

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
1.1	Plasma medicine: trattamenti al plasma su tessuti biologici . . . . .	3
1.1.1	Coagulazione del sangue . . . . .	3
1.2	Cold Atmospheric Plasma . . . . .	3
1.2.1	Dielectric Barrier Discharge . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Descrizione delle sorgenti sviluppate</b>	<b>5</b>
2.1	Dal primo al terzo prototipo . . . . .	5
2.2	Attuale schema operativo . . . . .	5
2.2.1	Alimentatore e trigger ottico . . . . .	5
2.2.2	Testa . . . . .	5
2.3	Funzionamento e applicazione . . . . .	5
2.3.1	Segnale elettrico . . . . .	5
2.3.2	Forma e temperatura della <i>plume</i> di plasma . . . . .	7
2.3.3	Produzione specie gassose reattive . . . . .	7
2.3.4	Applicazione a campioni biologici . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Profilo elettrico</b>	<b>9</b>
3.0.1	Setup misure tensione e corrente . . . . .	9
3.0.2	Misure ed analisi . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Forma del plasma</b>	<b>15</b>
4.1	Riprese telecamera . . . . .	15
4.1.1	Setup . . . . .	15
4.1.2	Misure telecamera . . . . .	15
4.2	Profilo di temperatura . . . . .	15
4.2.1	Setup . . . . .	15
4.2.2	Misure di temperatura . . . . .	15
<b>5</b>	<b>Analisi spettrometrica</b>	<b>17</b>
5.1	Setup di acquisizione . . . . .	17
5.2	Presentazione ed analisi misure . . . . .	18
5.2.1	Riconoscimento righe . . . . .	18

5.2.2	He + H <sub>2</sub> O e He + NH <sub>3</sub> . . . . .	18
5.2.3	Stima temperatura . . . . .	18
<b>6</b>	<b>Test su tessuti biologici</b>	<b>19</b>
6.1	Setup misure . . . . .	19
6.2	Analisi risultati . . . . .	19
<b>7</b>	<b>Conclusioni e sviluppi</b>	<b>21</b>

