



I laser nell'industria e nella ricerca: Applicazioni e misure di prevenzione e protezione

SERGIO MEZZETTI

21/11/2023

copyright notification

“TIPOLOGIA DI LASER”

1 Laser a gas

2 Laser chimici (applicazioni militari)

3 Laser a coloranti

4 Laser a vapori metallici

5 Laser a stato solido

6 Laser a semiconduttori

7 Laser in fibra

8 Altri tipi di laser

PRINCIPALI LASER A GAS

He- Ne: 632.8 nm

(543.5 nm, 593.9 nm, 611.8 nm, 1.15 μm, 1.52 μm, 3.39 μm)

Lettura codici a barre, telemetria,

Interferometria, olografia, spettroscopia, allineamento

Argon:, 488.0 nm, 514.5 nm (351 nm, 454.6 nm, 457.9 nm,

465.8 nm, 476.5 nm, 472.7 nm, 528.7 nm)

litografia, pompaggio di altri laser

Olografia, LDV,

Kripton: 416 nm, 530.9 nm, 568.2 nm, 647.1 nm,

676.4 nm, 752.5 nm, 799.3 nm

Poco usato ; Giochi di luce in combinazione con argon

Studi sulla spettroscopia delle proteine in SGH (208)

ECCIMERI :

157nm(F_2);193nm(ArF);222nm(KrCl);248nm(KrF);
259nm(Cl₂);282nm (XeBr); 308nm(XeCl);351nm(XeF);

Foratura di precisione, litografia UV, fabbricazione circuiti integrati, sinterizzazione silicio amorfo

Spettroscopia, generazione plasmi, microscopia in vivo di alghe e batteri, fisica della particelle

CO: 2.6 μm ÷ 4 μm – 4.8 μm – 8.3 μm

Spettroscopia foto acustica

Lavorazioni meccaniche
(incisioni, saldatura) ??

CO₂: 10.6 μm (9.1μm - 11.3 μm)

Alto rendimento 20% - 20kW

TAGLIO

Bordi di taglio stretti e paralleli

Zona alterata ridotta

Nessuna distorsione del pezzo

Facilità di integrazione in sistemi automatici (robot)

Riduzione di materiale asportato

Vasta gamma di materiali trattabili:

Organici (resine acriliche, PVC, policarbonati, tessuti,cuoio, legno...)

Amorfi (vetro, quarzo, ceramiche, allumina,.....)

Metallici (acciai, ferro, alluminio, nichel, titanio, leghe,.....)

Elevata velocità di taglio (40 m/min) su spessori consistenti

6 kW - Acciai al carbonio 20-25 mm - Inox 15-20 mm - Alluminio 10-15 mm

Ottone 5-6 mm

VAPORIZZAZIONE – FUSIONE - COMBUSTIONE

CO2: 10.6 μm (9.1 μm - 11.3 μm)

FORATURA

Φ Foro \leq spessore materiale

Elevata tipologia di materiali trattabili: metalli, ceramiche, vetri, plastiche, legno,.....

Elevata precisione,

Nessuna vibrazione (materiali fragili),

Fori di geometrie diverse (geometria fascio),

Nessuna necessità di lavorazione post-foratura

Precisione $\pm 25 - 50 \mu\text{m}$

CO₂: 10.6 μm (9.1μm - 11.3 μm)

SALDATURA

Elevata tipologia di materiali trattabili: acciai, alluminio ,titanio, nichel e loro leghe, materiali plastici,

Elevata densità di energia in aree molto piccole,

Cordone di saldatura sottile e profondo,

Basso apporto termico (deformazioni contenute),

Elevate caratteristiche di giunto

Nessuna necessità di lavorazione post-saldatura

Capacità di produzione elevata (3m/min per acciai di spessore di 5 mm)

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

Processi di tempratura

Sverniciatura

MARCATURA

LASER A COLORANTI (DYE LASER)

RODAMINA 6G, CUMARINA, STILBENE, XANTENE,

400 nm ÷ 700 nm

Eccitazione fluorescenze in sostanze organiche, applicazioni
LIDAR e monitoraggi ambientali

LASER A VAPORI METALLICI

He-Cd: 325 nm e 442 nm

He-Hg: 567 nm e 615 nm

Cu: 510 nm e 578 nm

Au: 627 nm

fotoluminescenza in gas,

Ricerche di nuovi materiali organici per nano-tecnologie

LASER A STATO SOLIDO

RUBINO: 694.5 nm

primo laser nel visibile (1960), ormai in disarmo ma ancora utilizzato olografia, ricerca nel campo dei plasmi e per la rimozione di tatuaggi

Nd-YLF: 1047 nm e 1053 nm

laser di pompa Ti:zaffiro e vetri

Nd.GLASS: 1.062 μm (silicati) - 1.054 μm (fosfati)

Pompati da Nd-YLF permettono di ottenere energie e potenze estremamente elevate (MJ; TW)

Problemi di lente termica

Utilizzati nella diagnostica plasmi

Ti:zaffiro: 650nm ÷ 1100 nm

Applicazioni in campo LIDAR per il monitoraggio ambientale,
spettroscopia nel vicino infrarosso , utilizzato per generare
impulsi ultracorti (fsec.)

Alessandrite: 700 nm ÷ 820 nm

Applicazioni in campo LIDAR per il monitoraggio ambientale
(Lavorazioni industriali ????)

Nd-YAG: 1.064 µm (532 nm, 355 nm, 266 nm, 212 nm)
rendimento 5% - 3kW

**TAGLIO
FORATURA
SALDATURA
MARCATURA**

Possibilità di trasmissione fascio in fibra ottica

FOTOABLAZIONE (PULITURA SUPERFICI, RESTAURO)
Tecniche QS, LQS, SFR, FR

LASER A SEMICONDUTTORE

GaN: 400 nm

AlGaAs: 630 nm – 900 nm

InGaAsP: 1000nm – 2100nm

Telecomunicazioni, olografia, stampa laser, saldatura, taglio, marcatura,, sorgenti di pompaggio per laser a stato solido, lettori di CD (780 nm), allineamento, puntamento.....

LASER IN FIBRA

Mezzo attivo: fibre ottiche drogata con terre rare

Erbio, Ytterbio, Neodimio, Disprosio,

λ (1 ÷ 1.5 μ)

100W - 10 kW

taglio, saldatura e piegatura di metalli e polimeri

“LA SICUREZZA”

REGOLE DA RISPETTARE

CONOSCENZA DEL RISCHIO

VALUTAZIONE DEL RISCHIO

CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE

MANTENIMENTO

CEI EN 60825-1
CEI EN 60825-4

Norma generale
Barriere laser

UNI EN 12254
UNI EN ISO 11553-1
UNI EN ISO 14121-1
UNI EN ISO 11145
UNI EN 207
UNI EN 208

Schermi - Requisiti di sicurezza e prove
Macchine laser - Requisiti di sicurezza.
Principi di valutazione del rischio
Vocabolario e simboli
Occhiali a protezione totale
Occhiali allineamento

CEI EN 60825-1

Sicurezza degli apparecchi laser

Parte 1: classificazione delle apparecchiature e requisiti

Conoscenza del rischio:

Processi di interazione "radiazioni ottiche – tessuti biologici"

Valutazione del rischio:

Tabulazione dei valori di Esposizione Massima Permessata a livello di cornea e pelle (EMP)

Classificazione del rischio:

Tabulazione dei valori del Limite di Emissione Accessibile (LEA) e quindi classificazione dei livelli di pericolosità delle macchine laser

Identificazione dei dispositivi di protezione:

Segnaletici (targhettatura)

Ingegneristici

Gestione della sicurezza :

Prescrizioni di informazione

La figura del TSL

POTENZIALI RISCHI NELL'USO DI APPARECCHIATURE LASER

Emissione di radiazioni laser collaterali

Emissione di radiazioni ottiche secondarie

Rischi elettrici (HV)

Rischi chimici (Dye)

Rischio d'incendio (10W)

Rischio di esplosioni (35mW – CEI EN 60079-28)

Rischi criogenici

Emissione di fumi e polveri (UNI EN ISO 11553-1)

DISPOSITIVI DI PROTEZIONE

COLLETTIVI

INFORMAZIONE

SEGNALETICI

INGEGNERISTICI

BARRIERE E SCHERMI

PROCEDURALI

INDIVIDUALI

INFORMAZIONE

Norma IEC EN 60825-1 **Informazioni per l'utilizzatore**

- Chiare Istruzioni di uso e manutenzione
- Dettagliate caratteristiche del fascio laser

DISPOSITIVI SEGNALETICI



**TARGHETTA DI
AVVERTIMENTO**



**TARGHETTA
D'INFORMAZIONE**

TARGHETTE DI INFORMAZIONE



TARGHETTE DI CLASSIFICAZIONE



TARGHETTE PER PANNELLI DI COPERTURA DI TIPO FISSO



TARGHETTE PER PANNELLI DI COPERTURA MUNITI DI INTERLOCK



TARGHETTE DI APERTURA



TARGHETTE DI ACCESSO

TARGHETTE DI CLASSIFICAZIONE

RADIATION LASER VISIBLE
NON OSSERVARE DIRETTAMENTE
CON STRUMENTI OTTICI
APPARECCHIO LASER
DI CLASSE 1M

Pot. Max. = 2 m W ; @ λ = 670 nm

NORMA CEI EN 60825-1 ; 2009

TARGHETTE DI CLASSIFICAZIONE

**RADIAZIONE LASER VISIBILE
NON FISSARE IL FASCIO
APPARECCHIO LASER
DI CLASSE 2**

Pot. Max. = 1 m W ; @ λ = 670 nm

NORMA CEI EN 60825-1 ; 2009

TARGHETTE DI CLASSIFICAZIONE

**RADIAZIONE LASER VISIBLE
NON FISSARE IL FASCIO AD
OCCHIO NUDO NE' GUARDARE
DIRETTAMENTE CON STRUMENTI
OTTICI APPARECCHIO LASER
DI CLASSE 2M**

