Calcolo VLE per LASER a impulsi (singolo e ripetuti)

Luisa Biazzi

Ci sono n.3 condizioni che determinano altrettanti VLE "parziali":

il VLE finale è quello determinato dalla più restrittiva delle tre condizioni

1-l'esposizione derivante da un singolo impulso di un treno di impulsi non deve superare il VLE calcolato per il singolo impulso della durata di quell'impulso.

2-l'esposizione (media) per un treno di impulsi che si verifica un tempo t non deve superare il VLE per il tempo t (v.definizione tab.2.6)

3-l'esposizione non deve superare il VLE di un impulso singolo moltiplicato per il fattore di correzione termica cumulativa.

Questa regola si applica solo ai VLE per la protezione da lesione termica laddove tutti gli impulsi che si verificano in meno di …sono trattati come impulsi singoli (tab.2.6)

Quindi per 400nm $\leq \lambda \leq 10^6$ nm → si applicano i criteri 1), 2), 3).

La 3) si applica esclusivamente ai limiti termici e non a quelli fotochimici

Per $\lambda < 400$ nm → si applicano i criteri 1) e 2)

Casi studio

1-Dato un laser a impulso <u>singolo</u> a CO_2 (λ =10600 nm) e tempo di impulso t_{imp}=1 ms, determinare:

1.1- il tipo di laser (IR/VS/UV);

1.2- il limite di esposizione dell'irradianza VLE dell'occhio E (W/m^2).

1.1. Tipo di laser (IR/VS/UV)

Il laser emette a 10.6 µm e pertanto emette nell'infrarosso-C (IR-C)

1.2. Calcolare Irradianza E_{VLE} all'occhio E (W/m^2): $E_{VLE}\left(\frac{W}{m^2}\right) = ?$

Considerando λ = 10.600 nm e $t_{imp\ sing} = 10^{-3}$ s

Tab.2.2. per t<10s $H_{VLE} = 5{,}6.10^3\ t^{0.25}\ \frac{J}{m^2} = 5{,}6\ 10^3\ (10^{-3})^{0.25} = 5.6\ 0.1778\ 10^3 \cong 995{,}84\ \frac{J}{m^2}$ con $t_{imp} = 10^{-3}$ s

Irradiazione all'occhio = 1 ms

$E_{VLE_{oc}} = \left(\frac{H_{VLE}}{t\ imp}\right) = \left(\frac{995{,}84}{10^{-3}}\right) Wm^{-2} = 9.96\ 10^5 \left(\frac{W}{m^2}\right) \cong 996\ kWm^{-2}$

2-Dato un laser collimato a <u>impulsi ripetuti</u> con Argon (λ =488 nm), t_{imp}=5 10 $^{-7}$ s, f=10kHz (t=10^{-4}s), visione accidentale (t=0,25 s), determinare:

2.1- il limite in termini di irradiazione o esposizione radiante H(J/m^2) applicando le <u>3 condizioni per impulsi ripetuti</u>;

2.2- cosa cambia se aumento il rateo di ripetizione degli impulsi a f=10MHz?

Ipotesi:

λ = 488 nm t_{imp}= 5 10^{-7} s f = 10kHz t= 0,25 s, laser collimato ossia considero α_{min}

2.1) Calcolare il limite in termini di esposizione radiante J/m^2 applicando le 3 condizioni per impulsi ripetuti

ossia determino 3 VLE con i 3 criteri: VLE singolo, medio, di additività termica)

2.1.1) Considero innanzitutto il criterio del "singolo impulso"

H_{single} = 5.10^{-3} C_E $\frac{J}{m^2}$ = $\mathbf{5\ 10^{-3}\ \frac{J}{m^2}}$ = 5 $\frac{mJ}{m^2}$ C_E =1 per sorgente puntiforme ($\alpha<\alpha_{min}$)

2.1.2) Considero ora il criterio della potenza media per "impulso medio" in

T=10^{-4}s ossia <u>l'esposizione media sulla durata della visione accidentale (t=0,25s)</u>

Calcolo il numero N degli impulsi in t = 0,25 s ossia N= txf

N= txf   ove N=n°imp t= 0,25s f= 10^{4}Hz

Quindi N = 0.25 s x 10.000 Hz = 2500 imp

Considero il valore di H_{VLE} (impulso esteso) per t = 0,25 s

da Tab.2.2 per λ = 488 nm con $\alpha<\alpha_{min}$ $H_{t\ 0,.25}=18\ t^{0,75}\ C_E\ \frac{J}{m^2} = 18 \times 0,25^{0,75}\ 1\ \frac{J}{m^2} \cong 6,36\ \frac{J}{m^2}$

(che è l'impulso "esteso" al treno per il tempo t = 0,25 s, ossia per visione accidentale)

Ora trovo valor medio **H_{med}** (H_{train}/N_{imp}= $\frac{Ht\ 0,25}{N} \cong \frac{6,36}{2500}\frac{J}{m^2} = \mathbf{2,54\ 10^{-3}}\ \frac{J}{m^2} \sim \mathbf{2,5}\ \frac{mJ}{m^2}$

2.1.3) Considero il criterio il treno di impulsi valido solo per l'effetto dell' "additività termica" (ossia vale solo per effetti termici!)