# Capitolo 1

## Introduzione

### 1.1 Plasma medicine: trattamenti al plasma su tessuti biologici

#### 1.1.1 Coagulazione del sangue

### 1.2 Cold Atmospheric Plasma

#### 1.2.1 Dielettrical Barrier Discharge



## Capitolo 2

# Descrizione delle sorgenti sviluppate

### 2.1 Dal primo al terzo prototipo

### 2.2 Attuale schema operativo

#### 2.2.1 Alimentatore e trigger ottico

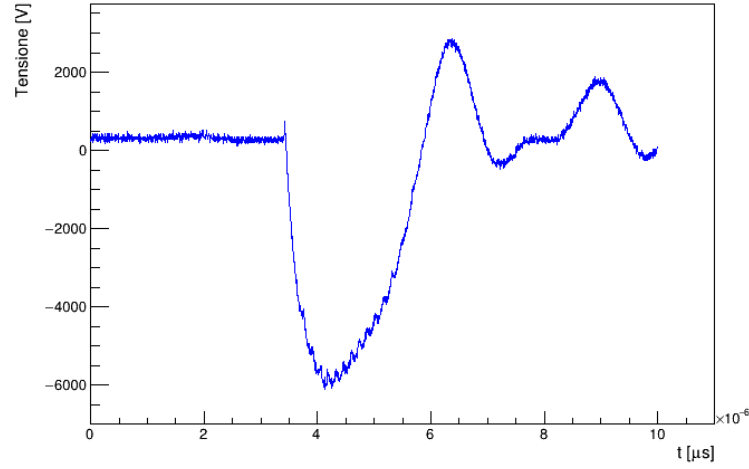
#### 2.2.2 Testa

### 2.3 Funzionamento e applicazione

#### 2.3.1 Segnale elettrico

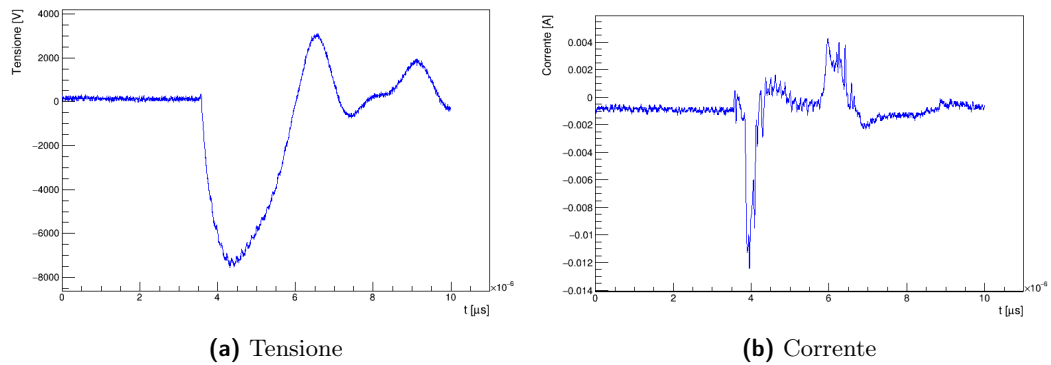
**Tensione** Vengono effettuate misure della tensione in uscita dal secondario utilizzando una sonda per l'alta tensione, al variare dei parametri del segnale in ingresso: frequenza ( $f$ ) e duty cycle ( $\Delta t$ ). Scelta la frequenza di lavoro, viene variata la duty cycle in un range utile, considerando il tempo necessario al terminare delle oscillazioni del segnale prima dell'arrivo di una nuova onda quadra (per frequenze maggiori si potrà arrivare a duty cycle minori). Le misure vengono rilevate con un oscilloscopio in grado di salvare tutta la forma dell'onda misurata. Si ottengono curve come in figura 2.1. La risoluzione della misura (V/div) viene variata in modo da avere l'errore di misura minore possibile. Le prime misure effettuate sono una verifica della tensione in uscita dal circuito secondario in aria, senza aggiunta di gas. Per le misure successive viene immesso nella sezione finale della sorgente del gas He, con un flusso di 21/min.

**Corrente** Vengono effettuate misure della corrente passante tra la sorgente di plasma e un bersaglio metallico. Viene posta una piastra di rame (dimensioni  $2\text{ cm} \times 2\text{ cm} \times 0.5\text{ cm}$ ) ad una distanza di 1 cm dall'elettrodo della sorgente. La piastra bersaglio viene collegata ad una sonda per la misura di corrente, per la quale un segnale letto dall'oscilloscopio come 10 mV corrisponde a 10 mA. Viene inoltre collegata all'uscita del circuito secondario la sonda per l'alta tensione usata precedentemente, in modo da visualizzare contemporaneamente la tensione e la corrente in uscita dalla sorgente. Nuovamente vengono effettuate



**Figura 2.1:** Esempio di misura di tensione,  $f = 5 \text{ kHz}$  e  $\Delta t = 16 \text{ } \mu\text{s}$

misure al variare dei parametri del segnale in ingresso: frequenza ( $f$ ) e duty cycle ( $\Delta t$ ), con le stesse modalità delle misure di tensione. Tutte le misure sono effettuate con flusso di gas He pari a 21/min. Si ottengono curve come in figura 2.2. Il picco di tensione è identico a quello misurato precedentemente, con valori tipici tra i 3 e i 6 kV, coerenti con le scorse misure per il range di parametri utilizzato. La corrente presenta sempre un primo picco negativo ed un picco secondario positivo, con valori tra i 2 e i 12 mA.



**Figura 2.2:** Esempio di misure di corrente e tensione per  $f = 5 \text{ kHz}$  e  $\Delta t = 24 \text{ } \mu\text{s}$ .

