

LABORATORIO DI FISICA II CORSO A-L

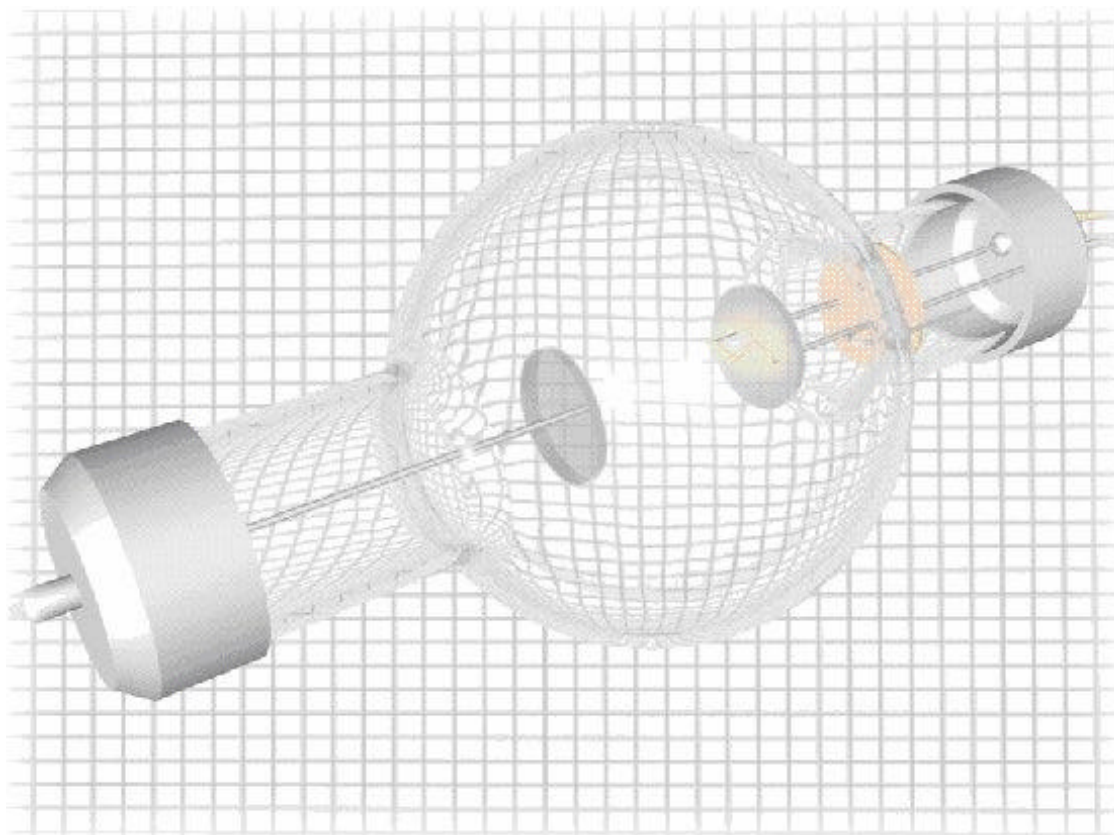
Università degli studi di Catania

Facoltà di Scienze

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Giuseppe Galilei

Diodo a vuoto e legge di Langmuir-Child.



Rappresentazione di un diodo in 3D.

➤ Introduzione.

Sir John Ambrose Fleming (noto anche con il nome di Ambrose J. Fleming, nato il 29 novembre del 1848 e morto il 18 aprile del 1945) era un ingegnere britannico. Fleming aveva 50 anni e una notevole esperienza quando divenne il primo consigliere scientifico della società Marconi nel dicembre del 1900.



Con una laurea in fisica e una in chimica, aveva studiato con il grande James Clerk Maxwell a Cambridge, e aveva lavorato sia per la Edison Light che per la Bell Telephone. Fu il primo professore di Ingegneria Elettrica all'University College di Londra un posto che occupò dal 1884 per 41 anni. Marconi lo incaricò di progettare il generatore di potenza delle prime stazioni radio transatlantiche e nel 1904 Fleming brevettò la sua invenzione più importante, la valvola termoionica o diodo.

Questo diodo era una variante di tubo a vuoto costituita da un bulbo di vetro contenente gas rarefatto, da una placca metallica e da un filamento che, attraversato da una corrente, liberava elettroni. Applicando una differenza di potenziale in modo da avere la placca positiva ed il filamento negativo, si produceva un movimento degli elettroni emessi dal filamento verso il

catodo, ossia un passaggio di corrente. Invertendo invece la polarità gli elettroni venivano bloccati. Il diodo, facendo passare la corrente solo in una direzione, si comportava quindi come una vera e propria valvola. I diodi svolsero un ruolo fondamentale per la rivelazione delle onde radio e per il raddrizzamento di correnti alternate. Il successivo perfezionamento dei diodi con l'aggiunta di un terzo elettrodo fu opera di Lee De Forest nel 1906. I nuovi dispositivi, i cosiddetti "triodi", permisero di amplificare, rivelare e produrre onde radio, e segnarono l'avvio della rivoluzione elettronica. La loro sostituzione con semiconduttori ha segnato l'inizio della miniaturizzazione dei componenti elettronici. Fleming fu fatto cavaliere nel 1929, scrisse diversi libri di testo, e mantenne la sua carica di consulente per la ditta Marconi quasi fino al giorno della sua morte, nell'aprile del 1945, all'età di 95 anni.

Il diodo è il più semplice dispositivo che sfrutta l'effetto termoelettronico, in cui il metallo emittente è rappresentato dal filamento che viene riscaldato da una corrente continua o come nel nostro caso da una corrente alternata.

➤ Cenni teorici.

Prima di passare allo studio delle caratteristiche del diodo è opportuno fare una breve discussione sull'effetto termoelettronico.

Quando un elettrone, dotato di una sufficiente energia cinetica dipendente dalla temperatura del filamento, lascia il metallo, induce su quest'ultimo una carica di segno opposto che di conseguenza esercita sull'elettrone che si sta allontanando dal metallo una forza attrattiva.

In questo modo alla superficie del metallo si crea una nuvola di elettroni chiamata *carica spaziale* che ostacola l'uscita di altri elettroni dal metallo. A bassa temperatura, il numero di elettroni usciti dal metallo è basso ed inoltre essi possiedono una energia cinetica piccola che non riesce a farli allontanare molto dal metallo, per cui la loro emissione è praticamente inosservabile e la carica spaziale è poco estesa. Se però la temperatura del metallo cresce, il numero di elettroni emessi aumenta, di conseguenza aumenta anche la carica spaziale, ma un gran numero di elettroni riusciranno a raggiungere l'anodo.

Il numero di elettroni emessi e quindi l'intensità $I_{S_{max}}$ ottenibile da un metallo portato all'incandescenza dipende dalla natura del metallo, dalla sua temperatura (T) e dalla superficie

emettitrice (S), secondo la legge di Richardson: $I_s = AST^2 e^{-\frac{b}{T}}$ dove (A) è una costante uguale per tutti i metalli che vale $A \cong 120A / [cm^2 (^\circ K^2)]$, e (b) un coefficiente caratteristico di ogni metallo, per alcuni dipendente anche dalla temperatura.

La legge di Richardson può anche essere espressa come funzione del potenziale di estrazione

del metallo, in pratica $J = AT^2 e^{-\frac{W_0}{kT}}$ dove (J) rappresenta la corrente per unità di superficie, (W_0) rappresenta per l'appunto il potenziale di estrazione del metallo, (k) la costante di Boltzmann e (T) la temperatura in gradi Kelvin del filamento.

Rendendo la placca positiva rispetto al filamento ed aumentando gradualmente il suo potenziale è osservabile un aumento della corrente; aumentando ulteriormente il potenziale della placca si riesce a creare tra placca e filamento un campo elettrico così intenso che tutti gli elettroni che escono dal filamento vengono immediatamente allontanati da questo e raggiungono la placca. Da questo momento in poi la corrente che passa nel diodo non cresce più al crescere ulteriore del potenziale di placca (V_P). La corrente a cui avviene questo fenomeno prende il nome di corrente di saturazione (i_s) del diodo, aumentando la corrente di riscaldamento del filamento aumenta la temperatura di questo, e quindi secondo la legge di Richardson-Fermi aumenta anche l'emissione termoelettronica, per modo che anche il valore della corrente di saturazione aumenta.