Dato che la frequenza (10 kHz) del laser è minore della frequenza effettiva massima ottenuta come inverso di T_{min}, nella Tab.2.6 per $\lambda = 488\ nm$ per l'addittività termica considero $C_P = N^{-0.25}$ con N = 2500 (vedi sopra)

H_{train} $=H_{single}\ N^{-0,25} = 5\ 10^{-3}\ 2500^{-0,25}\ \frac{J}{m^2} =$ **$7,07\ 10^{-4}\ \frac{J}{m^2}$**

Ora posso determinare a quale dei 3 limiti fare riferimento

Il valore di VLE che devo considerare è il più piccolo tra H_{single}, H_{med}, H_{train}.

In questo caso è **$H_{train} = 7,07\ 10^{-4}\ \frac{J}{m^2} = 0,707\ mJ/m^2$**

Si noti che in virtù dell'effetto termico il limite scende!

2.2 Cosa cambia se aumento il rateo di ripetizione degli impulsi a f=10MHz?

Se cambio la frequenza di ripetizione

da $f = 10^4$ Hz ($T=10^{-4}$s) a $f = 10^7$Hz ($T= 10^{-7}$s= 0.1 μs)

aumenta il rateo di ripetizione degli impulsi.

2.2.1) Il criterio del singolo impulso non cambia in quanto dipende solo da λ e dalla durata dell'impulso t_{imp} che non cambiano:

H_{single} = 5 10^{-3} $C_E \frac{J}{m^2}$ = **5 $10^{-3} \frac{J}{m^2}$** C_E =1 (resta uguale)

2.2.2) Considero ora il criterio della potenza media ossia il numero degli impulsi N in t=0,25 s che è superiore perché f è superiore:

N' = txf = 0,25s x 10^7 Hz = 2,5 10^6 impulsi (maggiore di prima N = 2500 imp)

D'altro canto $H_{0,25}$ =6,36 $\frac{J}{m^2}$ come prima per cui il valore di

H_{med} $=\frac{H\ 0,25}{N'} = \frac{6.36}{2.5\ 10^6}\frac{J}{m^2} = \mathbf{2,55\ 10^{-6}\ \frac{J}{m^2}}$ cambia! (prima era H_{med} = 2,54 10^{-3} $\frac{J}{m^2}$)

2.2.3) Anche il criterio dell'additività termica del treno sarà differente.

In questo caso f (10 MHz) > 55,6 kHz (f_{max}) per cui il numero degli impulsi vale:

$N_{effettivo}$= txf = 0,25 s x 55,6 10^3= 1,39 10^4 imp

A questo punto il valore dell'esposizione

H_{train} (18 μs) = H_{single} C_p= H_{single} x $N_{effettivo}^{-0,25}$= 5 10^{-3} (1,39 $10^4)^{-0.25}$ $\frac{J}{m^2}$ =4,6 $10^{-4}\frac{J}{m^2}$ confrontabili: prima era 7 10^{-4} $\frac{J}{m^2}$

Ora il limite per il treno va rapportato alla frequenza effettiva del laser f = 10 MHz = 10^7 Hz per cui

H_{train} $= \frac{\text{Htrain (18 μs)}}{18\ 10^{-6}\ s\ \ 10^7\ Hz} = \frac{4.6\ 10^{-4}}{180}\ \frac{J}{m^2} = \mathbf{2,56\ 10^{-6}\ \frac{J}{m^2}}$ **a 10 MHz**

H_{train} e H_{med} sono praticamente simili.

Da tab.2.6 per λ = 488 nm si ha T_{min}= 18 10^{-6} s= 18 µs che è maggiore della durata del singolo impulso (0,5 µs) ma minore della durata del treno (10^{-4}s = 10^{2} µs), quindi $t_{laser} < T_{min}$ (*)

Questa ultima relazione (tratta dalla tab.2.6 dell'All. XXXVII del Dlgs.81/08) "si applica solo a limiti di esposizione per la protezione da lesione termica laddove tutti gli impulsi che si verificano in meno di T_{min} sono trattati come singoli impulsi".

