

# **La fisica per la tutela dell'ambiente**

(non di sola radioprotezione vive il fisico...)

Dott. Francesco Frigerio

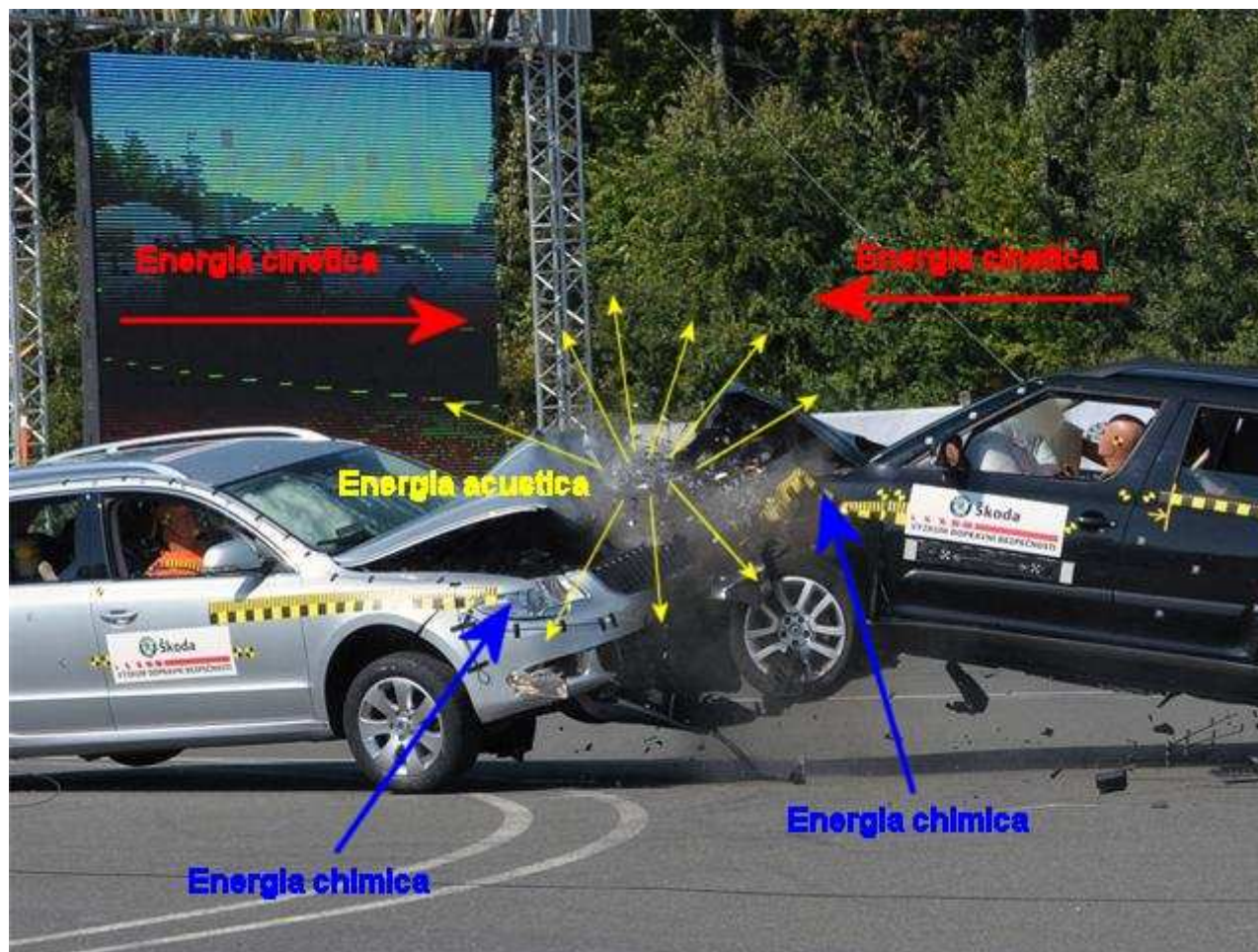
Fondazione Salvatore Maugeri IRCCS-Centro di Ricerche Ambientali, Pavia

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

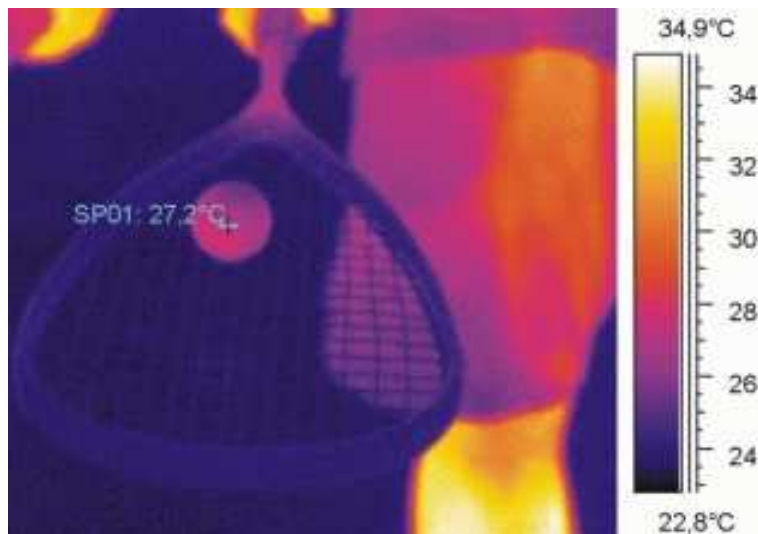
0382 592318

0382 592300

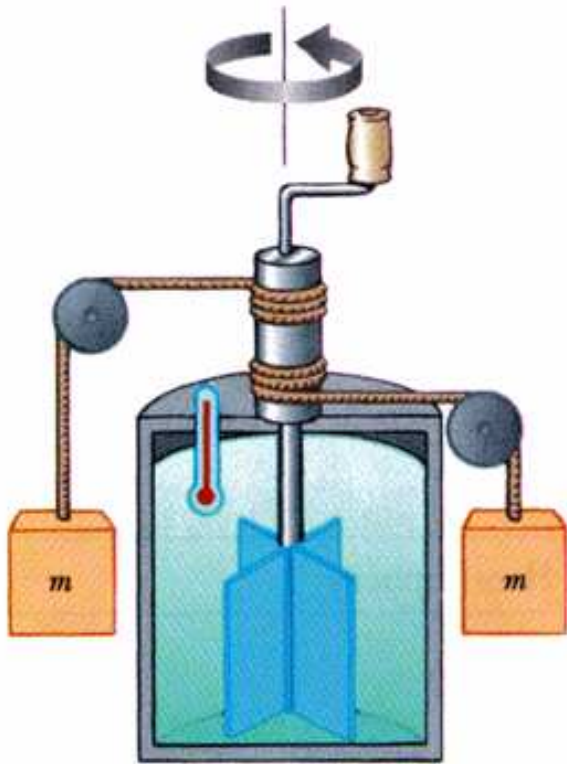
## L'occhio del fisico sulla realtà



Tutti i processi fisici "reali" comportano una dissipazione di energia sotto forma di calore con conseguente aumento della temperatura



Joule mostrò per primo che la quantità di calore prodotto era proporzionale alla quantità di lavoro meccanico



Thermal insulator

Il lavoro eseguito per far ruotare le pale, causa un aumento della temperatura dell'acqua

Altri processi....molto utilizzati

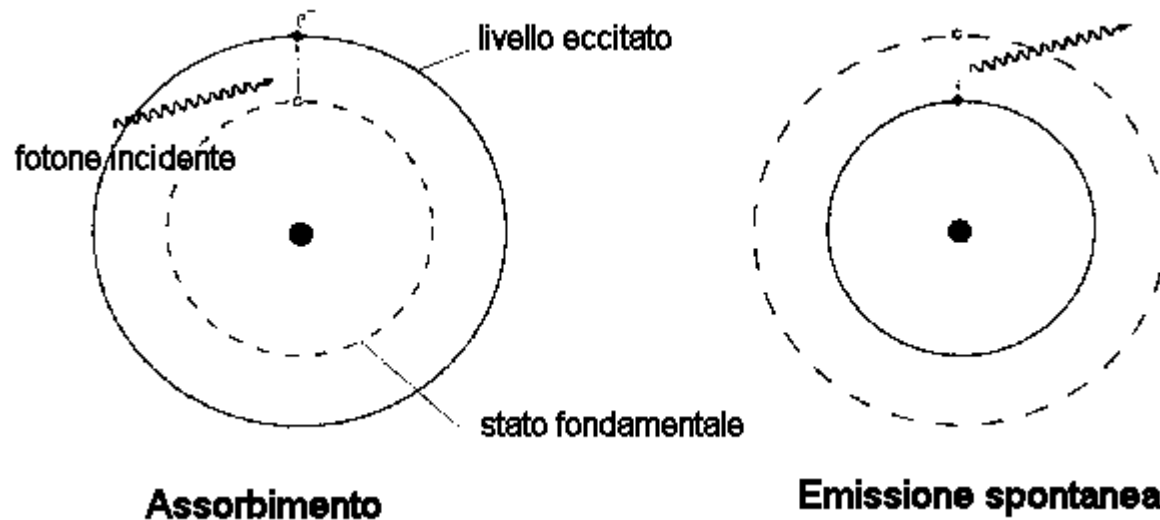
Conversione di energia chimica in  
calore = combustione



