

# Sommario

	<b>Pag.</b>
<b>1. Scopo dell'esperienza</b>	2
<b>2. Presupposti teorici</b>	3
<b>3. Apparato Strumentale</b>	6
<b>4. Descrizione dell'esperimento</b>	8
<b>5. Dati sperimentali e loro elaborazione</b>	9
<b>5.1 Resistenza interna del triodo</b>	9
<b>5.2 Conduttanza mutua del triodo</b>	16
<b>5.3 Fattore di amplificazione del triodo</b>	23
<b>6. Conclusioni</b>	26
<b>7. Bibliografia</b>	27

# 1. Scopo dell'esperimento

Scopo di questo esperimento è la misura delle caratteristiche di un triodo: la resistenza interna, la conduttanza mutua e il fattore di amplificazione, che verranno definite nel prossimo paragrafo.

Queste caratteristiche sono molto importanti per questo dispositivo perché descrivono il suo funzionamento di amplificatore di tensioni.

Le tre caratteristiche, come spiegato nel paragrafo 2, sono correlate, ragion per la quale dopo aver ricavato dai dati sperimentali il valore di resistenza interna e di conduttanza mutua (paragrafi 5.1 e 5.2), nel paragrafo 5.3 verrà ricavato il fattore di amplificazione attraverso la relazione matematica che lega le tre caratteristiche e il risultato ottenuto verrà confrontato con quello trovato sperimentalmente.

## 2. Presupposti teorici<sup>[1], [2] e [3]</sup>

Un triodo è un dispositivo simile al diodo, con la differenza che tra il catodo e l'anodo (chiamati anche rispettivamente filamento e placca) è inserito un terzo elettrodo, chiamato griglia, costituito in genere da un filo avvolto ad elica cilindrica.

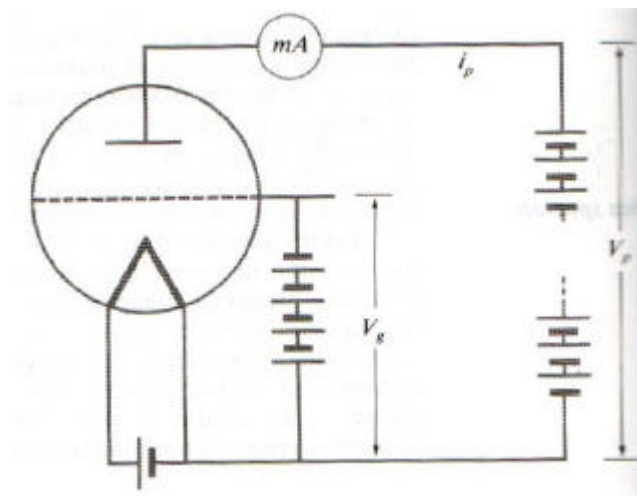


Figura 1: Rappresentazione schematica di un triodo con i suoi circuiti di alimentazione

La rappresentazione schematica del triodo è usualmente quella utilizzata nella figura 1 ove oltre alla batteria di accensione e quella anodica è inserita una terza batteria (detta di polarizzazione) che serve ad applicare alla griglia un potenziale.

Come nel diodo, la batteria di accensione serve a favorire l'emissione degli elettroni più energetici dal catodo del triodo, che altrimenti non riuscirebbero ad uscire dalla buca di potenziale causata dai reticoli formati dagli atomi del materiale di cui è composto il catodo stesso.

A questo punto anche applicando una  $V_p$  che favorisce il passaggio degli elettroni dal catodo all'anodo, non tutti gli elettroni riescono a raggiungere l'anodo per effetto di una **carica spaziale** causata dagli elettroni che precedono.

La  $V_g$  serve appunto ad aumentare l'effetto di carica spaziale, per motivi che verranno evidenziati alla fine di questo paragrafo.

La corrente di placca  $I_p$ , dipendente dagli elettroni che hanno raggiunto

l'anodo, è funzione della tensione applicata al triodo  $V_p$  e di quella applicata alla griglia  $V_g$  : in formule si ha cioè che  $I_p = I_p(V_p, V_g)$  .

Le **curve caratteristiche** di un triodo sono rappresentate dalla famiglia di curve che è possibile realizzare graficando le funzioni  $I_p = I_p(V_p)$  mantenendo  $V_g$  costante (*caratteristiche anodiche*) e la famiglia di funzioni  $I_p = I_p(V_g)$  con  $V_p$  costante (*caratteristiche mutue*).

Nel range di valori di  $V_g$  e  $V_p$  in cui si usa di solito un triodo le due funzioni sopraccitate risultano lineari e a partire da queste si possono determinare i tre parametri che caratterizzano il funzionamento del triodo.

Tali parametri sono:

- (1)  $r = \left. \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p} \right|_{V_g = \text{cost.}}$       **resistenza interna**
- (2)  $g = \left. \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} \right|_{V_p = \text{cost.}}$       **conduttanza mutua**
- (3)  $m = \left. \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} \right|_{I_p = \text{cost.}}$       **coefficiente di amplificazione**

Dalle formule (1), (2) e (3) si ottiene che:

$$(4) \quad r \cdot g = \left. \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p} \right|_{V_g = \text{cost.}} \cdot \left. \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} \right|_{V_p = \text{cost.}} = \left. \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} \right|_{V_p = \text{cost.}, V_g = \text{cost.}} = - \left. \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} \right|_{I_p = \text{cost.}} = m$$

Vale la pena a questo punto spendere qualche parola sull'importanza pratica di un triodo. Se si trova una sostanziale linearità delle curve caratteristiche si può scrivere con buona approssimazione:

$$(5) \quad I_p = \frac{1}{r} V_p + g V_g + I_o$$

che è lo sviluppo in serie di Taylor di  $I_p$  arrestato al primo termine intorno al punto  $I_o = I_o(0,0)$  .

Le valvole, come i triodi, vengono utilizzate come amplificatori. Infatti

se si aggiunge una resistenza  $r$  in serie con la placca, indicando con  $V_a$  la tensione fornita dalla batteria anodica si ottiene:

$$(6) \quad V_p = V_a - I_p r$$

e quindi:

$$(7) \quad I_p = \frac{1}{r}(V_a - V_p)$$

Se ora si fa variare la tensione di griglia di un  $\Delta V_g$  si avrà un corrispondente  $\Delta V_p$  e un  $\Delta I_p$ ;

differenziando le equazioni (5) e (7) otteniamo:

$$(8) \quad \Delta I_p = -\frac{1}{r}(\Delta V_p)$$

$$(9) \quad I_p = \frac{1}{r}V_p + gV_g + I_o$$

eliminando  $\Delta I_p$  combinando la (8) e la (9) si ottiene che:

$$(10) \quad -\frac{1}{r}(\Delta V_p) = \frac{1}{r}\Delta V_p + g\Delta V_g$$

da cui risolvendo rispetto a  $\Delta V_p$ :

$$\Delta V_p = -\frac{r}{r+r} m \Delta V_g$$

il che significa che variando il potenziale di griglia di  $\Delta V_g$  si ottiene una amplificazione  $\Delta V_p$  pari a  $-\frac{r}{r+r} m$ ; il segno meno dipende dal fatto che il potenziale in griglia è di segno negativo, per accentuare il fenomeno di carica spaziale, da cui dipende l'amplificazione.

### 3. Apparato Strumentale

L'esperimento è stato condotto realizzando il circuito in figura 2.

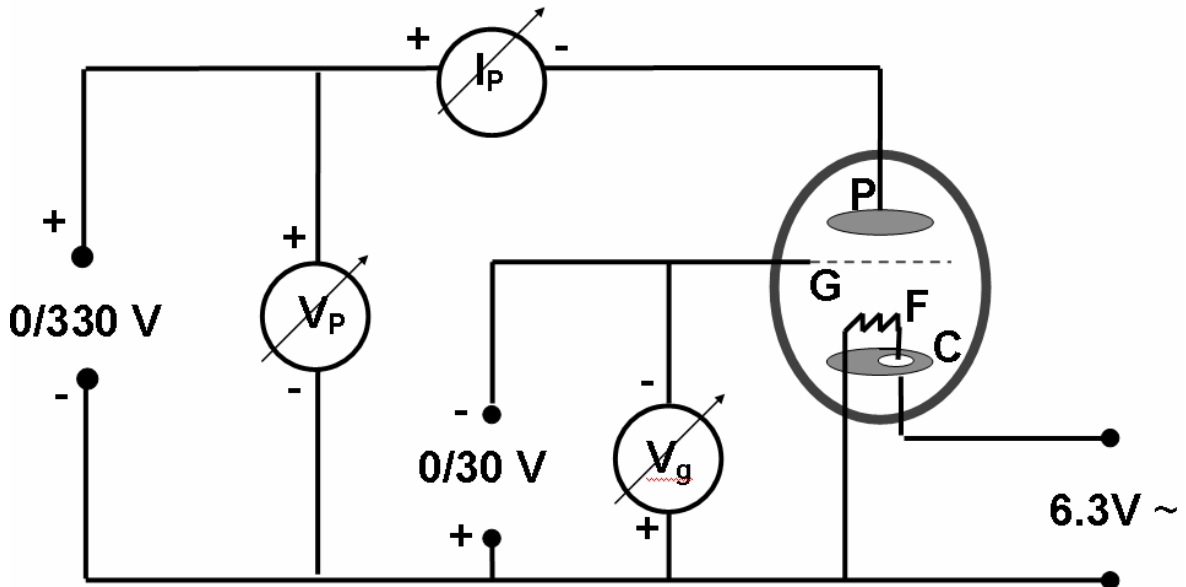


Figura 2: Apparato Strumentale

Gli strumenti utilizzati per misurare le grandezze  $I_p$ ,  $V_p$ ,  $V_g$  sono stati un milliamperometro e un microamperometro (a seconda delle correnti raggiunte), e due Voltmetri (il cui fondo scala variava in base alle tensioni rilevate).

