

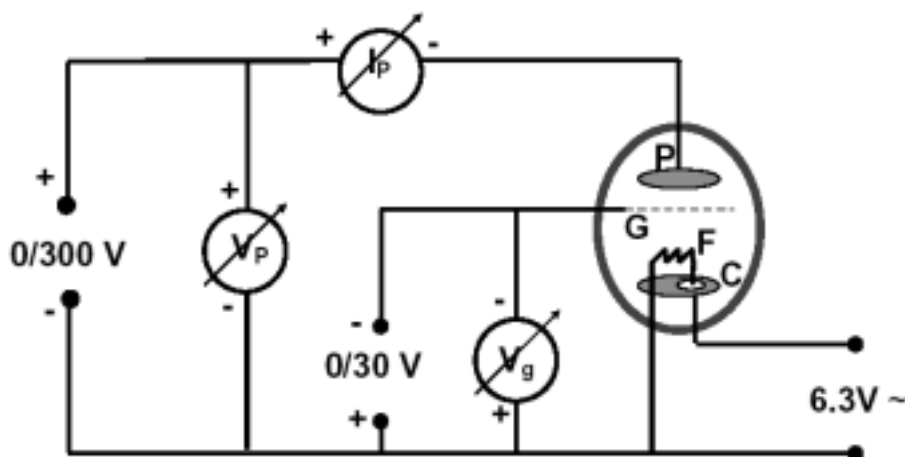
Rilievo delle caratteristiche di un triodo

Chieffalo V., De Domenico M., S.

Laboratorio di Fisica Sperimentale dell'Università degli Studi di Catania

Sommario

Presentiamo i risultati del rilievo delle caratteristiche di un triodo, ottenuta presso il laboratorio di Esperimentazioni di Fisica II del dipartimento di fisica. Il rilievo è stato ottenuto misurando diverse tensioni V_p per la placca P del triodo, mantenendo quella V_g per la griglia G , di valore costante fissato a priori, e successivamente, viceversa, misurando diverse tensioni V_g per la griglia G del triodo, mantenendo quella V_p per la placca P , di valore costante fissato a priori.



Interponendo un terzo elettrodo¹ G , tra l'anodo e il catodo di un diodo, è possibile controllare la corrente anodica sia variando il potenziale dell'anodo sia quello della griglia. Un diodo con tale griglia interposta, è detto triodo.

Lo schema in figura, evidenzia l'utilizzo di 2 generatori di tensione, E_1 ² ed E_2 ³, rispettivamente variabili tramite dei potenziometri tra 0 e 300 Volt, e tra 0 e 30 Volt. E' aggiunto un terzo generatore E_3 , che causa una corrente alternata costante a 6.3 Volt che alimenta il filamento F che viene portato dunque all'incandescenza.

Il nostro scopo è quello di misurare le tensioni V_g e V_p , nonché la corrente anodica I_p , in opportune condizioni, al fine di rilevare le 3 caratteristiche di un triodo:

¹Che chiamiamo *griglia*, costituito da un filo metallico molto sottile avvolto a spirale intorno al catodo e da esso isolato.

²Fornisce la d.d.p. tra catodo e placca. Il valore di tale d.d.p. è misurato tramite un voltmetro V_p e la corrispondente corrente anodica I_p è misurata tramite un milli-amperometro mA e un micro-amperometro μA , a seconda della sensibilità richiesta.

³Fornisce la d.d.p. tra catodo e griglia. Il valore di tale d.d.p. è misurato tramite un voltmetro V_g .

- Resistenza interna ρ ;
- Conduttanza mutua S ;
- Coefficiente di amplificazione μ ;

rispettivamente definite dalle 3 relazioni

$$\rho = \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p} \quad (V_g = \text{cost.}) \quad (1)$$

$$S = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} \quad (V_p = \text{cost.}) \quad (2)$$

$$\mu = -\frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} \quad (I_p = \text{cost.}) \quad (3)$$

Normalmente un triodo viene fatto lavorare nel tratto più lineare della famiglia di curve caratteristiche, è per questo che i 3 parametri suddetti sono definiti in questo tratto e ivi ha senso calcolarli.