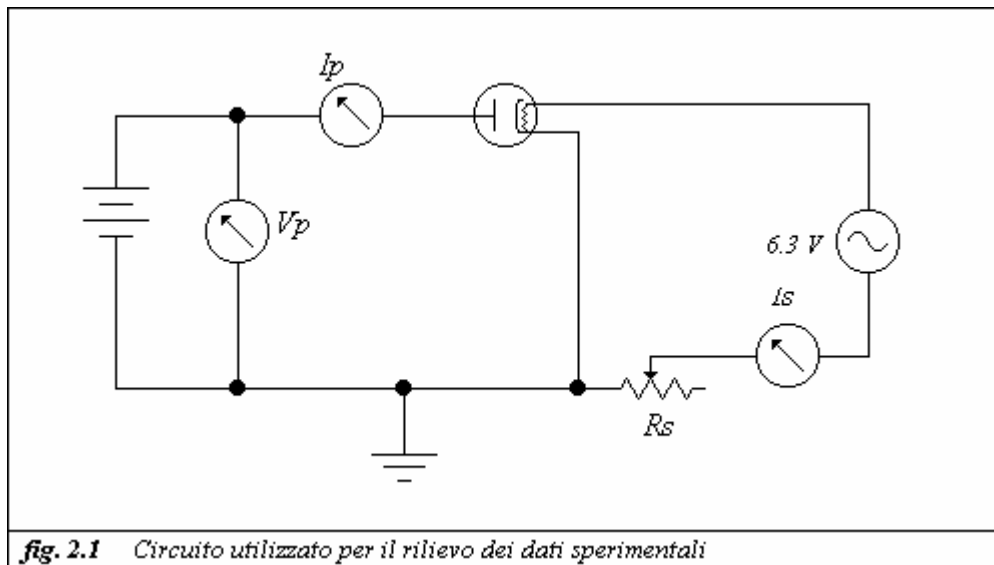
Il diodo è classificato come elemento non ohmico poiché la resistenza che esso oppone al passaggio della corrente è funzione della corrente stessa, quindi il diodo non segue la legge di Ohm.

La principale applicazione che viene fatta dei diodi è come valvole raddrizzatrici, infatti è evidente che se in un circuito è inserito un diodo esso permette il passaggio della corrente solo quando la placca è positiva rispetto al filamento, perché quando è negativa gli elettroni emessi dal filamento vengono respinti e ricadono sul filamento stesso.

➤ **Obiettivo dell'esperienza.**

Obiettivo dell'esperienza è tracciare la caratteristica I-V del diodo.

La caratteristica di un diodo è una curva che rappresenta la variazione della corrente in funzione della d.d.p. applicata fra catodo e placca, per una determinata temperatura del filamento emettitore. Il circuito adoperato nell'esperienza è riportato sotto in figura:



Il filamento (F) del diodo viene portato ad incandescenza facendovi circolare corrente alternata, a tale scopo si alimenta il filamento usando l'uscita 6,3V in alternata del generatore in dotazione all'esperienza ed una resistenza a cursore variabile (R_S). La d.d.p. tra catodo e placca è fornita dall'uscita (0-330V) in continua dello stesso generatore e può essere variata agendo sul potenziometro presente sul pannello frontale del generatore. Il valore di tale d.d.p. è misurato dal voltmetro (V_P) e la corrispondente corrente anodica (I_P) è misurata usando un amperometro a diverse portate, un milliamperometro (mA) o un microamperometro (μA) a seconda della sensibilità richiesta.

➤ **Apparato sperimentale.**

1. Diodo a vuoto.
2. Amperometro a diverse portate.
3. Microamperometro.
4. Generatore in continua e in alternata.
5. Voltmetro a diverse portate.
6. Reostato (R_S).
7. Cavetti per la realizzazione del circuito.

Strumento	Caratteristica	Portata	Classe di precisione	Tensione di prova
Voltmetro	Bobina mobile	3-15-30-150-450 (V)	D.C 1 A.C. 2,5	2000 Volt
Amperometro	Bobina mobile	5-1-0,1-0,01-0,005 (A)	D.C. 1 A.C. 2,5	2000 Volt
Microamperometro	Bobina mobile	100 (μ A)	D.C 0,5	2000 Volt
Milliamperometro	Bobina mobile	1 (mA)	D.C. 1	2000 Volt

➤ **Descrizione dell'esperienza.**

Realizzato il circuito rappresentato in figura e facendo attenzione che i fili di collegamento del filamento sono di colore giallo e quelli della placca di colore nero, si è regolato il reostato (R_S) in modo tale che l'amperometro in corrente alternata segni un passaggio di corrente I_f . Dopo aver atteso qualche minuto in modo tale che la temperatura (T) del filamento si porti a regime ho ruotato il potenziale del generatore di modo che V_P risulti segnare zero e ho rilevato la corrente col microamperometro e poi variando la d.d.p. tra catodo e placca ho rilevato i corrispondenti valori di corrente di placca. Dopo ho invertito la polarità dell'alimentazione di placca e di conseguenza del voltmetro V_P e ripartendo nuovamente dalla condizione $V_P=0V$ ho osservato un debole passaggio di corrente con un galvanometro. Dopo ho cambiato mediante il reostato la corrente di filamento e ho nuovamente rilevato i valori di corrente di placca al variare della d.d.p. tra catodo e placca. I valori da me rilevati sono tabulati nelle tabelle sottostanti.

➤ **Tabelle.**

1.1	$I_f = 1,30A$		$? I_f = 0,05A$	
	V_P (V)	$? V_P$ (V)	I_P (μ A)	$? I_P$ (μ A)
1	0,00	0,03	1,0	0,5
2	5,0	0,3	5,0	0,5
3	19,2	0,3	11,0	0,5
4	29,0	0,3	15,0	0,5
5	79	1,5	20,0	0,5
6	135	1,5	25,0	0,5
7	300	4,5	29,0	0,5

1.2	$I_f = 1,55$		$? I_f = 0,05$	
	V_P (V)	$? V_P$ (V)	I_P (μ A)	$? I_P$ (μ A)
1	0,00	0,03	4,0	0,5
2	2,20	0,03	9,0	0,5
3	4,2	0,3	15,0	0,5
4	6,8	0,3	25,0	0,5
5	9,4	0,3	37,0	0,5
6	16,5	0,3	66,0	0,5
7	23,8	0,3	93,0	0,5

8	101	1,5	200	10
9	321	4,5	250	10

1.3	$I_f = 1,80A$		$? I_f = 0,05A$	
N° misura	V_P (V)	$? V_P$ (V)	I_P (μA)	$? I_P$ (μA)
1	0,00	0,03	9	0,5
2	2,40	0,03	17	0,5
3	3,8	0,3	23	0,5
4	5,6	0,3	33	0,5
5	7,6	0,3	45	0,5
6	8,8	0,3	53	0,5
7	11,0	0,3	64	0,5
8	12,2	0,3	73	0,5
9	13,4	0,3	80	0,5
10	16,0	0,3	94	0,5
11	23,8	0,3	100	10
12	45	1,5	200	10
13	64	1,5	300	10
14	90	1,5	400	10
15	118	1,5	500	10
16	142	1,5	600	10
17	216	4,5	750	10

1.4	$I_f = 2,10A$		$? I_f = 0,05A$	
N° misura	V_P (V)	$? V_P$ (V)	I_P (μA)	$? I_P$ (μA)
1	0,00	0,03	14	0,5
2	3,6	0,3	30	0,5
3	6,4	0,3	47	0,5
4	8,2	0,3	61	0,5
5	10,2	0,3	76	0,5
6	12,8	0,3	96	0,5
7	22,2	0,3	150	10
8	56	1,5	350	10
9	69	1,5	450	10
10	80	1,5	550	10
11	92	1,5	650	10
12	106	1,5	750	10
13	119	1,5	850	10
14	130	1,5	950	10
15	136	1,5	1000	50
16	204	4,5	1500	50
17	264	4,5	2000	50
18	327	4,5	2500	50

1.5	$I_f = 2,65A$		$? I_f = 0,05A$	
N° misura	V_P (V)	$? V_P$ (V)	I_P (μA)	$? I_P$ (μA)
1	0,00	0,03	7	0,5

2	25,0	0,3	175	10
3	50,0	1,5	350	10
4	75,0	1,5	550	10
5	100,0	1,5	800	10
6	125,0	1,5	1000	50
7	150,0	1,5	1255	50
8	180,0	4,5	1450	50
9	210,0	4,5	1750	50
10	240,0	4,5	2050	50
11	260,0	4,5	2375	50
12	300,0	4,5	2675	50

➤ Analisi Dati.

