

Esperienza di Franck-Hertz

Gruppo BN
Federico Belliardo, Marco Costa, Lisa Bedini

24 febbraio 2017

1 Scopo dell'esperienza

Obiettivo dell'esperienza è dimostrare la struttura discreta dei livelli energetici dell'atomo di Neon e di stimarne l'energia di eccitazione mediante lo studio degli effetti dissipativi negli urti anelastici di elettroni su atomi di Neon.

2 Materiale occorrente

- Tetrodo a gas Neon ELWE U8482230.
- Sistema di alimentazione e lettura di corrente ELWE.
- Oscilloscopio Tektronix TDS 1012.

3 Descrizione esperimento di Franck-Hertz

L'esperienza prevede lo studio delle collisioni anelastiche elettrone-atomo in un gas di Neon e della relativa fluorescenza indotta dall'eccitazione dei livelli energetici interni. Gli elettroni prodotti per effetto termoionico da un filamento al calor rosso sono accelerati attraverso due griglie di potenziale, tra le quali interagiscono con il Neon, e successivamente raccolti da un anodo dal quale si misura l'intensità di corrente. L'insieme di questi elementi si chiama tetrodo a gas. Di seguito è riportata la nomenclatura riguardante le tensioni utilizzata nell'esperienza e lo schema circuitale (figura 1):

- U_F : differenza di potenziale applicata al filamento (catodo) rispetto alla terra che ne regola la temperatura, è posta uguale a $U_F = 8.0 \pm 0.1 V$ (incertezza strumentale) e tenuta costante.
- U_G : differenza di potenziale applicata alla griglia di controllo rispetto al catodo, regola l'estrazione degli elettroni dal metallo per effetto fotoelettrico a freddo (effetto tunnel). Questa tensione regola l'emissività del catodo, cioè il numero di elettroni emessi per unità di tempo e quindi l'intensità della fluorescenza.
- U_A : differenza di potenziale applicata tra il catodo e la griglia anodo al fine di accelerare gli elettroni; nella configurazione a rampa di potenziale questo valore indica il massimo potenziale raggiunto dall'anodo.
- U_E : differenza di potenziale tra la griglia anodo e il collettore applicata al fine di stabilire un campo elettrico frenante per gli elettroni che emergono dall'anodo.

Un amplificatore operazionale a transimpedenza fornisce in uscita una tensione proporzionale alla corrente di collettore I_C .

4 Osservazioni qualitative

Per un valore di $U_G = 3.2 \pm 0.1 V$, fisso durante l'esperienza, abbiamo stimato, guardando attraverso la finestra di osservazione, che alle tensioni $U_{A1} = 25 \pm 1 V$, $U_{A2} = 41 \pm 1 V$, $U_{A3} = 56 \pm 1 V$ compaiono in sequenza le barre arancioni. Queste misure sono state ottenute agendo direttamente su U_A in modalità manuale.

Per l'errore sulla misura di U_G si è presa l'incertezza strumentale della suddivisione della ghiera con cui si variava la tensione stessa.

Il parametro U_G regola la sola intensità della luminescenza (a causa del diverso numero di elettroni che fanno