### 2.3.2 Forma e temperatura della *plume* di plasma

#### 2.3.3 Produzione specie gassose reattive

Per caratterizzare il gas in uscita dalla sorgente vengono eseguite delle misure spettrometriche.

**Righe spettrali** Lo scopo è di osservare in particolar modo le specie reattive dell'ossigeno e dell'azoto prodotte dalla sorgente, quindi vengono effettuate acquisizioni in tutto il range di lunghezze d'onda interessato (300–900 nm) e centrate sulle righe relative alle molecole OH (305.00–313.00 nm), N<sub>2</sub> (668.00–676.00 nm) e NO (220.0–290.0 nm).

**Composizione del gas** Si vuole osservare l'intensità relativa delle righe al variare del gas in ingresso, quindi la sorgente viene azionata con diverse miscele di gas. La misura standard viene effettuata con flusso di He, nella solita modalità di funzionamento della sorgente. Vengono poi predisposte due ulteriori modalità di misura dove il gas viene fatto gorgogliare in una soluzione di acqua o di ammoniaca prima dell'inserimento all'uscita della sorgente, per arricchire i prodotti delle reazioni rispettivamente ioni OH e di specie reattive dell'azoto.

**Temperatura molecole** A partire dalla forma delle righe di alcune specie molecolari, è possibile stimare la temperatura alla quale avviene l'emissione misurata. Le emissioni dovute alla molecola OH sono diverse righe compresi tra 306 nm e 310 nm (vedi articolo), dalle intensità variabili a seconda della temperatura delle molecole. Le emissioni dovute a transizioni di stati rotazionali della molecola N<sub>2</sub> sono invece righe comprese tra 326 nm e 338 nm (vedi articolo). Entrambe le misure sono una stima della temperatura degli ioni che compongono il gas, ad esempio per l'OH si avrà uno spettro del tipo presentato in Equazione 2.1 (vedi articolo):

$$\begin{aligned}
 I_i(T) &= I_{0,i} \exp - \frac{E_n(T - T_0)}{T_0 T} \\
 S_i(\lambda, T) &= \frac{I_i(T)}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \frac{(\lambda - \lambda_i)^2}{2\sigma^2} \\
 S(\lambda, T) &= \sum_i S_i(\lambda, T)
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

dove  $I_i$  è l'intensità ad una determinata energia  $E_n$  e  $I_{0,i}$  è l'intensità misurata alla temperatura conosciuta  $T_0$ , mentre  $S_i$  è la convoluzione di  $I_i$  con una distribuzione gaussiana nelle  $\lambda$  e lo spettro finale sarà la somma di tutti i picchi.