Osservando i dati tabulati nella tabelle soprastanti è possibile vedere che la corrente massima che attraversa il dispositivo e via via crescente con la temperatura. Inoltre l'incertezza sui valori misurati non risulta essere uniforme ma cambia ogni volta che viene cambiato strumento di misura o si cambia la portata ad uno stesso strumento.

L'insieme dei dati raccolti è stato da me riportato su dei grafici (che allego) dai quali si evince la caratteristica, inoltre posso affermare che si può osservare la curva caratteristica del diodo fino a corrente di filamento di 1,55 Ampere, dopo innalzando ancora la temperatura di filamento aumentando la corrente (I_f) si può osservare solamente il primo tratto della caratteristica, infatti con correnti maggiori di 1,55 Ampere non si può vedere la saturazione.

Ho poi voluto vedere se il tratto quasi lineare della caratteristica segue effettivamente la legge

di Langmuir-Child cioè $I_p = KV_p^{\frac{3}{2}}$ (*) con (K) parametro dipendente dalla forma geometrica del sistema di elettrodi catodo-anodo e in teoria non dalla temperatura, ecco perché il primo tratto della caratteristica è comune a tutte le curve; per far questo ho cercato di ricavare per il diodo didattico del laboratorio il valore dell'esponente e quello della costante (K), ho scritto la relazione $I_p = kV_p^c$ e prendendo il logaritmo di ambo i membri ho ottenuto: $\log(I_p) = \log(k) + c \log(V_p)$ e riportando questi valori in un grafico eseguendo un fit-lineare ho trovato che la pendenza della retta di fit dà l'esponente c, mentre la costante k si può ricavare dal termine noto.

Nella pratica, poiché nel costruire un diodo è difficile realizzare elettrodi perfettamente piani e coassiali ed inoltre gli effetti di bordo non possono essere del tutto eliminati, l'esponente del potenziale che compare nella relazione (*), può variare tra 1,3 ed 1,8. Nello specifico io ho trovato un diverso valore per il tratto quasi lineare del diodo per tre differenti temperature di filamento, e questo valore oltre ad essere diverso da (3/2) non è neanche compreso tra 1,3 ed 1,8 ma in tutti e tre i casi risulta essere minore di 1,3.

➤ Grafici

➤ Conclusioni.

I valori da me rilevati mi hanno permesso di tracciare la caratteristica del diodo che sembra rispecchiare le mie aspettative, ovvero il diodo è un conduttore non ohmico.

Dall'esame della caratteristica si evince che esso, utilizzato come elemento di circuito, presenta una resistenza *diretta*, quando l'anodo (o placca) è a potenziale positivo rispetto al catodo, di valore basso e in tal caso il diodo si dice che è in conduzione; al contrario, quando l'anodo è negativo rispetto al catodo, il diodo presenta una resistenza inversa di valore molto alto per cui esso lascia passare solo una debolissima corrente (che abbiamo osservato sul galvanometro) e questo stato si dice di *interdizione*. Le applicazioni sfruttano questa peculiarità della caratteristica del diodo. Una delle più importanti applicazioni è il raddrizzamento di correnti alternate.

In teoria nel rilevamento dei dati ad un certo punto la corrente di placca dovrebbe raggiungere un valore e non aumentare più (corrente di saturazione) al crescere ulteriore del potenziale di placca, ciò non si verifica per corrente di filamento superiore a 1,55 ampere. Questo effetto potrebbe spiegarsi col fatto che il diodo sia difettoso, infatti è possibile che all'interno dell'ampolla di vetro vi sia entrata dell'aria attraverso i cavetti per il collegamento, o semplicemente perché il diodo usato nell'esperienza è un diodo didattico.

➤ **Bibliografia.**

A. Foti e C. Gianino "Elementi di Analisi dei dati sperimentali" Liguori, Napoli.

R. Ricamo "Guida alle sperimentazioni di Fisica" Ambrosiana, Milano.

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

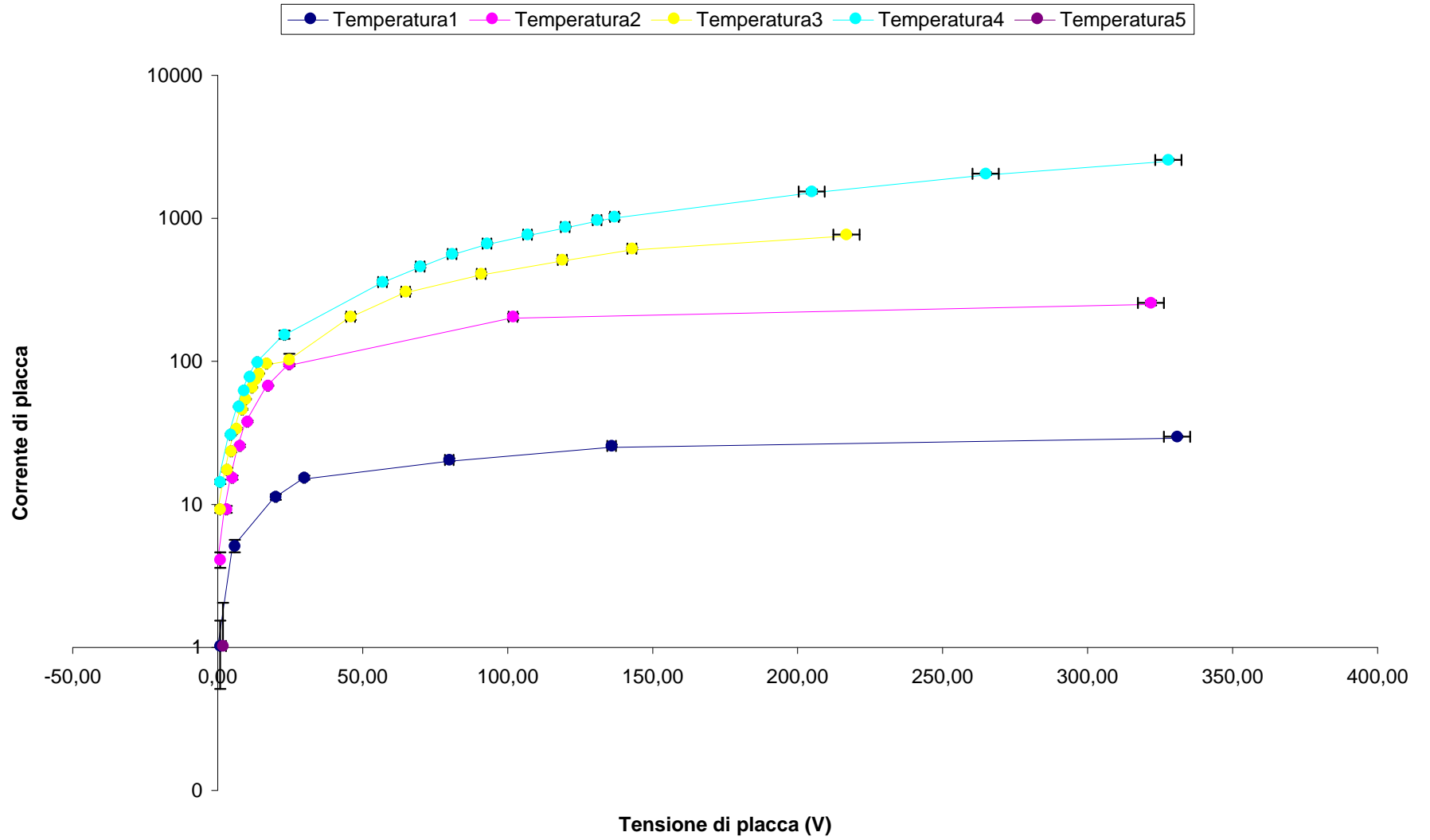
Amaldi-Bizzarri-Pizzella "Fisica Generale" Zanichelli Bologna.