Pot. Max. = 2 m W ; @ λ = 670 nm

NORMA CEI EN 60825-1 ; 2009

TARGHETTE DI CLASSIFICAZIONE

RADIAZIONE LASER INVISIBILE
EVITARE L'ESPOSIZIONE AL FASCIO

APPARECCHIO LASER DI CLASSE 3R
E. Max. = 0.4 mJ ; τ = 10 nsec. @ λ = 2780 nm

NORMA CEI EN 60825-1 ; 2009

TARGHETTE DI CLASSIFICAZIONE

RADIAZIONE LASER INVISIBILE
EVITARE L'ESPOSIZIONE AL FASCIO

APPARECCHIO LASER DI CLASSE 3B
E. Max. = 3 mJ ; τ = 10 nsec. @ λ = 2780 nm

NORMA CEI EN 60825-1 ; 2009

TARGHETTE DI CLASSIFICAZIONE

RADIATION LASER INVISIBLE
EVITARE L'ESPOSIZIONE DELL'OCCHIO
E DELLA PELLE ALLA RADIATION
DIRETTA O DIFFUSA

APPARECCHIO LASER DI CLASSE 4
E.Max. = 0.850 J ; λ = 1064 nm ; τ = 5.2 ns

NORMA CEI EN 60825-1 ; 2009

TARGHETTE PER PANNELLI FISSI

CLASSE 2

ATTENZIONE - RADIAZIONE LASER
VISIBILE DI CLASSE 2
IN CASO DI APERTURA

NON FISSARE IL FASCIO

TARGHETTE PER PANNELLI MUNITI DI INTERLOCK

CLASSE 4

ATTENZIONE - RADIAZIONE LASER
INVISIBILE DI CLASSE 4
IN CASO DI APERTURA E DI GUASTO O
DISATTIVAZIONE DEI BLOCCHI
EVITARE L'ESPOSIZIONE DELL'OCCHIO E
DELLA PELLE ALLA RADIAZIONE DIRETTA
O DIFFUSA

TARGHETTE DI APERTURA

APERTURA LASER

EVITARE L'ESPOSIZIONE DA
QUESTA APERTURA E' EMESSA
RADIAZIONE LASER VISIBILE
(INVISIBILE)

TARGHETTE DI ACCESSO

ATTENZIONE !!!

**IN QUESTA AREA SONO OPERATIVI
APPARECCHIATURE LASER CHE
UTILIZZANO SORGENTI VISIBILI DI
CLASSE 4**

PERSONALE ADDETTO AGLI IMPIANTI

Preposto alla sicurezza Laser:

Addetti agli impianti Laser

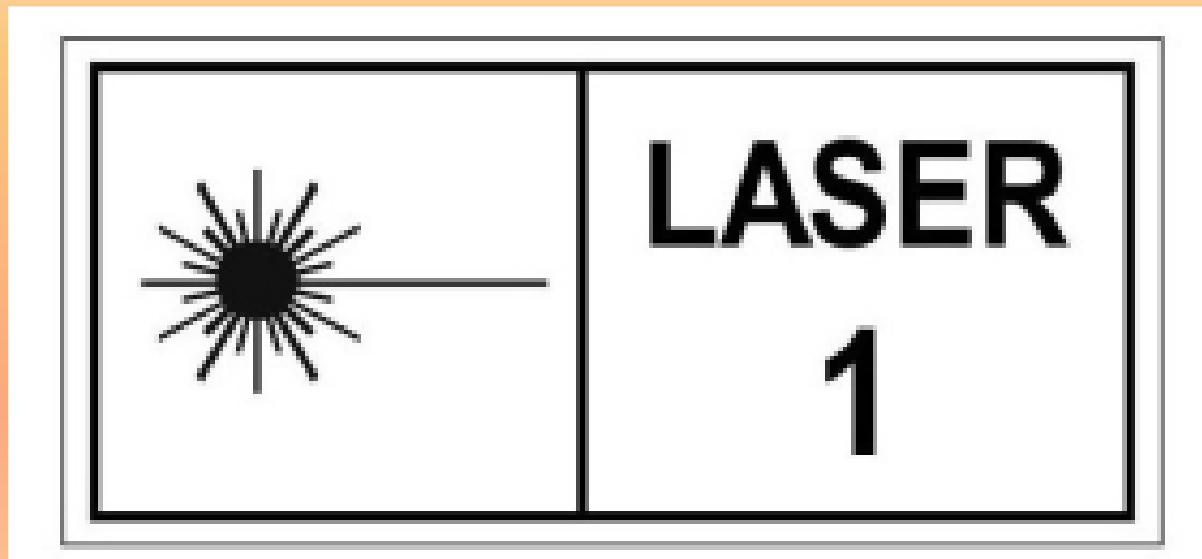
**E' SEVERAMENTE VIETATO
L'INGRESSO ALLE PERSONE NON
AUTORIZZATE**

Segrate li

TSL

RSPP

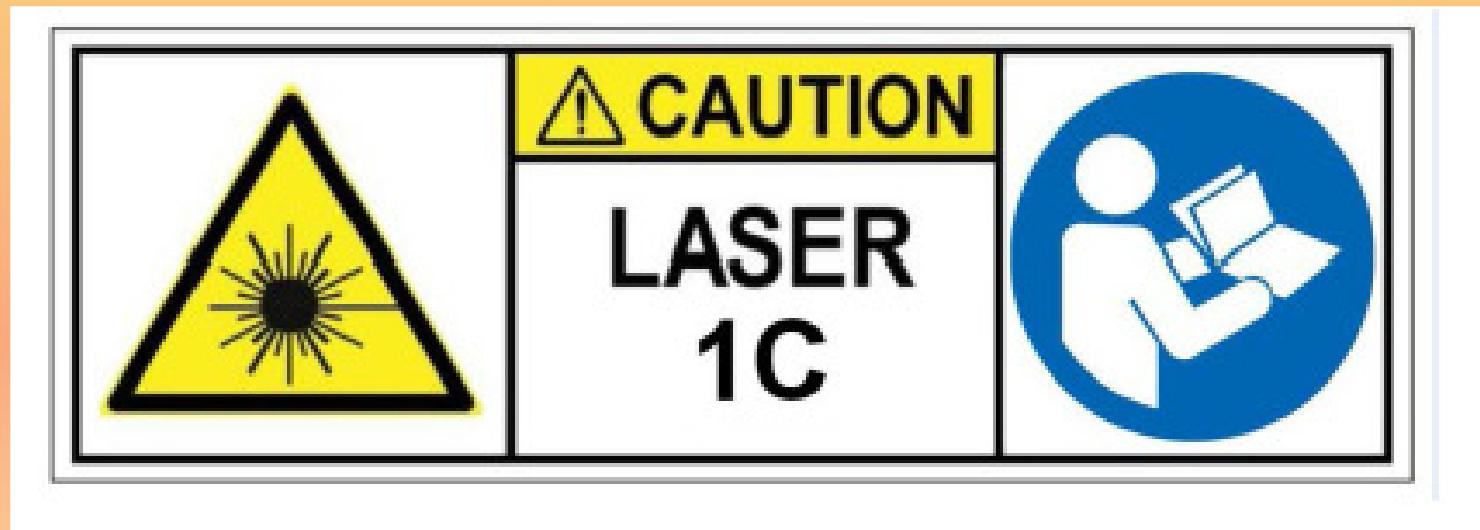
POSSIBILI ALTERNATIVE IEC EN 60825-1(2014)



