nell'industria, in cantieri, in ambienti chiusi come gallerie, in agricoltura, ecc.)
- ✓ Rilievi dimensionali
- ✓ Misure di parametri atmosferici, di concentrazione di gas o particelle, di inquinanti
- ✓ Strumentazione topografica e geodetica
- ✓ Telemetri e lidar

SPETTACOLI, DIMOSTRAZIONI, APPLICAZIONI DIVERSE

- ✓ Giochi di luce e pennescriventi
- ✓ Puntatori
- ✓ Lettori di codici a barre
- ✓ Lettori CD
- ✓ Stampanti laser

APPLICAZIONI MILITARI

TIPICHE APPLICAZIONI DI SISTEMI LASER

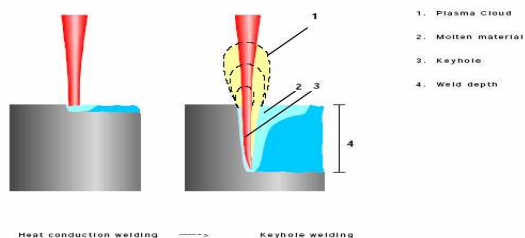
MEDICINA E CHIRURGIA

- ✓ Chirurgia fotocoagulativa
- ✓ Chirurgia fotomeccanica
- ✓ Chirurgia fotoablativa
- ✓ Chirurgia fotochimica
- ✓ Diagnostica (spettroscopia di fluorescenza e di assorbimento, NIRS)
- ✓ Terapia antalgica
- ✓ Fisioterapia

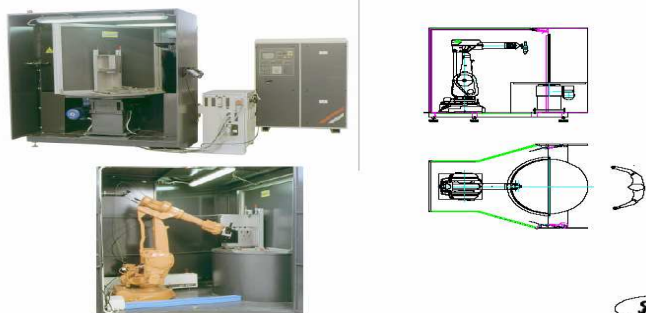
ESTETICA

- ✓ Biostimolazione
- ✓ Riduzione cellulite e smagliature

Principio della saldatura laser



Esempio di cella per laser Nd:YAG e Diodo Laser



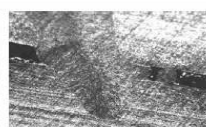
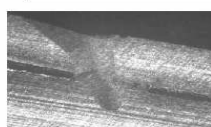
Applicazioni con laser Nd:YAG : saldature estetiche



Lato estetico

Saldature in trasparenza non passanti su inox o preverniciato.
La parte saldata non è visibile

Tipici dati di processo :
Laser : Nd:YAG
Materiale : AISI 304
Spessori : 8/10 - 10/10 mm.
penetrazione : 1,2 mm
Potenza : 500 W pulsato
Velocità : 3 m/min



Applicazioni con laser Nd:YAG : taglio 3D



Taglio 3D di inox e acciaio dolce

Typical process data :
laser : Nd:YAG
power : 500-2500 W
speed : 1-5 m/min
data sheet n. : S121



Taglio di tubi

Typical process data :
laser : Nd:YAG
power : 500 - 1000 W
speed : 0,3 - 1,5 m/min
data sheet n. : S122



CELLE LASER CO₂ TAGLIO e SALDATURA :



CELLE LASER Nd:YAG e DIODO LASER TAGLIO e SALDATURA :



I LASER IN MEDICINA

CHIRURGIA FOTOCOAGULATIVA

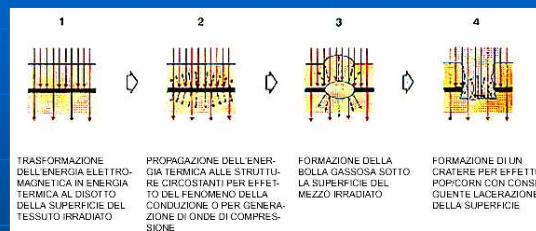


Settori di impiego:

- . Dermatologia
- . Urologia
- . Ginecologia
- . Oftalmologia
- . ORL - Cervico facciale
- . Apparato respiratorio
- . Neurochirurgia
- . Gastroenterologia
- . Chirurgia odontoiatrica
- . Traumatologia sportiva
- . Fisioterapia