Prof. N.Arena Appunti delle lezioni anno accademico 2003-2004.

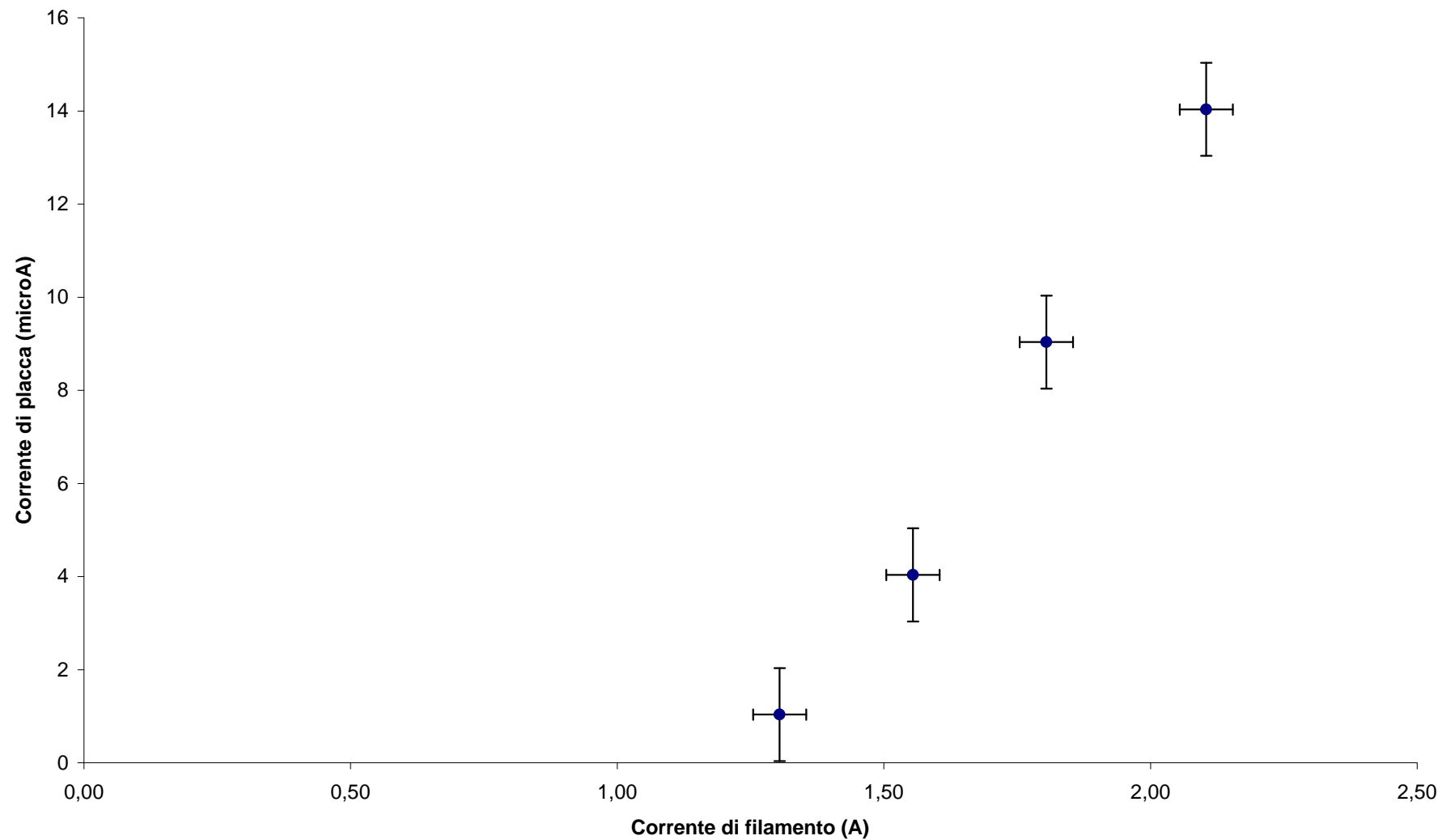
Prof. S. Costa Raccolta delle esperienze di Laboratorio di Fisica Generale II.

Si ringrazia Emanuele Strano per la ricostruzione del diodo in 3D.