Il circuito è stato alimentato con un generatore di f.e.m. continua variabile da 0 a 330 V, un generatore di f.e.m. continua variabile da 0 a 30 V e da un generatore di f.e.m. alternata a 6.3 V così come indicato in figura 2.

Le caratteristiche di tali strumenti sono riportati nella tabella 1.

	Fondo Scala	Numero tacche	Classe di precisione
Voltmetro	3-15-30-150-450 V	150	1
Milliamperometro	1 mA	100	0,5
Microamperometro	100 $\mu$ A	100	0,5

Tabella 1: Caratteristiche degli strumenti utilizzati

Ricordando che l'errore dovuto alla classe di precisione dello strumento

si ricava dalla formula  $e_{c.p.} = \frac{c.p. \cdot f.s.}{100}$  possiamo determinare (facendo la radice della somma dei quadrati dell'errore di lettura e di  $e_{c.p.}$ ) l'errore totale relativo alle misure effettuate con gli strumenti in tabella 1.

In seguito sono riportati tali errori:

	Voltmetro 3V	Voltmetro 15 V	Voltmetro 30 V	Voltmetro 150V	Voltmetro 450 V
Errore totale	0,04 V	0,2 V	0,4 V	2 V	5 V

	Milliamperometro	Microamperometro
Errore totale	0,01 mA	1 $\mu$ A

**Tabella 2:** Errori totali degli strumenti utilizzati

## 4. Descrizione dell'esperimento

Acceso il generatore di f.e.m. alternata si è aspettato qualche minuto per far sì che il catodo del triodo si portasse in temperatura facilitando l'emissione degli elettroni.

Si è quindi proceduto ad effettuare le seguenti esperienze:

- 1) Si sono fissate diverse  $V_g$  e misurate le  $I_p$  al variare delle  $V_p$ ; durante questa esperienza si è reso necessario prevalentemente l'uso del milliamperometro, tranne quando si sono raggiunte  $V_g$  particolarmente elevate (circa 10 Volt) per le quali è stato necessario l'uso del microamperometro;
- 2) Si sono fissate diverse  $V_p$  e misurate le  $I_p$  al variare delle  $V_g$ ; come nell'esperienza precedente si è utilizzato prevalentemente un milliamperometro, scelta che è risultata particolarmente corretta in quanto la zona lineare dei relativi grafici si presenta in genere per correnti coperte dal range di misure ammesso dal milliamperometro;
- 3) Infine si è proceduto a misurare  $V_g$  al variare di  $V_p$ ; tale misura, in base alla formula (4) dovrebbe poter assumere un carattere di verifica per gli esperimenti svolti.

## 5. Dati sperimentali e loro elaborazione<sup>[4], [5] e [6]</sup>

### 5.1 Resistenza interna del triodo

Nella tabella di seguito sono riportati i dati rilevati su  $V_p$  e  $I_p$  per diversi valori di  $V_g$  costante.

$V_g = 0 \pm 0,04V$		$V_g = -3 \pm 0,04V$		$V_g = -6,0 \pm 0,2V$		$V_g = -8,0 \pm 0,2V$		$V_g = -14,0 \pm 0,2V$	
$V_p$ (Volt)	$I_p$ (mA)	$V_p$ (Volt)	$I_p$ (mA)	$V_p$ (Volt)	$I_p$ (mA)	$V_p$ (Volt)	$I_p$ ( $\mu A$ )	$V_p$ (Volt)	$I_p$ ( $\mu A$ )
$\pm 5V$	$\pm 0,01mA$	$\pm 5V$	$\pm 0,01mA$	$\pm 5V$	$\pm 0,01mA$	$\pm 5V$	$\pm 1mA$	$\pm 5V$	$\pm 1mA$
333	0,36	330	0,29	333	0,20	60	10	90	2
318	0,35	324	0,28	321	0,19	75	15	105	3
312	0,34	315	0,27	306	0,18	90	23	120	4
300	0,33	306	0,26	297	0,17	105	29	135	5
288	0,32	294	0,25	282	0,16	120	36	150	6
276	0,31	282	0,24	270	0,15	135	41	165	8
267	0,30	273	0,23	255	0,14	150	48	180	9
255	0,29	261	0,22	240	0,13	165	54	195	11
246	0,28	249	0,21	228	0,12	180	61	210	13
234	0,27	240	0,20	213	0,11	195	68	225	15
225	0,26	228	0,19	198	0,10	210	75	240	18
216	0,25	219	0,18	183	0,09	225	83	255	22
201	0,24	207	0,17	165	0,08	240	91	270	26
192	0,23	195	0,16	144	0,07			285	30
183	0,22	183	0,15	123	0,06			300	35
171	0,21	171	0,14	102	0,05			315	40
162	0,20	159	0,13	81	0,04				
153	0,19	147	0,12	63	0,03				
141	0,18	132	0,11	42	0,02				
129	0,17	117	0,10	24	0,01				
117	0,16	102	0,09	0	0,00				
108	0,15	84	0,08						
96	0,14	72	0,07						
84	0,13	54	0,06						
72	0,12	42	0,05						
63	0,11	30	0,04						
51	0,10	15	0,03						
39	0,09	3	0,02						
30	0,08	0	0,02						
24	0,07								
12	0,06								
6	0,05								
0	0,04								

**Tabella 3:** Dati sperimentali delle caratteristiche anodiche

Benché le  $V_p$  siano state prese con un errore di 5 V dall'analisi dei dati risulta che l'errore relativo di queste si mantiene minore di quello sulle  $I_p$ . E' pur vero che per le tensioni più basse di 150 V si poteva scegliere una scala più adeguata che avrebbe permesso un errore minore sulla  $V_p$ .

Tuttavia sono poche le misure con  $V_p$  particolarmente bassa, proprio perché per tali valori di tensione si ottiene in genere una corrente molto piccola. Inoltre per le tensioni  $V_p$  studiate (generalmente maggiori di 100V), l'andamento del grafico si mantiene abbastanza lineare, ed è proprio questa porzione del grafico che sarà oggetto di studio.

Seguono ora le curve sperimentali relative a tali dati:

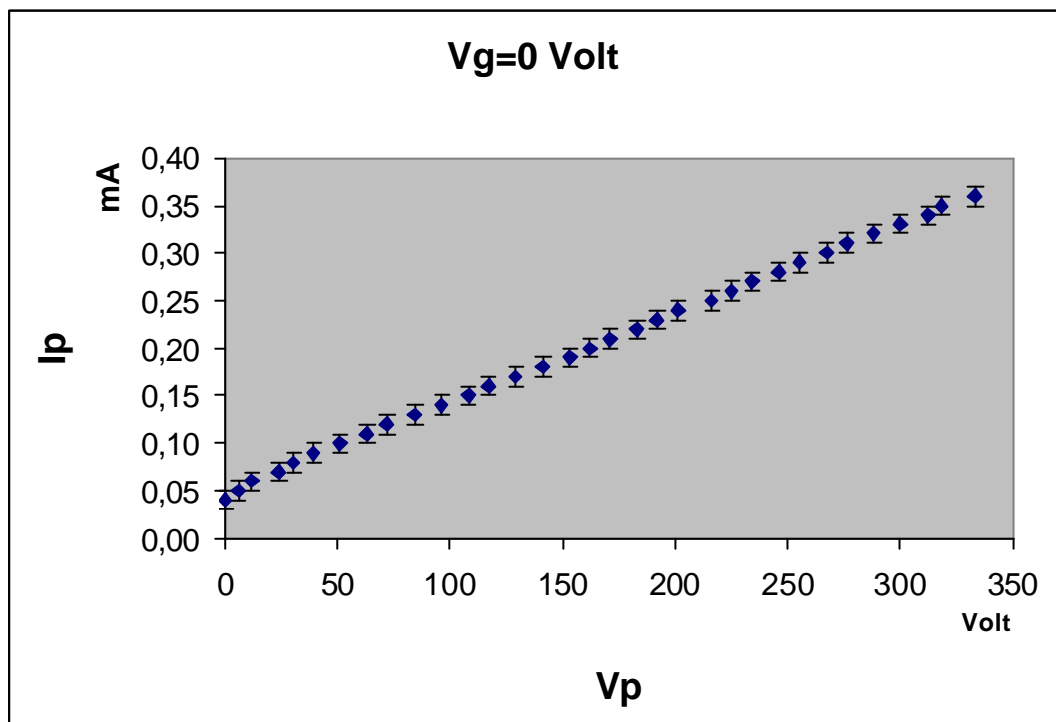
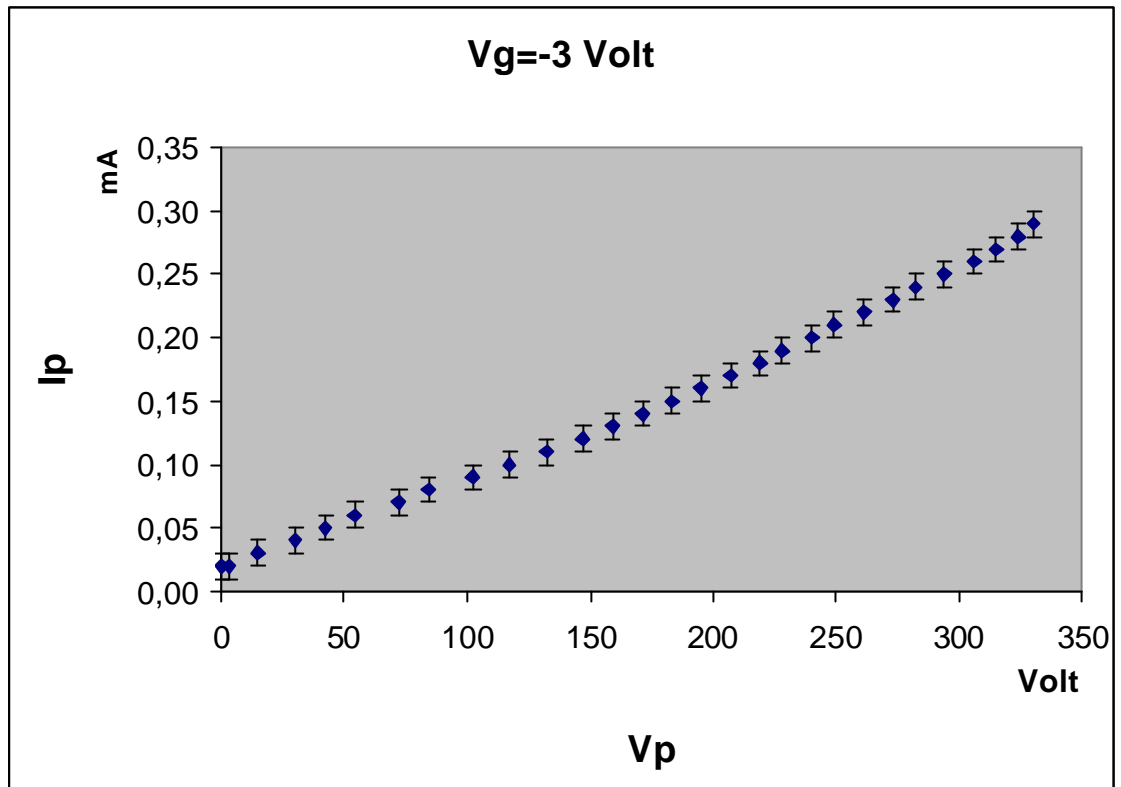
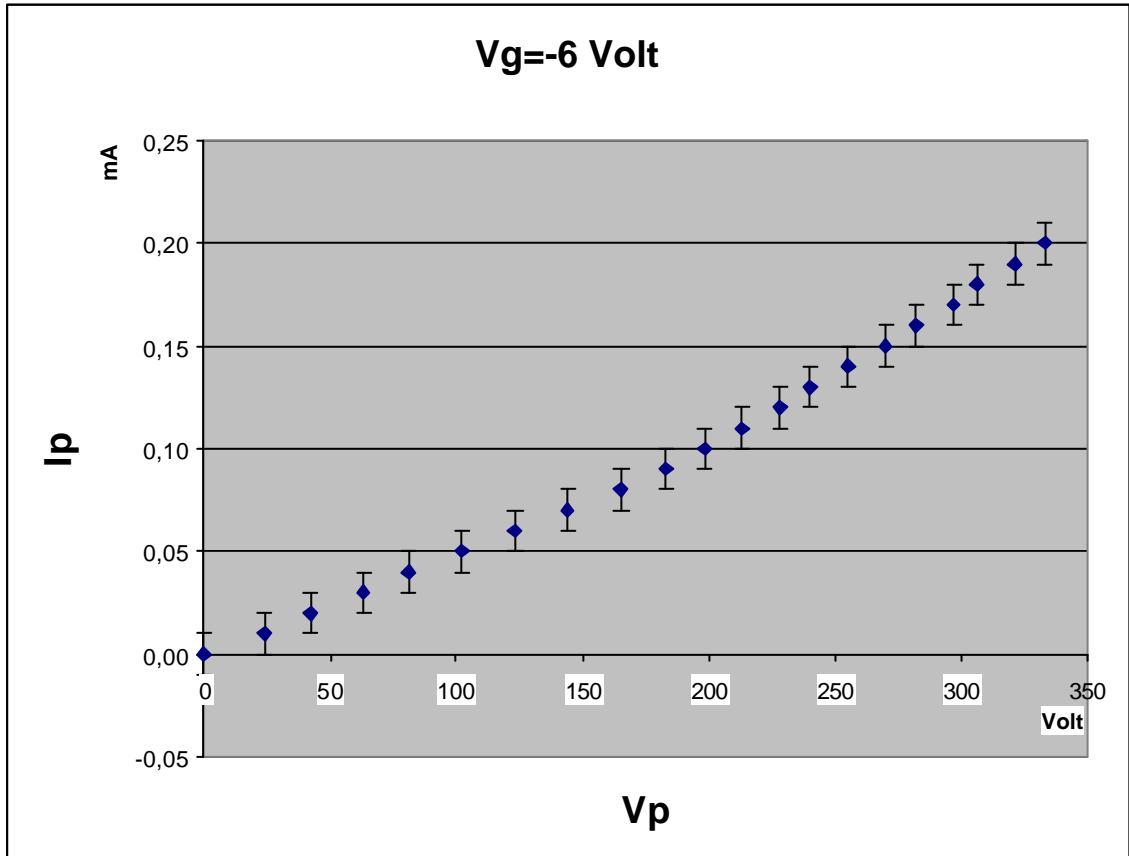


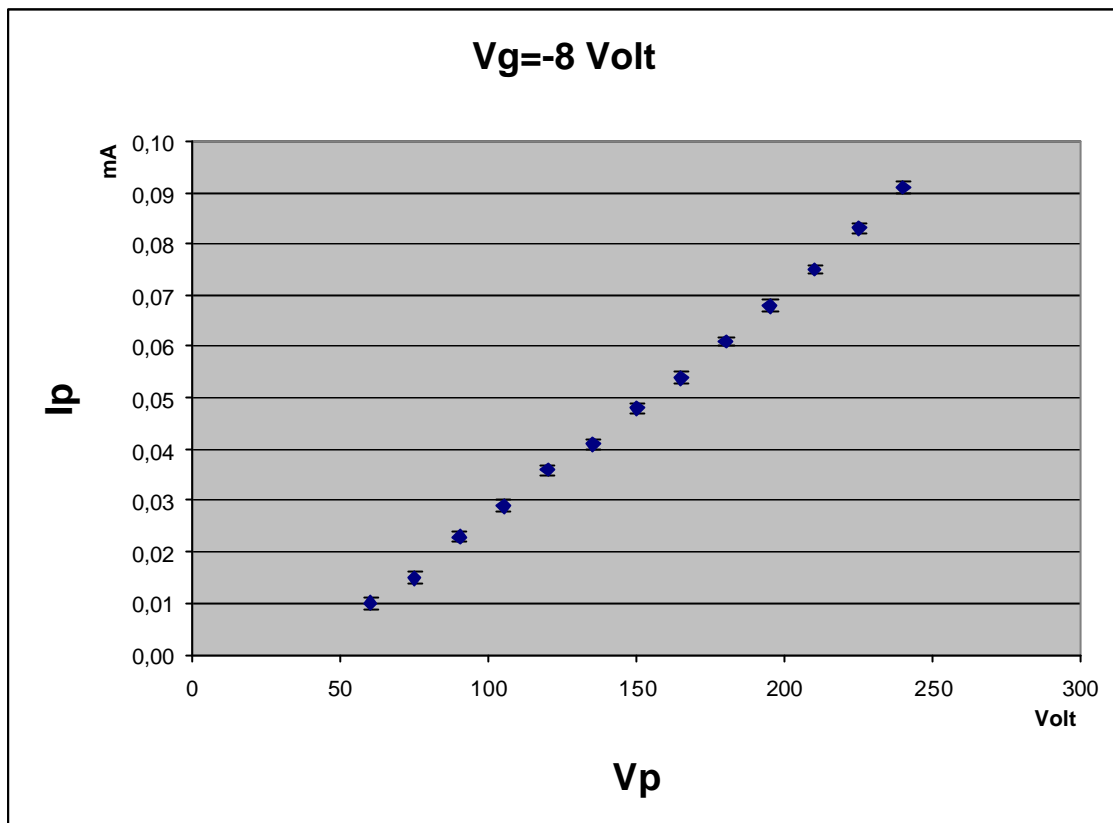
Figura 3: Punti sperimentali a  $V_g=0$  Volt