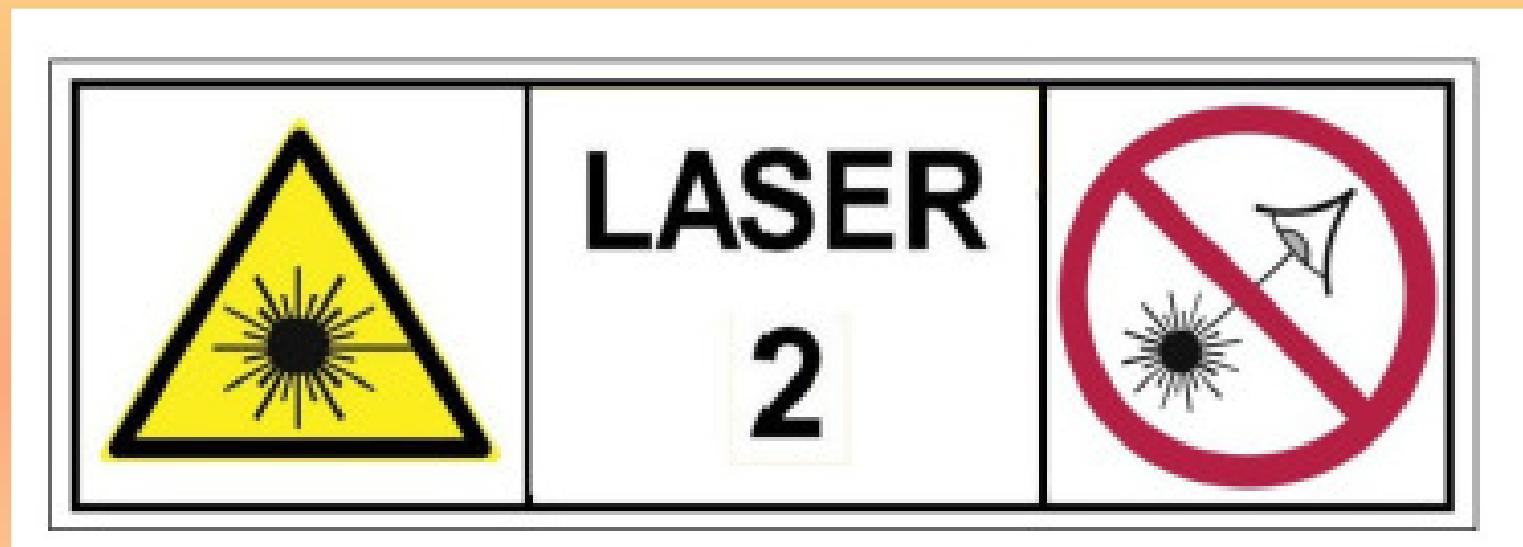
POSSIBILI ALTERNATIVE



POSSIBILI ALTERNATIVE



POSSIBILI ALTERNATIVE



POSSIBILI ALTERNATIVE



POSSIBILI ALTERNATIVE



POSSIBILI ALTERNATIVE



POSSIBILI ALTERNATIVE



POSSIBILI ALTERNATIVE



DISPOSITIVI INGEGNERISTICI

RIPARI DI PROTEZIONE



Tutti i
Laser

INTERLOCK

COMANDO A CHIAVE

ATTENUATORE DI FASCIO

CONNETTORE DI BLOCCO
A DISTANZA

EMISSIONE IN ATTO

PROTEZIONE PERCORSI
OTTICI ESTERNI

EMERGENZA

CLASSI 3B e 4



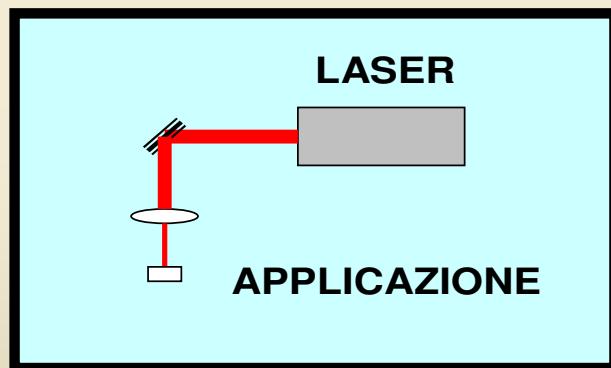
CLASSE 4

mezzetti.sergio@gmail.com

BARRIERE E SCHERMI

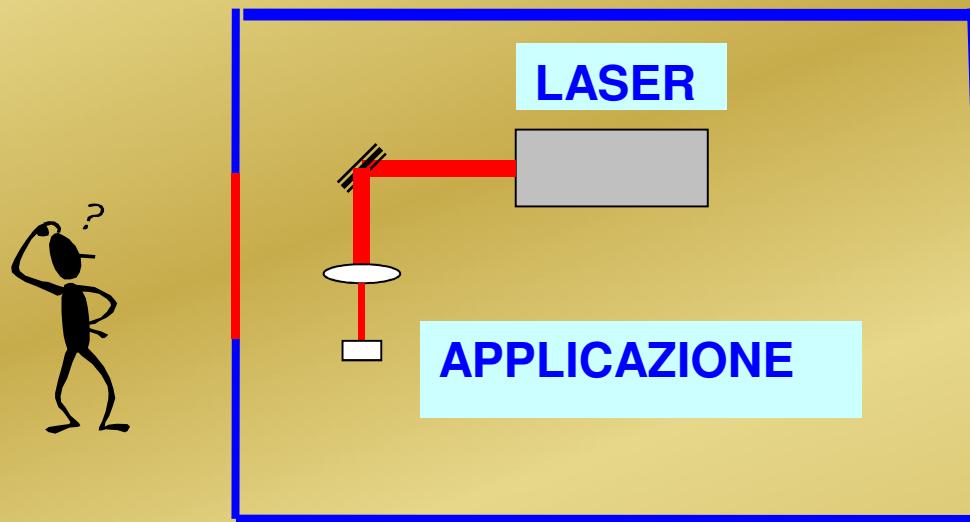
BARRIERE

**PROTEZIONI FISICHE ANCHE DI GRANDI
DIMENSIONI CHE LIMITANO L'ESTENSIONE
DI UNA ZONA PERICOLOSA**



**APPLICABILI A TUTTE LE APPARECCHIATURE LASER
LA BARRIERE SONO SOGGETTE ALLA NORMA CEI EN 60825-4**

BARRIERE E SCHERMI



SCHERMI

**PROTEZIONI FISICHE DI DIMENSIONI
LIMITATE CHE CONSENTONO LA VISIONE DI
UNA ZONA PERICOLOSA**

**APPLICABILI AD APPARECCHIATURE LASER CON
 P_{MAX} 100W ; H_{MAX} 30 J /impulso
GLI SCHERMI SONO SOGGETTI ALLA NORMA UNI EN 12254**

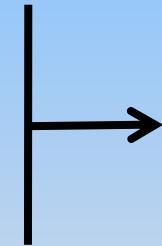
BARRIERE

BARRIERE PASSIVE

BARRIERE ATTIVE

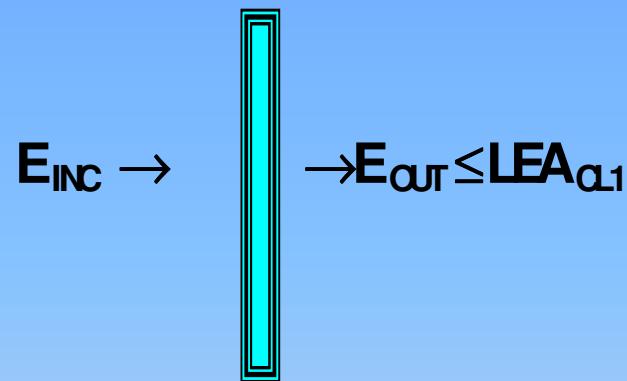
TRANSENNE

CELLULE FOTOELETTRICHE



**AREA
CONTROLLATA**

BARRIERE PASSIVE



TEMPO DI PERFORAZIONE (PROTEZIONE)

“Una barriera passiva deve evitare che la radiazione laser accessibile sulla sua superficie posteriore superi il LEA di classe 1 in qualsiasi momento durante l’intervallo che intercorre tra due ispezioni”

