

Data: 18 maggio 2017

Ora: 9.00

CNR
Area della Ricerca di
Potenza

LA SICUREZZA NEI LABORATORI — SICUREZZA LASER

Servizio di Prevenzione e Protezione
Consiglio Nazionale delle Ricerche



Consiglio Nazionale delle Ricerche



Programma

9:00 La normativa specifica in materia di sicurezza e salute
E. Ragno - SPP CNR

10:00 I rischi per salute connessi all'utilizzo dei laser
R. Moccaldi - SPP CNR

11:00 Analisi eventi incidentali e misure di prevenzione e
protezione
E. Ragno - SPP CNR

12:00 Esempi operativi: i laboratori laser IMAA
A. Amodeo - G. D'Amico - IMAA

13:00 Discussione e test finale

I rischi per la salute connessi all'utilizzo del laser

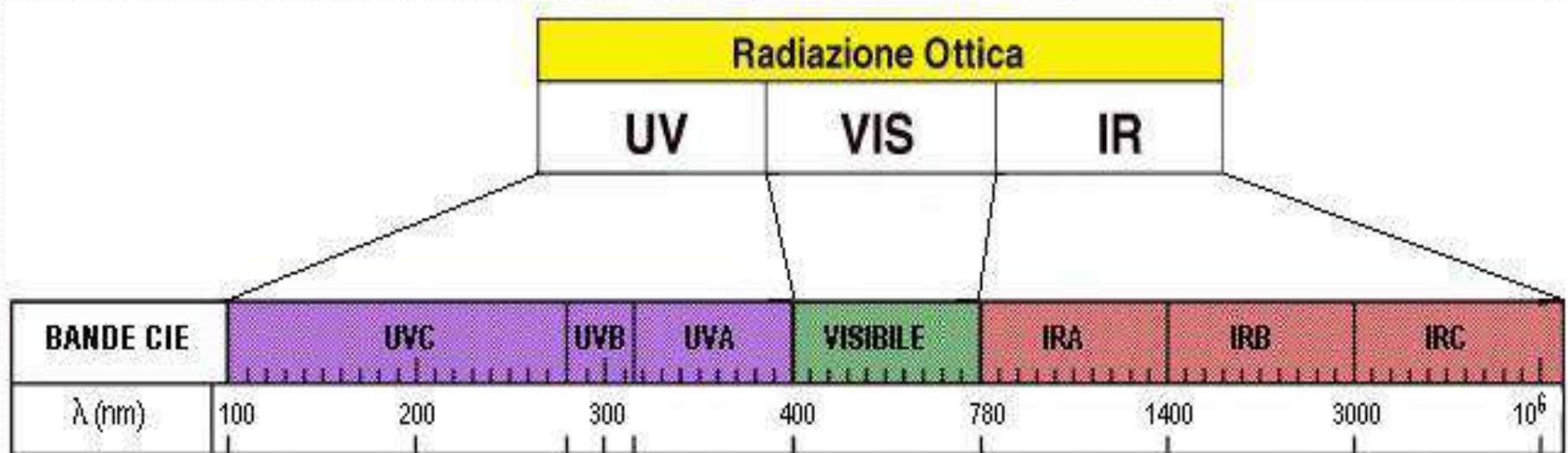
Roberto Moccaldi

*Responsabile Medicina del Lavoro e Radioprotezione Medica
Consiglio Nazionale delle Ricerche*

Presidente AIRM



RADIAZIONI OTTICHE (ARTIFICIALI)



Effetti biologici del LASER

La luce laser, pur presentando delle caratteristiche di interazione con la materia simili a quelle di tutte le radiazioni ottiche, assume alcuni particolari comportamenti in funzione delle sue specifiche caratteristiche:

- **monocromaticità**;
- **coerenza** spaziale e temporale;
- **elevata collimazione**;
- **capacità** di trasporto di **energie elevate** (“valanga di fotoni”);
- **brillanza** elevata;
- **emissione** da **continua** fino a singoli **impulsi** di brevissima durata (1 ps);
- **elevato “guadagno ottico”** per sorgenti puntiformi nei processi di **focalizzazione** a carico della **retina**.

Effetti biologici del LASER

Vengono distinti tre principali meccanismi lesivi derivanti dalla interazione tra la radiazione laser ed i tessuti biologici

