



CORSO PER TECNICO/ADDETTO SICUREZZA LASER, TSL/ASL

**Le radiazioni ottiche coerenti
in ambito sanitario**

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

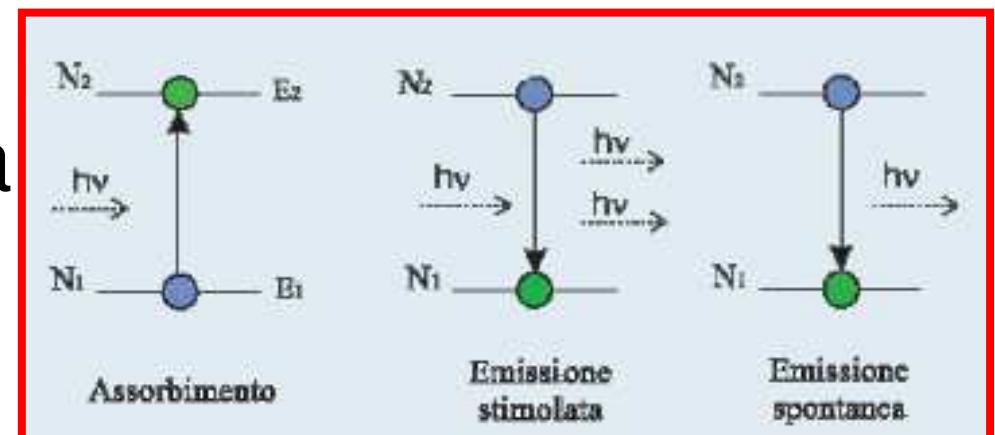
LE RADIAZIONI OTTICHE COERENTI IN AMBITO SANITARIO: ARGOMENTI

- Richiami di fisica
- Applicazioni terapeutiche
- Applicazioni diagnostiche
- Simulazione di un'attività sanitaria con individuazione dei rischi
- Misure di sicurezza e principi di assicurazione di qualità
- Stesura del documento di valutazione dei rischi
- Incidenti
- Esempi di calcolo
- Caso studio: dall'ingresso del laser alla stesura della relazione tecnica

INTERAZIONE RADIAZIONE ELETTRONMAGNETICA - MATERIA

L'interazione della radiazione elettromagnetica con la materia avviene mediante tre fenomeni fondamentali:

- assorbimento
- emissione stimolata
- emissione spontanea



ASSORBIMENTO

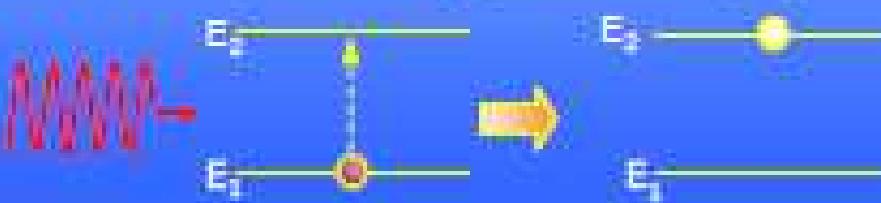
Assorbimento

Dr. Guido Toci

Flusso di fotoni incidenti F

$$\nu = (E_2 - E_1)/\hbar$$

Sistema atomico, 2 livelli $E_2 > E_1$,
(densità di popolazione N_1, N_2)



$$\frac{dN_2}{dt} = F \sigma N_1$$

Un atomo immerso in un flusso di fotoni F assorbe un fotone passando dal livello di energia minore E_1 al livello di energia maggiore E_2 .

La probabilità che si verifichi un evento di assorbimento è determinata dal flusso di fotoni F e dalla sezione d'urto di assorbimento σ_a

(F = numero fotoni per unità di tempo e superficie)

EMISSIONE SPONTANEA

Emissione spontanea

Dr. Guido Toci

Fotone emesso

$$\nu = (E_2 - E_1) / h$$
$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{N_2}{\tau}$$

Un atomo eccitato, dopo un certo tempo, decade spontaneamente ad un livello di energia inferiore E_1 , emettendo un fotone di energia pari al salto energetico: $E_2 - E_1$.

I fotoni emessi per emissione spontanea sono emessi in modo casuale (emissione incoerente).

La probabilità che si verifichi un evento di emissione spontanea è determinata da una costante di tempo tipica del sistema atomico, detta vita media radiativa τ

EMISSIONE STIMOLATA

Flusso di fotoni
incidenti F

Sistema atomico, 2 livelli $E_2 > E_1$,
(densità di popolazione N_1, N_2)

Dr. Guido Toci

Flusso di fotoni emessa



$$\frac{dN_1}{dt} = -F\sigma N_1$$

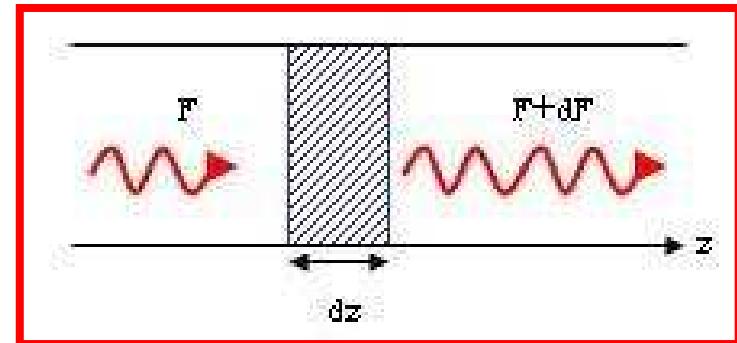
La presenza di fotoni incidenti aventi energia pari al salto energetico ($E_2 - E_1$) “forza” l’atomo eccitato a diseccitarsi emettendo un altro fotone identico a quello incidente, avente cioè:

- stessa lunghezza d’onda (e quindi stessa energia)
- stessa direzione e stessa fase (emissione coerente)

La probabilità che si verifichi un evento di emissione stimolata è determinata dal flusso F di fotoni incidenti e dalla sezione d’urto σ_{es} per emissione stimolata.

Einstein ha dimostrato nel 1917 che la sezione d’urto di assorbimento è uguale alla sezione d’urto per emissione stimolata: $\sigma_a = \sigma_{es} = \sigma$

LASER :Fisica



$$dF/dz = F\sigma (N_2 - N_1)$$

- se $N_1 > N_2$
 - $> 50\%$ dei fotoni incidenti viene assorbito
 - $< 50\%$ dei fotoni incidenti induce emissione stimolata
- se $N_2 = N_1$
 - 50% dei fotoni incidenti viene assorbito
 - 50% dei fotoni incidenti induce emissione stimolata
- se $N_2 > N_1$
 - $< 50\%$ dei fotoni incidenti viene assorbito
 - $> 50\%$ dei fotoni incidenti induce emissione stimolata

Il mezzo assorbe:
siamo in normali
condizioni di
equilibrio

Il mezzo risulta
trasparente alla
radiazione incidente

Il mezzo emette
luce, cioè amplifica
la radiazione
incidente

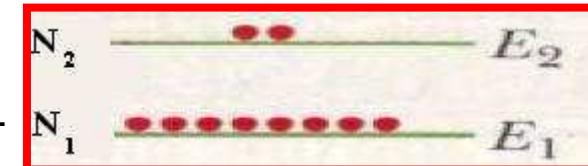
NB Sono stati trascurati gli effetti relativi ai decadimenti per emissione spontanea perché questi ultimi, emettendo in ogni direzione, danno un contributo trascurabile al flusso di fotoni che investe la materia in una specifica direzione

INVERSIONE DI POPOLAZIONE

In equilibrio termico le popolazioni dei livelli sono descritte dalla statistica di Boltzmann:

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{\frac{-(E_2 - E_1)}{kT}}$$

dato che $E_2 > E_1 \rightarrow$ è sempre $N_2 < N_1$

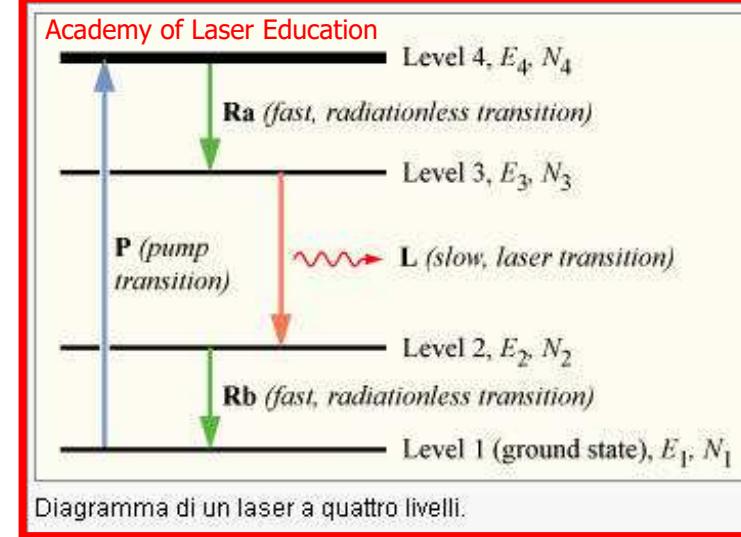
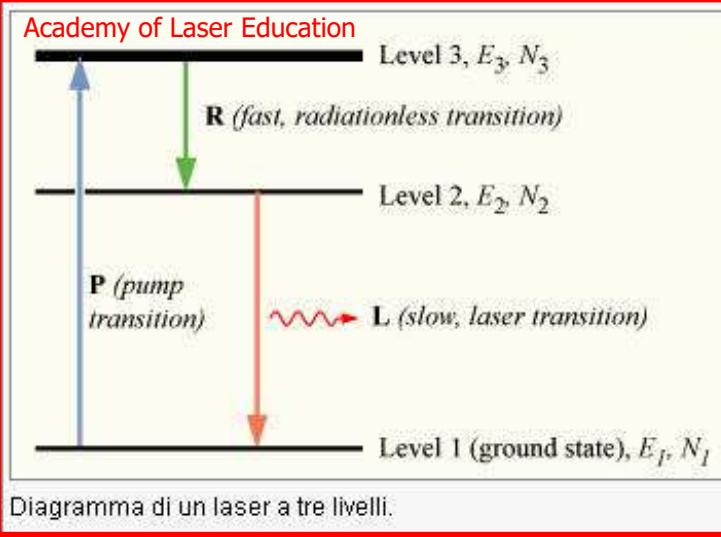


Il livello più popolato è quello di energia minore e il materiale agisce come un assorbitore.

Con un sistema a 2 livelli non si può realizzare una inversione di popolazione: servono sistemi a 3 o 4 livelli.

LASER :Fisica

Per realizzare un'inversione di popolazione servono materiali a 3 o più livelli:



CONDIZIONI PER LA PRODUZIONE DI RADIAZIONE LASER:

- lo stato eccitato (L2 in sistema a 3 livelli, L3 in sistema a 4 livelli) del sistema deve essere uno stato metastabile, cioè la sua vita media deve essere lunga ($\tau_m \approx 10^{-3}s$) rispetto all'usuale breve tempo degli stati eccitati ($\tau_e \approx 10^{-8}s$); in tal modo il suo riempimento, dovuto al decadimento veloce dallo stato eccitato superiore (L3 in sistema a 3 livelli, L4 in sistema a 4 livelli), è più rapido del suo svuotamento
- bisogna fornire energia (*sistema di pompaggio*)
- i fotoni emessi devono essere confinati nel sistema abbastanza a lungo da permettere ulteriori emissioni stimolate da parte di altri atomi eccitati (*risonatore ottico o cavità risonante ottica*)

CORSO PER TECNICO/ADDETTO SICUREZZA LASER, TSL/ASL

**Le radiazioni ottiche coerenti
in ambito sanitario:
applicazioni terapeutiche**

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

INTERAZIONE LASER TESSUTO

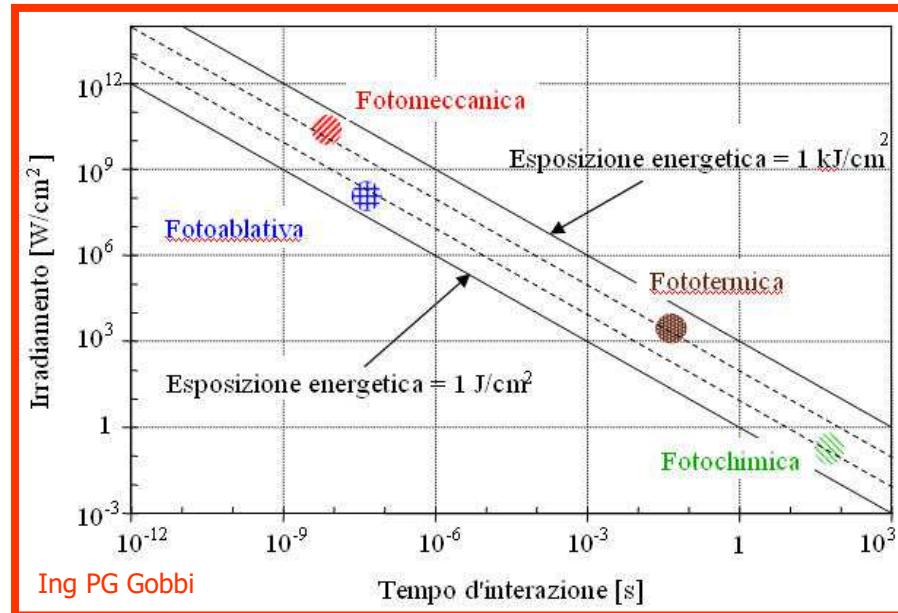
I parametri fondamentali per lo studio dell'interazione laser-tessuto sono:

- Lunghezza d'onda della radiazione
- Profondità di penetrazione della radiazione
- Densità di energia/potenza
- Tempo di esposizione
- Coefficienti di trasmissione e assorbimento nei tessuti

INTERAZIONE LASER TESSUTO

A parità di flusso di energia erogato, si hanno effetti diversi cambiando il tempo di interazione:

- **interazione fotochimica**
(rottura di legami molecolari)
- **interazione fototermica**
(riscaldamento del tessuto)
- **interazione fotoablativa**
(ablazione del tessuto senza provocare effetti termici nei tessuti adiacenti la zona trattata)
- **interazione fotomeccanica**
(il tessuto raggiunge temperature elevatissime e il gradiente termico che si genera provoca onde d'urto in grado di danneggiare i tessuti adiacenti)



Mappa di interazione medica: classifica i modi di utilizzo dei laser in base a densità di potenza e durata di esposizione

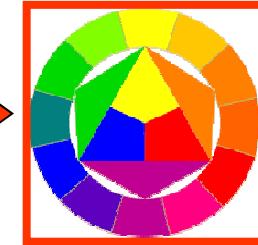
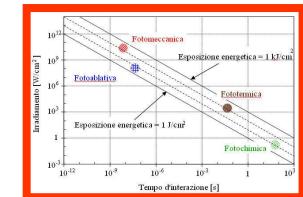
INTERAZIONE LASER TESSUTO

INTERAZIONE FOTOTERMICA

- TEORIA DELLA FOTOTERMOLISI SELETTIVA:

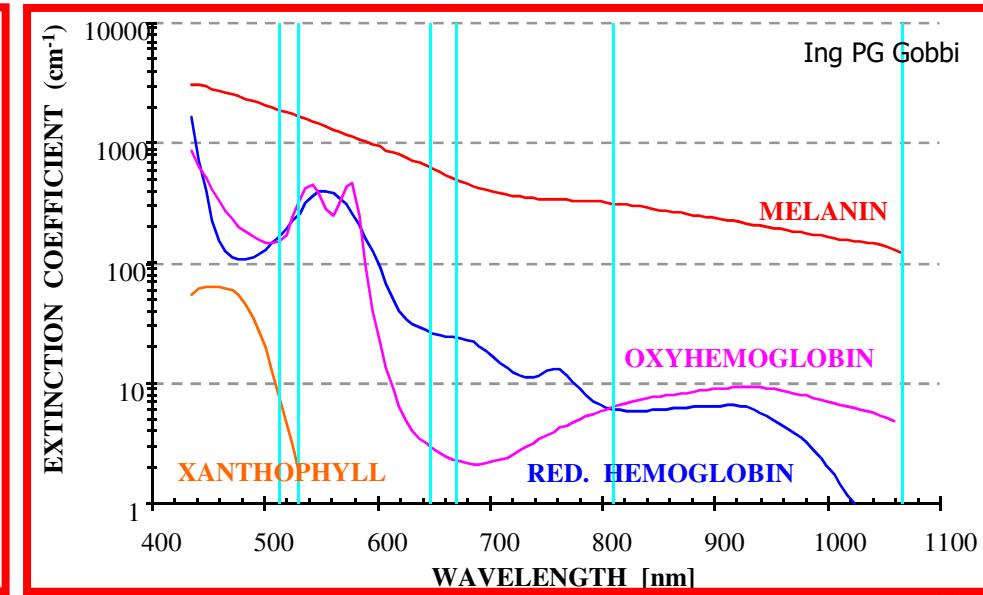
I cromofori possono essere danneggiati in modo selettivo da radiazione laser che:

- abbia λ opportuna (colore complementare a quello del cromoforo)
- venga erogata con impulsi di durata inferiore al Tempo di Rilassamento Termico (TRT)



TRT = tempo necessario al target per dissipare il 50% del calore assorbito

TARGET	DIMENSIONI (in μm)	TRT (approssimativo)
Melanosoma	0,5 - 1	1 μsec
Cellula	10	300 μsec
Vaso sanguigno	50	1 msec
	100	5 msec
	200	20 msec
Follicolo pilifero	200	20 msec
Epidermide	50	1 msec
Eritrocita	7	20 μsec
Particella di tatuaggio	0,1	10 nsec



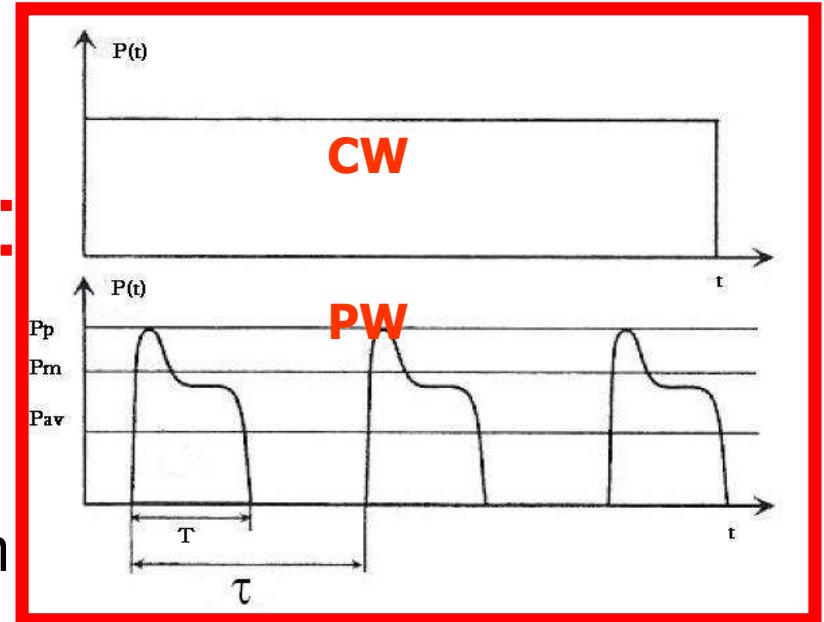
MODALITA' DI UTILIZZO DEI LASER:

I laser possono funzionare in:

- **CW**(Continuous Wave) o Continuo: la sorgente emette il fascio laser con una potenza costante nel tempo
- **PW**(Pulse Wave) o Pulsato : la sorgente emette potenza in modo discontinuo nel tempo, mediante impulsi o treni di impulsi uguali tra loro. Si ha: $P_{av}=P_p \times T \times v$

(ove: P_p = potenza di picco, P_m = potenza media del singolo impulso, P_{av} = potenza media degli impulsi, cioè potenza media emessa dalla sorgente, T = durata di un impulso, $v= 1/\tau$ = frequenza di emissione dell'impulso)

Si definisce **duty cycle**: $\delta = T/\tau$, cioè la % di tempo, rispetto a τ , in cui la sorgente emette radiazione laser.
Se $\delta = 100\%$ l'emissione è continua



LASER A IMPULSI

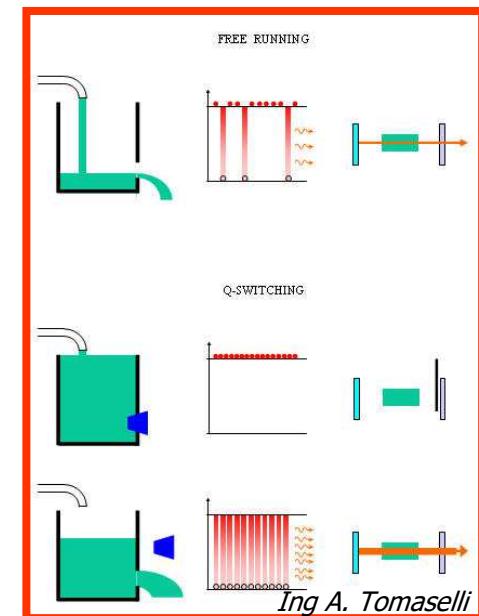
I funzionamenti impulsati più sfruttati in ambito sanitario sono:

- **Free running**: impulsi con durata uguale all'impulso di pompaggio (ms)
- **Q-Switching**: impulsi di durata molto breve (ns) e di potenza di picco molto elevata

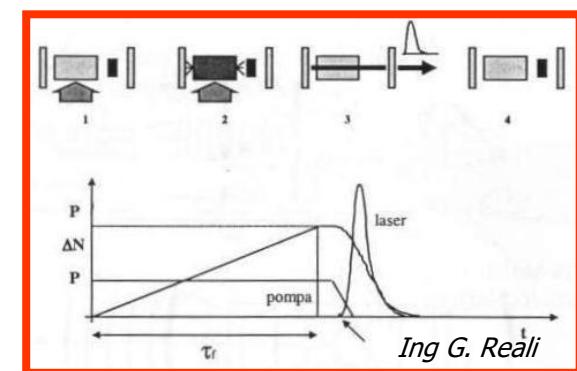
(ottenuti introducendo un otturatore in cavità in modo da impedire l'azione laser per un certo tempo; in questo modo il mezzo attivo immagazzina l'energia fornita dal sistema di pompaggio producendo, alla chiusura dell'otturatore, una brusca caduta di popolazione che genera un impulso molto energetico)

- **Mode Locking**: impulsi di durata brevissima (ps e fs) con picchi di potenza elevatissima

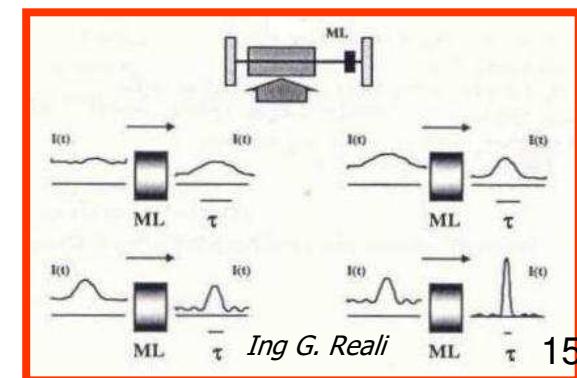
(ottenuti utilizzando modulatori di fase che filtrano le intensità più basse amplificando solo i picchi a intensità più elevata. Dopo più passaggi attraverso il modulatore si ottengono impulsi molto corti e di alta intensità)



Ing A. Tomaselli



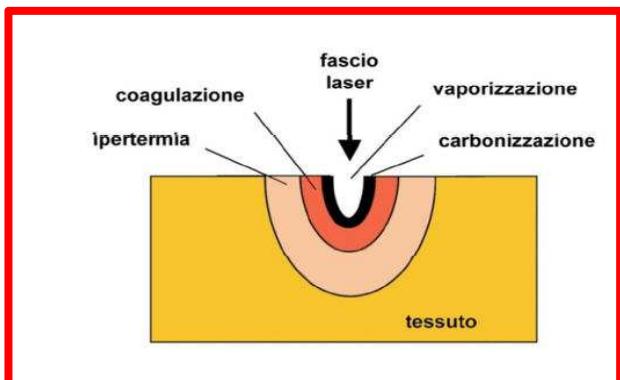
Ing G. Reali



Ing G. Reali

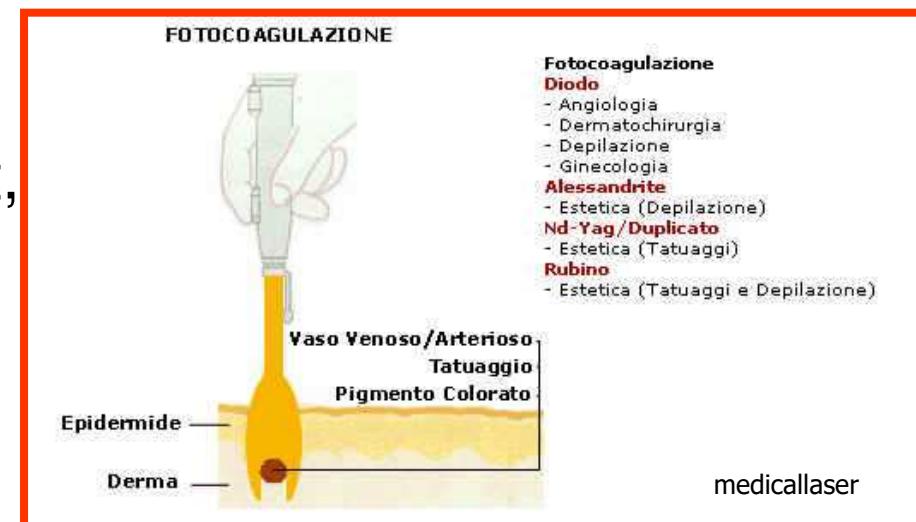
MODALITA' DI UTILIZZO DEI LASER

- Applicando densità di potenza molto elevate si provoca riscaldamento del tessuto:
 - se il riscaldamento è graduale si ha coagulazione del tessuto
 - se il riscaldamento è veloce si ha vaporizzazione del tessuto
- Utilizzando densità di potenza elevate con il laser in modalità Q-switching (impulsi dell'ordine dei ns-ps) il riscaldamento è così rapido ed elevato che il bersaglio “esplode”-> viene distrutto selettivamente il target, risparmiando la superficie



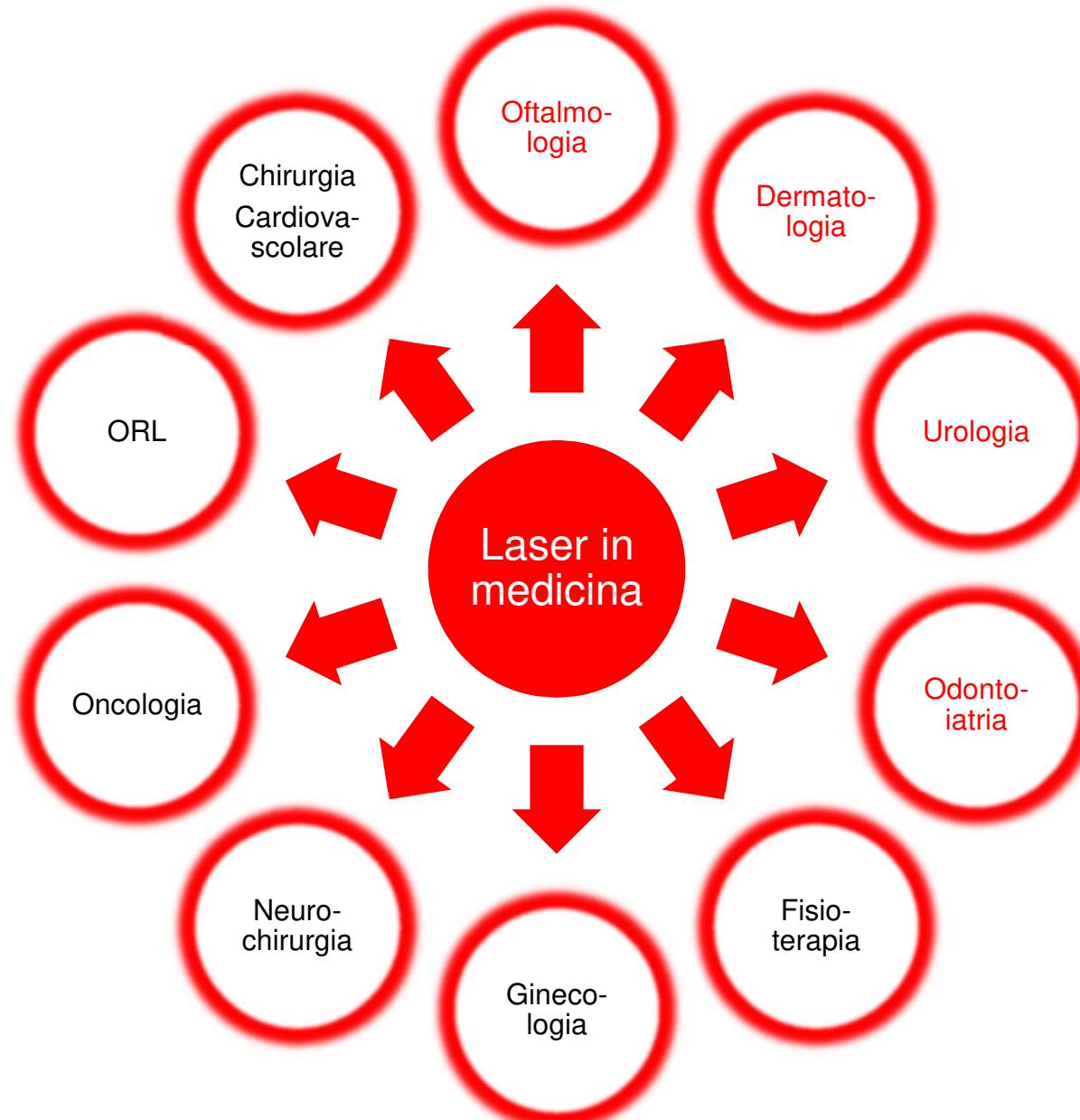
Localizzazione degli effetti termici nel tessuto biologico

Dr Roberto Pini



Coagulazione ($\approx 70^\circ$): necrosi cellulare
Vaporizzazione ($> 100^\circ$): riscaldamento con rilascio di vapore acqueo

APPLICAZIONI LASER MEDICALI



APPLICAZIONI: Oftalmologia

L'**oftalmologia** è la branca della medicina che per prima ha sfruttato il laser, e ancora oggi è quella che più ne usufruisce, sfruttando tutti i tipi di interazione:

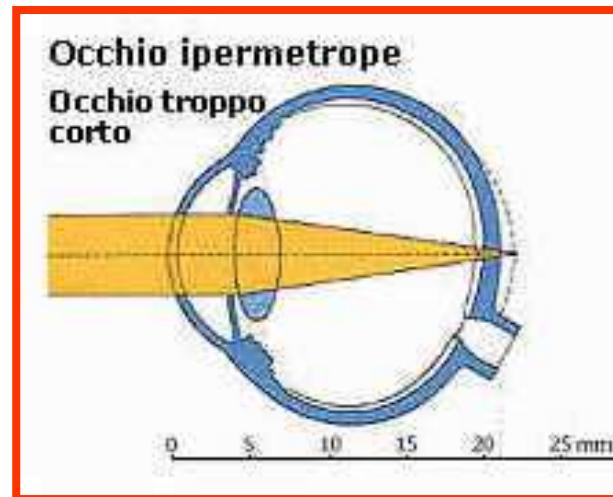
- Interazione fotoablativa: chirurgia rifrattiva:
laser ad eccimeri (ArFI , $\lambda=193\text{nm}$)
- Interazione fototermica: trattamento del glaucoma cronico, retinopatia diabetica, profilassi del distacco retinico, malattie degenerative della macula:
Ar ($\lambda=514.4\text{nm}$), **Kr** ($\lambda=647\text{nm}$), **diodi** ($\lambda=780-840\text{nm}$),
Nd:YAG 2ω ($\lambda=532\text{nm}$)
- Interazione fotomeccanica: capsulotomia posteriore in cataratta secondaria; iridectomia in glaucoma ad angolo stretto: **Q-switching Nd:YAG** ($\lambda=1064\text{nm}$)
- Interazione fotochimica: trattamento delle membrane neovascolari nella degenerazione maculare legata all'età: **diodi** a emissione nel VIS

APPLICAZIONI: Oftalmologia

Chirurgia rifrattiva

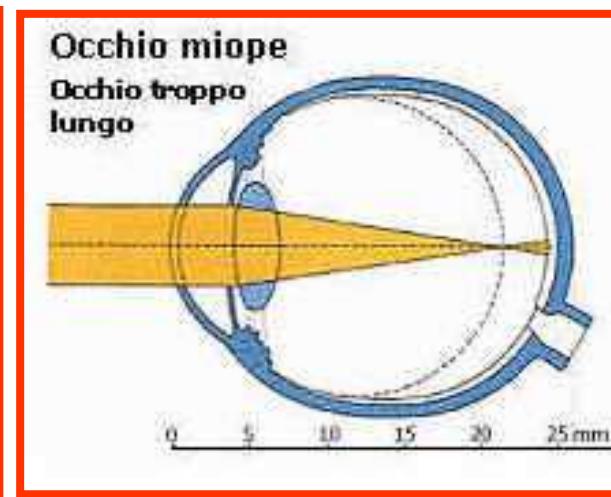
- Agisce modificando la forma della cornea (che focalizza le immagini sulla retina) in modo correggere il difetto di focalizzazione (ipermetropia, miopia e/o astigmatismo).