MACCHINE AUTOMATICHE →

$T_P = 8$ ore

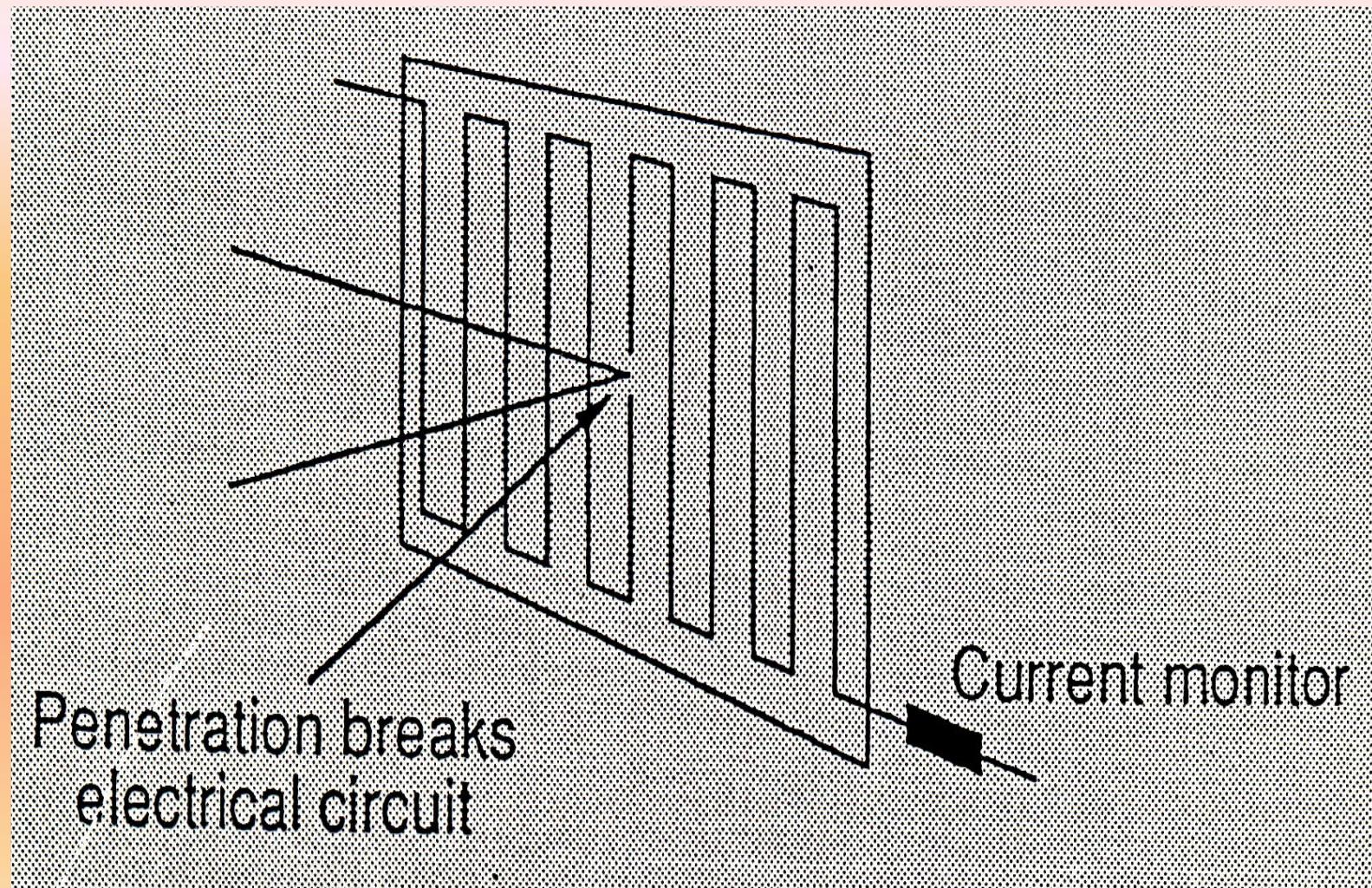
BARRIERE ATTIVE

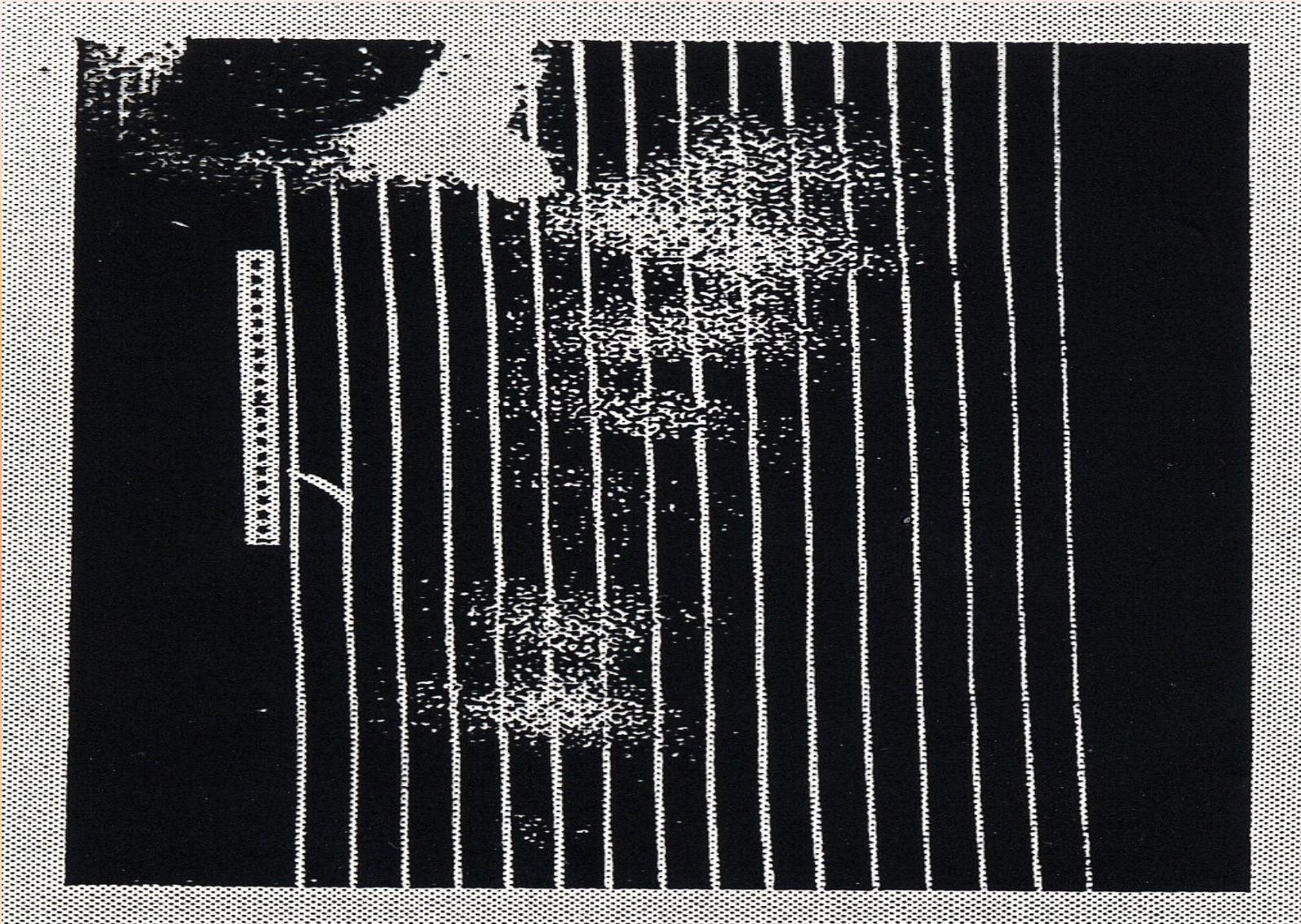
TEMPO DI PERFORAZIONE (PROTEZIONE)

“Il tempo di protezione di una barriera attiva deve superare il tempo necessario per l'interruzione della radiazione laser ”

L'interruzione di radiazione laser dovuta all'intervento di una barriera attiva deve attivare un segnale di avvertimento sonoro o luminoso.

La riattivazione della sorgente laser disattivata dall'intervento di una barriera attiva deve essere MANUALE





PARAMETRI CARATTERISTICI

FEL (Foreseeable Exposure Limit)

LEP1 (LIMITE DI ESPOSIZIONE PREVEDIBILE)

Expo max sulla superficie frontale della barriera
nelle condizioni tipiche di lavoro e in caso di guasto
ragionevolmente prevedibile.

PARAMETRI CARATTERISTICI

PEL (Protective Exposure Limit)

LEP 2 LIMITE DI PROTEZIONE ALL'ESPOSIZIONE

**Expo max sulla superficie frontale della barriera
tale per cui la radiazione accessibile sulla superficie
posteriore sia ancora contenuta nei limiti di LEA di
CLASSE 1**

CLASSIFICAZIONE DELLE BARRIERE

<u>CLASSE</u>	<u>INTERVALLO D'ISPEZIONE(sec)</u>	<u>IMPIEGO</u>
T1	30.000	MACCHINE AUTOMATICHE
T2	100	BREVE CICLO DI LAVORAZIONE E ISPEZIONE INTERMITTENTE
T3	10	ISPEZIONE CONTINUA (MACCHINA PRESIDIATA)

PRESCRIZIONI DI PROGETTAZIONE

**Materiali non Infiammabili ($P > 10W$)
antideflagranti
non generatori di fumi e/o gas tossici**

CONDIZIONI DI PROVA

- Superficie campione ≥ 3 volte quella del fascio a $1/e^2$
- sostegno campione : termicamente isolato (ceramica ...)
- incidenza rispetto al fascio: $\pm 3^\circ$

LEP 2 applicabile = LEP 2 MISURATO x 0.7

PRESCRIZIONI DI TARGHETTATURA

Tutte le targhette devono essere apposte sulla superficie posteriore

La superficie posteriore deve essere chiaramente identificata

La targhetta deve riportare:

- Il livello di LEP2

- Il nome del costruttore

- Il luogo e la data di costruzione

- La classificazione (T1- T2 -T3) secondo EN 60825-4

- La conformità alla EN 60825-4

PRESCRIZIONI DI INFORMAZIONI

Il costruttore DEVE fornire all'utente:

- descrizione degli usi permessi della barriera
- istruzioni di montaggio e connessione (interlock)
- prescrizioni di interfaccia e alimentazione (barriere attive)
- istruzioni di manutenzione:

ispezione, pulizia, sostituzione, riparazione

- posizione targhette sulla superficie
- dichiarazione di conformità alla norma EN 60825-4



Per cortese concessione della Società Prima Industrie –Collegno (TO)

mezzetti.sergio@gmail.com



Per cortese concessione della Società Prima Industrie –Collegno (TO)