1 Apparato sperimentale

Il materiale che abbiamo utilizzato consisteva in:

- Triodo a vuoto;
- Generatore di d.d.p. 0-300 Volt;
- Generatore di d.d.p. 0-30 Volt;
- Generatore di d.d.p. 6.3 ~ Volt;

Indicando con s_M la sensibilità di misura e con s_L quella di lettura, e con p la portata di uno strumento:

	mA (A)	μ A (A)
s_M	0.00005 (0.05 mA)	0.000001 (1 μ A)
s_L	0.000025 (0.025 mA)	0.0000005 (0.5 μ A)
p	0.005 (5 mA)	0.0001 (100 μ A)

	V_p (V)	V_p (V)	V_g (V)	V_g (V)
s_M	3	1	1	0.2
s_L	1.5	0.5	0.5	0.1
p	450	150	150	30

2 Esecuzione dell'esperienza

L'esperienza si compone di 2 parti, dopo aver atteso qualche minuto che la temperatura del filamento arrivi a regime:

- Fissato $V_p = \text{cost.}$ mediante l'apposito potenziometro, facciamo variare V_g da 0 a un massimo e rileviamo anche la corrente I_p finchè non arriva a 0, avendo cura di segnare tutte le misure;
- Fissato $V_g = \text{cost.}$ mediante l'apposito potenziometro, facciamo variare V_p da 0 a un massimo e rileviamo anche la corrente I_p , avendo cura di segnare tutte le misure.

3 Misura di V_g

3.1 Tabella dati

Riportiamo nella tabella che segue i valori della d.d.p. V_g , ottenuta per un valore costante V_p , nell'ordine in cui sono stati ottenuti e seguiti dall'errore che cambia al variare dei fondi scala utilizzati e al variare delle misurazioni con mA o μA :

Tabella A

Misura n.	V_p (V)	V_g (V)	I_p (μA)
1	100.0 ± 0.5	0.0 ± 0.1	150 ± 25
2	100.0 ± 0.5	-2.0 ± 0.1	100 ± 25
3	100.0 ± 0.5	-4.0 ± 0.1	77.0 ± 0.5
4	100.0 ± 0.5	-6.0 ± 0.1	52.0 ± 0.5
5	100.0 ± 0.5	-8.0 ± 0.1	30.0 ± 0.5
6	100.0 ± 0.5	-10.0 ± 0.1	13.0 ± 0.5
7	100.0 ± 0.5	-12.0 ± 0.1	6.0 ± 0.5
8	100.0 ± 0.5	-14.0 ± 0.1	3.0 ± 0.5
9	100.0 ± 0.5	-16.0 ± 0.1	2.0 ± 0.5
10	100.0 ± 0.5	-18.0 ± 0.1	1.0 ± 0.5
11	100.0 ± 0.5	-20.0 ± 0.1	0.5 ± 0.5
12	100.0 ± 0.5	-22.0 ± 0.1	0.0 ± 0.5

Misura n.	V_p (V)	V_g (V)	I_p (μ A)
13	200.0 ± 1.5	0.0 ± 0.1	250 ± 25
14	200.0 ± 1.5	-2.0 ± 0.1	200 ± 25
15	200.0 ± 1.5	-4.0 ± 0.1	150 ± 25
16	200.0 ± 1.5	-6.0 ± 0.1	100 ± 25
17	200.0 ± 1.5	-8.0 ± 0.1	73.0 ± 0.5
18	200.0 ± 1.5	-10.0 ± 0.1	43.0 ± 0.5
19	200.0 ± 1.5	-12.0 ± 0.1	25.0 ± 0.5
20	200.0 ± 1.5	-14.0 ± 0.1	12.0 ± 0.5
21	200.0 ± 1.5	-16.0 ± 0.1	6.0 ± 0.5
22	200.0 ± 1.5	-18.0 ± 0.1	4.0 ± 0.5
23	200.0 ± 1.5	-20.0 ± 0.1	2.0 ± 0.5
24	200.0 ± 1.5	-22.0 ± 0.1	1.5 ± 0.5
25	200.0 ± 1.5	-24.0 ± 0.1	1.0 ± 0.5
26	200.0 ± 1.5	-26.0 ± 0.1	0.5 ± 0.5
27	200.0 ± 1.5	-28.0 ± 0.1	0.0 ± 0.5
Misura n.	V_p (V)	V_g (V)	I_p (μ A)
28	300.0 ± 1.5	0.0 ± 0.1	350 ± 25
29	300.0 ± 1.5	-2.0 ± 0.1	300 ± 25
30	300.0 ± 1.5	-4.0 ± 0.1	250 ± 25
31	300.0 ± 1.5	-6.0 ± 0.1	200 ± 25
32	300.0 ± 1.5	-8.0 ± 0.1	150 ± 25
33	300.0 ± 1.5	-10.0 ± 0.1	100 ± 25
34	300.0 ± 1.5	-12.0 ± 0.1	63.0 ± 0.5
35	300.0 ± 1.5	-14.0 ± 0.1	37.0 ± 0.5
36	300.0 ± 1.5	-16.0 ± 0.1	19.0 ± 0.5
37	300.0 ± 1.5	-18.0 ± 0.1	11.0 ± 0.5
38	300.0 ± 1.5	-20.0 ± 0.1	7.0 ± 0.5
39	300.0 ± 1.5	-22.0 ± 0.1	4.0 ± 0.5
40	300.0 ± 1.5	-24.0 ± 0.1	3.0 ± 0.5
41	300.0 ± 1.5	-26.0 ± 0.1	2.0 ± 0.5
42	300.0 ± 1.5	-28.0 ± 0.1	1.0 ± 0.5
43	300.0 ± 1.5	-30.0 ± 0.1	0.5 ± 0.5
44	300.0 ± 1.5	-31.0 ± 0.5	0.0 ± 0.5