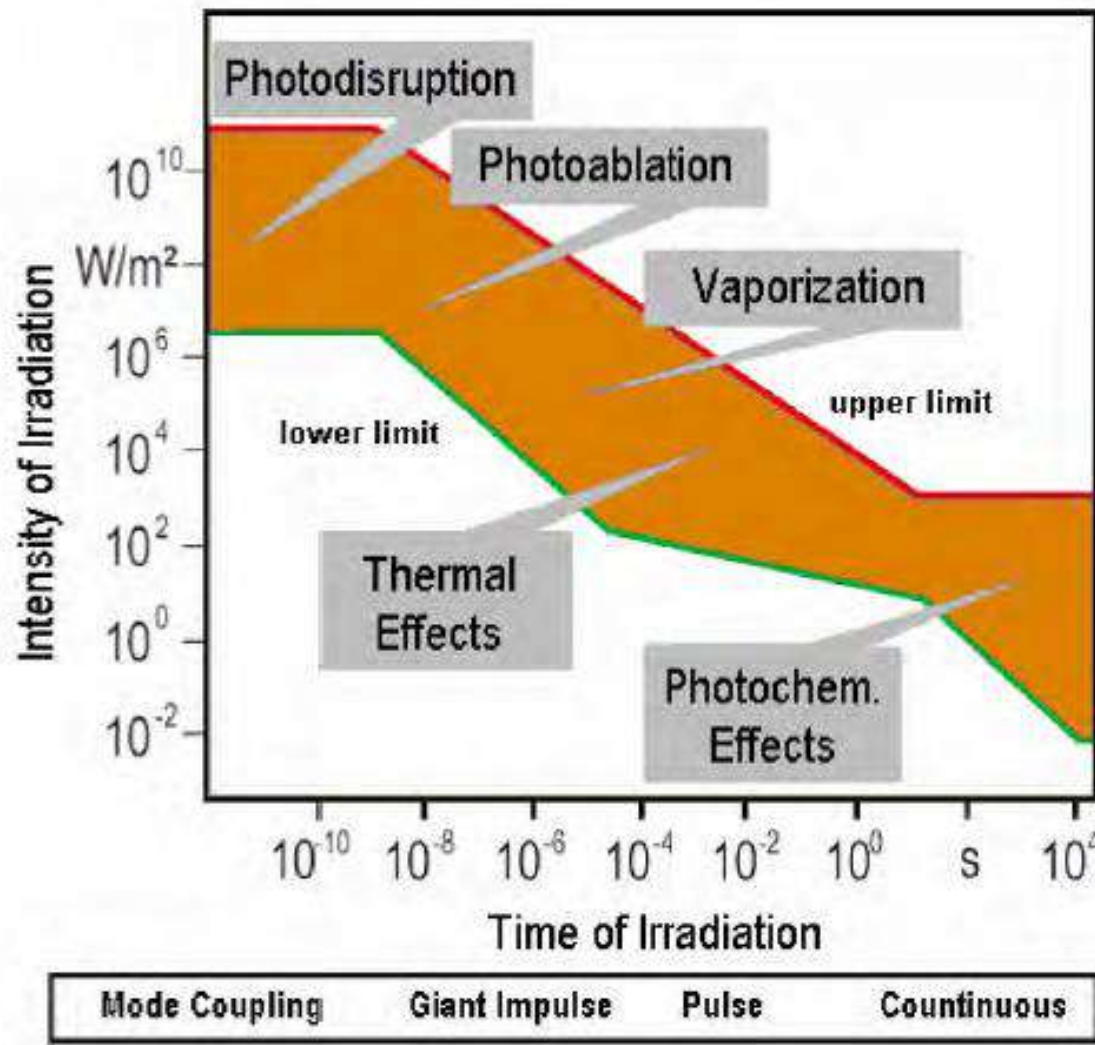
Questi sono dipendenti dalle **caratteristiche** del **materiale biologico**, dal tipo di **lunghezza d'onda** e dalla modalità con cui questa è rilasciata (**potenza**, **durata** dell'esposizione, **dimensioni** della zona d'impatto)

a) EFFETTO TERMICO o effetto **fotocoagulativo** (l'assorbimento della radiazione incidente, da parte del tessuto, è seguito da una forte **conversione** dell'energia elettromagnetica **in calore**) si verifica con radiazioni di **lunghezza d'onda nel visibile**, da **450 nm** fino al vicino infrarosso **1.064 nm**, e con **tempi d'esposizione** che vanno da **0,1 sec** a **1 - 5 sec**. Questo processo è dipendente dalla presenza di sostanze **fotoassorbenti** (prima fra tutte la melanina) che devono essere presenti nel tessuto colpito