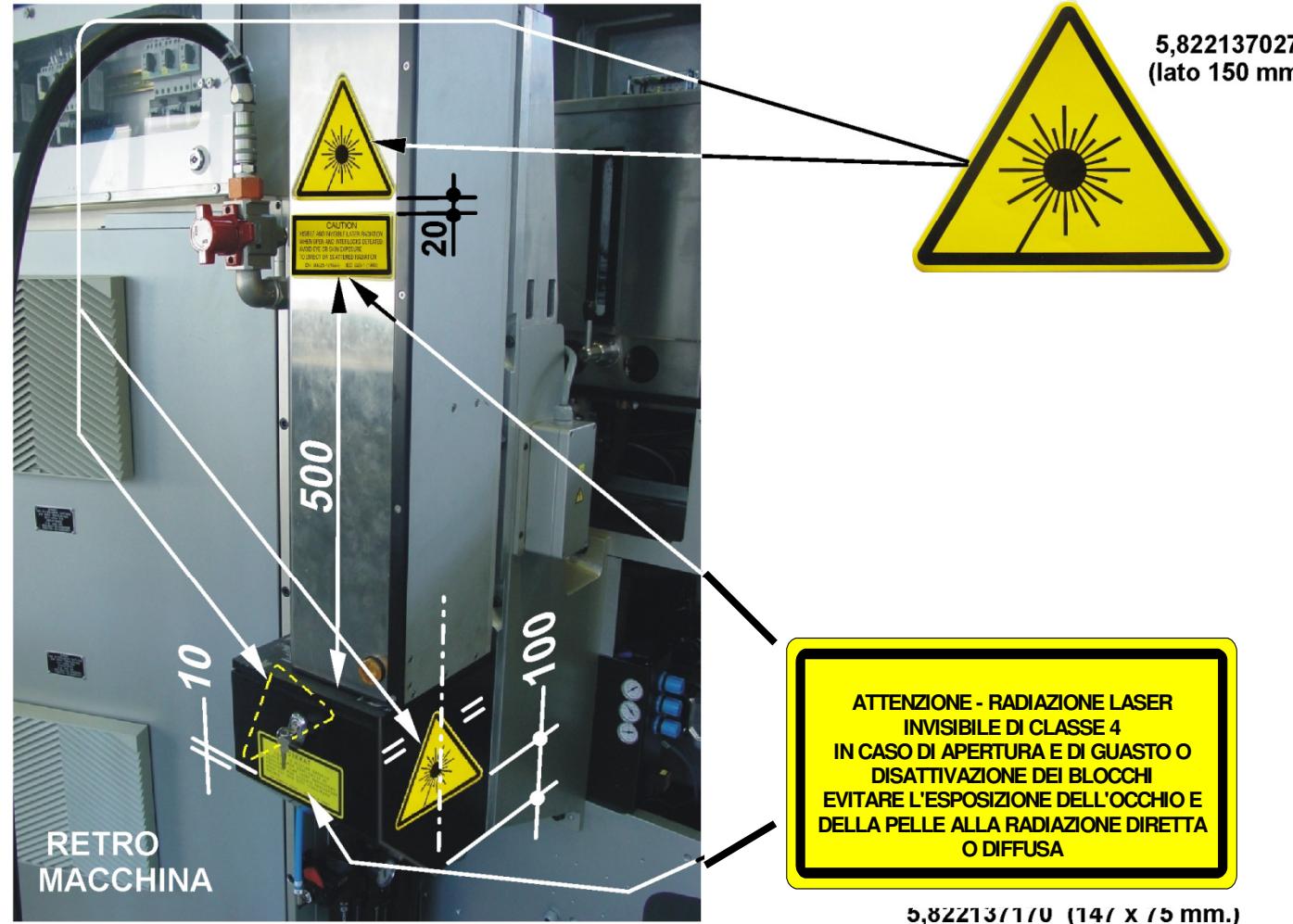
mezzetti.sergio@gmail.com



Per cortese concessione della Società
G.D -Bologna

G.D

PIAZZAMENTO ADESIVI LASER SU MACCHINA AF12 (retro e interno)



Per cortese concessione della Società
G.D -Bologna

SCHERMI

Scale number	Maximum spectral transmittance at the laser wavelength $\tau(\lambda)$	Mean power (E) and single pulse energy density (H) for testing protective properties and resistance to laser radiation in the wavelength range									
		180 nm to 315 nm			> 315 nm to 1050 nm		> 1050 nm to 1400 nm		> 315 nm to 1400 nm		> 1400 nm to 10^6 nm
		D > 0,25	I, R $> 10^{-9}$ to 0,25	M $\leq 10^{-9}$	D $> 5 \cdot 10^{-3}$	D $> 2 \cdot 10^{-3}$	I, R $> 10^{-9}$ to 0,01	M $\leq 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R $> 10^{-9}$ to 0,1	M $\leq 10^{-9}$
		E_D W/m ²	$H_{I, R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I, R}$ J/m ²	H_M J/m ²	E_D W/m ²	$H_{I, R}$ J/m ²	E_M W/m ²
A1	10^{-1}	0,01	$3 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^{11}$	10	$2,5 \cdot 10^2$	0,05	0,0015	10^4	10^3	10^{12}
A2	10^{-2}	0,1	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{12}$	10^2	$2,5 \cdot 10^3$	0,5	0,015	10^5	10^4	10^{13}
A3	10^{-3}	1	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{13}$	10^3	$2,5 \cdot 10^4$	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
A4	10^{-4}	10	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{14}$	10^4	$2,5 \cdot 10^5$	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
A5	10^{-5}	10^2	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{15}$	10^5	$2,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^2$	15	10^8	10^7	10^{16}
A6	10^{-6}	10^3	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^{16}$	10^6	$2,5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
A7	10^{-7}	10^4	$3 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{17}$	10^7	$2,5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
A8	10^{-8}	10^5	$3 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{18}$	10^8	$2,5 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
A9	10^{-9}	10^6	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{19}$	10^9	$2,5 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
A10	10^{-10}	10^7	$3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{20}$	10^{10}	$2,5 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

SCHERMI

Table 1 — Duration of test applicable to screens for laser working places

Test condition (Corresponding laser designation)	Pulse duration, in seconds	Number of pulses
D (Continuous wave (CW) laser)	100	1
I (Pulsed laser)	10^{-6} to 10^{-2}	1000
R (Giant-pulsed laser)	10^{-9} to 10^{-6}	1000
M (Mode-coupled pulsed laser)	$\leq 10^{-9}$	100 000

NOTE: The listed pulse durations are values of typical lasers. A laser with a pulse length in this range of values is recommended for testing. Total exposure time for each test should be about 100 s.

MARCATURA SCHERMI

condizioni di funzionamento (D - I - R - M)

N° di Scala in accordo con valori tabulati

λ operativa

marchio di certificazione CE

R A3 532

D A5 1064

M A7 1064

Procedure di calcolo schermi

EMP

RADIAZIONE ALL'OCCHIO DELL'OPERATORE

RADIAZIONE SCHERMO

DENSITA' OTTICA → NUMERO DI SCALA

STABILITA' ALLA RADIAZIONE

EMISSIONE SIGLA



per cortese concessione della Società
Panasonic Italia – Bussolengo (VR)

Dispositivi di Protezione Individuale



mezzetti.ser@**68**.gmail.com

D.P.I. OCCHIALI LASER - FILTRI "RB"; FILTRI "LB"

FILTRI "RB"-

Allineamento

- solo per : $400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$
- Classe 2 $\Rightarrow LEA_{\text{cw}} = 1 \text{ mW}$
 $\Rightarrow LEA_{\text{pw}} = 2 \times 10^{-7} \text{ J}$
- Protezione fisiologica da esposizioni accidentali

Norma UNI EN 208

D.P.I.

FILTRI "LB"- **Protezione totale**

- **$180 \text{ nm} \leq \lambda \leq 1000 \mu\text{m}$**

Attenuazione vs. (λ , t) \Rightarrow EMP

Norma UNI EN 207

D.P.I. DENSITA' OTTICA (D.O.)

è il parametro che definisce il livello di attenuazione richiesto ad un filtro per abbattere la radiazione laser incidente sull'occhio ai valori di sicurezza (EMP; LEA 2/1) \Rightarrow D.O.= $\log_{10} H / \text{EMP}$ (LEA 2)

D.O.	FATTORE DI ATTENUAZIONE
1	10
2	100
3	1.000
4	10.000
5	100.000
6	1.000.000
7	10.000.000
8	100.000.000
9	1.000.000.000.
10	10.000.000.000

D.P.I. SPECIFICHE - FILTRI “RB”

STABILITA' OTTICA ALLA RADIAZIONE

N° di scala	Irradiamento (W / m ²)	Esposizione energetica (J / m ²)
RB1	10 ⁴	2
RB2	10 ⁵	20
RB3	10 ⁶	200
RB4	10 ⁷	2.000
RB5	10 ⁸	20.000

PER 5 sec. E 50 IMPULSI

D.O.  STABILITA' OTTICA

D.P.I. SIGLA DI IDENTIFICAZIONE - FILTRI “RB”

INDELEBILE SUL FILTRO O FRAME

1W2x10⁻⁴J514RB3

10W2x10⁻³J500-550RB4

D.P.I. PROCEDURA DI CALCOLO - FILTRI “RB”

**1-Individuare il LEA applicabile
(dalle Tab. di classificazione)**

**2- Calcolo della D.O. del filtro “RB” idonea a
ridurre la Potenza (Energia) incidente ai livelli
previsti dal LEA**

**3- identificazione del Numero di Scala
(Tab. B.1 - UNI EN 208)**

4- Calcolo dell'irradiamento reale al filtro

**5- verifica requisiti di stabilità ottica (Tab. 2 - UNI
EN 208)**

6- emettere sigla di identificazione

D.P.I.

SPECIFICHE - FILTRI “LB”

10 LIVELLI

UNI EN 207

N° SCALA	180 - 315 nm			315 - 1400 nm			1400nm - 1000 μm		
	D (W/ m ²)	IR (J/ m ²)	M (W/ m ²)	D (W/ m ²)	IR (J/ m ²)	M (W/ m ²)	D (W/ m ²)	IR (J/ m ²)	M (W/ m ²)
LB1	0.01	3x10 ²	3x10 ¹¹	100	0.05	5x10 ⁷	10 ⁴	10 ³	10 ¹²
LB2	0.1	3x10 ³	3x10 ¹²	10 ³	0.5	5x10 ⁸	10 ⁵	10 ⁴	10 ¹³
LB3	1	3x10 ⁴	3x10 ¹³	10 ⁴	5	5x10 ⁹	10 ⁶	10 ⁵	10 ¹⁴
LB4	10	3x10 ⁵	3x10 ¹⁴	10 ⁵	50	5x10 ¹⁰	10 ⁷	10 ⁶	10 ¹⁵
LB5	100	3x10 ⁶	3x10 ¹⁵	10 ⁶	5x10 ²	5x10 ¹¹	10 ⁸	10 ⁷	10 ¹⁶
LB6	10 ³	3x10 ⁷	3x10 ¹⁶	10 ⁷	5x10 ³	5x10 ¹²	10 ⁹	10 ⁸	10 ¹⁷
LB7	10 ⁴	3x10 ⁸	3x10 ¹⁷	10 ⁸	5x10 ⁴	5x10 ¹³	10 ¹⁰	10 ⁹	10 ¹⁸
LB8	10 ⁵	3x10 ⁹	3x10 ¹⁸	10 ⁹	5x10 ⁵	5x10 ¹⁴	10 ¹¹	10 ¹⁰	10 ¹⁹
LB9	10 ⁶	3x10 ¹⁰	3x10 ¹⁹	10 ¹⁰	5x10 ⁶	5x10 ¹⁵	10 ¹²	10 ¹¹	10 ²⁰
LB10	10 ⁷	3x10 ¹¹	3x10 ²⁰	10 ¹¹	5x10 ⁷	5x10 ¹⁶	10 ¹³	10 ¹²	10 ²¹

D.P.I. SIGLA DI IDENTIFICAZIONE - FILTRI “LB”

INDELEBILE SUL FILTRO O FRAME

Max. potenza e energia

λ o $\Delta\lambda$ operativi

condizioni di funzionamento (D - I - R - M)

N° di Scala in accordo con valori tabulati

marchio di certificazione CE

630-700DR LB8

10600DI LB5

633D LB2+700-1100DI LB7

1064 LB5

D.P.I.

