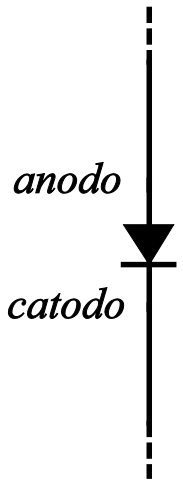
CARATTERISTICA DI UN DIODO

Marco Panareo

Generalità

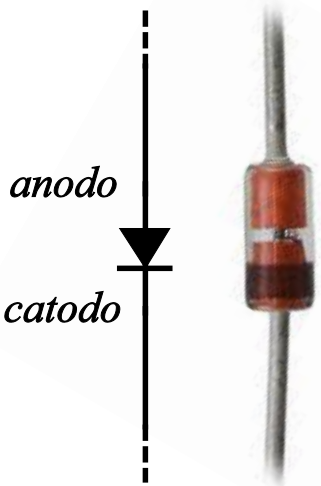
- Un diodo è un elemento circuitale costituito da due elettrodi, caratterizzato dal presentare una diversa resistenza al passaggio della corrente a seconda della polarità della tensione ad essi applicata.
- Gli elettrodi sono denominati, rispettivamente *anodo* e *catodo* e sono identificati sulla base del comportamento elettrico del componente; in particolare, se applicando una differenza di potenziale tra essi, il diodo presenta una bassa resistenza, l'elettrodo a potenziale maggiore viene chiamato *anodo*, se invece presenta una resistenza molto elevata, l'elettrodo a potenziale maggiore è detto *catodo*.



- Un diodo ideale presenta resistenza nulla quando l'anodo è a potenziale maggiore del catodo e infinita nel caso contrario. Nel primo casi si dice che la polarizzazione del diodo è *diretta* altrimenti è detta *inversa*.
- Questa esperienza è finalizzata alla determinazione di alcuni parametri di funzionamento di un diodo a giunzione.

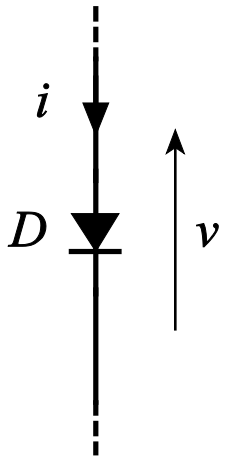
Materiale adoperato

- Multimetro digitale PeakTech 3690, portate 600 V / 10 A
- Multimetro digitale TEK DMM157, portate 600 V / 10 A
- Amperometro (classe 1), portata di 10 *mA*
- Voltmetro (classe 1), portata di 10 *V*
- Alimentatore (ATTEN APS3003S)
- Alimentatore sinusoidale 12 *V* – 700 *mA*
- Oscilloscopio (TEK TBS2000)
- Sonde per oscilloscopio (TEK 6112 – 10×)
- Un diodo BZX79C2V4
- Una resistenza da 1 *kΩ*
- Breadboard
- Cavi di collegamento