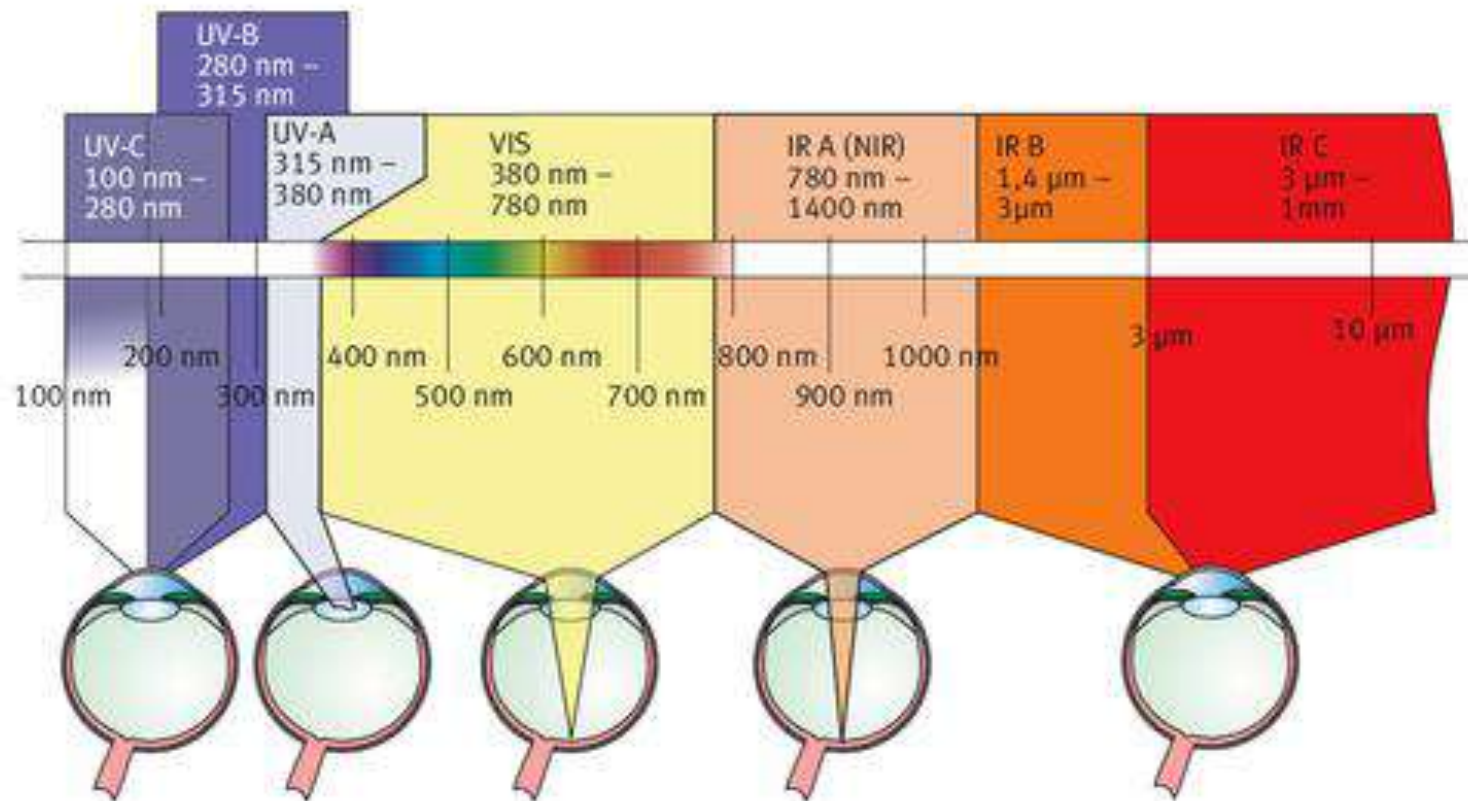
Effetti biologici del LASER

- b) EFFETTO FOTOCHIMICO** (assorbimento selettivo di una più lunghezze d'onda **da parte** di particolari **molecole "fotoassorbenti"** con conseguente **formazione** di sostanze **tossiche** per la **vita cellulare**) che avviene con **esposizioni molto lunghe 10 sec. - 1 - 2 ore** e **densità di potenza** (energia per unità di superficie) **basse**. Sempre un effetto fotochimico (**fotoablazione**) avviene con esposizioni **molto brevi e densità di potenza elevate** quando i singoli fotoni incidenti hanno **sufficiente energia da rompere i legami molecolari** ed espellere dal tessuto colpito frammenti di molecole a velocità elevata. Tale effetto è prevalente **solo** per lunghezze d'onda **inferiori ai 400 nm** (ultravioletto) o **nell'infrarosso**
- c) EFFETTO FOTOMECCANICO** (secondario alla forza del campo elettrico dell'onda incidente, **non dipendente** da alcuna sostanza **fotoassorbente**) che **si osserva con esposizioni ultrarapide** (nell'ordine dei **pico** o **nano secondi**)