Conversione di energia elettrica in  
calore detta effetto Joule



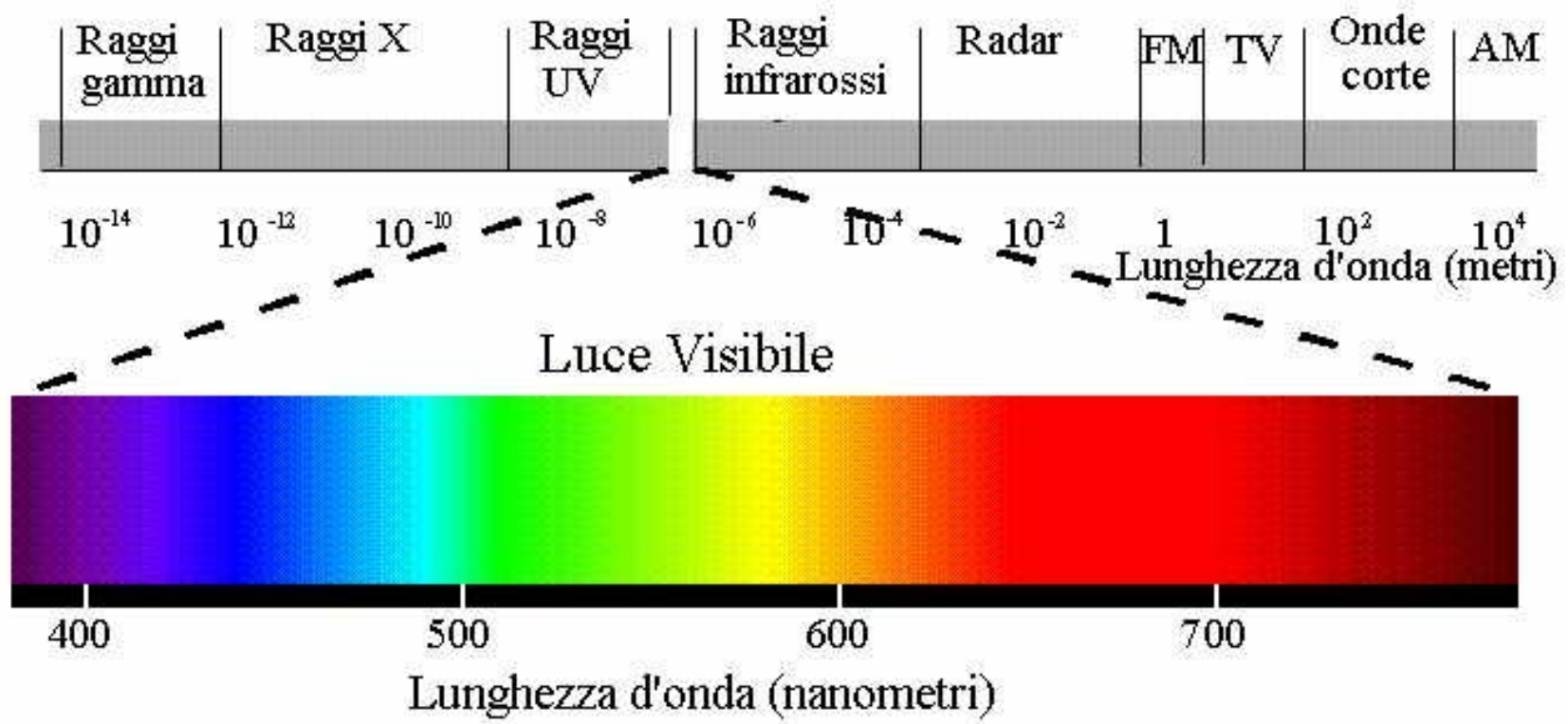
La materia è formata da molti atomi che in modo casuale assorbono e riemettono la radiazione



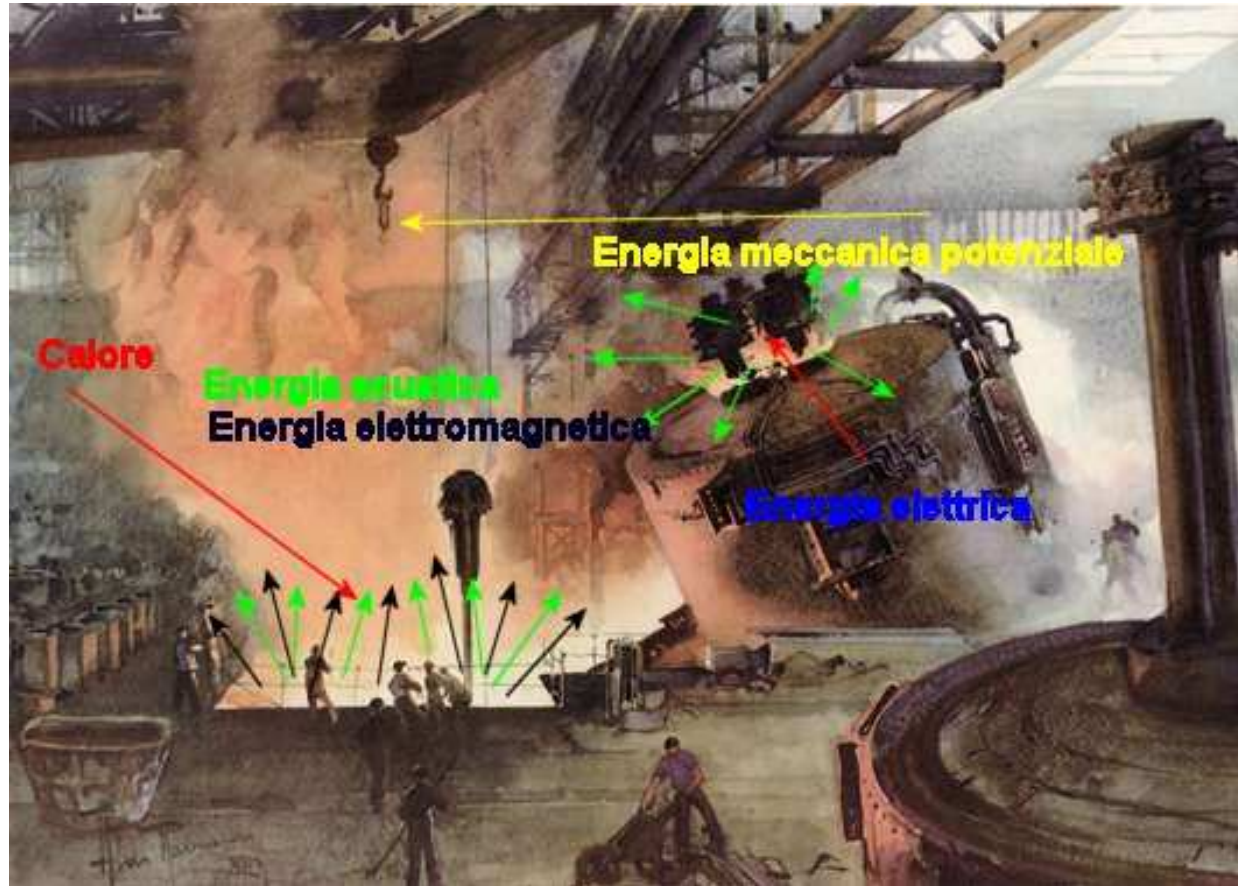
Il numero di atomi che, all'interno di un sistema in equilibrio termodinamico, possiede un dato livello energetico è funzione della temperatura del sistema



Lo spettro visibile è una parte dello spettro delle radiazioni elettromagnetiche che il nostro occhio riesce a percepire



In molte situazioni, nell'ambiente di lavoro ma anche nell'ambiente di vita, una quantificazione di tipo fisico è indispensabile per valutare un rischio



Gli agenti fisici di rischio sono i rischi quantificabili in termini di grandezze fisiche misurabili



## Scambi di energia termica (calore): il microclima

Complesso di parametri ambientali che condizionano gli scambi termici tra il corpo umano e l'ambiente circostante

Esso dipende da:

- ☞ impianto di illuminazione
- ☞ apparecchiature elettriche
- ☞ vestiario indossato
- ☞ carico di lavoro (per normali attività è di circa 200 Kcal/h)

### Ma è un lavoro?

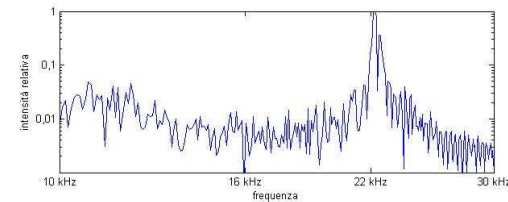
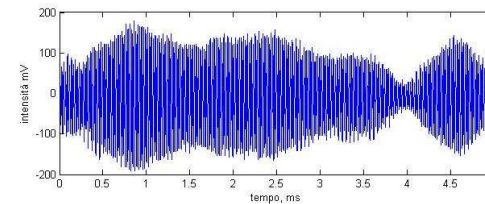
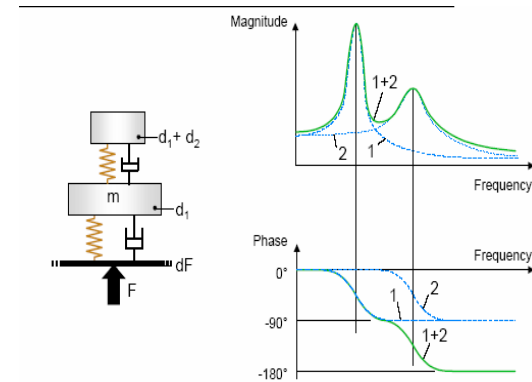
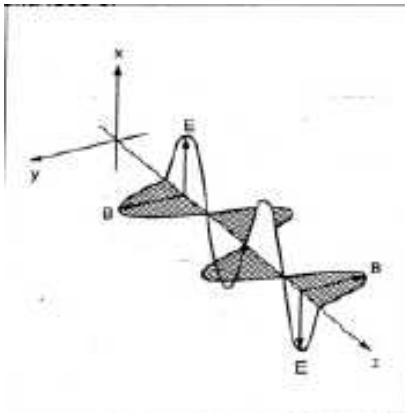
Grandezze misurate: temperatura, umidità, velocità dell'aria