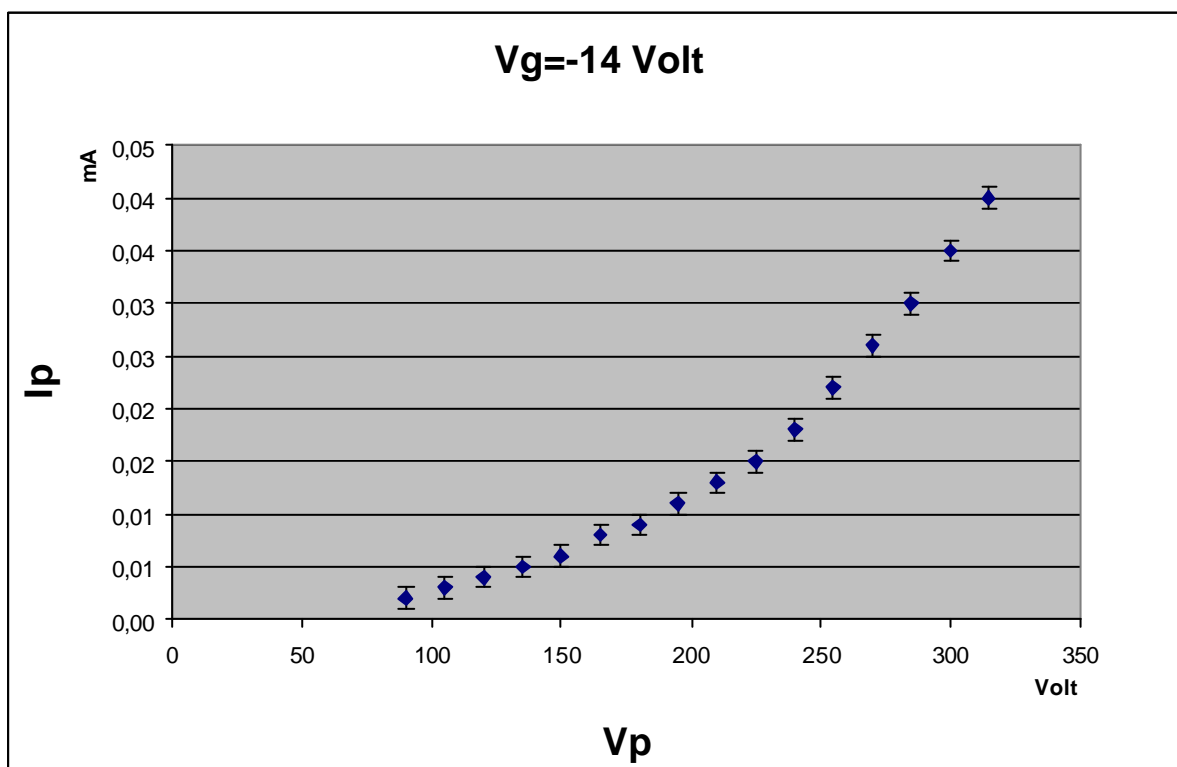
**Figura 4:** Punti sperimentali a  $V_g = -3$  Volt



**Figura 5:** Punti sperimentali a  $V_g = -6$  Volt



**Figura 6:** Punti sperimentali a  $V_g = -8$  Volt



**Figura 7:** Punti sperimentali a  $V_g = -14$  Volt

Ciò che si vuole evidenziare con questi grafici e che il carattere non lineare delle curve anodiche si evidenzia, nel range di valori di tensione  $V_p$  e di corrente  $I_p$  considerato, quando  $V_g < -10$  Volt.

Per questo motivo noi utilizzeremo i dati relativi alle d.d.p. in griglia  $V_g = 0,00 \pm 0,04V$ ,  $V_g = -3,00 \pm 0,04V$ ,  $V_g = -6,0 \pm 0,2V$  e  $V_g = -8,0 \pm 0,2V$  verificando che questi seguano una legge lineare procedendo al calcolo del **coefficiente di correlazione lineare r di Bravais-Pearson**:

$$(4) \quad r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

che deve essere circa uguale ad 1 per poter sostenere l'ipotesi di correlazione lineare.

Esaminando il primo grafico ( $V_g = 0,00 \pm 0,04V$ ) si può anche notare come a tensione  $V_p = 0 \pm 5V$  ci sia ugualmente un passaggio di corrente pari a  $I_p = 0,04 \pm 0,01mA$ ; tale dato conferma la presenza di un effetto termoionico sul triodo in esame, ovvero un passaggio di corrente dovuto alla sola agitazione termica del catodo.

Segue la tabella rappresentante le prime quattro esperienze e il relativo r ottenuto:

	$V_g = 0,00 \pm 0,04V$	$V_g = -3,00 \pm 0,04V$	$V_g = -6,0 \pm 0,2V$	$V_g = -8,0 \pm 0,2V$
<b>r</b>	0,9997	0,9971	0,9947	0,9991
<b>Misure</b>	33	29	21	13

**Tabella 4:** Calcolo del **coefficiente di correlazione lineare r di Bravais-Pearson** sui set di dati a  $V_g$  costante

Esiste un criterio che permette a questo punto di determinare la probabilità che N punti che **non** seguano una relazione lineare abbiano un r maggiore di 0,9 (che è circa il valore da noi ottenuto). Per tutti e quattro i set di misura tale probabilità risulta molto minore del 1%; procediamo quindi ad

un best-fit lineare.

Partiamo dall'ipotesi che la legge che correla  $I_p$  e  $V_p$  sia del tipo  $y = mx + q$  dove prendiamo come  $y$   $I_p$  e come  $x$   $V_p$ , in quanto l'errore relativo sulle  $V_p$  si mantiene generalmente più piccolo di quello sulle  $I_p$ .

I dati riportati in tabella 5 sono quelli ricavati utilizzando le formule del best-fit lineare e tenendo conto che  $r = \frac{1}{m}$  e che quindi  $\Delta r = \frac{1}{m^2} \Delta m$ ;

	$V_g = 0,00 \pm 0,04V$	$V_g = -3,00 \pm 0,04V$	$V_g = -6,0 \pm 0,2V$	$V_g = -8,0 \pm 0,2V$
$r$	$(1063 \pm 19) \cdot 10^3 \Omega$	$(1250 \pm 28) \cdot 10^3 \Omega$	$(1676 \pm 61) \cdot 10^3 \Omega$	$(2249 \pm 25) \cdot 10^3 \Omega$

Tabella 5: Risultati del calcolo della resistenza interna

Nel grafico che segue vengono infine mostrate le cinque curve graficate insieme, al fine di poter avere una stima qualitativa del fenomeno:

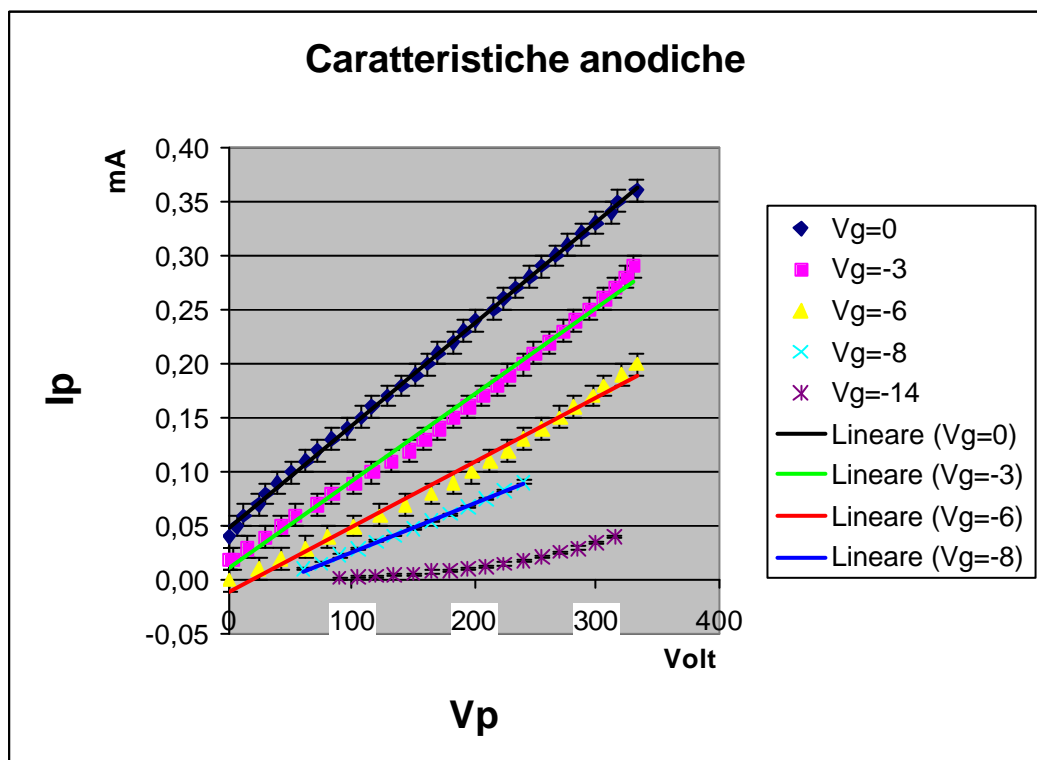


Figura 8: Grafico dei dati sperimentali rilevati a  $V_g$  costante e rette di best-fit lineare

E' importante specificare che il calcolo di  $r$  eseguito sui punti

sperimentali va inteso come calcolo di  $r$  medio. Infatti, l'andamento dei punti non è perfettamente rettilineo, come è lecito attendersi su un conduttore non ohmico.

Possiamo inoltre notare che i valori di  $r$  non sono costanti al variare di  $V_g$ ; questo probabilmente dipende dal fatto che tali valori di  $r$ , per limiti dovuti al generatore che applica la  $V_p$ , non sono ottenuti per lo stesso range di valori di  $I_p$ , per cui, man mano che la  $V_g$  aumenta, risentono sempre più degli effetti dovuti alla zona non lineare.