DIMENSIONAMENTO - FILTRI “LB”

PROTEZIONE TOTALE \Rightarrow RADIAZIONE ALL'OCCHIO = EMP

\Rightarrow condizioni operative della sorgente

$(P, \lambda, a, \varphi, (D) - E, \lambda, a, \varphi, t, f, (I, R, M))$

\Rightarrow calcolo del valore di EMP applicabile

\Rightarrow irraggiamento(espos. energ.) all'occhio operatore

\Rightarrow calcolo della D.O. \Rightarrow Numero di Scala

\Rightarrow irraggiamento(espos. energ.) reale al filtro

\Rightarrow valutazione stabilita' alla radiazione

SIGLA DI IDENTIFICAZIONE

DISPOSITIVI PROCEDURALI

I CONTROLLI PROCEDURALI ED AMMINISTRATIVI SONO METODI O ISTRUZIONI CHE SPECIFICANO REGOLE E PRATICHE DI LAVORO AL FINE DI GARANTIRE LA SICUREZZA DEGLI OPERATORI

I CONTROLLI PROCEDURALI ED AMMINISTRATIVI DEVONO ESSERE APPLICATI SOLO AI LASER E SISTEMI LASER DI CLASSE 3B E 4

PROCEDURE STANDARD DI LAVORO

PROCEDURE DI ALLINEAMENTO

PROCEDURE DI MANUTENZIONE ORDINARIA

PROCEDURE DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA

PROCEDURE D'USO PER OCCHIALI

PROCEDURE PER ADDETTI TEMPORANEI

PROCEDURE PER VISITATORI

mezzetti.sergio@gmail.com

RINGRAZIAMENTI

SI RINGRAZIANO LE SOCIETA':

G.D - Bologna

PRIMA INDUSTRIE – Collegno (TO)

PANASONIC ITALIA – Bussolengo (VR)

Per la cortesia e collaborazione

CASO DI STUDIO

Nd-YAG (a impulsi) $\alpha < \alpha_{\min}$

$\lambda = 1064 \text{ nm}$

$E = 4 \text{ J}$

$t = 1 \text{ ms}$

$f = 5 \text{ Hz}$

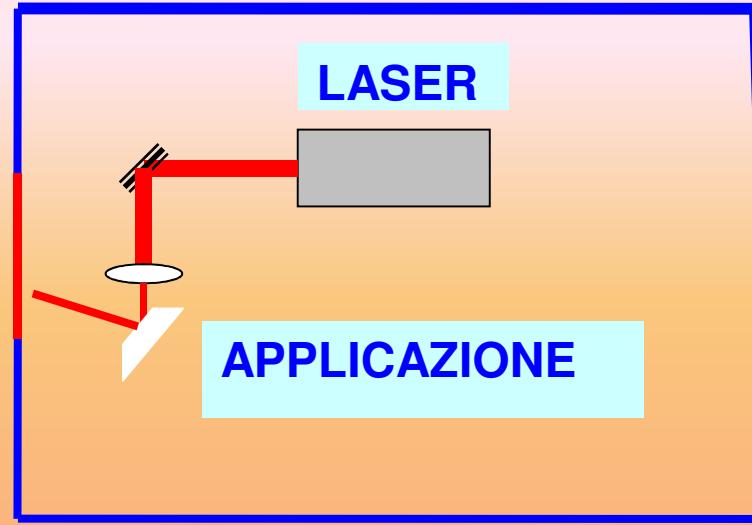
$a = 5 \text{ mm}$

$\text{div.} = 0.5 \text{ mrad}$

$T = 100 \text{ s}$

$F = 70 \text{ mm}$

Dimensionare le caratteristiche di uno schermo di protezione posto alla distanza di 1 metro dal punto di lavoro.



Procedure di calcolo schermi

EMP

RADIAZIONE ALL'OCCHIO DELL'OPERATORE

DENSITA' OTTICA → NUMERO DI SCALA

RADIAZIONE SCHERMO

STABILITA' ALLA RADIAZIONE

EMISSIONE SIGLA

TRENO D'IMPULSI $\Rightarrow T > t$

EMP (t) \Rightarrow **SINGOLO IMPULSO**

EMP (T/N) \Rightarrow **IMPULSO DI DURATA PARI AL
TEMPO DI ESPOSIZIONE MEDIA SUL
NUMERO DI IMPULSI**

EMP (treno) \Rightarrow **EMP (t) $\times C_5$**

(per $\lambda > 400 \text{ nm}$ e $t < 0.25 \text{ sec}$)

EMP (applicabile) = EMP minimo

CEI EN 60825-1	D. Leg. 81
C4	CA
C5	CP
C6	CE
C7	CC

If pulse duration $t \leq T_i$, then:

For maximum anticipated exposure duration less than or equal to 0,25 s

$$C_5 = 1,0$$

For maximum anticipated exposure duration larger than 0,25 s

If $N \leq 600 \quad C_5 = 1,0$

If $N > 600 \quad C_5 = 5 \cdot N^{-0,25}$ with a minimum value of $C_5 = 0,4$

If pulse duration $t > T_i$, then:

For $\alpha \leq 5$ mrad:

$$C_5 = 1,0$$

For $5 \text{ mrad} < \alpha \leq \alpha_{\max}$:

$$C_5 = N^{-0,25} \text{ for } N \leq 40$$

$$C_5 = 0,4 \text{ for } N > 40$$

For $\alpha > \alpha_{\max}$:

$$C_5 = N^{-0,25} \text{ for } N \leq 625$$

$$C_5 = 0,2 \text{ for } N > 625$$

Unless $\alpha > 100$ mrad, where $C_5 = 1,0$ in all cases.

Lunghezza d'onda (nm)	Ti (sec)
$400 \leq \lambda < 1050$	5×10^{-6}
$1050 \leq \lambda < 1400$	13×10^{-6}
$1400 \leq \lambda < 1500$	10^{-3}
$1500 \leq \lambda < 1800$	10
$1800 \leq \lambda < 2600$	10^{-3}
$2600 \leq \lambda < 10^{-6}$	10^{-7}

$$t = 1 \times 10^{-3} > Ti = 13 \times 10^{-6} \quad t > Ti$$

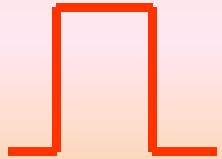
$$\alpha < \alpha_{\min} < 5 \text{ mrad}$$

$$C5 = Cp = 1$$

Valori di EMP per esposizione oculare diretta $C_6 = 1$ alla radiazione laser a livello di cornea

Esposizione t (sec) \Rightarrow	10^{-13}	10^{-11}	10^{-9}	10^{-7}	5×10^{-6}	13×10^{-6}	10^{-3}	10	10^2
λ (nm) \downarrow	10^{-11}	10^{-9}	10^{-7}	5×10^{-6}	13×10^{-6}	10^{-3}	10	10^2	3×10^4
$180 \div 302,5$	$3 \times 10^{10} \text{ W/m}^2$		30 J/m^2						
$302,5 \div 315$			$C_2 \text{ J/m}^2 (t > T_1)$						
$315 \div 400$			$C_1 \text{ J/m}^2 (t \leq T_1)$						
$400 \div 450$	$1 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2$		$2 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2$		$18 t^{0,75} \text{ J/m}^2$			100 J/m^2	$C_3 \text{ W/m}^2$
$450 \div 500$								$100 C_3 \text{ J/m}^2$	$C_3 \text{ W/m}^2$
$500 \div 700$								e	10 W/m^2
$700 \div 1050$	$1 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2$		$2 \times 10^{-3} C_4 \text{ J/m}^2$		$18 t^{0,75} C_4 \text{ J/m}^2$				10 W/m^2
$1050 \div 1400$	$1 \times 10^{-3} C_7 \text{ J/m}^2$			$2 \times 10^{-2} C_7 \text{ J/m}^2$		$90 t^{0,75} C_7 \text{ J/m}^2$			$10 C_4 C_7 \text{ W/m}^2$
$1400 \div 1500$	10^{12} W/m^2				10^3 J/m^2		$5600 t^{0,25} \text{ J/m}^2$		
$1500 \div 1800$	10^{13} W/m^2					10^4 J/m^2			
$1800 \div 2600$	10^{12} W/m^2				10^3 J/m^2		$5600 t^{0,25} \text{ J/m}^2$		
$2600 \div 10^6$	10^{11} W/m^2		100 J/m^2			$5600 t^{0,25} \text{ J/m}^2$			10^3 W/m^2

