

Prot. n. 518 del 23 dicembre 2002

IPCF Rapporto Interno

N. 1/122002

REALIZZAZIONE DI UN AUTOCORRELATORE A
SINGOLO IMPULSO A DYE

Marco Galimberti

*Laboratorio per l'Irraggiamento con Laser Intensi, IPCF, Area della Ricerca CNR,
Via G. Moruzzi 1, 56124 Pisa, Italy
email: galimber@ifam.pi.cnr.it*

1 Introduzione

La misura della durata di impulsi laser corti può risultare complesso e/o richiedere strumentazione particolare. Il metodo più semplice, costituito da un fotodiode e un'oscilloscopio, è in grado di arrivare a tempi dell'ordine del nanosecondo, a meno di utilizzare fotodiode a vuoto ed oscilloscopi particolarmente veloci, nel qual caso si può arrivare sino a tempi dell'ordine di un centinaio di picosecondi.

La misurazione di impulsi più corti può essere fatta principalmente in due modi:

- utilizzo di strumenti elettro-ottici veloci (streak-camera)
- utilizzo di diagnostiche completamente ottiche

Il primo metodo, di semplice utilizzazione, richiede tuttavia una strumentazione sofisticata e costosa, una streak-camera veloce, che permette di misurare la durata di impulsi di luce fino a circa un picosecondo.

L'altro metodo rappresenta un ampio campo di strumentazione, anche a livello di ricerca, in grado di misurare impulsi fino a qualche femtosecondo.

Il sistema più semplice per misurare la durata di un impulso laser corto (decine di picosecondi), supponendo nota la forma dell'impulso (ad esempio gaussiana), è misurarne la funzione autocorrelazione dell'intensità al secondo ordine. Per far ciò in letteratura sono stati proposti vari setup sperimentali possibili. Se ne è scelto uno particolarmente semplice e in grado di funzionare a singolo colpo.

2 Setup sperimentale

Lo schema sperimentale dell'autocorrelatore utilizzato è mostrato in fig. 1. L'impulso laser, proveniente da destra, viene sdoppiato tramite un beam-splitter in due impulsi della stessa intensità.

L'impulso trasmesso dal beam-splitter entra in un prisma e, dopo due riflessioni totali a 90° , raggiunge una cella riempita di dye.

L'impulso riflesso viene invece inviato in un prisma retto montato su un binario, utilizzato come retro-reflector. Dopo essere stato riflesso a 90° da un'altro prisma retto, entra nella cella di dye, in modo da avere la stessa direzione di propagazione del primo impulso ma in verso opposto.

Spostando il prisma sul binario è possibile modificare la differenza di cammini ottici dei due impulsi, in modo da farli incontrare nel centro della cella di dye. Il binario risulta

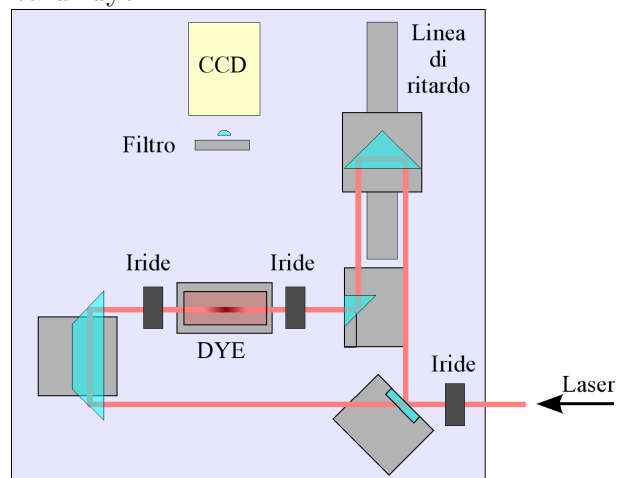


Figura 1: Schema di montaggio dell'autocorrelatore.

anche utile, come verrà mostrato in seguito, anche per la calibrazione temporale dello strumento.