4 Misura di V_g

4.1 Tabella dati

Riportiamo nella tabella che segue i valori della d.d.p. V_p , ottenuta per un valore costante V_g , nell'ordine in cui sono stati ottenuti e seguiti dall'errore che cambia al variare dei fondi scala utilizzati e al variare delle misurazioni con mA o μ A:

Tabella B

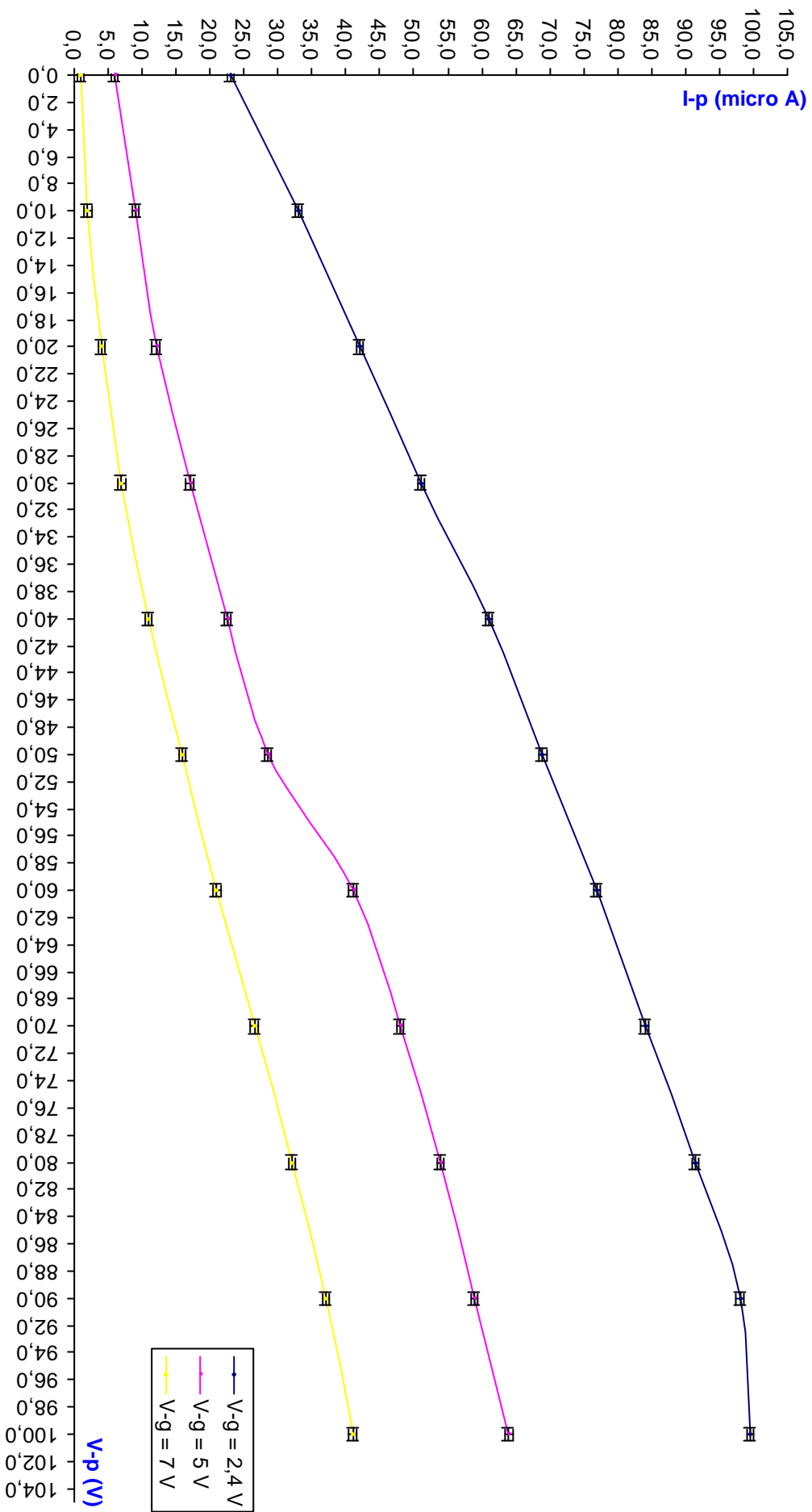
Misura n.	V_p (V)	V_g (V)	I_p (μ A)
1	0.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	23.0 ± 0.5
2	10.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	33.0 ± 0.5
3	20.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	42.0 ± 0.5
4	30.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	51.0 ± 0.5
5	40.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	61.0 ± 0.5
6	50.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	69.0 ± 0.5
7	60.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	77.0 ± 0.5
8	70.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	84.0 ± 0.5
9	80.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	91.5 ± 0.5
10	90.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	98.0 ± 0.5
11	100.0 ± 0.5	2.4 ± 0.1	99.5 ± 0.5
Misura n.	V_p (V)	V_g (V)	I_p (μ A)
12	0.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	6.0 ± 0.5
13	10.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	9.0 ± 0.5
14	20.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	12.0 ± 0.5
15	30.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	17.0 ± 0.5
16	40.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	22.5 ± 0.5
17	50.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	28.5 ± 0.5
18	60.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	41.0 ± 0.5
19	70.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	48.0 ± 0.5
20	80.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	54.0 ± 0.5
21	90.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	59.0 ± 0.5
22	100.0 ± 0.5	5.0 ± 0.1	64.0 ± 0.5
Misura n.	V_p (V)	V_g (V)	I_p (μ A)
23	0.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	1.0 ± 0.5
24	10.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	2.0 ± 0.5
25	20.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	4.0 ± 0.5
26	30.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	7.0 ± 0.5
27	40.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	11.0 ± 0.5
28	50.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	16.0 ± 0.5
29	60.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	21.0 ± 0.5
30	70.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	26.5 ± 0.5
31	80.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	32.0 ± 0.5
32	90.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	37.0 ± 0.5
33	100.0 ± 0.5	7.0 ± 0.1	41.0 ± 0.5