#### 2.3.4 Applicazione a campioni biologici





## Capitolo 3

# Profilo elettrico

### 3.1 Setup misure tensione e corrente

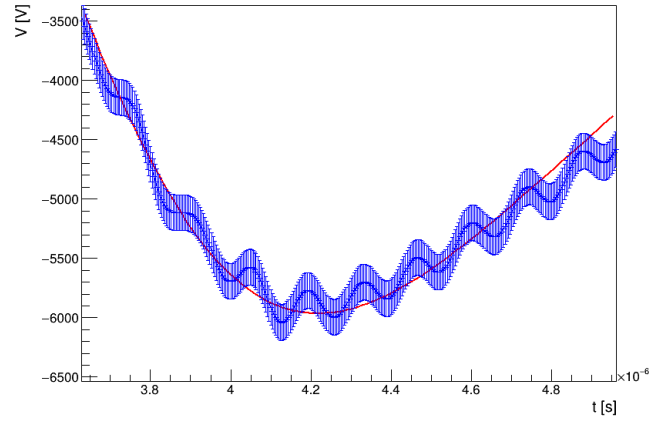
### 3.2 Misure ed analisi

**Tensione** Ogni set di misure viene processato eseguendo la trasformata di Fourier del segnale (usando le routine `fftw3` delle librerie `ROOT`), tagliando le oscillazioni ad alta frequenza e ricostruendone una media. L'obiettivo è di migliorare la stima della posizione del minimo del picco andando ad escludere le oscillazioni a frequenza molto alta del circuito. A queste misure viene aggiunto l'errore dovuto al taglio delle alte frequenze, preso come una media del valore assoluto dell'oscillazione del segnale tagliato. Viene inoltre aggiunto l'errore caratteristico dello strumento di misura, ma è trascurabile rispetto le oscillazioni veloci. Il valore del minimo viene trovato interpolando il set di misure attorno il minimo con una funzione di Landau, in modo da riprodurre l'asimmetria del picco. Da questo fit viene calcolato il massimo. In figura 3.4 un esempio del fit.

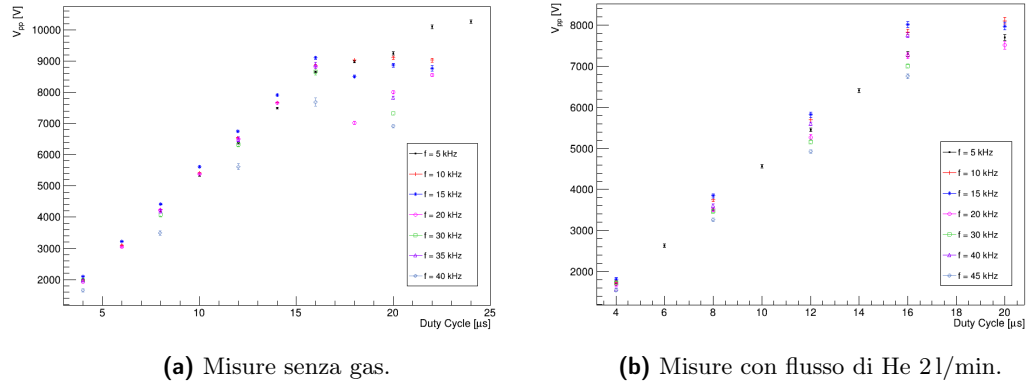
Le tensioni del picco così calcolate, al variare della duty cycle per le diverse frequenze, sono presentate in figura 3.2. Per tutte le frequenze di lavoro, sia con gas che senza gas, tra i  $4\mu\text{s}$  e i  $16\mu\text{s}$  risulta un andamento lineare, con tensione variabile tra i 2 kV e i 9 kV. Aumentando ancora il tempo di apertura del circuito la tensione arriva a valori più elevati, fino a un massimo di circa 10 kV, ma viene perso l'andamento lineare.

Vengono quindi calcolati i coefficienti dell'interpolazione lineare per le varie frequenze, presentati in figura 3.3. Come si può vedere i parametri non presentano un andamento specifico, sono disposti in modo casuale rispetto la loro media. Questo porta a concludere che non vi sia una dipendenza del funzionamento del circuito dalla frequenza.

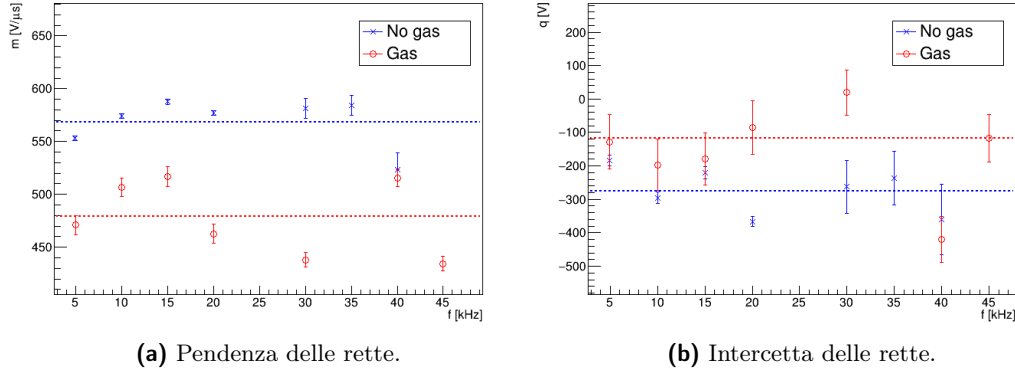
Nell'analisi così proposta, viene ignorato che considerando l'errore associato alla stima dei parametri, i valori risultano incompatibili con un valore medio costante. Questo perché gli errori risultanti sono molto sottostimati: gli errori maggiori sono dovuti alle oscillazioni del picco principale al momento della misura, per migliorare la stima del picco bisognerebbe prendere più set di dati per ogni tempo di apertura del circuito.



