



RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

Radiazioni coerenti e non coerenti

A cura di Elio Giroletti
Dipartimento di Fisica, *Università di Pavia*



RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

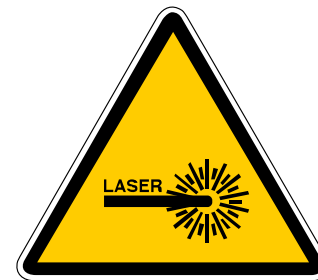
Radiazioni coerenti e non coerenti

Cosa sono? Quali effetti?

Misure di tutela, DPI e sorveglianza sanitaria

Uso dei laser e delle ROA

Normativa e riferimenti bibliografici – Appendice





ROA & LASER

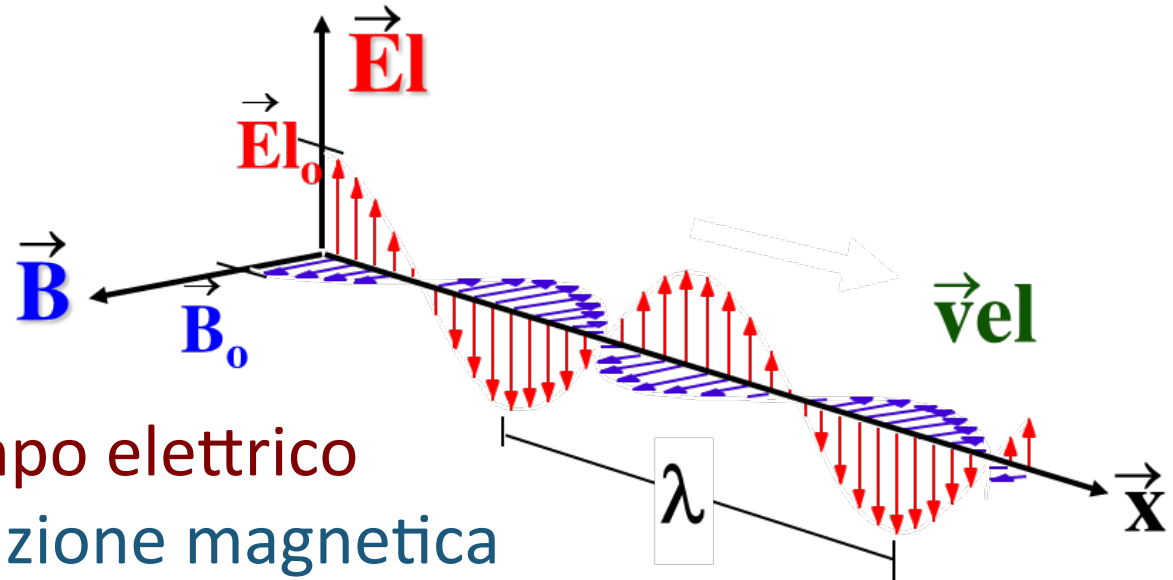
Onda elettromagnetica

- *frequenza*, ν [Hz= 1/sec]
- *lunghezza d' onda*, λ [m, nm]
- *periodo*, $T=1/\nu$ [s]
- *velocità*, $vel = \lambda\nu$ [m/s] – velocità nel vuoto, $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s
- *energia*, $E = h\nu$ [joule, J]

$$E = h\nu$$

$$vel = \lambda\nu$$

E = campo elettrico
 B = induzione magnetica





ROA & LASER

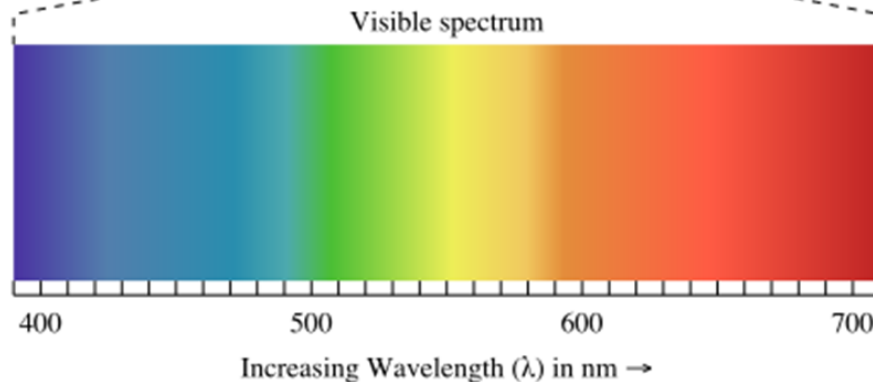
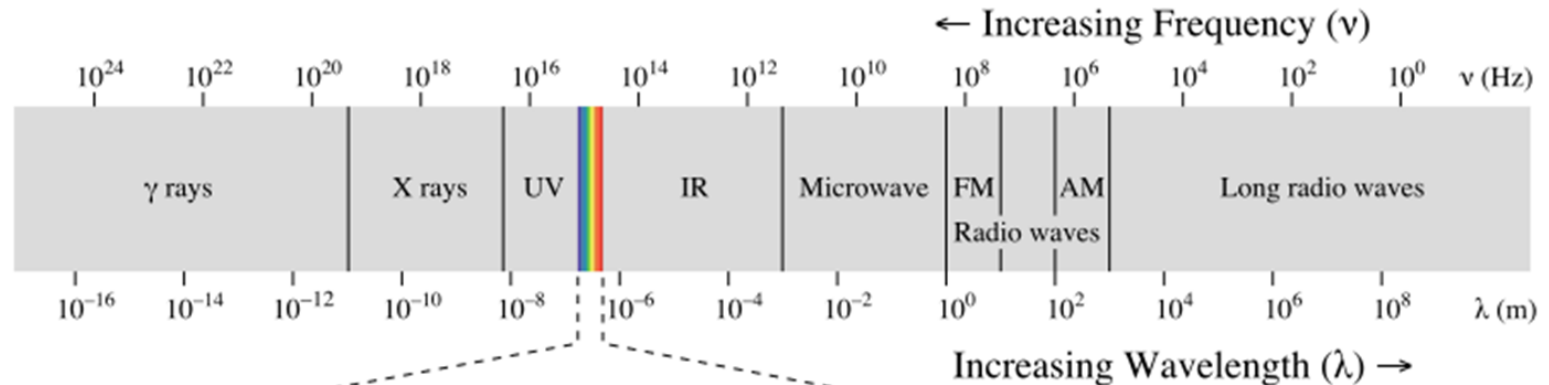
Spettro elettromagnetico

**radiazioni
ionizzanti**

radiazioni non ionizzanti

ROA

campi elettromagnetici



$$vel = \lambda \nu$$

$$E = h \nu$$



ROA & LASER

Spettro elettromagnetico

radiazioni ottiche

infrarossi

visibile

radiazioni UV

Banda	IR-C	IR-B	IR-A	VISIBILE	UV-A	UV-B	UV-C
λ (nm)	$10^5 \div 3000$	$3000 \div 1400$	$1400 \div 780$	$780 \div 400$	$400 \div 315$	$315 \div 280$	$280 \div 100$
ν (GHz)	$300 \div 0,4 \times 10^6$			$0,4 \times 10^6 \div 0,75 \times 10^6$	$0,75 \times 10^6 \div 3 \times 10^6$		
E (eV)	$\sim 10^{-3} \div 1,6$			$1,6 \div 3,3$	$3,3 \div 12$		

Rappresentazione delle bande spettrali delle radiazioni ottiche (ROA): spettro elettromagnetico fra 100 nm e 1 mm; lunghezze d'onda <100 nm sono radiazioni ionizzanti mentre lunghezze d'onda >1 mm si dicono comunemente campi elettromagnetici.