Cornea troppo piatta: rimodellamento periferico della cornea per aumentarne la curvatura centrale



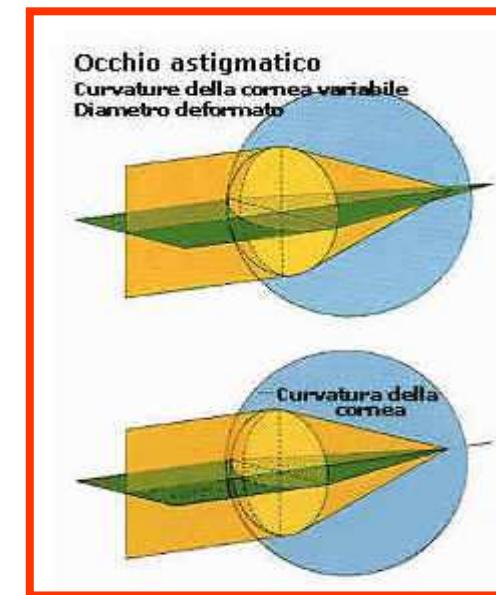
Dott. Fabio Amorelli

Cornea troppo curva: appiattimento centrale della cornea



Dott. Fabio Amorelli

Cornea asimmetrica: viene resa simmetrica



APPLICAZIONI: Oftalmologia—Ch rifrattiva

PRK:cheratectomia fotorifrattiva

LASIK:cheratomileusi in situ laser-assistita

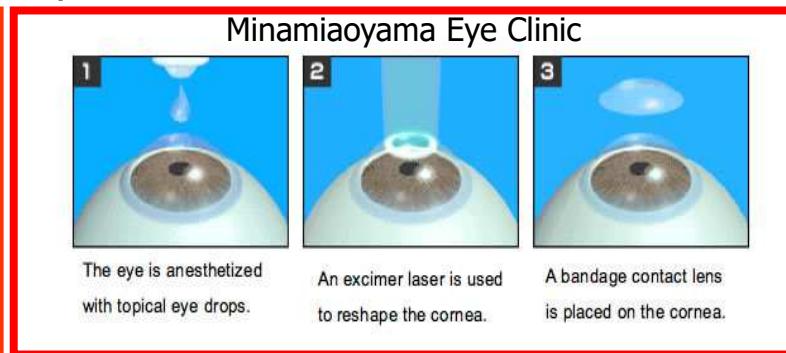


Prof Leonardo Mastropasqua

LASEK:cheratomileusi epiteliale laser-assistita

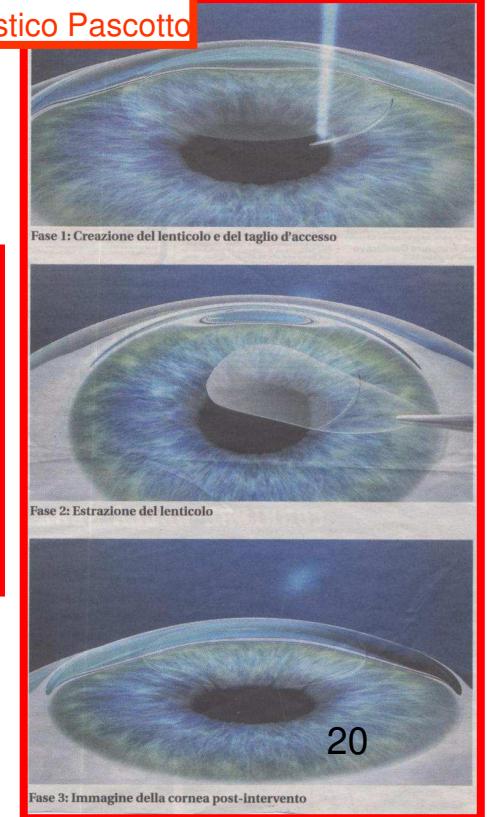


EPI-LASIK: cheratomileusi epiteliale in situ laser-assistita



La variazione della curvatura della cornea modifica il potere rifrattivo dell'occhio correggendo i difetti visivi

ReLEX:
Refractive
Lenticule
Extraction



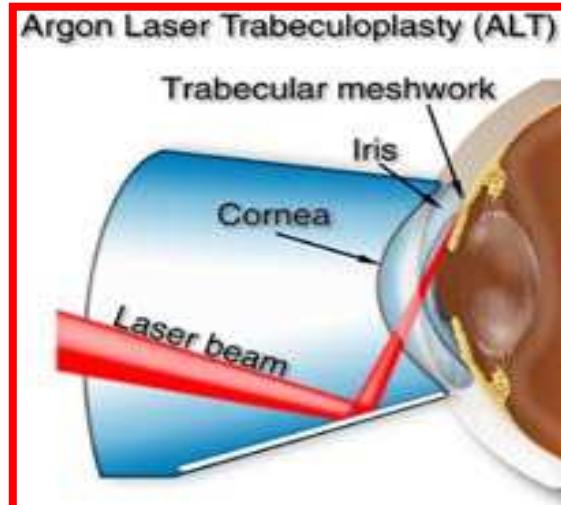
APPLICAZIONI: Oftalmologia

Trattamento glaucoma

- glaucoma cronico o ad angolo aperto ($\approx 95\%$ dei casi). Si modifica il sistema oculare di deflusso con:
- glaucoma acuto o ad angolo stretto ($\approx 5\%$ dei casi). Si esegue un foro nell'iride per permettere il drenaggio con:

ALT: Trabeculoplastica con laser ad Argon

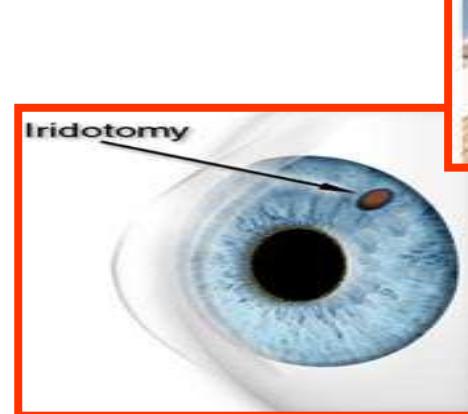
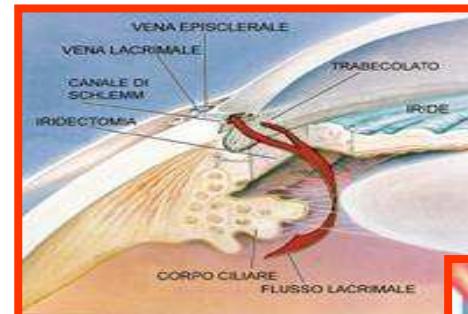
SLT: Trabeculoplastica laser selettiva, con Nd:YAG 2ω ($\lambda=532$ nm) in modalità Q-switch



Il glaucoma è causato da un aumento della pressione oculare (parziale-> g. cronico o completa-> g. acuto) causata da un'ostruzione delle vie di scarico dell'umore acqueo

LPI: Iridotomia periferica con laser Nd:YAG

($\lambda=1064$ nm) in modalità Q-switch



Oculista.it

APPLICAZIONI: Oftalmologia

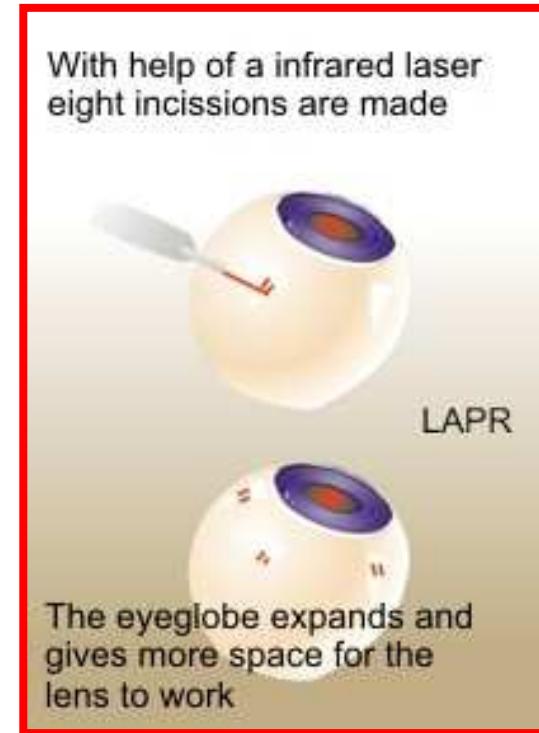
Trattamento della presbiopia

Laser Presbyopia Reversal (LAPR)

Con un laser **Er:YAG** ($\lambda=2940$ nm) si eseguono 8 ablazioni sul guscio sclerale, in modo da espanderlo ripristinando così l'accomodazione.

2 teorie sulle cause della presbiopia:

- 1) **Helmoltz** (fine 1800): dovuta a ispessimento e irrigidimento del cristallino che rende difficoltosa l'accomodazione
- 2) **Schachar** (1992): il cristallino cresce di circa 0.02 mm/anno riducendo lo spazio necessario per accomodare, fino a bloccare il meccanismo di focalizzazione dell'occhio



Medical Travel

APPLICAZIONI: Dermatologia

Laser più utilizzati: CO₂, Argon, Nd:YAG, eccimeri.

La radiazione emessa viene assorbita selettivamente dalle varie strutture cutanee, a seconda dei cromofori presenti nel tessuto.



Ist. Gaslini

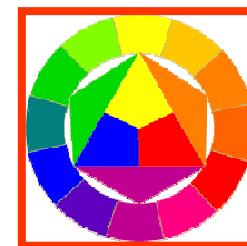
Lesioni vascolari

Si usano laser che sfruttano il fenomeno della fototermolisi selettiva:

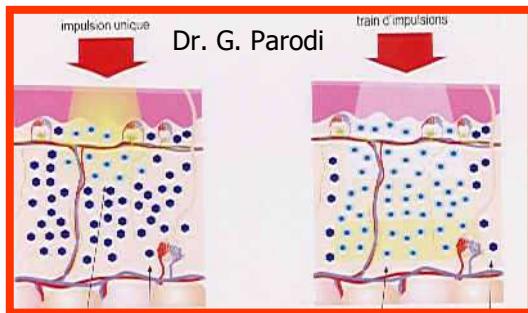
Dye laser pulsato ($\lambda=575\text{-}600\text{ nm}$ - luce gialla)

Nd:YAG 2ω ($\lambda=532\text{ nm}$ - luce verde)

Cromoforo bersaglio: emoglobina

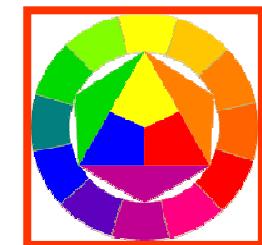


APPLICAZIONI: Dermatologia



Rimozione tatuaggi

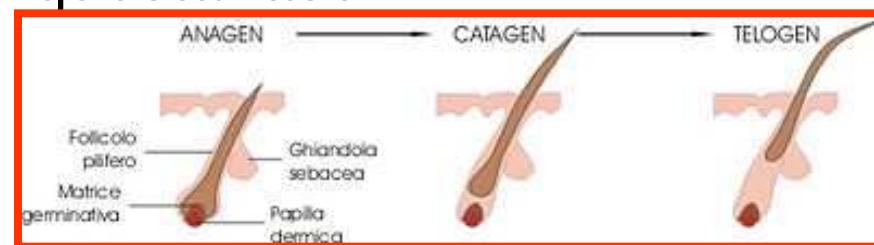
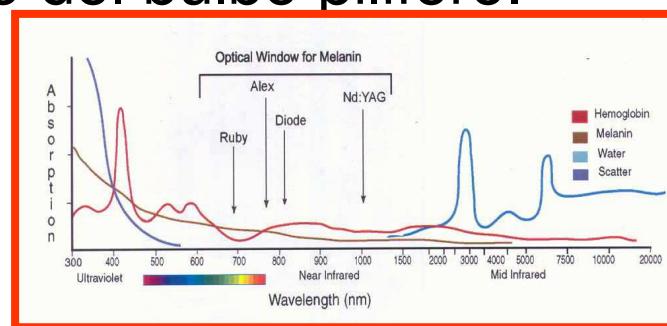
- Scelta laser in fz di:
 - qualità tatuaggio
(i professionali sono i più profondi)
 - struttura chimica dei colori
 - colori (giallo e arancione più difficili da togliere, blu e verde più facili)
- Sono utilizzati laser in modalità Q-switching
 - Laser **a rubino** ($\lambda=694$ nm, rosso) per inchiostro verde, nero e nero-blu
 - Laser **Nd:YAG duplicato in frequenza** ($\lambda=532$ nm, verde), per inchiostro rosso, arancio e alcuni viola
 - Laser **Nd:YAG** ($\lambda=1064$ nm, IR) per inchiostro nero e blu
 - Laser ad **alessandrite** ($\lambda=755$ nm, rosso) per inchiostro verde
- Si usano laser che sfruttano il **fenomeno della fototermolisi selettiva** che provoca frammentazione dei granuli di inchiostro intracellulari, che vengono poi riassorbiti dal corpo. A causa del brevissimo tempo di esposizione, non si ha lesione termica del tessuto.



APPLICAZIONI: Dermatologia

Epilazione

- Si usano laser che sfruttano la **fototermolisi selettiva**: l'energia luminosa si trasforma in energia termica, provocando l' "esplosione" delle cellule del bulbo pilifero.
- I laser più usati sono:
 - ✓ a **rubino** ($\lambda=694$ nm)
 - ✓ ad **alessandrite** ($\lambda=755$ nm)
 - ✓ a **diodi** ($\lambda=810$ nm)
 - ✓ a **Nd:YAG** ($\lambda=1064$ nm)
- **Cromoforo bersaglio**: melanina del follicolo pilifero.
- Il laser agisce selettivamente sul follicolo pilifero e l'azione è efficace solo sui bulbi dei peli in fase anagen; sono quindi necessari più trattamenti per neutralizzare i bulbi che non sono ancora giunti in questa fase.



APPLICAZIONI: Dermatologia

Skin resurfacing (1)

2 possibili tipi di trattamento:

- **ablativo:** provoca vaporizzazione degli strati più superficiali della epidermide. Essendo la durata dell'impulso più breve del tempo di diffusione del calore nel derma, non si ha un danno termico ai tessuti adiacenti
- **non ablativo:** determina vasodilatazione e rimodellamento del collagene (causato dal calore), senza danneggiare l'epidermide. I risultati non sono così evidenti come nel trattamento ablativo, ma i tempi di recupero sono molto più brevi.



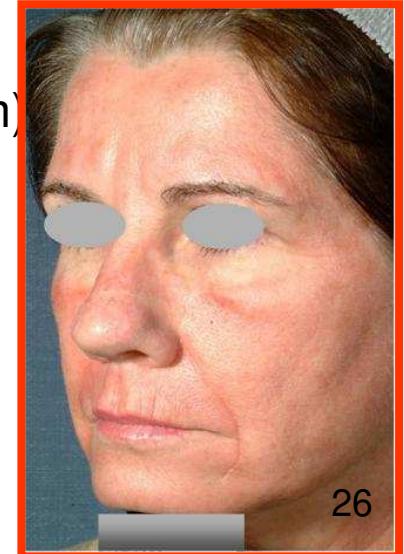
Laser di elezione:
Er:YAG($\lambda=2940$ nm) e
 CO_2 ($\lambda=10600$ nm)

Agisce solo su invecchiamento estrinseco (causato da fattori esterni: esposizione al sole, fumo, ecc) ma non su quello intrinseco (dovuto al passare del tempo)

Prof. S.R. Mercuri

Laser di elezione:
Er:Glass mod. ($\lambda=1540$ nm)
Nd:YAG($\lambda=1064$ nm) e
Nd:YAG 2ω ($\lambda=532$ nm)

Prof. S.R. Mercuri



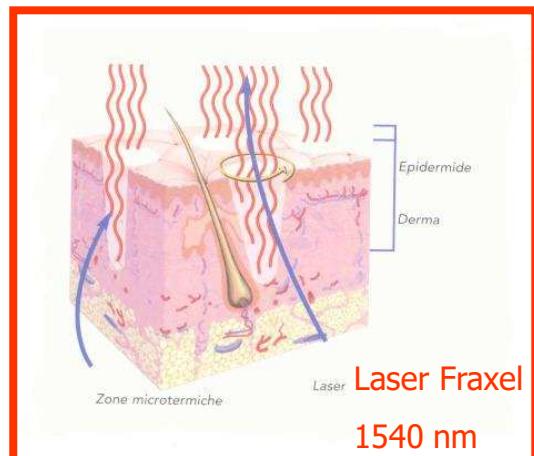
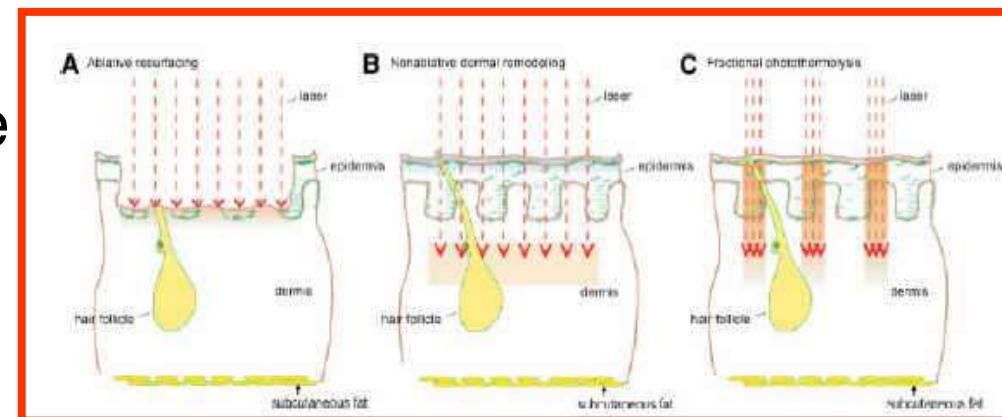
26

APPLICAZIONI: Dermatologia

Skin resurfacing (2)

I più recenti laser frazionali utilizzano la “fractional photothermolysis”:

- ✓ generano delle piccole “colonne” di danno termico, spazialmente limitate e separate



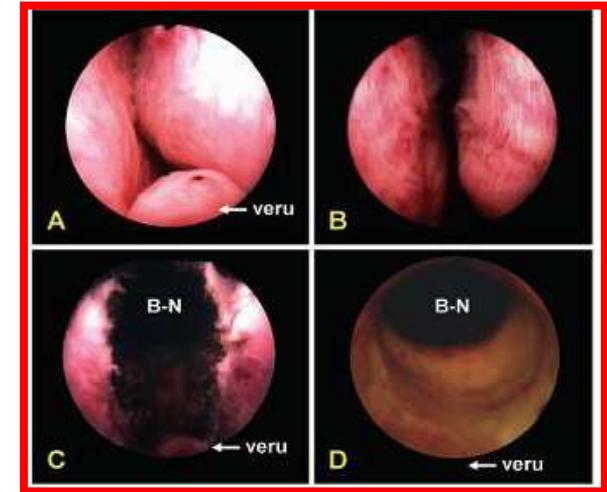
“Fractional Photothermolysis: a new concept for cutaneous remodeling using microscopic patterns of thermal injury” D. Manstein et al. - Lasers in Surgery and Medicine – 34:426-438 (2004)

- ✓ Rispetto a trattamento convenzionale, riducono il danno termico e le complicanze

APPLICAZIONI: Urologia

Ipertrofia prostatica benigna (1)

- Si sfrutta l'effetto termico per realizzare ablazione di materiale biologico.
Le tecniche-laser sfruttano uno dei 2 effetti:
 - **Coagulazione**: l'energia laser scalda il tessuto fino a temperature $\approx 70^\circ$: ciò produce una “desquamazione” del tessuto necrotico, che dura per qualche settimana e spesso inizia con un edema temporaneo della prostata, e che infine porta a una riduzione del volume prostatico
 - **Vaporizzazione**: l'energia laser è focalizzata e raggiunge temperature $>100^\circ$: ciò vaporizza l'acqua contenuta nei tessuti e causa una riduzione istantanea del volume prostatico



Vaporizzazione prostata con KTP laser (Prof. F. Zattoni)

APPLICAZIONI: Urologia

Ipertrofia prostatica benigna (2)

Tecniche principali:

- VLAP (visual laser ablation of the prostate): ablazione della prostata mediante vaporizzazione e/o coagulazione con **Nd:YAG**. E' un procedimento lento quindi adatto a prostate di piccole dimensioni (<40cc).
- ILC (interstitial laser coagulation): più sicura e priva di alcuni effetti collaterali della VLAP (dato che non incide l'epitelio uretrale). Usa laser **Nd:YAG**, **Ho:YAG** o **diodi**.
- HoLRP (holmium laser resection of the prostate): i lobi della prostata vengono resecati, sfilati via e ridotti in piccoli pezzi con il laser stesso. Adatto a prostate fino a 100 g.
- HoLEP (holmium laser enucleation of the prostate): i lobi della prostata vengono enucleati, portati in vescica e ridotti in piccoli pezzi tramite morcellatori. Adatto a prostate fino a 200 g.

Attualmente Ho:YAG è preferito al Nd:YAG perché la durata dell'impulso (250 μ s) è minore del tempo di rilassamento termico del tessuto -> la diffusione di energia termica al tessuto circostante è minima.

APPLICAZIONI: Urologia

- **Urolitiasi (calcolosi urinaria)**

Sfrutta l'interazione fotomeccanica.

Laser usati:

- Q-switched Nd:YAG ($\lambda=1064\text{nm}$)
- Alessandrite ($\lambda=755\text{ nm, rosso}$)
- Ho:YAG impulsato ($\lambda=2100\text{nm}$)



Prof. G. Bandieramonte

- **Trattamento ca transizionale della vescica (TCC)**

Sfrutta l'interazione fotochimica. Viene somministrata una sostanza fotosensibilizzante, che si concentra nelle cellule tumorali e che viene attivata dall'esposizione a una luce di lunghezza d'onda opportuna.

Si usa laser ad **Argon** ($\lambda=630\text{nm, rossa}$)

APPLICAZIONI: Odontoiatria

Il laser in odontoiatria trova indicazioni per il trattamento di:

- **tessuti duri** (**Er:YAG** $\lambda=2940\text{ nm}$ -> fortemente assorbito dall'acqua e dall'idrossiapatite):

- Desensibilizzazioni
- Sbiancamento dei denti 
- Trattamento del tessuto carioso



- **tessuti molli** (**Nd:YAG** $\lambda=1064\text{nm}$ -> fortemente assorbito da emoglobina, **CO₂** $\lambda=10600\text{nm}$ -> fortemente assorbito dalla acqua, **diodi** -> fortemente assorbito da emoglobina e melanina):

Dr. M Luciani

- Paradontologia 
- Piccola chirurgia orale (escissione di: papillomi, lesioni precancerose, ecc)
- Endodonzia (malattie polpa dentale)



APPLICAZIONI

Principali laser e loro applicazioni cliniche:

Laser (Banda spettrale)	Applicazioni	interaz fotome ccanica	interaz fotoabl ativa	interaz fototer mica	interaz fotochi mica
CO ₂ (IR)	Laser chirurgico per eccellenza: ORL, ch. plastica, dermatologia (<i>skin resurfacing</i>), urologia, odontoiatria, ch. cardiovascolare (<i>rivascolarizzazione</i>), neurochirurgia, ginecologia, ecc			SI	
Nd:YAG (IR)	dermatologia (<i>tatuaggi, epilazione</i>), litotrissia, oftalmologia (<i>iridotomia x glaucoma ad angolo stretto, capsulotomia posteriore in cataratta secondaria</i>), odontoiatria, ch. cardiovascolare (<i>rivascolarizzazione</i>),ecc	SI		SI	
Er:YAG (IR)	dermatologia (<i>skin resurfacing</i>), odontoiatria, ecc			SI	
Ho:YAG (IR)	urologia, ecc			SI	
Diodi (IR)	dermatologia (<i>epilazione</i>), odontoiatria, ecc			SI	
Diodi (VIS)	oftalmologia (<i>trattamento delle membrane neovascolari nella degenerazione maculare legata all'età</i>)				SI
Nd:YAG 2ω (VIS)	oftalmologia (<i>trattamento del glaucoma cronico</i>) dermatologia (<i>MAV,tatuaggi</i>), ecc			SI	
Argon (VIS)	oftalmologia (<i>trabeculoplastica x glaucoma, retinopatia diabetica</i>), dermatologia, urologia (<i>ca vescica</i>) ecc			SI	SI
Dye Laser(VIS)	dermatologia (<i>MAV</i>), oncologia (<i>PDT</i>), ecc			SI	SI
Eccimeri (UV)	oftalmologia (<i>chirurgia rifrattiva</i>), ch. cardiovascolare (<i>angioplastica, rimozione elettrocaveteri</i>),dermatologia,ecc		SI		

APPLICAZIONI

Principali laser e loro applicazioni cliniche:

Interazione	Laser (λ in nm)	Cromoforo	Effetto	Procedura
Fotochimica	Semiconduttore (670-690)	Foto-sensibilizzatore	Ossidazione	Terapia Foto-Dinamica (PDT)
	Semiconduttore (810)	Melanina	Ipertermia ($T = 43-45^\circ\text{C}$)	TermoTerapia Transpupillare (TTT)
	CO ₂ (10600) Er:YAG (2940)	Acqua	Retrazione tissutale ($T = 45-50^\circ\text{C}$)	Rimodellamento cutaneo (anti-rughe)
Fototermica	Ar (514), Kr (647), dye (560-630), semiconduttore (810) Nd:YAG cw (1064) Nd:YAG 2ω (532)	Melanina, emoglobina	Denaturazione proteica ($T = 60-80^\circ\text{C}$)	Fotocoagulazione
	CO ₂ (10600), Nd:YAG cw (1064), Er:YAG (2940)	Acqua	Vaporizzazione dell'acqua tissutale (100°C)	Fotoresezione di tessuti molli
	CO ₂ (10600) Nd:YAF cw (1064)	Acqua	Carbonizzazione ($T > 150^\circ\text{C}$), fusione ($T > 300^\circ\text{C}$)	Fotoablazione di tessuti duri
Fotomeccanica	Nd:YAG Q-S (1064)	Nessuno (elettroni liberi)	Breakdown ottico	Fotodistruzione (capsulotomia, iridotomia)
Fotoablativa	Eccimero ArF (193)	Biomolecole	Fotodecomposizione esplosiva	Chirurgia fotorefrattiva

CORSO PER TECNICO/ADDETTO SICUREZZA LASER, TSL/ASL

**Le radiazioni ottiche coerenti
in ambito sanitario:
applicazioni diagnostiche**

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

Laser di laboratorio presenti in ambito ospedaliero

Spesso negli Ospedali sono presenti laboratori di ricerca che utilizzano strumenti contenenti sorgenti laser di classe di rischio elevata (3B o 4); tali strumenti vengono utilizzati per applicazioni di ricerca avanzate.

Gli strumenti più diffusi in questa categoria sono i FACScan, FACStar, FACSvantage, FACScalibur, ecc. dove il suffisso FACS comune a tutti è l'acronimo delle parole: Fluorescence Activated Cell Sorter



Laser di laboratorio presenti in ambito ospedaliero

Tipici strumenti di questa categoria sono quelli per la citometria a flusso, utilizzati per analizzare le caratteristiche delle cellule biologiche in studio (in particolare, consentono di valutare lo stadio di evoluzione di una popolazione cellulare).

Tali apparecchiature sono generalmente composte da tre elementi:

- banco ottico (che contiene il laser), per generare e raccogliere i segnali luminosi
- consolle elettronica, per convertire i segnali ottici in segnali elettronici che verranno indirizzati al computer per l'analisi
- sistema computerizzato, per l'analisi dei dati.

Laser di laboratorio presenti in ambito ospedaliero

Questi strumenti possono utilizzare uno o più fasci laser. Il singolo sistema laser è in grado di misurare fino a 5 caratteristiche ottiche di ogni singola cellula; gli eventuali laser secondari possono generare segnali aggiuntivi che consentono di analizzare ulteriori caratteristiche cellulari.

Nei citometri usati per indagini cliniche viene impiegato, nella maggior parte dei casi, un laser ad Argon, che emette luce blu di lunghezza d'onda pari a 488 nm, di potenza massima variabile tra 15 mW e 5 W, anche se le potenze di utilizzo sono di norma inferiori.

Nei sistemi a doppio laser il laser secondario può essere, per esempio, un laser a Krypton o uno a elio-neon.

Laser di laboratorio presenti in ambito ospedaliero

Caratteristica di queste apparecchiature è di essere dotate, nella maggior parte dei casi, di coperchi e di blocchi di sicurezza che proteggono l'operatore da visione diretta non intenzionale del fascio.

L'uso appropriato di tali misure di sicurezza, che consiste sostanzialmente nel non modificare o togliere le coperture mobili che impediscono la visione del fascio laser, fa sì che tali apparecchiature non comportino rischi per gli operatori e siano pertanto classificate come **prodotti di classe 1**.

Laser di laboratorio presenti in ambito ospedaliero

Queste apparecchiature hanno talvolta necessità di essere sottoposte a procedure di manutenzione e/o ad operazioni di allineamento dei laser.

Tali operazioni devono essere effettuate unicamente da personale specializzato della ditta.

Durante tali operazioni dovranno essere osservate le norme di comportamento valide per laser di classe 3B o 4.

Laser di laboratorio presenti in ambito ospedaliero

Altre sorgenti laser diffuse in ambito sanitario sono:

Microscopio Confocale a scansione laser.

La microscopia confocale fornisce uno strumento per poter visualizzare simultaneamente tramite segnali in fluorescenza proteine, organelli cellulari e DNA attraverso singole sezioni "tagliate otticamente" all'interno.

Questi strumenti, contenendo laser di classe 3B o 4, in genere mantengono la stessa classificazione; talvolta vengono invece classificati come **prodotti di classe 1 o 2**.

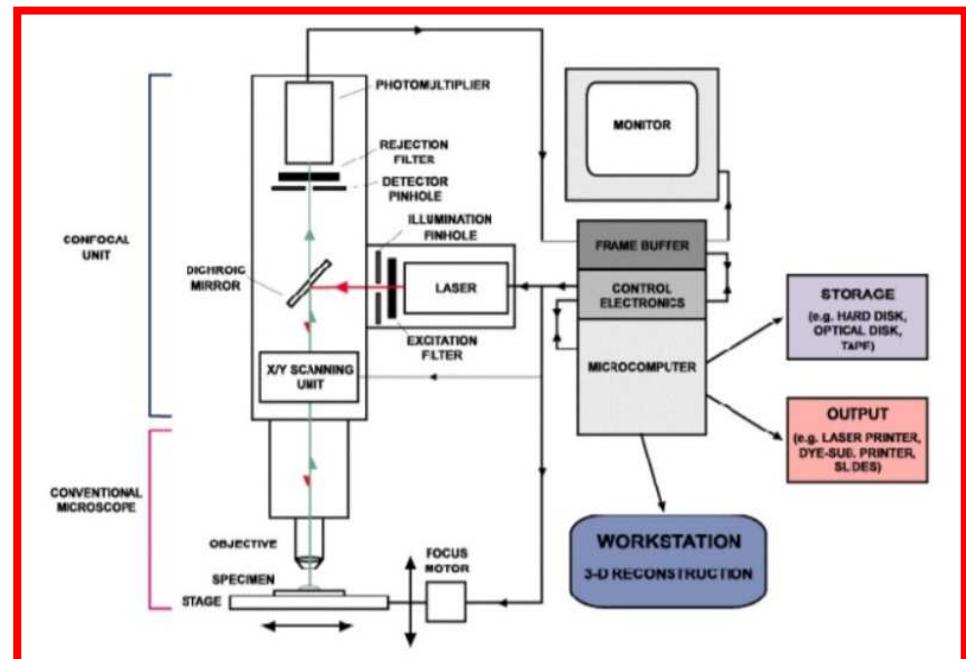
La classe di rischio va comunque verificata sul manuale della apparecchiatura.



Microscopi confocali

In particolare, l'operatore non deve:

- inserire oggetti riflettenti nell'area campione durante la scansione (es. micromanipolatore)
- sostituire il campione o parti ottiche (obiettivi, filtri, beam splitters) durante la scansione laser
- disattivare gli interlocks di sicurezza
- disconnettere fibre ottiche o guide d'onda ottiche durante la scansione laser
- manomettere o rimuovere le ottiche originali o gli schermi di protezione dalla radiazione laser.



Se sono stati dati in dotazione occhiali di protezione è necessario indossarli quando l'apparecchiatura è in funzione.

Laser di laboratorio presenti in ambito ospedaliero

Microdissettori laser: consentono di prelevare dal tessuto tumorale, sotto il controllo del microscopio, singole cellule ed effettuare su di esse le analisi genetiche e cromosomiche. La procedura consente di integrare le informazioni derivanti dall'analisi del tessuto con quelle genetiche e molecolari: in tal modo si ottiene una diagnosi che non solo classifica con esattezza la lesione tumorale, ma esprime anche la probabilità di evoluzione e predice la risposta a eventuali terapie molecolari.

Tali apparecchiature utilizzano laser di classe 3B e sono generalmente classificate come **prodotti di classe 3B**.



Laser diagnostici presenti in ambito ospedaliero

OCT (Optical Coherence Tomography): la Tomografia Ottica a radiazione Coerente è un'apparecchiatura che esegue scansioni della retina utilizzando una sorgente laser; le sezioni così ottenute consentono di diagnosticare molte patologie oculari. Tali apparecchiature utilizzano sorgenti di potenza molto bassa e sono pertanto classificati come **prodotti di classe 1**.



CORSO PER TECNICO/ADDETTO SICUREZZA LASER, TSL/ASL

**Le radiazioni ottiche coerenti
in ambito sanitario:
simulazione di un'attività sanitaria con
individuazione dei rischi**

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

Individuazione rischi ROA coerenti

- La prima operazione da effettuare prima di procedere alla valutazione del rischio è il **censimento** delle sorgenti già presenti nella struttura. Non è possibile affidarsi unicamente agli elenchi presenti nei servizi di Ingegneria Clinica, o comunque presenti in Ospedale, per vari motivi:
 - spesso non sono aggiornati
 - in molti casi il laser entra direttamente in reparto grazie a un accordo diretto tra il primario e il fornitore
 - alcune apparecchiature contenenti laser di classe di rischio anche elevata vengono memorizzate con il nome dell'apparecchiatura stessa (es microscopio confocale) senza menzionare il laser in essa contenuto.

Individuazione rischi ROA coerenti

Caratterizzazione delle sorgenti laser presenti:

- Classe di rischio
- Lunghezza d'onda
- Potenza/energia emessa
- Tipo di emissione (continua o pulsata)
- Durata dell'esposizione
- Diametro spot
- Divergenza del fascio φ oppure apertura numerica AN:
 $AN=\sin(\varphi/2)$, con φ espresso in gradi
- Tipo di esposizione al fascio (diretta, focalizzata, diffusa)

per poter procedere alla valutazione dei rischi

Caratteristiche dei laser presenti: scheda di sopralluogo

SCHEDA SOPRALLUOGO SORGENTI LASER

UBICAZIONE: _____

CARATTERISTICHE LASER:

Marca:

Modello:

N. inventario:

Matricola:

Presenza marchio CE

SI NO

MEZZO ATTIVO:

- laser a gas: CO₂ Ar-Kr Xe-Cl altro _____
 laser a stato solido: Nd:YAG Ho:YAG Er:YAG Alessandrite Rubino altro _____
 laser a semiconduttori (diodi):
 laser a stato liquido:

FASCIO PUNTAMENTO: λ: _____ nm Classe di rischio: _____

Potenza massima emessa: _____ mW

FASCIO DI TRATTAMENTO: λ: _____ nm Classe di rischio: _____

Potenza/energia massima emessa: _____ W/J Emissione: continua pulsata

SEGALETICA SULL'APPARECCHIATURA: assente presente conforme: SI NO

OCCHIALI DI PROTEZIONE in dotazione: numero: _____ idonei non idonei

Marcatura CE: assente presente

Caratteristiche di protezione degli occhiali:

CARATTERISTICHE LOCALI (presenza di superfici riflettenti): idonei non idonei

Interventi da mettere in atto: _____

Presenza cartelli di avvertimento: SI NO

Presenza indicatori luminosi (scritta "laser in funzione" o lampada gialla): SI NO

Presenza di strumenti operatori satinati o anodizzati: SI NO

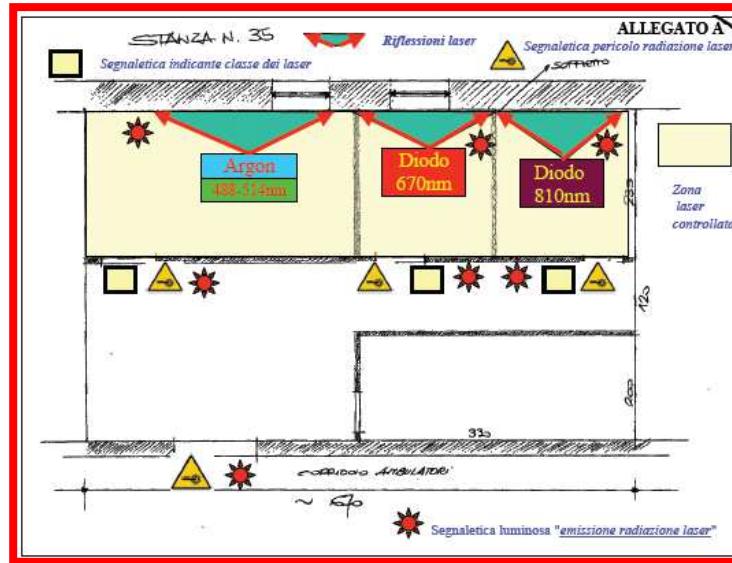
Presenza di estrattori di fumi: SI NO

Presenza del manuale di istruzione in italiano: SI NO

DATA SOPRALLUOGO: _____

Valutazione delle zone di rischio laser

- Effettuare l'acquisizione delle planimetrie, delle caratteristiche dei locali di installazione e della **posizione della sorgente** al loro interno.



Dr. A. Guasti

- Sarebbe meglio definire i locali di utilizzo e la loro idoneità prima dell'acquisto del laser, una volta note le caratteristiche del laser in arrivo e le sue modalità di funzionamento.

Valutazione delle zone di rischio laser

- Ciò in molti casi consente di mettere in atto una prima misura operativa semplice da realizzare ma che elimina alcune possibili situazioni di rischio di esposizione indebita: posizionare il laser all'interno del locale di utilizzo in modo che il fascio non sia diretto verso gli accessi al locale stesso; in tal modo, se un operatore entra per far fronte a una situazione di emergenza, non rischia di essere colpito involontariamente dalla radiazione laser.
- In particolare, all'interno del sito bisogna controllare la presenza di finestre, visive e di superfici riflettenti : sono potenziali fonti di riflessioni, e bisogna valutare la possibilità di trattarle opportunamente o di schermarle per confinare il fascio laser all'interno del locale.

Individuazione rischi ROA coerenti

- Per poter procedere ad una valutazione del rischio, è necessario fare un'analisi delle **situazioni operative e delle modalità di utilizzo del laser** da parte degli operatori.
A questo scopo è consigliabile assistere almeno una volta ad un intervento tipo per rendersi conto di come l'operatore usa il laser, se è necessario siano presenti altri assistenti durante l'intervento e, in caso affermativo, come gli addetti si distribuiscono attorno al primo operatore e allo strumento e il ruolo svolto di ciascuno di essi.
- Tutte queste informazioni permettono di limitare al minimo indispensabile le persone che devono necessariamente stare in prossimità del laser e di confinare con opportune barriere (teli in cotone, séparé) la zona in cui è possibile che si verifichi un superamento dei valori limite di esposizione.