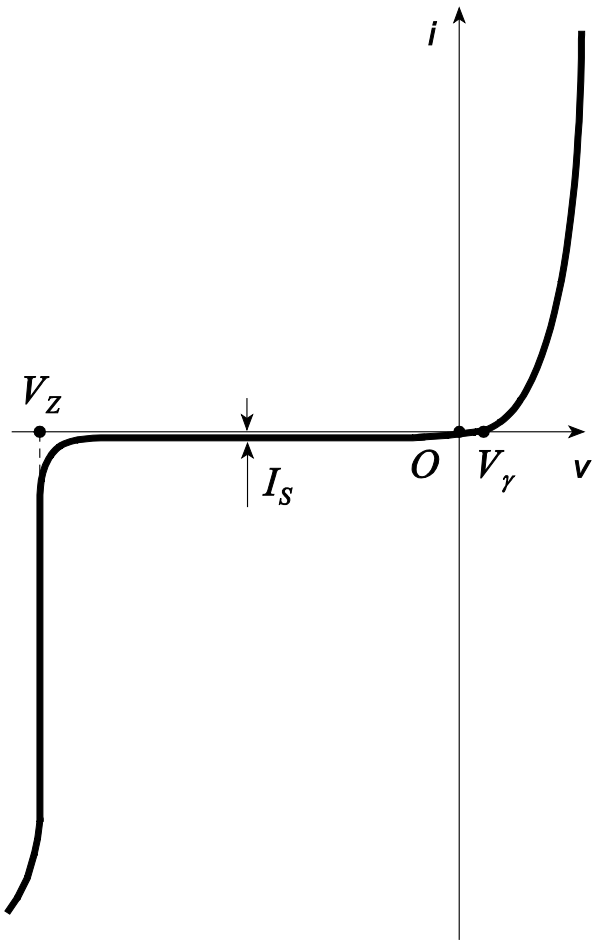
Teoria

- Se al diodo a giunzione viene applicata una differenza di potenziale v tra anodo e catodo, si osserva un passaggio di corrente i attraverso tale componente, dipendente dalla differenza di potenziale applicata. La relazione tra corrente e tensione è detta *caratteristica del diodo*.



- La curva che rappresenta tale caratteristica passa per l'origine degli assi e, in polarizzazione diretta, cresce molto rapidamente all'aumentare della tensione applicata. In tal caso, la corrente tende a crescere indefinitamente ed è limitata dalla massima potenza che il componente è in grado di dissipare.

- La corrente nel diodo polarizzato inversamente è molto piccola, ed all'aumentare della tensione inversa tende ad un valore costante I_S, che dipende dalla temperatura alla quale si trova il componente e viene chiamata *corrente inversa di saturazione*.
- La corrente inversa si mantiene pari a I_S all'aumentare della tensione inversa, fino a che non viene raggiunta una tensione limite V_Z, detta *tensione di Zener*, oltre la quale la corrente inversa prende a crescere molto rapidamente.
- Questo fenomeno non è, in generale, distruttivo, in quanto, diminuendo la tensione inversa applicata, il fenomeno cessa, sebbene, qualora la sua durata supera un certo limite, il riscaldamento del componente, dovuto alla potenza che in esso si dissipa, ne può provocare la distruzione. Approssimativamente I_S raddoppia per ogni 10°C di aumento della temperatura.



- La caratteristica del diodo è espressa in forma approssimata dall'*equazione di Shockley*:

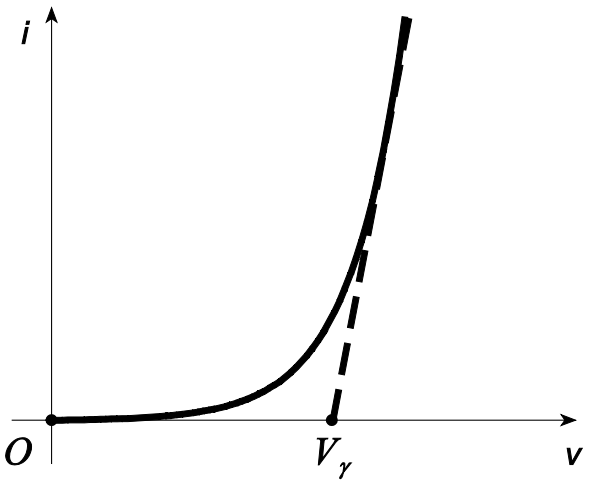
$$i = I_S \left(e^{\frac{v}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

- in cui il coefficiente η per piccole correnti vale circa 1 se il diodo è al germanio e circa 2 se è al silicio e la tensione V_T, detta *equivalente in tensione della temperatura*, vale:

$$V_T = \frac{kT}{e}$$

- dove k è la costante di Boltzmann espressa in Joule per Kelvin (1.380×10^{-23} *J*/*K*), T è la temperatura in Kelvin ed e è la carica dell'elettrone; a temperatura d'ambiente, per T pari a 293 *K*, V_T vale 25 *mV* circa.
- Si osservi che l'equazione di Shockley non descrive il funzionamento del diodo in prossimità della tensione di Zener.

- Dall'esame della caratteristica del diodo si evince che in polarizzazione diretta la caduta di tensione ai capi di tale componente varia poco rispetto alla corrente che lo attraversa, quando questa supera un certo valore; cioè, dopo il tratto iniziale in cui la corrente è praticamente trascurabile, la caratteristica diventa molto ripida, quasi verticale.