La luce emessa dal dye illuminato dai due impulsi viene raccolta da una lente e inviata su una telecamera, in modo da farne un'immagine. Onde evitare che la luce laser diffusa dal dye accechi la telecamera sfalsando la misura è stato inserito un filtro blocca neodimio tra la cella del dye e la lente.

Nelle prove mostrate più avanti si è utilizzato Rodamina 6g come dye e una web-cam collegata ad un computer portatile come telecamera.

3 Principio di funzionamento

Lo strumento si basa sulla misura dell'autocorrelazione al secondo ordine g_2 dell'intensità I dell'impulso, definita come

$$g_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} I(\tau)I(t + \tau)d\tau \quad (1)$$

Per far ciò è necessario un elemento con nonlinearietà quadratica nell'intensità. Nel nostro setup, tale elemento è il dye scelto.

Consideriamo un dye che possa essere pompato dalla seconda armonica del laser di cui se ne vuole misurare la durata (ad esempio Nd). Dato che l'intensità è elevata, il dye risulta essere pompato per assorbimento a due fotoni direttamente dal laser. In tal modo il *rate* di pompaggio risulta essere proporzionale all'intensità al quadrato.

Chiamiamo l'asse z la coordinata lungo l'asse di propagazione dei due impulsi e supponiamo che all'istante $t = 0$ entrambi gli impulsi si trovino con il massimo di intensità nell'origine. L'emissione spontanea del dye S integrata nel tempo in un certo punto z è quindi

$$S(z) \propto \int_{-\infty}^{\infty} I(t)^2 dt \quad (2)$$

Analizziamo ora la propagazione dei due impulsi. Sia I_1 e I_2 le rispettive intensità luminose dei due impulsi. Data una forma di impulso $J(t)$, sia ha che

$$I_1(z, t) = I_{01} J(t - n/cz) \quad (3)$$

e

$$I_2(z, t) = I_{02} J(t + n/cz) \quad (4)$$

dove t è il tempo, z la coordinata spaziale, c la velocità della luce, n l'indice di rifrazione del dye e I_{01} e I_{02} le intensità massime dei due impulsi.

L'intensità totale I in un punto z della cella ed ad un tempo t risulta quindi

$$I(z, t) = I_1(z, t) + I_2(z, t) \quad (5)$$

Inserendo l' eq. 5 nella eq. 2 si ottiene

$$S(z) \propto \int_{-\infty}^{\infty} I_1(t)^2 dt + \int_{-\infty}^{\infty} I_2(t)^2 dt + 2 \int_{-\infty}^{\infty} I_1(t)I_2(t) dt \quad (6)$$

da cui

$$S(z) \propto (I_{01}^2 + I_{02}^2) \int_{-\infty}^{\infty} J(t)^2 dt + 2I_{01}I_{02} \int_{-\infty}^{\infty} J(t)J(t + 2n/cz) dt \quad (7)$$

Chiamando

$$\Gamma = \int_{-\infty}^{\infty} J(t)^2 dt \quad (8)$$

e

$$G_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} J(\tau)J(t + \tau) d\tau \quad (9)$$

la funzione di autocorrelazione al second'ordine di J si ottiene

$$S(z) \propto (I_{01}^2 + I_{02}^2) \Gamma + 2I_{01}I_{02}G_2(2n/cz) \quad (10)$$

Il segnale acquisito dalla telecamera sarà quindi una costante, data dal contributo di ogni singolo impulso al pompaggio del dye, più un contributo che dipende dalla posizione e che è proporzionale alla funzione di autocorrelazione dell'impulso. Inoltre si ricava anche il legame tra la coordinata z e il tempo di autocorrelazione τ

$$\tau = 2 \frac{n}{c} z \quad (11)$$

Supponendo ora una forma d'impulso J gaussiana

$$J(t) = \exp\left(-\pi \frac{t^2}{\delta t^2}\right) \quad (12)$$

dove δt è il parametro che determina la durata dell'impulso, e che i due impulsi abbiano la stessa intensità

$$I_{01} = I_{02} = I_0 \quad (13)$$

si ottiene

$$S(z) \propto \sqrt{2} I_0^2 \delta t \left(1 + \exp\left(-\pi \frac{(2n/cz)^2}{2\delta t^2}\right)\right) \quad (14)$$

ovvero, utilizzando il tempo di autocorrelazione τ

$$S(\tau) \propto \sqrt{2} I_0^2 \delta t \left(1 + \exp\left(-\pi \frac{\tau^2}{2\delta t^2}\right)\right) \quad (15)$$