5 Calcolo delle caratteristiche

5.1 Resistenza interna ρ

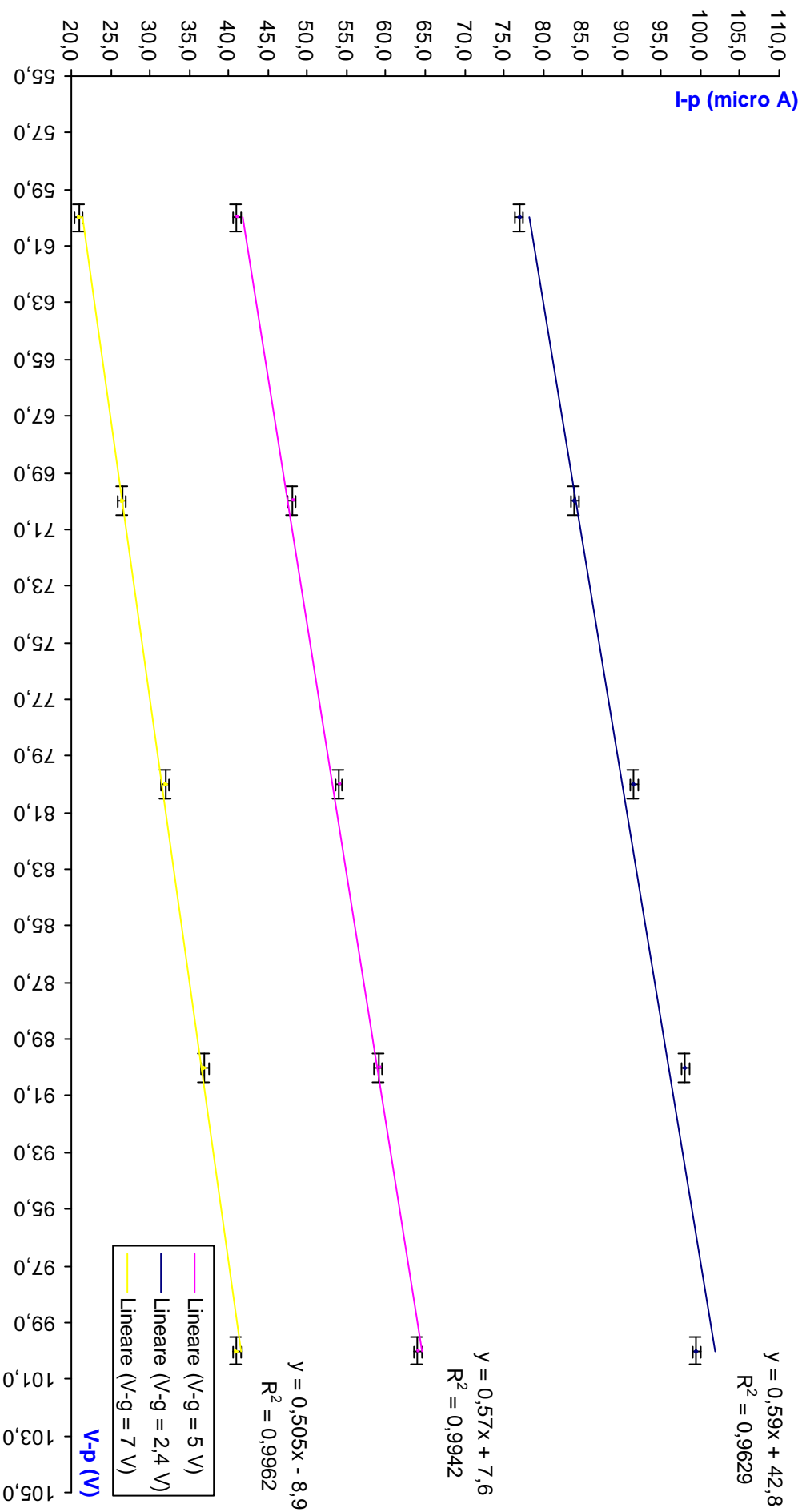
In figura, sono riportati i valori precedentemente tabulati per $V_g = cost.$