- A partire da tali considerazioni, la caratteristica di un diodo a giunzione può essere approssimata con una retta di elevata pendenza, che interseca l'asse orizzontale in corrispondenza di un'ascissa V_γ il cui valore dipende dal tipo di diodo.
- Il valore di V_γ risulta compreso nell'intervallo 0.2 *V* ÷ 0.3 *V* per i diodi al germanio e 0.5 *V* ÷ 0.7 *V* per i diodi al silicio e spesso viene indicato come *tensione di soglia*, in quanto, finché v si mantiene inferiore a V_γ, la corrente attraverso al diodo resta molto piccola.

- La pendenza della caratteristica del diodo a giunzione può essere dedotta derivando l'equazione di Shockley rispetto a v:

$$g_d \equiv \frac{\partial i}{\partial v} = \frac{I_S}{\eta V_T} e^{v/(\eta V_T)} = \frac{i + I_S}{\eta V_T}$$

- l'inverso di tale grandezza è detto *resistenza differenziale*:

$$r_d \equiv \frac{1}{g_d}$$

- In polarizzazione inversa, per $|v/(\eta V_T)| \gg 1$ la pendenza g_d è molto piccola e di conseguenza r_d è grande; in polarizzazione diretta, per $i \gg I_S$, g_d è molto grande ed il suo inverso:

$$r_d \approx \frac{\eta V_T}{i}$$

- è piccolo.
- Sebbene la resistenza differenziale vari in modo inversamente proporzionale alla corrente, nei modelli per piccoli segnali tale grandezza è considerata praticamente costante.

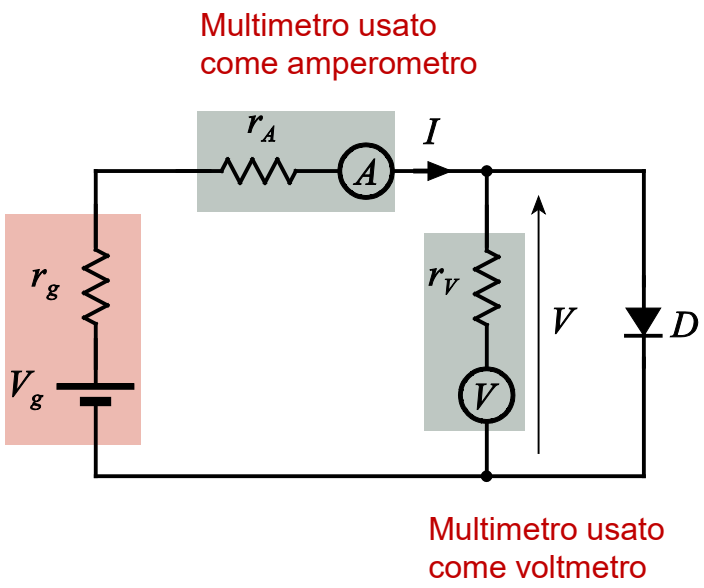
Procedura sperimentale

- Si presti particolare attenzione alle polarità degli strumenti nell'inserimento nei differenti circuiti per evitare che vengano danneggiati.
- Ogni circuito deve essere verificato dall'istruttore prima della sua connessione all'alimentatore.
- La resistenza posta in serie al circuito nel rilievo della caratteristica col metodo B è necessaria a limitare la corrente attraverso il diodo; per ogni misura ci si assicuri che la corrente che attraversa entrambi i componenti non determini il superamento della loro massima potenza dissipabile.
  - La massima corrente ammissibile per il diodo è indicata dal datasheet.
  - La massima corrente ammissibile per la resistenza viene dedotta attraverso la legge di Joule;

- **Esempio:** Per una resistenza R di 1 *kΩ* con potenza massima dissipabile P_M pari 500 *mW*, la massima corrente I_M, data da $\sqrt{P_M/R}$, ammonta a circa 22 *mA*.