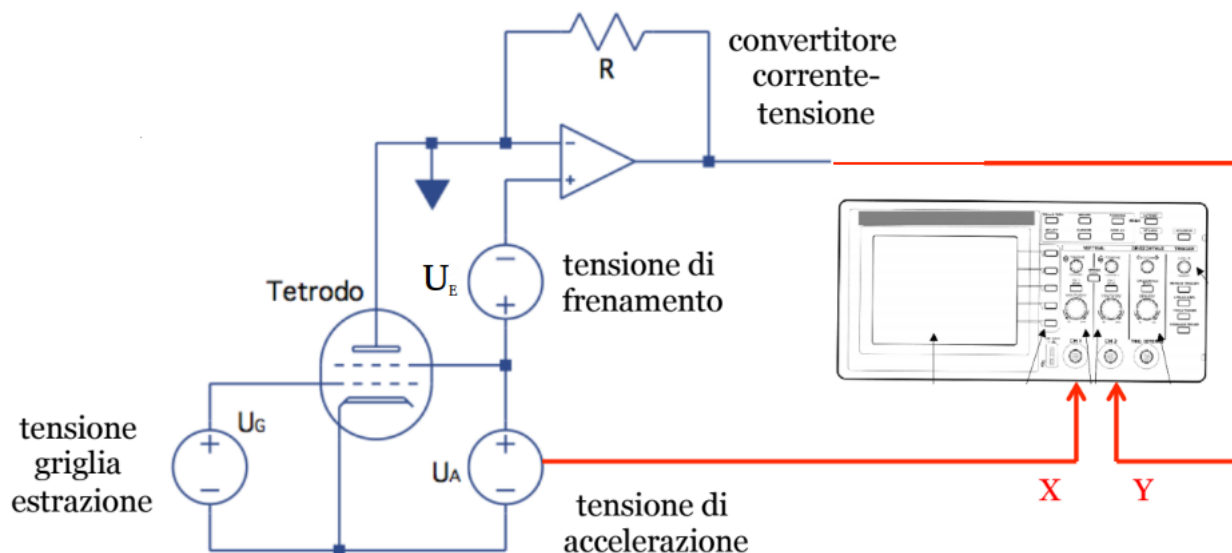


Figura 1: Schema circuito dell'esperimento e di acquisizione dati.

urto elastico) ma non influenza il fatto che la luminescenza appaia o meno.

In tutte le operazioni seguenti lavoreremo con il generatore di tensione in modalità rampa e con l'oscilloscopio in modalità XY, dove sull'asse delle ascisse troviamo la tensione U_A e sull'asse delle ordinate la tensione di uscita dell'amplificatore che è proporzionale alla corrente I_C . Come errore sulle differenze di potenziale si è presa l'incertezza strumentale del sistema di lettura del tetrodo. Nelle figure 2, 3, 4 sono riportati tre grafici acquisiti con $U_A = 80.0 \pm 1.0 V$ variando nei 3 casi la tensione di frenamento U_E . L'oscilloscopio è stato posto in modalità XY e abbiamo aumentato la persistenza dell'immagine per una migliore resa dell'immagine.

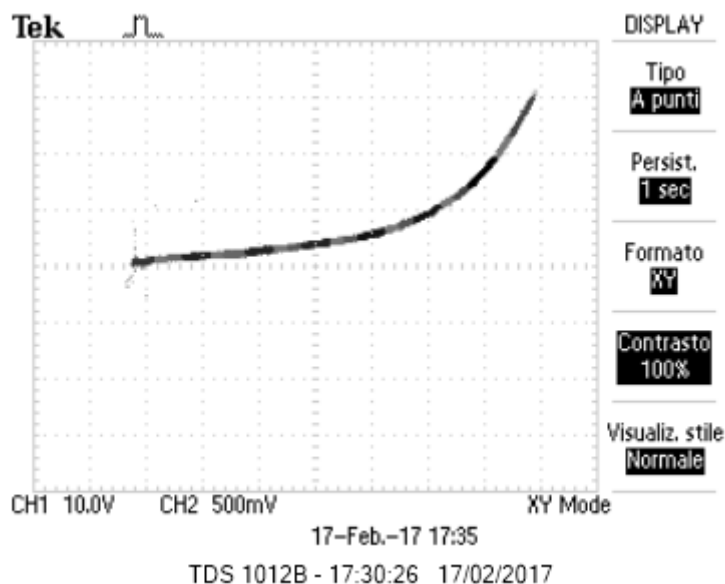


Figura 2: Corrente I_C per una tensione $U_E = 0.0 \pm 0.1 V$.

A $U_E = 0.0 \pm 0.1 V$ l'andamento di I_C è monotono in funzione di U_A . Se la differenza di potenziale frenante è nulla non c'è possibilità di frenare gli elettroni e anche quelli che hanno interagito subito prima del ricevente accelerano nel piccolo spazio a disposizione e partecipano alla corrente. Pertanto a $U_E = 0.0 \pm 0.1 V$ non si osserva il comportamento oscillante della corrente anche se si vedono le bande luminose.