⇒ calcolo del valore di EMP applicabile



$t = 1 \text{ ms}$

$$\text{EMP}_{\text{SING}} = 90 t^{0.75} C_7 (\text{J/m}^2) =$$

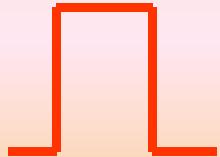
$C7 = CC = 1 (700-1150\text{nm})$

$$\text{EMP}_{\text{SING}} = 0,5 (\text{J/m}^2)$$

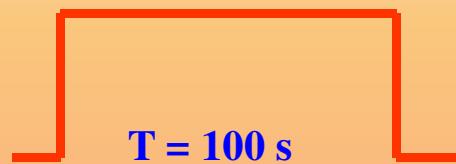
Valori di EMP per esposizione oculare diretta C₆ =1 alla radiazione laser a livello di cornea

Esposizione t (sec) \Rightarrow λ (nm) \downarrow	10^{-13} 10^{-11}	10^{-11} 10^{-9}	10^{-9} 10^{-7}	10^{-7} 5×10^{-6}	5×10^{-6} 13×10^{-6}	13×10^{-6} 10^{-3}	10^{-3} 10	10 10^2	10^2 3×10^4
180 \div 302,5	30 J/m^2								
302,5 \div 315	$C_2 \text{ J/m}^2 (t > T_1)$								$C_2 \text{ J/m}^2$
315 \div 400	$C_1 \text{ J/m}^2$								10^4 J/m^2
400 \div 450	100 J/m^2								$C_3 \text{ W/m}^2$
450 \div 500	$100 C_3 \text{ J/m}^2$								$C_3 \text{ W/m}^2$
500 \div 700	10 W/m^2								
700 \div 1050	10 W/m^2								
1050 \div 1400	$10 C_4 C_7 \text{ W/m}^2$								
1400 \div 1500	10^{12} W/m^2	10^3 J/m^2				$5600 t^{0,25} \text{ J/m}^2$	10^3 W/m^2		
1500 \div 1800	10^{13} W/m^2	10^4 J/m^2							
1800 \div 2600	10^{12} W/m^2	10^3 J/m^2				$5600 t^{0,25} \text{ J/m}^2$			
2600 \div 10^6	10^{11} W/m^2	100 J/m^2	$5600 t^{0,25} \text{ J/m}^2$						

⇒ calcolo del valore di EMP applicabile



$t = 1 \text{ ms}$



$T = 100 \text{ s}$

$$\text{EMP}_{\text{SING}} = 90 t^{0.75} C_6 C_7 (\text{J/m}^2) =$$

$$0,5 (\text{J/m}^2)$$

$$\text{EMP}_{\text{T/N}} = (10 C_4 C_7) / N (\text{W/m}^2)$$

$$N = f \times T = 5 \times 100 = 500$$

$$C4 = CA = 5 (1050-1400 \text{ nm})$$

$$C7 = CC = 1 (700- 1150 \text{ nm})$$

$$\text{EMP}_{\text{T/N}} = 0.10 (\text{W/m}^2) = 10 (\text{J/m}^2)$$

$$\text{EMP}_{\text{TRENO}} = \text{EMP}_{\text{SING}} \times C_5 (\text{J/m}^2) = \text{EMP}_{\text{SING}} = 0,5 (\text{J/m}^2)$$

⇒ calcolo radiazione all'occhio operatore

$$E_0 = f [E_L, a_r]$$

$$a_r = (a + r \varphi)$$

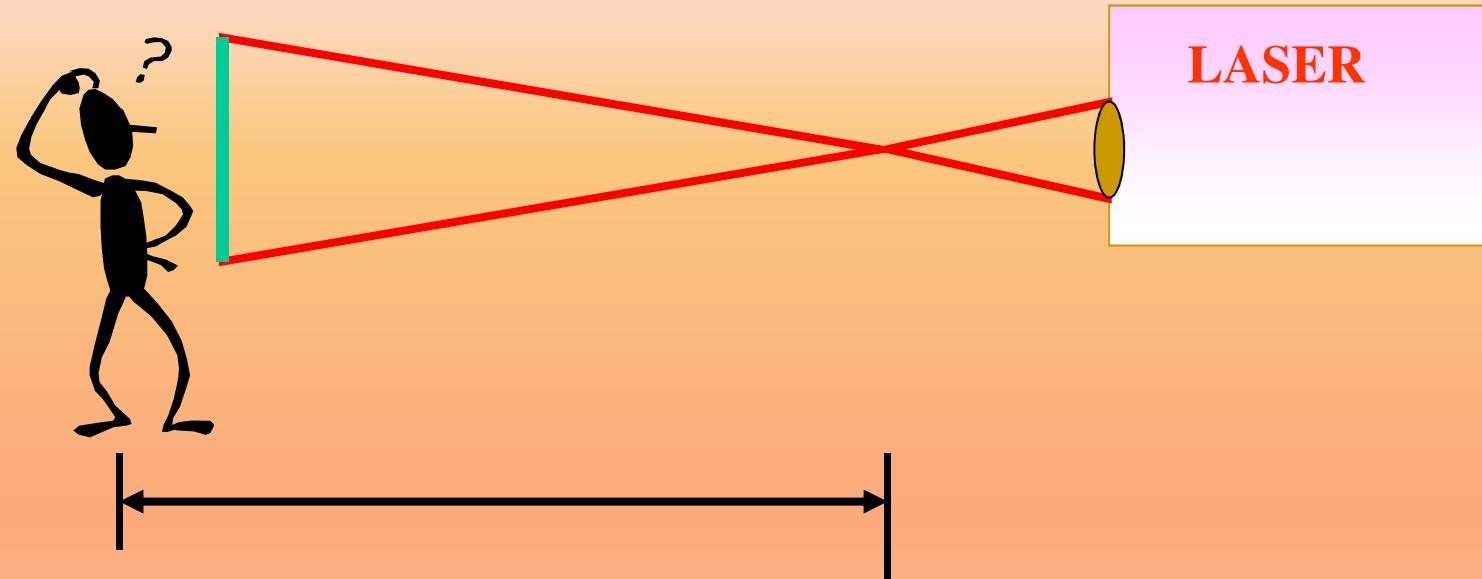
$$a_r < d_p \Rightarrow H_0 = [4 \times E_L / \pi (d_p)^2]$$

$$a_r > d_p \Rightarrow H_0 = [4 \times E_L / \pi (a_r)^2]$$

d_p = Diametro pupillare

nel range $400 \leq \lambda < 1400 \Rightarrow d_p = 7 \text{ mm}$

VISIONE DIRETTA DOPO FOCALIZZAZIONE



⇒ calcolo radiazione all'occhio operatore

a = puntiforme

div. = D/F = 5/70 = 71 mrad

r = 1 m (distanza laser/operatoro)

$$a_r = (a + r \varphi) \cong r \varphi = 71 \text{ mm} \Rightarrow a_r > d_p$$

Radiazione all'occhio

$$H_0 = [4 \times E_L / \pi (a_r)^2] = 10^3 (\text{J/m}^2)$$

calcolo della D.O. ⇒ Numero di Scala

$$D.O. = \log_{10} [H_0 / \text{EMP}]$$

$$D.O. = \log_{10} [10^3 / 0,5] = 3,3$$



Numero di Scala = 4 → A4

esposizione energetica al filtro H_F

$$H_F = [4 \times E_L / \pi (a_r)^2] = 10^3 (\text{J/m}^2)$$

Valutazione coefficiente correttivo per regimi impulsati (UNI EN 12254)

For pulsed lasers emitting at wavelengths equal to or greater than 400 nm the total number N of the pulses within 100 s should be determined.

After calculating the energy density H of the individual pulse it should be multiplied by $N/4$ ($H' = H \times N/4$). Thus with the resulting value H' the required scale number can be read from table B.1.

$$N(1/4) = 500 \quad (1/4) = 4,72$$

esposizione energetica filtro H'

$$H' = H_F \times 4,72 = 10^3 \times 4,72 \text{ (J/m}^2\text{)}$$

Applicazione fattore di correzione F

VETRO F1 = D^{1.1693}

PLASTICA F2 = D^{1.2233}

esposizione energetica filtro H”

VETRO H” = H' x F1 = 4,72 x 10³ x 146 = 689 x 10³ x (J/m²)

PLASTICA H” = H' x F2 = 4,72 x 10³ x 184 = 868 x 10³ x (J/m²)

A1 Table 2 — Scale numbers of screens for laser working places (maximum spectral transmittance and resistance to laser radiation)

Scale number	Maximum spectral transmittance at the laser wavelength $\tau(\lambda)$	Mean power (E) and single pulse energy density (H) for testing protective properties and resistance to laser radiation in the wavelength range									
		180 nm to 315 nm		> 315 nm to 1050 nm		> 1050 nm to 1400 nm		> 315 nm to 1400 nm		> 1400 nm to 10^6 nm	
		D	I, R $> 10^{-9}$ to 0,25	M	D	D	I, R $> 10^{-9}$ to 0,01	M	D	I, R $> 10^{-9}$ to 0,1	M $\leq 10^{-9}$
		E_D W/m ²	$H_{I, R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I, R}$ J/m ²	H_M J/m ²	E_D W/m ²	$H_{I, R}$ J/m ²	E_M W/m ²
A1	10^{-1}	0,01	$3 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^{11}$	10	$2,5 \cdot 10^2$	0,05	0,0015	10^4	10^3	10^{12}
A2	10^{-2}	0,1	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^{12}$	10^2	$2,5 \cdot 10^3$	0,5	0,015	10^5	10^4	10^{13}
A3	10^{-3}	1	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^{13}$	10^3	$2,5 \cdot 10^4$	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
A4	10^{-4}	10	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{14}$	10^4	$2,5 \cdot 10^5$	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
A5	10^{-5}	10^2	$3 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{15}$	10^5	$2,5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^2$	15	10^8	10^7	10^{16}
A6	10^{-6}	10^3	$3 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^{16}$	10^6	$2,5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
A7	10^{-7}	10^4	$3 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^{17}$	10^7	$2,5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
A8	10^{-8}	10^5	$3 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^{18}$	10^8	$2,5 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
A9	10^{-9}	10^6	$3 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{19}$	10^9	$2,5 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
A10	10^{-10}	10^7	$3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{20}$	10^{10}	$2,5 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