**valutazioni microclimatiche in ambiente di lavoro  
(per tacere delle previsioni meteo)**

A parte gli scambi termici, praticamente tutti gli altri agenti fisici presentano effetti dipendenti dall'intensità e dalla frequenza

$$f = kx$$

$$v = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$



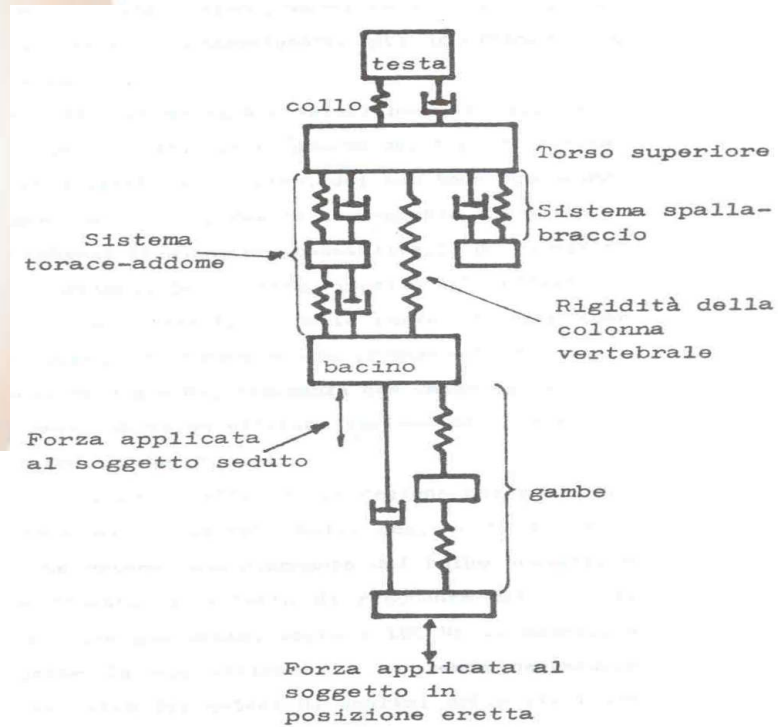


## Energia meccanica direttamente trasferita al corpo umano: rischio vibrazioni

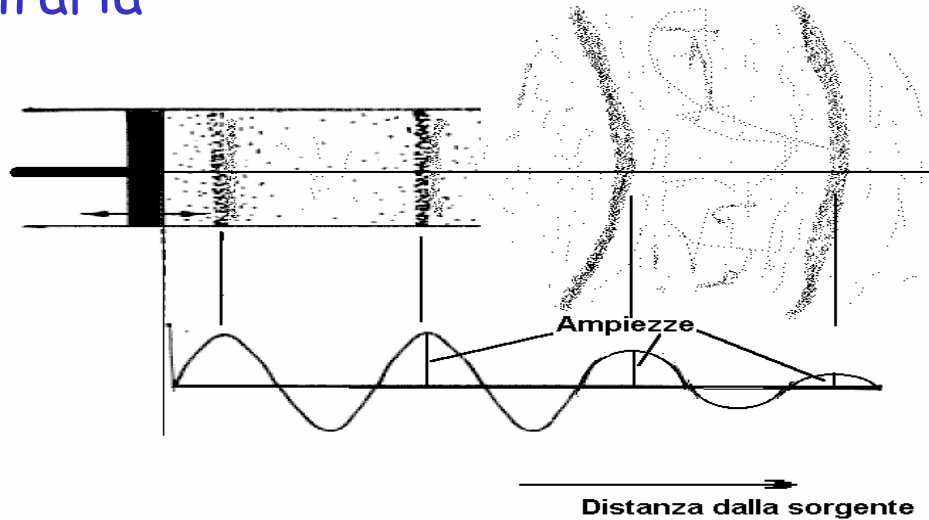
Grandezza misurata per quantificare l'intensità:

accelerazione del corpo in  $m/s^2$

Range di frequenza: 1 - 1000 Hz



Quando la vibrazione si trasmette all'aria, si generano delle onde dovute alla compressione e rarefazione dell'aria



$$\lambda \cdot \nu = c$$

*Se la variazione della pressione dell'aria è*

sufficientemente intensa: pressione sonora espressa in dB rispetto a  $20 \mu\text{Pa}$

0 dB soglia udibile - 140 dB danni immediati al timpano

sufficientemente rapida: range di frequenza 20 Hz 20 kHz

da poter essere percepita dall'apparato uditivo, si ha il rischio rumore

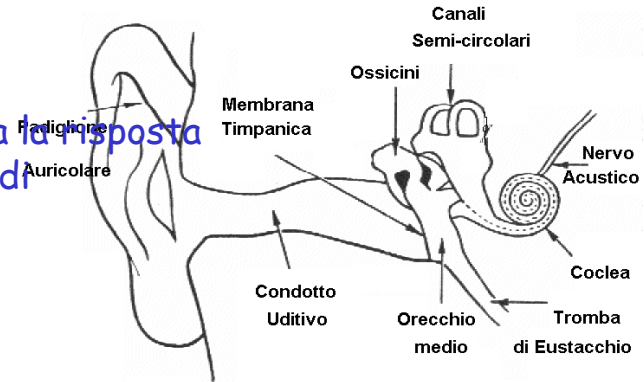
# Energia acustica trasferita all'orecchio: rischio rumore

Grandezza misurata per quantificare l'intensità:

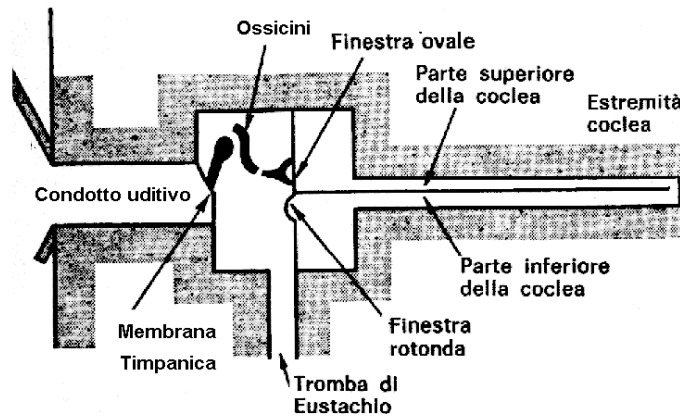
rapporto fra pressione acustica misurata con un filtro che simula la risposta  
in frequenza dell'orecchio umano e pressione di riferimento di

20  $\mu\text{Pa}$ ; questo rapporto si esprime in decibel dB(A)

Range di frequenza: 20 Hz - 20 kHz



Rappresentazione anatomica



Rappresentazione schematica dell'orecchio



## Ma è un lavoro ?

Misure di rumore e vibrazioni in ambiente di lavoro

Qualifica richiesta: saperlo fare



I range di frequenza sono parzialmente sovrapponibili, la tecnologia dei misuratori di vibrazione, si è evoluta a partire dagli strumenti per il rumore (fonometri).

I due fenomeni sono fortemente interdipendenti

In ambiente di lavoro è quindi molto comune eseguire, anche contestualmente, misure di rumore e vibrazioni