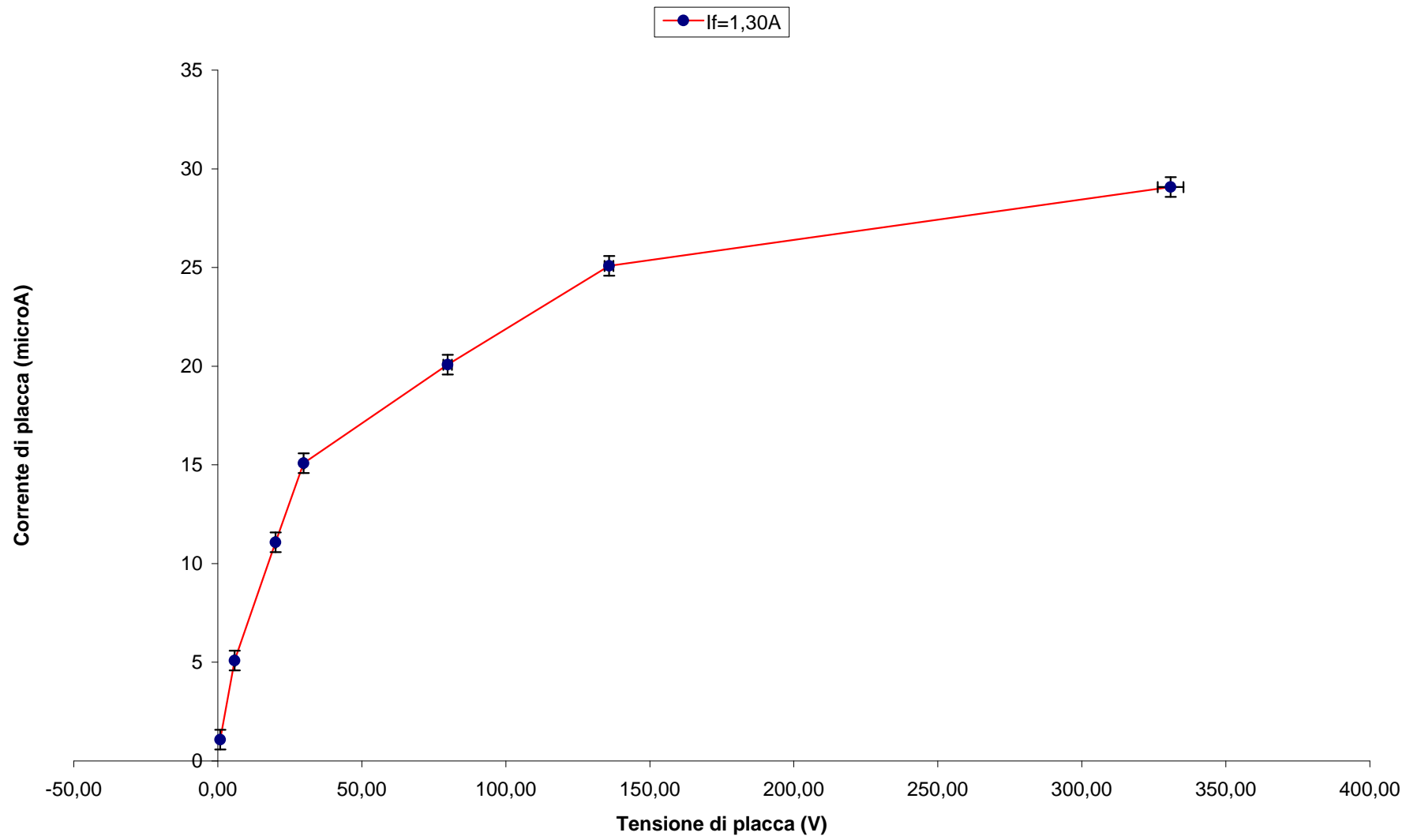
Caratteristica I-V del Diodo



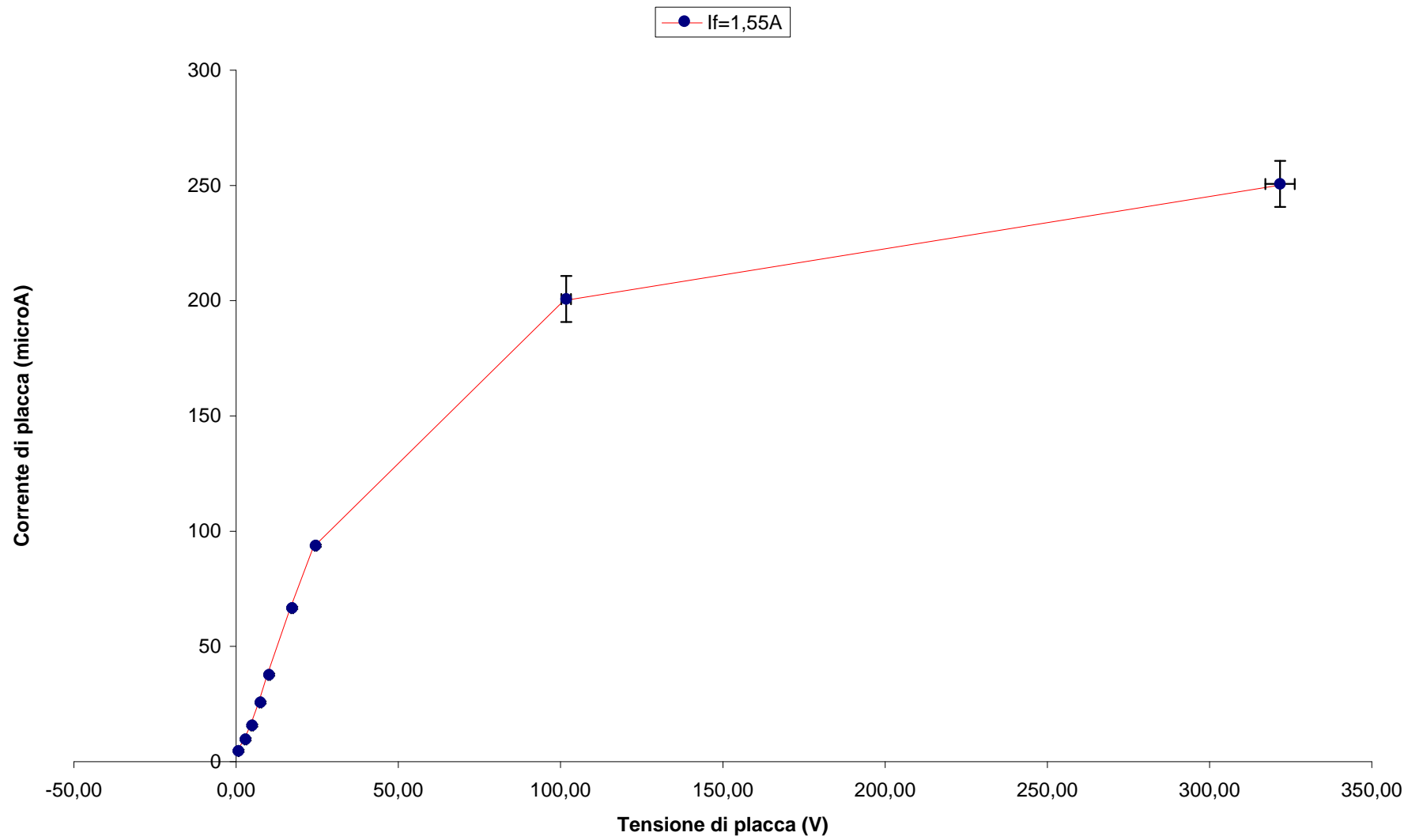
Legge di Richardson-Fermi



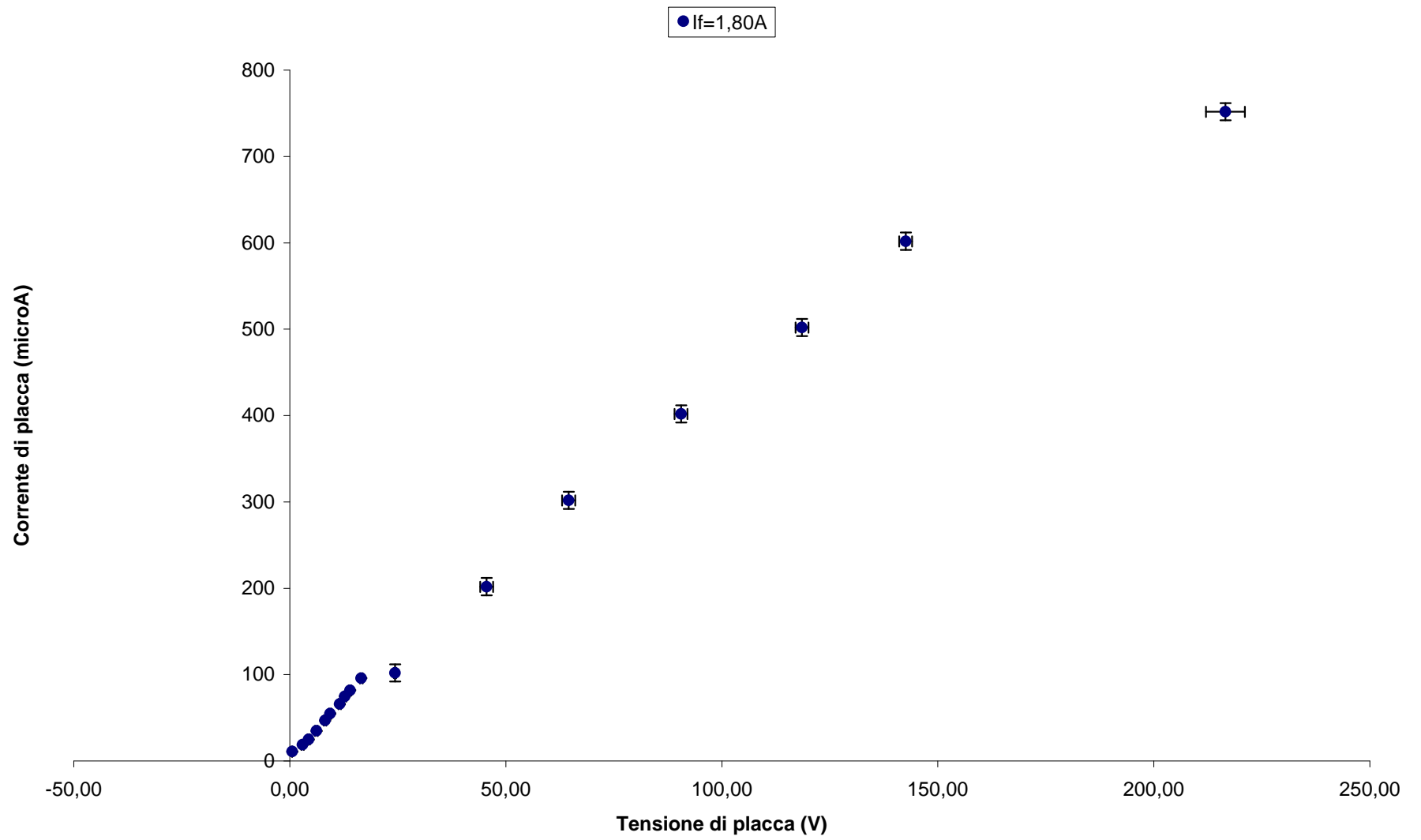