I LASER IN MEDICINA

CHIRURGIA FOTOMECCANICA

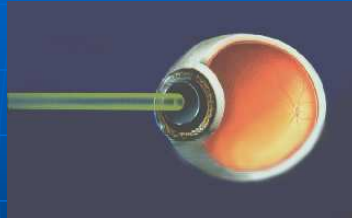


Settori di impiego:

- . Oftalmologia
- . Urologia

I LASER IN MEDICINA

CHIRURGIA FOTOABLATIVA



STADI

Assorbimento ottico (a singolo fotone o a fotoni multipli)
Fotodissociazione della specie molecolare
Ablazione

Settori di impiego:
. Oftalmologia

SPETTRO OTTICO CON INDICAZIONE DEI DANNI

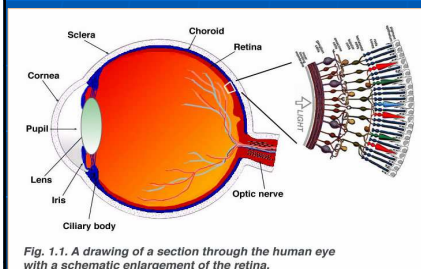
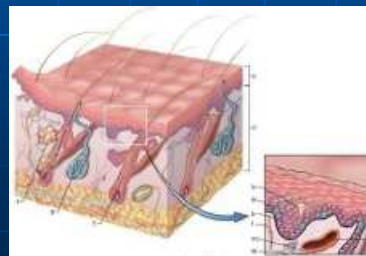
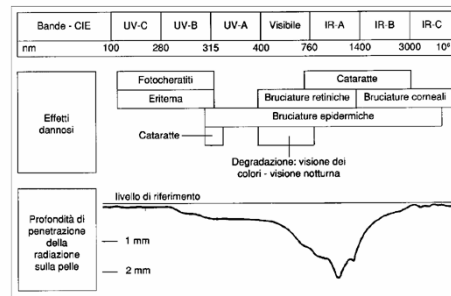


Fig. 1.1. A drawing of a section through the human eye with a schematic enlargement of the retina.

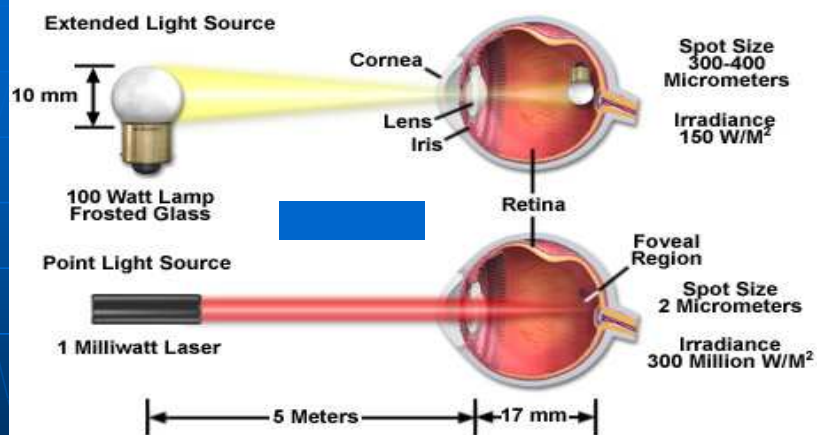
Principali effetti biologici della radiazione ottica nelle varie regioni spettrali

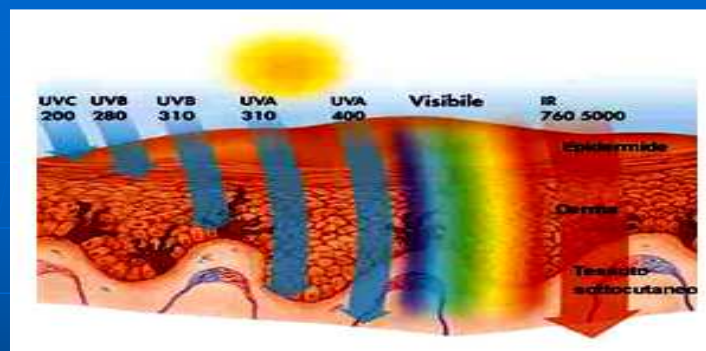


assorbimento % dei vari componenti dell'occhio, in funzione di λ

RETINA	UMORE VITREO	CRISTALLINO	UMORE ACQUEO	CORNEA	λ (nm)
				100	< 280
		2	6	92	300
	1	36	16	45	320
	1	48	14	37	340
	2	52	12	34	360
12	0	62	8	18	400
85	2	4	3	6	800
41	30	10	12	7	1000
12	32	18	30	8	1200
4	0	2	58	36	1400
			33	6	1500
		6	62	32	1600
		5	58	37	1800
			100		>1800