Nella fig. 4 si osserva che i minimi della corrente scendono sotto lo zero. Questo significa che per quei valori di tensione la corrente scorre in verso opposto a quello negativo. Non si ritiene che sia un effetto spurio legato all'amplificatore usato ma non si riesce a darne una interpretazione consistente.

Variando U_E compaiono i minimi e i massimi e all'aumentare del potenziale di frenamento sono sempre più

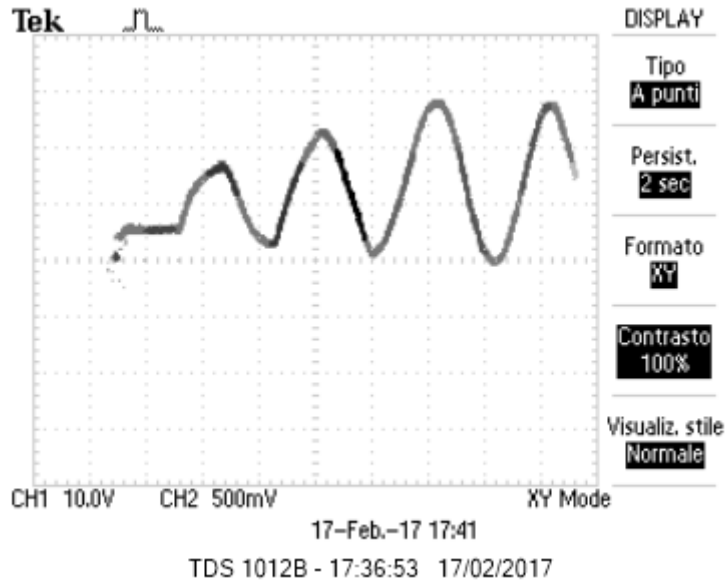


Figura 3: Corrente I_C per una tensione $U_E = 9.6 \pm 0.1 V$.

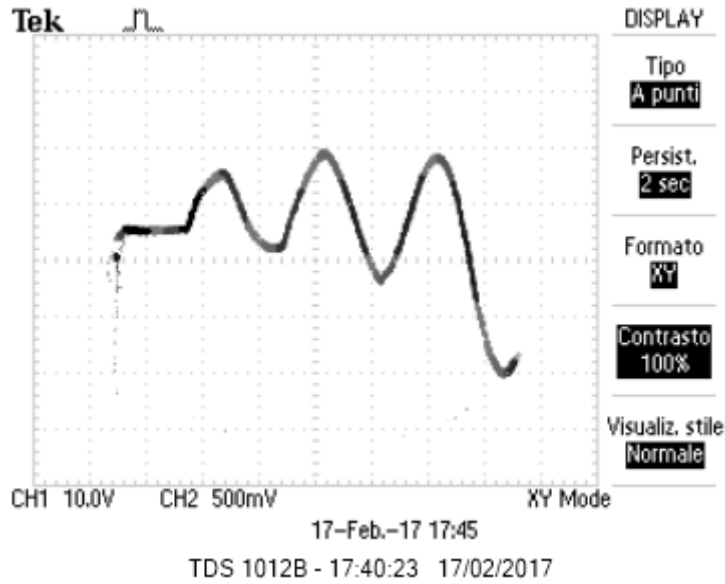


Figura 4: Corrente I_C per una tensione $U_E = 10.9 \pm 0.1 V$.

pronunciati. Per un valore fisso di U_A (massimo potenziale sull'anodo) il numero di minimi e massimi della curva $I_C - U_A$ non cambia al variare di U_E .

In particolare esiste un valore di U_E per cui i minimi della corrente sono tutti alla stessa altezza, questa situazione come si vede in figura 3 si ottiene per $U_E = 9.6 \pm 0.1 V$.

5 Raccolta ed elaborazione dati

Come prima cosa, intendiamo trovare i valori di U_A per cui si osservano i massimi e i minimi (a U_E fissato) della corrente I_C , e osservare che questi valori non dipendono dal valore della tensione di frenamento U_E . A fissato U_E si sono acquisiti i dati con l'oscilloscopio tramite apposita funzione. Tali set di dati presentano effetti della digitalizzazione operata dall'acquisizione automatica con l'oscilloscopio.