ROA & LASER

Definizioni

La definizione di “*radiazione ottica*” è dovuta al fatto che, in questo intervallo di lunghezza d’onda, si applicano le leggi dell’ottica classica (ottica geometrica, teoria approssimata di propagazione dell’onda - mediante raggi -), a prescindere dalla capacità del cervello umano di rilevare la radiazione ottica come “visibile” (es. UV e IR)

La definizione “*artificiale*” in quanto la norma non regola le radiazioni naturali, es. quelle solari

Le ROA sono *radiazioni NON ionizzanti*, NIR

Le ROA sono emesse anche dai laser



ROA & LASER

Effetti diretti e indiretti

La tipologia degli effetti diretti sull'uomo dipende dalla lunghezza d'onda della radiazione mentre l'intensità dell'irraggiamento incide sulla possibilità che questi effetti si verifichino e sulla loro gravità. *Due organi a rischio.* Esistono anche rischi indiretti, quali ad es.:

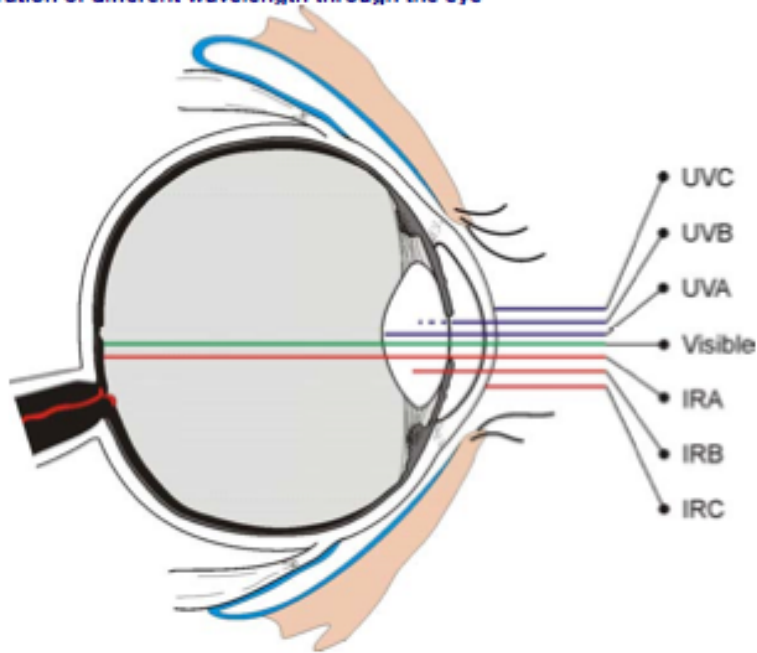
- sovraesposizione a luce visibile: disturbi temporanei visivi, quali abbagliamento, accecamento temporaneo;
- rischi di incendio e di esplosione innescati dalle sorgenti stesse e/o dal fascio di radiazione; stress termico, contatti con superfici calde,
- produzione di ozono (UV), ecc.



ROA & LASER

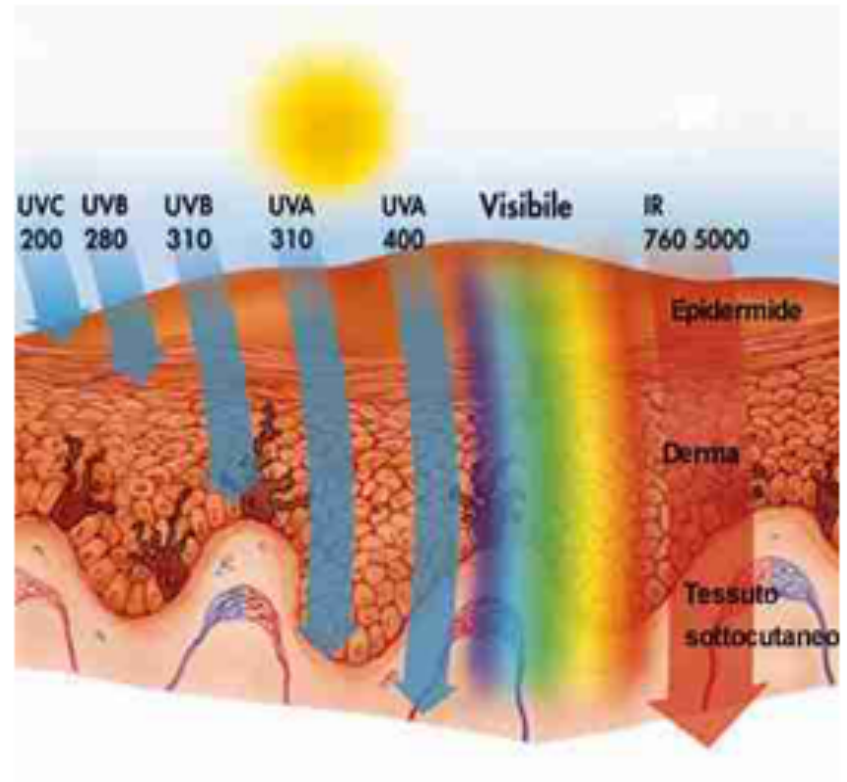
Organi a rischio

Penetration of different wavelength through the eye



occhio

pelle



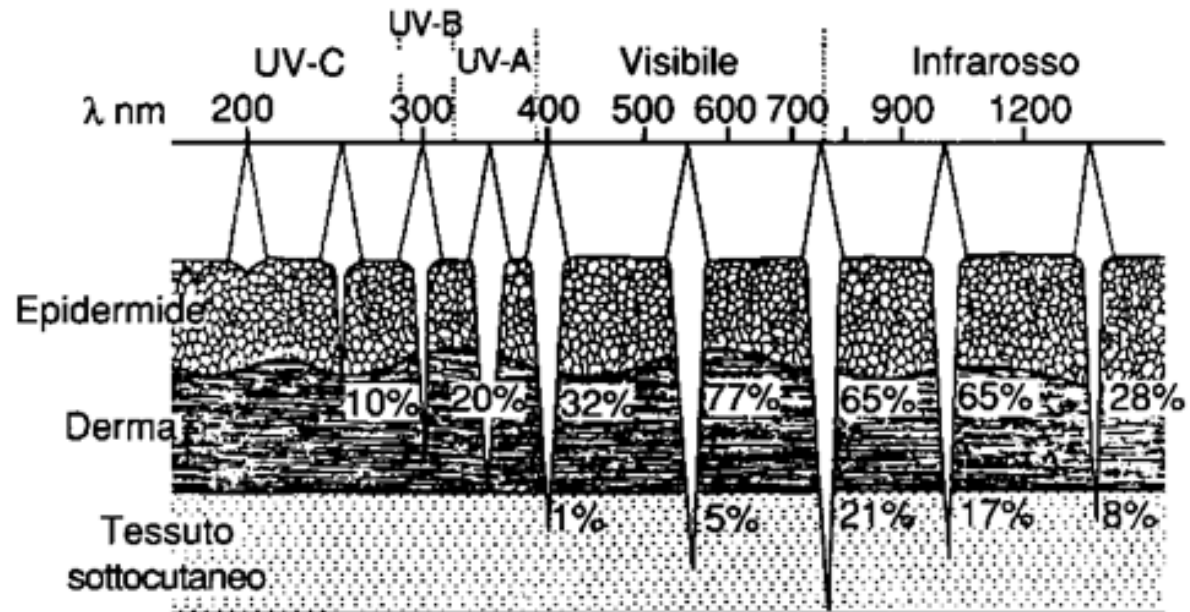


ROA & LASER

Penetrazione nella pelle

eritema

bruciature



ROA /LASER e **pelle**:

- capacità di penetrazione varia al variare delle frequenze
- alte frequenze = minore penetrazione



