



Istituti  
Clinici  
Scientifici  
Maugeri



## DAI PUNTATORI AI LASER SHOW: RISCHIO LASER SOLO NEL LUOGO DI LAVORO?

*Francesco Frigerio*

*Centro Ricerche Ambientali*

*ICS Maugeri Pavia*

[francesco.frigerio@icsmaugeri.it](mailto:francesco.frigerio@icsmaugeri.it)

*Luisa Biazzì*

*Università degli Studi di Pavia*

*Filippo Scortichini*

*Super FX Travagliato BS*

*Chiara Mariotti*

*Università degli Studi di Pavia*

*Corso di Laurea in Tecniche della Prevenzione nell'Ambiente e nei Luoghi di Lavoro*



## Ricerca su «laser pointer» (Pub Med)

1: Mehta N, Tsui E, Ranka M, Dedania V, Lee GD, Modi Y. Inadvertent self-induced macular laser injury in an 8-year-old girl. *J AAPOS*. 2018 Jun 19. pii: S1091-8531(18)30114-9. doi: 10.1016/j.jaapos.2018.03.005. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 29929003.

2: Androudi S, Papageorgiou E. Macular Hole from a Laser Pointer. *N Engl J Med*. 2018 Jun 21;378(25):2420. doi: 10.1056/NEJMicm1714488. PubMed PMID: 29924946.

3: Mtanes K, Mimouni M, Zayit-Soudry S. Laser Pointer-Induced Maculopathy: More Than Meets the Eye. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*. 2018 Sep 20;55(5):312-318. doi: 10.3928/01913913-20180405-01. Epub 2018 Jun 19. PubMed PMID: 29910004.

4: Clemente-Tomás R, Bayo-Calduch P, Neira-Ibáñez P, García-Duch-Samper AM. Bilateral maculopathy after exposure to coherence tomography angiography findings. *Arch Soc Esp Oftalmol*. 2017 Dec 1;38(12):1144-1147. pii: S0365-6691(18)30032-7. doi: 10.1016/j.oftal.2017.12.001. [Epub ahead of print] English, Spanish. PubMed PMID: 29456174.

5: Birtel J, Harmening WM, Krohne TU, Holz FG, Charbel Issa P. Retinal Injury Following Laser Pointer Exposure. *Dtsch Arztebl Int*. 2017 Oct 18;114(49):831-837. doi: 10.3238/arztebl.2017.0831. PubMed PMID: 29010004. Central PMCID: PMC5754573.

5 descrizioni di lesione pubblicate tra 2017 e 2018

Ricerca su «laser» in <https://www.osha.gov/pls/imis/AccidentSearch>

#	Summary Nr	Event Date	Report ID	Fat	SIC	Event Description
1	82264015	12/18/2015	0552652	X		Employee Is Overcome And Killed By Carbon Monoxide
2	200375947	03/12/2012	0454510		5039	Employee Finger Is Amputated In Notcher Machine
3	202648242	09/24/2011	0950633		3441	Worker Sustains Laceration When Caught By Machine
4	202469169	08/20/2010	0950643		7538	Employee Is Burned By Hot Water
5	200841880	06/07/2010	0524530	X	3490	Employee Dies In Laser Cutter Accident
6	201636008	06/01/2006	1054111		5051	Employee'S Arm Is Amputated In Laser Cutter
7	201058419	02/26/2004	0950642		1542	Employee Fell From The 3rd Floor
8	201503661	03/14/2003	0950614		6221	Employee'S Eye Injured By Exposure To Laser Radiation
9	125986612	01/07/2003	0950644		3556	Employee'S Legs Crushed While In Laser Cutting Pit
10	201112380	08/26/1999	0950643		3444	Electric Shock - Direct Contact With Energized Parts
11	201060068	03/18/1996	0950632		8221	Two Employees Suffer Eye Injuries From Nondirect Laser Light
12	000789701	10/25/1993	1054118		2421	Employee Struck By Hold-Down Roll While Freeing Jam
13	170168710	07/15/1991	0950623		8062	Employee'S Vision Marred By Dark Spot
14	000741579	09/14/1989	0352420		2311	Electric Shock - Direct Contact With Energized Parts
15	000887869	03/15/1989	0352420		2311	Employee'S Arm Burned By Carbon Dioxide Laser Beam
16	000823294	02/25/1988	0352420	X	3398	Electric Shock - Direct Contact With Energized Parts