## 5.2 Conduttanza mutua del triodo

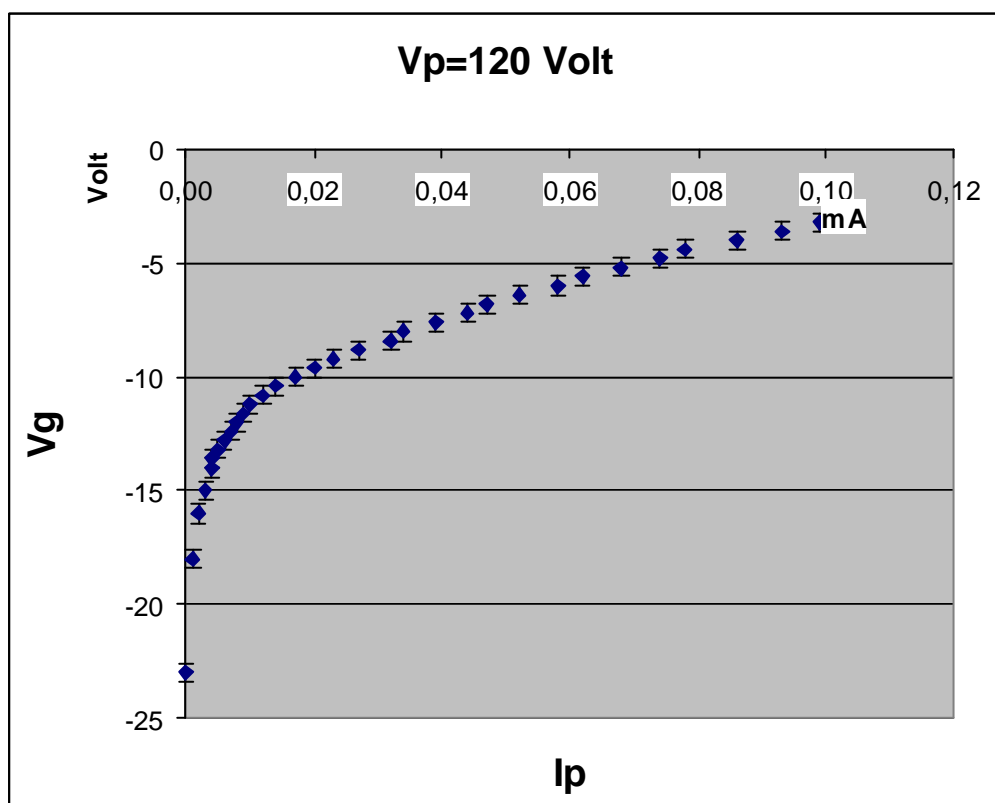
$V_p = 120 \pm 2V$		$V_p = 240 \pm 5V$		$V_p = 300 \pm 5V$	
$V_g$ (Volt)	$I_p$ ( $\mu A$ )	$V_g$ (Volt)	$I_p$ (mA)	$V_g$ (Volt)	$I_p$ (mA)
$\pm 0,4V$	$\pm 1mA$	$\pm 0,04V$	$\pm 0,01mA$	$\pm 0,04V$	$\pm 0,01mA$
-3,2	99	-0,36	0,27	-0,28	0,33
-3,6	93	-0,92	0,26	-0,74	0,32
-4,0	86	-1,28	0,25	-1,20	0,31
-4,4	78	-1,64	0,24	-1,52	0,30
-4,8	74	-2,02	0,23	-1,84	0,29
-5,2	68	-2,48	0,22	-2,24	0,28
-5,6	62	-2,76	0,21	-2,68	0,27
-6,0	58	$\pm 0,2V$		$\pm 0,2V$	
-6,4	52	-3,1	0,20	-3,0	0,26
-6,8	47	-3,4	0,19	-3,3	0,25
-7,2	44	-3,8	0,18	-3,7	0,24
-7,6	39	-4,3	0,17	-4,0	0,23
-8,0	34	-4,7	0,16	-4,4	0,22
-8,4	32	-5,2	0,15	-4,8	0,21
-8,8	27	-5,6	0,14	-5,2	0,20
-9,2	23	-6,1	0,13	-5,5	0,19
-9,6	20	-6,6	0,12	-6,0	0,18
-10,0	17	-7,1	0,11	-6,4	0,17
-10,4	14	-7,7	0,10	-6,7	0,16
-10,8	12	-8,3	0,09	-7,2	0,15
-11,2	10	-8,9	0,08	-7,6	0,14
-11,6	9	-9,5	0,07	-8,0	0,13
-12,0	8	-10,3	0,06	-8,6	0,12
-12,4	7	-11,1	0,05	-9,2	0,11
-12,8	6	-11,8	0,04	-9,7	0,10
-13,2	5	-12,8	0,03	-10,2	0,09
-13,6	4	-13,9	0,02	-10,8	0,08
-14,0	4	$\pm 0,4V$		-11,6	0,07
-15,0	3	-16,4	0,01	-12,3	0,06
-16,0	2	-30,0	0,00	-13,2	0,05
-18,0	1			-14,1	0,04
-23,0	0			-14,8	0,03
				$\pm 0,4V$	
				-16,4	0,02
				-19,4	0,01
					$\pm 0,001mA$
				-20,6	0,003
				-22,2	0,002
				-24,8	0,001
				-30,0	0,000

Tabella 6: Dati sperimentali delle caratteristiche mutue

Nella tabella sopra sono riportati i dati rilevati su  $I_p$ , per diversi valori di  $V_p$  mantenuti costanti in ciascun set di dati, al variare della  $V_g$ .

Si Verifica che l'errore relativo sulle intensità si mantiene in media maggiore di quello sulle tensioni, tranne per la curva per la quale  $V_p = 120 \pm 2V$ . Per tale curva il best-fit lineare sarà effettuato ponendo come variabile indipendente la  $I_p$  e come variabile dipendente la  $V_g$ .

Seguono ora le curve sperimentali relativi alla tabella suddetta:



**Figura 9:** Punti sperimentali a  $V_p=120$  Volt

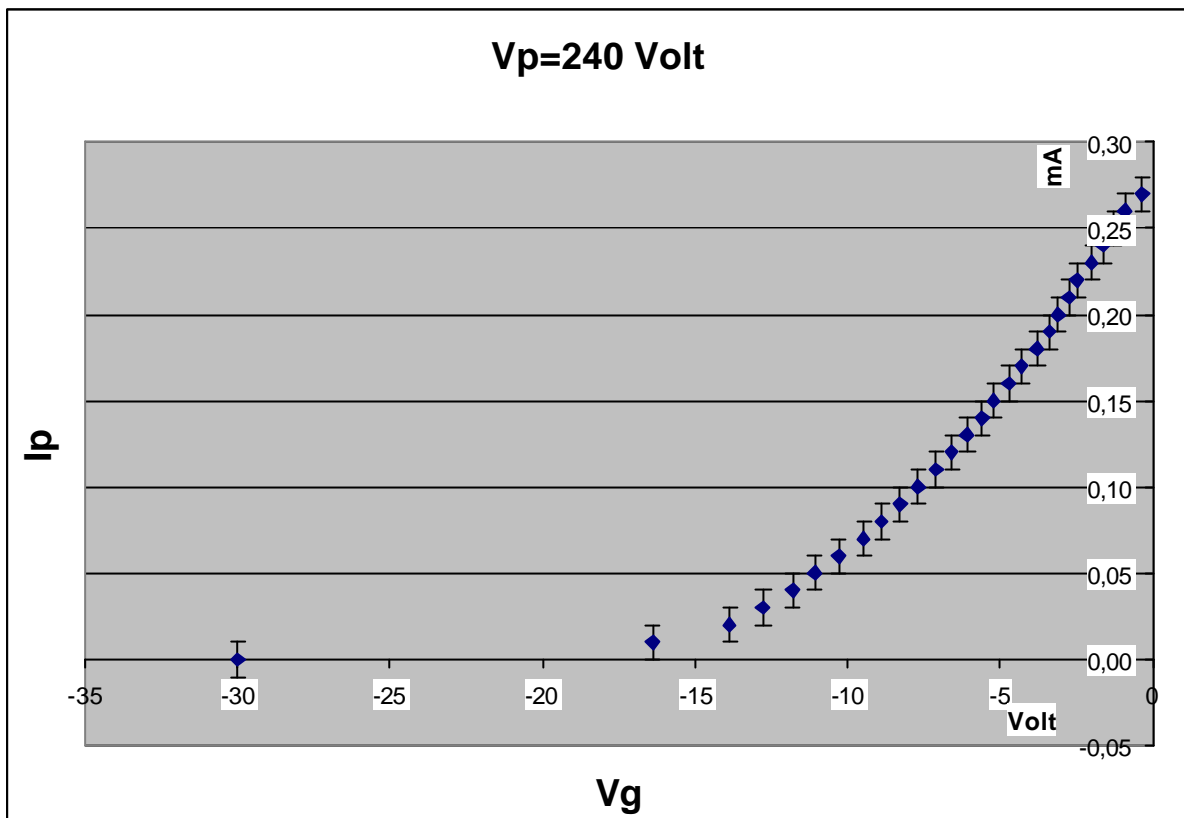


Figura 10: Punti sperimentali a  $V_p=240$  Volt

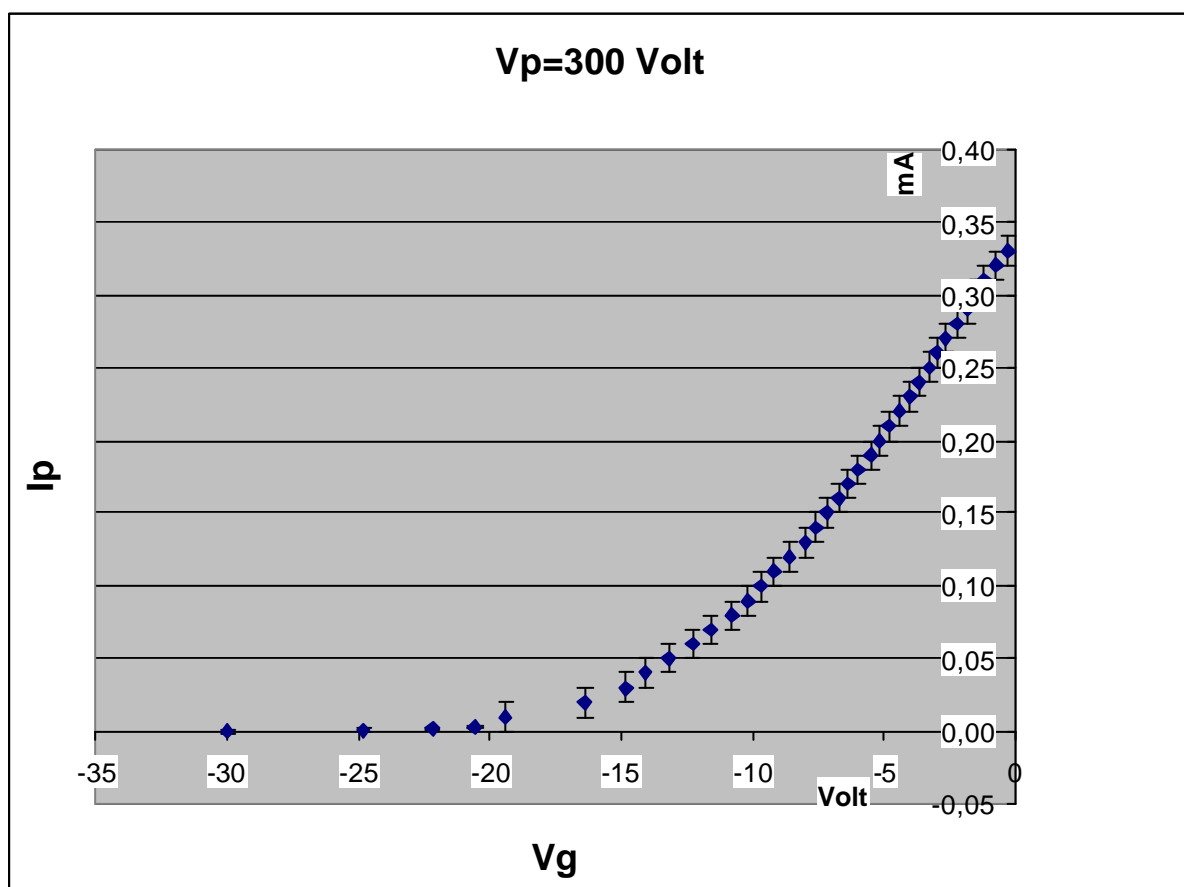


Figura 11: Punti sperimentali a  $V_p=300$  Volt

Poiché a noi interessa la zona lineare procediamo ad esaminare le zone dei grafici che presentano tali caratteristiche attraverso il **coefficiente di correlazione lineare r di Bravais-Pearson**.

	$V_p = 120 \pm 2V$	$V_p = 240 \pm 5V$	$V_p = 300 \pm 5V$
<b>r</b>	0,99394	0,9951	0,992036
<b>Misure</b>	18	27	24

**Tabella 7:** Calcolo del **coefficiente di correlazione lineare r di Bravais-Pearson** sui set di dati a  $V_p$  costante

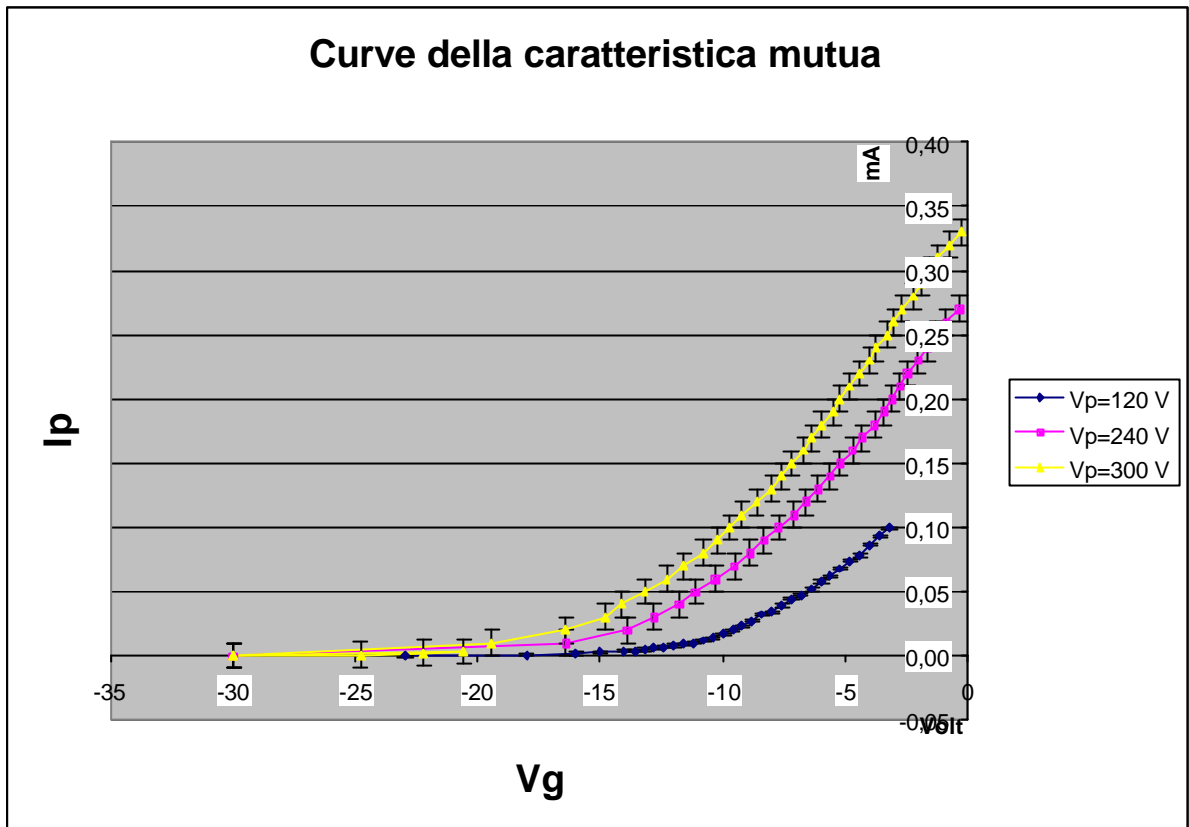
Come criterio per selezionare i punti da testare con il metodo di Bravais-Pearson si è cercato dapprima di dare una stima approssimativa della zona lineare prediligendo il range di misure comprese tra 0 Volt e -12 Volt per le tensioni di griglia, verificando poi con il criterio esposto al 5.1 che i punti in tale zona potessero approssimare con probabilità elevata un andamento lineare.

Procedendo al best-fit lineare si è giunti quindi ai seguenti risultati:

	$V_p = 120 \pm 2V$	$V_p = 240 \pm 5V$	$V_p = 300 \pm 5V$
<b>g</b>	$(1213 \pm 55) \cdot 10^{-8} \Omega^{-1}$	$(2077 \pm 62) \cdot 10^{-8} \Omega^{-1}$	$(2361 \pm 56) \cdot 10^{-8} \Omega^{-1}$

**Tabella 8:** Risultati del calcolo della conduttanza mutua

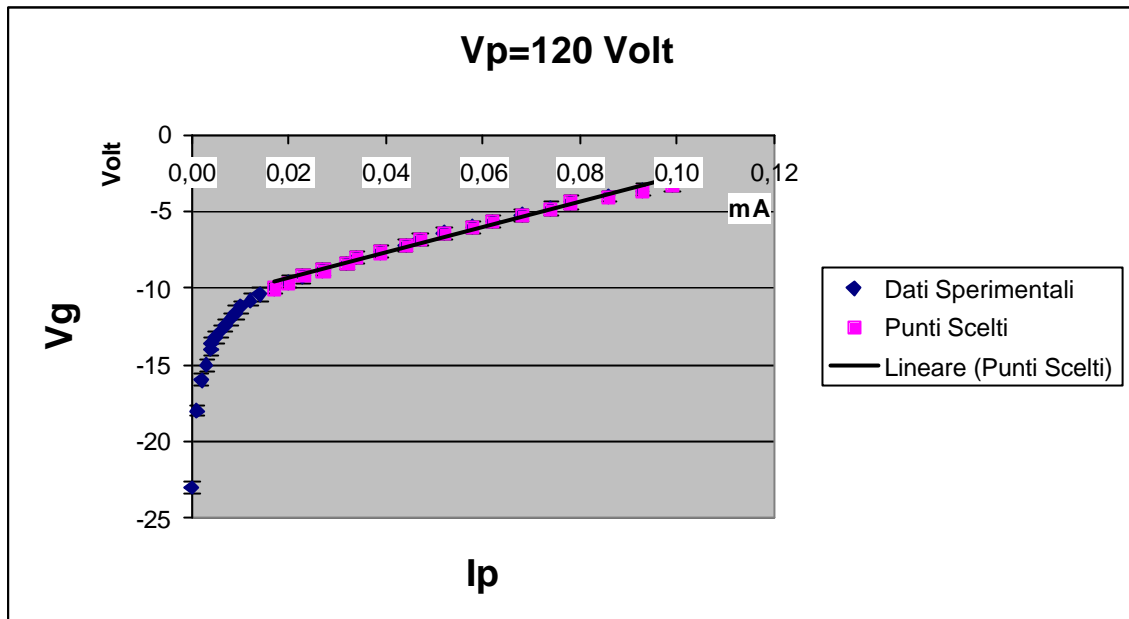
Grafichiamo le tre curve nello stesso diagramma cartesiano per far vedere l'andamento delle caratteristiche mutue al variare della tensione anodica.