Rilevazione delle caratteristiche di un triodo ($V_g = \text{cost.}$)



Dovremmo considerare tutti i rapporti delle variazioni di d.d.p. e corrente di placca, e ottenere una stima per ognuno di essi. Tuttavia, se consideriamo 3 intervalli diversi di V_p che rendono la relazione con I_p quasi lineare per le 3 differenti V_g otteniamo una buona approssimazione; nella figura che segue sono riportate le 3 rette di fit approssimanti, con rispettivo coefficiente di correlazione lineare.

Rilevazione delle caratteristiche di un triodo (V-g = cost.)



I valori m e q delle rette di fit ottenuti sono tabulati in tabella C (indichiamo con r^2 il coefficiente di correlazione lineare):

Tabella C

V_g	m	q	r^2
2.4	0.59	42.8	0.9629
5	0.57	7.6	0.9942
7	0.505	-8.9	0.9962

Calcoliamo ϱ dai vari coefficienti delle rette di fit, ricordando la (1). Posto $\Delta = n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$, otteniamo la stima σ_m dell'errore sugli m :

$$\sigma_m = \sigma_y \sqrt{\frac{n}{\Delta}} \quad (4)$$

con $\sigma_y = \sqrt{\sum \frac{(y_i - mx_i - q)^2}{n-2}}$. Poichè $n = 5$ e $\Delta = 5000$, il calcolo è facilmente fatto.

In definitiva, indicando con $\gamma\%$ l'errore relativo, otteniamo i seguenti valori:

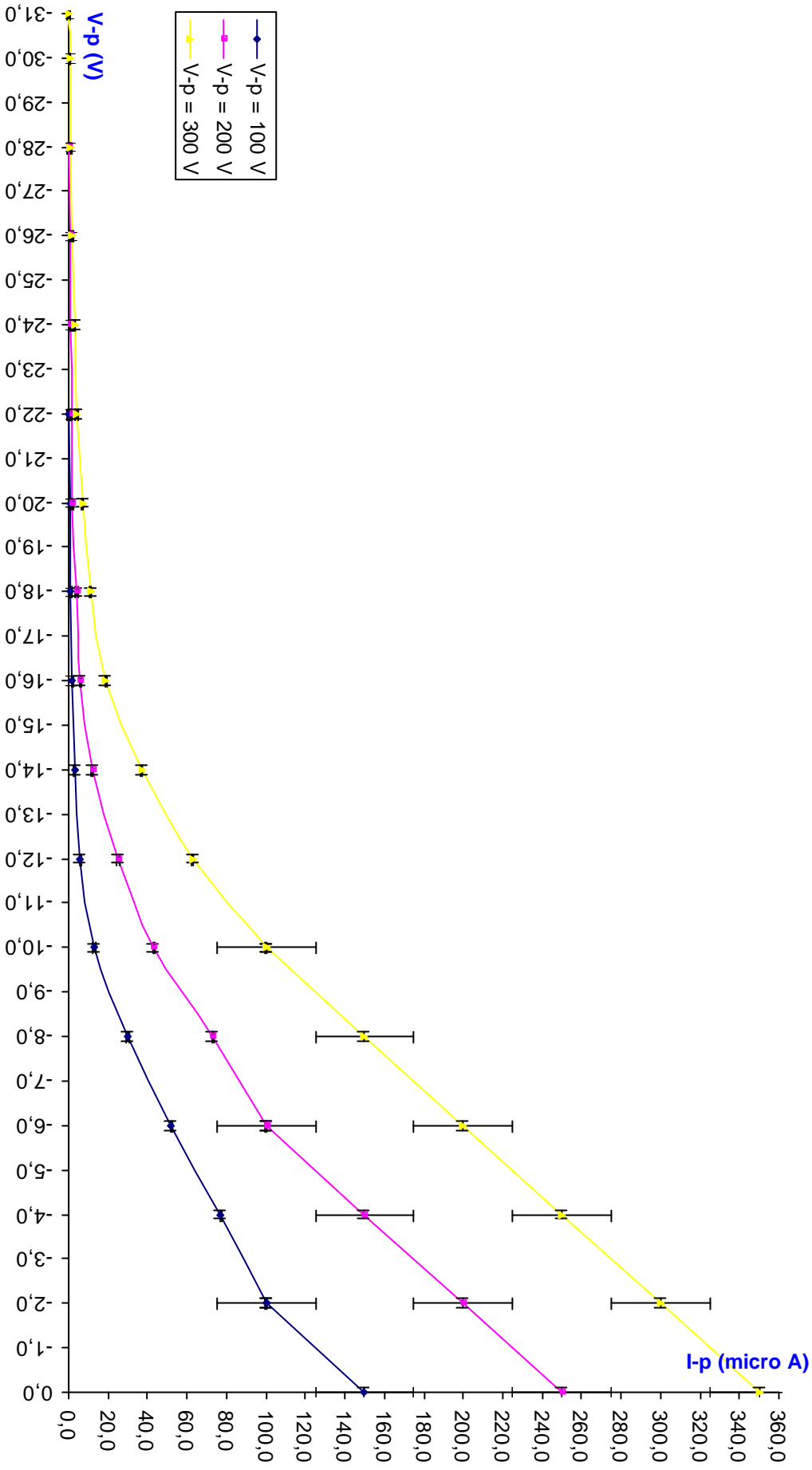
	$K\Omega$	$\gamma\%$
ϱ_1	1695 ± 68	4.01
ϱ_2	1754 ± 25	1.42
ϱ_3	1980 ± 18	0.91

che rappresentano i valori definitivi per la resistenza interna. I risultati ottenuti sono soddisfacenti entro i limiti indicati dagli errori e considerando la buona approssimazione delle rette di fit, data dai coefficienti di correlazione.

5.2 Conduttanza mutua S

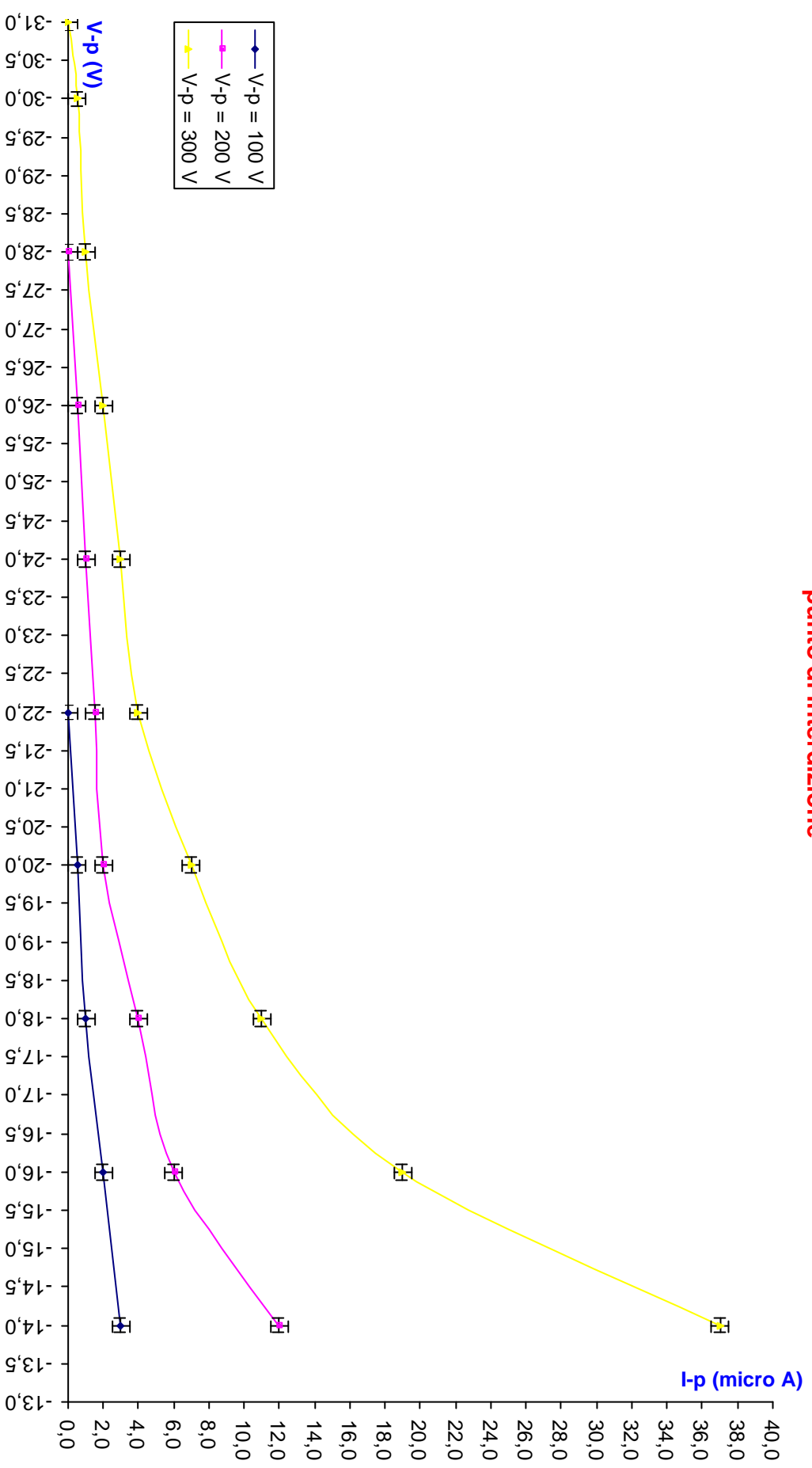
In figura, sono riportati i valori precedentemente tabulati per $V_p = \text{cost.}$