Individuazione rischi ROA coerenti

Un'altra misura essenziale per ridurre il rischio è la **formazione preventiva** del personale addetto perché è noto da studi scientifici che circa l'80% degli infortuni è determinato dai comportamenti insicuri degli operatori dovuti alla scarsa percezione dei rischi conseguente alla limitata conoscenza delle apparecchiature e della loro gestione.

Individuazione rischi ROA coerenti

La **formazione** e la predisposizione di opportune Procedure Operative di Sicurezza sono le prime e più importanti misure da mettere in atto per ridurre il rischio di esposizione laser da parte degli operatori.

D.L.gs 9-4-2008, n.81

Il D. Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008, noto anche come **Testo Unico sulla Sicurezza del Lavoro**, è il riferimento normativo per quello che riguarda la protezione degli operatori dai rischi lavorativi. È diviso in:

- 306 articoli
- 13 titoli:

- I) Principi comuni
- II) Luoghi di lavoro
- III) Uso delle attrezzature di lavoro e dei DPI
- IV) Cantieri temporanei o mobili
- V) Segnaletica di salute e sicurezza sul lavoro
- VI) Movimentazione manuale dei carichi
- VII) Attrezzature munite di videoterminali
- VIII) Agenti fisici **Il titolo VIII è diviso in:**
- IX) Sostanze pericolose
- X) Esposizione ad agenti biologici
- XI) Protezione da atmosfere esplosive
- XII) Disposizioni in materia penale e di procedura penale
- XIII) Norme transitorie e finali

- 52 allegati

- 1. CAPO I: Disposizioni generali
- 2. CAPO II: Protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro
- 3. CAPO III: Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a vibrazioni
- 4. CAPO IV: Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici
- 5. CAPO V: Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a Radiazioni Ottiche Artificiali
- 6. CAPO VI: Sanzioni

D.L.gs 9-4-2008, n.81

TITOLO VIII – AGENTI FISICI

CAPO V – PROTEZIONE DEI LAVORATORI DAI RISCHI DI ESPOSIZIONE A RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

Art. 216: identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi

“1. nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'art. 181, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura e/o calcola i livelli delle radiazioni ottiche a cui possono essere esposti i lavoratori. La metodologia seguita nella valutazione, nella misurazione e/o nel calcolo rispetta le norme della Commissione elettrotecnica internazionale (IEC), per quanto riguarda le radiazioni laser, e le raccomandazioni della Commissione internazionale per l'illuminazione (CIE) e del Comitato europeo di normazione (CEN) per quanto riguarda le radiazioni incoerenti.....

2. Il datore di lavoro, in occasione della valutazione dei rischi, presta particolare attenzione ai seguenti elementi:

- a) Il livello, la gamma di lunghezze d'onda e la durata dell'esposizione a sorgenti artificiali di radiazioni ottiche
- b) I valori limite di esposizione di cui all'art. 215

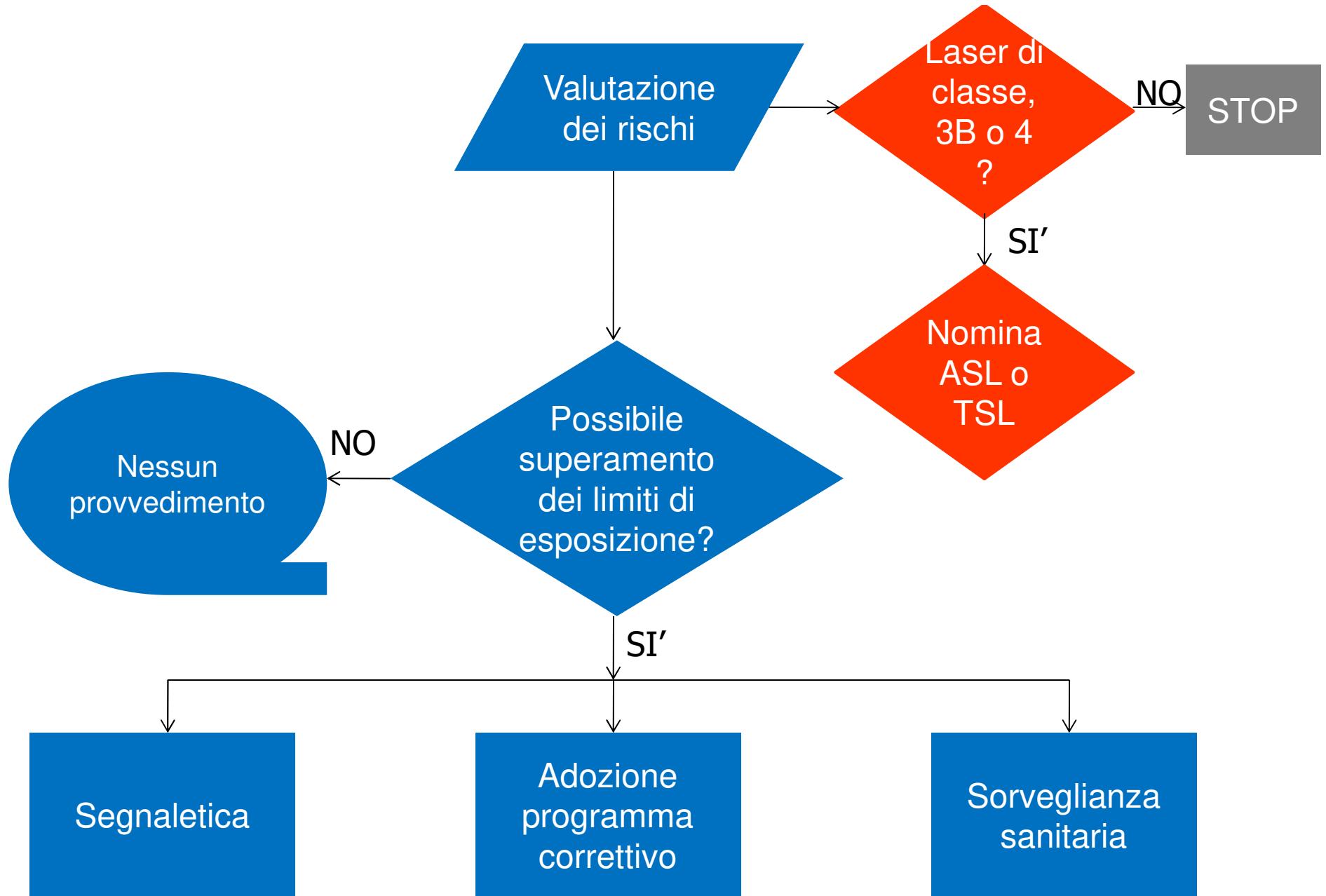
.....

3. Il datore di lavoro nel documento di valutazione dei rischi deve precisare le misure adottate previste dagli art. 217 e 218”

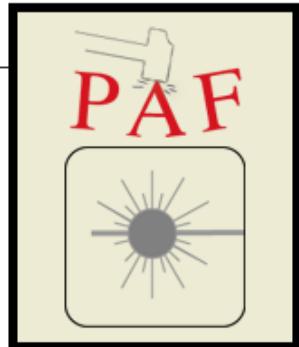
- > Art 215 – Valori limite di esposizione (rimanda ad allegato XXXVII)
- > Art 217 – Disposizioni miranti ad eliminare o a ridurre i rischi
- > Art 218 – Sorveglianza sanitaria

Individuazione rischi ROA coerenti

- Decidere se effettuare una valutazione del rischio:
 - mediante misurazioni
 - mediante calcoli oppure
 - senza calcoli né misure
- Procedere alla valutazione quantitativa del rischio secondo la modalità scelta
- Redigere la relazione tecnica che verrà inclusa nel documento di valutazione dei rischi.



Rischio laser: procedura guidata online



POSIZIONE: PAF > RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI > VALUTAZIONE

Procedura Valutazione Sistemi LASER

Autori: Andrea Bogi, Francesco Picciolo, Iole Pinto, Nicola Stacchini

Azienda USL Toscana Sud Est - Laboratorio Agenti Fisici - Siena

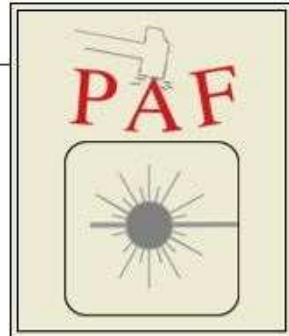
Sono presenti apparecchi LASER?

Si, c'è almeno un apparecchio LASER

NO, non sono presenti apparecchi LASER

http://www.portaleagentifisici.it/foro_artificiali_procedura_laser.php?lg=IT&id=792

Rischio laser: procedura guidata online su PAF



POSIZIONE: PAF > RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI > VALUTAZIONE

Procedura Valutazione Sistemi LASER

Il laser è in classe 3B o 4 ed il fascio è libero (il fascio laser è montato su un manipolo direzionabile manualmente; il costruttore non ha previsto un involucro; esempio manipoli LASER tenuti in mano come in ambito estetico o ospedaliero, laser industriali che richiedano la presenza dell'operatore nelle immediate vicinanze del fascio libero)

[Home](#)

[Rumore](#)

[Vibrazioni Mano-Braccio](#)

[Vibrazioni Corpo Intero](#)

[Campi Elettromagnetici](#)

[Radiazioni Ottiche Artificiali](#)

[Descrizione del rischio](#)

[Guida all'uso](#)

[Banca dati](#)

[Banca dati](#)

[Procedura guidata valutazione rischio LASER](#)

[Valutazione rischio: sistemi di illuminazione](#)

Verificare che siano state messe in atto le seguenti misure di prevenzione:

- presenza dei requisiti minimi per l'ambiente di utilizzo precedentemente individuati dalla procedura
- presenza dei DPI oculari previsti dal costruttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER.
- presenza sul LASER e sul manuale, di etichette indicanti classe e tipo di radiazione emessa
- procedure scritte sul corretto utilizzo
- procedure scritte per l'allineamento (se previste come manutenzione da parte degli operatori)
- formazione ed addestramento degli operatori addetti al macchinario
- formazione di tutti i lavoratori sul rischio specifico da LASER
- nomina di un Addetto alla Sicurezza LASER che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza

Esito del controllo:

- **Tutte le condizioni sono verificate**
- **Una o più condizioni non sono verificate**

Rischio laser: procedura guidata online su PAF

POSIZIONE: PAF > RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI > VALUTAZIONE



Procedura Valutazione Sistemi LASER

Il laser è in classe 3B.

Questa tipologia di laser può portare ad un'esposizione superiore ai limiti di legge. La radiazione diretta può provocare un danno se il fascio è diretto contro gli occhi ed anche nel caso di radiazione visibile, il normale riflesso di avversione dovuto alla visione di una luce intensa, potrebbe non essere sufficiente a limitare l'esposizione a livelli sicuri. Per questo motivo la radiazione deve essere confinata quanto più possibile, creando una zona laser ad accesso controllato, all'esterno della quale il LASER sia al massimo di classe 2.

Tutti coloro che si trovano all'interno della zona ad accesso controllato ad una distanza dalla sorgente inferiore alla Distanza Nominale di Rischio Oculare, dovrebbero indossare idonee protezioni oculari.

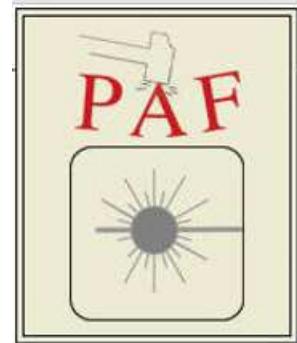
Si deve prevenire l'esposizione degli occhi alla radiazione diretta. La radiazione riflessa è normalmente sicura. Il rischio per la cute potrebbe essere rilevante per i LASER con potenze al limite superiore della classe 3B.

Deve essere nominato un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.

Mettere in atto le misure di tutela presenti sul manuale di uso e manutenzione e nella presente procedura.

Rischio laser: procedura guidata online su PAF

POSIZIONE: PAF > RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI > VALUTAZIONE



Procedura Valutazione Sistemi LASER

I laser in classe 4 può rappresentare un pericolo per gli occhi e in generale anche per la cute, se si intercetta la radiazione sia essa diretta che riflessa, fino a distanze pari alla DNRO (Distanza Nominale di Rischio Oculare); quindi tutti coloro che si trovano ad una distanza minore della DNRO devono indossare gli appositi DPI forniti dal produttore o dall'Addetto alla Sicurezza LASER e prevenire l'esposizione della cute alla radiazione. Devono inoltre essere evitati gli oggetti riflettenti non strettamente funzionali alla procedura in corso.

Per questa classe di laser può sussistere anche il rischio di innesto di incendio, per questo è importante creare un ambiente ad accesso controllato, verificando l'idoneità degli oggetti e delle sostanze che vengono di volta in volta introdotte. **Presenza estintori**

L'ambiente ad accesso controllato deve essere delimitato da barriere fisiche che impediscano al fascio LASER di uscire; il materiale delle barriere deve essere idoneo sia a fornire l'opportuna attenuazione della radiazione che a resistere anche al fascio diretto, se è verosimile che questa eventualità possa accadere. Per il calcolo delle barriere e per la verifica dell'idoneità si può utilizzare la norma CEI EN 60825-4 "Sicurezza degli apparecchi laser Parte 4: Barriera per laser".

Durante il normale funzionamento dalla zona colpita dal fascio LASER si potrebbero sviluppare fumi che devono essere eliminati con apposita aspirazione.

Nell'area ad accesso limitato, quando il macchinario è in funzione, deve essere presente solo il personale autorizzato; si dovrebbe evitare la presenza di persone non necessarie allo svolgimento della procedura in corso.

Deve essere nominato un Addetto alla Sicurezza LASER (o Tecnico della Sicurezza LASER) che abbia le conoscenze per la gestione di tutti gli aspetti della sicurezza del sistema LASER in oggetto, come l'applicazione delle misure di tutela fornite dal produttore, la verifica dell'idoneità dei DPI oculari, la stesura del regolamento di sicurezza.

CLASSI DI RISCHIO

I laser medicali appartengono quasi tutti alla classe 4



RISCHI DIRETTI E INDIRETTI

I rischi correlati all’impiego di sorgenti LASER sono di due tipi:

- quelli “diretti”, cioè direttamente attribuibili al fascio laser
- quelli “indiretti” o “collaterali”, relativi alle possibili interazioni del fascio laser con l’ambiente ed il paziente, e al fatto che si tratta comunque di una apparecchiatura elettromedicale.

Valutazione delle zone di rischio laser

Nella valutazione del rischio di esposizione in ambito sanitario, quindi, non vanno presi in considerazione solo i rischi derivanti dalle apparecchiature



diretti
collaterali

ma anche quelli che possono derivare dall'ambiente e dalle modalità con cui l'apparecchiatura viene usata dagli operatori:

- ambiente (locale, situazioni operative)
- operatori (ruolo, formazione)

VALUTAZIONE DEI RISCHI

- Lo stesso tipo di laser può essere usato in modalità differenti per trattare lesioni di tipo diverso
- Lo stesso tipo di lesione può essere trattato con laser diversi o con lo stesso laser usato però in modalità differenti
- I rischi diretti, dovuti alla pericolosità intrinseca della apparecchiatura, sono diversi a seconda della modalità di emissione e di utilizzo del laser
- Anche l'ambiente in cui l'apparecchiatura è utilizzata (locale, situazioni operative) può essere fonte indiretta di rischi

DISTANZA NOMINALE DI RISCHIO OCULARE (DNRO)

- E' la distanza alla quale l'esposizione energetica del fascio è uguale al Valore Limite di Esposizione (VLE) per la cornea
- ⇒ la DNRO è la minima distanza a cui si deve stare per evitare pericoli per gli occhi

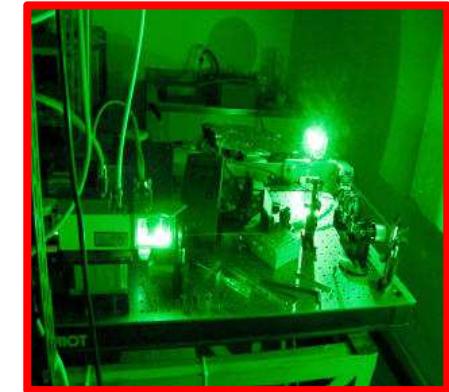


DNRO POTENZE ENERGIE

1	unità operativa	laser	classe	tipo	LO (nm)	DNRO	potenza
2	dermatologia	Xtrac Velocity 400 Photomedex (ex IIIa)	4	eccimeri Xe-Cl	308	20 cm ↘	2-5 mJoule/cm ²
3	dermatologia	Xtrac Ultra Photomedex	4	eccimeri Xe-Cl	308	20 cm ↘	2-3 mJoule/cm ²
4	dermatologia	Fraxel Restore Dual 1550/1927	4	Qx/Er:Glass	1550,1927	13,8 per 1550nm; 49 m per 1927nm	30W per 1550, 12W per 1927
5	dermatologia	Cynosure Picosure	4	alessandrite	755	4200 m ↙	200 mJ
6	dermatologia	palomar starlux system	4	Qx/Er:Glass	1540	10 cm ↘	10J
7	dermatologia	Lumenis Ultra Pulse	4	CO ₂	10600	175 m	60 Watt
8	emodinamica	spectranetics	4	eccimeri Xe-Cl	308	18 cm ↘	30-80 mJoule/mm ²
9	fisioterapia	HPL 3.2	4	semiconduttori a LED	808 + 980	9,13 m	3,2 W
10	fisioterapia	Klaser Cube 4	4	diodi	660, 800, 905, 970	1,65 m	20 W (a 800,905,970); 120mW (a 660)
11	gastroenterologia	Leonardo Dual 45W	4	diodi	980 + 1470	2,9 m	30W (a 980 nm); 15 W (a 1470 nm)
12	ginecologia amb	laser Smartilipo 18 - M053K2	4	Nd:YAG	1064	25 m	450 mJ
13	ginecologia SO	smart xide2	4	CO ₂	10600	29 m	60 Watt
14	ginecologia SO	Lumenis Ultra Pulse Encore 60W	4	CO ₂	10600	175 m ↙	60 Watt
15	Neuroriabilitazione	Lumix Q - Fisioline	4	Nd:YAG	1064	25 m	20 W
16	oculistica amb	oculight symphony iris medical	4	diodi+Nd:YAG 2ω	810 e 532	da 3 a 33 m	4W e 5W
17	oculistica amb	Pascal Syntesis 577 giallo	4	diodi	577	5.4 m (lampada a fessura); 16.1m (LIO); 3.2m (sonda laser)	2 Watt
18	oculistica amb	Pascal	4	diodi	532	5.4 m (lampada a fessura); 16.1m (LIO); 3.2m (sonda laser)	2 Watt
19	oculistica amb	visulas Yag III combi	4	Nd:YAG	1064	2 m	50 mJoule
20	oculistica amb	EGG	4	diodi	980 + 645	da 0.19 a 5.67 m	4W (a 980 nm); 0,4 W (a 645 nm)
21	oculistica amb	coherent novus omni	4	Kr	526,540,568,647	16,14 m	2 Watt
22	oculistica amb	coherent opal	3B	diodi	689	12,29 m	0.3 Watt ↗
23	oculistica SO	alcon ophthalmas 532	4	Nd:YAG 2w	532	LIO: 20 m; lampada a fessura: 40 m; endosonda: 3m	2 Watt
24	oculistica SO	Alcon Constellation	4	diodi	532	LIO: 20 m; endosonda: 3m	2W
25	oculistica SO	Alcon ophthalmas 532 Eyelite	4	Nd:YAG 2w	532	LIO: 20 m; lampada a fessura: 40 m; endosonda: 3m	3.5 W
26	oculistica SO	Litho Quanta System	4	Ho:YAG	2100	0.34-0.44 m (a seconda del diametro del fascio)	30 Watt
27	oculistica SO	Cyber TM Quanta System	4	Tullio	2010	1.13 m	200 Watt ↙
28	oculistica SO	coherent ultrapulse 5000C	4	CO ₂	10600	158 m ↙	100 Watt
29	oculistica SO	alcon Purepoint	4	diodi	532	da 3 a 40 m	2 Watt
30	odontoiatria	Laser Morita mod. MEY-1-A sn DL705	4	Er:YAG	2940	41 cm	400 mJ
31	odontoiatria	DMT Raffaello Bio	4	diodi	980 + 645	da 0.73 a 5,67 m (a seconda di fibra)	7 Watt e 0.4 W
32	odontoiatria	Diode G-Laser	4	diodi	980	da 0.77 m a 12.2 m (a seconda del diametro del fascio)	6.5 Watt
33	odontoiatria	Pocket laser	4	diodi	915	2,43 m	6 Watt
34	ORL	AcuPulse 30 ST	4	CO ₂	10600	292 m ↙	60 Watt
35	ORL	Ultrapulse UP DUO	4	CO ₂	10600	333 m ↙	60 W
36	ORL	Dormier Medilas D	4	diodi	940	4 m	60 Watt
37	podologia	Podialaser	4	diodi	980	da 0.19 a 5.67 m	7 Watt
38	proctologia	Leonardo Mini dual 14W	4	diodi	980 + 645	1.5 m	10W (a 980 nm); 4 W (a 1470 nm)
39	urologia amb	Youlaser MT	4	CO ₂ ,diodo	10600, 1540	36, 5 m	30, 8 W
40	urologia SO	versapulse Power Suite holmium 100	4	Ho:YAG	2100	1.1 m	100W
41	urologia SO	versapulse Power Suite holmium 100	4	Ho:YAG	2100	1.1 m	100W
42	urologia SO	Dornier Medilas D	4	diodi	940	4 m	60 Watt
43	urologia SO	coherent versapulse holmium 100W	4	Ho:YAG	2100	1.1 m	100W
44	urologia SO	Cyber TM200	4	tullio	2010	1.13 m	200 W ↙
45	urologia so	Cyber TM Quanta System	4	Tullio	2010	1.13 m	200 W ↙
46	urologia so	Litho Quanta System	4	Ho:YAG	2100	0.47 m (0.34-0.47, a seconda del diametro del fascio)	30 W
47	urologia so	Cyber Ho 60	4	Ho:YAG	2100	0.65 m	60 W
48	urologia SO	Iumenis powersuite holmium 100W	4	Ho:YAG	2100	1.1 m	100W

Valutazione delle zone di rischio laser

- Teoricamente sarebbe possibile definire la zona di rischio di esposizione a radiazione laser pericolosa, come la sfera di raggio pari alla DNRO, centrata sul laser quando questo è in funzione.
- In campo medico i laser vengono utilizzati in locali in cui spesso ci sono oggetti riflettenti; inoltre, si è in presenza di operatori e pazienti che lavorano a stretto contatto e che possono urtarsi, deviando involontariamente la direzione del fascio laser.
- Quindi si deve tener conto non solo della traiettoria prevista del fascio, ma anche dell'eventualità che il fascio venga involontariamente puntato in una direzione diversa, o che venga involontariamente riflesso.



Ing A. Tomaselli

ZONA LASER CONTROLLATA (ZLC)

E' la zona all'interno della quale l'esposizione energetica del fascio supera i Valori Limite di Esposizione per la cornea e in cui pertanto si applicano i controlli per la sicurezza laser.

- In ambiente sanitario, generalmente la ZLC si fa coincidere con il locale in cui il laser viene utilizzato.
- Durante l'uso del laser, le porte di accesso al locale (ambulatorio, sala operatoria) devono essere tenute chiuse (non a chiave, per la sicurezza del paziente)
- Le persone che operano in tale zona devono aver seguito appositi corsi di formazione e informazione

SISTEMI DI TRASMISSIONE DELLA RADIAZIONE LASER

I sistemi di trasmissione più comuni sono:

- **Trasmissione diretta**: l'energia del laser viene trasmessa direttamente dall'apertura di emissione al tessuto (con o senza lenti di focalizzazione).

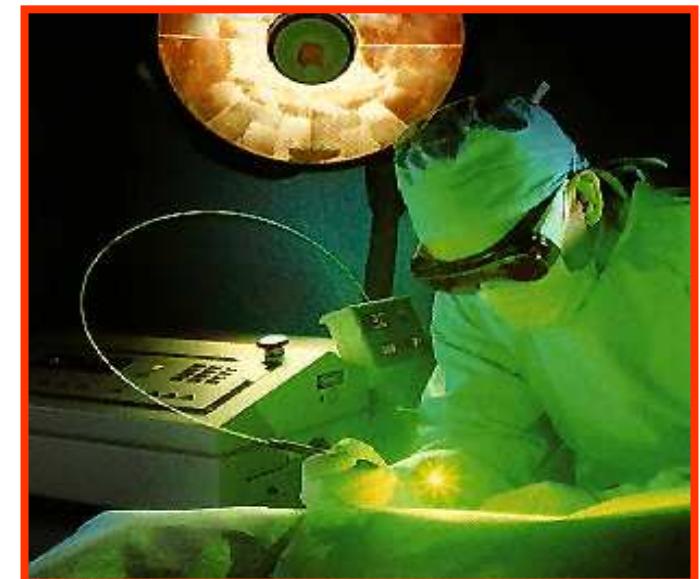
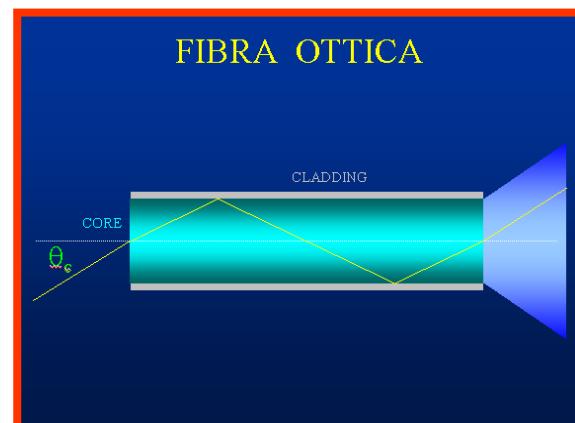
- puntatori laser
- laser per il posizionamento dei Pazienti (per es. in radioterapia)
- laser oftalmici



- **Fibra ottica**: l'energia laser viene focalizzata con una lente in una fibra di vetro, e quindi trasmessa in modo da emergere come fascio divergente all'estremità distale della fibra.

Generalmente il sistema di trasmissione a fibre ottiche viene utilizzato assieme a endoscopi (flessibili o rigidi)

- laser Nd:YAG



SISTEMI DI TRASMISSIONE DELLA RADIAZIONE LASER

• **Braccio articolato:** Alcune λ ($>4000\text{nm}$) vengono assorbite dal vetro e non possono quindi essere trasmesse mediante normali fibre in vetro o lenti. Per le $\lambda > 4000 \text{ nm}$ si utilizzano allora bracci articolati mediante i quali la radiazione attraversa un braccio cavo utilizzando un sistema di specchi riflettenti.

➤ laser a CO₂

• **Guida d'onda:** l'energia viene trasmessa attraverso un tubo cavo con un rivestimento interno riflettente non rigido. Tali dispositivi hanno permesso di superare le limitazioni dovute alla non flessibilità dei bracci articolati.

➤ laser a CO₂

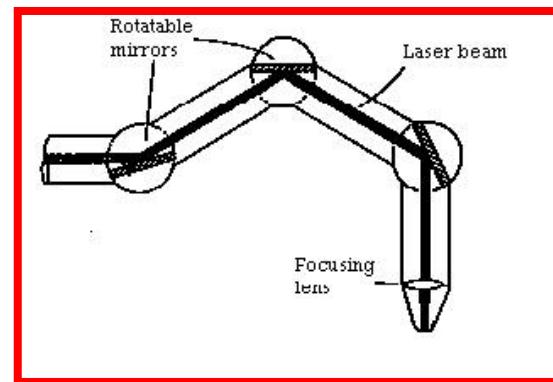


RISCHI DIRETTI

Diversi a seconda della modalità di emissione e di utilizzo:

- 1) Laser a braccio articolato a «cielo aperto»
- 2) Laser a braccio articolato con applicatori
(microscopi, endoscopi rigidi, colposcopi, ecc)
- 3) Fibre ottiche
- 4) Fibre ottiche con applicatori (endoscopi flessibili, scanner, ecc)
- 5) Laser oculistici

Braccio articolato



- Rischi

1. Incendio



2. Bruciature cutanee, lesioni oculari (fascio diretto, riflesso o diffuso)
3. Non coincidenza fasci di puntamento e trattamento



4. Rischio biologico

- Precauzioni

1. Fascio laser nel campo operatorio, con telini umidi attorno. Estintore, siringa 500ml



2. Camici cotone, occhiali. Strumenti chirurgici antiriflesso

3. Controllo allineamento fasci



4. Aspiratore di fumi

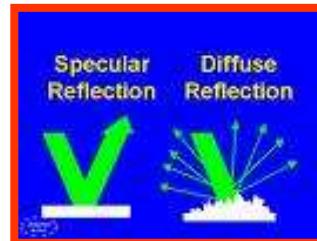
BRACCIO ARTICOLATO

con MICROSCOPI, ENDOSCOPI

RIGIDI, COLPOSCOPI, ecc



- Rischi
- 1. Incendio



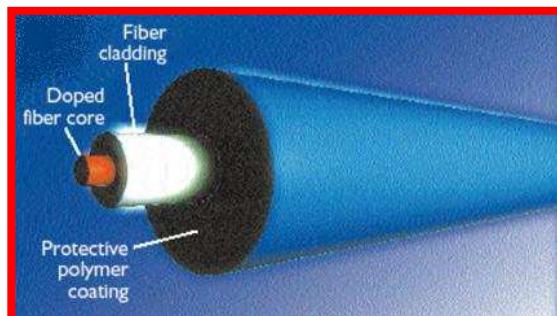
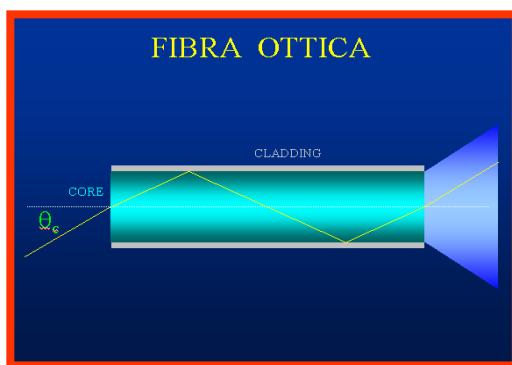
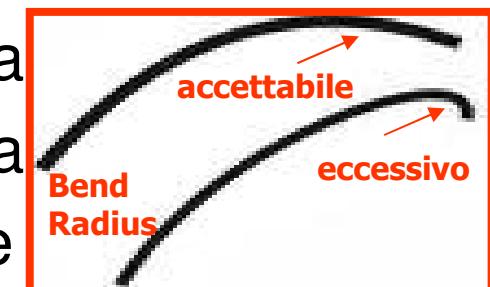
- 2. Bruciature cutanee, lesioni oculari (fascio diretto, riflesso o diffuso)
- 3. Riflessioni attraverso il canale di visione
- 4. Disallineamento e/o non confocalità del fascio

- Precauzioni
- 1. Fascio laser nel campo operatorio, con telini umidi attorno. Estintore, siringa 500ml
- 2. Camici cotone, occhiali. Strumenti chirurgici antiriflesso
- 3. Controllo del filtro del canale di visione
- 4. Controllare allineamento fasci



FIBRE OTTICHE

- Rischi
 - 1. Contaminazione, incendio fibra
 - 2. Rottura della fibra
 - 3. Deterioramento fibra
- Precauzioni
 - 1. Pulizia della parte terminale della fibra
 - 2. Non piegare la fibra con raggio inferiore a quello indicato dal costruttore. Occhiali
 - 3. Controllo efficienza di trasmissione



FIBRE + ENDOSCOPI FLESSIBILI:

↳ Fibroscopi: visione tramite oculare
Videoendoscopi: visione su monitor

Rischi

1. Rottura della fibra nella parte esterna dell'endoscopio
2. Embolia gassosa
3. Incendio (fibra e/o endoscopio)



Precauzioni

1. Occhiali
2. Uso di gas CO₂
3. Il laser va attivato quando la fibra è fuori dall'endoscopio



E' il sistema di utilizzo del laser che più riduce i rischi agli operatori

LASER OFTALMICI



Ferramedica

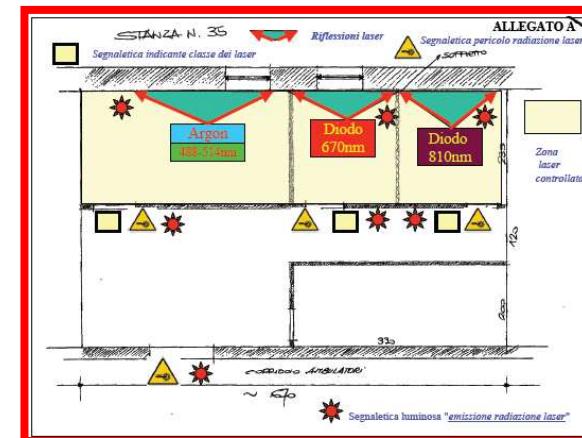
Rischi

1. Riflessioni da lente di accoppiamento
2. Malfunzionamento del filtro dinamico associato all'ingranditore ottico

Si ha emissione di radiazione laser (veicolata generalmente da fibre che collegano il sistema laser al microscopio) in ambiente esterno. In generale la direzione di emissione del fascio laser è vincolata alla direzione operatore-paziente.

Precauzioni

1. Non sostare dietro all'operatore senza occhiali
2. Controllo del filtro



Dott. A. Guasti

VALUTAZIONE RISCHI

Art. 216 – CAPO V - Identificazione dell'esposizione e valutazione dei rischi

“...nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'art. 181, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura e/o calcola i livelli delle radiazioni ottiche a cui possono essere esposti i lavoratori...“

DA LINEE GUIDA ROA – ISPESL:

- I laser di classe 1 e 2 sono “giustificabili” (art. 181), cioè non necessitano di un approfondimento della valutazione.
- “Se le sorgenti non sono “giustificabili”, la valutazione senza misurazioni né calcoli può essere fatta quando si è in possesso di :
 1. dati tecnici forniti dal fabbricante (comprese le classificazioni delle sorgenti o delle macchine secondo le norme tecniche pertinenti)”
 2. “dati di letteratura scientifica o dati riferiti a situazioni espositive analoghe”, provenienti da fonte autorevole (linee guida, report, ecc.)

che garantiscano il non superamento dei valori limite.

VALUTAZIONE RISCHI

ESECUZIONE DI CALCOLI:

Partendo da:

- Lunghezza d'onda
- Potenza/energia emessa
- Tipo di emissione (continua o pulsata)
- Durata dell'esposizione
- Distanza operatore sorgente
- Diametro spot
- Divergenza del fascio
- Tipo di esposizione al fascio

si calcolano le esposizioni energetiche all'occhio e alla pelle dell'operatore e si confrontano con i rispettivi limiti

VALUTAZIONE RISCHI

ESECUZIONE DI MISURE:

- Usare power/energy meter calibrato e dotato di una testa di misura adatta al tipo di laser
- La taratura della strumentazione deve essere effettuata presso laboratori che garantiscano la riferibilità ai campioni internazionali di misura
- La taratura va ripetuta secondo le indicazioni del costruttore (al massimo biennale)

Le esposizioni energetiche misurate all'occhio e alla pelle dell'operatore vanno poi confrontate con i rispettivi limiti



STRUMENTAZIONE

I power/energy meter sono costituiti da:

- Display
- Una o più sonde («teste») di misura

Poiché non esiste un rivelatore adatto per tutti i laser, in genere è necessario dotarsi di più sonde per coprire le diverse lunghezze d'onda e le diverse potenze dei laser presenti in una struttura ospedaliera.