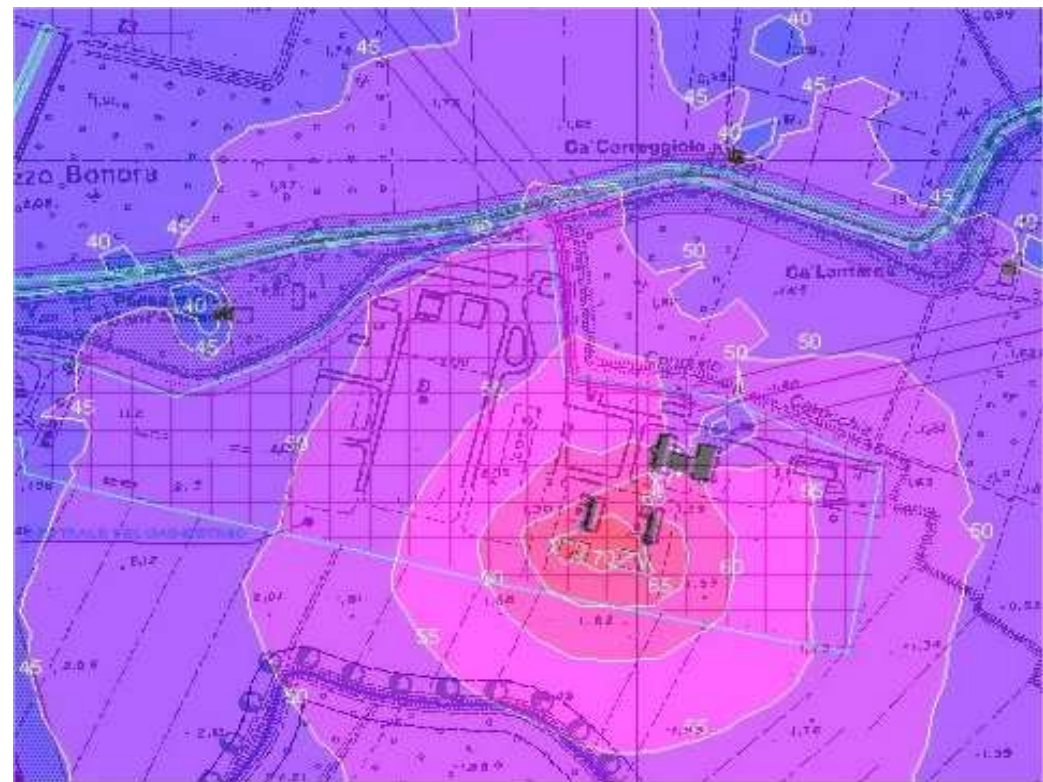
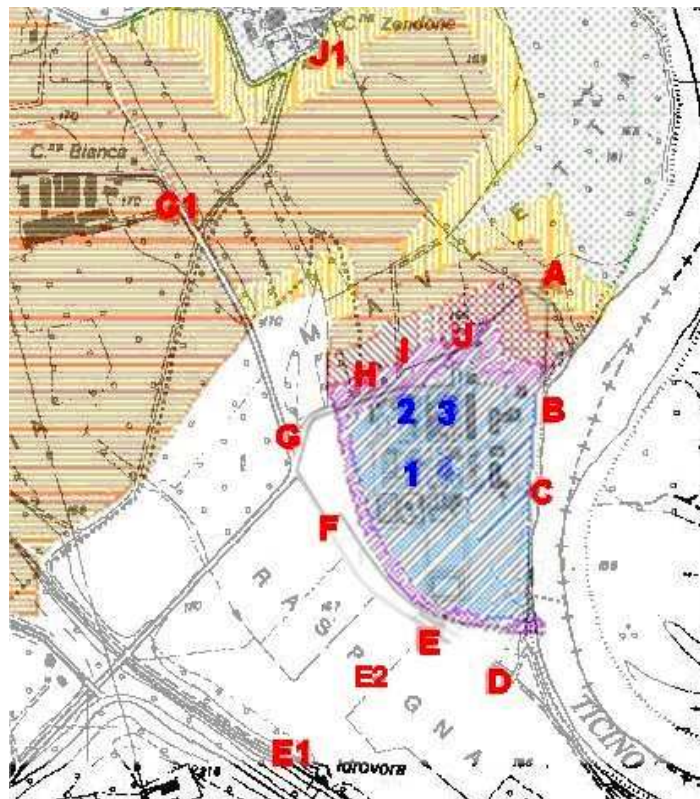
# Ma è un lavoro ?

Misure di rumore ambientale Legge 447/95 e decreti applicativi

Grandezza misurata livelli di rumore in dB(A) e spettro in frequenza

Qualifica richiesta: Tecnico Competente in Acustica Ambientale

Si ottiene dalla Regione di residenza inoltrando un'autocertificazione che attesti un'attività "non occasionale" di due anni nel campo (per i laureati)



**...esiste però anche un "impiego deliberato" delle onde sonore indipendente dagli effetti uditivi**

Si possono paragonare diverse applicazioni delle onde sonore, ricordando che

$$dB = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

dove  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa e  $I_0 = 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>





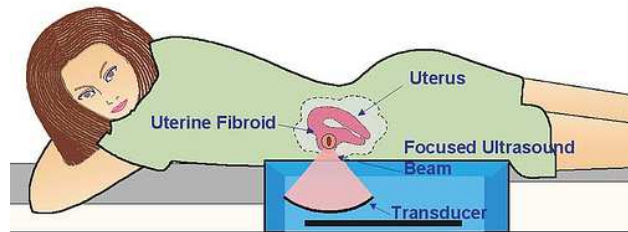
Ogni volta che si ha una variazione della velocità di propagazione delle onde nel mezzo (variazione di impedenza), si ha assorbimento di energia con conseguente aumento di temperatura.

Nei liquidi l'energia acustica può essere assorbita anche dal fenomeno della cavitazione

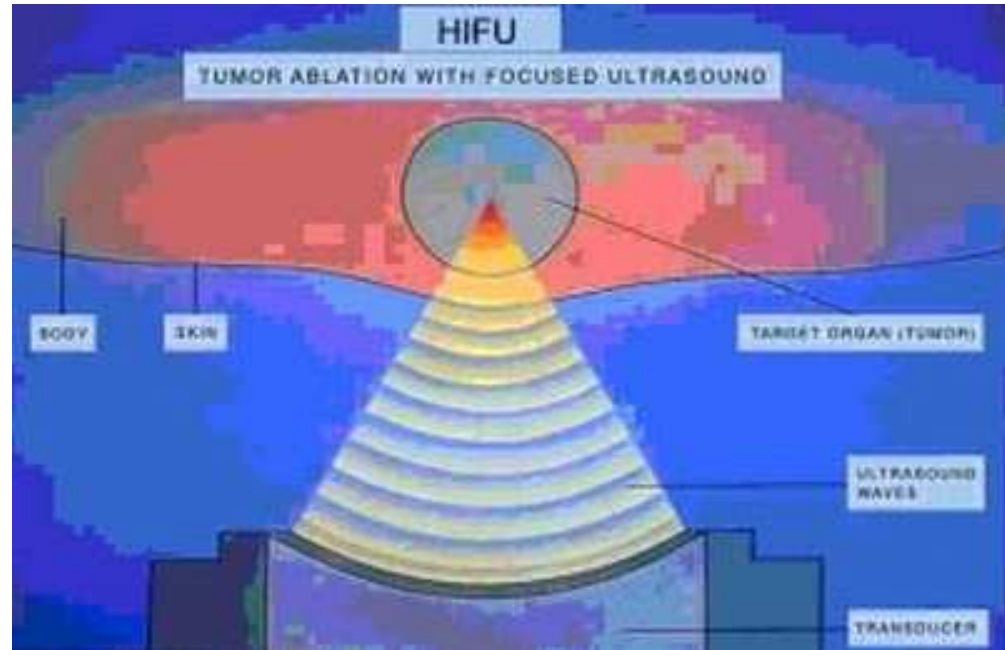
Frequenza	Impiego	Intensità al punto di impiego		Possibile esposizione	Misure di prevenzione
		W/cm <sup>2</sup>	dB re 1pW/m <sup>2</sup>		
20 - 25 kHz	Lavaggio per cavitazione	1	160	Diffusione in aria, frequenza fondamentale e armoniche, 90-100 dB	Separazione e segregazione della sorgente
20 - 40 kHz	Saldatura materiali termoplastici	100	180	Diffusione in aria, frequenza fondamentale e armoniche, 90-100 dB	Separazione e segregazione della sorgente
30 - 50 kHz	Trattamenti estetici per cavitazione	10	170	Diffusione in aria, frequenza fondamentale e armoniche 40-60 dB	Controllo e manutenzione
100 kHz 10 MHz	Fisioterapia	3	165	Per contatto all'operatore	Controllo e manutenzione
1-20 MHz	Diagnostica per immagini	0,1	150	Solo per contatto paziente, possibile criticità esami doppler	Controllo di qualità
1-3 MHz	HIFU	300	185	Effetti, soprattutto per il paziente ancora da studiare	Studiare!!

N.B. l'uso diagnostico a bassa potenza (e innoquo??) degli ultrasuoni per ottenere immagini è comunemente noto come ecografia

La fisica applicata alla medicina può avere effetti di cura o di danno, anche quando non impiega le radiazioni ionizzanti



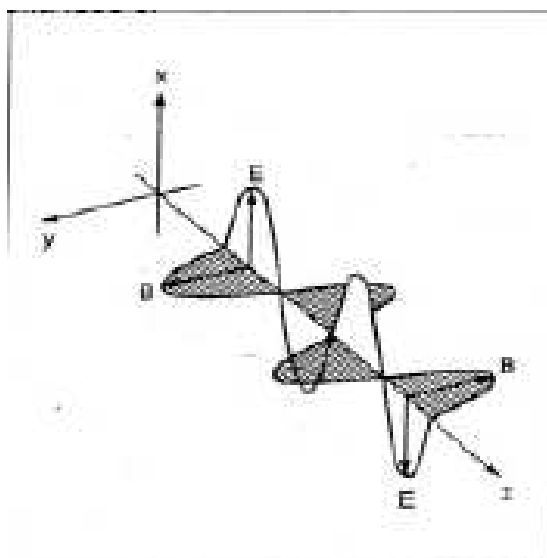
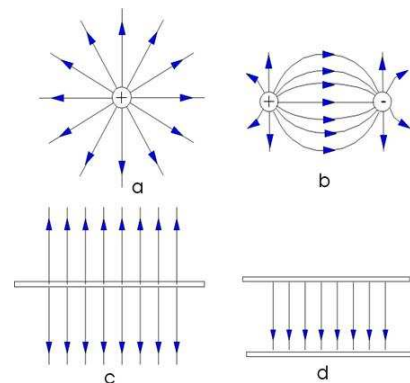
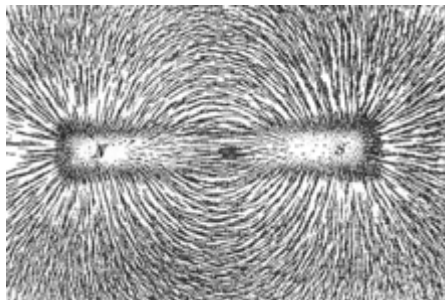
### High Intensity Focused Ultrasound



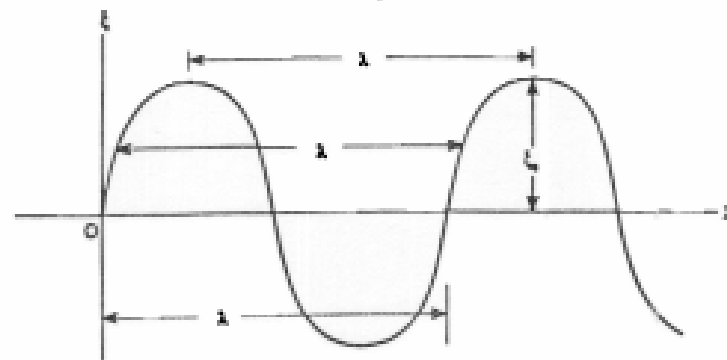
c'è ancora parecchio da studiare....