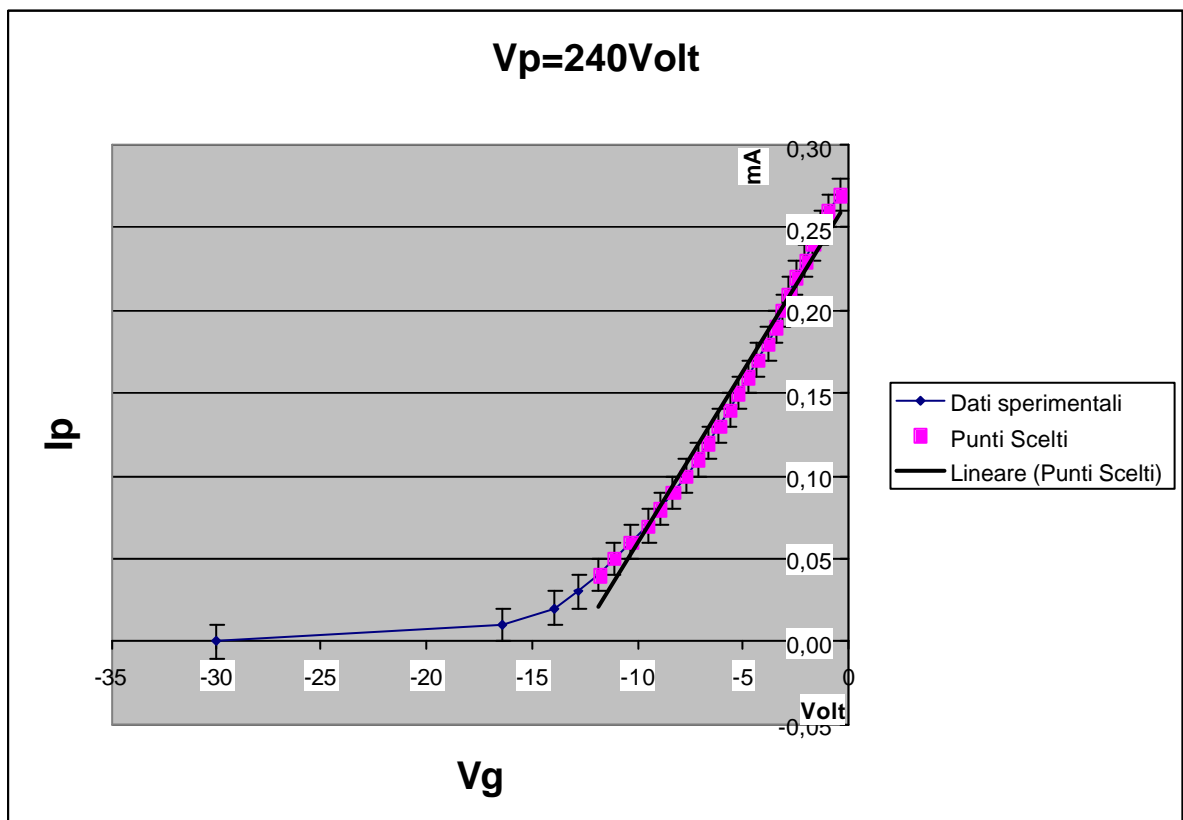
**Figura 12:** Grafico dei dati sperimentali rilevati a  $V_p$  costante

Anche in questo caso il valore trovato per  $g$  è da considerarsi medio per il set di punti scelto per il best-fit lineare.

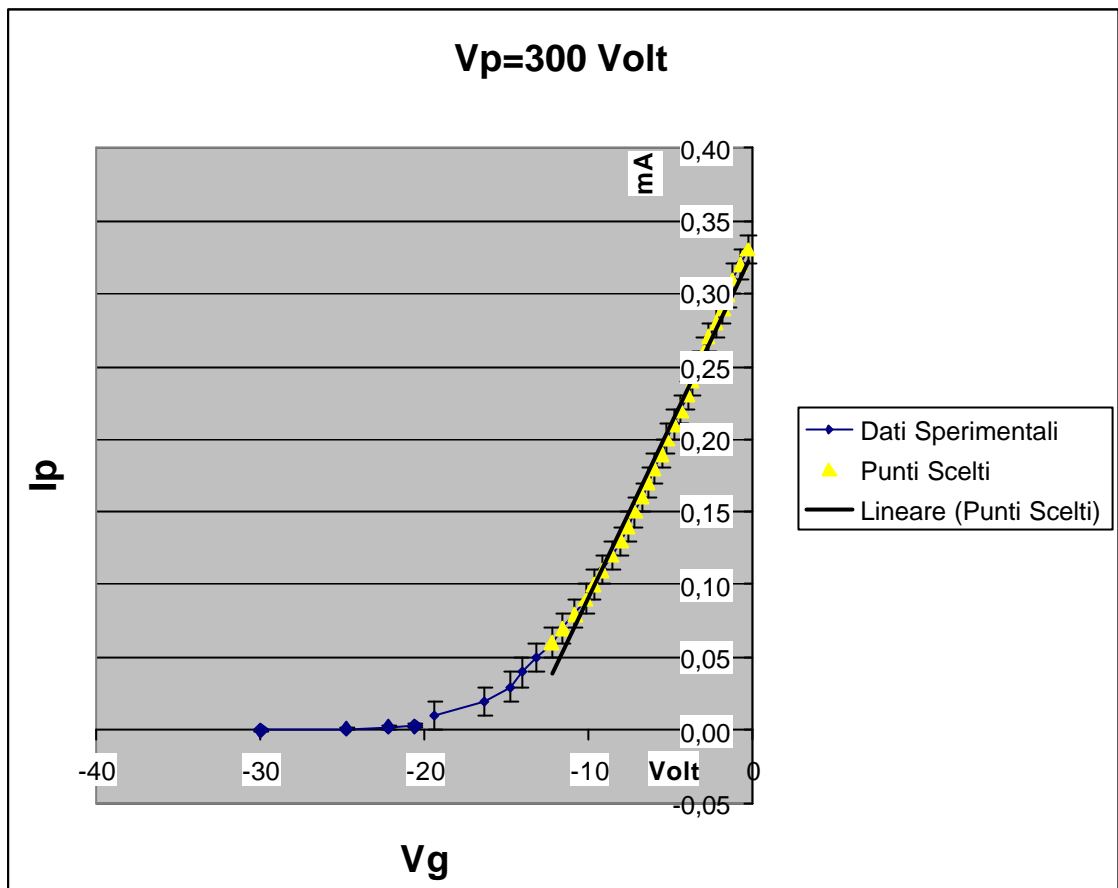
Di seguito si evidenzia tale approssimazione mostrando la retta del best-fit e i punti scelti per individuare la zona lineare nei vari casi:



**Figura 13:** Grafico dei dati sperimentali a  $V_p = 120V \pm 2V$  e retta di best-fit lineare sui punti scelti



**Figura 14:** Grafico dei dati sperimentali a  $V_p = 240V \pm 5V$  e retta di best-fit lineare sui punti scelti



**Figura 15:** Grafico dei dati sperimentali a  $V_p = 300V \pm 5V$  e retta di best-fit lineare sui punti scelti

## 5.3 Fattore di amplificazione del triodo

$I_p = 70 \pm 1 \text{mA}$	
$V_p$ (Volt)	$V_g$ (Volt)
$\pm 5V$	$\pm 0,4V$
60	-2,2
90	-3,6
120	-5,0
150	-6,0
180	-7,2
210	-8,2
240	-9,2
270	-10,2
300	-11,4
330	-12,0

**Tabella 9:** Dati sperimentali  
a  $I_p$  costante

Durante quest'ultima esperienza sono stati rilevati i dati nella tabella a fianco fissando  $I_p = 70 \pm 1 \text{mA}$ ; Questo valore permette di valutare  $V_p$  e  $V_g$  in una zona in cui alcune curve esaminate nei paragrafi 5.1 e 5.2 si presentano abbastanza lineari. E' pur vero che un valore leggermente maggiore di corrente permetterebbe di centrare meglio il range lineare.

Esaminando i dati ci si aspetta di trovare valori che siano circa quelli dati dal prodotto  $r \cdot g$  secondo la formula (4), dove  $r$  e  $g$  sono quelli calcolati prendendo la retta tangente ai punti per cui si ha un valore di  $I_p$  prossimo ai  $70 \text{mA}$ .

Si confronteranno il valore di  $m$  ottenuto dal best-fit lineare dei punti sperimentali in tabella 9 con quello calcolato teoricamente attraverso la formula (4) applicata all'esperienza per la quale  $V_p = 120 \pm 2V$ , poiché è l'unica curva fra quelle mostrate nel paragrafo 5.1 che per  $I_p = 70 \pm 1 \text{mA}$ , ha un andamento abbastanza lineare.

La curva  $V_p = 120 \pm 2V$  raggiunge  $I_p = 68 \pm 1 \text{mA}$  per  $V_g = -5,2 \pm 0,4V$  che verrà approssimata a -6 Volt per poter utilizzare i risultati dell'esperienza 5.1.