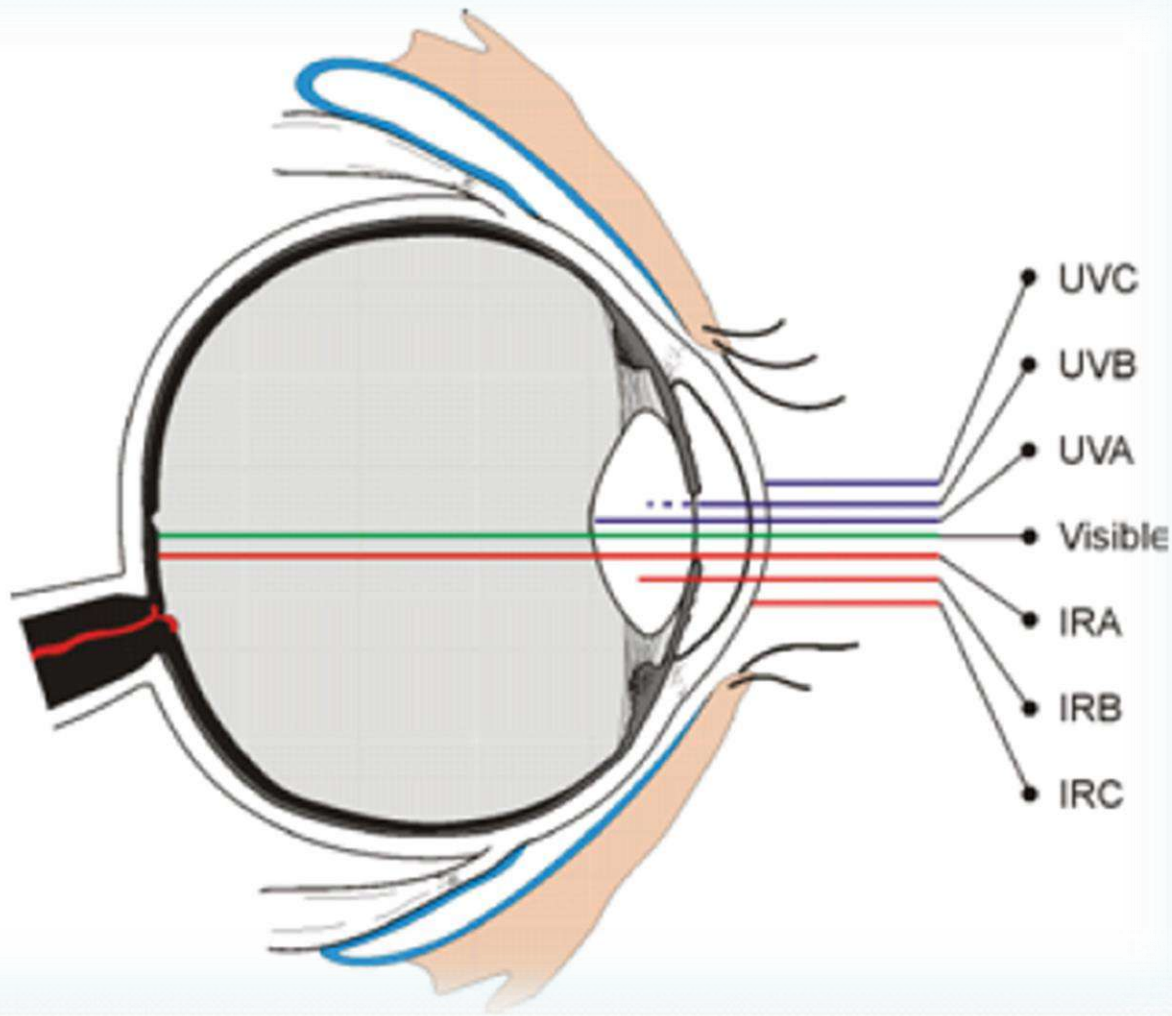
Effetti biologici del LASER



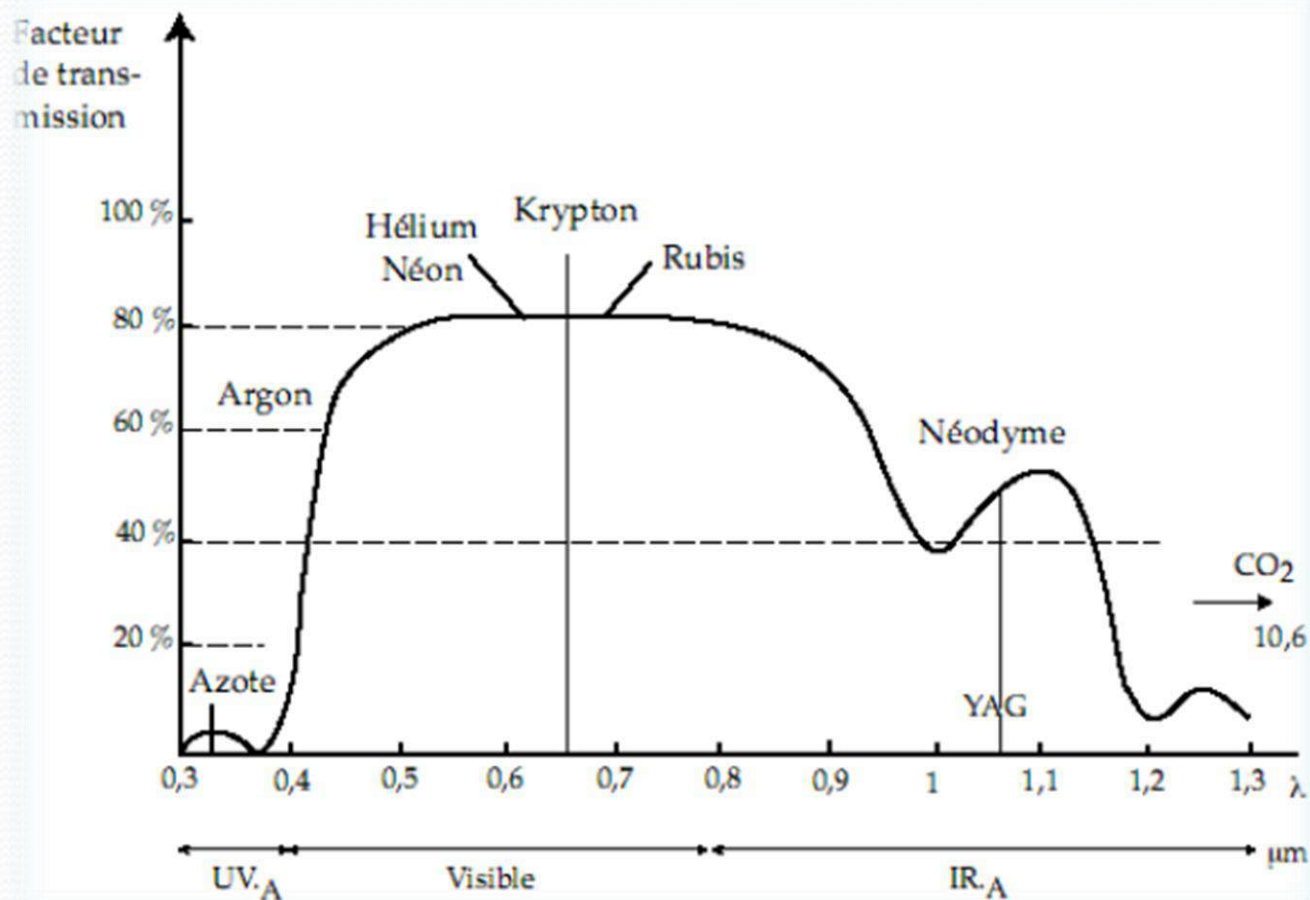
Assorbimento radiazione ottica: occhio



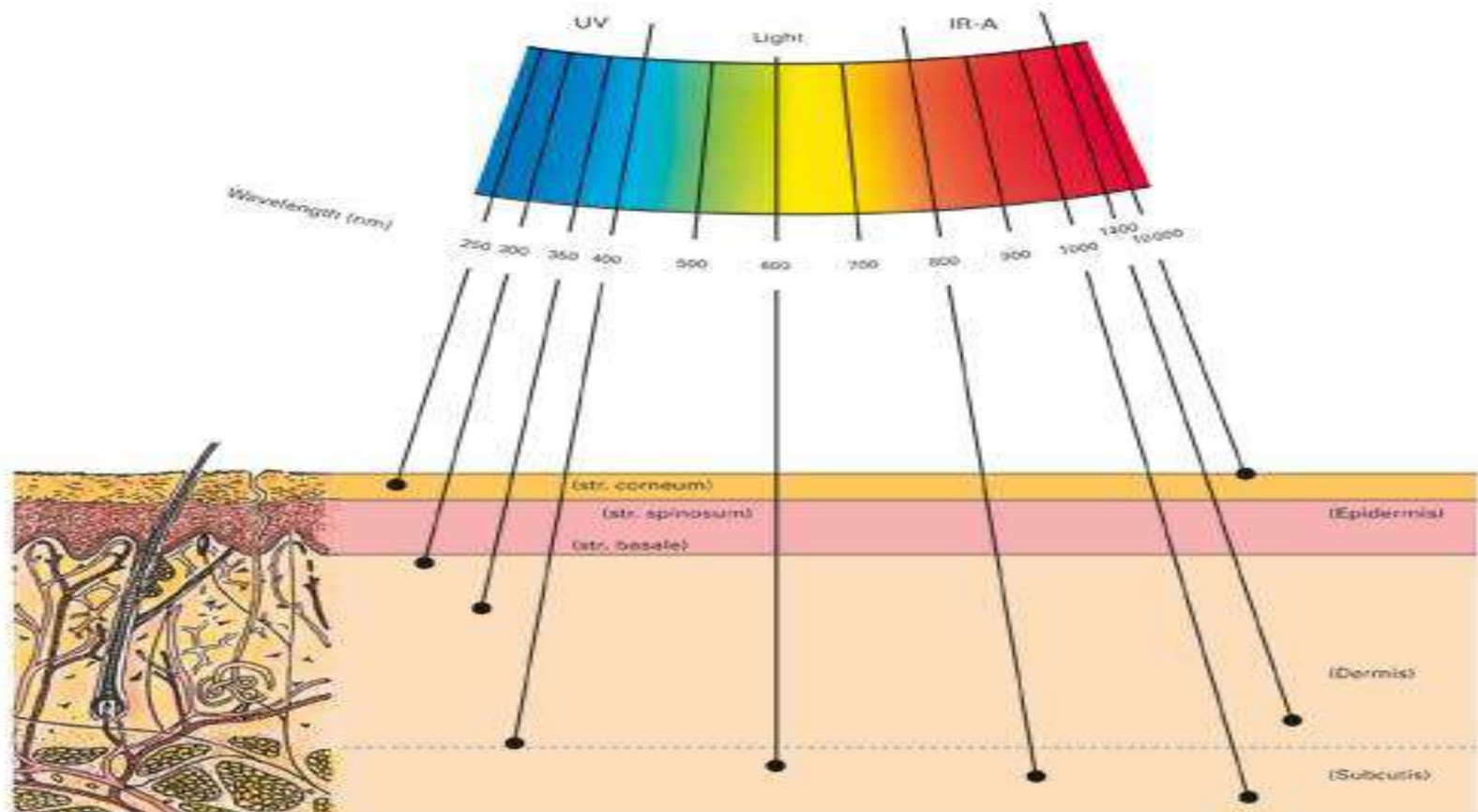
Assorbimento della RO nelle strutture oculari



Assorbimento dei laser nelle strutture oculari



Assorbimento radiazione ottica: cute



Sintesi effetti RO

REGIONE SPETTRALE	EFFETTI SULL'OCCHIO	EFFETTI SULLA PELLE
Ultravioletto C (200 -280 nm)	Fotocheratite	Tumori, Invecchiamento precoce dalla pelle
Ultravioletto B (280 - 315 nm)	Fotocheratite	Invecchiamento precoce dalla pelle, Tumori Eritema, Iperpigmentazione
Ultravioletto A (315 - 400 nm)	Cataratta	Eritema, Iperpigmentazione (Tumori)
Visibile (400 - 780 nm)	Danni retinici fotochimico e termici	Reazioni di fotosensibilizzazione Eritema, Ustioni cutanee
Infrarosso A (780 - 1.400 nm)	Cataratta, Ustioni retiniche	Eritema, Ustioni cutanee
Infrarosso B (1.400-3.000 nm)	Ustioni corneali Cataratta	Eritema, Ustioni cutanee
Infrarosso C (3.000 nm -1 mm)	Ustioni corneali	Eritema, Ustioni cutanee



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

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

Quindi la potenza raccolta dall'occhio è = 3 mW

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

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



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

Potenza = 1 mW , raggio del fascio = 1 mm

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

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

31 volte l'intensità del Sole!!