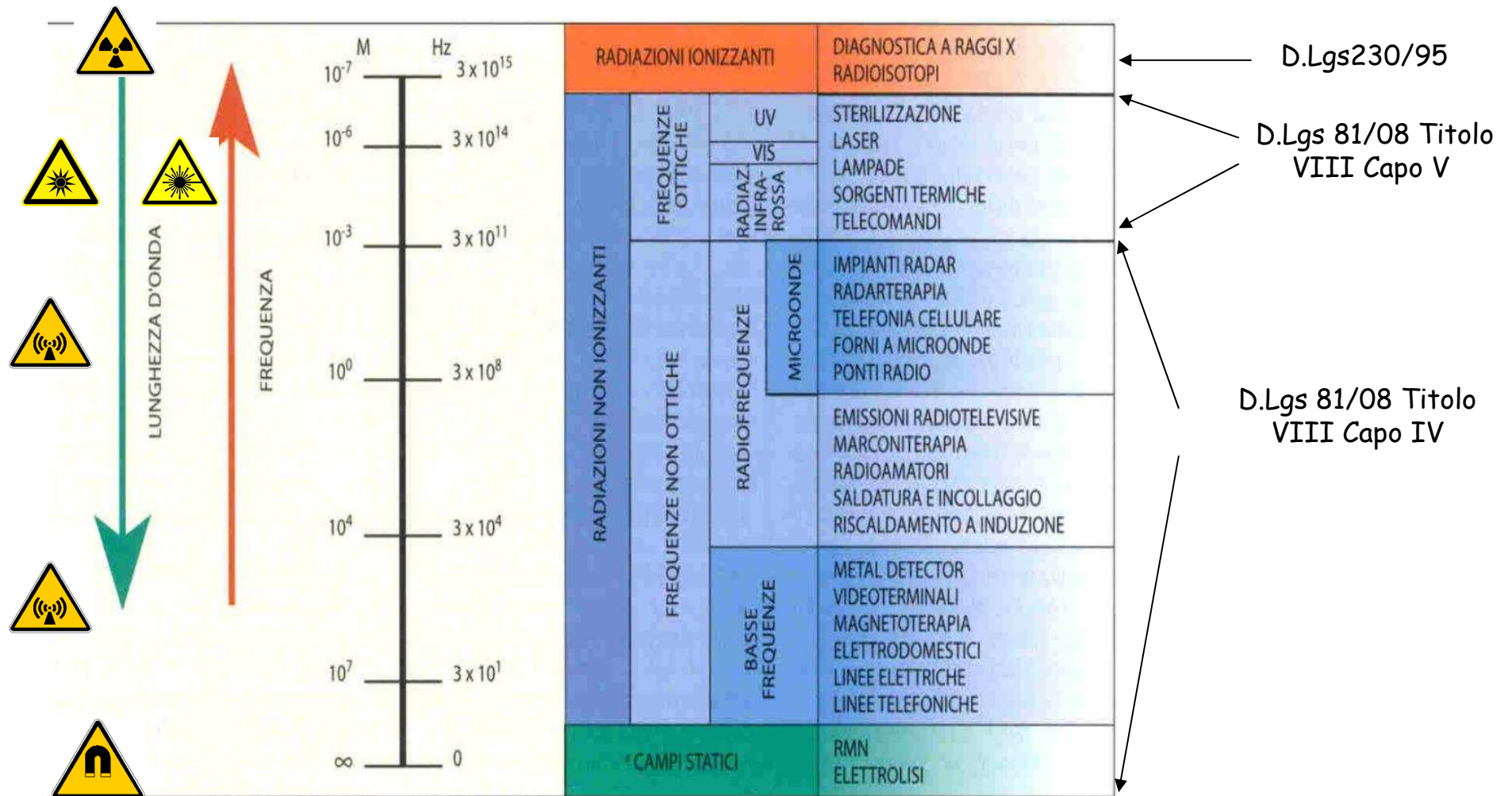
Ma cosa succede quando oscilla il campo magnetico ?



$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$



In funzione della lunghezza d'onda, ovvero della frequenza abbiamo diversi "agenti fisici" perché differenti sono gli effetti dell'assorbimento della radiazione da parte dei tessuti



...tutti questi agenti fisici sono riconducibili a radiazione elettromagnetica

Gli effetti dei campi elettromagnetici dipendono dall'intensità e dalla frequenza: fino a 300 GHz, possiamo avere



Generazione di correnti indotte  
interferenze con apparati essenziali  
effetti meccanici



Generazione di correnti indotte  
(sistema nervoso centrale)  
interferenze con apparati essenziali



Riscaldamento dei tessuti,  
interferenze con apparati essenziali



# Campi elettromagnetici a frequenza < 300 GHz

Grandezze misurate per quantificare l'intensità:

campo elettrico (V/m), campo di induzione magnetica (Tesla), intensità dell'onda piana equivalente (W/m<sup>2</sup>)

Range di frequenza: 0 Hz - 300 GHz

Frequency range	Magnetic flux density Low AL(B) [μT] (RMS)	Magnetic flux density High AL(B) [μT] (RMS )	Magnetic flux density AL for exposure of limbs to a localized magnetic field [μT] (RMS )
$1 < f < 8 \text{ Hz}$	$2.0 \times 10^5 / f^2$	$3.0 \times 10^5 / f$	$9.0 \times 10^5 / f$
$8 < f < 25 \text{ Hz}$	$2.5 \times 10^4 / f$	$3.0 \times 10^5 / f$	$9.0 \times 10^5 / f$
$25 < f < 300 \text{ Hz}$	$1.0 \times 10^3$	$3.0 \times 10^5 / f$	$9.0 \times 10^5 / f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3.0 \times 10^3 / f$	$3.0 \times 10^5 / f$	$9.0 \times 10^5 / f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq [\dots]10 \text{ MHz}$	$1.0 \times 10^2$	$1.0 \times 10^2$	$3.0 \times 10^2$

## Ma è un lavoro ?

Misura dell'esposizione professionale e ambientale come Esperto Campi Elettromagnetici (ECEM)

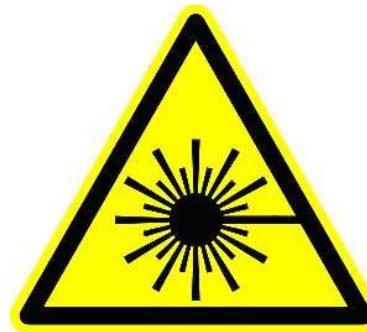
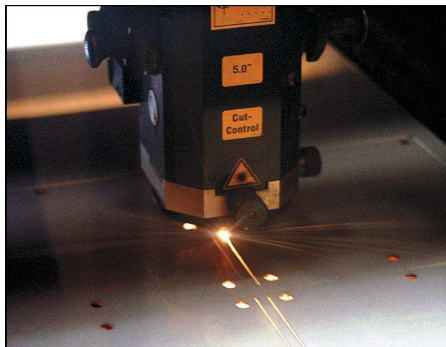
Qualifica richiesta: Saperlo fare

A frequenza  $> 300$  GHz ovvero, lunghezza d'onda  $< 1$  mm, la radiazione interagisce principalmente con l'occhio, oltre che con la pelle, e segue le leggi dell'ottica geometrica: è il campo delle radiazioni ottiche

Incoerenti

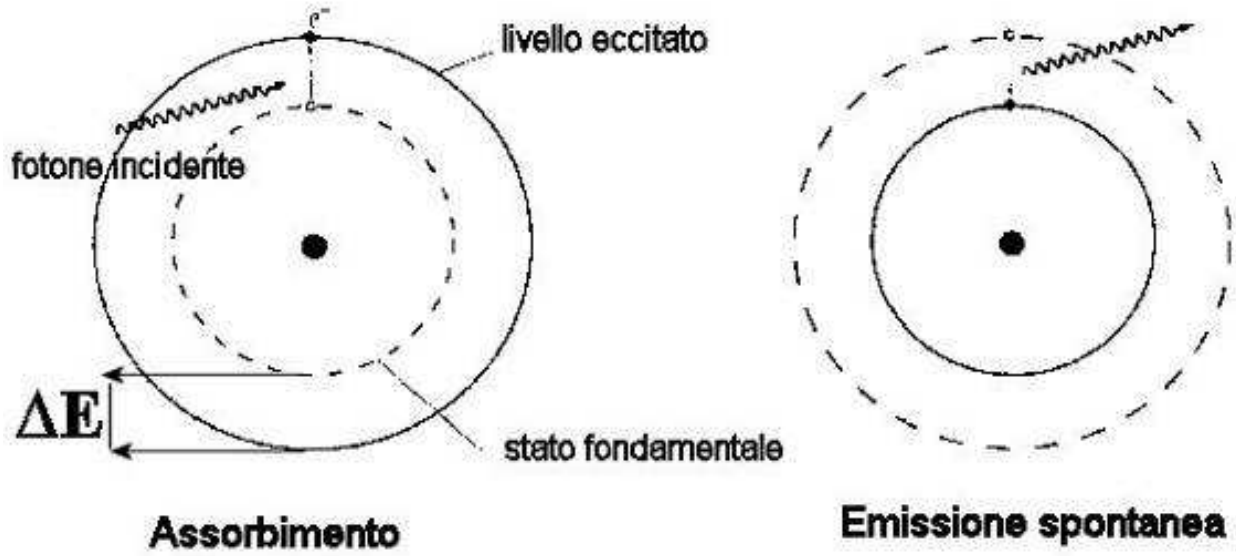


Coerenti o laser





Le sorgenti luminose sono composte da atomi che assorbono e riemettono la radiazione