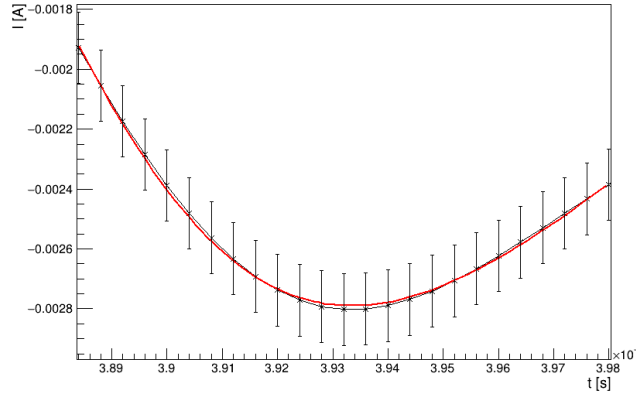
**Figura 3.1:** Esempio di fit del picco di tensione,  $f = 5 \text{ kHz}$  e  $\Delta t = 16 \mu\text{s}$



**Figura 3.2:** Tensioni di picco misurate al variare del tempo di apertura del circuito (Duty Cycle) e per diverse frequenze.



**Figura 3.3:** Parametri dell'interpolazione lineare dei set di misure nel range, al variare della frequenza.

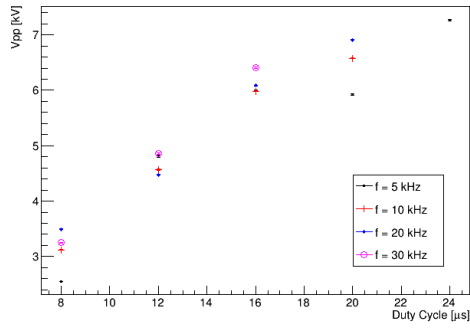


**Figura 3.4:** Esempio di fit del picco di corrente,  $f = 5$  kHz e  $\Delta t = 24$   $\mu$ s

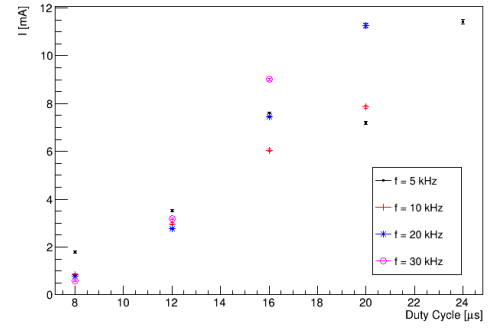
**Corrente** L'analisi proposta è uguale a quella pensata per i set di misure precedenti: vengono tagliate le oscillazioni ad alta frequenza, ricostruito il segnale (aggiungendo l'errore dovuto al taglio delle alte frequenze e agli strumenti di misura) e il valore del minimo viene trovato interpolando con una funzione di Landau. Da questo fit vengono calcolati valori e posizione di picco di tensione, picco di corrente primario e picco di corrente secondario. In figura 3.4 un esempio del fit.

Le tensioni del picco così calcolate, al variare della duty cycle per le diverse frequenze, sono presentate in figura 3.5. Nuovamente troviamo un andamento lineare per la tensione di picco tra i 4 e i 16  $\mu$ s. Anche il picco primario di corrente presenta questo andamento lineare, mentre per il picco secondario non è possibile identificare un comportamento simile, i valori si disperdono in modo apparentemente casuale.

