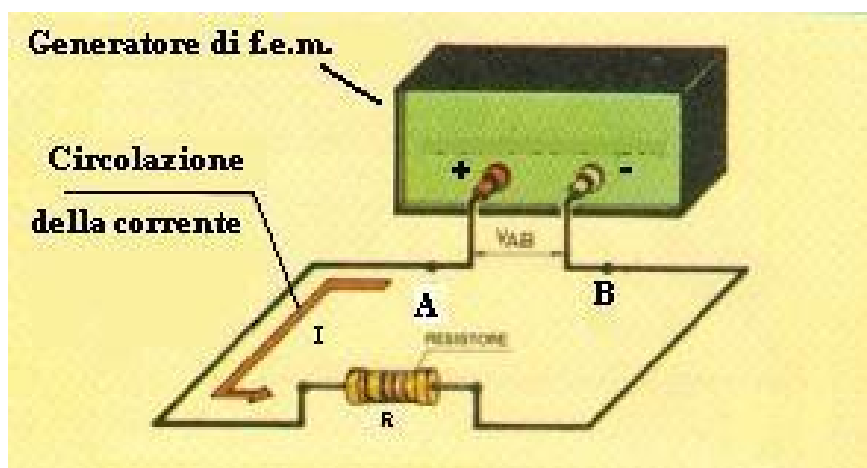
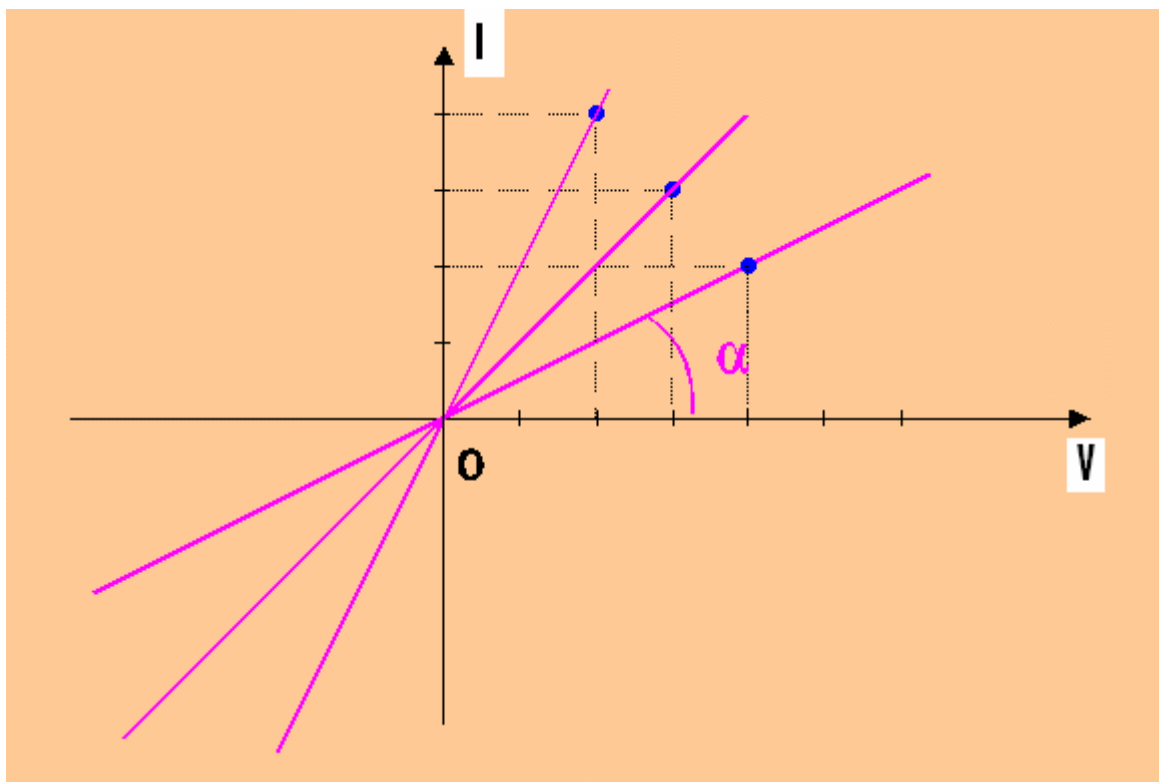


## La caratteristica del diodo

Lo studio di un dispositivo elettronico deve portare alla comprensione del suo comportamento. Nei casi di dispositivi più semplici come la resistenza o il diodo ciò si traduce sostanzialmente nel determinare il legame che esiste fra la o le correnti che attraversano il dispositivo e le tensioni applicate ad esso. Dispositivi come la resistenza sono detti lineari perché la legge che lega tensione e corrente è lineare. Il che, detto in termini semplici, vuol dire che tale legge è esprimibile mediante espressioni matematiche in cui tensione e corrente sono legate soltanto mediante operatori di somma algebrica. Per la resistenza, ad esempio, tale legge è la famosa legge di Ohm  $V=RI$ .



Graficamente tale legge trova la sua rappresentazione in una retta come nella figura seguente.