Ultima lesione causata dal fascio anno 2003

---

Da molti anni, per minimizzare i rischi, le sorgenti laser devono essere classificate dal produttore in funzione del livello di rischio



**Classe 1** - Laser che sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, incluso l'uso di strumenti ottici per la visione del fascio;

**Classe 1M** - Laser che emettono nell'intervallo di lunghezza d'onda tra 302,5 nm e 4000 nm che sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, ma possono essere pericolosi se l'operatore impiega ottiche di osservazione all'interno del fascio (lenti d'ingrandimento, binoculari,...);

**Classe 1C**-Laser, progettati per essere applicati a contatto del tessuto da trattare (escluso l'occhio) e dotati di accorgimenti che impediscano la fuga di radiazione al di sopra del LEA della classe 1; questi sistemi laser interrompono l'emissione della radiazione laser quando si allontana la punta del laser dalla superficie.

**Classe 2** - Laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm; la protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa compreso il riflesso palpebrale. Questa reazione fornisce un'adeguata protezione nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, incluso l'uso di strumenti ottici per la visione del fascio;

**Classe 2M** - Laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm; la protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa compreso il riflesso palpebrale; comunque, la visione del fascio può essere pericolosa se l'operatore impiega ottiche di osservazione all'interno del fascio (lenti d'ingrandimento, binoculari,...);

**Classe 3R** -Laser che emettono nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 302,5 e  $10^6$  nm, dove la visione diretta del fascio è potenzialmente pericolosa ma il rischio è più basso dei laser di Classe 3B; i requisiti del costruttore e le misure di controllo per il Responsabile delle attività sono meno restrittive che per i laser di Classe 3B;

**Classe 3B** - Laser che sono normalmente pericolosi nel caso di esposizione diretta del fascio; la visione della radiazione diffusa è normalmente non pericolosa;

**Classe 4** - Laser che sono anche in grado di produrre riflessioni diffuse pericolose; possono causare lesioni alla pelle e potrebbero anche costituire un pericolo d'incendio. Il loro uso richiede un'estrema cautela.

Molti dispositivi economici di importazione riportano, quando va bene, la classificazione derivata dalla normativa americana

**Class I** laser product means any laser product that does not permit access during the operation to levels of laser radiation in excess of the accessible emission limits contained in table I of paragraph (d) of this section. 1

**Class IIa** laser product means any laser product that permits human access during operation to levels of visible laser radiation in excess of the accessible emission limits contained in table I, but does not permit human access during operation to levels of laser radiation in excess of the accessible emission limits contained in table II-A of paragraph (d) of this section. 2

**Class II** laser product means any laser product that permits human access during operation to levels of visible laser radiation in excess of the accessible emission limits contained in table II-A, but does not permit human access during operation to levels of laser radiation in excess of the accessible emission limits contained in table II of paragraph (d) of this section. 3

**Class IIIa** laser product means any laser product that permits human access during operation to levels of visible laser radiation in excess of the accessible emission limits contained in table II, but does not permit human access during operation to levels of laser radiation in excess of the accessible emission limits contained in table III-A of paragraph (d) of this section. 4

**Class IIIb** laser product means any laser product that permits human access during operation to levels of laser radiation in excess of the accessible emission limits of table III-A, but does not permit human access during operation to levels of laser radiation in excess of the accessible emission limits contained in table III-B of paragraph (d) of this section. 5

**Class III** laser product means any Class IIIa or Class IIIb laser product.

**Class IV** laser product means any laser that permits human access during operation to levels of laser radiation in excess of the accessible emission limits contained in table III-B of paragraph (d) of this section. 6



...spesso nemmeno correttamente

Sono ormai entrati nell'uso quotidiano diversi dispositivi laser i cui Livelli di Emissione Accessibile (LEA) possono essere maggiori di quelli dichiarati: risultati di un'indagine sul campo