ROA & LASER

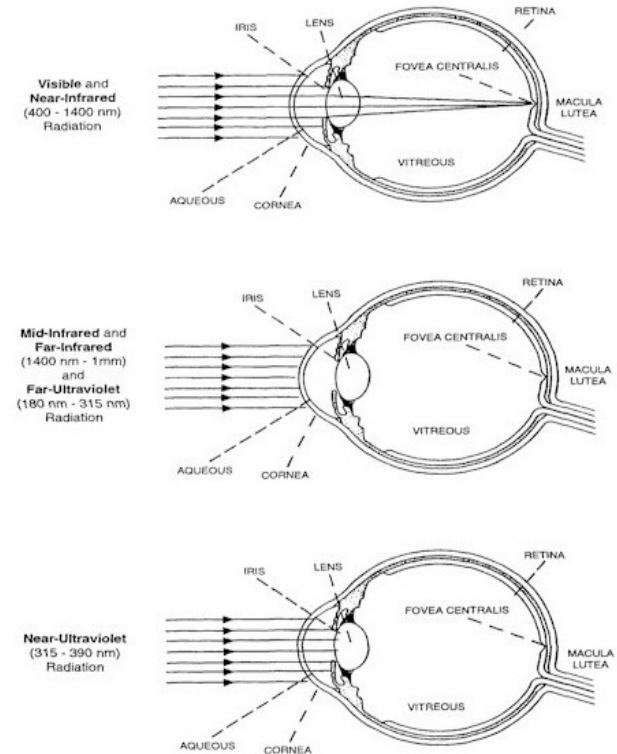
Penetrazione nell'occhio

Visibile e IR vicino (400-1400 nm)

IR medio e lontano (1400 nm – 1 mm)
UV lontano (100-315 nm)

UV vicino (315-380 nm)

OCULAR ABSORPTION SITE vs WAVELENGTH



ROA /LASER e **occhio**:

- capacità di penetrazione varia al variare delle frequenze

<http://web.princeton.edu/sites/ehs/laserguide>



ROA & LASER

Effetti sull'uomo

- **effetti di natura termica**
 - dipendono da: frequenza, potenza, durata, area colpita e vascolarizzazione del tessuto
 - 40-60°C: rallentamento reversibile funzioni biologiche
 - 60-100°C: necrosi, ebollizione ed evaporazione tessutale
 - >100°C: carbonizzazione tessutale
- **effetti di natura non termica**
 - fotochimico: formazione di nuove molecole
 - fotoacustico /meccanico: vibrazioni, espansioni, esplosioni, distruzioni tessutali, cellulari e subcellulari
 - elettrico: modificazioni costante dielettrica
- **due organi bersaglio**
 - occhio: lesioni retiniche e oculari anteriori (cataratta);
 - pelle: eritemi, ustioni di diverso grado e tumori



LASER

Luce coerente

Light Amplification Stimulated Emission of Radiation

- atomi sono allo stato eccitato (pompaggio) $\Rightarrow$
scariche elettriche o altro fenomeno fisico

Caratteristiche

- luce: monocromatica e coerente in fase
- alta collimazione: alta direzionalità e bassa divergenza
- possibile elevata intensità di energia del fascio

Tipi di sorgenti

- materiali solidi, liquidi, gassosi, semiconduttori

Frequenze emesse

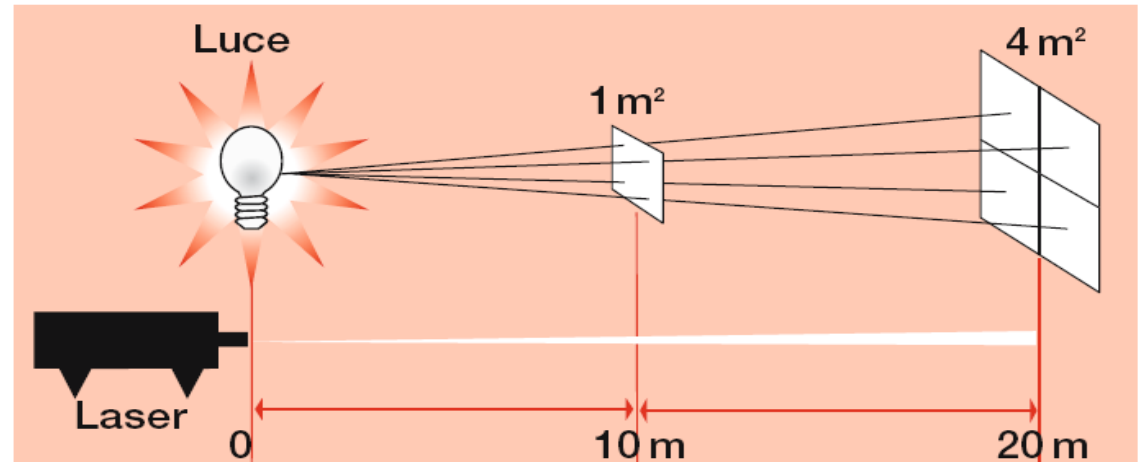
- diverse: in funzione del materiale sorgente utilizzato
- ROA: UV, visibile e infrarosso
- spesso sono frequenze accoppiate (non monocromatico)



LASER

Comportamento del fascio

La luce “normale” disperde la propria energia nello spazio, per cui l’eventuale pericolosità si riduce con la distanza



L’energia della luce laser **non** si disperde



LA PERICOLOSITA’ DEL LASER

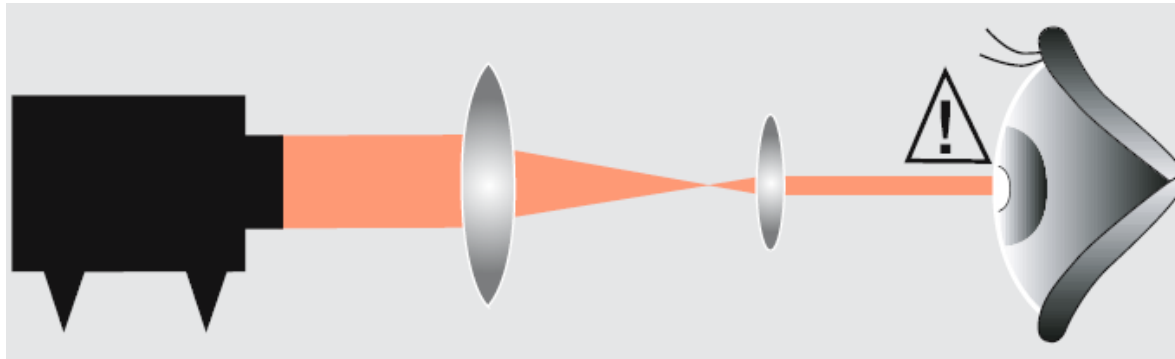
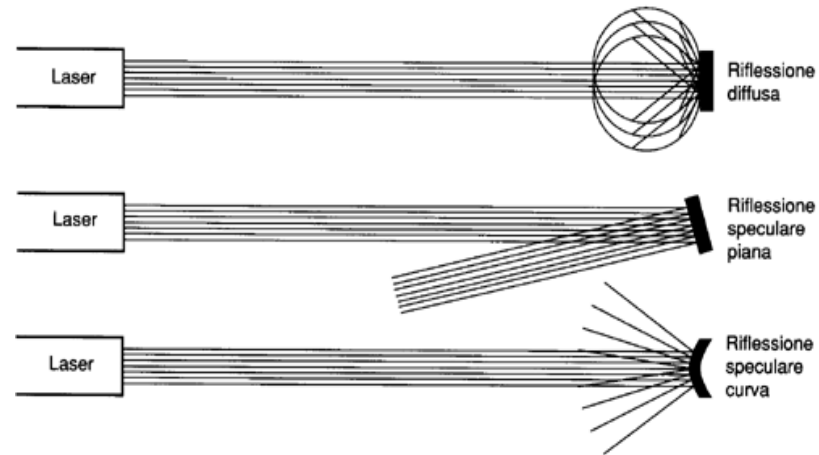
NON DIMINUISCE (SI MANTIENE) CON LA DISTANZA



LASER

Riflessioni e uso di ottiche

La luce laser riflessa
può essere pericolosa
(riflessione speculare
piana)



Le ottiche concentrano la luce e, pertanto,
possono aumentare la pericolosità del fascio laser