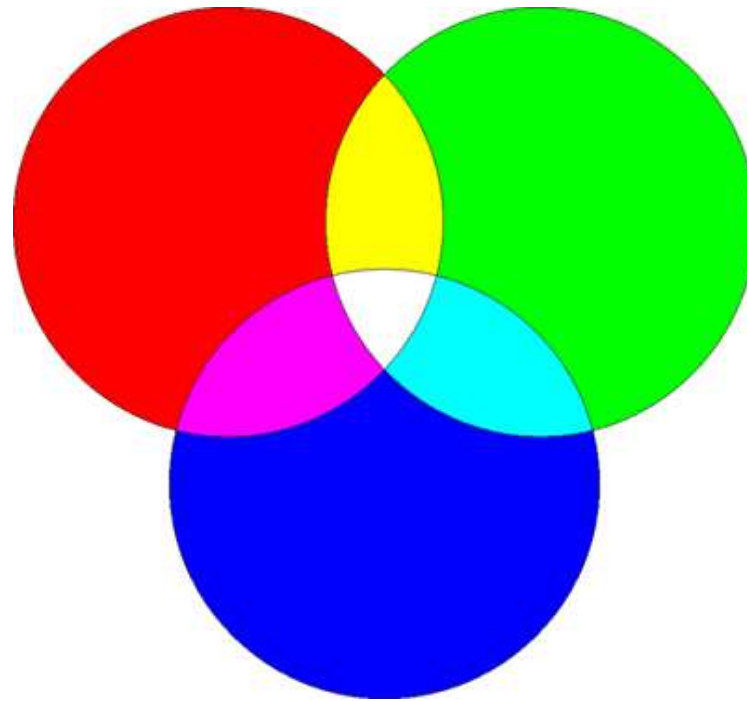


$$\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$h$  è la costante di Plank  $6,63 \times 10^{-34}$  [J s]

Le normali sorgenti luminose sono il risultato di un elevatissimo numero di processi di questo tipo, che avvengono casualmente tra diversi livelli di energia

L'occhio umano percepisce un oggetto come colorato quando questo riflette la luce incidente solo entro un particolare intervallo di lunghezze d'onda:

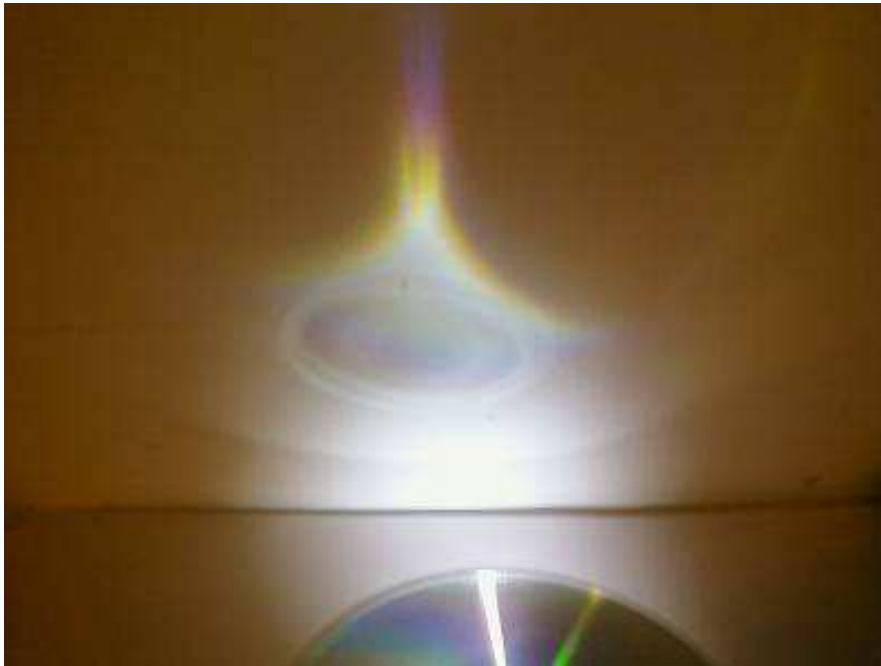


Quando tutte le lunghezze d'onda sono riflesse in proporzione identica il colore percepito è bianco, quando tutte sono assorbite il colore percepito è nero.

Nei laser si realizza un processo definito di emissione stimolata nel quale il mezzo attivo è forzato a emettere in una banda molto stretta di lunghezza d'onda fotoni aventi tutti la stessa fase.

Le sorgenti laser sono pertanto dette sorgenti coerenti

### *Sorgente incoerente*



### *Sorgente coerente = laser*



I rischi del laser sono quelli legati all'assorbimento della specifica lunghezza d'onda, accentuati dalla possibilità di concentrare l'energia in piccole superfici e in piccolissimi intervalli temporali (effetti fotomeccanici)

**Tabella 4.1 – Classificazione dei laser (Norma CEI EN 60825-1; Pubbl. 2003-02)**

**Classe 1:** laser che sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, compreso l'impiego di strumenti ottici per la visione diretta del fascio.

**Classe 1M:** laser che emettono radiazione nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 302,5 e 4000 nm, che sono sicuri nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, ma che possono essere pericolosi se l'utilizzatore impiega ottiche all'interno del fascio.

**Classe 2:** laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm, in cui la protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa compreso il riflesso palpebrale. Questa reazione può essere prevista per fornire una protezione adeguata nelle condizioni di funzionamento ragionevolmente prevedibili, compreso l'impiego di strumenti ottici per la visione diretta del fascio.

**Classe 2M:** laser che emettono radiazione visibile nell'intervallo di lunghezze d'onda tra 400 e 700 nm, in cui la protezione dell'occhio è normalmente assicurata dalle reazioni di difesa compreso il riflesso palpebrale. Tuttavia l'osservazione dell'emissione può risultare pericolosa se, all'interno del fascio, l'utilizzatore impiega ottiche.

**Classe 3R:** laser che emettono nell'intervallo di lunghezze d'onda compreso tra 302,5 e  $10^6$  nm, in cui la visione diretta del fascio è potenzialmente pericolosa, ma il rischio è inferiore a quello dei laser di classe 3B.

**Classe 3B:** laser che sono normalmente pericolosi in caso di visione diretta del fascio (cioè all'interno della DNRO). Le riflessioni diffuse sono normalmente sicure.

**Classe 4:** laser che sono anche in grado di produrre riflessioni diffuse pericolose. Possono causare lesioni alla pelle e potrebbero anche costituire un pericolo di incendio. Il loro uso richiede estrema cautela.

La valutazione del rischio laser inizia dal verificare che ciascun dispositivo sia impiegato nelle condizioni di sicurezza previste dalla specifica classe.

La classificazione del laser da parte del costruttore è un aiuto alla valutazione dei rischi ma non è la valutazione dei rischi

## Tifoso del Livorno rischia 12 anni

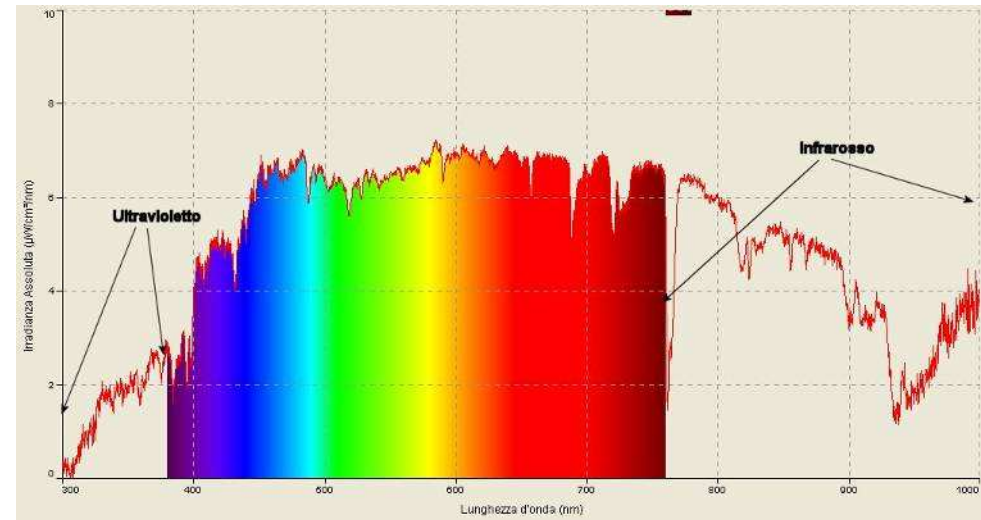
*Durante la partita Livorno-Milan del 7 dicembre 2013 un ragazzo di 26 anni punta il laser contro l'elicottero della Polizia che sta prestando servizio sopra lo stadio: denunciato*



puntatore laser Nd:YAG da 150 mW, classe 3R



Torniamo alla natura!!!: ecco la sorgente di radiazioni ottiche alla quale siamo meglio adattati, anche se causa di un certo numero di problemi



L'International Agency for Research on Cancer (IARC) ha nel giugno 2009 classificato i raggi UV nel **Gruppo 1** "cancerogeni per l'uomo"

**Minima Dose Eritemale (MED) l'esposizione radiante (efficace) che produrrà un eritema "appena avvertibile" sulla pelle non esposta precedentemente di un certo individuo.**

Questa grandezza varia da individuo a individuo in funzione del fototipo.