Sorgente	LEA da classificazione	Potenza massima misurata con apertura di 7 mm
Puntatore in termometro	< 1 mW	5 mW
Telemetro	< 1 mW	0,9 mW
Puntatore verde	< 500 mW	83 mW
Puntatore in penna gadget	< 1 mW	0,8 mW
Giocattolo per gatti	< 0,039 mW	0,1 mW
Proiettore decorazioni da esterno	< 1 mW	Rosso + verde: 0,030 mW Rosso: 0,150 mW Verde: 0,066 mW



Classe III può essere

IIIA (< 5mW) o IIIB (< 500 mW),

Classe IIIB richiede segnale acustico



In molti spettacoli sono diffusi gli effetti speciali basati su laser, anche di classe 4



Un proiettore professionale utilizza tre laser continui nei colori fondamentali

I tre laser sono quindi combinati in un unico fascio collimato mantenuto in continuo movimento da un sistema di specchi

La persistenza sulla retina crea l'impressione di una linea stazionaria o in movimento, con la possibilità di cambiare continuamente il colore



# Verifica delle prestazioni di un proiettore professionale Kvant 30

## Parametri dichiarati dal costruttore

a = apertura laser 6 X 5,5 mm

$\varphi = 1$  mrad

SR = Scan Rate 30 kpps

P = 30 W potenza massima - classe 4

DNRO = Distanza Nominale di Rischio Oculare  
1200 m

Rosso (637 nm),	8000 mW
Verde (520 nm),	10000 mW
Blu (460 + 445 nm),	11000 mW



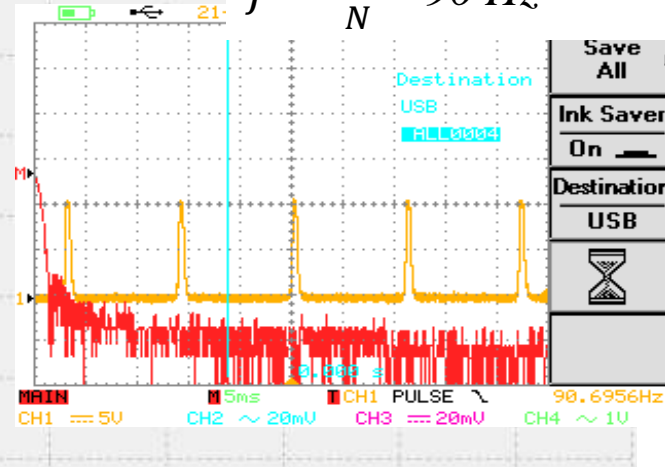
La velocità angolare del fascio è  $\omega = \varphi * SR = 30$  rad/s

Il sw di gestione consente di fissare punto per punto la potenza di ciascun laser (colore) e interrompe automaticamente il fascio in caso di blocco del sistema di movimento