A. Metodo voltamperometrico

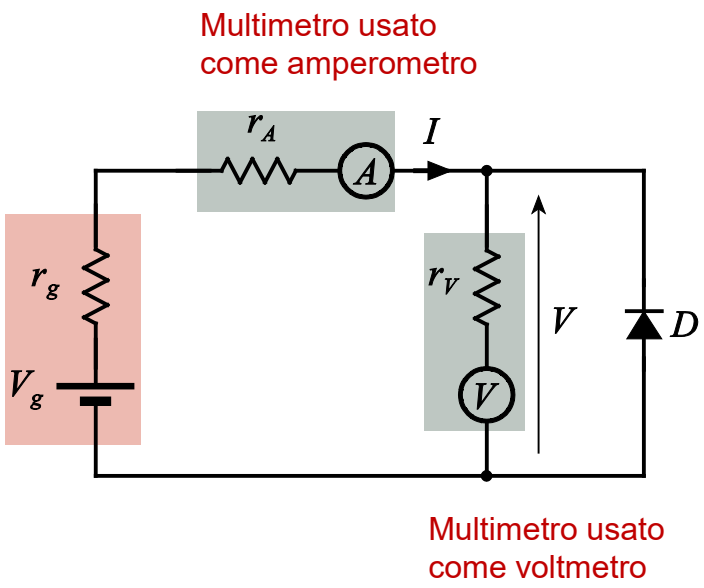
1. Si monti il circuito nella configurazione per il rilievo della *caratteristica diretta*.
2. Si effettui una serie di misure di differenza di potenziale ai capi del diodo e di corrente attraverso il diodo variando la tensione erogata dal generatore di forza elettromotrice.



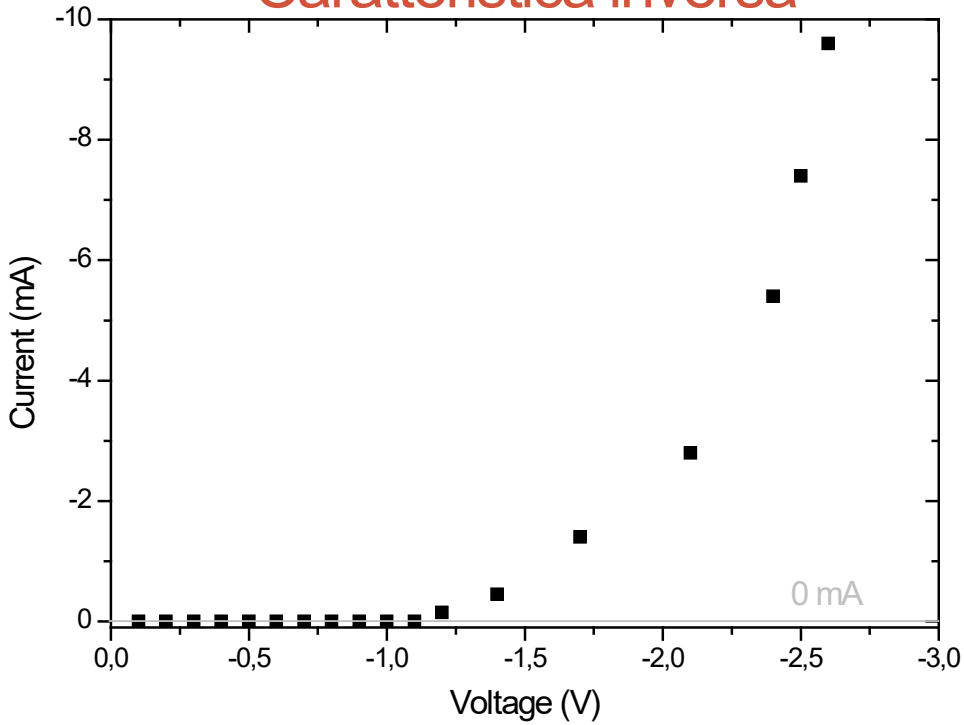
3. Si monti il circuito nella configurazione per il rilievo della *caratteristica inversa*.

4. Si effettui una serie di misure di differenza di potenziale ai capi del diodo e di corrente attraverso il diodo variando la tensione erogata dal generatore di forza elettromotrice.