Un solo display è in grado di gestire molte “teste”

TIPI DI MISURE

LASER CONTINUI

- Potenza media (W)

LASER IMPULSATI

- Energia di singolo impulso (J)
- Potenza media del treno di impulsi

STRUMENTAZIONE

I principali rivelatori si possono dividere in 2 categorie:

- **Sensori termici** Sfruttano la conversione dell'energia dei fotoni in calore
 - Termopile
 - Cristalli piroelettrici

- **Sensori a semiconduttori** Sfruttano la fotogenerazione di coppie elettrone-lacuna nei semiconduttori
 - Fotoresistenze
 - Fototransistor
 - Fotodiodi

STRUMENTAZIONE

TIPO DI RIVELATORE:

SENSORI TERMICI

- Termopile (alta potenza)
- Rivelatori piroelettrici

TIPO DI MISURA:

- Potenza (CW)
- Potenza media (impulsati)
- Energia di singolo impulso

SENSORI A SEMICONDUTTORE

- Fotodiodi (media potenza)
- Potenza media

CARATTERISTICHE SENSORI TERMICI

Termopile

- Sono adatte sia per laser in continua che per laser impulsati, anche se la loro risposta non è sufficientemente veloce per misurare la potenza di picco di un laser a impulsi corti.
- Possono misurare valori dell'ordine di:
 - 10 J/cm^2 per impulsi dell'ordine del ms
 - 30 KW/cm^2 per laser in continua
- Risposta poco dipendente dalla lunghezza d'onda
- Range di utilizzo: dai mW alle centinaia di W
- Tempo di risposta: da frazioni di secondo fino a qualche decina di secondi

CARATTERISTICHE SENSORI TERMICI

Cristalli piroelettrici

Misurano l'energia dei singoli impulsi

- Risposta quasi piatta in funzione della lunghezza d'onda
- Range di utilizzo: dai μJ a qualche decina di J
- Tempo di risposta: dell'ordine del ms

CARATTERISTICHE SENSORI A SEMICONDUTTORE

Fotodiodi

Possono essere usati per misure di potenza media: hanno un alto grado di linearità in un largo intervallo di livelli di potenza: da frazioni di nW a circa 2 mW. Oltre a questo livello, la densità di elettroni nel fotodiodo diventa troppo grande e la sua efficienza è ridotta, causando saturazione e riduzione della risposta. Usando filtri opportuni sulla testa di misura, si possono misurare potenze più elevate, fino a circa 3 W

- Risposta dipendente dalla lunghezza d'onda
- Range di utilizzo: dai nW fino a qualche mW
- Tempi di risposta: dai μ s ai ns

SOGLIE DI DANNEGGIAMENTO

Fornite dal costruttore, espresse in:

- potenza media/massima (W)
- fluenza (energia per unità di superficie, J/cm²)
- intensità media o di picco (potenza per unità di superficie, W/cm²)

Possono dipendere anche dalla lunghezza d'onda
e dalla durata dell'impulso

SOGLIE DI DANNEGGIAMENTO

Porre molta attenzione alle modalità di emissione del laser:

- Con fasci laser di piccolo diametro o focalizzati, i valori di densità di energia o di densità di potenza possono superare la soglia di danneggiamento, anche se la potenza media è inferiore al limite di tolleranza
- Può quindi essere necessario, in alcuni casi, defocalizzare il fascio per poter effettuare la misura senza rovinare lo strumento

SOGLIE DI DANNEGGIAMENTO

laser in continua

Per misurare la potenza emessa da laser funzionanti in modalità continua, in generale è sufficiente:

- verificare che la potenza impostata non superi la soglia di danneggiamento
- allontanarsi il più possibile dal punto di emissione in modo da non avere un fascio collimato, che potrebbe superare la soglia di danneggiamento relativa alla densità di potenza.



SOGLIE DI DANNEGGIAMENTO: laser impulsati

Esempio: YAG laser in interventi oculistici: il laser è utilizzato per praticare delle piccolissime incisioni nei tessuti oculari allo scopo di eliminare le opacità della capsula posteriore del cristallino (la cosiddetta cataratta secondaria, che può comparire anche molto tempo dopo l'intervento di cataratta).

Se dobbiamo misurare l'energia degli impulsi emessi, attenzione a non posizionare la testa di misura nel punto di focalizzazione altrimenti si rovina!

SOGLIE DI DANNEGGIAMENTO

Bisogna posizionarsi prima o dopo il punto di focalizzazione, dove il fascio è divergente:

Fascio defocalizzato



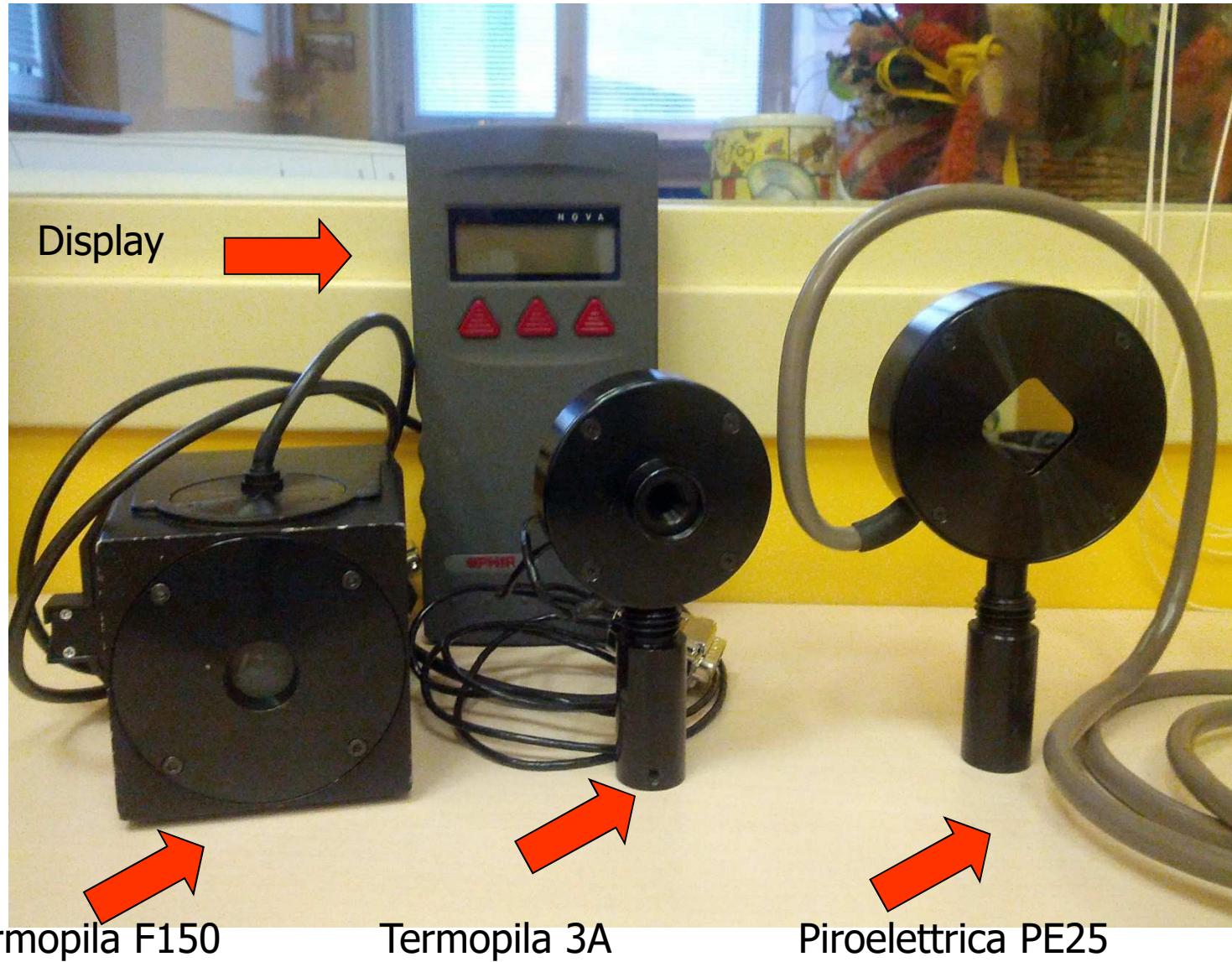
Fascio focalizzato



STRUMENTAZIONE

Scegliendo i sensori con un po' di attenzione è spesso possibile acquistare poche teste per controllare molte apparecchiature

STRUMENTAZIONE



CORSO PER TECNICO/ADDETTO SICUREZZA LASER, TSL/ASL

**Le radiazioni ottiche coerenti
in ambito sanitario:
misure di sicurezza e principi di
assicurazione di qualità**

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

D.L.gs 9-4-2008, n.81

TITOLO VIII – AGENTI FISICI

CAPO V – PROTEZIONE DEI LAVORATORI DAI RISCHI DI ESPOSIZIONE A RADIAZIONI OTTICHE ARTIFICIALI

Art. 217 Disposizioni miranti ad eliminare o a ridurre i rischi

“1) Se la valutazione dei rischi di cui all’art. 17, comma 1, lettera a), mette in evidenza che i valori limite d’esposizione possono essere superati, il datore di lavoro definisce e attua un programma d’azione che comprende misure tecniche e/o organizzative destinate ad evitare che l’esposizione superi i valori limite, tenendo conto in particolare:

- a) di altri metodi di lavoro che comportano una minore esposizione alle radiazioni ottiche
- b) della scelta di attrezzature che emettano meno radiazioni ottiche, tenuto conto del lavoro da svolgere
- c) delle misure tecniche per ridurre l’emissione delle radiazioni ottiche, incluso, quando necessario, l’uso di dispositivi di sicurezza, schermatura o analoghi meccanismi di protezione della salute
- d) degli opportuni programmi di manutenzione delle attrezzature di lavoro, dei luoghi e delle postazioni di lavoro
- e) della progettazione e della struttura dei luoghi e delle postazioni di lavoro
- f) della limitazione della durata e del livello di esposizione
- g) della disponibilità di adeguati dispositivi di protezione individuale
delle istruzioni del fabbricante delle attrezzature”

2) In base alla valutazione dei rischi di cui all’art. 216, i luoghi di lavoro in cui i lavoratori potrebbero essere esposti a livelli di radiazione ottica che superino i valori limite di esposizione devono essere indicati con un’apposita segnaletica. Dette aree sono inoltre identificate e l’accesso alle stesse è limitato, laddove ciò sia tecnicamente possibile.

3) Il datore di lavoro adatta le misure di cui al presente articolo alle esigenze dei lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio.”

PRINCIPIO STOP (*)

Il principio STOP determina la sequenza con cui vanno adottati i provvedimenti:

- 1) **Sostituzione** (misure alternative): sostituzione di procedure di lavoro pericolose con altre non, o meno, pericolose
- 2) **Tecnica** (misure tecniche): uso di dispositivi di protezione per ridurre l'emissione di radiazioni ottiche (es schermature)
- 3) **Organizzazione** (misure organizzative): limitazione della durata di esposizione, formazione, ecc
- 4) **Protezione individuale** (DPI): utilizzo di dispositivi di protezione individuale

MISURE DI PREVENZIONE E SICUREZZA

Se dalla valutazione dei rischi emerge che esistono rischi per il personale, bisogna mettere in atto misure di prevenzione e sicurezza atte a ridurli.

Tali misure si articolano su 2 livelli:

- misure di prevenzione collettiva
- misure di prevenzione individuale

MISURE DI PREVENZIONE E SICUREZZA

MISURE DI PREVENZIONE COLLETTIVA	Misure di sicurezza ingegneristiche basate su protezioni "fisiche"	Interruttori di emergenza Comando a chiave (chiavi di accensione removibili) Connettori di blocco a distanza (non in ospedale) Avvisatori acustici e visivi di emissione
	Misure di sicurezza amministrative basate sul rispetto di regole di comportamento	Targhette Segnali di avvertimento Procedure operative di sicurezza Norme di comportamento Corsi di formazione e informazione
MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE	Dispositivi di protezione individuale	occhiali camicie in cotone

- Sono da preferire, ove possibile, le misure di sicurezza di tipo ingegneristico perché, a differenza di quelle amministrative, sono indipendenti dal fattore umano.
- Anche gli interventi per rendere idonei gli ambienti e le misure tecniche sui laser sono misure di prevenzione importanti

MISURE DI SICUREZZA INGEGNERISTICHE (1)

Si dividono in:

- Interruttore di emergenza (per laser di classe 4)
- Comando a chiave
- Connettore di blocco a distanza
- Avvisatore acustico o visivo di emissione di radiazione laser

MISURE DI SICUREZZA INGEGNERISTICHE (2)

INTERRUTTORE DI EMERGENZA:

in caso di emergenza, permette di spegnere completamente l'apparecchiatura laser, interrompendo l'erogazione di radiazione laser



MISURE DI SICUREZZA INGEGNERISTICHE (3)

COMANDO A CHIAVE:

- Il comando a chiave deve essere presente: la chiave deve essere rimossa dall'operatore quando il laser non è utilizzato, e deve essere conservata in un luogo non accessibile a personale non autorizzato



- Se questa misura non è attuabile, è possibile chiudere a chiave il locale in cui è installato il laser per prevenire un uso non autorizzato

MISURE DI SICUREZZA INGEGNERISTICHE (4)

CONNETTORE DI BLOCCO A DISTANZA:

- Connettore che collega il laser a dispositivi di blocco dei locali o delle porte.
- Normalmente non viene installato in ambito ospedaliero, per non mettere a rischio la salute del paziente (che potrebbe aver urgentemente bisogno di assistenza: gli operatori devono poter intervenire immediatamente)

AL POSTO DI QUESTA MISURA, SI POSSONO METTERE IN ATTO LE SEGUENTI MISURE ALTERNATIVE :

- permettere l'accesso solo a un numero limitato di operatori autorizzati
- apporre segnali di divieto di accesso all'ingresso del locale, per segnalare il pericolo



MISURE DI SICUREZZA INGEGNERISTICHE (5)

AVVISATORI ACUSTICI E VISIVI DI EMISSIONE DI RADIAZIONE LASER:

forniscono un segnali sonori e visivi quando la sorgente laser è attivata; sono importanti specialmente quando il fascio laser è invisibile



MISURE DI SICUREZZA AMMINISTRATIVE: TARGHETTE

Devono essere in accordo con quanto prescritto dalla norma CEI EN 60825.

Sono targhette gialle con le scritte nere.

Si dividono in:

- **targhette di avvertimento:** triangolari con simbolo di radiazione laser
- **targhette di informazione:** rettangolari, con informazioni sulla radiazione laser emessa



MISURE DI SICUREZZA AMMINISTRATIVE: SEGNALI DI AVVERTIMENTO (1)

Ogni accesso alla Zona Laser Controllata (ZLC) deve essere contrassegnato da un cartello di avvertimento, conforme alla normativa.

- cartello giallo di avviso di pericolo laser
- cartello di delimitazione di ZLC
- cartello di indicazione di classe del laser
- cartello prescrizione occhiali (se previsti)



oppure con un unico cartello che raccolga tutte le informazioni:

e che includa eventualmente informazioni specifiche sul laser in oggetto, quali lunghezza d'onda e potenza massima emessa, in modo da fornire all'utilizzatore indicazioni sul tipo di protezione oculare da indossare.



MISURE DI SICUREZZA AMMINISTRATIVE: SEGNALI DI AVVERTIMENTO (2)



che devono essere accesi SOLO quando il laser è in funzione!

MISURE DI SICUREZZA AMMINISTRATIVE: SEGNALI DI AVVERTIMENTO (3)

All'interno della Zona Laser Controllata devono essere posti cartelli che indichino di evitare l'esposizione alle radiazioni laser:



Le stesse informazioni sono riportate anche sul registro dei controlli giornalieri, che viene tenuto vicino al laser

ALTRÉ MISURE DI PREVENZIONE AMMINISTRATIVE

Sono procedure di lavoro da adottare per ridurre il rischio di esposizione a radiazione laser di livello pericoloso. Si articolano su 3 livelli:

- **Organizzazione di Corsi di formazione e informazione**, il cui scopo è quello di aumentare il livello di conoscenza degli operatori. Si devono seguire prima di essere esposti al rischio.
- **Predisposizione di Procedure Operative di Sicurezza (POS)**, il cui scopo è quello di aumentare la consapevolezza dei pericoli e conseguentemente aumentare il livello di protezione degli operatori e della popolazione dai rischi associati all'uso del laser.
- **Predisposizione di norme di comportamento e sicurezza**: sono "regole di condotta" che l'operatore deve seguire per non mettere a rischio la propria e l'altrui salute

MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (1)

Se nonostante le misure di sicurezza messe in atto sussiste il pericolo di un superamento dei Valori Limite di Esposizione per gli Organi a Rischio (occhi e cute) occorre fornire agli operatori e ai pazienti adeguati Dispositivi di Protezione Individuale (DPI):

- Occhiali per la protezione degli occhi
- Camici in cotone per la protezione della pelle



MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (2): OAR

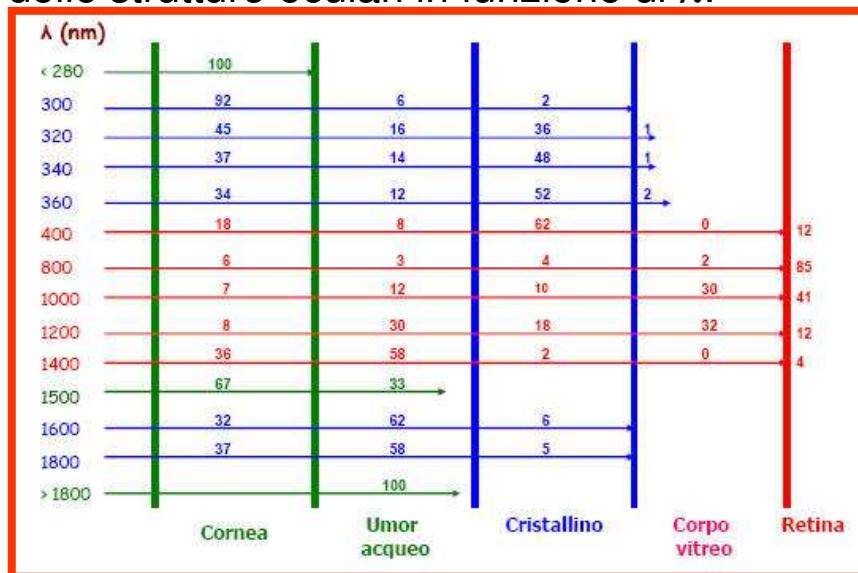
OCCHI: PELLE:

La localizzazione dei rischi ottici dipende dalla λ , mentre la gravità dipende dalla potenza. Il rischio per gli occhi è particolarmente alto elevato nel caso di:

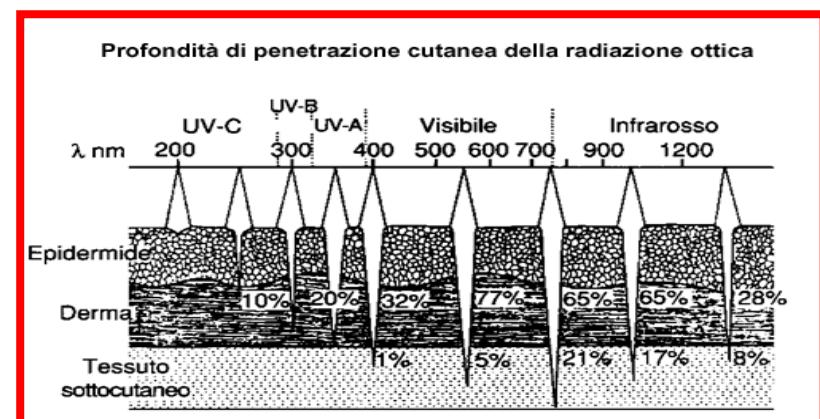
- radiazioni visibili (400-780 nm)
- radiazioni IR A (780-1400 nm)

perché l'occhio è in grado di focalizzarle sulla retina. Le densità di energia sulla retina sono tipicamente 10^5 volte più elevate di quelle in arrivo sull'occhio a livello di cornea.

Assorbimento % della radiazione ottica da parte delle strutture oculari in funzione di λ :



Il rischio per la pelle è in genere meno grave per l'immediata reazione del soggetto ad un insulto termico (se non è il pz anestetizzato). La penetrazione della pelle è massima per lunghezze d'onda comprese tra 700 e 1000 nm



NIR in medicina - 2001

Campurra-2001

MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (3): OCCHI

Se i limiti di esposizione vengono superati, è necessario prescrivere DPI (Dispositivi di Protezione Individuale) oculari.

Ce ne sono di 2 tipi:

1. Occhiali di protezione totale

- ✓ Riportano i valori di esposizione incidenti a valori di sicurezza
- ✓ Intervallo di lunghezze d'onda: 180 nm – 1 mm
- ✓ Tipo di filtro: LB (L in UNI EN 207-2000)
- ✓ Livelli di protezione: 10 (da LB1 a LB10)
- ✓ Normativa di riferimento: **UNI EN 207** (2017)



2. Occhiali di allineamento

- ✓ Riportano i valori di esposizione incidenti ai valori di classe 2
- ✓ Intervallo di lunghezze d'onda: 400 nm – 700 nm
- ✓ Tipo di filtro: RB (R in UNI EN 207-2000)
- ✓ Livelli di protezione: 5 (da RB1 a RB5)
- ✓ Normativa di riferimento: **UNI EN 208** (2010)

MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (4): OCCHI

In caso di possibile superamento dei valori limite di esposizione gli operatori e il paziente devono indossare occhiali di protezione adatti



Non guardare MAI direttamente il fascio laser,
nemmeno indossando gli occhiali!

MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (5): OCCHI

Sugli occhiali sono riportate le seguenti informazioni:

- Condizioni di funzionamento del laser:

- D = continua [durata > 0.25s]
- I = impulsata [da 10^{-6} a 0.25 s]
- R = impulsi giganti [da 10^{-9} a 10^{-6} s]
- M = mode-locking [durata < 10^{-9} s]

DIR	770 - <800	L4	LV DIN CE S
D	800 - 1100	L5	LV DIN CE S
IR	800 - 980	L6	LV DIN CE S
IR	>980 - 1065	L7	LV DIN CE S
IR	>1065 - 1100	L5	LV DIN CE S

- Lunghezza d'onda (λ) o intervallo di lunghezze d'onda verso le quali gli occhiali offrono protezione
- numero di scala (parametro che definisce il livello di attenuazione richiesto ad un filtro per abbattere la radiazione laser incidente sull'occhio ai valori limite di esposizione). E' rappresentato con il simbolo LB (negli occhiali più vecchi era L), seguito da un numero compreso tra 1 (protezione minima) e 10 (protezione massima): LB1 LB2 ...LB10 (oppure L1 L2 ... L10)
- Marchio di identificazione del costruttore
- Marchio di certificazione CE

MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (6): OCCHI

Le caratteristiche di protezione degli occhiali sono riportate sulle lenti e sulla montatura degli occhiali



Foto Ing D. Milani

MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (7): OCCHI

La **stabilità ottica** è la resistenza dell'occhiale ad un impatto diretto con il fascio laser.

La protezione dovuta alla densità ottica (parametro che definisce il livello di attenuazione richiesto ad un filtro per abbattere la radiazione laser incidente sull'occhio ai valori di sicurezza) da sola non è sufficiente nel caso in cui il materiale dell'occhiale non sia in grado di resistere ad un impatto diretto di una radiazione laser di specificata potenza/energia e durata, senza perdere, durante il contatto, le caratteristiche protettive: perciò filtri e montature devono sopportare il contatto del laser per il quale sono stati selezionati per almeno:

- 5 secondi in modalità continua, o
- 50 impulsi in modalità pulsata.

MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (8): OCCHI

Nella norma UNI EN 207 (2000) la stabilità ottica prevedeva la resistenza a :

- 10 secondi in modalità continua, o
- 100 impulsi in modalità pulsata.

Comunque, non si deve mai:

- dirigere il fascio laser verso gli occhi
- osservare direttamente il fascio

anche se protetti da occhiali marcati CE!

NB: La stabilità ottica non è richiesta nella norma statunitense; la marcatura CE invece la garantisce

MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (9): OCCHI

ESEMPI DI SIGLE DI IDENTIFICAZIONE DEGLI OCCHIALI:

1. La sigla D 633 L5 X ZZ significa che l'occhiale offre protezione per un laser che lavora in regime continuo (D), che emette radiazione di lunghezza d'onda pari a 633 nm, e attenua la radiazione di un fattore $10^5 = 100.000$ (X e ZZ sono i marchi di costruttore e di certificazione)
 2. La sigla DI 630-700 L4 X ZZ significa che l'occhiale offre protezione per un laser che lavora in regime continuo (D) e in regime impulsato (I), che emette radiazione di qualsiasi lunghezza d'onda compresa tra 630 nm e 700 nm, e attenua la radiazione di un fattore $10^4 = 10.000$ (X e ZZ sono i marchi di costruttore e di certificazione)
 3. 1000-1400 D LB6 + I LB7 + M LB6 **y** + R LB5 : **y** significa che l'occhiale non è stato sottoposto a prova per basse frequenze di ripetizione (≤ 25 Hz)
- Gli occhiali devono avere la marcatura CE perché solo la norma europea (e non quella americana) garantisce la stabilità ottica, cioè la resistenza dell'occhiale a un irraggiamento diretto.

MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (10): PELLE

- La pelle è in grado di tollerare una esposizione al fascio laser superiore a quella dell'occhio, ma un'esposizione accidentale può comunque provocare danni (eritema, ustione)
- Gli indumenti protettivi devono essere in materiale ignifugo e termoresistente
- In ambito ospedaliero, in caso di possibile esposizione superiore ai Valori Limite di Esposizione, possono essere usati camici in cotone pesante a maniche lunghe
- Evitare teli o indumenti in tessuto non tessuto (TNT)₁₁₈



MISURE DI PREVENZIONE INDIVIDUALE (11): PELLE

- Anche i pazienti devono essere adeguatamente protetti dal rischio di superamento dei valori limite di esposizione per la cute.
- In particolare i pazienti anestetizzati: non sono infatti in grado di innescare le normali reazioni di difesa ad un eventuale insulto termico.

IDONEITA' AMBIENTALE

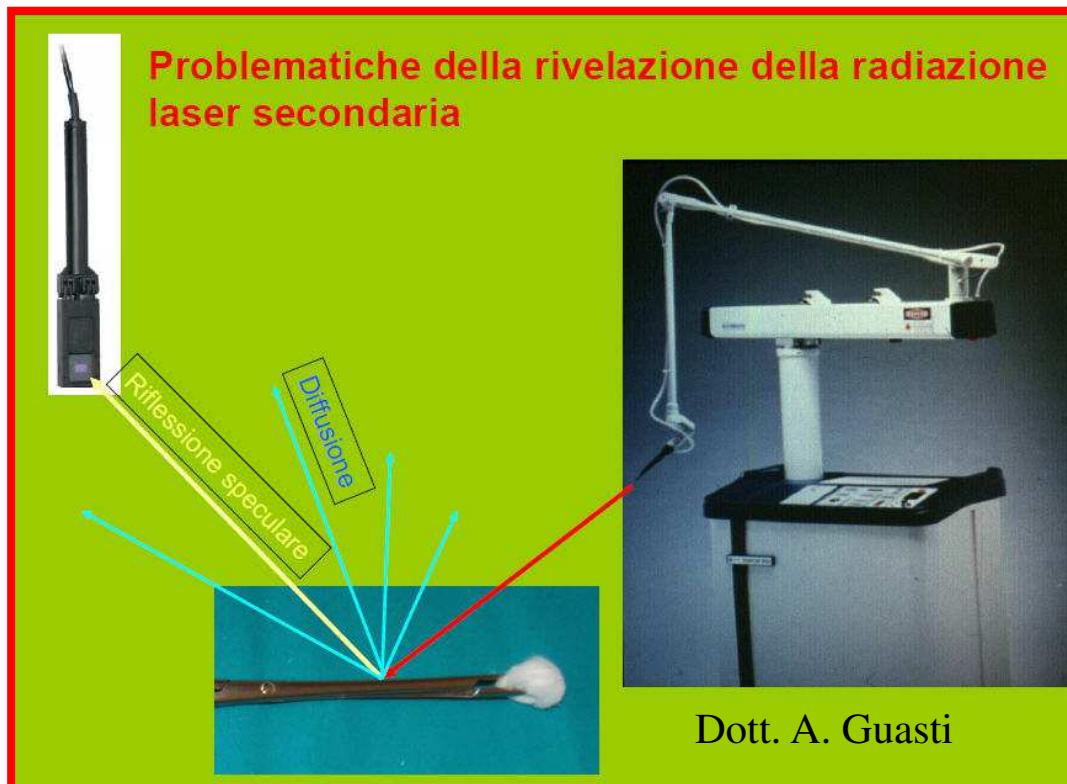
Eliminare, se possibile, gli oggetti riflettenti nel locale di utilizzo del laser



SE QUESTA MISURA NON E' ATTUABILE, SI POSSONO METTERE IN ATTO LE SEGUENTI MISURE ALTERNATIVE:

- uso di strumenti chirurgici satinati (in sala operatoria)
- trattare le eventuali superfici riflettenti presenti (uso di tende ignifughe alle finestre, copertura delle superfici riflettenti con vernici opache o con teli di tessuto di cotone pesante, applicazione di pellicole rifrangenti ai vetri)

IDONEITA' AMBIENTALE



Le riflessioni provocate dalle superfici lucide (*superfici metalliche e arredi della sala operatoria tipo vetrinette, supporti per flebo, fissaggi al tavolo operatorio, diafanoscopi, orologi di sala, rubinetterie, condotti per la ventilazione, ecc*) possono focalizzare il fascio laser: ciò può essere pericoloso, soprattutto per gli occhi. Tali oggetti dovrebbero:

- o essere spostati dalla sala durante l'uso del laser
- o essere satinati
- o ricoperti con teli di cotone pesante

- Gli strumenti chirurgici che devono essere utilizzati con il laser devono essere ruvidi o satinati.
- Durante l'uso di laser non vanno indossati gioielli, orologi, anelli, ecc. perché potrebbero causare riflessione involontaria del fascio

IDONEITA' AMBIENTALE

- **PROBLEMI:** mentre negli ambulatori si possono mettere in atto alcune soluzioni per evitare le riflessioni involontarie del fascio, nelle sale operatorie non sempre è possibile:
 - 1) L'uso di teleria in cotone è sconsigliato dalla norma UNI EN 13795 (prevenzione del rischio biologico).
 - ✓ Soluzione adottata in OSR: in casi selezionati (es. se il laser è collimato e usato a cielo aperto) si può proporre la prevalenza del rischio laser rispetto al rischio infettivo, e usare i teli in cotone
 - 2) La copertura delle superfici riflettenti o delle pareti con vernici opache è inaccettabile perché tale operazione genererebbe una superficie non liscia: verrebbe così a mancare il requisito necessario per garantire una perfetta sterilità dell'ambiente.
 - ✓ Soluzione adottata in OSR: vetri e visive presenti possono eventualmente essere ricoperti con pellicola rifrangente.

IDONEITA' AMBIENTALE

Deve essere evitata la fuga di radiazioni laser all'esterno:



- eventuali finestre o visive,
devono essere
- in materiale anti-riflesso,
 - oppure
 - devono essere schermate
durante l'uso del laser
mediante:
- persiane
 - tende in materiale
incombustibile e
autoestinguente
 - tessuti opachi fissati
con strisce di velcro



IDONEITA' AMBIENTALE

In generale, è consigliabile che i locali siano ben illuminati per favorire la riduzione del raggio della pupilla (e, di conseguenza, diminuire il rischio)

CONTROLLI TECNICI SUI LASER

- 1) Scegliere la testa di misura adatta
- 2) Effettuare la calibrazione presso un ente certificato (da ripetere con periodicità biennale)
- 3) Effettuare controlli di potenza e/o energia
- 4) Norma di riferimento:
UNI EN ISO 11554: “Laser e sistemi laser – Metodi di prova della potenza del fascio, dell’energia e delle caratteristiche temporali” 125

CONTROLLI TECNICI SUI LASER

MISURE DI POTENZA DI LASER IN CONTINUA

- Scegliere alcuni valori di potenza nel range di utilizzo clinico
- Effettuare un certo numero di misure per ciascuna potenza
- La potenza media misurata deve essere compresa entro il $\pm 20\%$ (*) rispetto al valore nominale impostato sulla apparecchiatura
- Il controllo deve essere effettuato con periodicità almeno annuale, dopo ogni intervento di manutenzione o se sono segnalati problemi da parte dell'Utilizzatore

(*) fonti: Report AAPM n. 73; CEI 62-42 (CEI EN 60601-2-22)

CONTROLLI TECNICI SUI LASER

STABILITA' DELLA POTENZA LASER IN CONTINUA

- Impostare un valore di potenza, ed effettuare 10 misure successive.
- Registrare il valore minimo e quello massimo, e la media P_m
- La stabilità della potenza sarà:
 $\Delta P = 2\sigma/P_m$, essendo σ la deviazione standard

CONTROLLI TECNICI SUI LASER

MISURE DI ENERGIA DI LASER IMPULSATI

- Scegliere 2 o 3 impulsi aventi energia diversa e che siano rappresentativi di quelli di utilizzati in campo clinico
- Effettuare un certo numero di misure per ciascuna energia
- L'energia media misurata deve essere compresa entro il $\pm 20\%$ (*) rispetto al valore nominale impostato sulla apparecchiatura
- Il controllo deve essere effettuato con periodicità almeno annuale, dopo ogni intervento di manutenzione o se sono segnalati problemi da parte dell'Utilizzatore

(*) fonti: Report AAPM n. 73; CEI 62-42 (CEI EN 60601-2-22)

CONTROLLI TECNICI SUI LASER

STABILITA' DELL' ENERGIA LASER IMPULSATI

- Impostare un impulso di data energia, ed effettuare 10 misure
- Registrare il valore minimo e quello massimo, e la media E_m
- La stabilità dell'energia sarà:
 $\Delta E = 2\sigma/E_m$, essendo σ la deviazione standard

CONTROLLI TECNICI SUI LASER

Tra i controlli tecnici sul laser ci sono le **prove di assicurazione di qualità**, da effettuare con frequenze diverse a seconda del tipo di test

Norme di riferimento:

CEI EN 60601-2-22 (classificazione CEI: 62-42): “Apparecchi elettromedicali – Parte II: Norme particolari per la sicurezza degli apparecchi laser terapeutici e diagnostici” (1997)

CEI 76-6 Sicurezza degli apparecchi laser

Parte 8: Guida all’uso sicuro de fasci laser sull’uomo (2012)

CEI 76-6 Sicurezza degli apparecchi laser

Parte 8: Guida all’uso degli apparecchi laser in medicina (2001)

PROVE DI ASSICURAZIONE DI QUALITA'

- All'accettazione del laser viene effettuata dall'Addetto Sicurezza Laser una serie di controlli di qualità, che verrà ripetuta periodicamente per garantire e tenere sotto controllo il buon funzionamento del laser.
- Non essendoci limiti di accettabilità (definiti da norme o protocolli tecnici) per alcuni parametri fisici di funzionamento, si ritiene utile partire dai valori iniziali, rilevati in fase di accettazione dello strumento, seguendone poi l'evoluzione nel tempo.
- In particolare, si verifica con strumenti adatti (power/energy meter) che la potenza/energia emessa dal laser non differisca di più del $\pm 20\%$ da quella impostata.