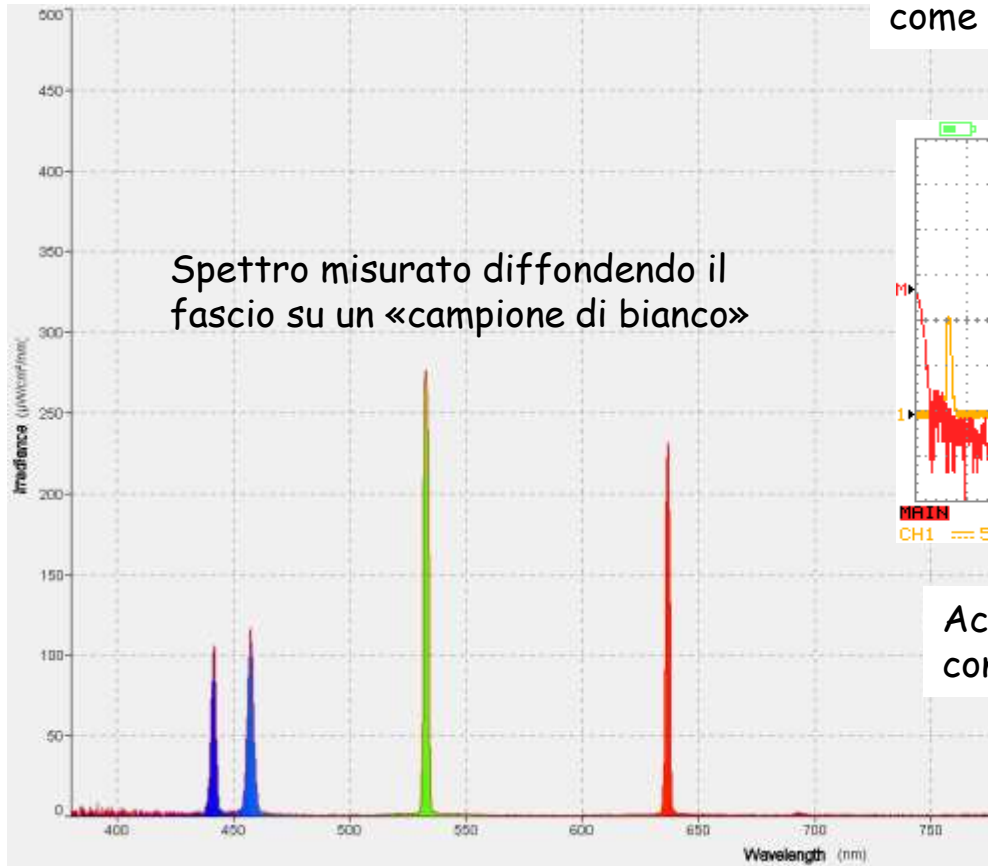
## Verifica sperimentale dei parametri

Una linea continua di  $N= 316$  punti è vista come un fascio impulsato alla frequenza

$$f = \frac{SR}{N} = 90 \text{ Hz}$$



Spettro misurato diffondendo il fascio su un «campione di bianco»



Rosso (637 nm), 8000 mW  
 Verde (520 nm), 10000 mW  
 Blu (460 + 445 nm), 11000 mW

Accuratezza della potenza misurata concentrando il fascio bianco in un unico punto

Livello impostato	Potenza misurata W	differenza %
10%	2,83	-6
20%	5,6	-7
30%	8,36	-7
50%	13,7	-9
75%	20,32	-10
100%	26,57	-11
50%	13,79	-8



## Esposizione Massima Permissa (EMP) definita da IEC 60825-1

Table A.2 – Maximum permissible exposure (MPE) at the cornea for extended sources in the wavelength range from 400 nm to 1 400 nm (retinal hazard region) expressed as irradiance or rad

Wavelength nm	Exposure time t s					
	10 <sup>-13</sup> to 10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-11</sup> to 5,0 × 10 <sup>-6</sup>	5,0 × 10 <sup>-6</sup> to 1,3 × 10 <sup>-5</sup>	1,3 × 10 <sup>-5</sup> to 12	12 to 10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> to 10 <sup>4</sup>
400 to 700	1 × 10 <sup>-3</sup> C <sub>6</sub> J m <sup>-2</sup>	2 × 10 <sup>-3</sup> C <sub>6</sub> J m <sup>-2</sup>	18 t <sup>0,75</sup> C <sub>6</sub> J m <sup>-2</sup>	400 nm to 600 nm – Retinal photo		
				100 C <sub>6</sub> J m <sup>-2</sup> using φ <sub>ph</sub> = 11 mrad	1 C <sub>6</sub> W m <sup>-2</sup> using T <sub>ph</sub> = 1,1 (0,5 s)	
				AND b		
				400 nm to 700 nm – Retinal photo		
				(φ = T <sub>2</sub> )	(φ = T <sub>2</sub> )	
				18 t <sup>0,75</sup> C <sub>6</sub> J m <sup>-2</sup>		