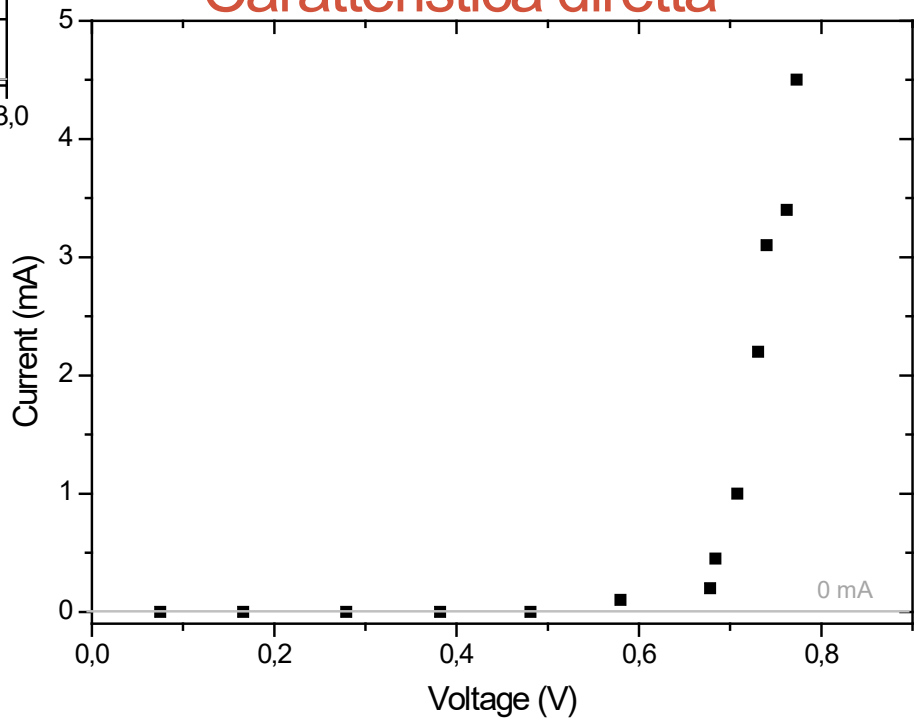
5. Si rappresenti graficamente la caratteristica, se ne faccia il fit, almeno limitatamente alla regione di polarizzazione diretta, e se ne deducano la resistenza dinamica in polarizzazione diretta, la tensione di soglia e la tensione di Zener.