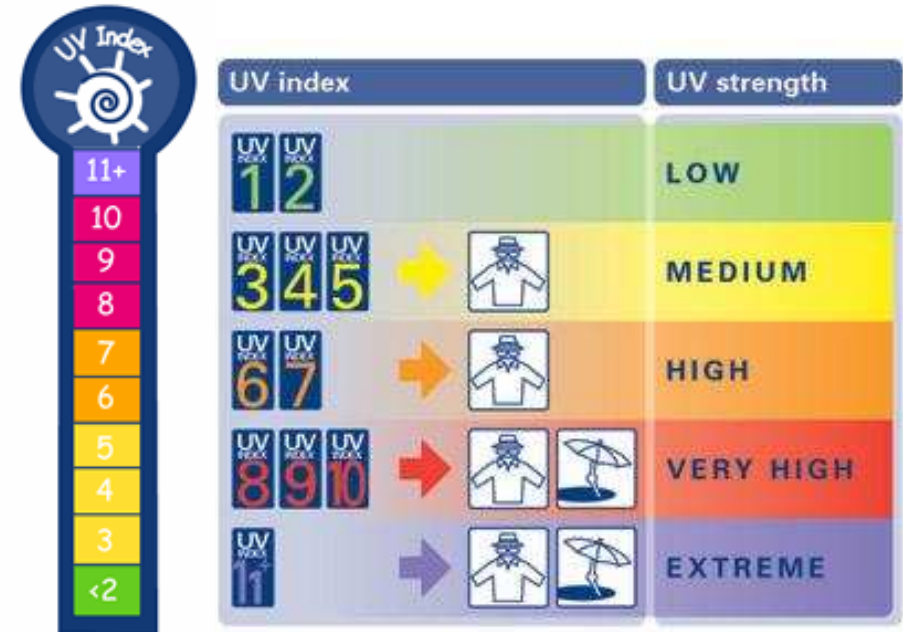
**Si definisce allora Dose Eritemale Standard (SED), un'esposizione radiante efficace di 100 J/m<sup>2</sup>**

<b>Fototipo</b>	<b>Sensibilità al sole</b>	<b>MED</b>	<b>Capacità di abbronzarsi</b>	<b>Classi di individui</b>
<b>I</b>	Molto sensibile	Si ustiona sempre (<2 SED)	Nessuna abbronzatura	Melano-compromessi
<b>II</b>	Moderatamente sensibile	Alta (2-3 SED)	Abbronzatura leggera	Melano-compromessi
<b>III</b>	Moderatamente non sensibile	Moderata (3-5 SED)	Abbronzatura media	Melano-competenti
<b>IV</b>	Moderatamente resistente	Bassa (5-7 SED)	Abbronzatura notevole	Melano-competenti
<b>V</b>	Resistente	Molto bassa (7-10 SED)	Pelle naturalmente bruna	Melano-protetti
<b>VI</b>	Molto resistente	Estremamente bassa (>10 SED)	Pelle naturalmente nera	Melano-protetti

# Indice UV

$$I_{UV} = k_{er} \cdot \int_{250nm}^{400nm} E_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{er}(\lambda) d\lambda$$

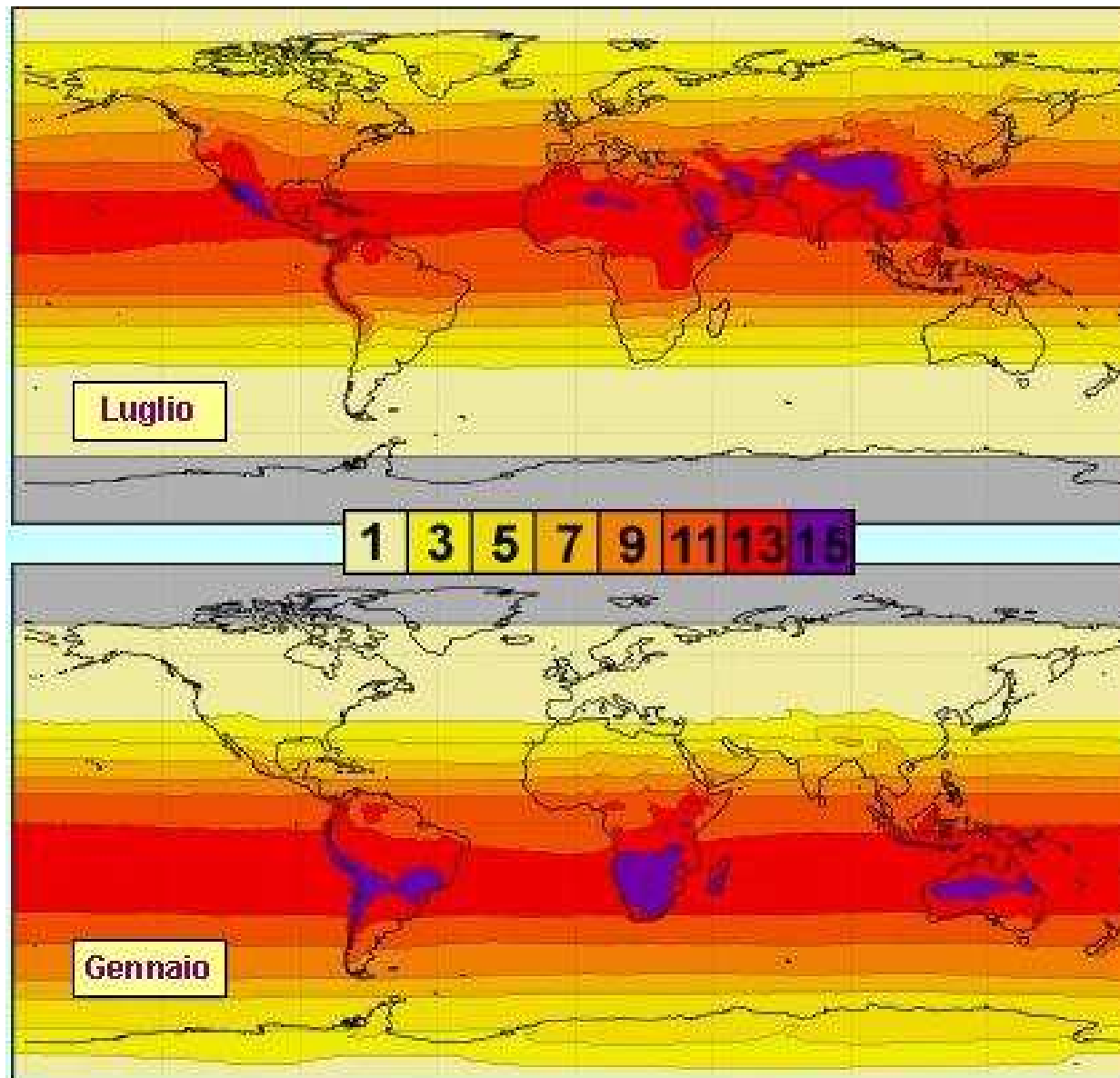
$E_{\lambda}(\lambda)$	Irradianza spettrale solare, in W/m <sup>2</sup> *nm
$s_{er}(\lambda)$	Spettro d'azione eritemale
$k_{er}$	Costante uguale a 40 m <sup>2</sup> /W



For the determination of  $I_{UV}$  the following procedures are commonly used:

- Earth based continuous measurement of erythemal effective irradiance;
- Calculation of the  $I_{UV}$  on earth surface level, taking into account the thickness of the ozone layer, the cloud absorption, albedo, air pollution, etc.;
- Prediction (normally done for one or two days) based upon current measurements, historical information on UV-exposure data and meteorological data [10].

L'indice UV varia con la latitudine e con la stagione, per l'Italia è difficilmente  $> 9$



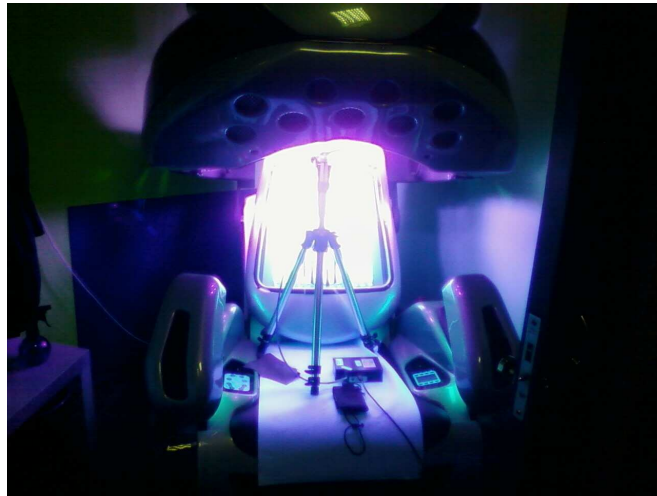
**DECRETO 12 maggio 2011, n. 110:** *Regolamento di attuazione dell'articolo 10, comma 1, della legge 4 gennaio 1990, n. 1, relativo agli apparecchi elettromeccanici utilizzati per l'attività di estetista:*

**Irradianza efficace massima 0,3 W/m<sup>2</sup> (Indice UV=12)**

**Il limite viene dalla norma CEI EN 60335 2-27**

**Dose espressa in SED per diversi tempi di esposizione e valori dell'indice UV**

<b>Tempo di esposizione</b>	<b>Indice UV</b>				
	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>
<b>10'</b>	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8
<b>30'</b>	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4
<b>1 ora</b>	3,6	5,4	7,2	9	10,8
<b>3 ore</b>	10,8	16,2	21,6	27	32,4



FONDAZIONE SALVATORE MAUGERI  
**FONDAZIONE SALVATORE MAUGERI**  
**CLINICA DEL LAVORO E DELLA RIABILITAZIONE**  
 D.P.R. 901 DEL 13-6-1963  
 I.R.C.C.S.