EMP per esposizioni di durata 5 us < t < 10 s

$$18 t^{0,75} C_6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$$

- Se la brillantezza nel visibile è abbastanza alta, il tempo è limitato a 0,25 s dal riflesso naturale
- Per questo valore di t, si considerano solo gli effetti termici, l'EMP non dipende dal colore
- La valutazione richiede il confronto tra impulso singolo, impulso medio nel tempo t, e effetto cumulativo degli impulsi assorbiti in t
- Il parametro c<sub>6</sub> dipende dall'angolo di vista α, minimo α = 1 per sorgenti puntiformi
- La DNRO è la distanza alla quale l'irradianza, per effetto dell'allargamento del fascio, risulta < EMP

Trascurando il diametro iniziale, con t=0,25 s per sorgente puntiforme, EMP = 25 W/m<sup>2</sup>

$$DNRO = \frac{1}{\varphi} \sqrt{\frac{4P}{\pi EMP}}$$

Se P = 30 W e φ = 1 mrad, risulta DNRO = 1200 m

---

Come garantire in pratica il rispetto dei valori di EMP per un fascio in movimento con possibile esposizione del pubblico ?

ILDA (2014):

Livello 1: spettacoli in cui il pubblico è esposto al di sotto dell'EMP  
L'irradianza deve essere limitata a  $100 \text{ W/m}^2$  in ogni posizione raggiungibile dalle persone

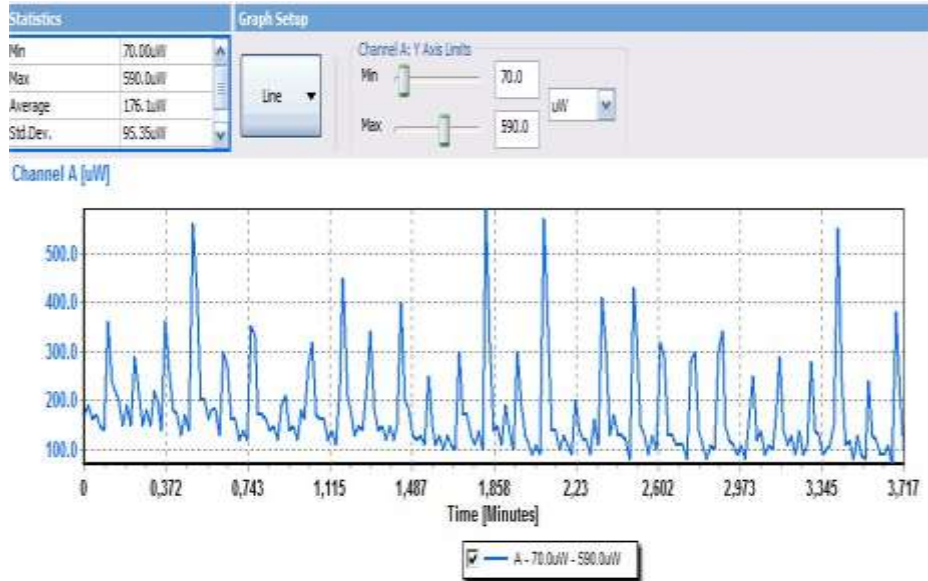
Livello 2: spettacoli in cui il pubblico viene avvisato a non guardare direttamente il fascio in determinati momenti  
L'irradianza può essere portata a  $1000 \text{ W/m}^2$



## Scanning Audiences at Laser Shows: Theory, Practice and a Proposal

Patrick Murphy and Greg Makhov

Anche disponendo di un power meter, la misura della potenza è complicata dal movimento del fascio



Assumendo cautelativamente che l'osservatore osservi direttamente la sorgente mentre proietta una linea fissa, il tempo di esposizione dipende dalla distanza e dalla velocità angolare del fascio

$$T_{on} = \frac{L}{v} = d_{p1} \frac{a + r\varphi}{d_{p0}} \frac{1}{\omega r}$$

La potenza misurata dipende dal tempo di «accensione» del fascio

$$P_m = P_p \frac{T_{on}}{T_{off}}$$

Se il fascio è osservato attraverso binocoli o macchine fotografiche con mirino ottico,  $d_{p1} > d_{p0}$  la potenza incidente sulla pupilla è aumentata !!