Si può notare, infine, che ritardando uno dei due impulsi di Δt si ottiene

$$S(\tau) \propto \sqrt{2} I_0^2 \delta t \left(1 + \exp\left(-\pi \frac{(\tau + \Delta t)^2}{2\delta t^2}\right)\right) \quad (16)$$

cioè si ha una semplice traslazione dell'autocorrelazione

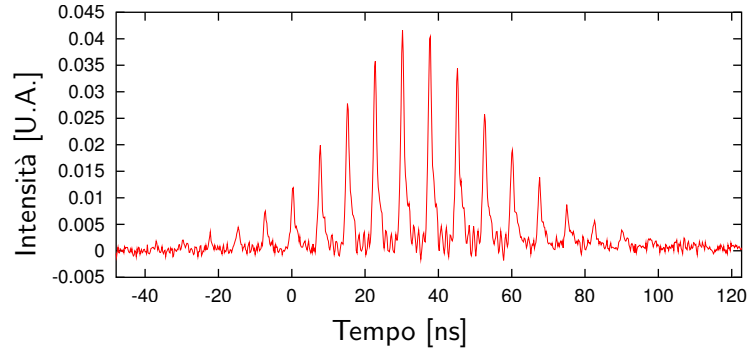


Figura 2: Treno di impulsi emesso dal laser.

4 Calibrazione e prime misure

Le prove di funzionamento e la calibrazione temporale sono state eseguite utilizzando un oscillatore Nd:YAG operante in mode-locking attivo-passivo e Q-switch attivo. Per problemi di segnale è stato utilizzato tutto il treno di impulsi emesso dal laser. Tale treno, acquisito con un fotodiodo veloce, è mostrato in fig. 2.

Dato l'andamento quadratico nell'intensità, l'utilizzo del treno comporta la misura della durata media degli impulsi più intensi.

Per ogni immagine acquisita (in fig. 3 ne è riportata a titolo di esempio), è stato eseguito un'integrazione verticale selezionando la striscia con il segnale.

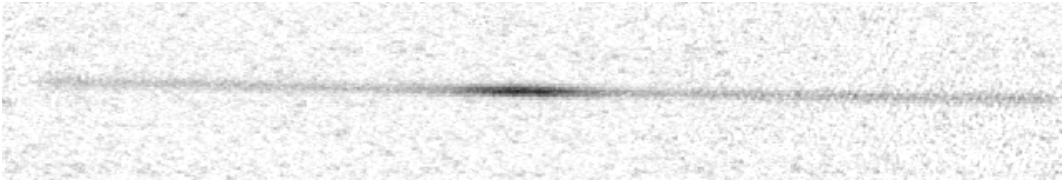


Figura 3: Esempio di immagine acquisita.

Sono state acquisite sei immagini con differenti tempi relativi tra i due impulsi, traslando di $[+10]$ mm e di $[-10]$ mm.

Si è quindi eseguito un fit (fig. 4) su ogni layout con la funzione

$$f(x) = A + Bx + C \exp\left(-\pi \frac{(x - D)^2}{2\tau^2}\right) \quad (17)$$

da cui si ottiene

Δt [ps]	D [pixel]	τ [pixel]
0	313.62 ± 0.53	46.5 ± 1.0
0	313.16 ± 0.70	49.5 ± 1.3
-66.7	410.96 ± 0.81	55.1 ± 1.5
-66.7	410.8 ± 1.5	54.5 ± 2.8
66.7	223.4 ± 1.0	44.7 ± 2.5
66.7	221.9 ± 1.3	44.7 ± 2.5