Caratteristica I-V con $I_f=1,30A$



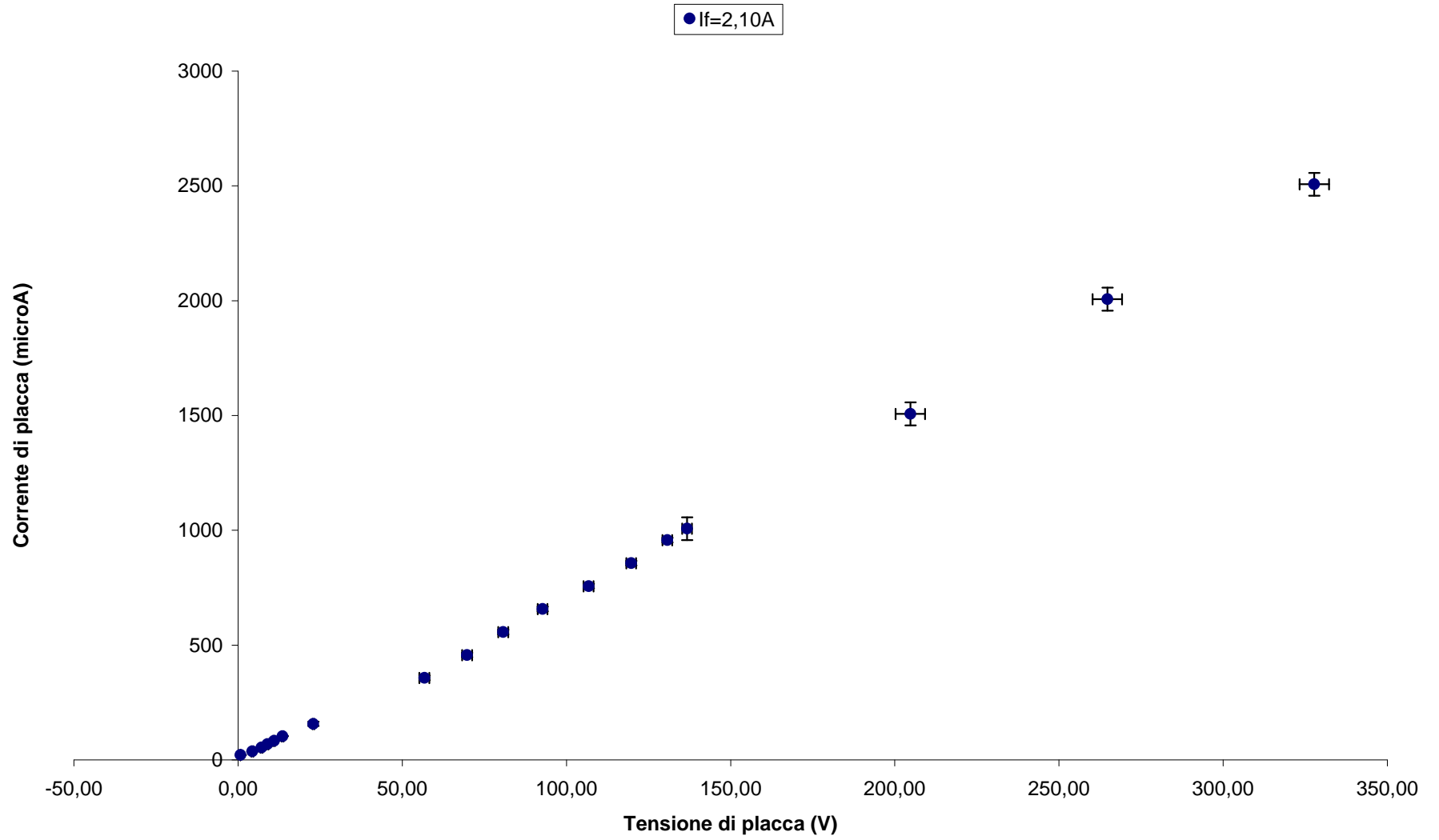
Caratteristica I-V con $I_f=1,55A$



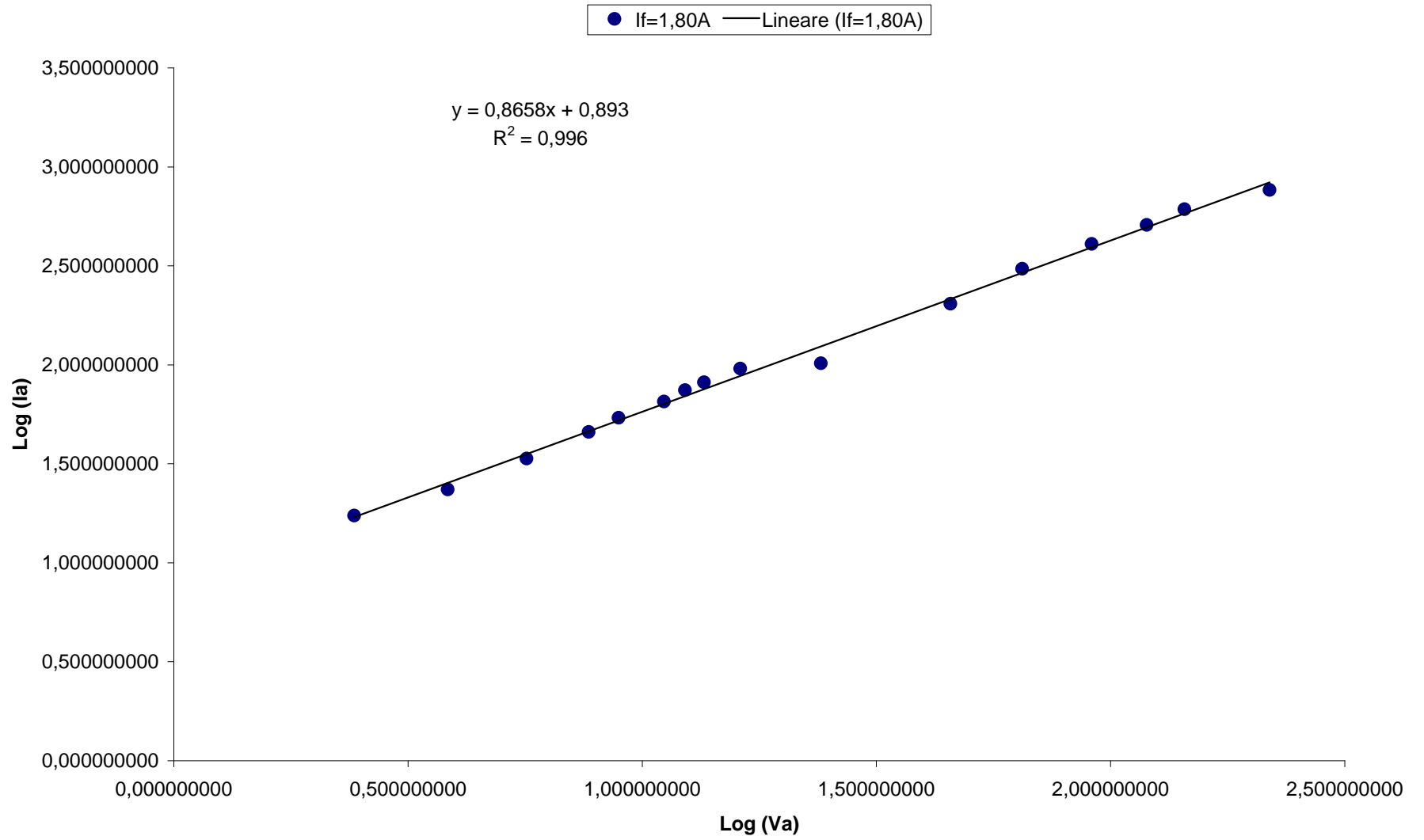
Caratteristica I-V con $I_f=1,80A$