PROVE DI ASSICURAZIONE DI QUALITÀ

- **Accettazione:** verificare corrispondenza tra ordinato e consegnato
- **Stato:**
 - ✓ verifica del corretto funzionamento di otturatore, interblocchi, interruttori di emergenza e interruttori a pedale
 - ✓ controllo del buon funzionamento di tutti i sistemi di trasmissione del fascio
 - ✓ controllo dell'allineamento tra fascio di puntamento e fascio di trattamento
 - ✓ verifica della sicurezza elettrica dell'apparecchio (Ing Clinica)
 - ✓ controllo delle condizioni dei cavi di alimentazione e di interruttore a pedale
 - ✓ controllo dello stato del manipolo laser e/o delle lenti
 - ✓ controllo che il cladding delle fibre ottiche non sia danneggiato
 - ✓ controllo potenza/energia con strumentazione calibrata; se c'è misuratore di potenza/energia incorporato al laser verificare che la lettura ottenuta sia congrua con quella ottenuta dalla strumentazione esterna calibrata
 - ✓ controllo dell'integrità e idoneità dei protettori oculari
- **Costanza:** verifica stabilità delle prestazioni del laser

PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITÀ

CONTROLLO CAVI PER ALIMENTAZIONE E PER PEDALE

- Strumentazione necessaria: Nessuna
- Modalità di esecuzione: Controllo visivo del buono stato dei cavi
- Tolleranza: Se i cavi non sono in buone condizioni, richiedere un intervento di manutenzione sospendendo temporaneamente l'uso dei laser
- Periodicità: Annuale (o su segnalazione dell'Utilizzatore) (giornaliera su 76-6)

PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITÀ

INTERRUTTORI DI EMERGENZA

- Strumentazione necessaria: Nessuna
- Modalità di esecuzione: Controllo del corretto funzionamento
- Tolleranza: Se l'interruttore di emergenza non interrompe il funzionamento del laser, richiedere un intervento di manutenzione sospendendo temporaneamente l'uso dei laser
- Periodicità: Annuale (o su segnalazione dell'Utilizzatore) (mensile su 76-6)

PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITÀ

INDICATORI ACUSTICI E VISIVI DI EMISSIONE LASER

- Strumentazione necessaria: Nessuna
- Modalità di esecuzione: Controllo del corretto funzionamento
- Tolleranza: Se l'indicatore acustico o quello visivo o entrambi non funzionano, richiedere un intervento di manutenzione sospendendo temporaneamente l'uso dei laser
- Periodicità: Prima di ogni uso, a cura dell'Utilizzatore (giornaliera su 76-6)

PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITÀ

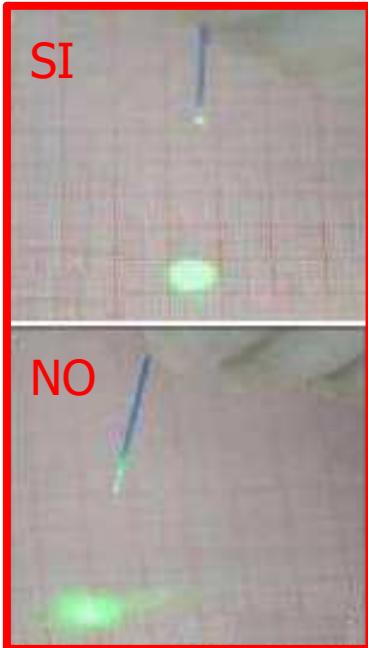
CONTROLLI DELLA FIBRA OTTICA (es. Nd:YAG)

- Strumentazione necessaria: Lente con ingrandimento compreso tra 10x e 14x
- Modalità di esecuzione: Controllare che entrambe le estremità della fibra siano pulite e prive di schegge e che il rivestimento plastico esterno (coating) non sia danneggiato (ove applicabile) e che non ci siano rotture, crepe o contaminanti sulla punta
- Tolleranza: Se la fibra ottica è rovinata, provvedere alla sua sostituzione
- Periodicità: Annuale (o su segnalazione dell'Utilizzatore) (giornaliera su 76-6)

PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITÀ

CONTROLLI DEL FASCIO DI PUNTAMENTO (es. Nd:YAG)

- Strumentazione necessaria: Foglio di carta bianco
- Modalità di esecuzione:

Porre il foglio di carta a una distanza dalla punta della **fibra** compresa tra 5 e 10 cm, e illuminarlo con il fascio di puntamento
- Tolleranza:
Controllare che l'immagine generata dal fascio di puntamento sulla carta sia circolare e uniforme e priva di ombre
- Periodicità:
Prima di ogni uso, a cura dell'Utilizzatore



PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITA'

MOVIMENTI DEL BRACCIO ARTICOLATO (CO2)

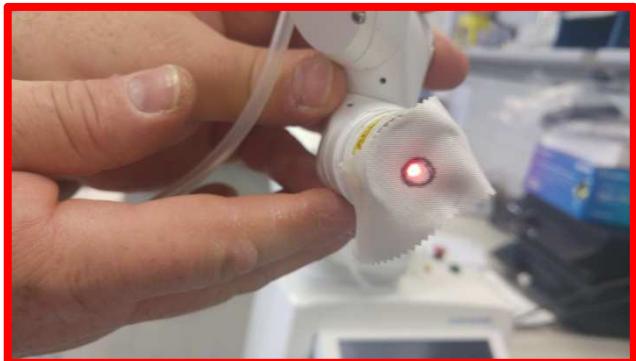
- Strumentazione necessaria: Nessuna
- Modalità di esecuzione: Controllo del corretto funzionamento
- Tolleranza: Se non tutti i movimenti del braccio articolato sono possibili, richiedere un intervento di manutenzione sospendendo temporaneamente l'uso dei laser
- Periodicità: Prima di ogni uso, a cura dell'Utilizzatore (giornaliera su 76-6)

PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITÀ

MOVIMENTI DEL BRACCIO ARTICOLATO (CO2)

- Strumentazione necessaria: Nastro adesivo

- Modalità di esecuzione:



Segnare su un pezzo di nastro adesivo di carta o seta, attaccato all'estremità del braccio articolato, l'immagine dello spot del fascio di puntamento. Muovere il **braccio articolato** (es laser a CO₂) in tutte le direzioni per verificare che lo spot di prova non si discosti dalla sua immagine disegnata sul nastro adesivo.

- Tolleranza:

Il fascio di puntamento deve mantenersi entro una circonferenza di 2 mm di diametro.

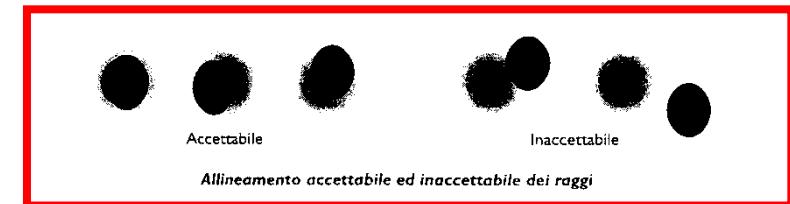
- Periodicità:

Prima di ogni uso, a cura dell'Utilizzatore

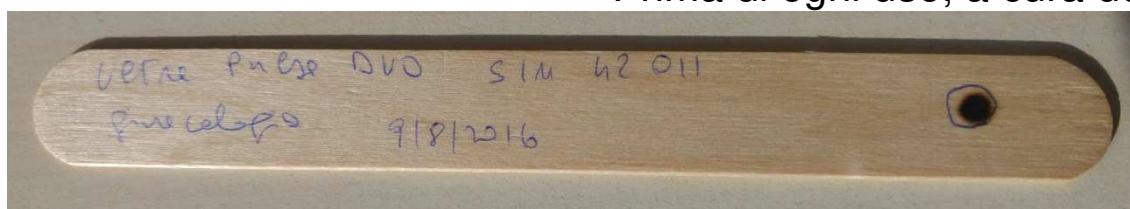
PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITÀ

COINCIDENZA DEI FASCI DI PUNTAMENTO E DI TRATTAMENTO (CO2)

- Strumentazione necessaria: Abbassalingua in legno



- Modalità di esecuzione:
Appoggiare l'abbassalingua su un materiale in grado di assorbire l'energia (es. panno bagnato). Selezionare la dimensione di spot più piccola e l'esposizione energetica più bassa, collocare il manipolo vicino all'abbassalingua. Segnare con una biro la zona dell'abbassalingua illuminata dal fascio di puntamento; poi, senza modificarne la posizione del **braccio articolato** (es laser a CO2), attivare il fascio di trattamento e verificare che la bruciatura coincida con la zona marcata.
- Tolleranza:
Lo scostamento massimo ammesso tra i centri delle due aree non deve superare il 50% del diametro della larghezza delle due aree. Inoltre il diametro dell'area del fascio di puntamento non deve superare di oltre 1,5 volte il diametro dell'area del fascio di trattamento.
- Periodicità:
Prima di ogni uso, a cura dell'Utilizzatore



PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITA'

POTENZA DEL FASCIO MEDIANTE DISPOSITIVO INCORPORATO NEL LASER (OVE ESISTENTE)

- Strumentazione necessaria: Dispositivo incorporato nel laser
 - Modalità di esecuzione: Eseguire il controllo secondo quanto indicato sul manuale del laser
 - Tolleranza: Secondo quanto indicato sul manuale del laser
 - Periodicità: Prima di ogni uso, a cura dell'Utilizzatore
- 

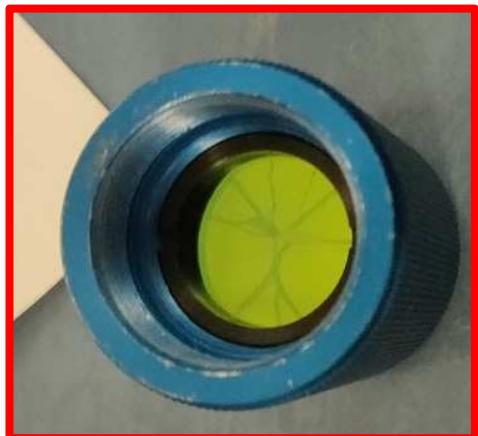
PROVE DI ASSICURAZIONE QUALITÀ

DPI Occhi

- Strumentazione necessaria: nessuna
- Modalità di esecuzione: Controllo visivo del buono stato degli occhiali e della corrispondenza tra lunghezza d'onda filtrata e quella del laser impiegato.
- Tolleranza: Nel casi ci siano graffi, incrinature o danni alla montatura, provvedere alla sostituzione degli occhiali
- Periodicità: Prima di ogni uso, a cura dell'Utilizzatore

CONTROLLI SUI LASER

- Vanno effettuati sempre dopo gli interventi di manutenzione, anche se ci aspetta che il laser funzioni correttamente.
- Laser a CO₂ rientrato dalla manutenzione:



CONTROLLI GIORNALIERI

■ **PROBLEMA:** alcune delle prove di assicurazione di qualità vanno effettuate prima dell'utilizzo del laser su paziente:

- controllo del fascio di puntamento (laser a fibra)
- coincidenza fasci puntamento e trattamento (laser a braccio articolato)
- potenza del fascio mediante dispositivo incorporato nel laser (ove esistente)
- controllo visivo del buono stato degli occhiali

Se i laser presenti nella struttura sono tanti, come fare?

✓ Soluzione adottata in OSR: l'ASL può delegare una persona qualificata ad eseguire le prove di assicurazione di qualità. Per le prove giornaliere è stato delegato l'Utilizzatore Medico che per primo usa il laser. Dovrà effettuare le prove e registrarne l'esito su un apposito registro.

CONTROLLI GIORNALIERI

<p>CONTROLLI GIORNALIERI LASER</p> <p>DAL : _____</p> <p>AL : _____</p> <p>Reparto: OCULISTICA sala operatoria 1 Ubicazione: LOTTO A 5° piano S/N Ingegneria Clinica: 05320</p> <p>LASER: COHERENT ULTRA PULSE 5000C</p> <p><i>Laser a CO₂ Classe di rischio : 4 Lunghezza d'onda : 10600 nm Potenza max : 100 W</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • RADIAZIONE LASER INVISIBILE (IR) • EVITARE L'ESPOSIZIONE DI OCCHI E PELLE ALLA RADIAZIONE DIRETTA O DIFFUSA • OBBLIGO DI INDOSSARE PROTEZIONI OCULARI 	<p>LASER : NORME DI SICUREZZA E DI COMPORTAMENTO</p> <p>Sale operatorie oculistica</p> <p>Prima dell'utilizzo del laser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ effettuare i controlli giornalieri (prima dell'utilizzo del laser) prescritti, compilando gli appositi registri <p>Durante l'utilizzo del laser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ chiudere tutte le porte di accesso alla sala in cui viene utilizzato il laser ▪ il fascio laser non deve mai essere rivolto al di fuori del punto di applicazione chirurgica ▪ non dirigere il fascio laser verso superfici riflettenti o su strumentazione metallica che potrebbero causare riflessione accidentale del fascio ▪ se necessaria, utilizzare strumentazione chirurgica satinata o ruvida ▪ tutti gli operatori presenti in sala devono indossare dispositivi di protezione oculare idonei al tipo di laser e recanti la marcatura CE ▪ è pericoloso usare anestetici o solventi infiammabili ▪ è pericoloso usare disinfettanti contenenti prodotti infiammabili sulle superfici da trattare <p>Dopo l'utilizzo del laser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ rimuovere le chiavi dal comando, in modo da prevenire un uso non autorizzato dell'apparecchio. <p>Non si possono utilizzare contemporaneamente più laser nella stessa sala operatoria e/o ambulatorio.</p> <p>In caso di sospetto guasto o malfunzionamento sospendere l'utilizzo dell'apparecchiatura e avvisare l'addetto sicurezza laser o il Servizio di Ingegneria Clinica.</p> <p>Sostituire tempestivamente (se usurati) o ordinare (se mancanti) i dispositivi di protezione individuale e lo strumentario anti-riflesso.</p> <p>In caso di infortunio e/o incidente, rivolgersi al PRONTO SOCCORSO per una visita oculistica e/o dermatologica, e avvisare l'addetto sicurezza laser.</p> <p>Dott.ssa Barbara Longobardi - Addetto Sicurezza Laser – Servizio di Fisica Sanitaria tel. 5686</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 5px;">CONTROLLI GIORNALIERI SUL LASER</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">ESITO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;">NB: con il termine giornaliero si intende il giorno in cui il laser viene utilizzato</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Secondo norma CEI 76/6 allegato E</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">VERIFICA DELLA CORRETTA ACCENSIONE DEL LASER: il laser si accende correttamente e non dà segnali di errore o malfunzionamento</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">INDICATORI ACUSTICI E VISIVI DI EMISSIONE LASER: funzionano correttamente</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">BRACCIO ARTICOLATO O MICROMANIPOLATORE: a) sono in buono stato (non danneggiati) b) si possano effettuare tutti i movimenti</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">COINCIDENZA DEI FASCI DI PUNTAMENTO E DI TRATTAMENTO: marcare un abbassalingua di legno (laser CO₂) o un foglio di carta termica (altri laser) usato come bersaglio: utilizzare il fascio di puntamento per allineare laser di trattamento con il bersaglio marcato e verificare che: a) l'accensione del fascio elimina la marcatura b) la bruciatura è simmetrica e di profondità uniforme</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">OCCHIALI: sono presenti, idonei al laser, e in buone condizioni</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right; padding: 5px;"> LASER: COHERENT ULTRAPULSE 5000C Reparto: OCULISTICA sala operatoria 1 Ubicazione: Lotto A – 5° piano Ingegneria Clinica: 05320 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Data:</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Operatore:</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Firma:</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right; padding: 5px;">(Ver.2 – novembre 2009)</td> </tr> </tbody> </table>	CONTROLLI GIORNALIERI SUL LASER	ESITO	NB: con il termine giornaliero si intende il giorno in cui il laser viene utilizzato	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no	Secondo norma CEI 76/6 allegato E	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no	VERIFICA DELLA CORRETTA ACCENSIONE DEL LASER: il laser si accende correttamente e non dà segnali di errore o malfunzionamento	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no	INDICATORI ACUSTICI E VISIVI DI EMISSIONE LASER: funzionano correttamente	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no	BRACCIO ARTICOLATO O MICROMANIPOLATORE: a) sono in buono stato (non danneggiati) b) si possano effettuare tutti i movimenti	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no	COINCIDENZA DEI FASCI DI PUNTAMENTO E DI TRATTAMENTO: marcare un abbassalingua di legno (laser CO ₂) o un foglio di carta termica (altri laser) usato come bersaglio: utilizzare il fascio di puntamento per allineare laser di trattamento con il bersaglio marcato e verificare che: a) l'accensione del fascio elimina la marcatura b) la bruciatura è simmetrica e di profondità uniforme	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no	OCCHIALI: sono presenti, idonei al laser, e in buone condizioni	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no	LASER: COHERENT ULTRAPULSE 5000C Reparto: OCULISTICA sala operatoria 1 Ubicazione: Lotto A – 5° piano Ingegneria Clinica: 05320		Data:		Operatore:		Firma:		(Ver.2 – novembre 2009)	
CONTROLLI GIORNALIERI SUL LASER	ESITO																											
NB: con il termine giornaliero si intende il giorno in cui il laser viene utilizzato	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no																											
Secondo norma CEI 76/6 allegato E	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no																											
VERIFICA DELLA CORRETTA ACCENSIONE DEL LASER: il laser si accende correttamente e non dà segnali di errore o malfunzionamento	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no																											
INDICATORI ACUSTICI E VISIVI DI EMISSIONE LASER: funzionano correttamente	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no																											
BRACCIO ARTICOLATO O MICROMANIPOLATORE: a) sono in buono stato (non danneggiati) b) si possano effettuare tutti i movimenti	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no																											
COINCIDENZA DEI FASCI DI PUNTAMENTO E DI TRATTAMENTO: marcare un abbassalingua di legno (laser CO ₂) o un foglio di carta termica (altri laser) usato come bersaglio: utilizzare il fascio di puntamento per allineare laser di trattamento con il bersaglio marcato e verificare che: a) l'accensione del fascio elimina la marcatura b) la bruciatura è simmetrica e di profondità uniforme	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no																											
OCCHIALI: sono presenti, idonei al laser, e in buone condizioni	<input type="checkbox"/> sì <input type="checkbox"/> no																											
LASER: COHERENT ULTRAPULSE 5000C Reparto: OCULISTICA sala operatoria 1 Ubicazione: Lotto A – 5° piano Ingegneria Clinica: 05320																												
Data:																												
Operatore:																												
Firma:																												
(Ver.2 – novembre 2009)																												

Esempio di un registro di un laser CO₂

CONTROLLI GIORNALIERI

<p>CONTROLLI GIORNALIERI LASER</p> <p>DAL : _____</p> <p>AL : _____</p> <p>Reparto: OTORINOLARINGOLOGIA sala operatoria B Ubicazione: LOTTO B 5° piano S/N Ingegneria Clinica: 24001</p> <p>LASER: DORNIER MEDILAS D</p> <p><i>Laser a diodi</i> <i>Classe di rischio : 4</i> <i>Lunghezza d'onda : 940 nm</i> <i>Potenza max : 60 W</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • RADIAZIONE LASER INVISIBILE (IR) • EVITARE L'ESPOSIZIONE DI OCCHI E PELLE ALLA RADIAZIONE DIRETTA O DIFFUSA • OBBLIGO DI INDOSSARE PROTEZIONI OCULARI 	<p>LASER : NORME DI SICUREZZA E DI COMPORTAMENTO <i>Sale operatorie ORL</i></p> <p>Prima dell'utilizzo del laser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ effettuare i controlli giornalieri (prima dell'utilizzo del laser) prescritti, compilando gli appositi registri <p>Durante l'utilizzo del laser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ chiudere tutte le porte di accesso alla sala in cui viene utilizzato il laser ▪ il fascio laser non deve mai essere rivolto al di fuori del punto di applicazione chirurgica non dirigere il fascio laser verso superfici riflettenti o su strumentazione metallica che potrebbero causare riflessione accidentale del fascio ▪ se necessaria, utilizzare strumentazione chirurgica satinata o ruvida ▪ gli operatori presenti in sala e il paziente devono indossare dispositivi di protezione oculare idonei al tipo di laser e recanti la marcatura CE ▪ è pericoloso usare anestetici o solventi infiammabili ▪ è pericoloso usare disinfezati contenenti prodotti infiammabili sulle superfici da trattare negli interventi laringo-tracheali deve essere evitato l'impiego di tubi endotracheali in materiale plastico o infiammabile ▪ dato che i fumi e i vapori generati durante un intervento laser possono essere potenzialmente pericolosi sia in termini di materiale particolare che in termini di infettività, indossare mascherine, guanti e camicie e utilizzare un sistema di aspirazione per la raccolta di fumi e vapori dotato di filtri che garantiscono la massima efficienza di filtrazione. <p>Dopo l'utilizzo del laser:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ rimuovere le chiavi dal comando, in modo da prevenire un uso non autorizzato dell'apparecchio. <p>Non si possono utilizzare contemporaneamente più laser nella stessa sala operatoria e/o ambulatorio.</p> <p>In caso di sospetto guasto o malfunzionamento sospendere l'utilizzo dell'apparecchiatura e avvisare l'addetto sicurezza laser o il Servizio di Ingegneria Clinica.</p> <p>Sostituire tempestivamente (se usurati) o ordinare (se mancanti) i dispositivi di protezione individuale e lo strumentario anti-riflesso.</p> <p>In caso di infortunio e/o incidente, rivolgersi al PRONTO SOCCORSO per una visita oculistica e/o dermatologica, e avvisare l'addetto sicurezza laser.</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 5px;">CONTROLLI GIORNALIERI SUL LASER</th> <th style="text-align: center; padding: 5px;">ESITO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 5px;"><u>NB: con il termine giornaliero si intende il giorno in cui il laser viene utilizzato</u></td> <td style="text-align: center; padding: 5px;">Secondo norma CEI 76/6 allegato E</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">VERIFICA DELLA CORRETTA ACCENSIONE DEL LASER: il laser si accende correttamente e non dà segnali di errore o malfunzionamento</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">INDICATORI ACUSTICI E VISIVI DI EMISSIONE LASER: funzionano correttamente</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">FASCIO DI PUNTAMENTO: dirigere il fascio verso una superficie bianca e pulita ad una distanza compresa tra i 5 cm e i 10 cm e verificare che: a) l'immagine sia uniforme e circolare, senza macchie o ombre</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">OCCHIALI: sono presenti, idonei al laser, e in buone condizioni</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"><input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right; padding: 5px;">LASER: DORNIER MEDILAS D Reparto: OTORINOLARINGOLOGIA sala operatoria B Ubicazione: LOTTO B 5° piano Ingegneria Clinica: 24001</td> <td style="text-align: center; padding: 5px;"></td> </tr> </tbody> </table> <p>Data: Operatore: Firma:</p>	CONTROLLI GIORNALIERI SUL LASER	ESITO	<u>NB: con il termine giornaliero si intende il giorno in cui il laser viene utilizzato</u>	Secondo norma CEI 76/6 allegato E	VERIFICA DELLA CORRETTA ACCENSIONE DEL LASER: il laser si accende correttamente e non dà segnali di errore o malfunzionamento	<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	INDICATORI ACUSTICI E VISIVI DI EMISSIONE LASER: funzionano correttamente	<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	FASCIO DI PUNTAMENTO: dirigere il fascio verso una superficie bianca e pulita ad una distanza compresa tra i 5 cm e i 10 cm e verificare che: a) l'immagine sia uniforme e circolare, senza macchie o ombre	<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	OCCHIALI: sono presenti, idonei al laser, e in buone condizioni	<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no	LASER: DORNIER MEDILAS D Reparto: OTORINOLARINGOLOGIA sala operatoria B Ubicazione: LOTTO B 5° piano Ingegneria Clinica: 24001	
CONTROLLI GIORNALIERI SUL LASER	ESITO															
<u>NB: con il termine giornaliero si intende il giorno in cui il laser viene utilizzato</u>	Secondo norma CEI 76/6 allegato E															
VERIFICA DELLA CORRETTA ACCENSIONE DEL LASER: il laser si accende correttamente e non dà segnali di errore o malfunzionamento	<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no															
INDICATORI ACUSTICI E VISIVI DI EMISSIONE LASER: funzionano correttamente	<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no															
FASCIO DI PUNTAMENTO: dirigere il fascio verso una superficie bianca e pulita ad una distanza compresa tra i 5 cm e i 10 cm e verificare che: a) l'immagine sia uniforme e circolare, senza macchie o ombre	<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no															
OCCHIALI: sono presenti, idonei al laser, e in buone condizioni	<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no															
LASER: DORNIER MEDILAS D Reparto: OTORINOLARINGOLOGIA sala operatoria B Ubicazione: LOTTO B 5° piano Ingegneria Clinica: 24001																

Esempio di un registro di un laser a fibra

CORSO PER TECNICO/ADDETTO SICUREZZA LASER, TSL/ASL

**Le radiazioni ottiche coerenti
in ambito sanitario:
stesura del documento di
valutazione dei rischi**

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

D.L.gs 9-4-2008, n.81

LASER: sorgenti artificiali di radiazioni ottiche definite dall'art 214 del Titolo VIII (agenti fisici), Capo V (protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a radiazioni ottiche)

Titolo I (Disposizioni generali)

Capo III (Gestione della prevenzione dei rischi nei luoghi di lavoro)

Sezione II (Valutazione dei rischi)

Art 28: Oggetto della valutazione dei rischi

Titolo VIII (Agenti fisici)

Capo I (Disposizioni generali)

Art 181: Valutazione dei rischi

Ai sensi degli art. 28 e 181, la valutazione dei rischi per le sorgenti laser va effettuata attenendosi alle disposizioni previste dal Capo V del Titolo VIII

D.L.gs 9-4-2008, n.81

TITOLO I – PRINCIPI COMUNI

CAPO III – GESTIONE DELLA PREVENZIONE NEI LUOGHI DI LAVORO

SEZIONE II: VALUTAZIONE DEI RISCHI

Art. 28: Oggetto della valutazione dei rischi

1. La valutazione di cui all'art 17, comma 1, lettera a), anche nella scelta delle attrezzature di lavoro e delle sostanze o dei preparati chimici impiegati, nonché nella sistemazione dei luoghi di lavoro, deve riguardare tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, ivi compresi quelli riguardanti gruppi di lavoratori esposti a rischi particolari, tra cui anche quelli collegati allo stress lavoro-correlato, secondo i contenuti dell'accordo europeo dell'8 ottobre 2004, e quelli riguardanti le lavoratrici in stato di gravidanza, secondo quanto previsto dal decreto legislativo 26 marzo 2001 n. 151, nonché quelli connessi alle differenze di genere, all'età, alla provenienza da altri Paesi.
2. Il documento di cui all'articolo 17, comma 1, lettera a), redatto a conclusione della valutazione deve avere data certa e contenere:
 - a) una relazione sulla valutazione di tutti i rischi per la sicurezza e la salute durante l'attività lavorativa, nella quale siano specificati i criteri adottati per la valutazione stessa;
 - b) l'indicazione delle misure di prevenzione e protezione attuate e dei dispositivi di protezione individuale adottati, a seguito della valutazione di cui all'art 17, comma 1, lettera a);

D.L.gs 9-4-2008, n.81

TITOLO I – PRINCIPI COMUNI

CAPO III – GESTIONE DELLA PREVENZIONE NEI LUOGHI DI LAVORO

SEZIONE II: VALUTAZIONE DEI RISCHI

Art. 28: Oggetto della valutazione dei rischi

....

- c) Il programma delle misure ritenute opportune per garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di sicurezza;
 - d) l'individuazione delle procedure per l'attuazione delle misure da realizzare, nonché dei ruoli dell'organizzazione aziendale che vi debbono provvedere, a cui devono essere assegnati unicamente soggetti in possesso di adeguate competenze e poteri;
 - e) L'indicazione del nominativo del responsabile del servizio di prevenzione e protezione, del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza o di quello territoriale e del medico competente che ha partecipato alla valutazione del rischio;
 - f) l'individuazione delle mansioni che eventualmente espongono i lavoratori a rischi specifici che richiedono una riconosciuta capacità professionale, specifica esperienza, adeguata formazione e addestramento.
3. Il contenuto del documento di cui al comma 2 deve altresì rispettare le indicazioni previste dalle specifiche norme sulla valutazione dei rischi contenute nei successivi titoli del presente decreto.

DVR ROA coerenti

- **Documento di valutazione dei rischi:** redatto sotto la responsabilità del datore di lavoro sulla base della Relazione tecnica.
Deve:
 - contenere quanto indicato all'art 28 comma 2 D.Lgs. 81-2008
 - essere datato
 - essere effettuato almeno ogni 4 anni
 - aggiornato se si verificano mutamenti che lo rendono obsoleta o se i risultati della sorveglianza sanitaria ne rendono necessaria la revisione
- **Relazione tecnica:** redatta da personale qualificato

Relazione Tecnica: indicazioni FAQ-ROA ISPESL

1) Premessa:

- Obiettivo della valutazione
- Luogo e data della valutazione
- Caratterizzazione del sito:
 - postazioni di lavoro
 - posizione delle sorgenti
- Caratteristiche dei laser presenti

Caratteristiche dei laser presenti: scheda di sopralluogo

SCHEDA SOPRALLUOGO SORGENTI LASER

UBICAZIONE: _____

CARATTERISTICHE LASER:

Marca:

Modello:

N. inventario:

Matricola:

Presenza marchio CE

SI NO

MEZZO ATTIVO:

- laser a gas: CO₂ Ar-Kr Xe-Cl altro _____
 laser a stato solido: Nd:YAG Ho:YAG Er:YAG Alessandrite Rubino altro _____
 laser a semiconduttori (diodi):
 laser a stato liquido:

FASCIO PUNTAMENTO: λ: _____ nm Classe di rischio: _____

Potenza massima emessa: _____ mW

FASCIO DI TRATTAMENTO: λ: _____ nm Classe di rischio: _____

Potenza/energia massima emessa: _____ W/J Emissione: continua pulsata

SEGNALETICA SULL'APPARECCHIATURA: assente presente conforme: SI NO

OCCHIALI DI PROTEZIONE in dotazione: numero: _____ idonei non idonei

Marcatura CE: assente presente

Caratteristiche di protezione degli occhiali:

CARATTERISTICHE LOCALI (presenza di superfici riflettenti): idonei non idonei

Interventi da mettere in atto: _____ SI NO

Presenza cartelli di avvertimento: SI NO

Presenza indicatori luminosi (scritta "laser in funzione" o lampada gialla): SI NO

Presenza di strumenti operatori satinati o anodizzati: SI NO

Presenza di estrattori di fumi: SI NO

Presenza del manuale di istruzione in italiano:  SI NO

DATA SOPRALLUOGO: _____

Relazione Tecnica: indicazioni FAQ-ROA ISPESL

1.1) **Nel caso non siano stati effettuati né calcoli né misure:**

- Descrizione delle condizioni di utilizzo dell'apparato:
 - processi di lavoro e tempi di esposizione
 - descrizione la posizione dell'operatore rispetto alla sorgente laser nelle condizioni lavorative che possono portare ad esposizione alla radiazione ottica
- Fonti informative dei dati utilizzati:
 - dati tecnici forniti dal fabbricante
 - dati di letteratura scientifica
 - dati riferiti a situazioni espositive analoghe, provenienti da fonte autorevole, a cui si è fatto riferimento

1.2) **Nel caso siano state effettuate misure:**

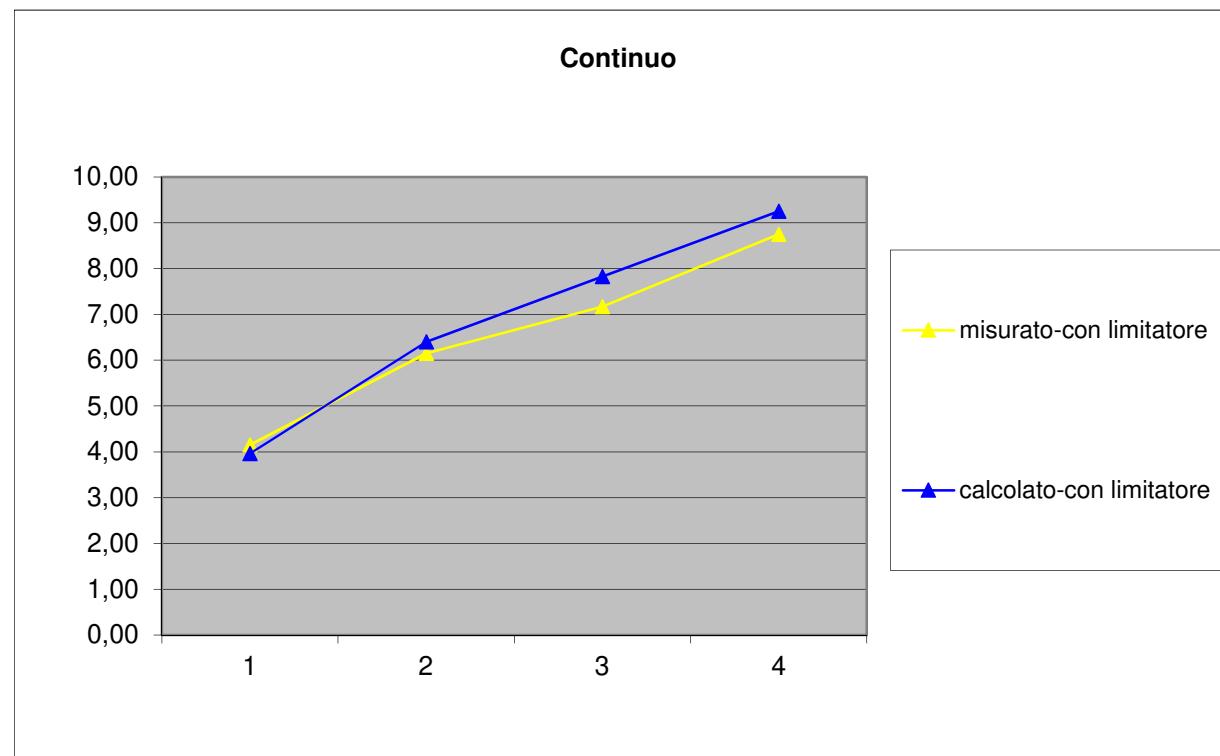
- caratteristiche della strumentazione di misura e riferimenti dell'ultima taratura effettuata
- condizioni della sorgente durante la misura (le misure devono essere effettuate nelle diverse modalità operative usuali o nelle condizioni di utilizzo più sfavorevoli, se note)
- durata delle misure
- parametri (potenza, tempi di esposizione, ecc) impostati durante l'esecuzione delle misure
- posizione di misura del lavoratore rispetto alla sorgente alla sorgente laser considerata durante la sessione di misura

1.3) **Nel caso siano stati effettuati calcoli:**

- indicare il software o gli algoritmi usati
- indicare le norme tecniche, le buone prassi, le linee guida o gli altri documenti pertinenti a cui ci si è riferiti per l'effettuazione delle valutazioni e dei calcoli

Relazione Tecnica: misure

Si possono effettuare misure coprendo la sonda di misura con un limitatore dotato di un'apertura circolare di diametro 7mm: i valori misurati sono confrontabili con i VLE



Relazione Tecnica: indicazioni FAQ-ROA ISPESL

2) Risultati delle valutazioni e/o misure e/o calcoli:

- riportare i valori valutati (dichiarati dal fabbricante e desunti dal libretto di istruzioni, o disponibili in letteratura) e/o misurati e/o calcolati
- riportare le incertezze associate ai valori

3) Conclusioni con indicazione delle misure di prevenzione e protezione proposte:

- riportare i livelli di rischio identificati, i dati di esposizione, e i VLE previsti dall'allegato XXXVII parte II del D.Lgs. 81/08
- in caso di superamento dei VLE, riportare le condizioni espositive in cui è stato riscontrato
- indicare gli interventi strutturali e procedurali che si propone siano messi in atto dall'azienda
- indicare le caratteristiche dei DPI che si propone siano adottati
- indicare le aree proposte per l'accesso limitato
- indicare la segnaletica che si propone sia apposta nei vari ambienti

Ispezione ASL

In caso di ispezione:

- cosa viene richiesto?
- cosa ci si attende sia stato fatto?
- e in che modo?

Questionario visita ispettiva ASL Regione Lombardia (2)

Addetto Sicurezza Laser (ASL) per classe 3B e/o 4

- 1 Il datore di lavoro ha provveduto a nominare l'ASL? Sì No

Compiti dell'ASL

2	Ha provveduto ad indicare/ delimitare la zona laser controllata (ZLC)?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
3	Ha provveduto a scegliere i d.p.l. adatti per ciascun tipo di sorgente?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
4	Ha provveduto ad effettuare la valutazione di sicurezza dell'ambiente e degli operatori sia in fase d'acquisto che durante l'utilizzo delle sorgenti?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
5	Ha provveduto a partecipare all'attività di formazione del personale operativo?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
6	Ha provveduto ad effettuare i test di accettazione di ogni sorgente?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
7	Ha provveduto ad effettuare i controlli periodici di sicurezza?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
8	Ha provveduto ad analizzare tutti gli infortuni e gli incidenti che riguardano gli apparecchi laser?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
9	Sono state intraprese tutte le azioni necessarie al fine di evitare il ripetersi di eventuali incidenti e/o infortuni?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
10	E' stato istituito un registro su cui riportare eventuali incidenti e/o infortuni?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
11	Ha provveduto a definire le procedure di sicurezza?	<input checked="" type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

Questionario visita ispettiva ASL Regione Lombardia (3)

Indicazioni generali

12	Esiste la segnaletica di avvertimento in corrispondenza degli accessi alla ZLC?	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
13	Esiste un segnale luminoso, all'ingresso della ZLC che indichi che la sorgente è in uso?	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
14	Sono stati previsti corsi di formazione per il personale che opera direttamente o nelle vicinanze degli apparecchi laser?	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
15	Esistono e sono esposte delle norme interne di sicurezza?	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
16	E' presente la segnaletica che prescrive l'obbligo di protezione oculare, se previsto?	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
17	E' prevista una sorveglianza medica degli operatori? Se sì, in che consiste? _____	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
18	E' prevista una visita oftalmica preventiva?	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
19	Sono previste visite periodiche di monitoraggio? Se sì, con che frequenza vengono effettuate? _____	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
20	Esiste un programma di manutenzione degli apparecchi da parte di personale qualificato?	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
21	Contestualmente, esiste un programma di assicurazione della qualità secondo la norma CEI 76-6 al fine di garantire il funzionamento ottimale delle apparecchiature laser?	Sì <input type="checkbox"/>	No <input type="checkbox"/>
22	Con quale frequenza sono applicati i programmi di cui sopra? _____		

A.S.L.di Ferrara – Dipartimento di Sanità Pubblica - U.O. SPSAL

**Lista di controllo valutazione rischi da agenti fisici: radiazioni ottiche artificiali 100 nm-1 mm
(art. 28 e art. 181 D.Lgs. 81/08)**

Nome Struttura valutata:.....