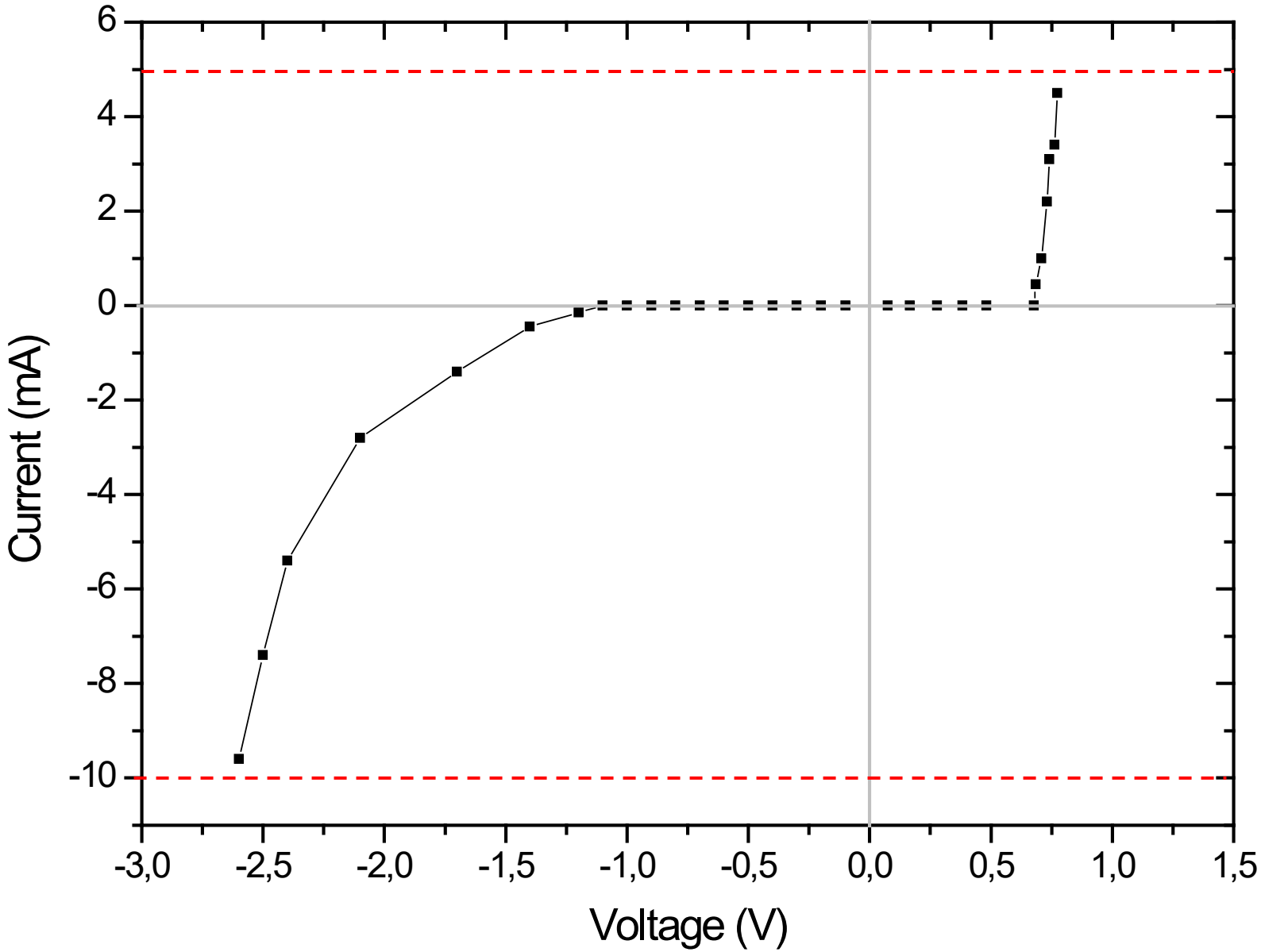


Caratteristica inversa

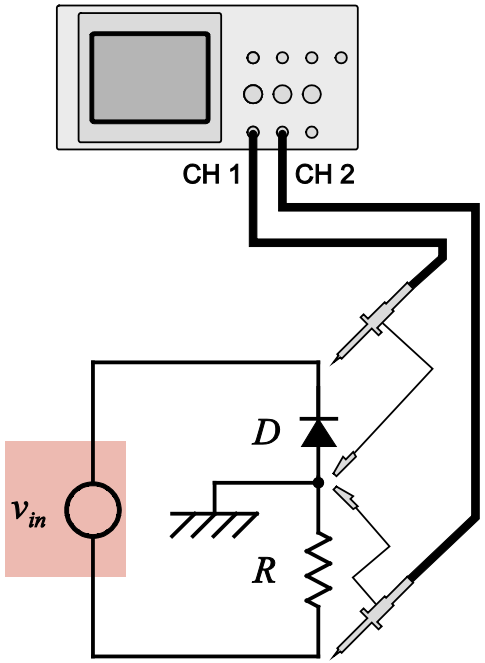


Caratteristica diretta




6
4
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
Current (mA)
-3,0
-2,5
-2,0
-1,5
-1,0
-0,5
0,0
0,5
1,0
1,5
Voltage (V)