Per ogni dato di tensione U_A l'acquisizione fornisce più dati della corrente. Questo è dovuto al fatto che la rampa viene in realtà salvata sul computer come insieme di gradini a tensione costante e crescenti, a questo *plateau* di tensione viene associato tutto un intervallo di corrente I_C che ovviamente non presenterà *plateau*

di digitalizzazione corrispondenti. Si sono regolarizzati i dati (tramite script di Python) associando ad ogni valore di U_A il punto medio dell'intervallo sopra descritto. Come errori si sono presi 2V, ossia la precisione dell'acquisizione sulla rampa. Nella tabelle 2, 1 e nei grafici 6, 5 sono riportati i valori di U_A a cui si osservano i massimi e i minimi della corrente in funzione del potenziale di frenamento U_E (ottenuti dai set di dati "ripuliti").

$U_E(V)$	$U_A(V)$	$U_A(V)$	$U_A(V)$
$2.9 \pm 0.1 V$	22 ± 2	40 ± 2	58 ± 2
$6.0 \pm 0.1 V$	24 ± 2	42 ± 2	62 ± 2
$9.5 \pm 0.1 V$	28 ± 2	46 ± 2	66 ± 2

Tabella 1: Tabella dei minimi di U_A in funzione di U_E .

$U_E(V)$	$U_A(V)$	$U_A(V)$	$U_A(V)$
$2.9 \pm 0.1 V$	20 ± 2	38 ± 2	58 ± 2
$6.0 \pm 0.1 V$	18 ± 2	35 ± 2	55 ± 2
$9.5 \pm 0.1 V$	18 ± 2	36 ± 2	54 ± 2

Tabella 2: Tabella dei massimi di U_A in funzione di U_E .

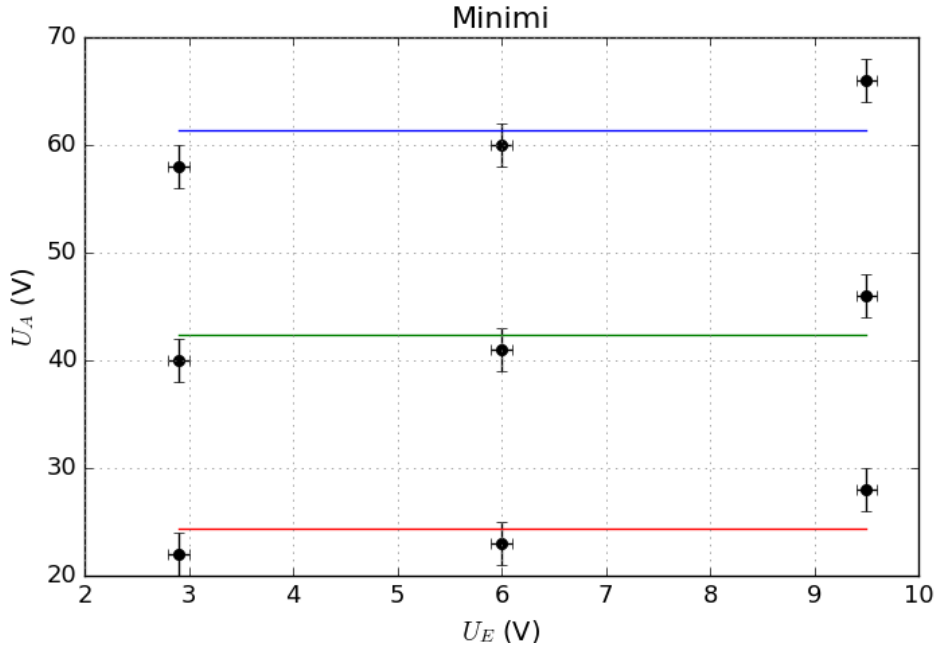


Figura 5: Tabella dei minimi di U_A in funzione di U_E .

Per verificare che i valori di U_A per i quali si osserva un massimo/minimo di I_C non dipendono da U_E , si sono eseguiti sei *fit* di costanti utilizzando la funzione *curvefit* della libreria *pylab* con l'opzione *absolute sigma = "true"*. Nelle tabelle 4, 3 si riportano i valori medi ottenuti dai fit con il relativo errore e χ^2 .