Allontanandosi dalla sorgente il fascio si allarga per effetto della divergenza aumentando così il tempo di esposizione, effetto compensato dalla velocità angolare

$$P_m = \frac{P_p}{N} \left( \frac{a}{r\varphi} + 1 \right) \quad \text{Formula valida solo a occhio nudo!}$$

Per risolvere il problema è possibile costruire un foglio elettronico che in funzione della distanza, dei parametri del laser e del numero di punti fornisce:

- EMP applicabile
- Irradianza attesa
- Valore atteso della misura con power meter

Si dimostra che per una linea composta da 316 punti a 30 W la DNRO è intorno a 400 m contro i 1200 valutati assumendo il fascio continuo

A 6,4 m:  $t_{exp} = 76 \mu s$  EMP = 193 W/m<sup>2</sup>



IEEE 18th International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2nd  
Industrial and Commercial Power Systems Europe  
Palermo, Italy 12-15<sup>th</sup> June 2018

Maximum permissible exposure in the laser display shows

Francesco Frigerio  
Environmental Research Centre  
ICS Maugeri Spa  
Pavia, Italy  
francesco.frigerio@icomaugeri.it

Luisa Biazzi  
University of Pavia  
Italy

---

## Disposizioni applicabili ai puntatori:

Ministero della Salute, Dipartimento della Prevenzione, ORDINANZA 16 luglio 1998

### Art. 1

E' vietata, su tutto il territorio nazionale, la commercializzazione di puntatori laser o di oggetti con funzione di puntatori laser di classe pari o superiore a 3, secondo la norma CEI EN 60825;

### Art. 2.

Gli oggetti di cui all'art. 1 dovranno essere immediatamente ritirati a cura del responsabile della loro immissione sul mercato;

### Art. 3.

Le disposizioni della presente ordinanza non si applicano agli oggetti di cui all'art. 1 commercializzati per usi professionali specifici e le cui modalità di corretto impiego risultano chiaramente indicate dal responsabile della loro immissione sul mercato.

---

## Disposizioni specifiche per i laser show :

### Rapporto Tecnico CEI 3849 del CT 76, "Sicurezza dei dispositivi da spettacolo di luce con laser", 1998

Per installazioni dove sono messi in opera laser di classe superiore alla 3A l'utilizzatore deve servirsi della consulenza specialistica di un tecnico laser con competenze specifiche relative ai problemi di sicurezza ("Tecnico Sicurezza Laser"-TSL) per la verifica del rispetto della normativa vigente e per l'adozione delle necessarie misure di prevenzione.

Tutti i sistemi dimostrativi laser saranno provvisti di un sistema, facilmente accessibile, che provochi l'immediata cessazione dell'emissione laser.

I fasci laser devono essere diretti in volumi non occupati da persone.

### IEC 60825-3 Sicurezza dei prodotti laser - parte 3 Guida per gli spettacoli con laser", 2008

Rispetto dell'EMP in un'area fino a 3 metri sopra il pubblico e limita l'irradianza a 5\*EMP nello spazio compreso tra 3 e 5 m sopra il pubblico

Relazione tecnica in cui viene fatta una valutazione del rischio anche per il pubblico corredata dalle misure di prevenzione e protezione predisposte, con riferimento a:

- condizioni di guasto del sistema laser ragionevolmente prevedibili
- formazione e l'addestramento degli operatori i quali durante utilizzo dovranno stare in posizione tale da controllare continuamente la traiettoria dei fasci e la loro terminazione.

### Il "Tecnico Sicurezza Laser" deve essere qualificato ai sensi dell'art.181 comma 2 del D.lgs. 81/2008

## Confronto fra puntatore da 500 mW e laser show a 30 W (sorgente puntiforme)

	Irradianza E $\text{W/m}^2$	EMP $\text{W/m}^2$	$\text{Log}(E/E_{\text{EMP}})$
Puntatore da 0,5 W esposizione di 0,25 s a fascio continuo	4899	25	2,3
Laser show 30 W, 30 kpps Impulso singolo da 76 $\mu\text{s}$	180692	193	3,0
Laser show 3 W, 30 kpps Impulso singolo da 76 $\mu\text{s}$	18069	193	2,0

Il valore dell'EMP è superato in tutti e tre i casi ma, a causa del movimento del fascio, l'esposizione dovuta a un laser show non è poi tanto maggiore di quella causata da un puntatore

---

# Il passaggio da valutazioni preventive su base cautelativa alla valutazione degli effetti a posteriori nasconde sempre delle insidie

## Laser-induced retinal injury following a recreational laser show: two case reports and a clinicopathological study.

Boosten K<sup>1</sup>, Van Ginderdeuren R, Spileers W, Stalmans I, Wirix M, Van Calster J, Stalmans P.