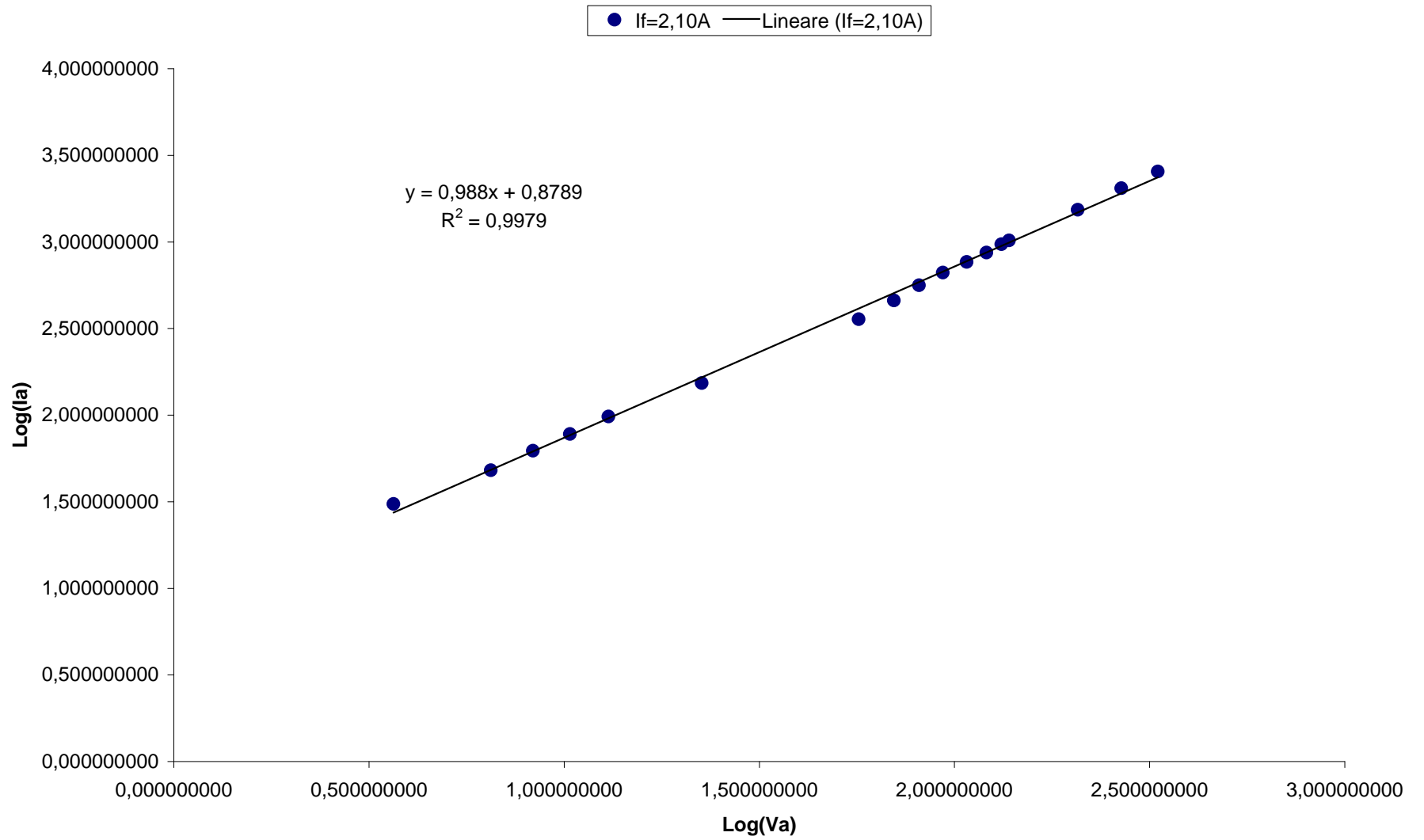
Caratteristica I-V con $I_f=2,10A$



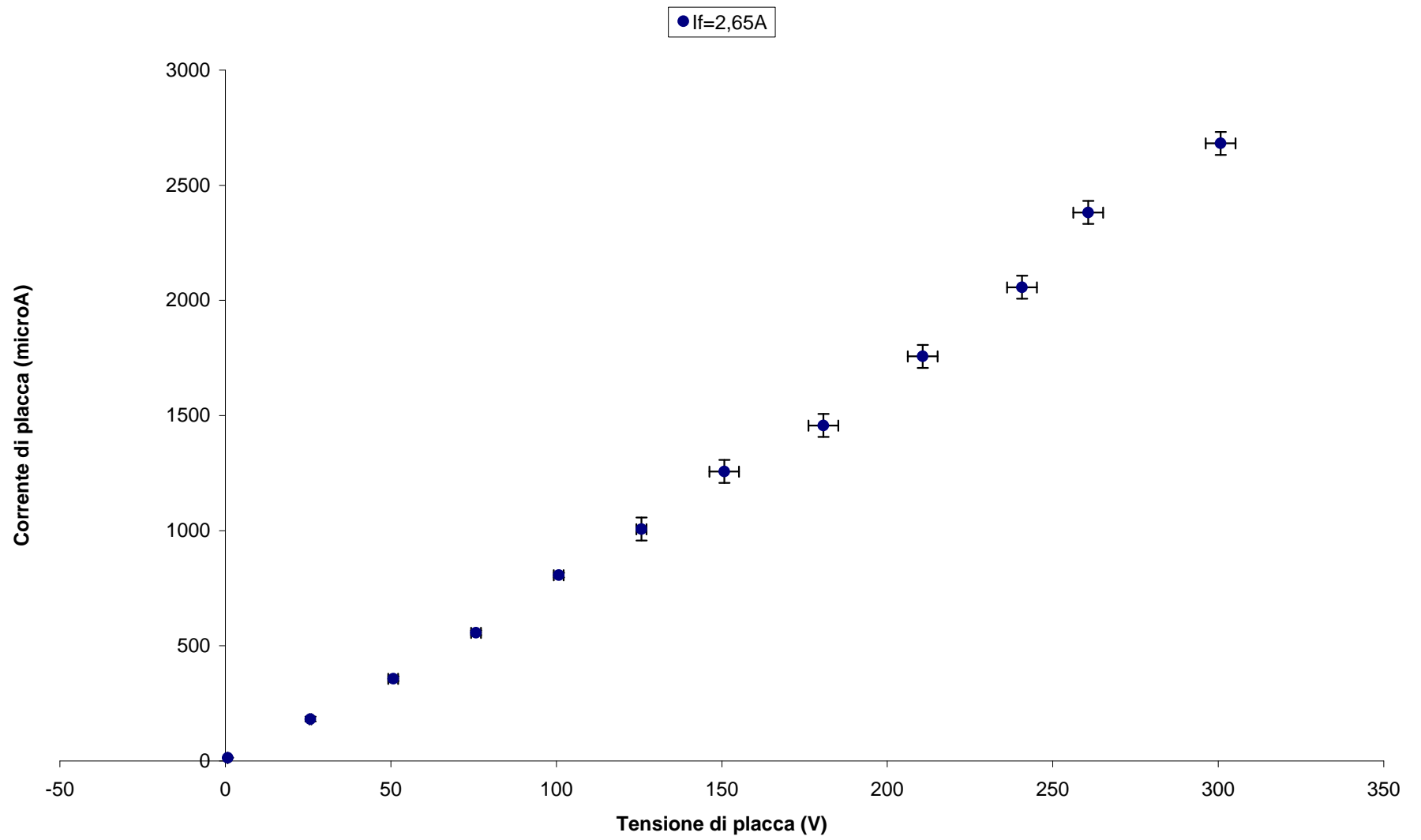
Legge di Langmuir-Child



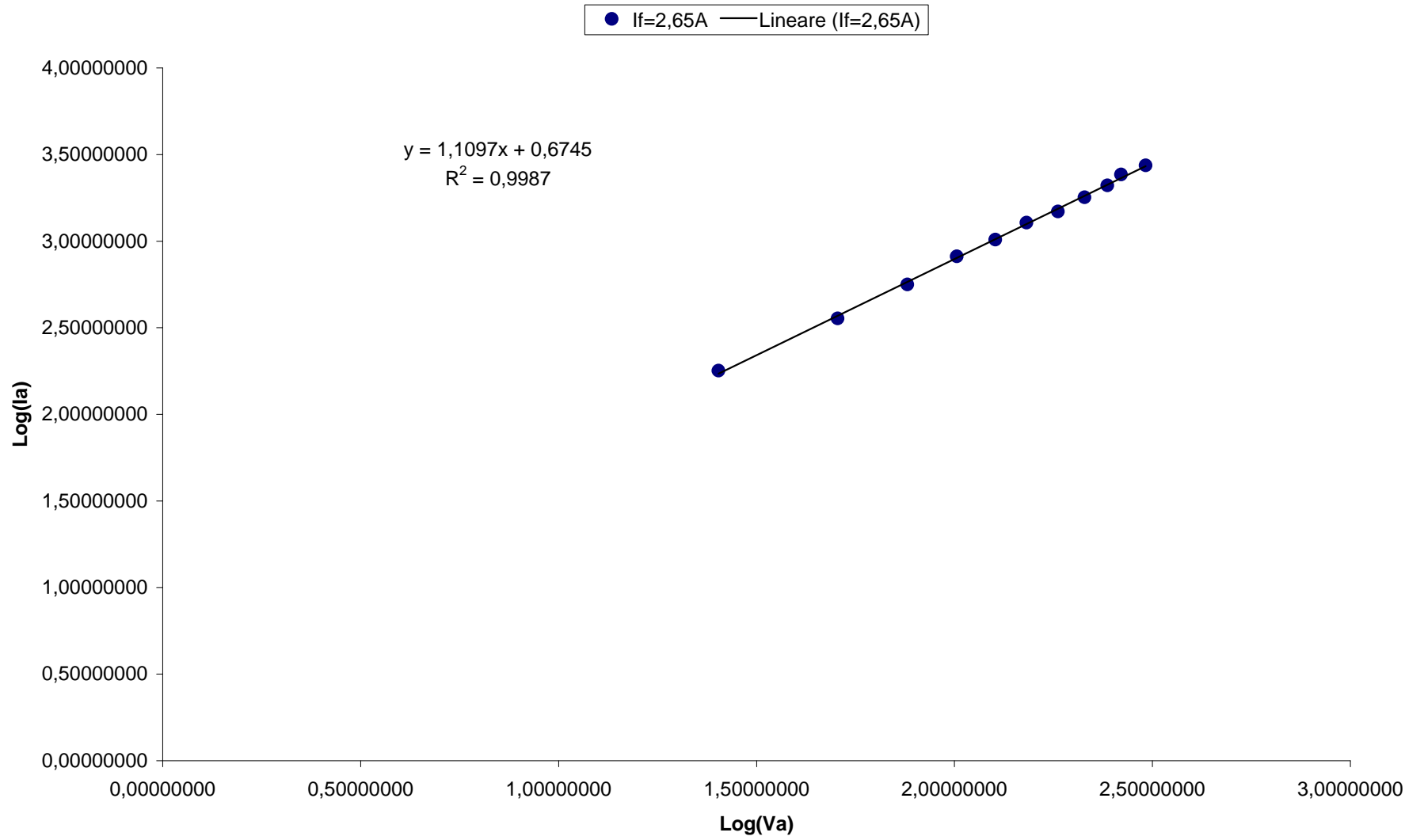
Legge di Langmuir-Child