Extended and Point Source Power Density at the Retina





INCIDENTI CON LASER

INCIDENTI LASER

Riportati in letteratura	(1964 – 1985)	59
Stimati	(1964 – 1985)	x.00
Previsti	(1986 – 2005)	x.000
Utilizzatori	(1986 – 2005)	x00.000

CONSEGUENZE

Morte per folgorazione	1
Danneggiamenti oculari	57
Ustioni III grado	1

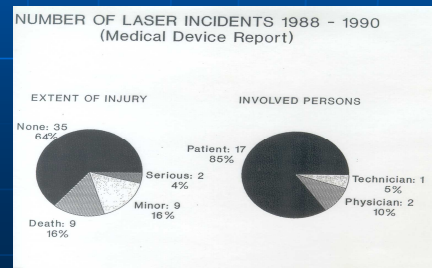
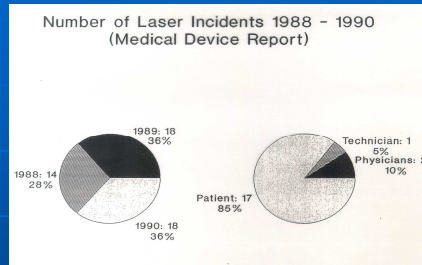
APPLICAZIONI

Militari	7
Laboratori di ricerca	51
Mediche	1

SORGENTI

Emissione pulsata	75 %
Emissione continua	25 %

INCIDENTI CON LASER



DATI BIOLOGICI ALLA BASE DEI LIMITI DI ESPOSIZIONE

EFFETTI DELLE RADIAZIONI LASER

ACUTI

- termici
- fotochimici (solo per visibile e UV)

TARDIVI

(invecchiamento, degenerazione del tessuto) solo per radiazione UV

DATI BIOLOGICI ALLA BASE DEI LIMITI DI ESPOSIZIONE

CARATTERISTICHE CHE INFLUENZANO

IL DANNO

- dimensione dell'immagine retinica (visibile e vicino IR)
- dipendenza dell'assorbimento retinico da λ
- modalità di esposizione (continua, impulsi, forma e durata impulsi)

Sicurezza laser e valutazione del rischio

NORMATIVA LASER VIGENTE IN ITALIA

agg. Marzo 2010

RIFERIMENTO	TITOLO	EMISSIONE
Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n. 81	Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro	S.O. n. 108/L alla Gazzetta Ufficiale del 30 aprile 2008 n. 101

TITOLO VIII - Agenti fisici

CAPO V – Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a radiazioni ottiche

EDIZIONI CEI

RIFERIMENTO	TITOLO	EMISSIONE
CEI EN 60601-2-22 Ed. 2	Apparecchi elettromedicali Parte 2: Norme particolari per la sicurezza degli apparecchi laser terapeutici e diagnostici	01/06/1997
CEI EN 61040 Ed. 1	Rivelatori, strumenti e apparati per la misura della potenza e dell'energia della radiazione laser	01/02/1998
CEI EN 60825-4 Ed. 1	Sicurezza degli apparecchi laser Parte 4 : barriere per laser	01/07/1998
CEI 76-6 fasc. 5928 Ed. 1	Sicurezza degli apparecchi laser Parte 8: guida all'uso degli apparecchi laser in medicina	01/02/2001
CEI EN 60825-1 Ed. 4	Sicurezza degli apparecchi laser Parte 1: classificazione delle apparecchiature, prescrizioni e guida per l'utilizzatore	01/02/2003
CEI EN 60825-1 Ed. 5	Sicurezza degli apparecchi laser Parte 1: classificazione delle apparecchiature e requisiti	Luglio 2009
CEI EN 60825-4/A1	Variante della CEI EN 60825-4	01/03/2003

NORMA ITALIANA CEI

Norma Italiana

CEI EN 60825-1

La seguente Norma è identica a: EN 60825-1:2007-10.