Rilievo delle caratteristiche di un triodo (V-p = cost)



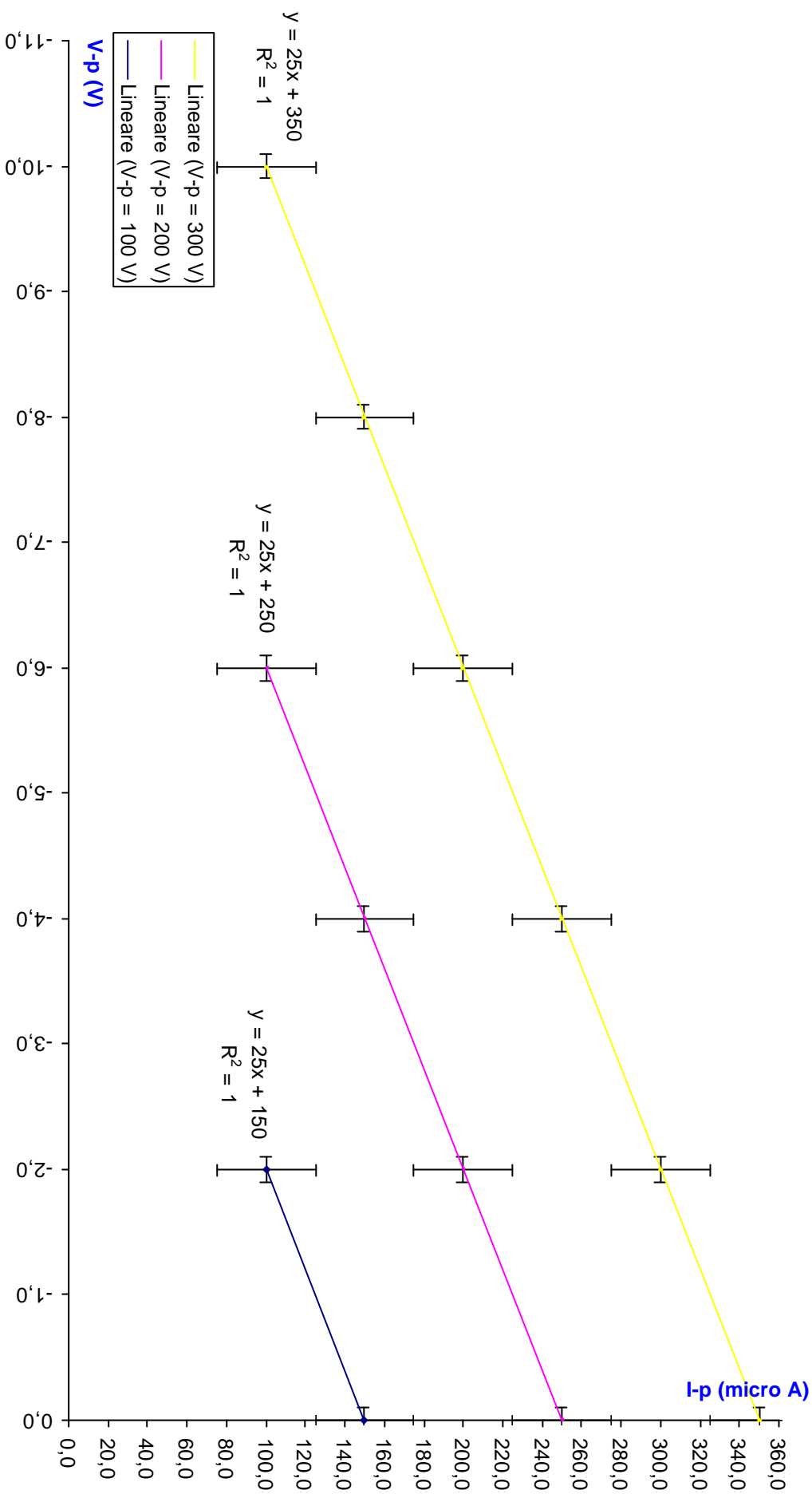
E' riportato anche un particolare del grafico precedente, che evidenzia i diversi punti di interdizione.