Il massimo della corrente è il valore di tensione U_A per cui inizia a verificarsi il trasferimento di energia tra gli elettroni e gli atomi di neon.

Non si è inserito nel grafico dei massimi quello visibile solo per $U_E = 9.5 \pm 0.1 V$ poiché questo quarto massimo era visibile solamente in questa acquisizione.

$U_A(V)$	$\chi^2/2$
24 ± 1	$5/2$
42 ± 1	$5/2$
61 ± 1	$8/2$

Tabella 3: Tabella dei minimi medi di U_A .

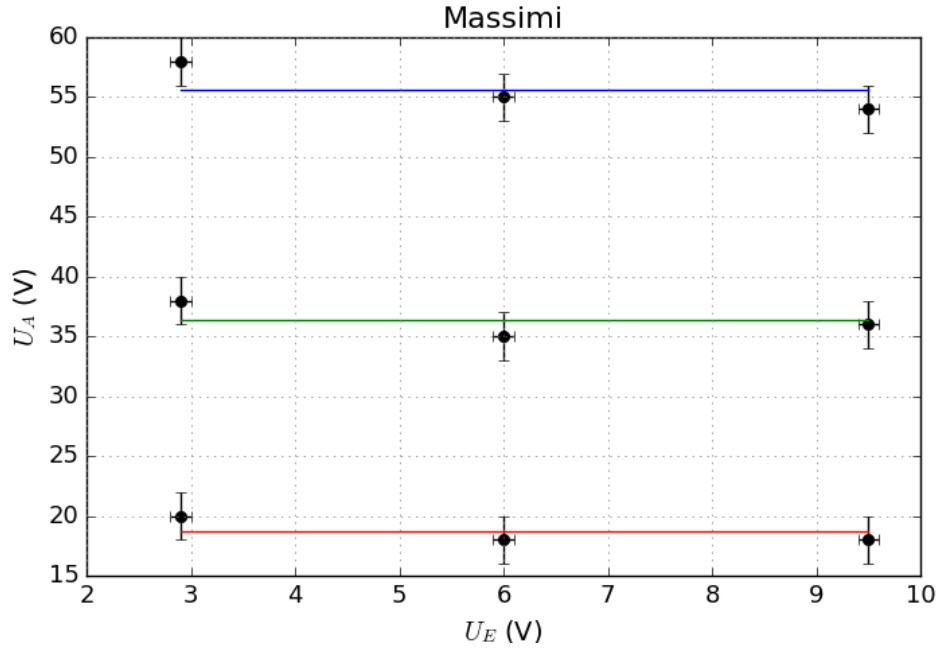


Figura 6: Tabella dei massimi di U_A in funzione di U_E .

U_A (V)	$\chi^2/2$
18 ± 1	$0.6/2$
36 ± 1	$1/2$
55 ± 1	$2/2$

Tabella 4: Tabella dei massimi medi di U_A .

I χ^2 associati ai fit sono migliori nei casi di fit ai massimi che rimangono costanti al variare di U_E . Si può vedere che i valori delle correnti minime manifestano in realtà un andamento non banale, si vede infatti che tendono ad aumentare all'aumentare di U_A .

Nelle figure 7, 8, 9 sono riportati i grafici della corrente in unità arbitrarie.