Datore di lavoro: Nome e Cognome.....

RSPP: Nome e Cognome....

Medico Competente: Nome e Cognome....

A) Verifica del DVR

a1)	E' indicato il nominativo del Datore di Lavoro?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a2)	E' indicato il nominativo del RSPP che ha partecipato alla valutazione ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a3)	E' indicato il nominativo del/i Medico/i Competenti che ha/hanno partecipato alla valutazione ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a4)	Sono indicati il/i nominativo/i del/i RLS consultati ai sensi dell'art. 50, comma 1 lettera b)	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a5)	Sono indicate le modalità della loro consultazione e informazione?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a6)	Acquisire i dati identificativi del documento di valutazione dei rischi specifici (data di redazione, numero di pagine, etc.)	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a7)	Acquisire i dati identificativi e curriculum professionale del personale qualificato che ha eseguito la valutazione	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a8)	La valutazione è stata eseguita con o senza misurazioni ?	<input type="checkbox"/> CON	<input type="checkbox"/> SENZA
a9)	E' indicato il numero dei lavoratori esposti con le relative qualifiche professionali ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a10)	Il DVR riporta un quadro di sintesi degli esposti a ROA, articolato per fasce di rischio ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a11)	Sono riportate su apposite planimetrie le aree valutate a rischio ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a12)	Sono stati valutati eventuali rischi potenzianti l'effetto delle ROA (condizioni climatiche ambientali, riflessioni ambientali, assunzione di farmaci, etc.) ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a13)	E' stato effettuato un approfondimento per ciascun rischio specifico ROA-correlato?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a14)	E' stata effettuata la valutazione dei rischi legata alla presenza di lavoratori particolarmente sensibili ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a15)	E' stata effettuata la valutazione dei rischi legata alla presenza di lavoratori di genere differente ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a16)	E' stata effettuata la valutazione dei rischi legata alla presenza di lavoratori che provengono da altri paesi ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a17)	E' stato definito il programma delle misure tecniche e organizzative ritenute opportune per eliminare o ridurre i rischi individuati a seguito della valutazione, con l'indicazione della tempistica, delle modalità e delle figure aziendali preposte alla loro attuazione ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
a18)	E' stata eseguita la informazione e formazione dei lavoratori esposti a ROA o comunque che operano in ambienti di lavoro in cui sono presenti i rischi ROA-correlati ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No

B) Verifica dei contenuti della Relazione Tecnica

b1)	Nel documento sono specificati gli obiettivi della valutazione ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b2)	Sono riportati data e luogo della valutazione ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b3)	Sono stati caratterizzati i luoghi di lavoro con l'individuazione delle sorgenti di ROA e delle posizioni di lavoro su planimetrie o disegni ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b4)	Sono descritti anche i locali circostanti, soprastanti e sottostanti e la valutazione è stata estesa anche a questi ultimi?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b5)	Sono riportate per le sorgenti di ROA individuate, le principali caratteristiche ed in particolare potenza di emissione, dimensioni, temperatura di funzionamento (nel caso di fornì di fusione per metalli o vetro), spettro di emissione, categoria della sorgente o classe di appartenenza secondo norme tecniche ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b6)	Sono riportati gli eventuali standard riferibili alle sorgenti di ROA individuate ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b7)	E' riportata, se contemplata, la giustificazione di una o più sorgenti di rischio ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No

(Nel caso siano effettuate misurazioni)			
b8)	Sono descritte le condizioni di utilizzo delle sorgenti ROA(processo di lavoro, tempi di esposizione, posizione del lavoratore rispetto alla sorgente durante l'esposizione) ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b9)	Sono riportate le caratteristiche della strumentazione di misura impiegata ed i riferimenti dell'ultima taratura ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b10)	Sono riportate le posizioni di misura ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b11)	Sono descritte dettagliatamente le condizioni operative in cui le misure sono state eseguite (situazione più sfavorevole, posizione dell'operatore e degli altri lavoratori, distanze di lavoro inferiori a quelle raccomandate dal fabbricante, etc.) ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b12)	E' riportata la durata delle misure ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
(Nel caso vengano effettuate valutazioni tramite calcolo o stima)			
b13)	E' riportato il software e gli algoritmi di calcolo utilizzati ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b14)	Sono riportate le norme tecniche, buone prassi, linee guida o altri documenti pertinenti a cui ci si è riferiti per l'effettuazione della valutazione e dei calcoli o delle stime?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
(Risultati delle valutazioni e/o misure e/o calcoli e/o stime)			
b15)	Sono riportati i valori valutati (dichiarati dal fabbricante e desunti dal libretto di istruzioni del macchinario ovvero dalla Letteratura) e/o misurati e/o calcolati e/o stimati?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b16)	E' riportata l'incertezza associata ai valori impiegati per la valutazione ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
(Conclusioni con indicazioni delle misure di prevenzione e protezione proposte)			
b17)	Sono stati identificati i livelli di rischio per singola mansione lavorativa o lavoratore in riferimento ai VLE dell'allegato XXXVII ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b18)	Sono riportate le specifiche condizioni espositive ove si fosse riscontrato il superamento dei VLE ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b19)	E' riportata la presenza di apprezzabili alterazioni dello stato di salute dei lavoratori esposti desunta dai dati della sorveglianza sanitaria? (richiedere la relazione sanitaria anonima e collettiva o riscontro al Medico Competente)	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b20)	Sono stati indicati i DPI che si propone siano adottati nelle differenti situazioni espositive, ove necessari?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b21)	Sono identificate aree ad accesso regolamentato e la segnaletica da esporre in corrispondenza delle stesse?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No
b22)	Sono stati identificati gli interventi strutturali e/o procedurali che si propone siano messi in atto in Azienda per l'eventuale riduzione o eliminazione del rischio, ove necessario ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No

Note e osservazioni

IL TECNICO DELLA PREVENZIONE.....

Luogo, data.....

CORSO PER TECNICO/ADDETTO SICUREZZA LASER, TSL/ASL

**Le radiazioni ottiche coerenti
in ambito sanitario (e non):
incidenti**

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

ESPOSIZIONE ACCIDENTALE (1)

- Gli operatori esposti al rischio di esposizione alla radiazione laser (laser 3B e 4) devono essere sottoposti a una visita oftalmica preventiva.
- Tale visita non fa parte del programma di prevenzione e sicurezza, ma ha solo un valore medico-legale: in caso di incidente, permette infatti un confronto tra il prima e il dopo, che aiuta a capire se il danno è stato causato o meno dall'uso del laser



Rottura esplosiva della retina con emorragia nell'umor vitreo dovuta a laser Nd:YAG Q-switched con $E=105,4 \text{ mJ}$ esposizione ad un singolo impulso a 100 m
Xu Jiemin et al-Health Physics – vol 56 n. 5 (1989)
Tratto dalla presentazione «I rischi nell'uso dei laser» del dott. Luca Pettini

ESPOSIZIONE ACCIDENTALE (2)

- In caso di infortunio e/o incidente, l'operatore deve rivolgersi a uno specialista o al PRONTO SOCCORSO, entro 24 ore dall'incidente, per una visita oculistica e/o dermatologica.
- In caso di esposizione accidentale oculare, lo specialista potrà confrontare gli esami effettuati prima e dopo l'incidente.
- L'operatore deve inoltre avvisare l'Addetto Sicurezza Laser, che metterà in atto le procedure opportune, al fine di evitare il ripetersi dell'incidente.

ESPOSIZIONE ACCIDENTALE (3)

Eventuali incidenti devono essere segnalati immediatamente all'ASL, e il laser coinvolto deve essere sospeso dall'uso fino a che non siano state analizzate le cause dell'incidente e messe in atto le misure necessarie affinché non si ripeta.

L'ASL deve preparare un rapporto dell'incidente che contenga:

1) Riassunto delle circostanze che hanno causato l'incidente:

- data, luogo e ora dell'incidente
- nome e ruolo delle persone coinvolte
- dettagli relativi all'esperienza delle persone ferite
- fattori che hanno contribuito a provocare l'incidente
- raccomandazioni dell'ASL per evitare che l'incidente si ripeta
- natura delle lesioni subite dalle persone coinvolte

2) Relazione scritta da tutte le persone presenti al momento dell'incidente e dall'ASL

3) Rapporti medici relativi alle persone ferite

4) Dettagli relativi alle condizioni del laser prima dell'incidente

5) Elenco degli apparecchi in uso durante la procedura

Le registrazioni degli incidenti devono essere conservate dall' ASL in un apposito registro.

INCIDENTI

RUSSIA (2008): "Accecati dal laser al concerto di musica tecno "

L'incidente è accaduto a Kirzhach, una cittadina a 190 km da Mosca, durante un festival all'aperto che prevedeva l'uso del raggio laser per comporre giochi e scritte nel cielo. Il maltempo, tuttavia, ha costretto gli organizzatori a montare un tendone: in questo modo i raggi laser invece di disperdersi nello spazio sono stati deviati sul pubblico.

Danni permanenti alla vista per una trentina di ragazzi: resteranno ciechi

→ valutazione dei rischi non effettuata o effettuata in condizioni diverse da quelle operative

INCIDENTI

2008: "*incidente in laboratorio*"

Un ricercatore lavorava con un laser Nd:YAG di classe 4, della potenza di 50 mJ, impulsato (durata impulso 10 ns), con lunghezza d'onda di 1.064 nm. Per la dinamica dell'esperimento il raggio, con una percorso in campo libero, doveva entrare in un contenitore di quarzo contenente il materiale da esaminare, collegato con un oscilloscopio che leggeva il segnale.

Durante l'esperimento il lavoratore ha utilizzato occhiali adeguati alla lunghezza d'onda del laser, tuttavia poiché non riusciva a leggere il segnale dell'oscilloscopio, istintivamente ha abbassato gli occhiali e ha rivolto lo sguardo verso il contenitore.

A questo punto a causa di un fenomeno di riflessione speculare, il raggio laser penetrava nell'occhio destro del lavoratore.

Il pronto soccorso dove il lavoratore è stato successivamente accompagnato ha emesso una diagnosi di «maculopatia emorragica fototraumatica... edema marcato del polo posteriore con distacco siero-emorragico centrale» e probabile fotocoagulazione centrale».

La riflessione, per le caratteristiche del contenitore, è stata pari al solo 4% dell'energia totale del raggio; quindi il danno è stato prodotto da un'energia di soli 2 mJ; va inoltre osservato (elemento favorevole in questo caso) che parte della radiazione ottica di quella specifica lunghezza d'onda (1.064 nm) viene assorbita dall'acqua e quindi dall'umor vitreo, ben diverso sarebbe stato se si fosse trattato di un laser a emissione nel visibile, che avrebbe traversato completamente le strutture oculari.

→ Mai abbassare il livello di attenzione e...attenzione alle riflessioni speculari!

INCIDENTI

Bologna 2015: "*Puntatori laser, danni agli occhi per 3 bambini*"

Tre ragazzini tra gli 11 e i 13 anni hanno avuto la vista rovinata irreversibilmente da alcuni puntatori laser fuorilegge comprati per strada da venditori abusivi e sprovvisti della etichettatura CE. In tal caso il puntatore è pericoloso comunque, perché al di fuori di qualunque controllo sulla potenza.

In Italia è possibile vendere liberamente solo quelli della classe 1 e 2, la cui potenza cioè è inferiore a un milliwatt. Quelli di potenza superiore possono essere venduti e utilizzati solo per motivi professionali ben specificati e da personale formato e munito delle protezioni necessarie.

→ attenzione alla marcatura CE

INCIDENTI

NEW YORK 1988 :“Dramma in ospedale USA: una donna ustionata dal laser”

Dramma in una sala operatoria di New York: un raggio laser è sfuggito al controllo dei chirurghi durante una operazione al cervello sfigurando la paziente e provocando un pericoloso incendio. Le fiamme sono divampate mentre i chirurghi stavano completando la rimozione di un tumore dal cervello di una paziente. Il minuscolo raggio laser, attivato per errore, ha gravemente ustionato la donna alla faccia, al collo e al petto incendiando poi alcuni tessuti plastici presenti nella sala operatoria. I medici hanno dovuto interrompere l'operazione per combattere contro le fiamme, che sono state domate nel giro di pochi minuti. Poteva andare peggio ha commentato un portavoce dell' ospedale il raggio ha sfiorato le bombole d' ossigeno usate nell' intervento. Si è rischiato un' esplosione. La paziente, che ha avuto ustioni nel 7% del corpo, viene definita in buone condizioni.

→ Controllare che il laser sia in stand-by, e non in ready, fino a quando non inizia l'intervento

INCIDENTI

SALERNO 2001 : "Il laser prende fuoco nella trachea muore tra atroci sofferenze"

La cannula per l'ossigeno è venuta a contatto con il raggio laser e ha preso fuoco. Probabilmente si è verificata anche una mini-explosione nel petto quando il laser ha surriscaldato l' ossigeno contenuto nella cannula che consentiva la ventilazione forzata e la respirazione all'uomo che era in anestesia totale. Secondo una prima ricostruzione, mentre l' equipe chirurgica stava ultimando l' intervento utilizzando il laser, all' improvviso ha preso fuoco il catetere introdotto nella trachea del paziente per consentirgli di respirare. Dopo l' autopsia il magistrato ha chiesto di accertare se la morte del paziente fosse da attribuire ad un uso errato del laser, e se la cannula usata per l' ossigenazione durante l' anestesia, fosse stata di materiale resistente al calore del laser. Occorre stabilire inoltre se il fascio di luce del laser fosse stato per errore indirizzato verso la stessa cannula

→ La fibra deve uscire dall'endoscopio prima di essere attivata per evitare che si bruci l'endoscopio

INCIDENTI

Emilia Romagna 2011:“Quasi incidente in sala operatoria”

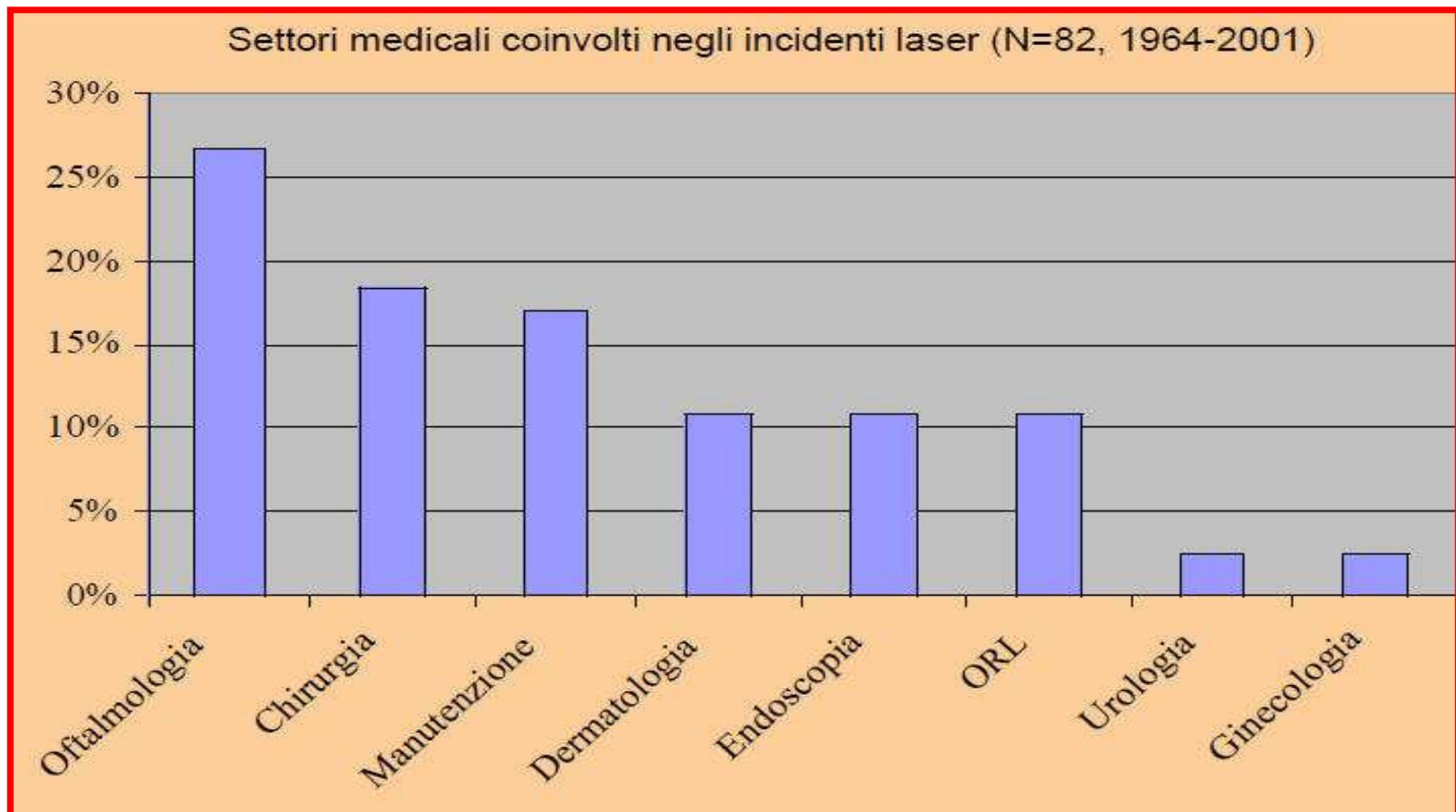
Durante un intervento ortopedico con il laser, sono state impostate area e potenza di trattamento e il laser è stato messo in emissione. Dopo pochi secondi il “pennello” di scansione dell’area di trattamento di è ridotto ad un punto fisso procurando una bruciatura del lenzuolo su cui era posto l’arto da trattare. Non ci sono state conseguenze per il paziente.

→ Controllare che il laser sia in stand-by, e non in ready, fino a quando non inizia l’intervento

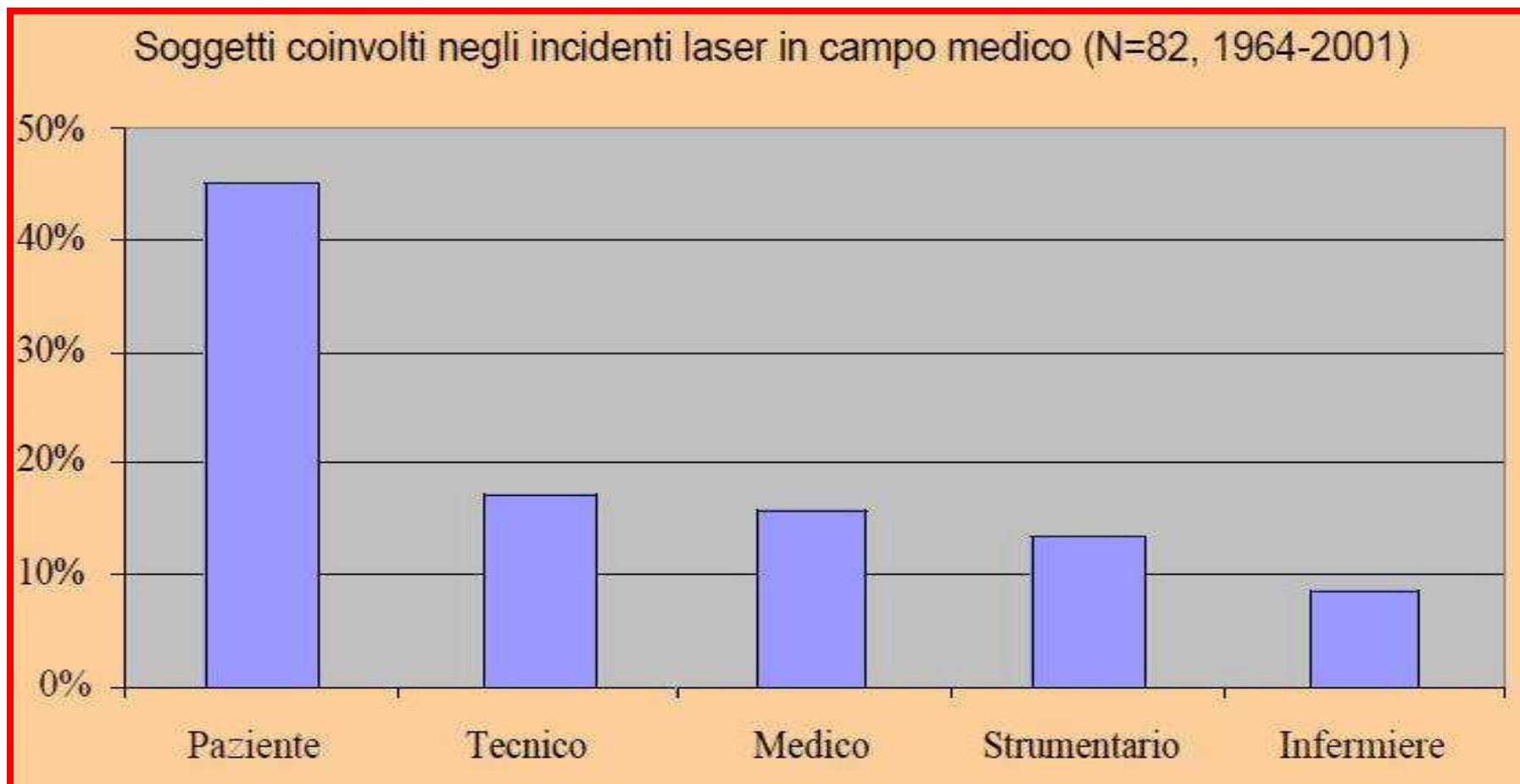
INCIDENTI

- In uno studio americano di qualche anno fa sono stati raccolti i dati di incidenti avvenuti in tutto il mondo con apparecchiature laser nel periodo compreso tra il 1964 e il 2001; dei 416 incidenti individuati sono state analizzate le cause e le conseguenze.
- Di questi 416 incidenti, 82 riguardavano laser utilizzati in ambito medico.

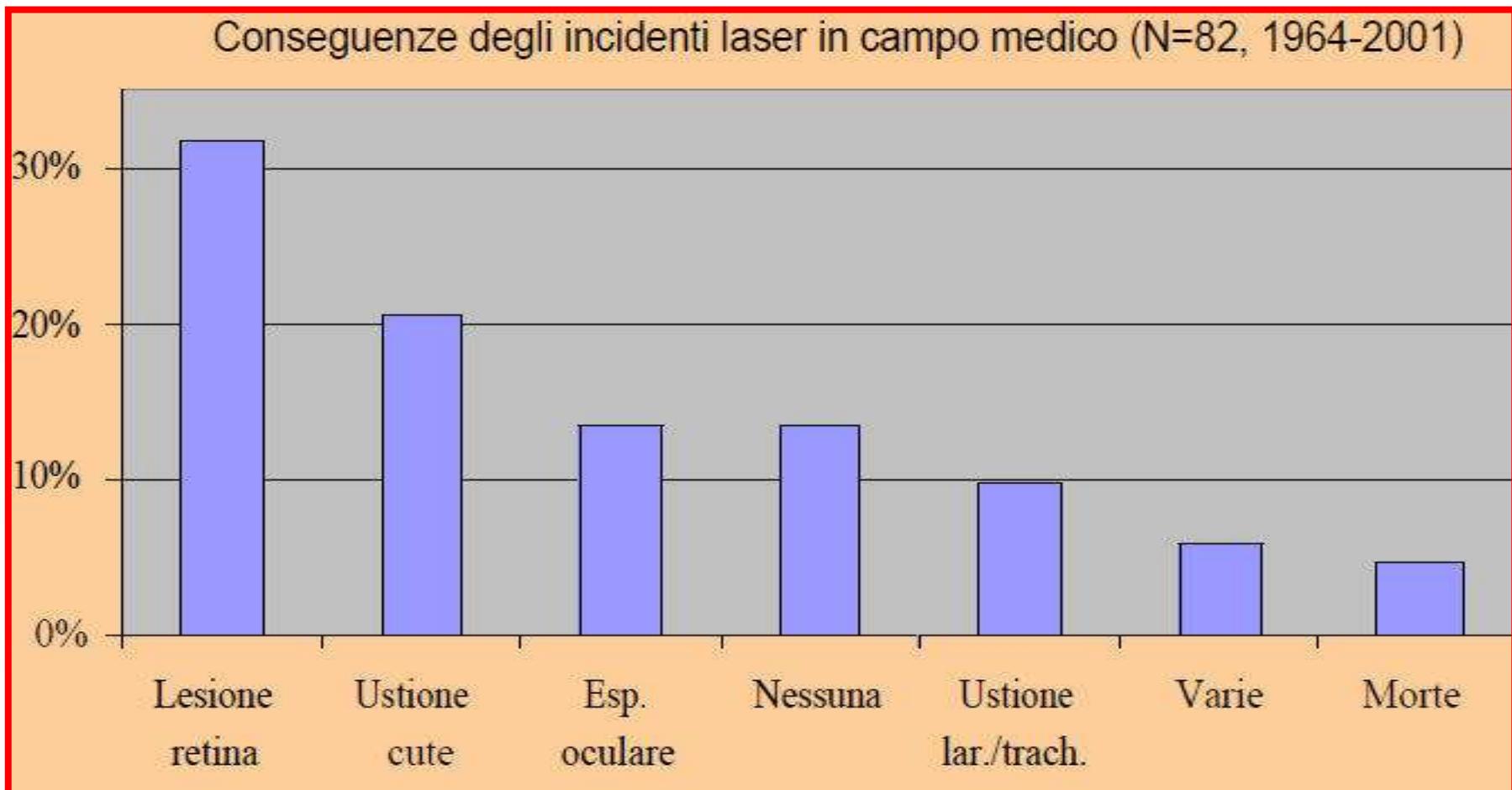
REPARTI COINVOLTI IN INCIDENTI



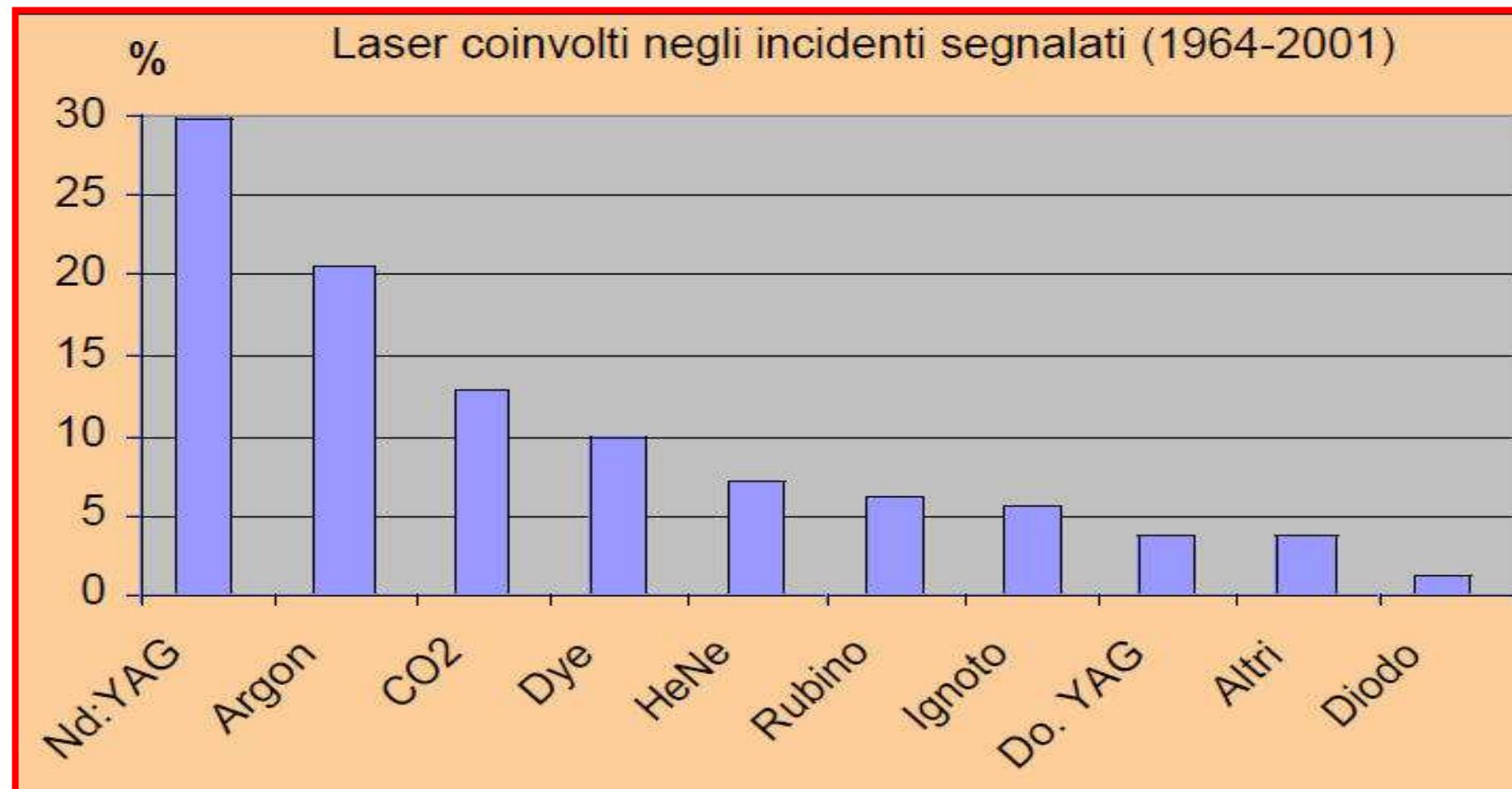
OCCUPAZIONE DELLE PERSONE COINVOLTE IN INCIDENTI



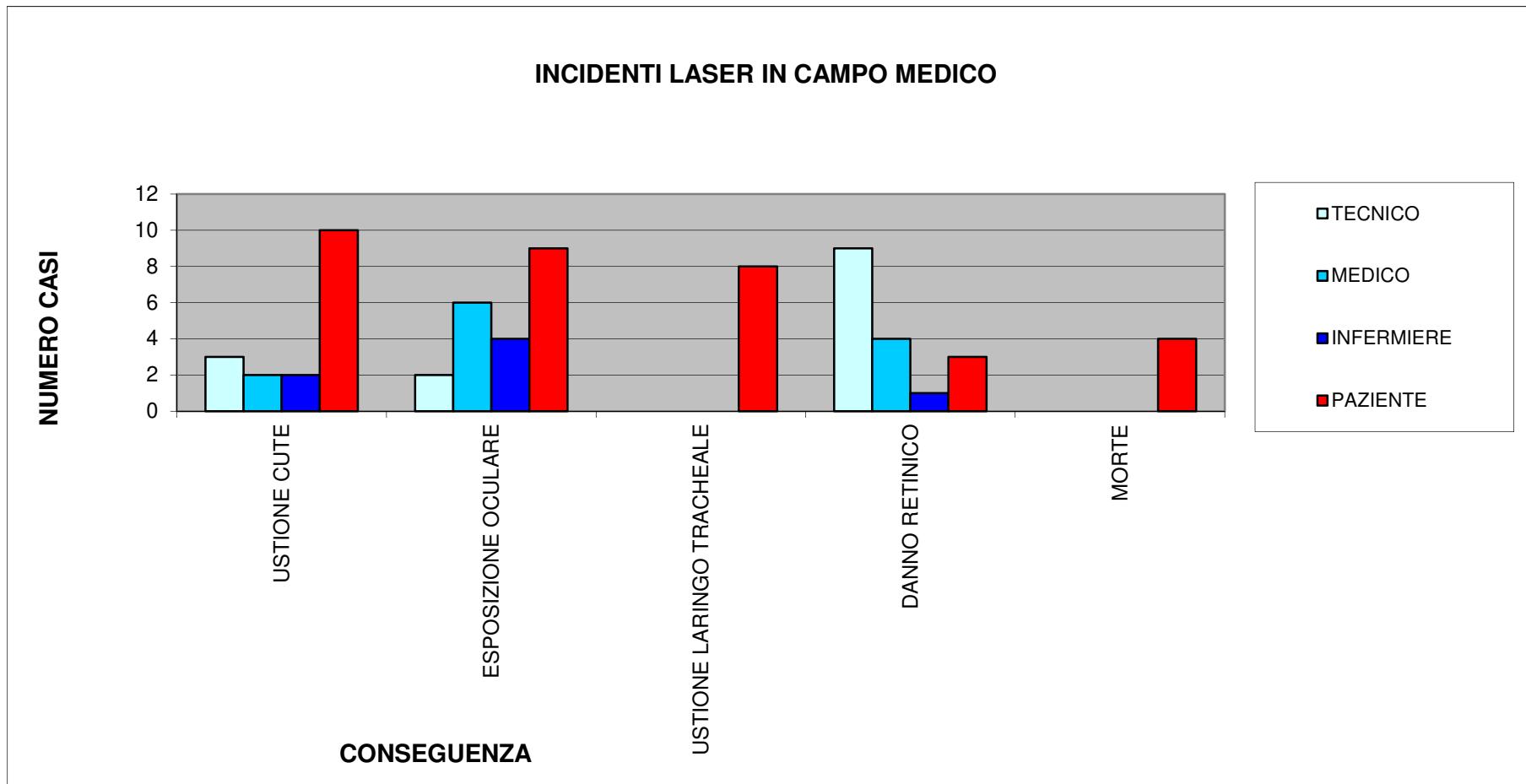
CONSEGUENZE DEGLI INCIDENTI LASER



LASER PIU' FREQUENTEMENTE COINVOLTI NEGLI INCIDENTI



INCIDENTI LASER IN CAMPO MEDICO

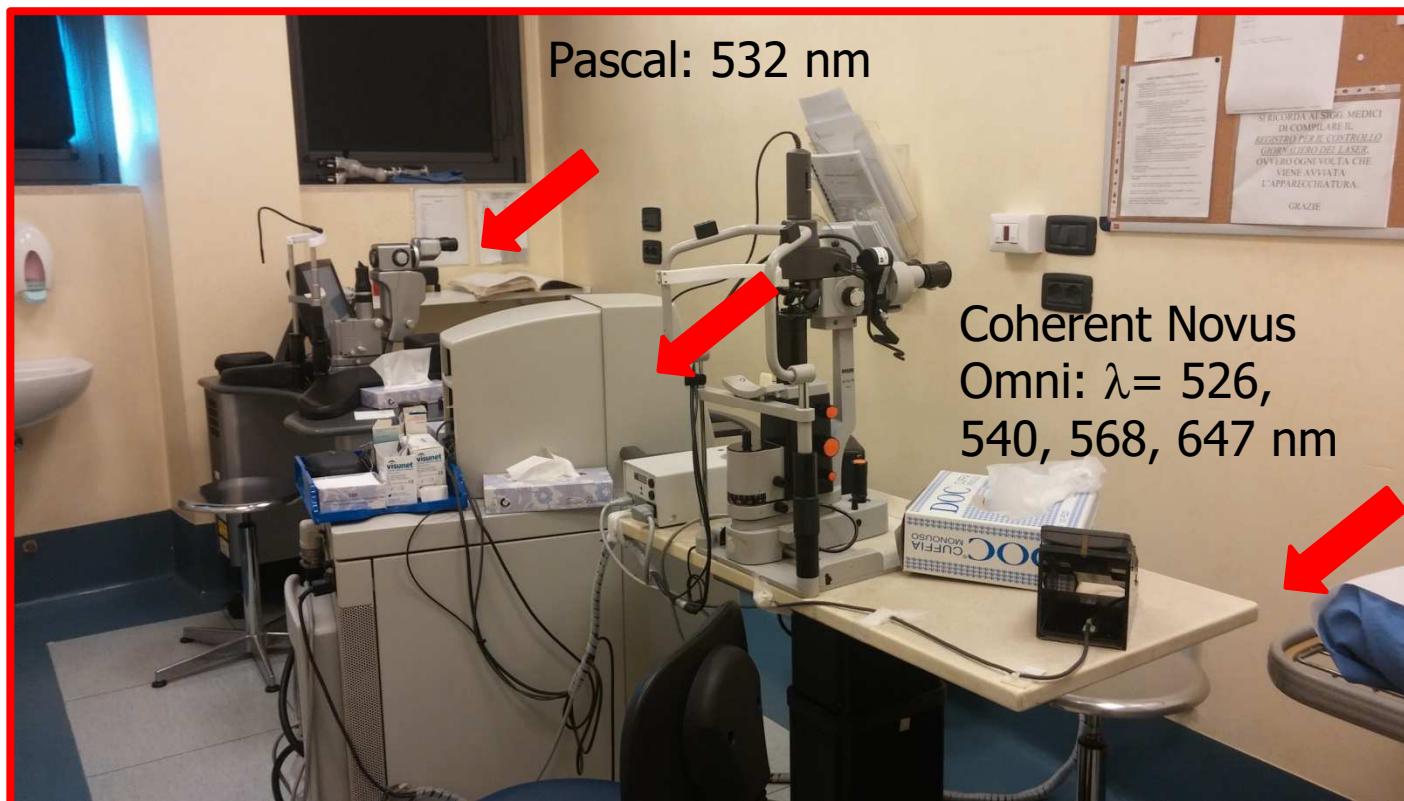


PRINCIPALI CAUSE DEGLI INCIDENTI LASER

- Occhiali protettivi non utilizzati (anche se disponibili)
- Uso di occhiali non adatti o difettosi
- Malfunzionamento/incorrecto uso dello strumentario

OCCHIALI DI PROTEZIONE

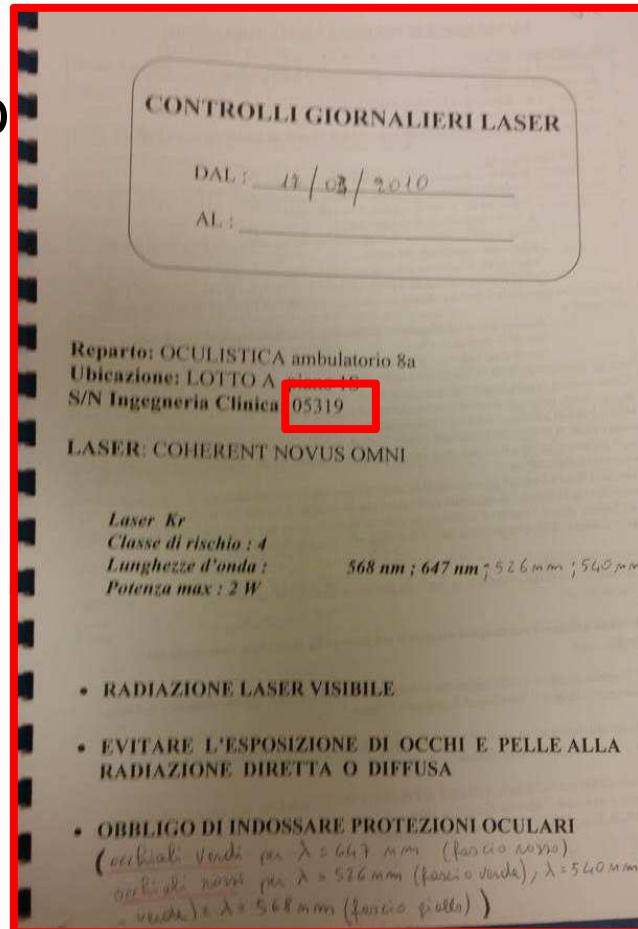
■ **PROBLEMA:** spesso in uno stesso ambulatorio o sala operatoria vengono usati più laser; come evitare il rischio che gli operatori utilizzino gli occhiali di un altro laser?