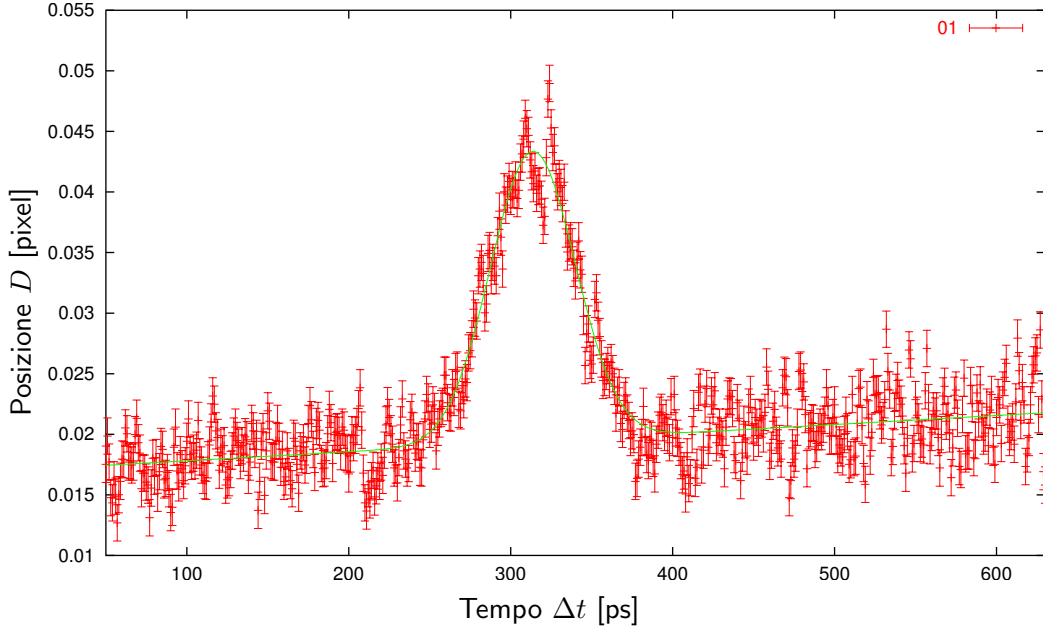


Figura 4: Autocorrelazioni misurate con relativo fit.

Infine, facendo un fit (fig. 5) tra Δt e D con una retta, si trova il legame η tra il tempo di autocorrelazione τ e la posizione z in pixel:

$$\eta = 0.707 \pm 0.010 \frac{\text{ps}}{\text{pixel}} \quad (18)$$

La durata dell'impulso è quindi

$$\tau = 34.6 \pm 1.1 \text{ ps} \quad \Delta T_{FWHM} = 32.5 \pm 1.0 \text{ ps} \quad (19)$$

5 Conclusioni

La messa a punto dell'autocorrelatore ha permesso di misurare direttamente la durata dell'impulso del sistema laser ai picosecondi. Lo strumento è risultato essere affidabile, richiedendo solo un'allineamento iniziale.

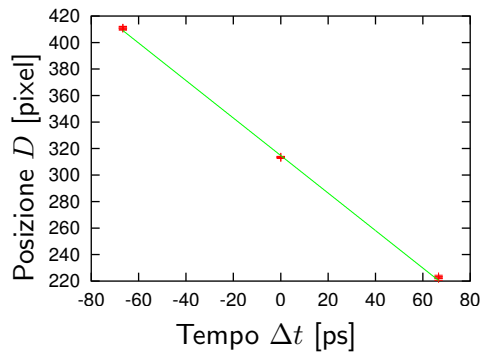


Figura 5: Fit di calibrazione temporale.

Dalle prime prove è risultata sufficiente un'energia per impulso di circa [1]mJ per poterne misurare la durata. La durata minima misurabile può essere stimata in circa [1]ps.

Rispetto al setup iniziale, possibili miglioramenti possono essere ottenuti sostituendo la web-cam con una telecamera più sensibile e/o meno rumorosa.

Indice

1	Introduzione	2
2	Setup sperimentale	2
3	Principio di funzionamento	3
4	Calibrazione e prime misure	5
5	Conclusioni	6