**Rilievo delle caratteristiche di un triodo (V-p = cost):
punto di interdizione**



Dovremmo considerare tutti i rapporti delle variazioni di d.d.p. di griglia e corrente di placca, e ottenere una stima per ognuno di essi. Tuttavia, se consideriamo 3 intervalli diversi di V_g che rendono la relazione con I_p quasi lineare per le 3 differenti V_p otteniamo una buona approssimazione; nella figura che segue sono riportate le 3 rette di fit approssimanti, con rispettivo coefficiente di correlazione lineare.

Rilievo delle caratteristiche di un triodo (V-p = cost)



I valori m e q delle rette di fit ottenuti sono tabulati in tabella D (indichiamo con r^2 il coefficiente di correlazione lineare):

Tabella D

V_p	m	q	r^2
100	25	150	1
200	25	250	1
300	25	350	1

Calcoliamo S dall'ultimo dei coefficienti delle rette di fit, in quanto, per variazioni, il termine posizionale delle rette è influente e occorre solo il quello angolare; ricordando la (2). Posto $\Delta = n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$, otteniamo la stima σ_m dell'errore su m :

$$\sigma_m = \sigma_y \sqrt{\frac{n}{\Delta}} \quad (5)$$

con $\sigma_y = \sqrt{\sum \frac{(y_i - mx_i - q)^2}{n-2}}$. Poichè $n = 6$ e $\Delta = 5000$, il calcolo è facilmente fatto.

In definitiva, indicando con $\gamma\%$ l'errore relativo, otteniamo i seguenti valori:

	$\frac{\mu A}{V}$	$\gamma\%$
S	25 ± 0	0

che rappresenta il valore definitivo per la conduttanza mutua, e che com'era prevedibile, ha errore nullo dato il perfetto accordo con la retta di fit. Il risultato ottenuto è soddisfacente entro i limiti indicati dagli errori e considerando che ben 3 misure per d.d.p. di placca diverse, si hanno le medesime rette di fit.

5.3 Coefficiente di amplificazione μ

Si può facilmente mostrare che $\mu = \varrho \cdot S$, dunque otteniamo 3 valori, il cui errore è facilmente determinabile dalla legge sulla propagazione degli errori:

$$\sigma_\mu = \sqrt{S^2 \sigma_\varrho^2 + \varrho^2 \sigma_S^2} = S \sigma_\varrho \quad (6)$$

poichè $\sigma_S = 0$. In definitiva, indicando con $\gamma\%$ l'errore relativo, otteniamo i seguenti valori:

		$\gamma\%$
μ_1	42.4 ± 1.7	4.0
μ_2	43.8 ± 0.6	1.4
μ_3	49.5 ± 0.4	0.8

che rappresentano i valori definitivi per il coefficiente di amplificazione.

6 Bibliografia

A.Foti e C.Gianino - *Elementi di analisi dei dati sperimentali*, Liguori, Napoli.

W.Maraschini e M.Palma - *Format: probabilità e statistica*, Paravia, Torino.

E.Perucca - *Fisica Generale e sperimentale*, UTET, Torino.

R.Ricamo - *Guida alle sperimentazioni di Fisica*, Ambrosiana, Milano.

J.R. Taylor - *Introduzione all'analisi degli errori*, Zanichelli, Bologna.

F.Tyler - *A Laboratory manual of Physics*, E.Arnoold, London.