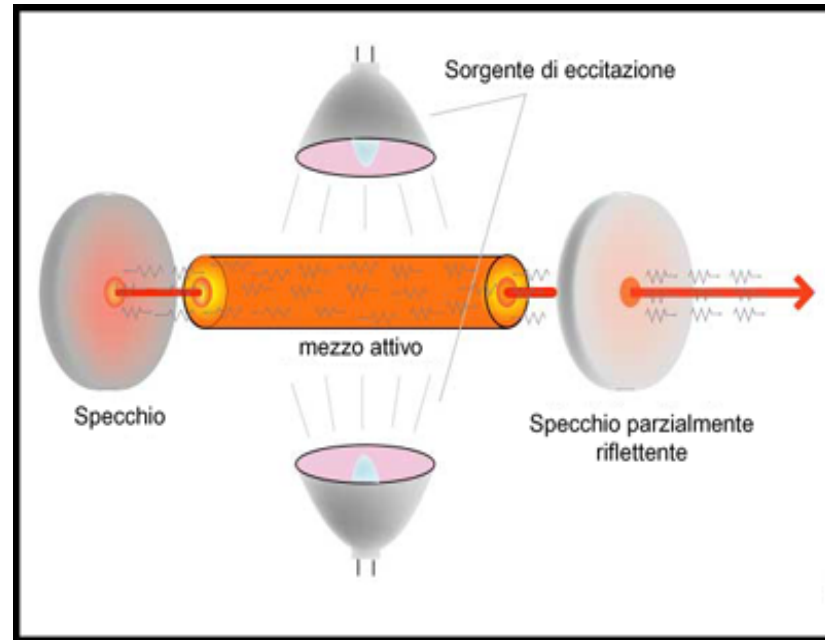
LASER

Sorgenti

Vi sono molteplici sorgenti di laser (e sempre più miniaturizzate), tra cui:

- a gas
- chimici (applicaz. militari)
- a coloranti
- a vapori metallici
- a stato solido
- a semiconduttori

la tecnologia avanza ...





LASER

Classificazione dei laser

Perché è importante?

La classe indica il livello di pericolosità della apparecchiatura laser (*nel suo insieme, non solo del laser*)

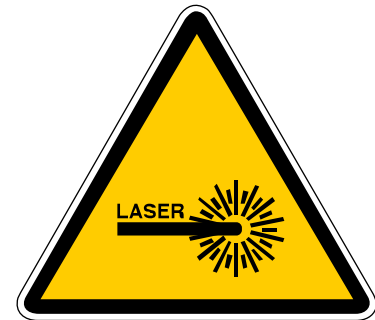
Su che cosa si basa?

La classe della apparecchiatura laser è definita in base a:

- contenuto energetico della radiazione (potenza)
- durata dell' emissione e dell' impulso
- lunghezza d' onda (o frequenza)
- divergenza fascio (dispersione fascio)
- tipo della sorgente (fascio accessibile o meno)
- protezioni intrinseche

Chi classifica?

Costruttore (e utilizzatore se fa delle modifiche)





LASER

Classificazione precedente

- **Classe 1**

- intrinsecamente sicura
- non occorre intervento di protezione

- **Classe 2**

- emettono radiazione a bassa potenza
- non occorre intervento di protezione

- **Classe 3A**

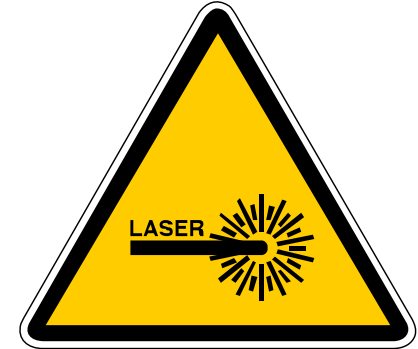
- sistemi sicuri se non osservati tramite ottiche – **può servire protezione se usati senza ottiche**

- **Classe 3B**

- esposizione diretta pericolosa, con e senza ottiche, ma non quella diffusa - **occorre un intervento di protezione**

- **Classe 4**

- sono sempre pericolosi esiste rischio incendio
- **servono sempre interventi di protezione**





LASER

Classificazione attuale

1	Sicuro
1M	Sicuro se si evita l'uso di ottiche
2	Luce visibile. Sicuro anche per visione incidentale, <0,25 s
2M	Luce visibile. Se si evita l'uso di ottiche è sicuro anche per visione incidentale, <0,25 s
3R	Non sicuro. Rischio è basso
3B	Pericoloso. Luce diretta è pericolosa. Luce riflessa (diffusa) non è pericolosa. Uso DPI
4	Pericoloso. Sia la luce diretta che quella riflessa (diffusa) sono pericolose. Possibile rischio incendio. Uso DPI



LASER

Classificazione: considerazioni

- apparecchiature contenenti laser di classe superiore possono essere classificate in classe inferiore a quella del laser se le precauzioni costruttive (microinterruttori, schermi, ecc.) assicurano la protezione intrinseca dell'operatore; ad esempio sono di classe 1 le apparecchiature:
 - cd-rom, DVD: contengono laser 3R o 3B
 - stampanti laser: contengono laser di classe 4
- generalmente
 - laser sono sorgenti puntiformi (ma non divergenti)
 - LED (es. puntatori) sono sorgenti estese, per cui sono in classe 1, 1M, 2 e 2M e a volte 3B



LASER

Puntatori laser

- colori emessi: rosso (632÷670 nm) e verde (532 nm)
- puntatori in commercio: molti sono classe 3R e 3B
- laser a luce verde (professionali) sono i più pericolosi
- quelli di classe 1 e 2 sono sicuri
- non è giustificato l'uso di puntatori di classe superiore a 2, per cui HPA consiglia di ritirarli dal mercato



professionale



Intercambiabili



selettori integrali



LASER

Rischi collaterali

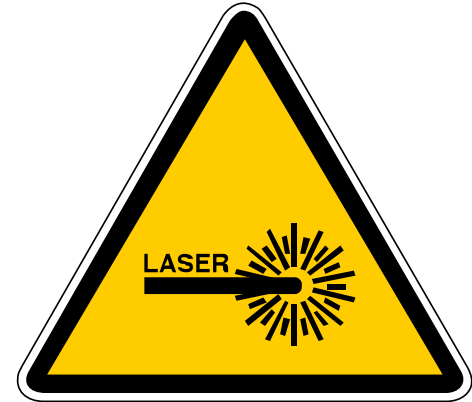
- radiazioni collaterali (multifrequenza)
- pericoli elettrici (es. banchi condensatori)
- agenti criogenici
- agenti chimici pericolosi o tossici
- combustioni e incendi (materiali infiammabili, gas endogeni e anestetici)
- surriscaldamento ferri chirurgici
- contaminazione dell'atmosfera, fumi tossici
- rischio biologico (escissione tessuto)
- radiazioni ionizzanti (laser elevata potenza e impulsati)



LASER

Misure di tutela

- Valutazione dei rischi
 - effettuata dal TSL /ASL (?)
 - frequenza: ogni 4 anni
- Elementi base da considerare, sono:
 - classificazione apparecchiatura
 - ubicazione apparecchiatura e presenza di persone
 - formazione e protezione del personale
 - percorsi dei fasci
 - performance dei fasci
 - presenza di oggetti riflettenti o di materiali combustibili
 - modalità di visione e uso di ottiche
 - rischi collaterali
 - manutenzioni





LASER

Misure di protezione

Misure di protezione sono definite dal TSL /ASL e, in funzione dell'uso e classificazione della apparecchiatura, comprendono:

- connettore di blocco
- arresto del fascio o attenuatore
- segnali di avvertimento e obbligo (uso DPI)
- evitare riflessioni (speculari e non)
 - attrezzi e superfici anodizzate
 - evitare oggetti metallici indossati
- barriere attive e passive
- coprire guaine con cotone pesante o alluminio
- dispositivi protezione individuale, DPI
 - occhi (occhiali, maschera) - pelle (vestiti - camice)
- formazione ed informazione
- eventuale sorveglianza sanitaria





LASER

Dispositivi di protezione individuale (DPI)

La scelta dei dispositivi di protezione individuale (DPI) per occhi e pelle dipende da:

- frequenza (o lunghezza onda)
- potenza media e impulsata
- densità ottica (attenuazione), DO

$$DO = \log_{10} \left(\frac{H}{EMP} \right)$$

dove H è esposizione e EMP è esposizione massima permessa, entrambe J/mq o watt/cm²



Ogni laser richiede il proprio DPI: occhio!