Ricordando che la curva per la quale  $V_p = 120 \pm 2V$  ha  $g = (1213 \pm 55) \cdot 10^{-8} \Omega^{-1}$  mentre quella con  $V_g = -6,0 \pm 0,2V$  ha  $r = (1676 \pm 61) \cdot 10^3 \Omega$  applicando la formula (4) si ottiene che:

$$m = r \cdot g = 20,3 \pm 1,6$$

Come detto in precedenza i risultati ottenuti nei paragrafi precedenti

vanno intesi come valori medi per le grandezza  $g$  e  $r$ . Anche il valore di  $m$  sarà pertanto un valore medio e per questo non è detto che coincida con quello ricavato dai dati sperimentali.

Il grafico che segue mostra la rappresentazione dei dati in tabella 9 su un diagramma cartesiano:

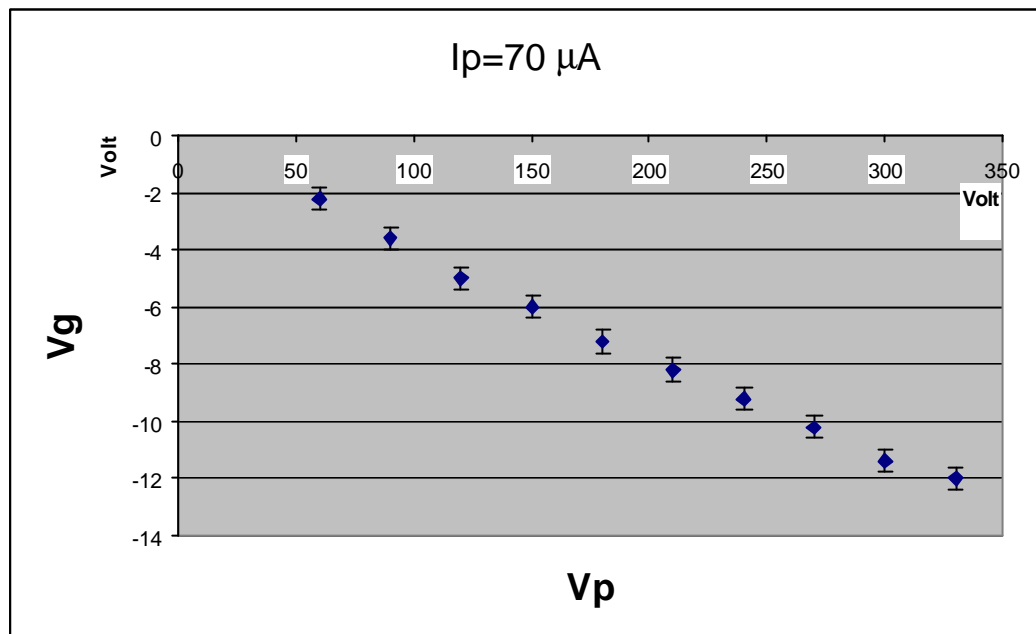
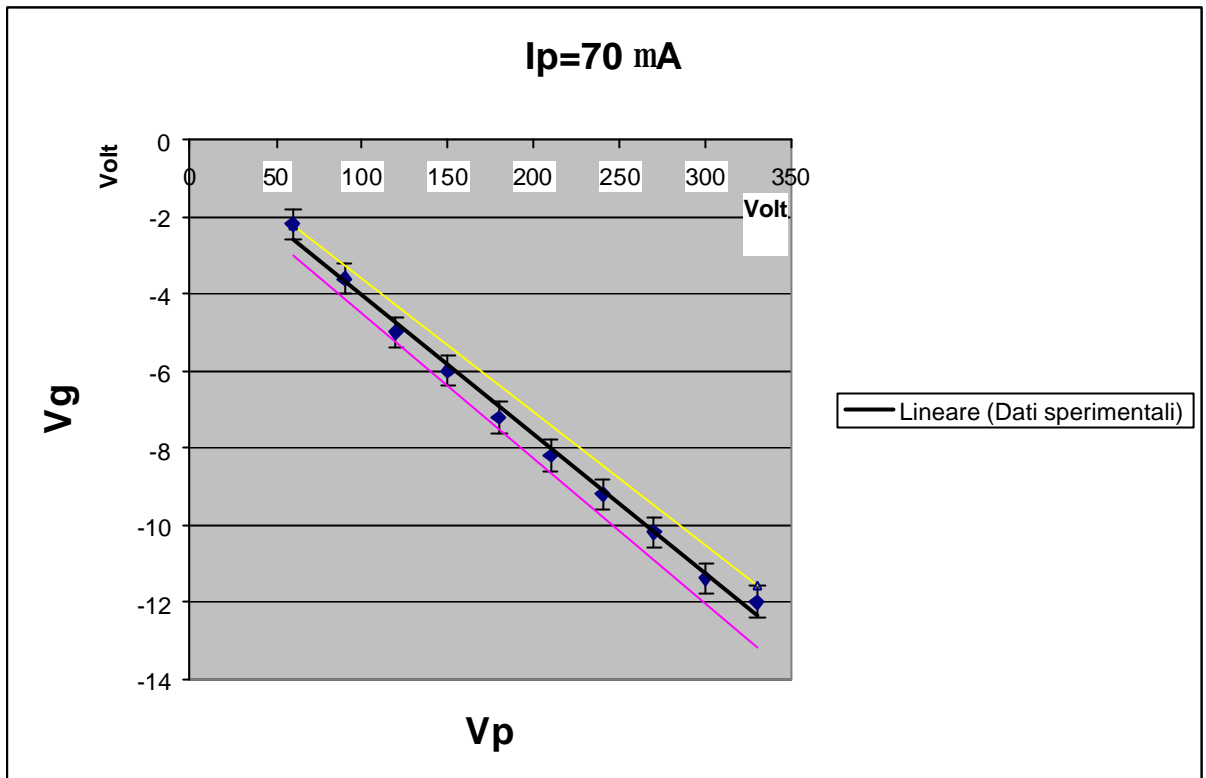


Figura 16: Grafico dei dati sperimentali a  $I_p = 70 \pm 1 \text{ mA}$

Il valore del coefficiente  $r$  su questi dieci punti è 0,9975 il che ci permette (secondo il criterio enunciato nel paragrafo 5.1) di eseguire un best-fit lineare (è verificato che l'errore relativo sulle  $V_p$  è minore di quello sulle  $V_g$ ).

Da tale best-fit risulta che  $m = 27,6 \pm 1,1$ .

Segue il grafico dei dati sperimentali in tabella 9 con le relative rette del best-fit:



**Figura 17:** Grafico dei dati sperimentali a  $I_p = 70 \pm 1 \text{ mA}$  e relative rette ricavate dal best-fit lineare

## 6. Conclusioni

Nel paragrafo 5.1 sono stati ricavati i valori di  $r$  per diversi valori di tensione di griglia. Si è quindi proceduto al calcolo della caratteristica mutua del circuito ( $g$ ) per diversi valori di  $V_p$  (5.2).

Infine si è cercato di mostrare una correlazione fra le due grandezze attraverso la  $m$  calcolata nel paragrafo 5.3 cercando di sfruttare una zona in cui le curve caratteristiche presentavano un andamento approssimativamente lineare.

I due range di misura ottenuti al 5.3  $m = r \cdot g = 20,3 \pm 1,6$  e  $m = 27,6 \pm 1,1$  non si intersecano per una differenza di 4,6; anche se tale valore è abbastanza elevato rispetto alla media delle due stime (circa 24) c'è da dire che tali valori sono stati ottenuti attraverso diverse approssimazioni, resesi necessarie durante l'elaborazione dei dati, e quindi sono pur sempre indicativi.

Prima di tutto si è dovuto approssimare il valore di  $V_g = -5,2 \pm 0,4V$  a -6 Volt per poter utilizzare una delle caratteristiche anodiche. Poi si sono potuti utilizzare solo dei valori medi di  $r$  e  $g$ .

In verità, in fase di elaborazione, si è tentato anche di ricavare valori più precisi di  $r$  e  $g$  facendo dei best-fit lineari sui punti immediatamente vicini a quelli per cui  $I_p = 70 \pm 1mA$  ed ottenendo così valori di  $r$  e  $g$  più legati alla pendenza della curva in tale punto. Benché in questo modo, la  $m$  ricavata attraverso la (4) risultava del tutto compatibile con quella trovata sperimentalmente, la necessità di considerare pochi punti e gli errori dovuti alle grandezze portavano però ad un errore di circa il 50% su di essa.

In virtù di tali considerazioni, essendoci comunque una sostanziale compatibilità fra i risultati ottenuti, le tre esperienze (5.1, 5.2, 5.3) si possono sostanzialmente considerare conclusesi in maniera abbastanza soddisfacente.

## 7. Bibliografia

- [1] Edoardo Amaldi, Romano Bizzarri, Guido Pizzella: *Fisica Generale, Elettromagnetismo Relatività Ottica* (Ed. Zanichelli)
- [2] Schede di Istruzioni delle Esperienze (Corso di Esperimentazioni di Fisica II) a cura dei Prof. Salvatore Costa e Francesca Rizzo;
- [3] Appunti del prof. Marcello Lattuada, Laboratorio di Fisica II, anno accademico 2003/2004;

Per la parte riguardante l'analisi degli errori e le elaborazioni sono stati usati:

- [4] M. Loreti: *Teoria degli errori e fondamenti di statistica* (Ed. Zanichelli, Bologna)
- [5] J.R. Taylor: *Introduzione all'analisi degli errori* (Ed. Zanichelli, Bologna)
- [6] A. Foti, C. Gianino: *Elementi di analisi dei dati sperimentali* (Ed. Liguori)