### + Author information

#### Erratum in

Bull Soc Belge Ophthalmol. 2011;(318): 5. Stalmans, R [corrected to Stalmans, P].

#### Abstract

**BACKGROUND:** Two patients who attended a dance festival with an audience-scanning laser show presented in our department with a decrease in visual acuity from a direct laser hit in one eye. Ophthalmoscopy showed a similarly sized retinochoroidal coagulation spot, which had led to a retinal hemorrhage in both patients. Because the organizers of the show concluded that the retinal injury was caused by powerful, handheld laser pointers in the crowd, we were interested in determining if these laser pointers could cause this kind of acute retinopathy.

**METHODS:** A 44-year-old man with an extrafoveal, temporal choroidal melanoma was scheduled for enucleation. The eye (visual acuity 20/20) had a healthy-appearing macula. Prior to enucleation, the retina was exposed to eight different durations (0.5-64 seconds) of laser beam from a commercially available, handheld, class 3B green laser pointer (500 mW).

**RESULTS:** Histologic analysis was unable to identify any abnormalities in the choriocapillaris, the photoreceptors or the retinal pigment epithelium (RPE).

**CONCLUSION:** The use of powerful laser appliances (class 4 lasers) directed into the audience (audience-scanning laser show) can cause significant retinal injuries with lifelong visual consequences. It is unlikely that laser pointers, even those of class 3B, can cause these ocular injuries.



## Quantomeno, le sorgenti devono essere caratterizzate completamente

Laser-induced retinal injury following a recreational laser show: two case reports and a clinicopathological study

Article in Bulletin de la Société belge d'ophtalmologie - January 2011  
Source: PubMed

For this experiment, the most powerful hand-held laser pointer, a class 3B 500-mW green 532-nm model, was obtained from the Chinese internet site *www.yotang.com* (item code YT28152). Under general anesthesia, the eye that contained the melanoma was subjected to eight different durations of exposure from the laser pointer (0.5-64 seconds, doubling the exposure duration in each shot) from 1 m away. The site of each exposure spot was drawn on a retinal map, permitting exact localization by the pathologist. It should be noted that even at the longest exposure duration (64 seconds), no retinal coagulation could be seen with ophthalmoscopy at the end of the experiment.

Alcune cose che non tornano:

Assumendo che l'energia sia effettivamente di 500 mW e che sia stata tutta concentrata sulla retina:

- il bersaglio avrebbe ricevuto 63,75 J
- con 7 mm di apertura, l'esposizione radiante sarebbe stata  $1,7 \times 10^6 \text{ J/m}^2$

Per somministrare la stessa energia con il «nostro» proiettore da 30 W avremmo dovuto:

Erogare 121000 impulsi, ovvero > 1280 s di esposizione oculare !!!

...oppure fissare un fascio continuo da 30 W per più di 2 s

---

## Conclusioni:

Anche il pubblico può essere esposto a radiazione laser al di sopra dei livelli di Esposizione Massima Permissa dalla IEC-60825-1.

L'impiego di sorgenti pericolose è spesso inconsapevole a causa della non sempre corretta informazione disponibile

La caratterizzazione delle sorgenti laser in termini di potenza, modulazione temporale e lunghezze d'onda emesse, è in ogni caso indispensabile nella discussione dei casi di incidente.

Gli incidenti possono essere prevenuti con una maggiore consapevolezza degli utilizzatori.

Spettacoli ed effetti speciali con laser di classe superiore alla 2 devono essere affidati a professionisti con specifica esperienza e formazione sulla sicurezza

Per laser di classe 3B e 4 è indispensabile il supporto del Tecnico Sicurezza Laser