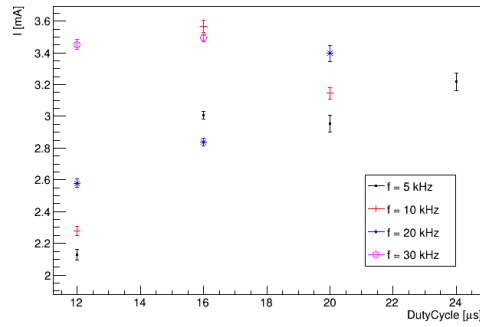
Per il picco di tensione e il primo picco di corrente vengono quindi calcolati i coefficienti dell'interpolazione lineare delle diverse frequenze, presentati in figura 3.6. Per i



(a) Modulo del picco di tensione.

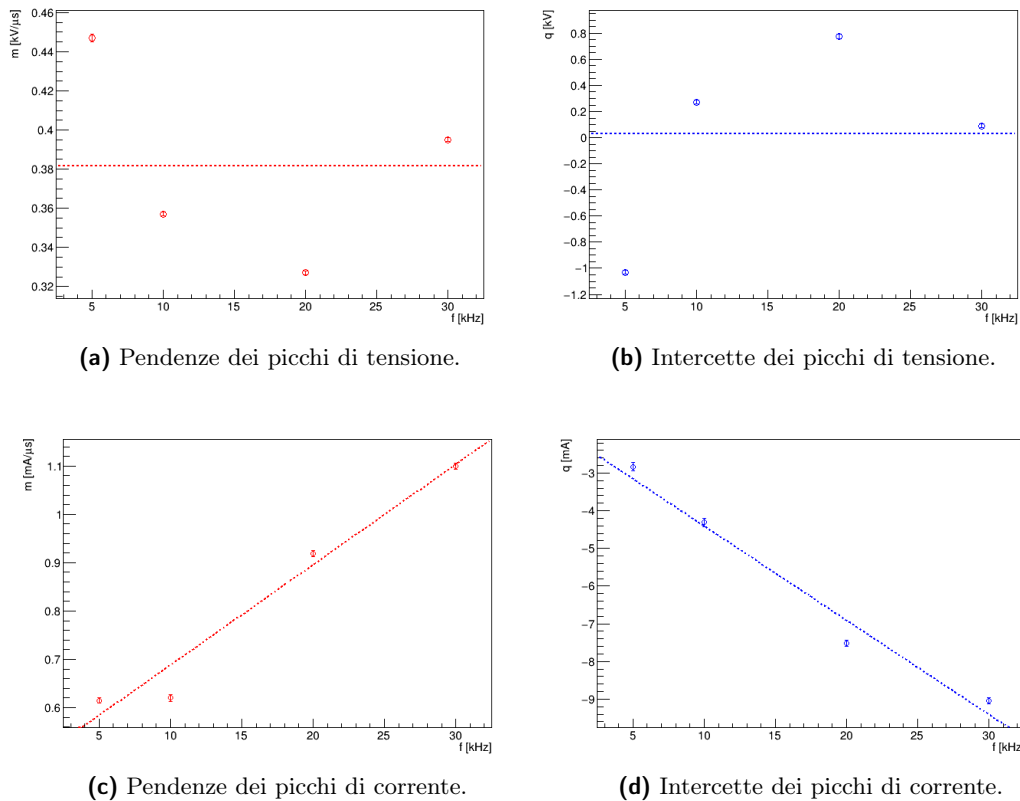


(b) Modulo del picco primario di corrente.



(c) Picco secondario di corrente.

**Figura 3.5:** Valori dei picchi misurati al variare del tempo di apertura del circuito (Duty Cycle) e per diverse frequenze.