Oculight
Symphony Iris
Medical:
 $\lambda = 532, 810 \text{ nm}$

OCCHIALI DI PROTEZIONE

■ Soluzione adottata in OSR:
tutte le apparecchiature
elettromedicali vengono
identificate in
modo univoco
dalla
Ingegneria
Clinica
mediante un
numero
identificativo..



OCCHIALI DI PROTEZIONE

- Soluzione adottata in OSR:

.....il numero identificativo del laser viene riportato sulla stanghetta dell'occhiale idoneo



CORSO PER TECNICO/ADDETTO SICUREZZA LASER, TSL/ASL

**Le radiazioni ottiche coerenti
in ambito sanitario:
esempi di calcolo**

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE

- Nell' **Allegato XXXVII del D.L.gs 9-4-2008, n.81:** Testo Unico su salute e sicurezza sul lavoro - **parte II (Radiazioni laser)**, vengono definiti i limiti massimi di esposizione alla radiazione laser per: *OCCHI* e *CUTE* il rispetto dei quali garantisce che i lavoratori esposti siano protetti da effetti nocivi.
- I Valori Limite di Esposizione sono diversi a seconda che siano riferiti agli occhi o alla pelle.

VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE

- I Valori Limite di Esposizione sono espressi da formule dipendenti da:
 - lunghezza d'onda
 - durata impulso
 - dimensione della zona irradiata
- I VLE relativi agli occhi sono distinti a seconda che la durata di esposizione sia breve (<10 s) o lunga (≥ 10 s)
- I VLE sono espressi in termini di:
 - Esposizione radiante (o densità di energia o fluenza): $[J/m^2]$
 - Irradianza (o densità di potenza o irradamento): $[W/m^2]$

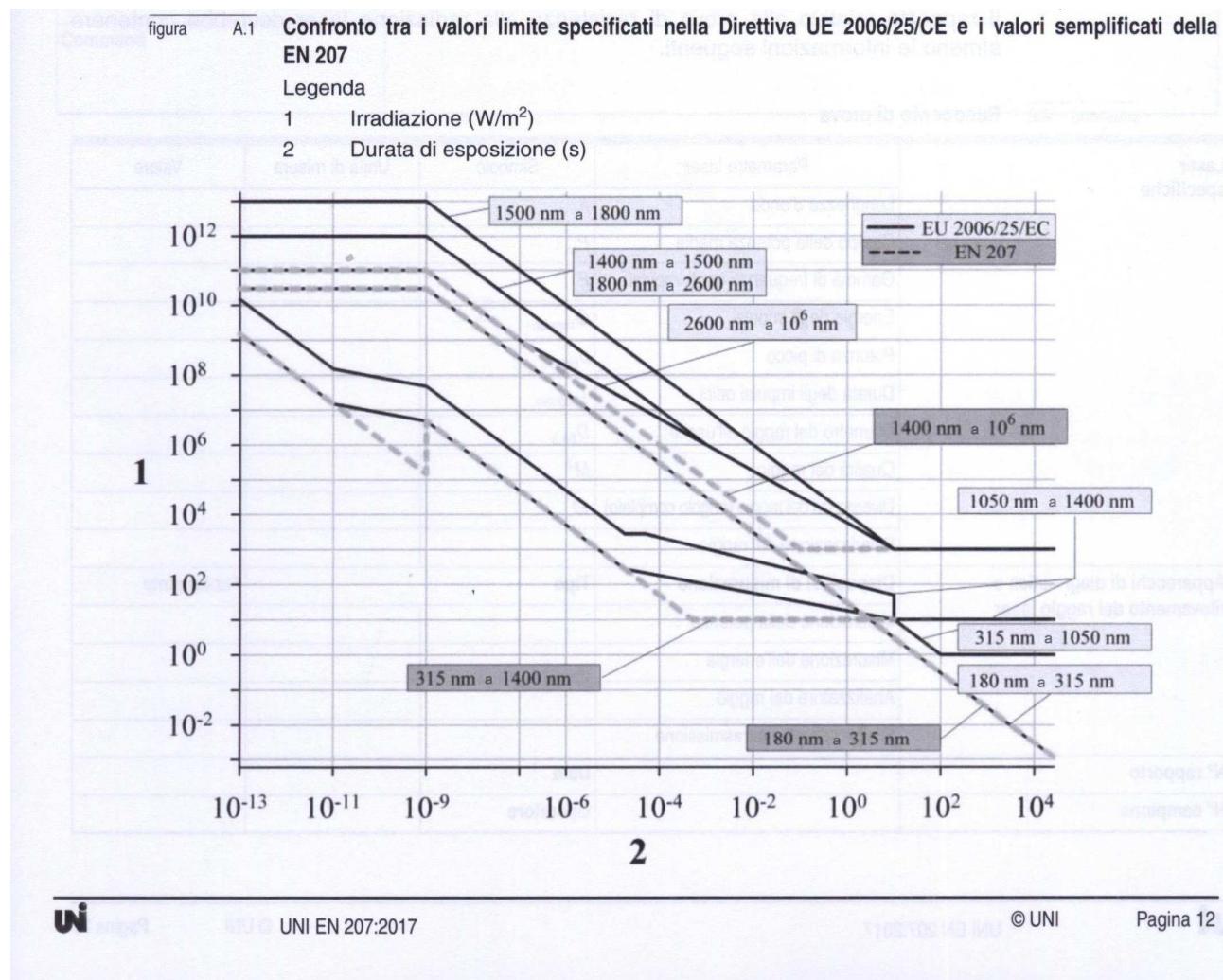
VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE

- Nel prospetto A.1 della norma UNI EN 207 (2017) sono riportati dei Valori Limite di Esposizione per la cornea semplificati, che sono uguali o più cautelativi di quelli che sono definiti CEI EN 60825-1:

prospetto A.1 Valori di irradiazione massimi ammessi semplificati per la cornea								
Campo di lunghezze d'onda	Irradiazione E				Esposizione alla radiazione H			
	D	M	M	I, R				
nm	Durata dell'impulso s	W/m ²	Durata dell'impulso s	W/m ²	Durata dell'impulso s	J/m ²	Durata dell'impulso s	J/m ²
Da 180 a 315	30 000	0,001	<10 ⁻⁹	3 × 10 ¹⁰	-	-	Da >10 ⁻⁹ a 3 × 10 ⁴	30
Da >315 a 1 400	Da >5 × 10 ⁻⁴ a 10	10	-	-	<10 ⁻⁹	1,5 × 10 ⁻⁴	Da >10 ⁻⁹ a 5 × 10 ⁻⁴	0,005
Da >1 400 a 10 ⁶	> da 0,1 a 10	1 000	<10 ⁻⁹	10 ¹¹	-	-	Da >10 ⁻⁹ a 0,1	100

VALORI LIMITE DI ESPOSIZIONE

- Confronto tra i Valori Limite di Esposizione per la cornea semplificati, e quelli definiti CEI EN 60825-1:



METODO DI CALCOLO: OCCHI

- Per il calcolo degli occhiali protettivi si segue il metodo descritto nell'appendice B della norma UNI EN 207 (2017).
- A causa della dissipazione del calore, la resistenza alla radiazione laser dipende non solo dalla densità di potenza/energia, ma anche dal diametro dell'area irraggiata.
- Nella norma UNI EN 207 (2017) viene quindi introdotto un fattore correttivo $F(d)$, d essendo il diametro del fascio laser a distanza r , così definito:
 - se gli occhiali sono di vetro: $F(d)=d^{1,1693}$
 - se gli occhiali sono di plastica: $F(d)=d^{1,2233}$
- In entrambi i casi se $d>15\text{mm}$ si devono usare i valori di funzionamento per $d=15\text{mm}$
- I valori di densità di potenza/energia devono essere moltiplicati per il fattore correttivo $F(d)$

METODO DI CALCOLO: OCCHI

- Dal prospetto 1 della norma UNI EN 207 (2017) si ricava la densità di potenza o energia a cui l'occhiale deve resistere. Il numero di graduazione idoneo sarà quello in corrispondenza al primo valore di densità di potenza/energia che supera il valore di densità/potenza calcolato sul filtro, nelle condizioni di lavoro considerate.

prospetto 1 Numeri di graduazione (fattore spettrale massimo di trasmissione e stabilità alle radiazioni laser) dei filtri e/o dei protettori dell'occhio contro le radiazioni laser										
Numero di graduazione <i>Numero di graduazione</i>	Fattore spettrale massimo di trasmissione alla lunghezza d'onda del laser $\tau(\lambda)$	Densità di potenza (E) / energia (H) per sottoporre a prova l'effetto protettivo e la stabilità alla radiazione laser nel campo di lunghezze d'onda								
		Da 180 nm a 315 nm			Da > 315 nm a 1 400 nm			Da > 1 400 nm a 1 000 μm		
		Per le condizioni di prova/durata dell'impulso in secondi (s)								
		$D \geq 3 \times 10^4$	Da I, R 10^{-9} a 3×10^{-4}	$M < 10^{-9}$	$D > 5 \times 10^{-4}$	I, R 10^{-9} a 5×10^{-4}	$M < 10^{-9}$	$D > 0,1$	I, R 10^{-9} a 0,1	
		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	
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}

I simboli D, I, R e M relativi alle condizioni di prova sono illustrati nel prospetto 4.

METODO DI CALCOLO: OCCHI

Procedendo in questo modo si garantisce che:

- la resistenza dell'occhiale è sufficiente
- la densità ottica è in grado di mantenere l'esposizione dell'occhio a livelli inferiori ai Valori Limite di Esposizione, per il tempo definito dalla norma (5 s)

Ciò deriva dal fatto che i valori di densità di potenza del prospetto 1 si ricavano dividendo i valori di irradiazione massimi semplificati per la cornea del prospetto A1 per il fattore spettrale massimo di trasmissione alla lunghezza d'onda del laser

Numero di graduazione	Fattore spettrale massimo di trasmissione alla lunghezza d'onda del laser $\tau(\lambda)$	Densità di potenza (E) / energia (H) per sottoporre a prova l'effetto protettivo e la stabilità alla radiazione laser nel campo di lunghezze d'onda								
		Da 180 nm a 315 nm			Da > 315 nm a 1 400 nm			Da > 1 400 nm a 1 000 μm		
		Per le condizioni di prova/durata dell'impulso in secondi (s)								
		D $\geq 3 \times 10^4$	D, I, R 10^{-9} a 3×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 5 \times 10^{-4}$	I, R 10^{-9} a 5×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R 10^{-9} a 0,1	M $< 10^{-9}$
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}

I simboli D, I, R e M relativi alle condizioni di prova sono illustrati nel prospetto 4.

Campo di lunghezze d'onda	Irradiazione E				Esposizione alla radiazione H			
	D		M		M		I, R	
	nm	Durata dell'impulso s	W/m ²	Durata dell'impulso s	W/m ²	Durata dell'impulso s	J/m ²	Durata dell'impulso s
Da 180 a 315	30 000	0,001	$< 10^{-9}$	3×10^{10}	-	-	Da $> 10^{-9}$ a 3×10^{-4}	30
Da > 315 a 1 400	Da $> 5 \times 10^{-4}$ a 10	10	-	-	$< 10^{-9}$	$1,5 \times 10^{-4}$	Da $> 10^{-9}$ a 5×10^{-4}	0,005
Da > 1 400 a 10 ⁸	> da 0,1 a 10	1 000	$< 10^{-9}$	10^{11}	-	-	Da $> 10^{-9}$ a 0,1	100

METODO DI CALCOLO: OCCHI

- Il significato dei simboli D, I, R, M sono illustrati nel prospetto 4 della norma UNI EN 207 (2017):

prospetto 4

Durata della prova per filtri e protettori dell'occhio contro le radiazioni laser

Condizioni di prova per tipo di laser	Tipo di laser	Durata dell'impulso s	Numero minimo di impulsi
D	Laser a onda continua	5	1
I	Laser a impulsi	Da $> 10^{-6}$ a 0,25	50
R	Laser a impulsi Q switch	Da $> 10^{-9}$ a 10^{-6}	50
M	Laser a impulsi a modo accoppiato	$< 10^{-9}$	50

METODO DI CALCOLO: CUTE

La Tabella 2.1 dell'allegato XXXVII del D.L.gs 9-4-2008, n.81, parte II (Radiazioni laser) riporta, per $180 \text{ nm} \leq \lambda \leq 10^6 \text{ nm}$, l'organo interessato, il tipo di rischio, e la tabella da utilizzare per calcolare il VLE

ALLEGATO XXXVII
RADIAZIONI OTTICHE

Tabella 2.1

Rischi delle radiazioni

Lunghezza d'onda [nm] λ	Campo di radiazione	Organo interessato	Rischio	Tabella dei valori limite di esposizione
da 180 a 400	UV	occhio	danno fotochimico e danno termico	2.2, 2.3
da 180 a 400	UV	cute	eritema	2.4
da 400 a 700	visibile	occhio	danno alla retina	2.2
da 400 a 600	visibile	occhio	danno fotochimico	2.3
da 400 a 700	visibile	cute	danno termico	2.4
da 700 a 1 400	IRA	occhio	danno termico	2.2, 2.3
da 700 a 1 400	IRA	cute	danno termico	2.4
da 1 400 a 2 600	IRB	occhio	danno termico	2.2
da 2 600 a 10^6	IRC	occhio	danno termico	2.2
da 1 400 a 10^6	IRB, IRC	occhio	danno termico	2.3
da 1 400 a 10^6	IRB, IRC	cute	danno termico	2.4

UV e parte del VIS:
danno sia termico che fotochimico

Restante parte del VIS e IR: danno solo termico

METODO DI CALCOLO: CUTE

La Tabella 2.4 dell'allegato XXXVII del D.L.gs 9-4-2008, n.81, parte II (Radiazioni laser) riporta, per $180 \text{ nm} \leq \lambda \leq 10^6 \text{ nm}$, i VLE relativi alla cute, in funzione del tempo di esposizione

Tabella 2.4

Valori limite di esposizione della cute a radiazioni laser

Lunghezza d'onda ^a [nm]		Apertura	Durata [s]									
			$< 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-1}$	$10^{-3} - 10^1$	$10^1 - 10^3$	$10^3 - 3 \cdot 10^4$				
UV (A, B, C)	180 - 400	3,5mm	$E = 3 \cdot 10^{10} [\text{Wm}^{-2}]$					Come i limiti di esposizione per l'occhio				
Visibile e IRA	400 - 700	3,5mm	$E = 2 \cdot 10^{11} [\text{Wm}^{-2}]$	$H = 200 C_A$ [J m^{-2}]	$H = 1,1 \cdot 10^4 C_A t^{0,23}$ [J m^{-2}]	$E = 2 \cdot 10^7 C_A [\text{W m}^{-2}]$						
	700 - 1 400		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A [\text{W m}^{-2}]$									
IRB e IRC	1 400 - 1 500		$E = 10^{17} [\text{Wm}^{-2}]$	Come i limiti di esposizione per l'occhio								
	1 500 - 1 800		$E = 10^{17} [\text{Wm}^{-2}]$									
	1 800 - 2 600		$E = 10^{17} [\text{Wm}^{-2}]$									
	2 600 - 10^8		$E = 10^{17} [\text{Wm}^{-2}]$									

a Se la lunghezza d'onda o un'altra condizione del laser è coperta da due limiti, si applica il più restrittivo.

METODO DI CALCOLO: CUTE

ALLEGATO XXXVII
RADIAZIONI OTTICHE

Tabella 2.5

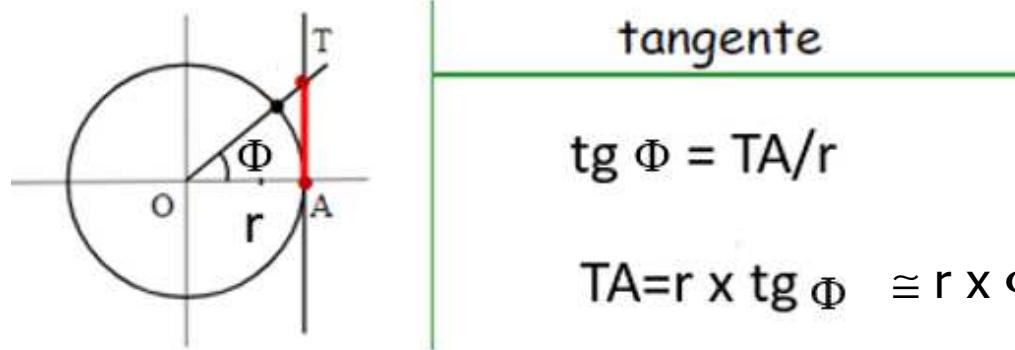
Fattori di correzione applicati e altri parametri di calcolo

Parametri elencati da ICNIRP	Regione spettrale valida (nm)	Valore o descrizione
C_A	$\lambda < 700$	$C_A = 1,0$
	700 — 1 050	$C_A = 10^{-0,002(\lambda - 700)}$
	1 050 — 1 400	$C_A = 5,0$
C_B	400 — 450	$C_B = 1,0$
	450 — 700	$C_B = 10^{-0,02(\lambda - 450)}$
C_C	700 — 1 150	$C_C = 1,0$
	1 150 — 1 200	$C_C = 10^{-0,01(\lambda - 1 150)}$
	1 200 — 1 400	$C_C = 8,0$
T_1	$\lambda < 450$	$T_1 = 10 \text{ s}$
	450 — 500	$T_1 = 10 \cdot [10^{-(0,02(\lambda - 450))}] \text{ s}$
	$\lambda > 500$	$T_1 = 100 \text{ s}$
Parametri elencati da ICNIRP	Valido per effetto biologico	Valore o descrizione
a_{\min}	tutti gli effetti termici	$a_{\min} = 1,5 \text{ mrad}$
Parametri elencati da ICNIRP	Intervallo angolare valido (mrad)	Valore o descrizione
C_E	$a < a_{\min}$	$C_E = 1,0$
	$a_{\min} < a < 100$	$C_E = a/a_{\min}$
	$a > 100$	$C_E = a^2/(a_{\min} \cdot a_{\max}) \text{ mrad con } a_{\max} = 100 \text{ mrad}$
T_2	$a < 1,5$	$T_2 = 10 \text{ s}$
	$1,5 < a < 100$	$T_2 = 10 \cdot [10^{(a - 1,5) / 98,5}] \text{ s}$
	$a > 100$	$T_2 = 100 \text{ s}$

Fattori Correttivi

La Tabella 2.5 dell'allegato XXXVII del D.L.gs 9-4-2008, n.81, parte II (Radiazioni laser) riporta i fattori di correzione da applicare per il calcolo dei VLE riportati nella tabella 2.4

PREMESSA: CALCOLO FASCIO A DISTANZA r

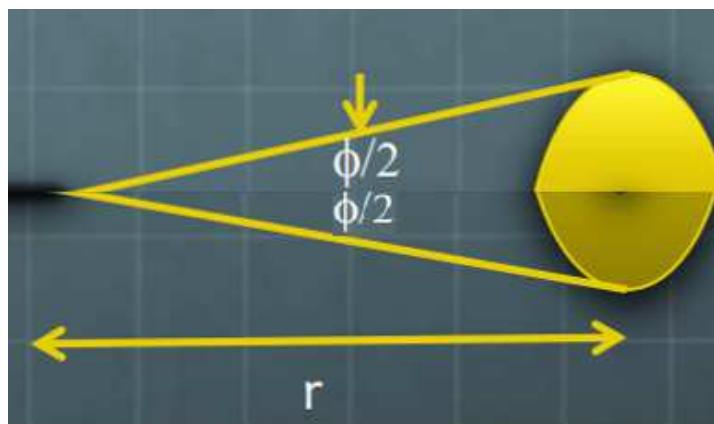
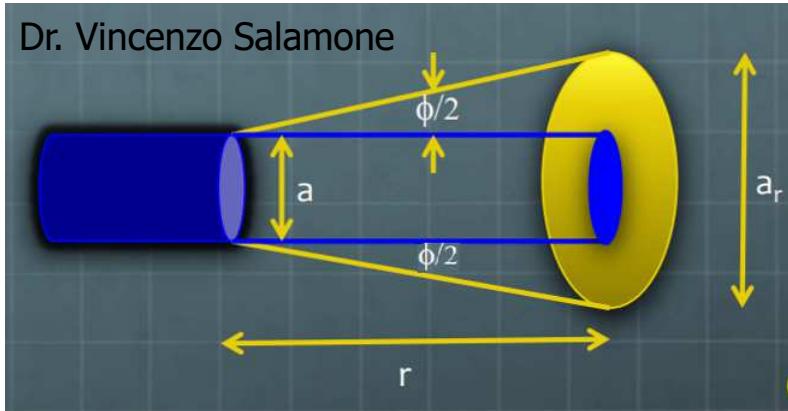


tangente

$$\tan \Phi = TA/r$$

$$TA = r \times \tan \Phi \approx r \times \Phi$$

perché per piccoli angoli $\tan \Phi \approx \Phi$



Quindi $a_r \approx a + r \times \Phi$

1° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: lunghezza d'onda = 532 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Potenza: $P = 2 \text{ W}$; diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 0,076 rad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



dimensione fascio laser a 30 cm: $a_r = (a+r\varphi) \approx 27,8 \text{ mm} = 0,0278 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Densità di potenza: } D_p &= \frac{P}{\text{area}} = \frac{P}{\pi(\text{raggio})^2} = \frac{4P}{\pi(a_r)^2} \approx \frac{4P}{\pi \times 7,73 \times 10^{-4}} \approx \\ &\approx \frac{8}{24,27 \times 10^{-4}} \approx 3.29 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Supponendo che gli occhiali siano costituiti di plastica, la densità di potenza dovrà essere moltiplicata per il fattore $F(15)=15^{1,2233}=27.5$ per cui si ha:

$$D_p \approx 90 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \approx 9 \times 10^4 \text{ W/m}^2$$

1° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: lunghezza d'onda = 532 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Potenza: $P = 2 \text{ W}$; diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 0,076 rad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



Essendo $D_p = 9 \times 10^4 \text{ W/m}^2$ il numero di graduazione necessario sarà **D532LB4**

Numero di graduazione <i>Numero di protezione</i> <i>Numero di protezione</i>	Fattore spettrale massimo di trasmissione alla lunghezza d'onda del laser $\tau(\lambda)$	Densità di potenza (E) / energia (H) per sottoporre a prova l'effetto protettivo e la stabilità alla radiazione laser nel campo di lunghezze d'onda								
		Da 180 nm a 315 nm			Da > 315 nm a 1 400 nm			Da > 1 400 nm a 1 000 μm		
		Per le condizioni di prova/durata dell'impulso in secondi (s)								
		$D \geq 3 \times 10^4$	$D \leq I, R$ $10^{-9} \text{ a } 3 \times 10^4$	$M < 10^{-9}$	$D \geq 5 \times 10^4$	I, R $10^{-9} \text{ a } 5 \times 10^{-4}$	$M < 10^{-9}$	$D > 0,1$	I, R $10^{-9} \text{ a } 0,1$	$M < 10^{-9}$
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}

I simboli D, I, R e M relativi alle condizioni di prova sono illustrati nel prospetto 4.

Tali caratteristiche garantiscono sia che la resistenza dell'occhiale sia adeguata, sia che la densità ottica sia in grado di mantenere l'esposizione dell'occhio a livelli inferiori ai Valori Limite di Esposizione, per il tempo definito dalla norma (5 s).

1° ESEMPIO: calcolo esposizione cute

Laser: lunghezza d'onda = 532 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Potenza: $P = 2 \text{ W}$; diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 0,076 rad

Distanza cute operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta della cute dell'operatore al fascio laser



$$D_p = 3.29 \times 10^3 \text{ W/m}^2$$

Dato che Energia=potenza x tempo, calcoliamo l'energia per una durata di esposizione pari a 5 s : $E_p \approx 16,4 \times 10^3 \text{ J/m}^2$, in modo da avere la stessa unità di misura con cui sono espressi i VLE:

Tabella 2.4

Valori limite di esposizione della cute a radiazioni laser

Lunghezza d'onda λ [nm]		Areezza	Durata [s]					
UV (A, B, C)	180 - 400		$< 10^{-6}$	$10^{-6} - 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-2} - 1 - 10^{-1}$
UV (A, B, C)	180 - 400	5,5mm	$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ [W/m}^2\text{]}$					
Visible e IR-A	400 - 700							
Visible e IR-A	700 - 1 400	5,5mm	$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ [W/m}^2\text{]}$		$H = 200 C_A \text{ [J/m}^2\text{]}$		$H = 1,1 \cdot 10^8 C_A t^{0,25} \text{ [J/m}^2\text{]}$	$E = 2 \cdot 10^3 C_A \text{ [W m}^{-2}\text{]}$
IR-B e IR-C	1 400 - 1 500		$E = 10^{12} \text{ [W/m}^2\text{]}$					
IR-B e IR-C	1 500 - 1 800		$E = 10^{12} \text{ [W/m}^2\text{]}$					
IR-B e IR-C	1 800 - 2 600		$E = 10^{12} \text{ [W/m}^2\text{]}$					
IR-B e IR-C	2 600 - 10 ⁴		$E = 10^{12} \text{ [W/m}^2\text{]}$					

$$\text{VLE}_{\text{cute}}: 1,1 \times 10^4 \times C_A \times t^{0,25} \text{ J/m}^2 = 1,1 \times 10^4 \times 1,5 \text{ J/m}^2 \approx 1,65 \times 10^4 \text{ J/m}^2 = \\ = 16,5 \times 10^3 \text{ J/m}^2 \text{ essendo } C_A=1$$

I valori di esposizione energetica alla cute stimati in caso di incidente sono inferiori ai limiti riportati nella tabella dell'all. XXXVII – parte II del D.lgs. 81/08.

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



dimensione fascio laser a 30 cm: $a_r = (a+r\varphi) = (0,005 + 0,3 \times 0,001) \text{ m} = 0.0053 \text{ m}$

Densità di energia singolo impulso: $H_{\text{impulso singolo}} = \frac{E}{\text{Area}} = \frac{E}{\pi(\text{raggio})^2} = \frac{4E}{\pi(a_r)^2} =$

$$= \frac{4 \times 0,2}{3,14 \times 2,8 \times 10^{-5}} = \frac{0,8}{8,8 \times 10^{-5}} = 0,09 \times 10^5 \cong 9070 \text{ J/m}^2$$

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



La norma ci dice che per i laser avari:

- lunghezza d'onda compresa tra 400 nm e 10^6 nm
- durata impulsi $< 0.25 \text{ s}$
- frequenza di ripetizione degli impulsi $> 1 \text{ Hz}$

la densità di energia va moltiplicata per il fattore correttivo $k=N^{1/4}$, N essendo il numero di impulsi emessi nel tempo di esposizione $T=5\text{s}$:

$$N = \text{frequenza} \times \text{tempo} = f \times T = 20 \times 5 = 100.$$

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



Per stabilire il numero di impulsi da considerare bisogna verificare se, nel periodo T_i definito nel prospetto B.2 della norma, possono esserci più impulsi:

prospetto B.2

Periodi di tempo T_i al di sotto dei quali sono aggiunte le energie dei singoli impulsi e frequenze massime di ripetizione degli impulsi $\nu_{\max} = 1/T_i$ per l'applicazione dell'equazione (B.4)

Lunghezza d'onda, λ [nm]	T_i / [s]	ν_{\max} / [Hz]
$400 \leq \lambda < 1\,050$	18×10^{-6}	$55,56 \times 10^3$
$1\,050 \leq \lambda < 1\,400$	50×10^{-6}	20×10^3
$1\,400 \leq \lambda < 2\,600$	10^{-3}	10^3
$2\,600 \leq \lambda < 10^6$	10^{-7}	10^7

Nell'esempio il periodo T è dato da: $T = 1/f = 1/20 = 0.05 = 5 \times 10^{-2} \text{ s} > T_i$ quindi nel tempo T_i è presente un solo impulso.

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



Per intervalli di impulsi più brevi di T_i , in cui siano quindi presenti più impulsi, si deve aggiungere l'energia di tutti gli impulsi durante T_i

La frequenza massima di ripetizione da applicare v_{\max} è pertanto inversamente proporzionale al tempo T_i

In questo caso, il coefficiente di correzione della densità di energia del singolo impulso laser è dato dal prodotto di k e di un ulteriore coefficiente k_{Ti} che tiene conto del numero di impulsi nel tempo T_i

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



$$k = N^{1/4} = 3.16, \text{ essendo } N=100$$

$$\begin{aligned} H_{\text{impulso singolo}} &= \frac{4E}{\pi(a_r)^2} \approx \frac{4 \times 0,2}{3,14 \times 2,8 \times 10^{-5}} = \frac{0,8}{8,8 \times 10^{-5}} = 0,09 \times 10^5 = 9070 \text{ J/m}^2 \approx \\ &\approx 9,1 \times 10^3 \text{ J/m}^2 \end{aligned}$$

$$H_{\text{impulso treno}} = H_{\text{impulso singolo}} \times k \approx 9,1 \times 10^3 \times 3,16 \text{ J/m}^2 \approx 28 \times 10^3 \text{ J/m}^2$$

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



Supponendo che gli occhiali siano costituiti di plastica, la densità di energia dovrà essere moltiplicata per il fattore $F(5,3)=5,3^{1,2233}=7,69$

per cui si ottiene:

$$H_{\text{impulso treno}} = 7,69 \times 28 \times 10^3 \text{ J/m}^2 \approx 220 \times 10^3 \text{ J/m}^2 = 2.2 \times 10^5 \text{ J/m}^2$$

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

H_p: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser

Essendo $H_{\text{impulso treno}} = 2.2 \times 10^5 \text{ J/m}^2$ il numero di graduazione necessario sarà **I 1064 LB8**



Numero di graduazione <small>prospetto 1</small>	Fattore spettrale massimo di trasmissione alla lunghezza d'onda del laser <small>$\tau(\lambda)$</small>	Densità di potenza (E) / energia (H) per sottoporre a prova l'effetto protettivo e la stabilità alla radiazione laser nel campo di lunghezze d'onda								
		Da 180 nm a 315 nm		Da > 315 nm a 1 400 nm		Da > 1 400 nm a 1 000 μm				
		Per le condizioni di prova/durata dell'impulso in secondi (s)								
		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	
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}

I simboli D, I, R e M relativi alle condizioni di prova sono illustrati nel prospetto 4.

Per durate degli impulsi minori di 10^{-6} s si applica il simbolo R, altrimenti il simbolo I

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



Bisogna poi calcolare il numero di scala relativo alla densità di potenza media dP_m in 5 s: conoscendo l'energia del singolo

impulso E , si ha: $dP_m = \frac{P_m}{A} = \frac{E \times \frac{N}{5}}{A} = \frac{E \times \frac{N}{5}}{\pi(raggio)^2} = \frac{4E \times \frac{N}{5}}{\pi(a_r)^2}$, che va moltiplicata per il fattore correttivo $F(5,3)$ che tiene conto del materiale degli occhiali:

$$dP_m = \frac{4E \times \frac{N}{5}}{\pi(a_r)^2} \times F(5,3) \cong \frac{4 \times 0,2 \times \frac{100}{5}}{3,14 \times 2,8 \times 10^{-5}} \times 7,69 = \frac{4 \times 0,2 \times 20}{8,8 \times 10^{-5}} \times 7,69 = \\ = \frac{16}{8,8 \times 10^{-5}} \times 7,69 = 1,82 \times 10^5 \times 7,69 = 14 \times 10^5 \text{ W/m}^2 = 1,4 \times 10^6 \text{ W/m}^2$$

essendo N il numero di impulsi, E l'energia del singolo impulso, $N/5$ la frequenza di ripetizione del laser

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

H_p: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



Essendo $dP_m = 1,4 \times 10^6 \text{ W/m}^2$ il numero di graduazione
necessario sarà **D 1064 LB6**

Numero di graduazione $\tau(\lambda)$	Fattore spettrale massimo di trasmissione alla lunghezza d'onda del laser	Densità di potenza (E) / energia (H) per sottoporre a prova l'effetto protettivo e la stabilità alla radiazione laser nel campo di lunghezze d'onda								
		Da 180 nm a 315 nm		Da > 315 nm a 1 400 nm		Da > 1 400 nm a 1 000 μm				
		Per le condizioni di prova/durata dell'impulso in secondi (s)								
		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	
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}

2° ESEMPIO: calcolo esposizione occhi

Laser: Nd:YAG – lunghezza d'onda = 1064 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Frequenza: $f = 20 \text{ Hz}$; energia impulso: $E = 0.2 \text{ J}$; $t = 0.1 \text{ ms}$;

diametro fascio: $a = 5 \text{ mm}$; divergenza fibra = 1 mrad

Distanza occhio operatore: $r = 30 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser



La sigla dell'occhiale di protezione da prescrivere sarà dunque:

I 1064 LB8 + D 1064 LB6

CORSO PER TECNICO/ADDETTO SICUREZZA LASER, TSL/ASL

**Le radiazioni ottiche coerenti
in ambito sanitario:**

**Caso studio: installazione di un laser negli
ambulatori di odontoiatria**

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

CASO STUDIO

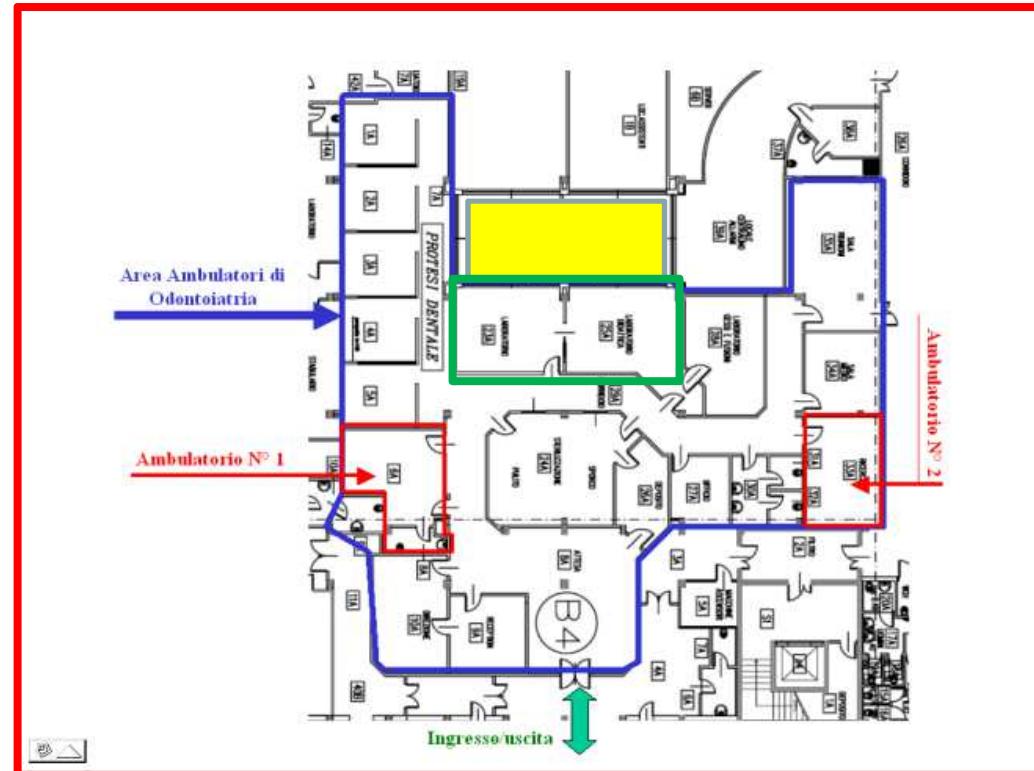
Installazione di un laser a diodi in due ambulatori di odontoiatria.