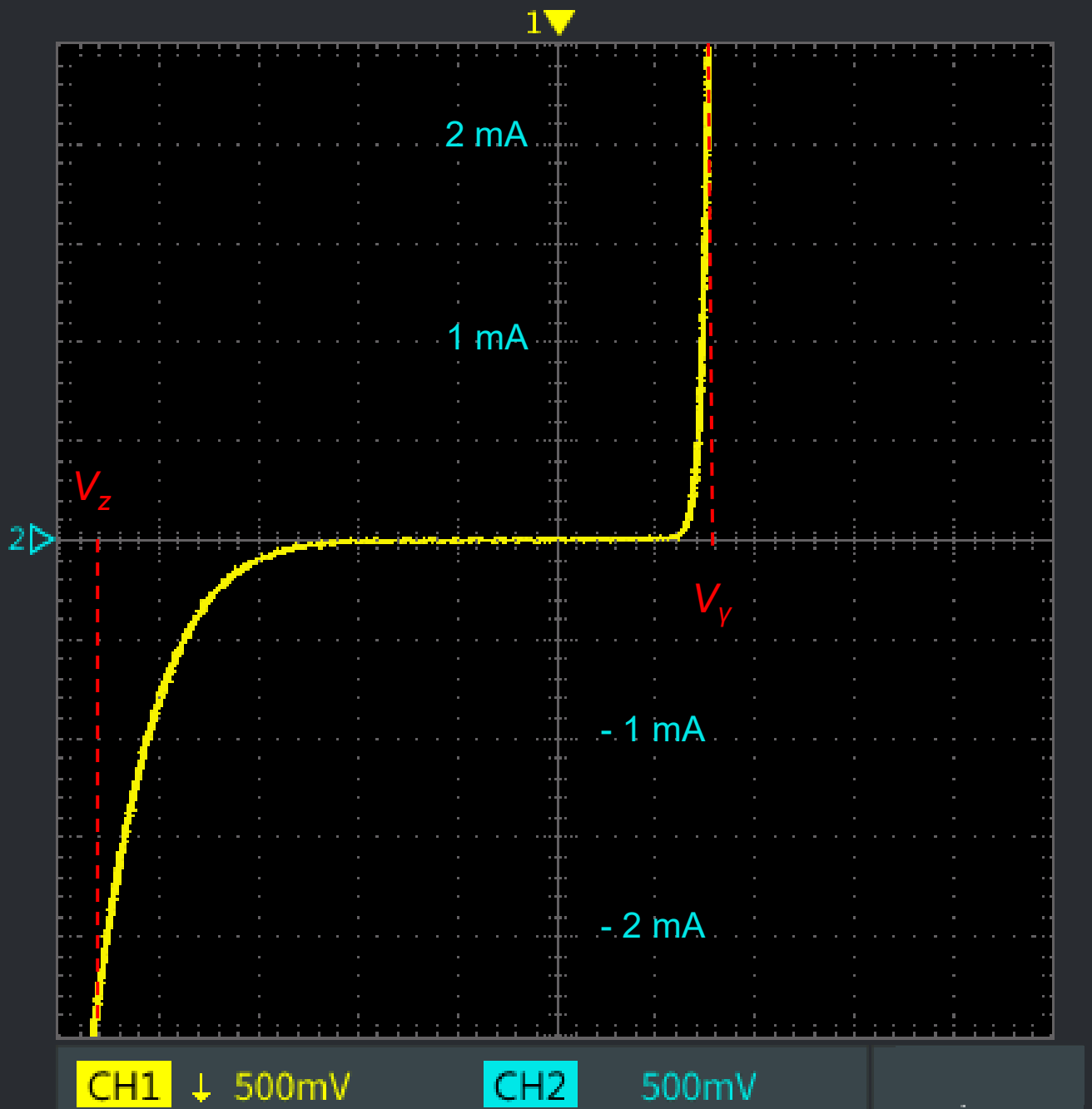
B. Oscilloscopio

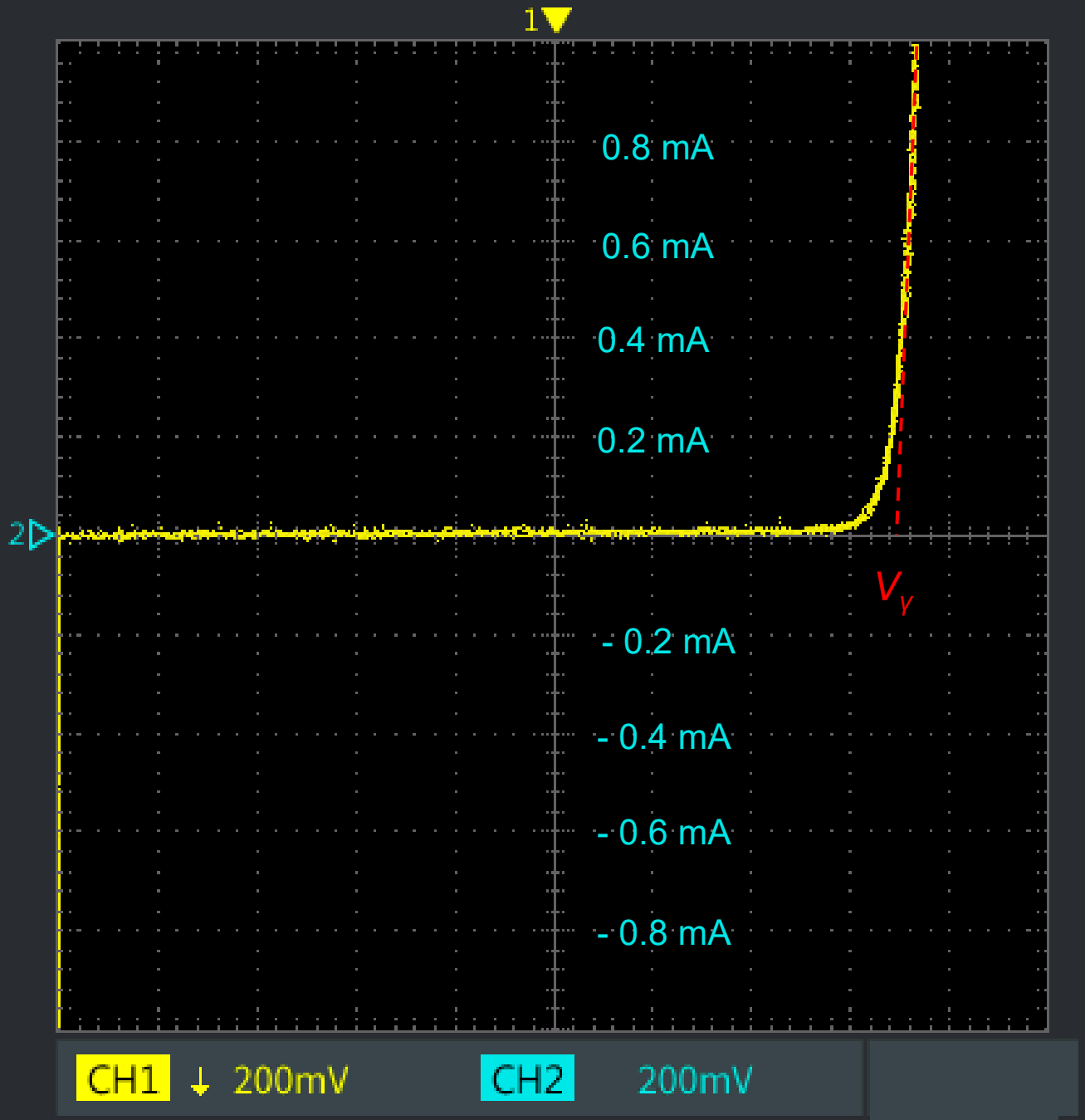


6. Si monti il circuito secondo lo schema mostrato in figura e lo si colleghi all'oscilloscopio come indicato. Si imposti l'inversione di CH1.
7. Si connetta il generatore sinusoidale alla presa di alimentazione.
8. Si imposti la modalità *XY* (*DISPLAY→FORMATO→XY*). Si centri l'immagine sullo schermo agendo sui comandi di *POSIZIONE*.
9. Si deducano graficamente la resistenza dinamica in polarizzazione diretta, la tensione di soglia e la tensione di Zener. Si osservi che l'indicazione sull'asse verticale è proporzionale alla corrente attraverso il diodo tramite la legge di Ohm.

- Si confrontino le misure eseguite con i due metodi e se ne traggano le conclusioni

1
2
4 mA
3 mA
2 mA
1 mA
- 1 mA
- 2 mA
- 3 mA
- 4 mA
V_z
V_γ
inversione
CH1
1.00V
CH2
1.00V


1
2 mA
1 mA
V_z
2
V_γ
- 1 mA
- 2 mA
CH1 ↓ 500mV
CH2 500mV


1
2
0.8 mA
0.6 mA
0.4 mA
0.2 mA
- 0.2 mA
- 0.4 mA
- 0.6 mA
- 0.8 mA
V_γ
CH1 ↓ 200mV
CH2 200mV