Data Pubblicazione	Edizione
2009-07	Quinta
Classificazione	Fascicolo
76-2	9891

Titolo

Sicurezza degli apparecchi laser
Parte 1: Classificazione delle apparecchiature e requisiti

Titolo

Safety of laser products
Part 1: Equipment classification and requirements

Sommario

La presente edizione della Norma Europea EN 60825-1 riporta i requisiti minimi relativi alla sicurezza degli apparecchi laser che emettono radiazioni laser con lunghezza d'onda compresa tra 180 nm e 1 mm. La presente Norma sostituisce parzialmente la EN 60825-1:1994 (+ Corrigendum Febbraio 1995) + A1:2002 + A2:2001 (+ corrigendum Aprile 2004). Rispetto all'edizione precedente, la guida per l'utilizzatore è stata rimossa da questa parte della serie EN 60825 ed è ora un documento separato (Parte 14). I LED (diodi che emettono luce) non rientrano più nello scopo di questa Parte 1 della EN 60825, ma potranno ancora essere oggetto di altre parti della serie EN 60825. Indipendentemente dalla COW (data di ritiro delle norme nazionali contrastanti), fino a quando queste 2 sezioni (guida per l'utilizzatore e requisiti applicabili ai LED) escluse dall'attuale edizione non verranno pubblicate, la precedente edizione di febbraio 2003 della CEI EN 60825-1 continuerà a rimanere applicabile in riferimento alle 2 parti escluse.

Codice concesso a Dispositivi: Angolare all'ris data: 18/03/2010 da: CEI Comitato Elettrotecnico Italiano



CEI COMITATO ELETTROTECNICO ITALIANO
AIEF FEDERAZIONE ITALIANA DI ELETTRONICA, ELETTRONICA, AUTOMAZIONE, INFORMATICA E TELECOMUNICAZIONI
CNR CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE

NORMATIVA LASER VIGENTE IN ITALIA

agg. Marzo 2010

EDIZIONI UNI

RIFERIMENTO	TITOLO	EMISSIONE
UNI 7545-10	Segni grafici per segnali di pericolo. Laser	31/05/1976
UNI EN 31252	Laser e sistemi laser. Dispositivi laser. Requisiti minimi per la documentazione	31/03/1997
UNI EN 12626	Sicurezza del macchinario - Macchine laser - Requisiti di sicurezza	31/08/1998
UNI EN 207	Protezione personale degli occhi - Filtri e protettori dell'occhio contro radiazioni laser (protettori dell'occhio per laser)	2010
UNI EN 208	Protezione personale degli occhi - Protettori dell'occhio per i lavori di regolazione sui sistemi laser (protettori dell'occhio per regolazioni laser)	2010

DEFINIZIONI

(secondo la norma CEI EN 60825-1)

ESPOSIZIONE MASSIMA PERMESSA

Livello della radiazione laser a cui in condizioni normali possono essere esposte le persone senza subire effetti dannosi. I livelli di EMP rappresentano il livello massimo al quale l'occhio o la pelle possono essere esposti senza subire un danno a breve o a lungo termine; questi livelli dipendono dalla lunghezza d'onda della radiazione, dalla durata dell'impulso o dal tempo di esposizione, dal tipo di tessuto esposto e, per quanto riguarda la radiazione visibile e il vicino infrarosso nell'intervallo tra 400 e 1400 nm, dalla dimensione dell'immagine retinica.

DENSITA' OTTICA

Logaritmico in base 10 dell'inverso del fattore di trasmissione τ

$$D = -\log \tau$$

ADDETTO ALLA SICUREZZA LASER

Persona che possiede le conoscenze necessarie per valutare e controllare i rischi provocati dai laser e ha la responsabilità della supervisione sul controllo di questi rischi.

CLASSIFICAZIONE

(secondo la norma CEI EN 60825-1)

LIVELLO DI
PERICOLO

BASSO

ALTO

- CLASSE 1
- CLASSE 1M
- CLASSE 2
- CLASSE 2M
- CLASSE 3R
- CLASSE 3B
- CLASSE 4

NOTA BENE: significato suffissi

M= Magnifying

R=Reduced o Relaxed

CLASSIFICAZIONE

(secondo la norma CEI EN 60825-1)

CLASSE 1

Intrinsecamente sicuri



Nessuna protezione

CLASSE 1M

$302,5 \text{ nm} < \lambda < 4000 \text{ nm}$



Pericolosa osservazione diretta del
fascio con strumenti ottici

(limitazione nelle λ trasmesse dai materiali ottici
vetrosi)

CLASSIFICAZIONE

(secondo la norma CEI EN 60825-1)

CLASSE 2

Laser visibili (400 - 700 nm)