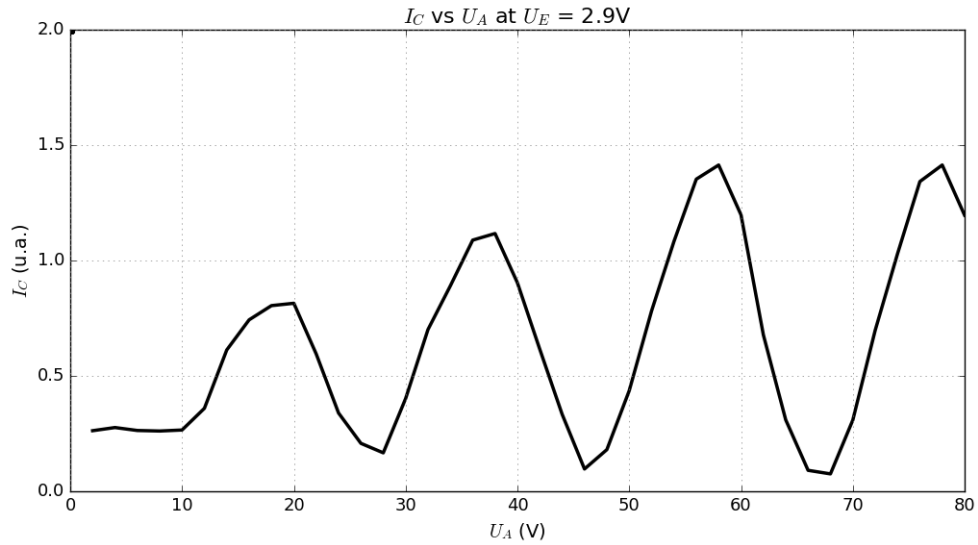


Figura 7: Grafico della corrente I_C in funzione di U_A a $U_E = 2.9 \pm 0.1$ V.

Considerando i massimi dell'acquisizione a $U_E = 9.5 \pm 0.1$ V indicati in precedenza e aggiungendo il quarto a $U_A = 78 \pm 2$ V si è eseguito un grafico della tensione U_A in funzione del numero del massimo, riportato in figura 10.

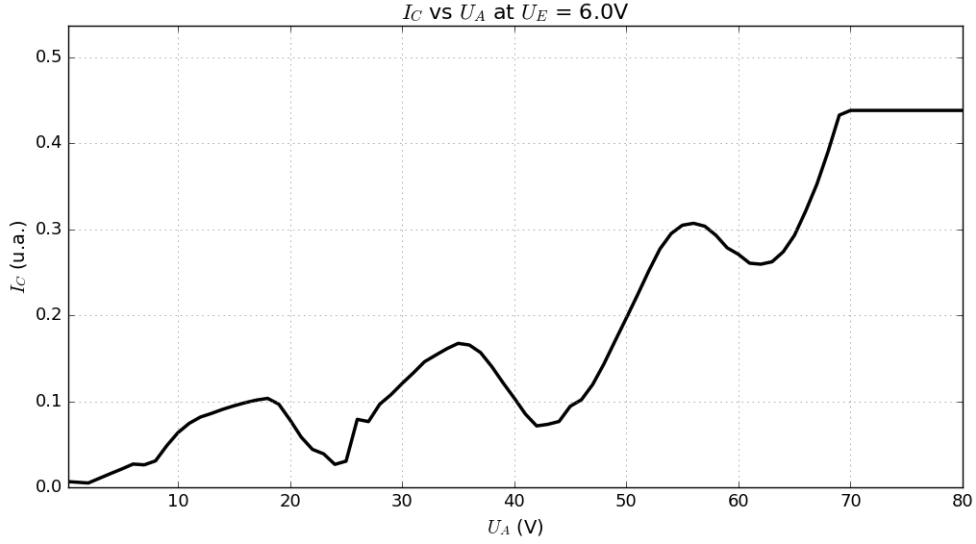


Figura 8: Grafico della corrente I_C in funzione di U_A a $U_E = 6.0 \pm 0.1 V$.