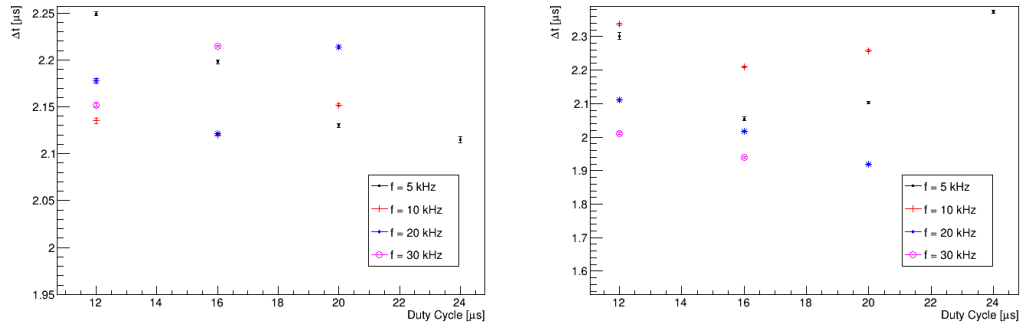


**Figura 3.6:** Parametri dell'interpolazione lineare dei picchi delle misure di tensione e corrente.

picchi di tensione nuovamente non viene trovato un andamento specifico dei parametri, i valori si assestano attorno una media lievemente inferiore rispetto le misure riportate precedentemente. Per i picchi di corrente invece viene riscontrato un aumento della pendenza della retta all'aumentare della frequenza, sembrerebbe che a frequenze più elevate la corrente salga più velocemente aumentando il tempo di chiusura del circuito.

In ogni caso sono stati presi pochi set di misure, volendo concentrarsi sull'ordine di grandezza di tensione e corrente all'uscita dalla sorgente, un numero insufficiente per l'analisi di questi effetti.

Data la possibilità di visualizzare contemporaneamente sia la tensione sia la corrente in uscita dal circuito, viene proposta un'analisi delle variazioni temporali tra i diversi picchi. In particolare viene calcolato il tempo tra i due picchi di corrente e tra il picco di tensione e il picco di corrente primario, mostrati in figura 3.7. In entrambi i casi non è possibile estrapolare un andamento particolare, indicando che non vi sono differenze significative nei tempi di salita dei picchi al variare del tempo di apertura del circuito e della frequenza.



(a) Tempo tra i picchi di corrente.

(b) Tempo tra picco tensione e primo picco di corrente.