ROA: UV

Dispositivi di protezione individuale (DPI)

- occhiali (laser e UV):
porre attenzione alle frequenze
(i filtri sono codificati dalle norme)
- indumenti /camici /guanti per UV (efficacia)
- guanti per ridurre le correnti di contatto
- maschere per saldatura (UV, ecc.)
- protezione vie respiratorie
- eventuale produzione di ozono con UV





LASER

Tecnico sicurezza laser (TSL)

Tecnico Sicurezza Laser (TSL) /Addetto (ASL)

- ⇒ possiede le conoscenze per valutare e controllare i rischi causati dai laser (diretti e collaterali);
- ⇒ valuta il rischio esposizione
- ⇒ delimita la zona controllata
- ⇒ indica le misure di tutela e le procedure di sicurezza
- ⇒ indica i DPI (occhiali e indumenti)
- ⇒ responsabile della supervisione sul controllo dei rischi
- ⇒ collabora con DdL e RSPP per valutazione rischi



ROA & LASER

Sorveglianza sanitaria

La sorveglianza è opportuna quando è necessario limitare il tempo di esposizione alle ROA. Per i laser è effettuata in caso di notevole rischio” (cosa significa? a partire da laser di classe 3R o 3B indipendentemente dalla esposizione effettiva?).

Va basata sulla valutazione del rischio individuale e quindi della quantificazione dell’esposizione in termini di intensità e durata.

Il programma di sorveglianza sanitaria prevede:

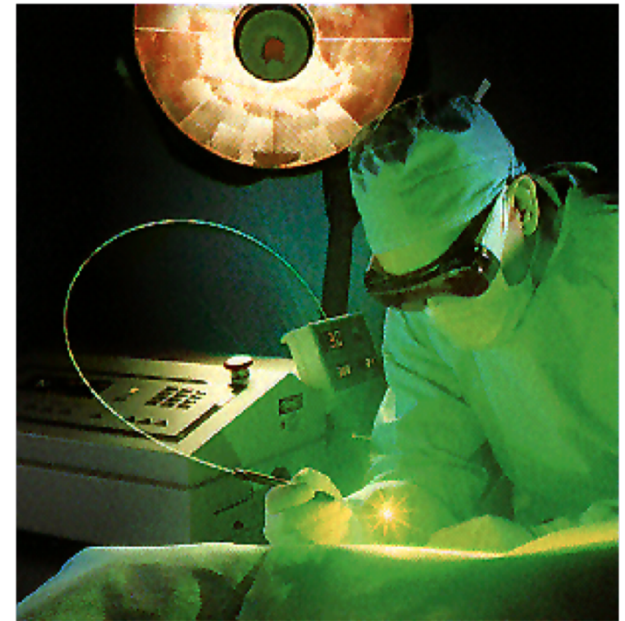
- valutazione dello stato di salute con riferimento all’idoneità alla mansione specifica (visita preventiva)
- visite periodiche per verificare il mantenimento della salute, con particolare riferimento agli organi bersaglio,
- visite mediche straordinarie, in presenza di sospetti segni clinici e in caso di esposizione accidentale



LASER

Applicazioni in medicina

- **chirurgia** (*di solito classe 4*)
 - *taglio, coagulazione e vaporizzazione tessuti*
 - *spesso sono invisibili (CO₂)*
- **fisioterapia** (*di solito classe 3B*)
 - *terapia dolori articolari e stati infiammatori*
 - *emissione nell'invisibile*
- **estetici** (*di solito classe 2 o 2M, ex 2*)
 - *stimolazione cutanea dei tessuti*
 - *di solito emissione nel visibile*