Una esposizione accidentale non è considerata pericolosa per effetto dei riflessi dell'occhio ($t < 0.25$ s)

Possibili abbagliamenti

Esposizioni per tempi > 0.25 s sono pericolose

CLASSE 2M

Laser visibili (400 - 700 nm)



Pericolosa osservazione diretta del fascio con strumenti ottici

Possibili abbagliamenti

CLASSIFICAZIONE

(secondo la norma CEI EN 60825-1)

CLASSE 3R

Tutte le lunghezze d'onda



Rischio limitato dai valori del LEA (visibile: 5 volte LEA classe 2 ; invisibili: LEA classe 1)

CLASSE 3B

Tutte le lunghezze d'onda



Osservazione diretta del fascio SEMPRE pericolosa (rischio solo oculare)

La visione diffusa di laser non è in genere pericolosa se la distanza dell'occhio dal diffusore è ≥ 13 cm ed il tempo di esposizione non supera i 10 s

CLASSIFICAZIONE

(secondo la norma CEI EN 60825-1)

CLASSE 4

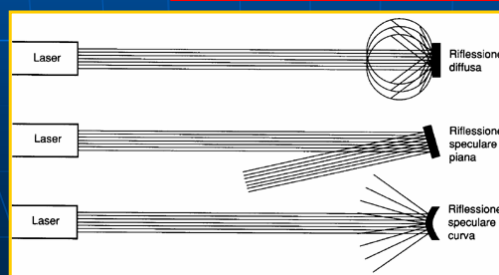
Tutte le lunghezze d'onda



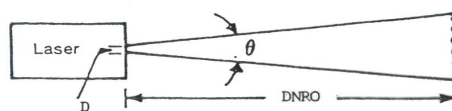
L'osservazione del fascio **diretto e diffuso** è **SEMPRE** pericolosa

Pericolosa esposizione della pelle

Possibili rischi associati



VISIONE DIRETTA DEL FASCIO LASER



$$DNRO = \frac{1}{\theta} \left[\sqrt{\frac{4P}{\pi EMP}} - D \right]$$

θ	=	divergenza fascio laser
P	=	potenza fascio laser
D	=	diametro fascio laser
EMP	=	esposizione massima permessa

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE

- SEGNALETICI (targhette di avvertimento, d'informazione, di classificazione, di apertura, di accesso)
- INGEGNERISTICI (ripari di protezione fissi o mobili, e per Classi 3B e 4 comando a chiave, attenuatore di fascio, connettore di blocco, segnalazione laser in emissione, emergenza)
- INDIVIDUALI (occhiali e indumenti protettivi)
- PROCEDURALI

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

OCCHIO

Per la protezione individuale degli occhi esistono in commercio occhiali conformi alle norme UNI EN 207 e UNI EN 208

Norma UNI EN 207 - Filtri a protezione totale

Si applica ai protettori dell'occhio contro le radiazioni laser nella gamma spettrale tra 180 nm a 1 mm.



Filtri L - Attenuazione del fascio al valore di EMP (10 livelli)

Occorre ricavare la densità ottica (D.O.) come:

$$D.O. = \log_{10} H/EMP$$

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE

Sigla di identificazione

INDELEBILE SU FRAME O FILTRO (in modo da non intralciare la visione)

Esempio:

DI 630-700 L8 X ZZ S

Tipo di emissione laser

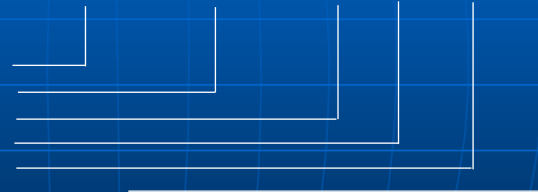
Lunghezza d'onda

Numero di graduazione

Marchio del fabbricante

Marchio di prova

Simbolo di resistenza meccanica



BARRIERE PROTETTIVE

BARRIERA PER LASER

Barriera fisica che limita l'estensione di una zona pericolosa evitando che la radiazione laser accessibile sulla sua superficie posteriore superi il LEA di classe 1

ATTIVE

- tempo di perforazione > tempo interruzione radiazione laser
- l'interruzione dell'irraggiamento deve attivare un segnale sonoro o luminoso
- riattivazione manuale

PASSIVE

- la radiazione laser accessibile a valle della barriera non deve superare il LEA della classe 1 in qualsiasi momento durante l'intervallo che intercorre tra 2 ispezioni successive

Simbolo e bordo: nero
Fondo: giallo