**Figura 3.7:** Misura delle differenze temporali tra i picchi.

## Capitolo 4

# Forma del plasma

### 4.1 Riprese telecamera

#### 4.1.1 Setup

#### 4.1.2 Misure telecamera

### 4.2 Profilo di temperatura

#### 4.2.1 Setup

#### 4.2.2 Misure di temperatura





## Capitolo 5

# Analisi spettrometrica

### 5.1 Setup di acquisizione

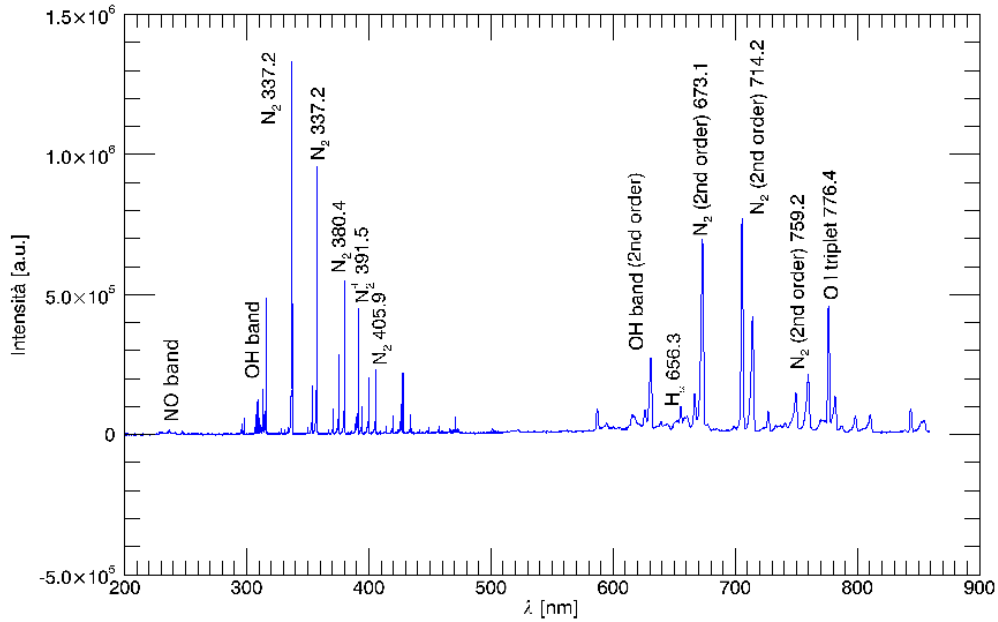
Viene utilizzato lo spettrometro isoplane BES1 (descrizione vedi articolo), con tre diversi grating: 150, 1200 e 2400. Il grating a risoluzione maggiore viene utilizzato per acquisire le righe OH e  $N_{2,rot}$  (relative agli stati rotazionali), mentre quello a media risoluzione per acquisire le righe  $N_{2,vib}$  (relative agli stati vibrazionali). Per acquisire lo spettro totale vengono utilizzati sia il grating a risoluzione minore, sia quello a media risoluzione.

L'apparato sperimentale consiste nella sorgente in funzione a distanza di 1 cm dal bersaglio in metallo (collegato a terra) con l'ottica focalizzata sul flusso di gas, come in foto 5.2. Vengono distinte due posizioni dell'ottica, una vicino l'uscita della sorgente, una vicino il punto di impatto sul bersaglio, permettendo di osservare la variazione di intensità delle linee. I parametri impostati nella sorgente sono quelli del setup standard,  $f = 5 \text{ kHz}$  e  $\Delta t = 16 \text{ ps}$ .

Per ogni acquisizione viene stabilito un tempo di acquisizione idoneo ad avere un numero ottimale di eventi, evitando la saturazione dei singoli canali. Una volta stabilito il tempo di acquisizione viene eseguita una misura di fondo, a sorgente spenta, e successivamente viene avviata la misura con sorgente attiva.



**Figura 5.1:** Configurazione per le misure spettrometriche. Si vedono la sorgente in funzione, il bersaglio in metallo, obiettivo e fibra ottica a sinistra.



**Figura 5.2:** Spettro acquisito con condizioni di misura standard ( $f = 5$  kHz e  $\Delta t = 16$  ps), obiettivo puntato vicino l'uscita del gas dalla sorgente.

## 5.2 Presentazione ed analisi misure

### 5.2.1 Riconoscimento righe

Il riconoscimento dei picchi viene effettuato tramite la classe `TSpectrum` presente nelle librerie `ROOT`, vengono esclusi i picchi dovuti al fondo. In figura ?? si vedono le principali righe estrapolate dalle acquisizioni, in particolare si vedono le righe relative ad NO, OH, H<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>, tabulate in Tabella .

L'acquisizione migliore, nella quale vengono riconosciuti più picchi, è quella mostrata in Figura ??, corrispondente alla posizione 1, obiettivo puntato sulla sorgente. L'acquisizione in posizione 2 presenta un rate di conteggi/s molto minore, ma si riescono a riconoscere le transizioni più intense di ogni molecola.

### 5.2.2 He + H<sub>2</sub>O e He + NH<sub>3</sub>

### 5.2.3 Stima temperatura

La procedura consiste nel simulare diversi spettri  $S(\lambda, T)$  come presentati in 2.1 e in ?? e viene selezionato quello dagli scarti minori rispetto le misure.

## Capitolo 6

# Test su tessuti biologici

### 6.1 Setup misure

### 6.2 Analisi risultati



## Capitolo 7

# Conclusioni e sviluppi