Problemi:

- Il laser a diodi ($\lambda=980\text{nm}$) emette nella finestra ottica più pericolosa
- Emette radiazione a «cielo aperto», e precisamente in bocca (presenza denti)
- Il dentista necessita di strumentazione e di suppellettili, talvolta riflettenti, ma ineliminabili
- Il dentista lavora a stretto contatto con l'assistente, in uno spazio ridotto (possibili urti involontari)
- Il paziente può sentire male e può muoversi

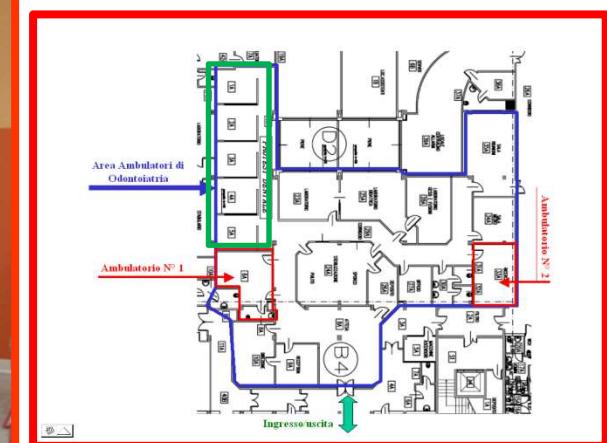
CASO STUDIO

Gli ambulatori odontoiatrici che si affacciano sul cortile interno (in giallo) sono stati esclusi per la presenza di grandi superfici vetrate



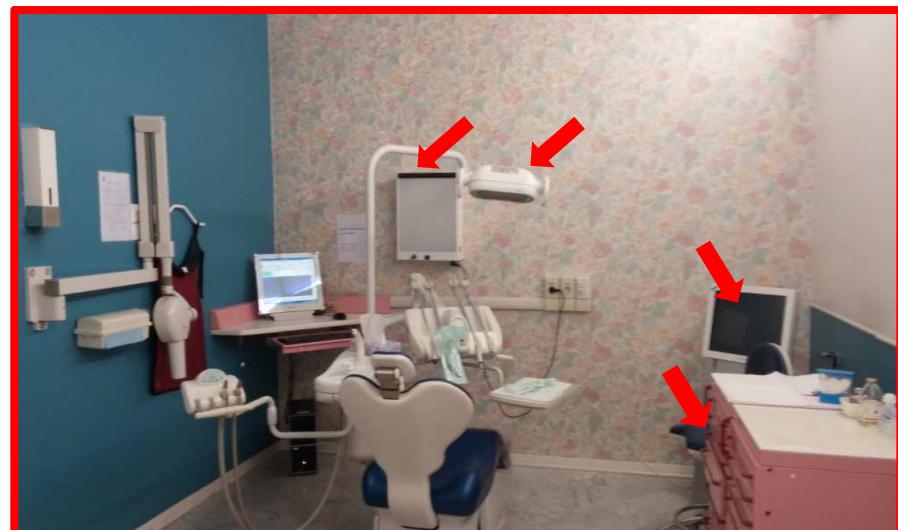
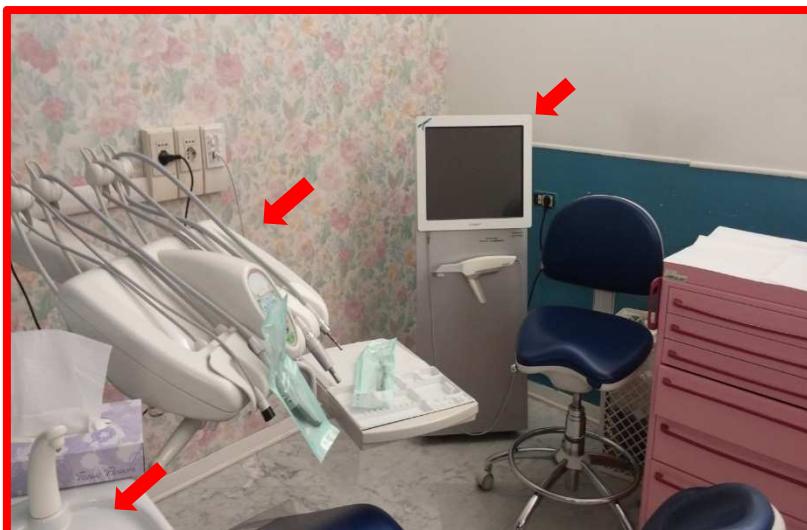
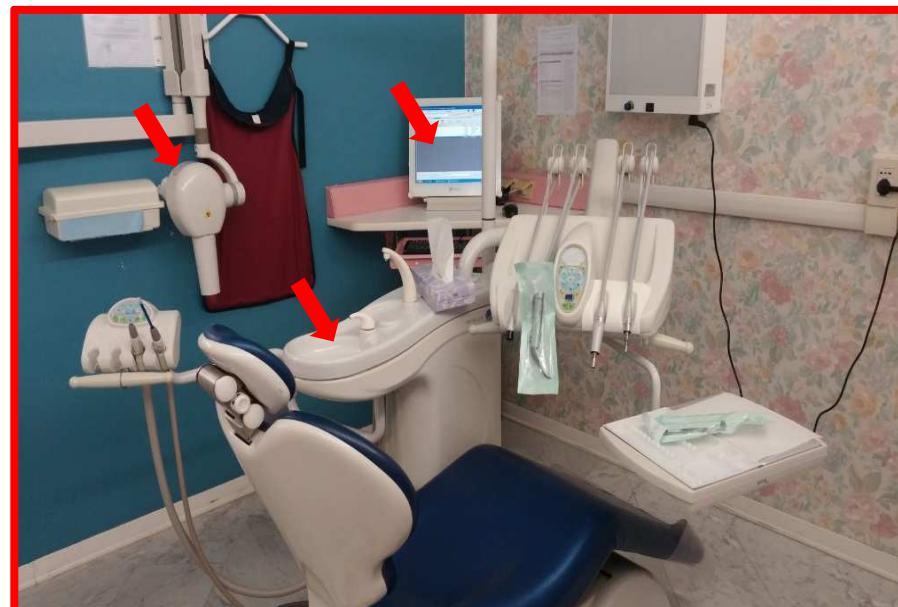
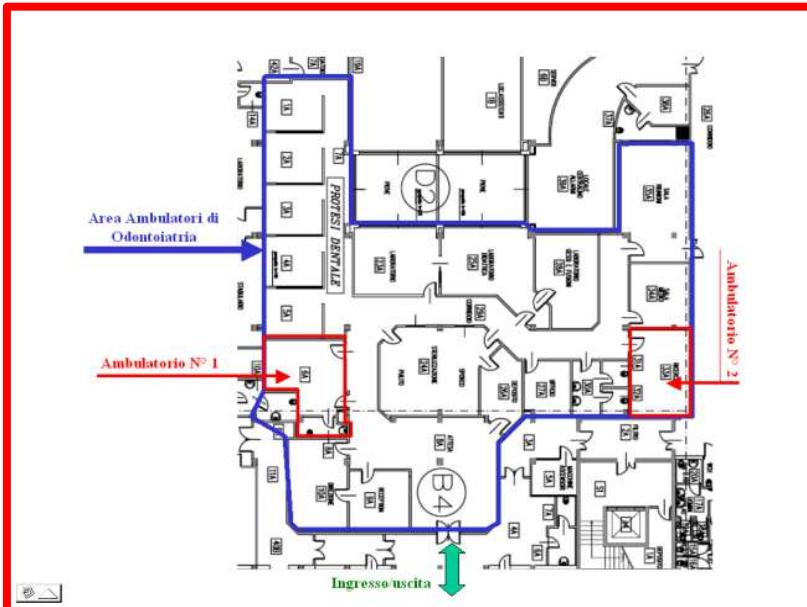
CASO STUDIO

I box odontoiatrici senza porte di accesso non sono stati abilitati all'utilizzo del laser perché non consentono di confinare la radiazione laser all'interno della ZLC



CASO STUDIO

Acquisizione delle caratteristiche dei locali di installazione



CASO STUDIO

Acquisizione dei dati caratteristici e tecnici:

- Laser a diodi
- Potenza massima emessa: $P_{max} = 7 \text{ W}$
- Potenza massima di utilizzo clinico: $P = \text{da } 4 \text{ a } 5.5 \text{ W}$ (a seconda della fibra)
- Lunghezza d'onda: 980 nm (IR)
- Diametro fibra: 200, 300, 320, 400, 600 e 6000 μm
- Divergenza fascio: 760 mrad (per diametri da 200 a 600 μm) e 76 mrad (per diametro di 6000 μm)



CASO STUDIO

Calcolo esposizione in caso di incidente (occhi):

Laser: lunghezza d'onda = 980 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Potenza: $P = 5.5 \text{ W}$; diametro fascio: $a = 600 \mu\text{m}$; divergenza fibra = 0.76 rad

Distanza occhio operatore: $r = 10 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser

dimensione fascio laser a 0.1 m: $a_r = (a+r\varphi) = (600 \times 10^{-6} + 0.1 \times 0.76) = 0.077 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Densità di potenza: } dP &= \frac{P}{\text{area}} = \frac{P}{\pi(\text{raggio})^2} = \frac{4P}{\pi(a_r)^2} = \frac{4 \times 5,5}{3,14 \times 6 \times 10^{-3}} \approx \\ &\approx \frac{4 \times 5,5}{3,14 \times 6 \times 10^{-3}} \approx \frac{22}{18,8 \times 10^{-3}} \approx 1,19 \times 10^3 \approx 1190 \text{ W/m}^2 \approx 1.2 \times 10^3 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

con $P = 5.5 \text{ W}$ (massima potenza di utilizzo con fibre da $600 \mu\text{m}$)

Supponendo che gli occhiali siano costituiti di plastica, la densità di potenza dovrà essere moltiplicata per il fattore correttivo $F(d)=F(a_r)$.

Poiché $a_r > 15 \text{ mm}$ il fattore correttivo sarà dato da: $F(15)=15^{1.2233}=27.5$, per cui si avrà:

$$dP = 1.2 \times 10^3 \times 27.5 \text{ W/m}^2 \approx 33 \times 10^3 = 3.3 \times 10^4 \text{ W/m}^2$$

CASO STUDIO

Laser: lunghezza d'onda = 980 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Potenza: $P = 5.5 \text{ W}$; diametro fascio: $a = 600 \mu\text{m}$; divergenza fibra = 0.76 rad

Distanza occhio operatore: $r = 10 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser

Essendo $dP = 3.3 \times 10^4 \text{ W/m}^2$ il numero di graduazione necessario sarà **D 980 LB4**

prospetto 1 Numeri di graduazione (fattore spettrale massimo di trasmissione e stabilità alle radiazioni laser) dei filtri e/o dei protettori dell'occhio contro le radiazioni laser										
Numero di graduazione	Fattore spettrale massimo di trasmissione alla lunghezza d'onda del laser $\tau(\lambda)$	Densità di potenza (E) / energia (H) per sottoporre a prova l'effetto protettivo e la stabilità alla radiazione laser nel campo di lunghezze d'onda								
		Da 180 nm a 315 nm			Da > 315 nm a 1 400 nm			Da > 1 400 nm a 1 000 μm		
		Per le condizioni di prova/durata dell'impulso in secondi (s)								
		D $\geq 3 \times 10^4$	Da I, R 10^{-9} a 3×10^4	M $< 10^{-9}$	D $> 5 \times 10^{-4}$	I, R 10^{-9} a 5×10^{-4}	M $< 10^{-9}$	D $> 0,1$	I, R 10^{-9} a $0,1$	
		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}

I simboli D, I, R e M relativi alle condizioni di prova sono illustrati nel prospetto 4.

Vanno effettuati calcoli analoghi per tutte le fibre che vengono utilizzate.

Le caratteristiche richieste all'occhiale saranno quelle aventi la protezione più elevata.

CASO STUDIO

Calcolo esposizione in caso di incidente (cute):

Laser: lunghezza d'onda = 980 nm – Caratteristiche di funzionamento:

Potenza: $P = 5.5 \text{ W}$; diametro fascio: $a = 600 \mu\text{m}$; divergenza fibra = 0.76 rad

Distanza occhio operatore: $r = 10 \text{ cm}$

Hp: Esposizione diretta dell'occhio dell'operatore al fascio laser

$$D_p = 1.2 \times 10^3 \text{ W/m}^2$$

Dato che Energia=potenza x tempo, calcoliamo l'energia per una durata di esposizione pari a 5 s : $E_p = 6 \times 10^3 \text{ J/m}^2$ in modo da avere la stessa unità di misura con cui sono espressi i VLE:

Tabella 2.4

Valori limite di esposizione della cute a radiazioni laser

	Lunghezza d'onda * [nm]	Apertura	Durata [s]					
			< 10^{-6}	$10^{-6} - 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-1}$
UV (A, B, C)	180 - 400	1,5 mm	$E = 3 \cdot 10^{10} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$					
								Come i limiti di esposizione per l'occhio
Visibile e IR-A	400 - 700	1,5 mm	$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$					
	700 - 1 400		$E = 2 \cdot 10^{11} C_A \text{ [W} \cdot \text{m}^{-2}\text{]}$		$H = 200 C_A \text{ [J m}^{-2}\text{]}$		$H = 1,1 \cdot 10^4 C_A t^{0,25} \text{ [J m}^{-2}\text{]}$	$E = 2 \cdot 10^3 C_A \text{ [W m}^{-2}\text{]}$
IR-B e IR-C	1 400 - 1 500		$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$					
	1 500 - 1 800		$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$					
	1 800 - 2 600		$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$					
	2 600 - 10 ⁴		$E = 10^{12} \text{ [W m}^{-2}\text{]}$					

$$\text{VLE}_{\text{cute}}: 1.1 \times 10^4 \times C_A \times t^{0.25} \text{ J/m}^2 = 1.1 \times 10^4 \times 10^{0,002(\lambda-700)} \times 1,5 \text{ J/m}^2 = \\ = 1.1 \times 10^4 \times 3.63 \times 1.5 \text{ J/m}^2 \approx 6 \times 10^4 \text{ J/m}^2$$

I valori di esposizione energetica alla cute stimati in caso di incidente sono inferiori ai limiti riportati nella tabella dell'all. XXXVII – parte II del D.lgs. 81/08.

CASO STUDIO

Calcolo DNRO: *(diametro fibra=600 µm - divergenza 0.76 rad)*

La DNRO è la distanza alla quale l'esposizione energetica E è uguale al VLE

Dalla relazione $E = \frac{4P}{\pi(a_r)^2} = \frac{4P}{\pi(a+r\varphi)^2}$ risolvendo rispetto a r e sostituendo l'esposizione energetica E con VLE, e r con DNRO, si ottiene: $\text{DNRO} = \sqrt{\frac{4P}{\pi VLE}} - a$

Nel nostro caso $VLE = 18 \times t^{0.75} C_A \times C_E \text{ J/m}^2$ essendo $t^{0.75} = 5^{0.75} = 3.34$,

$C_A = 10^{0.002(980-700)} = 3.63$, $C_E = 1$ (cautelativo), si ottiene: $VLE = 218 \text{ J/m}^2$

Tabella 2.5.
Fattori di correzione applicati e altri parametri di calcolo

Parametri elencati da ICNIRP	Regione spettrale valida (nm)	Valore o descrizione
C_A	$\lambda < 700$	$C_A = 1,0$
	700 - 1050	$C_A = 10^{0.002(\lambda-700)}$
	1050 - 1400	$C_A = 5,0$
C_B	400 - 450	$C_B = 1,0$
	450 - 700	$C_B = 10^{0.02(\lambda-450)}$
C_C	700 - 1150	$C_C = 1,0$
	1150 - 1200	$C_C = 10^{0.018(\lambda-1150)}$
	1200 - 1400	$C_C = 8,0$
T_1	$\lambda < 450$	$T_1 = 10 \text{ s}$
	450 - 500	$T_1 = 10 \cdot [10^{0.02(\lambda-450)}] \text{ s}$
	$\lambda > 500$	$T_1 = 100 \text{ s}$
Parametri elencati da ICNIRP	Valido per effetto biologico	Valore o descrizione
a_{min}	tutti gli effetti termici	$a_{min} = 1,5 \text{ mrad}$
Parametri elencati da ICNIRP	Intervallo angolare valido (mrad)	Valore o descrizione
C_E	$\alpha < a_{min}$	$C_E = 1$
	$a_{min} < \alpha < 100$	$C_E = \alpha/a_{min}$
	$\alpha > 100$	$C_E = a/(a_{min} \cdot a_{max}) \text{ mrad}$ con $a_{max} = 100 \text{ mrad}$
T_2	$\alpha < 1,5$	$T_2 = 10 \text{ s}$
	$1,5 < \alpha < 100$	$T_2 = 10 \cdot [10^{(a-1,5)/0,5}] \text{ s}$
	$\alpha > 100$	$T_2 = 100 \text{ s}$
Parametri elencati da ICNIRP	Intervallo temporale valido per l'esposizione (s)	Valore o descrizione
γ	$t \leq 100$	$\gamma = 11 \text{ [mrad]}$
	$100 < t < 10^4$	$\gamma = 1,1 \cdot t^{0.5} \text{ [mrad]}$
	$t > 10^4$	$\gamma = 110 \text{ [mrad]}$

Valori limite di esposizione dell'occhio a radiazioni laser — Durata di esposizione breve < 10 s

Ampiezza d'onda $\lambda [\text{nm}]$	Durata [s]					
	$10^{-11} - 10^{-10}$	$10^{-10} - 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-8}$	$10^{-8} - 1,8 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6} - 10^{-5}$
$\lambda < 180 - 280$	$H = 30 \text{ [J/m}^2]$					
280 - 302	$H = 40 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 2,6 \cdot 10^{-9} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
303	$H = 60 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
304	$H = 100 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
305	$H = 160 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
306	$H = 250 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 4,0 \cdot 10^{-10} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
307	$H = 400 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 2,6 \cdot 10^{-10} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
308	$H = 630 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
309	$H = 10^4 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
310	$H = 1,6 \cdot 10^4 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
311	$H = 2,5 \cdot 10^4 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 4,0 \cdot 10^{-11} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
312	$H = 4,0 \cdot 10^4 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 2,6 \cdot 10^{-11} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
313	$H = 6,3 \cdot 10^4 \text{ [J/m}^2]$	$\text{se } t < 1,6 \cdot 10^{-11} \text{ allora } H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$	cfr. nota^a			
314				$H = 5,6 \cdot 10^{1,625} \text{ [J/m}^2]$		
$\lambda > 315 - 400$						
$\lambda < 400 - 700$	$H = 1,5 \cdot 10^{-6} C_f \text{ [J/m}^2]$	$H = 2,7 \cdot 10^{-6} C_f \text{ [J/m}^2]$		$H = 5 \cdot 10^{-6} C_f \text{ [J/m}^2]$	$H = 18 \cdot 10^{-6} C_f \text{ [J/m}^2]$	
700 - 1 050	$H = 1,5 \cdot 10^{-6} C_f C_g \text{ [J/m}^2]$	$H = 2,7 \cdot 10^{-6} C_f C_g \text{ [J/m}^2]$		$H = 5 \cdot 10^{-6} C_f C_g \text{ [J/m}^2]$	$H = 18 \cdot 10^{-6} C_f C_g \text{ [J/m}^2]$	
1 050 - 1 400	$H = 1,5 \cdot 10^{-6} C_f C_g \text{ [J/m}^2]$	$H = 2,7 \cdot 10^{-6} C_f C_g \text{ [J/m}^2]$		$H = 5 \cdot 10^{-6} C_f C_g \text{ [J/m}^2]$	$H = 10^4 \text{ [J/m}^2]$	$H = 5,6 \cdot 10^{-6} \cdot t^{0,55} \text{ [J/m}^2]$
1 400 - 1 500	$E = 10^4 \text{ [W/m}^2]$	Cfr. nota^a				
1 500 - 1 800	$E = 10^4 \text{ [W/m}^2]$	Cfr. nota^a				
1 800 - 2 600	$E = 10^5 \text{ [W/m}^2]$	Cfr. nota^a		$H = 10^4 \text{ [J/m}^2]$	$H = 10^4 \text{ [J/m}^2]$	$H = 5,6 \cdot 10^{-6} \cdot t^{0,55} \text{ [J/m}^2]$
2 600 - 10 ⁴	$E = 10^4 \text{ [W/m}^2]$	Cfr. nota^a		$H = 100 \text{ [J/m}^2]$		$H = 5,6 \cdot 10^{-1} \cdot t^{0,25} \text{ [J/m}^2]$

Se la lunghezza d'onda del laser è coperta da due limiti, si applica il più restrittivo.

Se $1 \cdot 10^{11} \text{ s} \leq t \leq 10^4 \text{ s}$ per $t < 0,3 \times t^{1,5^{0,5}}$ mm per $0,3 < t < 10 \text{ s}$; se $10^5 \text{ s} \leq t \leq 10^4 \text{ s}$ apertura diametro = 11 mm.

Per mancanza di dati a queste lunghezze d'impulso, l'ICNIRP raccomanda di usare i limiti di irradiazione per 1 ns.

La tabella riporta i valori di singoli impulsi laser. In caso di impulsi multipli, le durate degli impulsi che rientrano in un intervallo T_{cal} (elencato nella tabella 2.6) devono essere sommate e il valore di tempo risultante deve essere usato per t nella formula:

CASO STUDIO

Calcolo DNRO: *(diametro fibra=600 µm - divergenza 0.76 rad)*

Per avere unità di misura congrue, dividiamo il VLE per la durata dell'impulso:

$$VLE = 218/5 \approx 43.6 \text{ W/m}^2 \text{ Si ottiene quindi: } DNRO = \frac{\frac{4x5.5}{3.14x43.6} - 6x10^{-8}}{0.76} \approx \frac{\sqrt{\frac{22}{137}} - 6x10^{-8}}{0.76} \approx \frac{0.4 - 0.00000006}{0.76} \approx \frac{0.4}{0.76} \approx 0.53 \text{ m}$$

Calcolo DO: *(diametro fibra=600 µm - divergenza 0.76 rad)*

$$\text{E' possibile anche calcolare la OD: } \log_{10} \frac{Dp}{VLE} = \log_{10} \frac{1,2x10^3}{43.6} \approx 1,5$$

Diametro fascio	Durata impulso	Divergenza	Po	C_E	C_A	VLE	DNRO	OD
200 µm	5 s	760 mrad	4.0W	1	3.63	218 J/m ²	0,45	1,4
300 µm	5 s	760 mrad	4.5W	1	3.63	218 J/m ²	0,48	1,4
320 µm	5 s	760 mrad	5.0W	1	3.63	218 J/m ²	0,50	1,4
400 µm	5 s	760 mrad	5.5W	1	3.63	218 J/m ²	0,53	1,5
600 µm	5 s	760 mrad	5.5W	1	3.63	218 J/m ²	0,53	1,5
6 mm	5 s	76 mrad	5.5W	1	3.63	218 J/m ²	5,19	3,0

OSSERVAZIONI

Il calcolo dell'esposizione accidentale è stato fatto nell'ipotesi di visione diretta del fascio, che nel caso del dentista è sicuramente un rischio reale.

In ambito chirurgico, anche il chirurgo è spesso esposto al rischio di visione diretta del fascio e deve pertanto essere protetto dagli occhiali; per gli altri operatori presenti in sala (es anestesista) l'obbligo di indossare gli occhiali va valutato caso per caso.

In certe situazioni è possibile circoscrivere il campo operatorio in cui il laser viene utilizzato usando per esempio teli in cotone o paraventi, in modo che gli operatori posti al di là delle protezioni siano protetti dal rischio di esposizione alla radiazione laser.



OSSERVAZIONI

In alcune situazioni nemmeno i chirurghi che utilizzano il laser sono esposti al rischio di esposizione diretta del fascio: ad esempio in caso di utilizzo di laser a fibra per via endoscopica (es urologia), e se l'osservazione del campo operatorio avviene mediante videoendoscopio, il chirurgo è esente da rischi e può pertanto essere esentato dall'obbligo di indossare gli occhiali.



Rivista OdV - Gli ospedali della vita

OSSERVAZIONI

Negli interventi oftalmici l'oculista non necessita di occhiali perché la protezione è garantita dai filtri dinamici associati all'ingranditore ottico.

Nell'uso di laser oculistici esiste la possibilità di riflessione involontaria del fascio all'indietro, entro una zona delimitata da un angolo di approssimativamente $\pm 20^\circ$ rispetto alla direzione medico-paziente e con vertice coincidente con l'occhio del paziente, causata della lente di accoppiamento che il medico applica sull'occhio del paziente per focalizzare il fascio.

La zona di rischio va delimitata in modo più accurato caso per caso, facendo misure e/o calcoli.

Una volta definita tale zona di pericolo, gli operatori che assistono il medico durante l'intervento oculistico potranno essere esonerati dall'uso degli occhiali purché non stazionino all'interno di essa.



Dott. R Brancato – Ospedale San Raffaele

CASO STUDIO

PROTEZIONE CONTRO LA RADIAZIONE LASER: **RELAZIONE TECNICA**

1) Obiettivi:

Scopo del documento è valutare il rischio di esposizione alla radiazione laser derivante dall'utilizzo di un laser a diodi usato negli ambulatori 1 e 2 del reparto di odontoiatria.

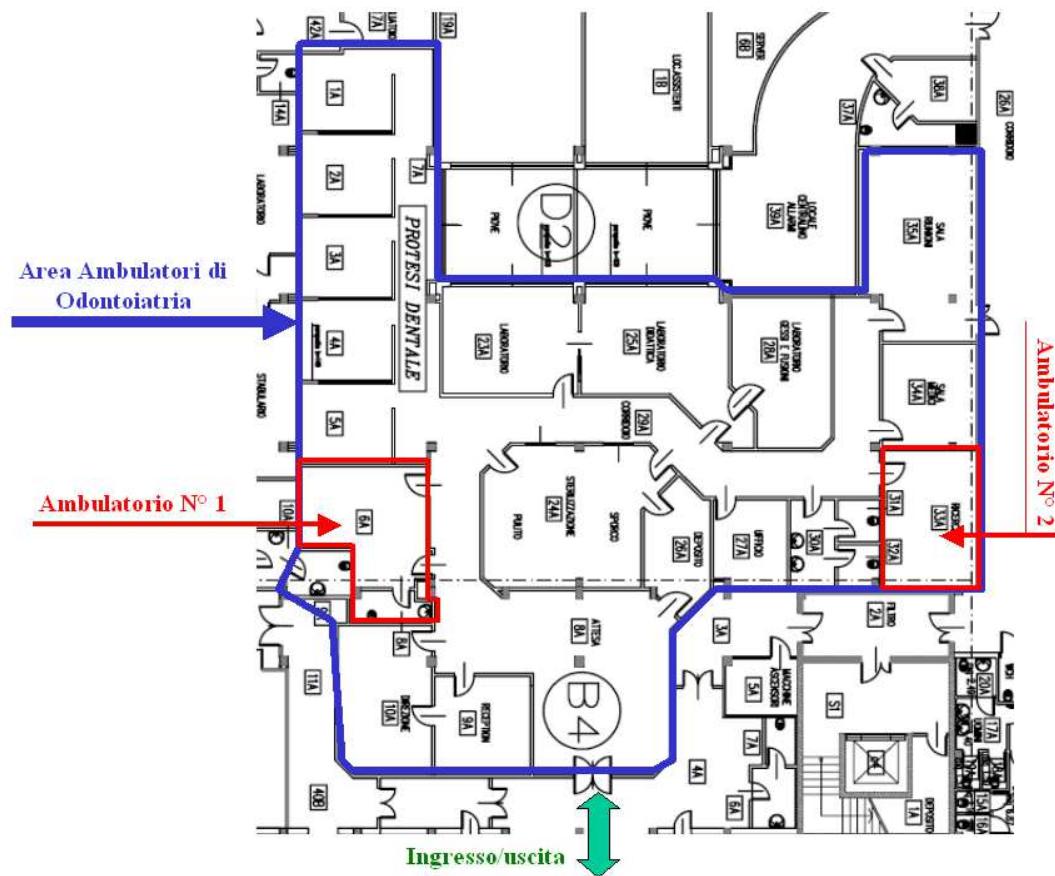
2) Luogo e data della valutazione:

La valutazione è stata effettuata in seguito al sopralluogo effettuati in data

CASO STUDIO

3) Caratterizzazione del sito:

L' apparecchiatura laser viene utilizzata negli ambulatori 1 e 2 del reparto



CASO STUDIO

4) Caratteristiche del laser presente:

Marca: DMT (Dental Medical Technologies)

Modello: Giotto

Tipo di sorgente: diodi

Classe di rischio: 4

Lunghezza d'onda: 980 nm

Potenza max: 7 W

DNRO: 0.6 m

Lunghezza d'onda fascio di puntamento: 635 nm

Potenza max fascio di puntamento: 1 mW

Ubicazione: ambulatori 1 e 2

CASO STUDIO

5) Risultati delle valutazioni mediante calcoli:

-Valutazione dell'esposizione all'occhio in caso di incidente:

Seguendo le indicazioni delle norme CEI EN 60825 Parte 1: "Classificazione delle apparecchiature, prescrizioni e guida per l'utilizzatore" (2003) e UNI EN 207, e facendo riferimento ai valori limite di esposizione riportati nell'allegato XXXVII parte II del D.Lgs. 81/08, si sono stimati i valori di una possibile esposizione diretta (operatore e/o paziente), ottenendo il superamento dei Valori Limite di Esposizione.

-Valutazione dell'esposizione alla pelle in caso di incidente:

Il valore di esposizione energetica alla pelle (operatore e/o paziente) stimata in caso di incidente è inferiore ai limiti riportati nella tabella dell'all. XXXVII – parte II del D.lgs. 81/08.

CASO STUDIO

6) Conclusioni con indicazione delle misure di prevenzione e protezione proposte:

Nei casi stimati di esposizione diretta al fascio di radiazione si sono verificati superamenti dei valori limite di esposizione per gli occhi.

Vengono pertanto prescritti gli occhiali di protezione a tutti gli operatori presenti in zona laser controllata e ai pazienti.

Le caratteristiche tecniche degli occhiali di protezione sono le seguenti: D980 LB4

CASO STUDIO

7) Interventi strutturali da mettere in atto:

Tutti gli accessi agli ambulatori in cui è stato autorizzato l'utilizzo di apparecchiature laser devono essere dotati di indicatori di avvertimento luminoso (luci gialle), da accendersi solo durante l'utilizzo dei laser.

8) Seignaletica:

Su tutti gli accessi agli ambulatori in cui è stato autorizzato l'utilizzo di apparecchiature laser devono essere applicati i cartelli forniti, indicanti la delimitazione della zona laser controllata e la classe di rischio del laser che viene utilizzato al suo interno.



CASO STUDIO

9) Norme comportamentali:

Sono state fornite norme comportamentali che devono essere seguite da tutti gli operatori esposti al rischio di esposizione alla radiazione laser:

LASER : NORME DI SICUREZZA E DI COMPORTAMENTO

Ambulatorio odontoiatria

Prima dell'utilizzo del laser:

- effettuare i controlli giornalieri (prima dell'utilizzo del laser) prescritti, compilando gli appositi registri
- chiudere tutte le porte di accesso alla sala in cui viene utilizzato il laser
- attivare l'indicatore luminoso all'esterno della ZLC

Durante l'utilizzo del laser:

- non dirigere il fascio al di fuori del punto di applicazione chirurgica
- non dirigere il fascio laser verso superfici riflettenti o su strumentazione metallica che potrebbero causare riflessione accidentale del fascio
- se necessaria, utilizzare strumentazione chirurgica satinata o ruvida
- gli operatori presenti in sala e il paziente devono **indossare dispositivi di protezione oculare idonei** al tipo di laser e recanti la marcatura CE
- è pericoloso usare anestetici o solventi infiammabili
- è pericoloso usare disinfettati contenenti prodotti infiammabili sulle superfici da trattare

Dopo l'utilizzo del laser:

- rimuovere le chiavi dal comando, in modo da prevenire un uso non autorizzato dell'apparecchio.

Non si possono utilizzare contemporaneamente più laser nella stessa sala operatoria e/o ambulatorio.

In caso di sospetto guasto o malfunzionamento sospendere l'utilizzo dell'apparecchiatura e avvisare l'addetto sicurezza laser o il Servizio di Ingegneria Clinica.

Sostituire tempestivamente (se usurati) o ordinare (se mancanti) i dispositivi di protezione individuale e lo strumentario anti-riflesso.

In caso di infortunio e/o incidente, rivolgersi al PRONTO SOCCORSO per una visita oculistica e/o dermatologica, e avvisare l'addetto sicurezza laser. 228



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Barbara Longobardi - IRCCS San Raffaele - Milano

METODI DI MISURA

Siti web utili

- ✓ Siti di alcune delle ditte che producono occhiali di protezione per laser:
<http://www.laservision.com.au/page.asp>
<http://www.noirlaser.com/>
<http://www.univet.it/azienda.html>
<http://www.uvex.us/>

- ✓ Siti di alcune delle ditte che producono strumentazione per controlli sui laser (power- meter, ecc):
<http://www.bfioptilas.com/>
<http://www.coherent.com/>
<http://www.ophiropt.com/laser/index.htm>
<http://optoprime.it/>
<http://www.thorlabs.com/>
<http://www.lumenis.com>

BIBLIOGRAFIA (1)

- CEI EN 60601-2-22 Ed. 2 “Apparecchi elettromedicali Parte 2: Prescrizioni particolari relative alla sicurezza fondamentale e alle prestazioni essenziali degli apparecchi laser chirurgici, cosmetici, terapeutici e diagnostici” (01/06/1997). Attualmente in revisione a livello IEC
- 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 “Sicurezza degli apparecchi laser - Parte 8: guida all’uso degli apparecchi laser in medicina” (01/09/2012)
- CEI EN 60825-1 Ed. 4 “Sicurezza degli apparecchi laser - Parte 1: classificazione delle apparecchiature, prescrizioni e guida per l’utilizzatore” (05/2014).
CEI EN 60825-1 (classificazione CEI: 76-2): “Sicurezza degli apparecchi laser - Parte 1: classificazione delle apparecchiature e requisiti” (06/2017)
- UNI EN 207: “Filtri e protettori dell’occhio contro radiazioni laser (protettori dell’occhio per laser)” (04/2017)

BIBLIOGRAFIA (2)

Le fotografie inserite nel testo sono tratte dalle seguenti fonti:

- siti internet liberamente consultabili
- foto con fonti citate con didascalia
- foto eseguite personalmente