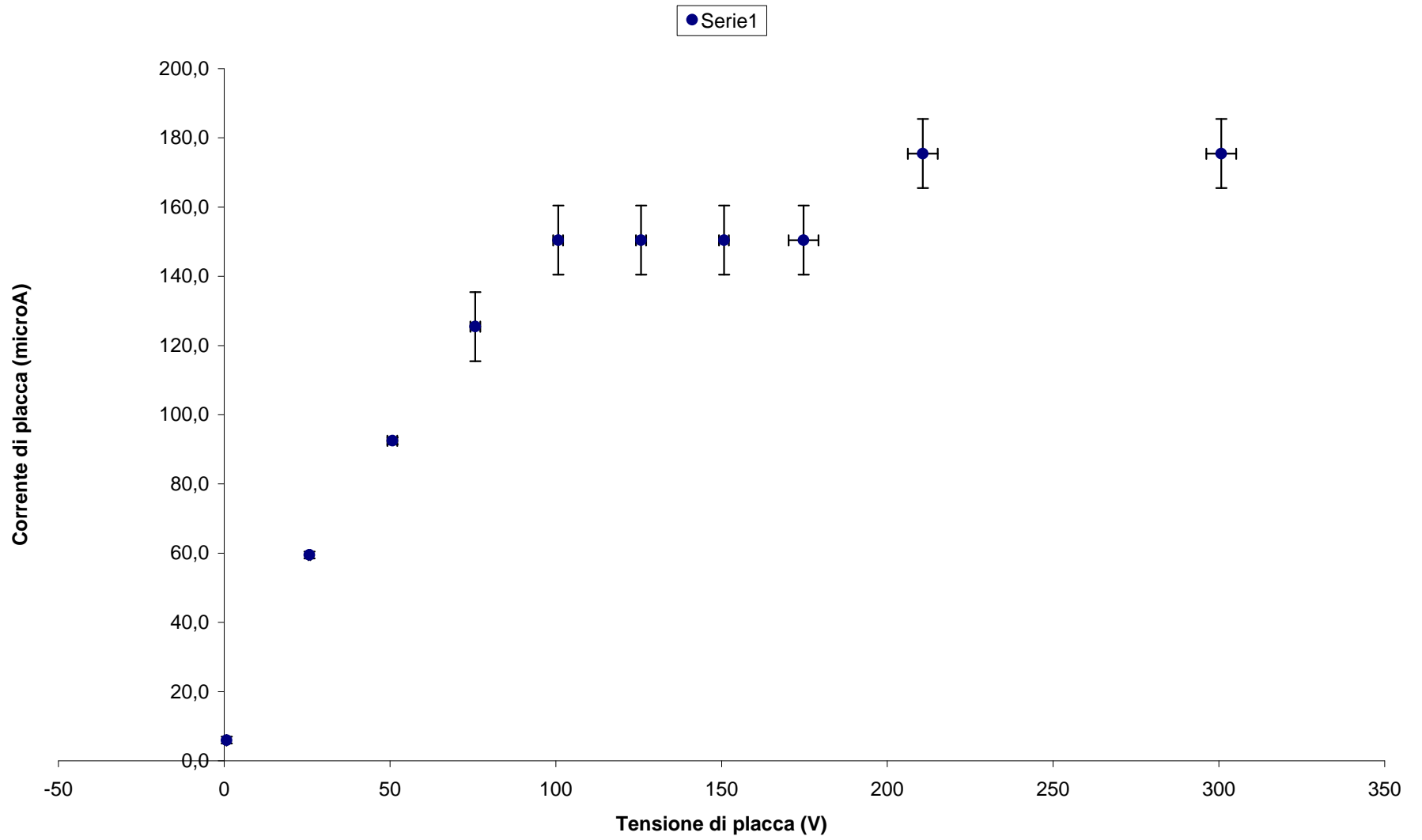
Caratteristica I-V con $I_f=2,65A$



Legge di Langmuir-Child



Caratteristica I-V If=2A



Caratteristica I-V del Diodo a diverse correnti di filamento