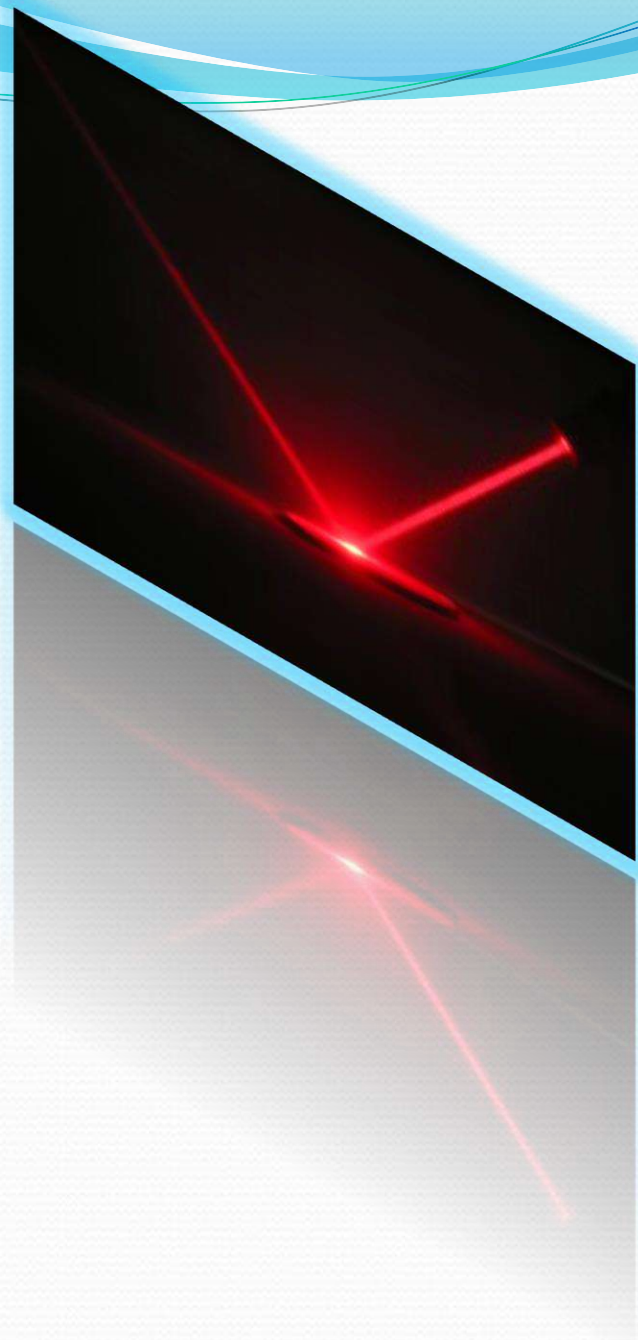
Rischi accessori da LASER

Oltre rischi specifici dovuti alla radiazione laser non bisogna sottovalutare la possibile concomitante presenza di rischi accessori di natura diversa:

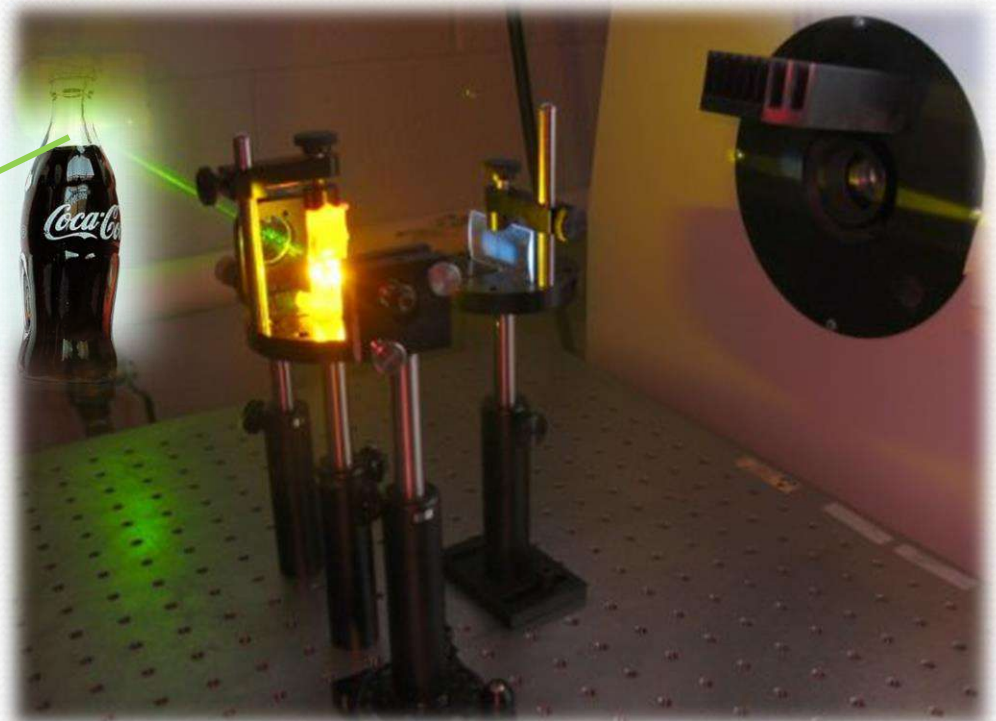
- ✓ **radiazioni ottiche incoerenti** UV, visibili o IR: possono essere emesse con livelli potenzialmente pericolosi da lampade di pompaggio, tubi di scarica, bersagli;
- ✓ **raggi X**: sono presenti attorno a tubi elettronici a vuoto operanti ad alta tensione o, con flussi più rilevanti, nelle vicinanze di sistemi laser pompati con elettroni o raggi X;
- ✓ **rischi di natura elettrica**, soprattutto connessi ad apparati ad alta tensione ed in particolare a banchi di condensatori;
- ✓ **esposizione ad agenti nocivi** quali:
 - **gas impiegati** per il funzionamento del laser o prodotti durante il suo funzionamento;
 - **aeriformi prodotti nell'interazione fascio-bersaglio**, fortemente dipendenti dal tipo di applicazione (asbesto, ossido e biossido di carbonio, ozono, piombo, mercurio, altri metalli e materiali biologici);
 - **gas o vapori** provenienti dal sistema di **raffreddamento**;
- ✓ **rischi da liquidi criogenici**;
- ✓ **rischi di esplosioni** (banchi di condensatori, sistemi di pompaggio ottico, reazioni esplosive ecc.).

**Il principale
rischio di
incidente
laser:**

**Fenomeni di
riflessione**



Ricostruzione di uno dei primi incidenti laser



Modalità di accadimento di un recente incidente

In data 29/10/2008, il Dr. L.D. lavorava con un **laser Ne-Yag** di **Classe 4ª**, della potenza di **50 mJ**, **impulsato** (durata impulso 10 ns), con lunghezza d'onda di **1.064 nm**.

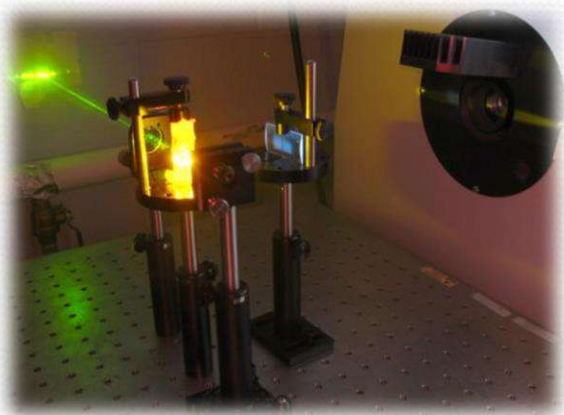
Per la dinamica dell'esperimento il raggio, con una percorso in campo libero, doveva entrare in una **cuvetta** di **quarzo** contenente un liquido con nanoparticelle, **collegata** con un **oscilloscopio** che leggeva il segnale.