Sede legale e amministrativa:  
 Via Salvatore Maugeri 4, 37100 Pavia (Italy)  
 Tel. 0382 202504 Fax 0382 250570  
 www.fsm.it  
 C.F. e P. IVA 00020700159  
 Registro Imprese Giudiziale Pavia  
 della Regione Lombardia n. 430

LA FONDAZIONE SALVATORE MAUGERI È ORGANIZZATA SECONDO LA LEGGE 30/9/1998 (LEGGE 30/9/1998) IN ITALIA (ART. 9/2/4/0)

**Centro di Ricerche Ambientali**



Pavia, 31/08/2012

Indirizzo Clientela:  
 PAVIA 37100  
 - Sede di  
 Via Salvatore Maugeri 10  
 - Sede di Via Palestrina 12  
 Tel. 0382 2021  
 Fax 0382 25001  
 - Sede di Via Diego 18  
 Tel. 0382 201  
 Fax 0382 25001  
 MILANO  
 - Sede di  
 Via Cefis 8/11A/15148  
 Tel. 02 403601  
 Fax 02 403602  
 - Sede di  
 Via Carcano, 84 (CAP 20138)  
 Tel. 02 507929  
 Fax 02 507921  
 MONTECARLO  
 20046 (PV)  
 Via per Montemar  
 Tel. 0382 2471  
 Fax 0382 21388  
 LONDON  
 20151 (MI)  
 Via Maria Serravalle 18  
 Tel. 02 482720  
 Fax 02 482724  
 LONDRA  
 20121 (MI)  
 Via Marconi 209  
 Tel. 02 528201  
 Fax 02 528203  
 TAVARRE  
 21040 (VA)  
 Via Sarcenigo 18  
 Tel. 0332 85111  
 Fax 0332 82600  
 CASTEL GIOFFRÉDO  
 21026 (VA)  
 Via Capocchia 88  
 Tel. 0332 71471  
 Fax 0332 72988  
 VERGATO 28013 (VA)  
 Via per Sarcenigo 18  
 Tel. 0332 844711  
 Fax 0332 844810  
 Sede Direzione di Tutela  
 Provincia Major  
 TOSCANO 20024  
 Via Santa Cecilia 80  
 Tel. 0382 20204  
 Fax 0382 20204  
 NERVI 10107 (BO)  
 Depresso-Serra  
 - Sede di Via Marconi 14  
 - Sede di Via Val D'Arno 7  
 Tel. 051 01111

Spett.le

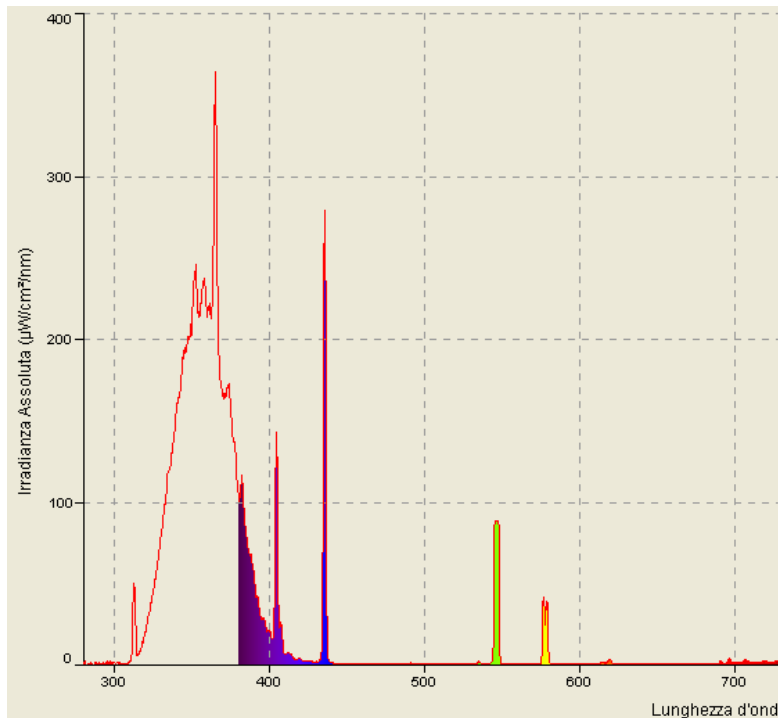
Comando Carabinieri

Per la Tutela della Salute

NAS di C

**RELAZIONE TECNICA SULLE EMISSIONI DI RAGGI UV**

Apparecchiatura abbronzante modello ALIEN  
 alta pressione articolo 700/6 matricola nr /



In termini di esposizione solare, come descritta al paragrafo 3,2, l'esposizione alla lampada abbronzante oggetto dell'accertamento corrisponde ad un valore dell'indice UV =  $40 \times 1,6 = 64$ .

Una seduta di 12 minuti (tempo di esposizione preimpostato), corrisponde ad un'esposizione di 85 minuti al sole nel mese di luglio alle nostre latitudini, nell'orario di massimo irraggiamento.



## Le lampade UV: un rischio emergente per la salute? Primi risultati di misure di emissione di apparecchi abbronzanti in centri estetici piemontesi.

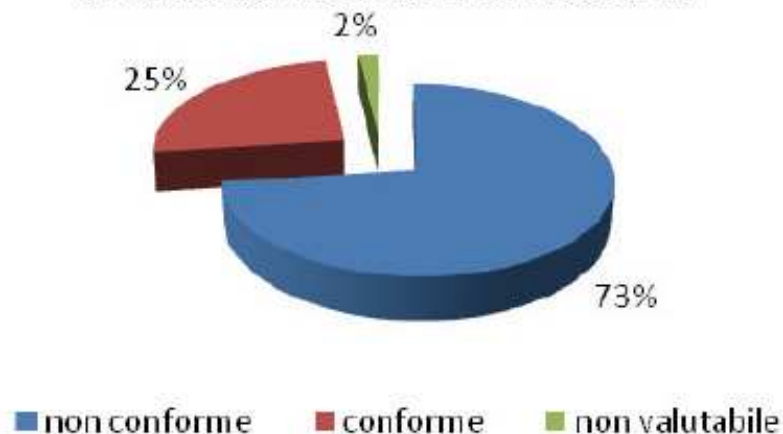
Esposito A.\*; D'Amore G.\*\*; Garabello F.\*\*\*; Perucca R.°; Torchio P.°°; Trovato G.°°°

\*SISP ASL NO, V.le Roma 7, Novara, [aniello.esposito@asl.novara.it](mailto:aniello.esposito@asl.novara.it); \*\*Dipartimento ARPA di Ivrea, [g.damore@arpa.piemonte.it](mailto:g.damore@arpa.piemonte.it); \*\*\*SISP ASL TO1, [f.garabello@asito1.it](mailto:f.garabello@asito1.it); °SISP ASL TO3, [robertoperucca@yahoo.it](mailto:robertoperucca@yahoo.it); SISP ASL CN1, [torchio.p@libero.it](mailto:torchio.p@libero.it); °°° SISP ASL TO 5, [trovato.giulia@asito5.it](mailto:trovato.giulia@asito5.it)

### RIASSUNTO

Da tempo il rischio di tumori della pelle è stato associato all'esposizione a radiazioni UV; più recentemente è stato riconosciuto il ruolo delle radiazioni UV artificiali nell'aumentato rischio di neoplasie cutanee, in particolare melanomi. È emersa quindi la necessità di approfondire le conoscenze sulla pericolosità delle apparecchiature utilizzate nei centri estetici misurando l'effettiva emissione delle lampade in dotazione. Nel corso del 2010 e 2011 si è proceduto a sperimentare un modello di vigilanza in diversi esercizi di estetica/solarium presenti nel territorio di alcune ASL piemontesi. I risultati ottenuti hanno messo in evidenza la non conformità della maggioranza degli apparecchi esaminati alla normativa tecnica di settore. Il conseguente rischio di emissioni UV potenzialmente dannose per la salute degli utenti impone di rivedere le modalità degli interventi di prevenzione, prevedendo piani sistematici di controllo con misurazione dei livelli di emissione degli apparecchi utilizzati.

Conformità alla norma CEI EN 60335-2-27



Allora, anche questo è un lavoro:

- Campi elettromagnetici a frequenza  $> 300$  GHz

Misura dell'esposizione professionale a radiazioni ottiche incoerenti come  
Esperto Radiazioni Ottiche (ERO, sic)

Grandezze misurate per quantificare l'intensità:

Irradianza ( $W/m^2$ );

Radianza ( $W/m^2 \cdot sr$ );

Esposizione radiante ( $J/m^2$ );

integrate in specifici intervalli di lunghezza d'onda e/o pesate con specifici spettri d'azione  
per il danno che si vuole valutare

Range di lunghezza d'onda: 100 nm - 3  $\mu m$

Qualifica richiesta: Saperlo fare

- Tecnico Sicurezza Laser (TSL) per applicazioni industriali e di ricerca
- Addetto Sicurezza Laser (ASL) per applicazioni mediche

Qualifica richiesta: Saperlo fare