A1

valutazione stabilita' alla radiazione

Dal “Prospetto Tab 2” della Norma UNI EN 12254 si rivela che:

Per le condizioni operative Impulsate , NEL RANGE $315\text{nm} < \lambda \leq 1400\text{nm}$

$A4 \Rightarrow 50 \text{ (J/m}^2\text{)} \Rightarrow < H_F = 868 \times 10^3 \text{ (J/m}^2\text{)}$

A4 non garantisce adeguata protezione

Per le condizioni operative Impulsate , NEL RANGE $315\text{nm} < \lambda \leq 1400\text{nm}$

$A5 \Rightarrow 5 \times 10^2 \text{ (J/m}^2\text{)} \Rightarrow < H_F = 868 \times 10^3 \text{ (J/m}^2\text{)}$

A5 non garantisce adeguata protezione

valutazione stabilita' alla radiazione

Dal “Prospetto Tab 2” della Norma UNI EN 12254 si rivela che:

Per le condizioni operative Impulsate , NEL RANGE $315\text{nm} < \lambda \leq 1400\text{nm}$

$A6 \Rightarrow 5 \times 10^3 \text{ (J/m}^2\text{)} \Rightarrow < H_F = 868 \times 10^3 \text{ (J/m}^2\text{)}$

A6 non garantisce adeguata protezione

Per le condizioni operative Impulsate , NEL RANGE $315\text{nm} < \lambda \leq 1400\text{nm}$

$A7 \Rightarrow 5 \times 10^4 \text{ (J/m}^2\text{)} \Rightarrow < H_F = 868 \times 10^3 \text{ (J/m}^2\text{)}$

A7 non garantisce adeguata protezione

valutazione stabilita' alla radiazione

Dal “Prospetto Tab 2” della Norma UNI EN 12254 si rivela che:

Per le condizioni operative Impulsate , NEL RANGE $315\text{nm} < \lambda \leq 1400\text{nm}$
 $A8 \Rightarrow 5 \times 10^5 \text{ (J/m}^2\text{)} \Rightarrow < H_F = 868 \times 10^3 \text{ (J/m}^2\text{)}$

A8 non garantisce adeguata protezione

Per le condizioni operative Impulsate , NEL RANGE $315\text{nm} < \lambda \leq 1400\text{nm}$
 $A9 \Rightarrow 5 \times 10^6 \text{ (J/m}^2\text{)} \Rightarrow > H_F = 868 \times 10^3 \text{ (J/m}^2\text{)}$

A9 garantisce adeguata protezione

SIGLA DI IDENTIFICAZIONE: IR A9 1064

**ATTENZIONE – CONSULTARE SEMPRE IL
COSTRUTTORE PER LA SCELTA DEL
MATERIALE (vetro o plastica)**

Procedure di calcolo occhiali

EMP

RADIAZIONE ALL'OCCHIO DELL'OPERATORE

DENSITA' OTTICA → NUMERO DI SCALA

RADIAZIONE SCHERMO

STABILITA' ALLA RADIAZIONE

EMISSIONE SIGLA

Table 1 — Scale numbers (maximum spectral transmittance and resistance to laser radiation) of the filters and/or eye-protectors against laser radiations

Scale number	Maximum spectral transmittance at the laser wavelength $\tau(\lambda)$	Power (E) and energy (H) density for testing the protective effect and resistance to laser radiation in the wavelength range								
		180 nm to 315 nm			> 315 nm to 1 400 nm			> 1 400 nm to 1 000 µm		
		For test condition/pulse duration in seconds (s)								
		D $\geq 3 \times 10^4$	I, R 10^{-9} to 3×10^4	M $< 10^{-9}$	D $> 5 \times 10^{-4}$	I, R 10^{-9} to 5×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R 10^{-9} to 0,1	M $< 10^{-9}$
		E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	H_M J/m ²	E_D W/m ²	$H_{I,R}$ J/m ²	E_M W/m ²
LB1	10^{-1}	0,01	3×10^2	3×10^{11}	10^2	0,05	$1,5 \times 10^{-3}$	10^4	10^3	10^{12}
LB2	10^{-2}	0,1	3×10^3	3×10^{12}	10^3	0,5	$1,5 \times 10^{-2}$	10^5	10^4	10^{13}
LB3	10^{-3}	1	3×10^4	3×10^{13}	10^4	5	0,15	10^6	10^5	10^{14}
LB4	10^{-4}	10	3×10^5	3×10^{14}	10^5	50	1,5	10^7	10^6	10^{15}
LB5	10^{-5}	10^2	3×10^6	3×10^{15}	10^6	5×10^2	15	10^8	10^7	10^{16}
LB6	10^{-6}	10^3	3×10^7	3×10^{16}	10^7	5×10^3	$1,5 \times 10^2$	10^9	10^8	10^{17}
LB7	10^{-7}	10^4	3×10^8	3×10^{17}	10^8	5×10^4	$1,5 \times 10^3$	10^{10}	10^9	10^{18}
LB8	10^{-8}	10^5	3×10^9	3×10^{18}	10^9	5×10^5	$1,5 \times 10^4$	10^{11}	10^{10}	10^{19}
LB9	10^{-9}	10^6	3×10^{10}	3×10^{19}	10^{10}	5×10^6	$1,5 \times 10^5$	10^{12}	10^{11}	10^{20}
LB10	10^{-10}	10^7	3×10^{11}	3×10^{20}	10^{11}	5×10^7	$1,5 \times 10^6$	10^{13}	10^{12}	10^{21}

The symbols D, I, R and M relative to the test conditions are explained in Table 4.

CASI DI STUDIO

Determinare le specifiche della necessaria protezione oculare per allineare una cavità laser utilizzando una sorgente laser He-Ne con:
potenza emessa pari a 9 mW ,
diametro di fascio $a_0 = 1 \text{ mm}$
 $\text{div.} = 1 \text{ mrad}$

ATTENZIONE : allineamento solo laser visibili di classe 2.

**Non sono ammesse sorgenti che emettono al di fuori dell'intervallo
compreso tra 400 e 700 nm**

D.P.I. PROCEDURA DI CALCOLO - FILTRI “RB”

**1-Individuare il LEA applicabile
(dalle Tab. di classificazione)**

**2- Calcolo della D.O. del filtro “RB” idonea a
ridurre la Potenza (Energia) incidente ai livelli
previsti dal LEA**

**3- identificazione del Numero di Scala
(Tab. B.1 - UNI EN 208)**

4- Calcolo dell'irradiamento reale al filtro

**5- verifica requisiti di stabilità ottica (Tab. 2 - UNI
EN 208)**

6- emettere sigla di identificazione

LEA applicabile:

$$\text{LEA}_{\text{CL}_2} = 10^{-3} \text{ W}$$

Calcolo D.O.:

$$\text{D.O.} = \log_{10} [9 \times 10^{-3} / 10^{-3}] = 0.95$$

Numero di Scala:

RB1

Irradiamento al filtro:

$$\text{W EMESSI / area fascio} = 11459 \text{ W/m}^2$$

Stabilità alla rad.:

Sigla di identificazione:

D.P.I.

CALCOLO - FILTRI “RB”: esempio 1

$$W_{EMESSI} / \text{area fascio} = 2864 \text{ W/m}^2$$

STABILITA' OTTICA ALLA RADIAZIONE

N° di scala	Irradiamento (W / m ²)	Esposizione energetica (J / m ²)
RB1	10 ⁴	2
RB2	10 ⁵	20
RB3	10 ⁶	200
RB4	10 ⁷	2.000
RB5	10 ⁸	20.000

LEA applicabile:

$$\text{LEA}_{\text{CL}_2} = 10^{-3} \text{ W}$$

Calcolo D.O.:

$$\text{D.O.} = \log_{10} [9 \times 10^{-3} / 10^{-3}] = 0.95$$

Numero di Scala:

R1

Irradiamento al filtro:

$$W_{\text{EMESSI}} / \text{area fascio} = 11459 \text{ W/m}^2$$

Stabilità alla rad.:

10^4 W/m^2



Sigla di identificazione:

D.P.I.

CALCOLO - FILTRI “RB”: esempio 2

$$W_{EMESSI} / \text{area fascio} = 11459 \text{ W/m}^2$$

STABILITA' OTTICA ALLA RADIAZIONE

N° di scala	Irradiamento (W/ m ²)	Esposizione energetica (J/ m ²)
RB1	10 ⁴	2
RB2	10⁵	20
RB3	10 ⁶	200
RB4	10 ⁷	2.000
RB5	10 ⁸	20.000

Nuovo Numero di Scala:

RB2

Sigla di identificazione:

0.1W 2x10⁻⁵ J 633 RB2



Thank you