Il lavoratore utilizzava dei **DPI** (occhiali) **adeguati** alla lunghezza d'onda del laser.

Poiché non riusciva a leggere il segnale dell'oscilloscopio, **istintivamente** ha **abbassato** gli **occhiali** e ha rivolto lo **sguardo verso** la **cuvetta**.

A causa di un fenomeno di **riflessione speculare**, il raggio laser penetrava **nell'occhio destro** del lavoratore producendo i danni sotto descritti.

È importante segnalare che la **riflessione**, per le caratteristiche della cuvetta, 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 λ (**1.064 nm**) viene **assorbita dall'acqua** e quindi **dall'umor vitreo**, ben diverso sarebbe stato se si fosse trattato di un laser nel visibile particolarmente nel blu che avrebbe attraversato completamente le strutture oculari.

Power may also be used to describe a pulse of optical radiation. For example, if a laser emits a discrete pulse containing 1 mJ of energy in 1 ms, the pulse power was 1 W. If the pulse had been emitted in a shorter time, say 1 μ s, the power would have been 1000 W.

The European Commission non-binding guide to good practice for implementing Directive 2006/25/EC



Pertanto 1 mJ in 1 ns = 1.000.000 W, quindi, nel caso in esame, 3,8 mJ in 10 ns = $3,8 \cdot 100.000 \text{ W} = \mathbf{0,38 \text{ MW}}$

Trasmissione del corpo vitreo a 1064 nm **95%**

Energia luminosa sulla retina: **3,8mJ**

Potenza: $(3,8\text{mJ}/10\text{ns}) = \mathbf{0,38 \text{ MW}}$

Densità di potenza = **7,7MW/cm²**

Calcolo basato sulla dimensione della cicatrice sulla retina:
2,5mm (diametro)

MINISTERO DEL LAVORO E DELLE POLITICHE SOCIALI

Aggiornamento dell'elenco delle malattie per le quali è obbligatoria la denuncia ai sensi e per gli effetti dell'articolo 139 del testo unico approvato con decreto del Presidente della Repubblica 30 giugno 1965, n. 1124, e successive modifiche e integrazioni

LISTA I

GRUPPO 2 - MALATTIE DA AGENTI FISICI ESCLUSI I TUMORI IN QUANTO RIPORTATI NEL GRUPPO 6

08	RADIAZIONI UV	CHERATOSI ATTINICHE
09	LASER	LESIONI RETINICHE LESIONI DELLA CORNEA OPACITÀ DEL CRISTALLINO OPACITÀ DEL CORPO VITREO
10	RADIAZIONI INFRAROSSE	OPACITÀ DEL CRISTALLINO ERITEMA PERMANENTE
11	RADIOFREQUENZE, MICROONDE	OPACITÀ DEL CRISTALLINO INFERTILITÀ MASCHILE TEMPORANEA

07	RADIAZIONI SOLARI	CHERATOSI ATTINICHE	1.5.07.	L57.0
08	RADIAZIONI UV	CHERATOSI ATTINICHE	1.5.08.	L57.0
09	RADIAZIONI INFRAROSSE	ERITEMA PERMANENTE	1.5.09.	L59.0

LISTA I

GRUPPO 6 - TUMORI PROFESSIONALI

AGENTI		MALATTIE	CODICE(%) IDENTIFICATIVO	
16	RADIAZIONI SOLARI	EPITELIOMA CUTANEO DELLE SEDI FOTIESPOSTE	1.5.07.	C44

**NUOVA TABELLA DELLE MALATTIE PROFESSIONALI NELL'INDUSTRIA DI CUI ALL'ART. 3
DEL D.P.R. 1124/1965 E SUCCESSIVE MODIFICAZIONI ED INTEGRAZIONI
(ALL. N. 4 al D.P.R. 1124/1965)**

MALATTIE (ICD-10)	LAVORAZIONI	Periodo massimo di indennizzabilità dalla cessazione della lavorazione
82) MALATTIE CAUSATE DA RADIAZIONE LASER:		
a) LESIONI RETNICHE (H35.9)	Lavorazioni che comportano l'esposizione a radiazione laser.	2 anni
b) LESIONI DELLA CORNEA (H18.9)		2 anni
c) OPACITA' DEL CRISTALLINO (H26.9)		2 anni
d) OPACITA' DEL CORPO VITREO (H43.3)		2 anni
e) ALTRE MALATTIE CAUSATE DALLA ESPOSIZIONE PROFESSIONALE A RADIAZIONI LASER (ICD-10 DA SPECIFICARE)		2 anni
83) MALATTIE CAUSATE DALLE RADIAZIONI INFRAROSSE:		
a) OPACITA' DEL CRISTALLINO (H26.9)	Lavorazioni di fusione del vetro e dei metalli. Lavorazioni su masse incandescenti.	2 anni
b) ERITEMA PERMANENTE (L59.0)		2 anni
84) MALATTIE CAUSATE DALLE RADIAZIONI U.V. COMPRESSE LE RADIAZIONI SOLARI:		
a) CHERATOSI ATTINICHE (L57.0)	Lavorazioni che espongono alle radiazioni UV. Lavorazioni che espongono alle radiazioni solari presso stabilimenti balneari, a bordo di navi, in cantieri di edilizia stradale, in cave e miniere a cielo aperto.	2 anni
b) EPITELIOMI CUTANEI DELLE SEDI FOTOESPOSTE (C44)		Illimitato
c) ALTRE MALATTIE CAUSATE DALLA ESPOSIZIONE PROFESSIONALE ALLE RADIAZIONI U.V. COMPRESSE LE RADIAZIONI SOLARI (ICD-10 DA SPECIFICARE)		2 anni Illimitato in caso di malattie neoplastiche

Quanti incidenti da LASER?