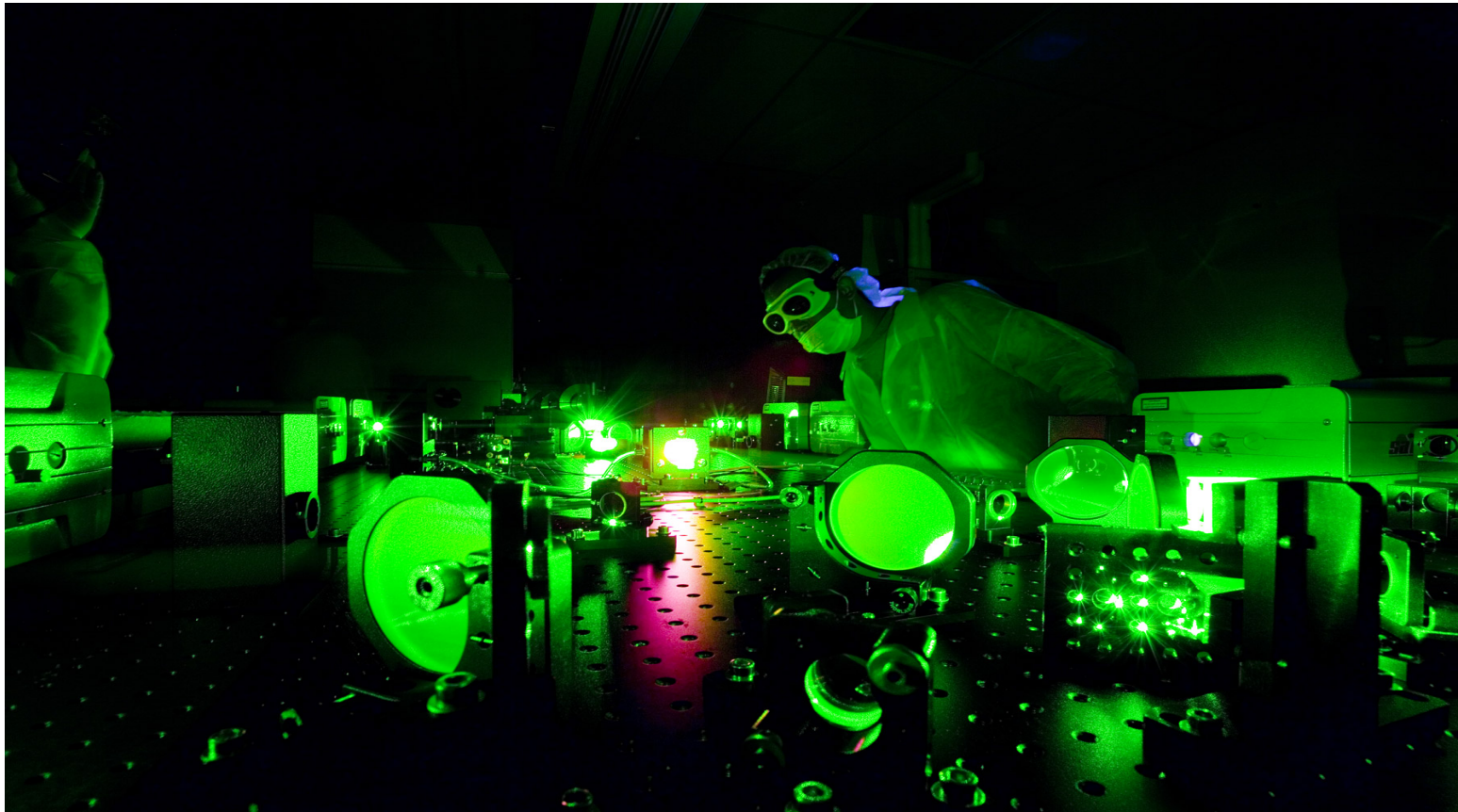




LASER

Applicazioni nella ricerca

Con laser a fascio libero il ruolo dell'operatore è fondamentale

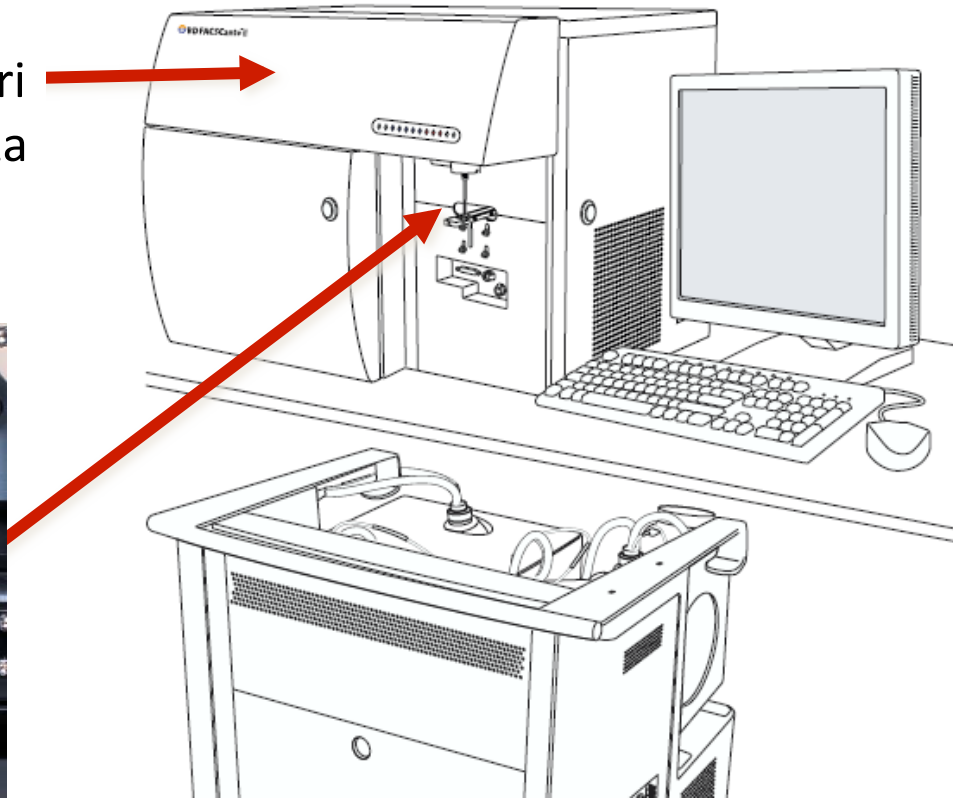
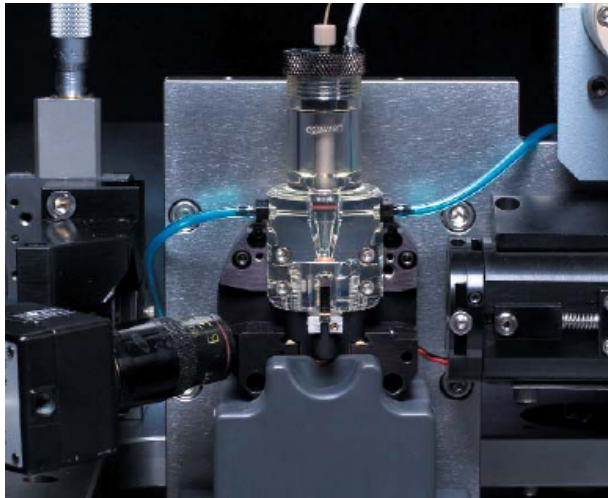




LASER

Applicazioni biomediche

microinterruttori
di sicurezza



- laser interno di classe IIIB
- apparecchiatura di classe 1

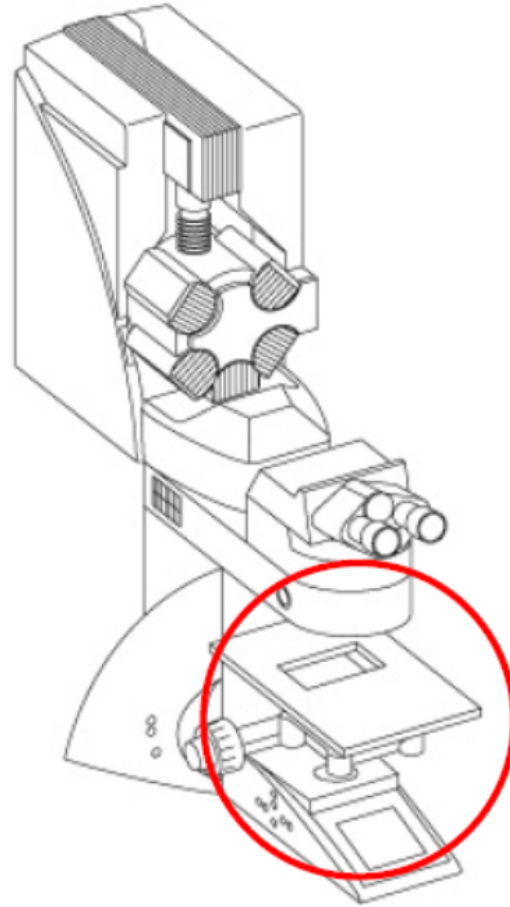
FacsCanto manual



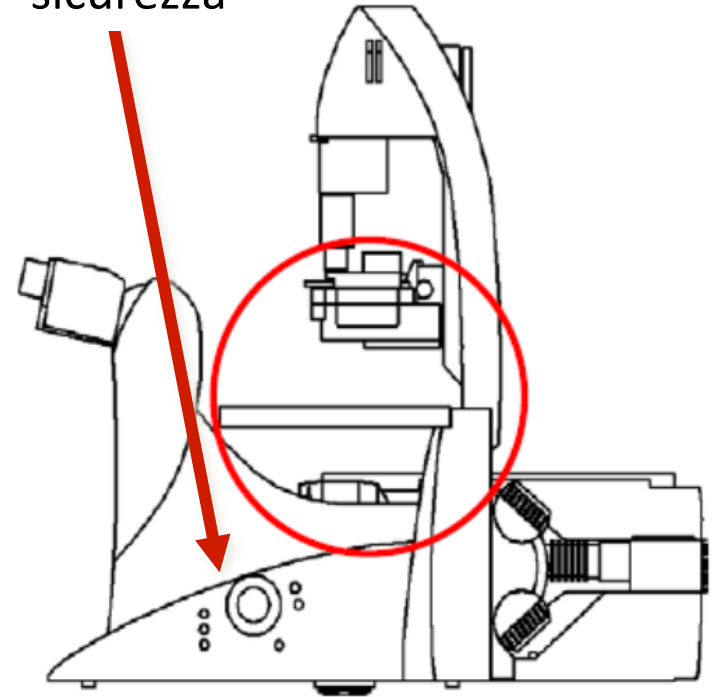
LASER

Applicazioni biomediche

microscopio
con focale



sistema di
sicurezza



laser di
classe IIIB e IV

e4.

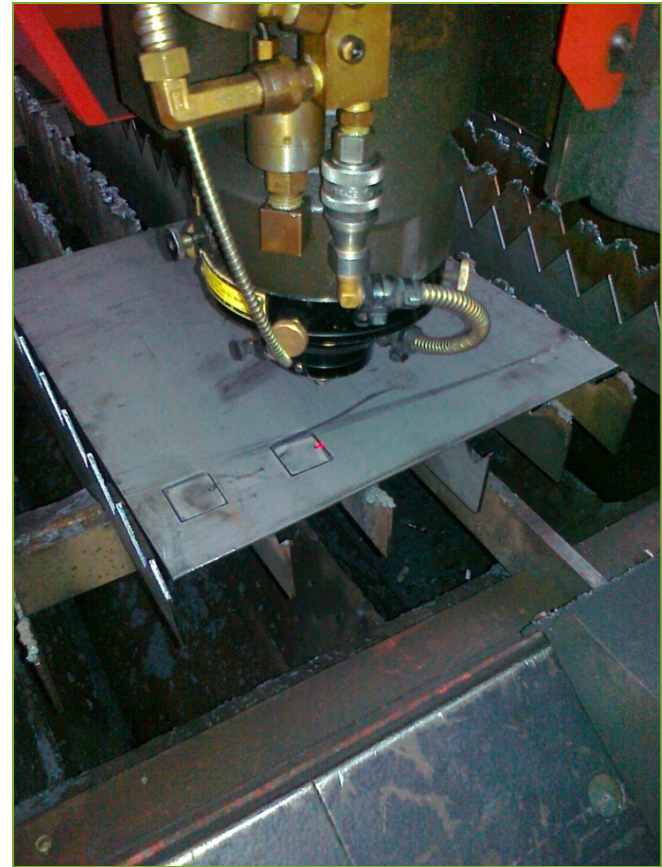
Zona campioni con stativo verticale e inverso



LASER

Applicazioni industriali

- lavorazione materiali
 - microelettronica
 - olografia
 - trasmissione dati
 - inquinamento
 - stampanti, lettori cd,
 - lettori codici
 - giochi di luce,
 - allineamento, scanner, livella
 - misura di distanze (interferometria)
 - ecc. ecc.
- ... la tecnologia avanza!