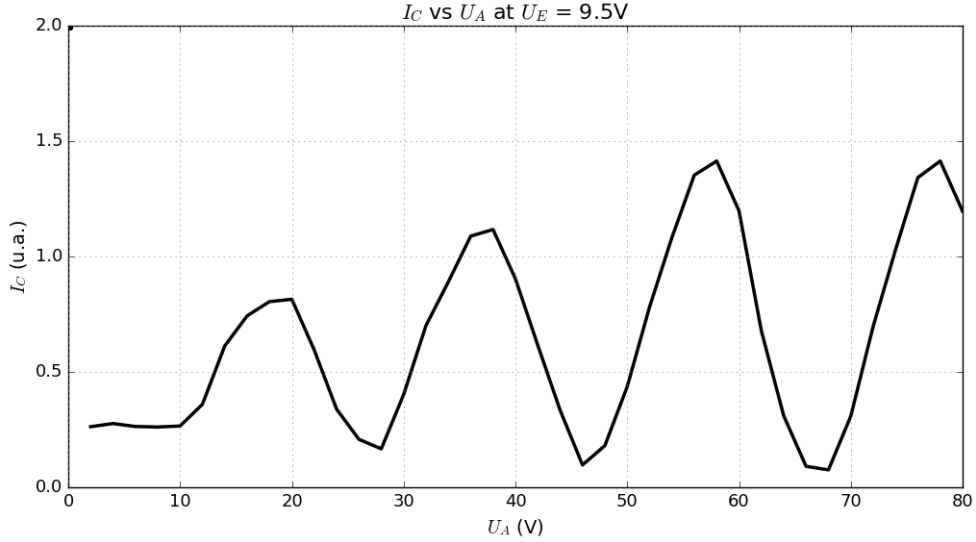


Figura 9: Grafico della corrente I_C in funzione di U_A a $U_E = 9.5 \pm 0.1 V$.

Il fit lineare (con funzione modello $y = ax + b$) eseguito testa l'ipotesi che i massimi siano equispaziati. Il $\chi^2 = 2.7/2$ ottenuto conferma l'ipotesi. In particolare la pendenza della retta fornisce l'energia di eccitazione del neon per la transizione effettuata in questo esperimento cioè: $E_e = 19.8 \pm 0.9 eV$ che è compatibile con la transizione di un elettrone tra lo stato $2p$ e lo stato $3p$.

6 Conclusioni

Le tensioni U_A a cui si osservano i massimi sono sistematicamente più basse di quelle misurate al punto 1. Questo può essere dovuto al fatto che il nostro occhio non riusciva a vedere la luminescenza quando ancora troppo flebile, anche se era già cominciato il processo di eccitazione.

Il valore di U_A a cui si trovano i minimi aumenta all'aumentare della differenza di potenziale frenante, mentre le posizioni dei massimi rimangono circa costanti: queste ultime infatti dipendono solo dalla natura dei livelli energetici del neon.

Non si trova un valore di U_E a cui si osservano più nitide le bande di luminescenza.

Con i pochi picchi che si sono ottenuti non è pensabile di provare a fornire una stima del cammino libero medio degli elettroni nel Neon. Infatti questo effetto causa una variazione della differenza degli intervalli di potenziale

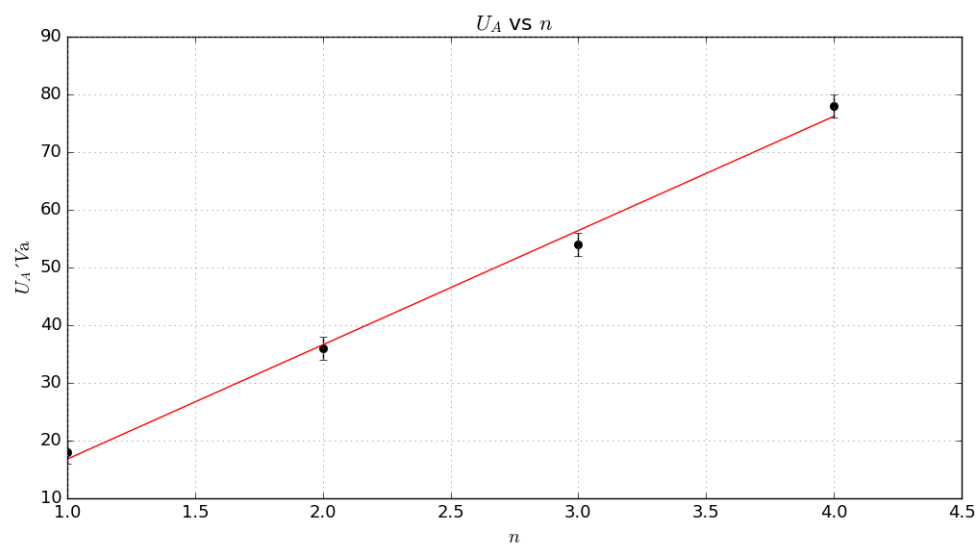


Figura 10: Tensione U_A (ordinate) a cui si osserva il massimo numero n (ascisse).

tra i massimi dell'ordine dell'1% che è dello stesso ordine di grandezza dell'errore sulle misure di U_A , quindi non osservabile.