Laser Type	%	victim	%
Nd:YAG	29,7	technicians	21,3
Argon	20,5	scientists	17,6
CO ₂	12,8	patients	12,9
dye	9,9	plant workers	10,7
HeNe	7,0	medical personnel	9,2
others	20,1	students	8,4
		spectators	4,8
		others	15,1

source: Rockwell Laser Incident Database, www.rli.com

7974 registered accidents between 1964 and 2010,
(395 accidents until 1999)

- 73% of all reported injuries are eye injuries, 35% of them associated with laser alignment; more than 68% of eye-related injuries result in permanent injury!

Visione telecamera

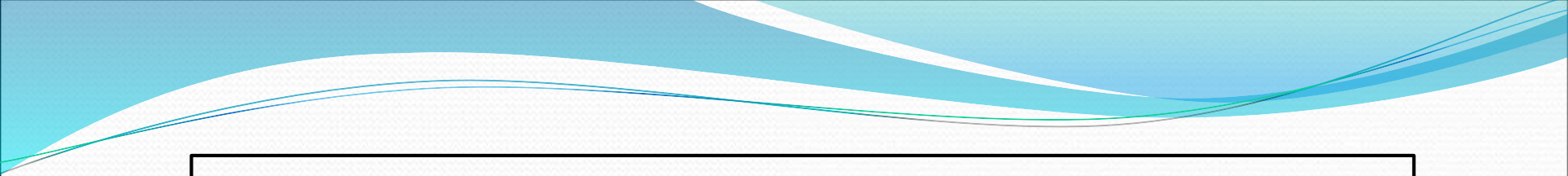
CONSIGNES D'UTILISATION DES LUNETTES

- Utiliser exclusivement des lunettes :
 - conformes aux exigences des normes EN 207 (utilisation) ou EN 208 (maintenance),
 - adaptées au laser mis en œuvre,
 - en bon état.
- Lire la notice d'utilisation fournie par le fabricant.
- Ne jamais regarder directement le faisceau laser direct ou une de ses réflexions, même à l'aide d'un protecteur oculaire.
- Nettoyer régulièrement les lunettes.
- Remettre, après utilisation, les lunettes de protection dans leurs étuis.
- Ranger les étuis hors de la zone laser.
- Éliminer toute paire de lunettes défectueuse (filtres rayés ou endommagés).
- Prévoir des lunettes supplémentaires pour les visiteurs.

Visione dell'occhio

CONSIGNES D'UTILISATION DES LUNETTES

- Utiliser exclusivement des lunettes :
 - conformes aux exigences des normes EN 207 (utilisation) ou EN 208 (maintenance),
 - adaptées au laser mis en œuvre,
 - en bon état.
- Lire la notice d'utilisation fournie par le fabricant.
- Ne jamais regarder directement le faisceau laser direct ou une de ses réflexions, même à l'aide d'un protecteur oculaire.
- Nettoyer régulièrement les lunettes.
- Remettre, après utilisation, les lunettes de protection dans leurs étuis.
- Ranger les étuis hors de la zone laser.
- Éliminer toute paire de lunettes défectueuse (filtres rayés ou endommagés).
- Prévoir des lunettes supplémentaires pour les visiteurs.



RICORDA:

**HAI SOLO
DUE OCCHI!**

Il Medico Competente e la Sorveglianza sanitaria

Obblighi del medico competente (di radioprotezione):

- collaborazione alla valutazione del rischio
- collaborazione alla messa in atto delle misure di prevenzione e protezione
- effettuazione della sorveglianza sanitaria

Motivazioni giuridico – normative della sorveglianza sanitaria

- **Art. 185, comma 1, D.Lgs. 81/2008.** “La sorveglianza è effettuata dal Medico Competente **nelle modalità e nei casi previsti** ai rispettivi capi ... sulla base dei risultati della valutazione del rischio”
- **Art. 185, comma 2, D.Lgs. 81/2008.** Definisce l’obbligo di **revisione della valutazione del rischio** qualora la sorveglianza sanitaria riveli **alterazioni apprezzabili**, correlata ai rischi lavorativi , dello stato di salute del lavoratore.

Art. 183 (Lavoratori particolarmente sensibili): *“Il datore di lavoro adatta le misure di cui all'articolo 182 alle esigenze dei **lavoratori appartenenti a gruppi particolarmente sensibili al rischio**, incluse le donne in stato di gravidanza ed i minori”.*

Motivazioni giuridico – normative della sorveglianza sanitaria

- **Art. 218, comma 1, D.Lgs. 81/2008.** La sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti a **radiazioni ottiche artificiali** va effettuata periodicamente, **di norma una volta l'anno** o con periodicità decisa dal medico, **con riguardo ai lavoratori particolarmente sensibili** al rischio, per prevenire tempestivamente gli *effetti acuti* dei quali si conoscono i relativi valori di soglia, nonché gli *effetti a lungo termine*, quali ad esempio la cancerogenesi della cute per esposizione prolungata a radiazione UV.
- **Art. 218, comma 2, D.Lgs. 81/2008.** Debbono essere sottoposti a controllo medico i lavoratori esposti a **radiazioni ottiche** per i quali sia stata rilevata una **esposizione superiore ai valori limite** di cui all'art. 215.