LASER

Nelle comunicazioni



Caratteristiche

- luce invisibile
- classe 3B

Manutentori
... attenzione!





ROA

Sorgenti ed applicazioni



NB: lampade alogene
protezione in vetro al quarzo



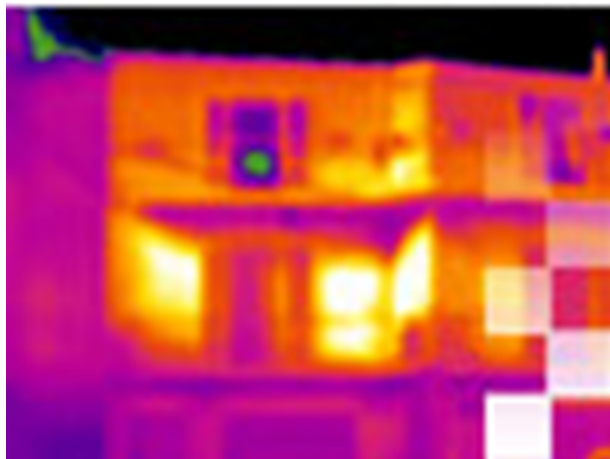


ROA

Sorgenti ed applicazioni

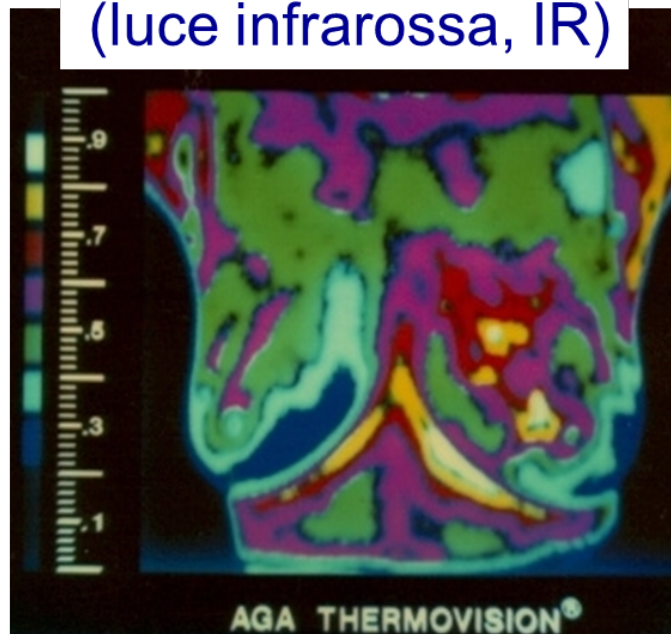


Luce visibile



Luce infrarossa

tomografia
tumore al seno
(luce infrarossa, IR)





ROA

Saldature

- Le radiazioni emesse dalle saldature
 - λ emesse comprendono buona parte dello spettro
 - λ emesse dipendono dal tipo di saldatura (gas, saldo-brasatura, ossitaglio -tenore di O)
 - UV, 5% energia emessa
 - assorbiti dalla cornea e congiuntiva: congiuntivite da saldatore
 - bruciature della pelle
 - Visibile, 25% energia emessa
 - arrivano alla retina
 - emicranie, abbagliamento, lesioni alla retina
 - IR, 70% energia emessa
 - 12% raggiunge retina: lesioni per il calore
 - cataratta da calore
 - riscaldamento della pelle del viso e mani





ROA: UV

Sorgenti in laboratorio



Lampade UV
germicida



ROA: UV

Sorgenti in laboratorio



SICURO

Transilluminatore



NON sicuro
usare schermo e DPI



ROA: UV

Esposizione popolazione

UV(A) sono cancerogeni (classe 1 IARC)

uso delle lampade abbronzanti

- incrementa incidenza dei tumori alla pelle
- invecchia la pelle (!!!)

è atteso un aumento dei melanomi!





ROA & LASER

Considerazioni finali

L'esposizione alle radiazioni ottiche artificiali (ROA: UV, visibile e infrarosso), luce coerente –laser- e non coerente, può essere pericoloso per:

- Pelle
- Occhi

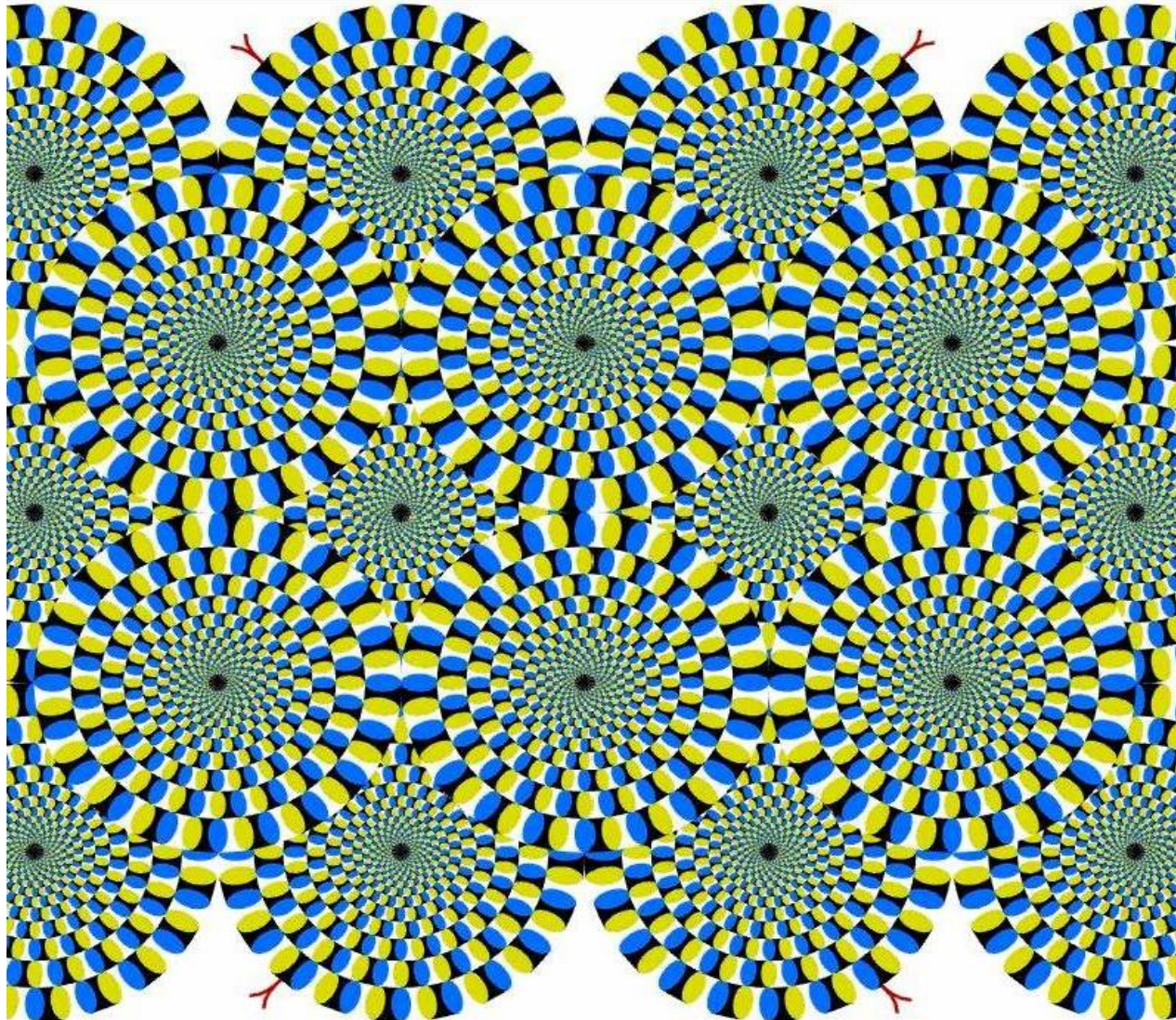
Protegersi è possibile attraverso:

- valutazione del rischio (laser: TSL /ASL) da ripetere ogni 4 anni
- Adeguate misure di tutela: fisiche, ambientali, di sistema e procedurali
- DPI (occhi e pelle): specifici per ciascuna sorgente
- Sorveglianza medica (esposizioni significative)
- Formazione del personale



ROA - LASER

Considerazioni

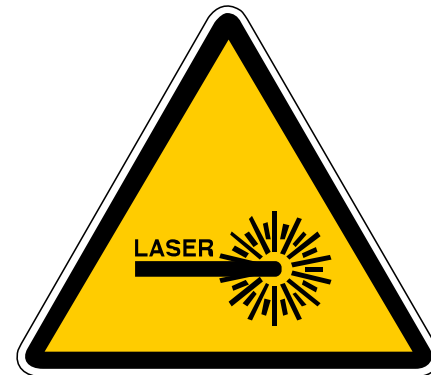




ROA – LASER

Appendici

- effetti diretti sull'uomo (specificati per frequenze)
- classificazione attuale dei laser (dettagli)
- lunghezze d'onda emesse da sorgenti laser
- definizioni per i laser
- limiti di esposizione individuale (ROA e laser)
- normativa e riferimenti





ROA & LASER

Effetti sull'uomo

1/2

Dominio spettrale	Occhio	Pelle
UV C (180 - 280 nm)	Fotocheratite	Eriteme (bruciature solari) Tumore pelle Invecchiam. precoce pelle
UV B (280 -315 nm)	Fotocheratite	Aumento pigmentazione Invecchiam. precoce pelle
UV A (315 - 400 nm)	Eff. foto-chimici - cataratta	Abbronzatura Bruciature pelle Invecchiamento precoce pelle
Visibile (400-780 nm)	Eff. foto-chimici e termici alla retina	Abbronzatura Reazioni fotosensibili Bruciatura della pelle



ROA & LASER

Effetti sull'uomo

2/2

Dominio spettrale	Occhio	Pelle
Infrarosso A (780 - 1400 nm)	Cataratta e Bruciatura retina	Bruciature pelle
Infrarosso B (1.4 μm - 3.0 μm)	Bruciatura cornea, cataratta	Bruciature pelle
Infrarosso C (3.0 μm - 1000 μm)	Bruciatura della sola cornea	Bruciatura pelle



LASER

La classificazione attuale

LE CLASSI 1

- **entrambe**
 - *emettono radiazione visibile e invisibile*
- **Classe 1**
 - *occhio sicuro sotto ogni condizione ragionevolmente prevedibile, **compreso impiego di ottiche** per visione del fascio*
 - *non occorre alcun intervento di protezione*
- **Classe 1M**
 - *protezione dell'occhio assicurata dalle reazioni difesa (es. riflesso palpebrale - 0,25 s)*
 - ***laser può essere pericoloso se il fascio è osservato con ottiche***



LASER

La classificazione attuale

LE CLASSI 2

- **entrambe**
 - *emettono solo nel visibile: 400÷700 nm*
 - *potrebbero anche contenere radiazione invisibile*
- **Classe 2**
 - protezione dell'occhio assicurata da reazioni difesa (es. riflesso palpebrale, 0,25 sec)
 - non occorre alcun intervento di protezione
- **Classe 2M**
 - *protezione dell'occhio assicurata dalle reazioni difesa (es. riflesso palpebrale), se non si utilizzano ottiche per visione diretta*
 - ***laser può essere pericoloso se osservato con ottiche***



LASER

La classificazione attuale

LE CLASSI 3 e 4

- **Classi 3R, 3B e classe 4**
 - *possono emettere radiazione visibile e invisibile*
- **Classe 3R**
 - *basso rischio (parzialmente sicura)*
 - *visione diretta del fascio è potenzialmente pericolosa, ma rischio inferiore alla classe 3B*
- **Classe 3B**
 - *pericolosi per l'occhio e per la pelle*
 - riflessioni **diffuse** normalmente sono sicure
- **Classe 4**
 - *anche le riflessioni possono essere pericolose*
 - *causano danni a occhio e pelle e incendio*
 - *estrema cautela e usare protezioni (!!!)*



LASER

Varie lunghezze d'onda, λ

1/2

Tipo di laser	λ (nm)
Fluoruro di Argon (ArFl)	193
Cloruro di Xenon (XeCl)	308 - 459
Fluoruro di Xenon (XeFl)	353 - 459
Elio Cadmio (HeCd)	325 - 442
Vapori di rame	511 - 578
Argon	457 - 528 (514,5 - 488 <i>più utilizzate</i>)
Frequenza doppia Nd:YAG	532
Elio Neon (HeNe)	543 – 594 - 612 - 632,8



LASER

Varie lunghezze d'onda, λ

2/2

Tipo di laser	λ (nm)
Krypton	337,5 ÷ 799,3 (647,1 – 676,4)
Ruby	694,3
Laser Diodes	630 – 950
Ti:Sapphire	690 – 960
Nd:YAG	1.064
Hydrogen Fluoride	2.600 – 3.000
Erbium:Glass	1.540
Carbon Monoxide	5.000 – 6.000
Carbon Dioxide	10.600



LASER

Definizioni

CW	Emissione continua – cioè non pulsata
Riflessione diffusa	riflessione della radiazione da una superficie rugosa (es. come la parete)
Sorgente estesa	ha una dimensione apparante angolare >1.5 mradiani – limiti ammessi più elevati rispetto alle sorgenti puntiformi
Sorgente puntiforme	Ha una dimensione apparente con dimensione angolare <1.5 mradiani
Strumenti ottici (ottiche)	Canocchiali, telescopi, microscopi, lenti di ingrandimento (<i>esclusi</i> i normali occhiali)
Occhio sicuro	Condizioni sicure per la retina (0,4-1,4 μm) e per la cornea (180 nm – 1 mm)



ROA - LASER

Limiti di esposizione

- i limiti sono definiti dal titolo VIII del d.Lgs 81/08 e smi
- allegato XXXVII fissa i valori limite per:
 - radiazioni ottiche incoerenti (parte I)
 - radiazioni laser (parte II)
- il rispetto dei limiti non è automaticamente legato alla classificazione dei laser
- sono definiti separatamente per
 - occhio
 - per esposizioni <10 sec (tab. 2.2 laser)
 - per esposizioni >10 sec (tab. 2.3 laser)
 - pelle – indipendente dal tempo (tab. 2.4 laser)
- definite specifiche per le esposizioni ripetute



ROA - LASER

Normativa e riferimenti

- riferimenti normativi
 - *titolo VIII del d.Lgs 81/08 e s.m.i.*
 - norme CEI-EN: 60825-1 del 2003 (sostituisce 1995); 76-1 del 1989 e 1284; 1381/G -1990 – per ricerca
- riferimenti bibliografici
 - *Prevenzione dai rischi da radiazioni non ionizzanti nella sanità*, reg. Lombardia, 2005
 - *NIR in medicina*, reg. Piemonte, 2001 cd-rom
 - www.lasersafety.co.uk
 - www.hps.org
 - www.suva.ch
 - www.unipv.it/safety



ROA - UV

Bibliografia

- d.Lgs 81/08 e s.m.i.: radiazioni ottiche
- IRPA/ICNIRP (Health Physics 56-6, 1989) “Proposed Change to the IRPA 1985 Guidelines on limits of exposure to Ultraviolet Radiation”
- IRPA/ICNIRP (Health Physics 71-6, 1996) “Guidelines on UV radiation exposure limits”
- ACGIH “Valori limite di soglia indici biologici di esposizione” – ultima edizione
- NRPB “Advice on protection against ultraviolet radiation, vol13 (2002) – www.nrpb.org (HPA)