Oppure in termini di frequenza confronto la frequenza del laser (f=10 kHz) rispetto f_E che è l'inverso di T_{min}= 18 10^{-6} s= 18 µs.

In questo caso la relazione (*) richiede $f_E > f_{laser}$.

E infatti $f_E = \frac{1}{T_{min}} = \frac{1}{18\ 10^{-6} s} =$ 55,6 kHz > 10 kHz (frequenza del laser).

If pulse duration $t \leq T_i$, then:

For maximum anticipated exposure duration less than or equal to 0,25 s

C_5 = 1,0

For maximum anticipated exposure duration larger than 0,25 s

If $N \leq 600$ C_5 = 1,0

If $N > 600$ $C_5 = 5 \cdot N^{-0,25}$ with a minimum value of C_5 = 0,4

If pulse duration $t > T_i$, then:

For $\alpha \leq 5$ mrad:

C_5 = 1,0

For 5 mrad $< \alpha \leq \alpha_{max}$:

$C_5 = N^{-0,25}$ for $N \leq 40$

C_5 = 0,4 for $N > 40$

For $\alpha > \alpha_{max}$:

$C_5 = N^{-0,25}$ for $N \leq 625$

C_5 = 0,2 for $N > 625$

Unless $\alpha > 100$ mrad, where C_5 = 1,0 in all cases.

Lunghezza d'onda (nm)	Ti (sec)
$400 \leq \lambda < 1050$	18×10^{-6}
$1050 \leq \lambda < 1400$	50×10^{-6}
$1400 \leq \lambda < 1500$	10^{-3}
$1500 \leq \lambda < 1800$	10
$1800 \leq \lambda < 2600$	10^{-3}
$2600 \leq \lambda < 10^{-6}$	10^{-7}

Tabella 2.6 dell'All. XXXVII del D.lgs.81/08

2.2 Cosa cambia se aumento il rateo di ripetizione degli impulsi a f=10MHz?

Se cambio la frequenza di ripetizione

da $f = 10^4$ Hz ($T=10^{-4}$s) a $f = 10^7$Hz ($T= 10^{-7}$s= 0.1 μs)

aumenta il rateo di ripetizione degli impulsi.

2.2.1) Il criterio del <u>singolo</u> impulso non cambia in quanto dipende solo da λ e dalla durata dell'impulso t_{imp} che non cambiano:

$\mathbf{H_{single}} = 5\ 10^{-3}\ C_E \frac{J}{m^2} = \mathbf{5\ 10^{-3} \frac{J}{m^2}}$ $C_E = 1$ (resta uguale)

2.2.2) Considero ora il criterio della potenza <u>media</u> ossia il numero degli impulsi N in t=0,25 s che è superiore perché f è superiore:

$N' = t x f = 0{,}25 s \times 10^7\ Hz = 2{,}5\ 10^6$ impulsi (maggiore di prima N = 2500 imp)

D'altro canto $H_{0,25} = 6{,}36 \frac{J}{m^2}$ come prima per cui il valore di

$\mathbf{H_{med}} = \frac{H\ 0{,}25}{N'} = \frac{6.36}{2.5\ 10^6} \frac{J}{m^2} = \mathbf{2{,}55\ 10^{-6} \frac{J}{m^2}}$ cambia! (prima era $H_{med} = 2{,}54\ 10^{-3} \frac{J}{m^2}$)

2.2.3) Anche il criterio dell'additività termica del treno sarà differente.

In questo caso f (10 MHz) > 55,6 kHz (f_{max}) per cui il numero degli impulsi vale:

$N_{effettivo}$= txf = 0,25 s x 55,6 10^3= 1,39 10^4 imp

A questo punto il valore dell'esposizione

H_{train} (18 μs) = H_{single} C_p= H_{single} x $N_{effettivo}^{-0,25}$= 5 10^{-3} $(1,39\ 10^4)^{-0.25}$ $\frac{J}{m^2}$ =4,6 $10^{-4}\frac{J}{m^2}$ confrontabili: prima era 7 10^{-4} $\frac{J}{m^2}$

Ora il limite per il treno va rapportato alla frequenza effettiva del laser f = 10 MHz = 10^7 Hz per cui

$$\mathbf{H_{train}} = \frac{\text{Htrain (18 μs)}}{18\ 10^{-6}\ s\ \ 10^7\ Hz} = \frac{4.6\ 10^{-4}}{180}\frac{J}{m^2} = \mathbf{2,56\ 10^{-6}\ \frac{J}{m^2}} \text{ a 10 MHz}$$

H_{train} e H_{med} sono praticamente simili.