Dispositivi come il diodo sono invece non lineari. Per essi il legame fra tensione e corrente è espresso matematicamente da una legge più complessa, rappresentata graficamente da una curva e non da una retta. Tale curva prende il nome di *caratteristica* del diodo. Nella figura seguente troviamo una rappresentazione di tale caratteristica

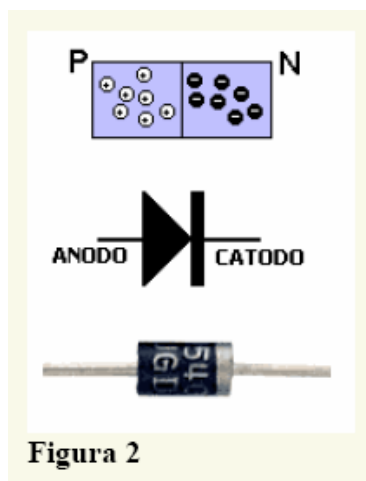
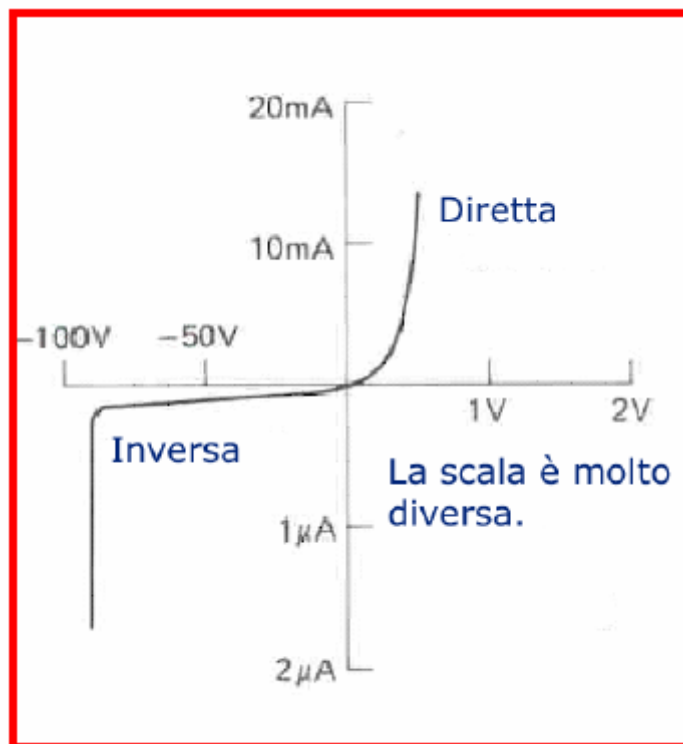


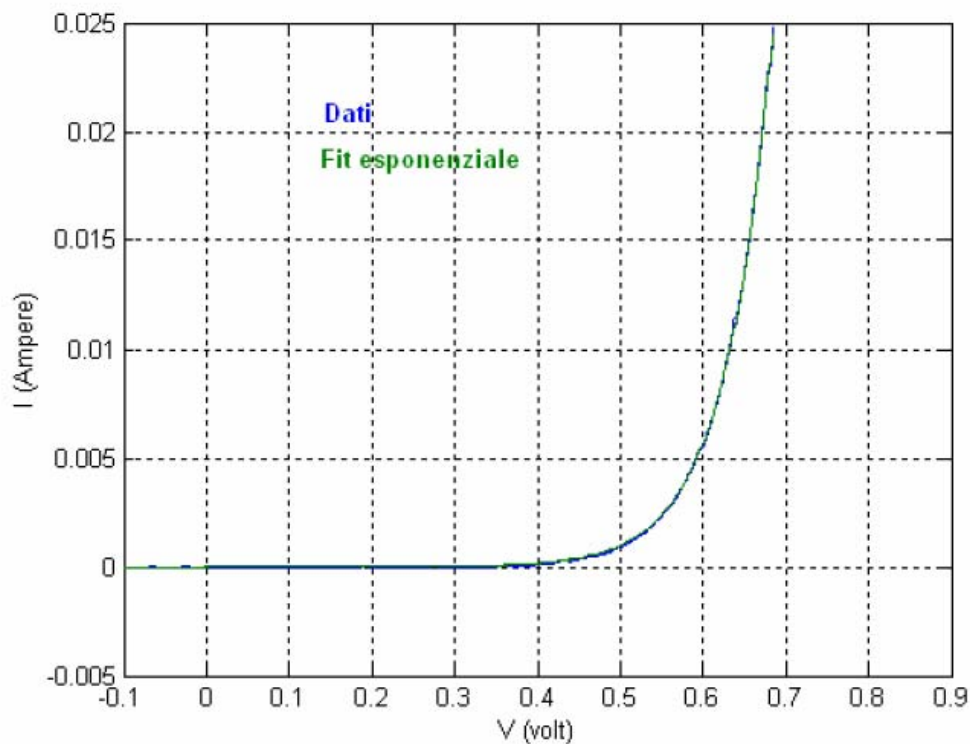
Figura 2



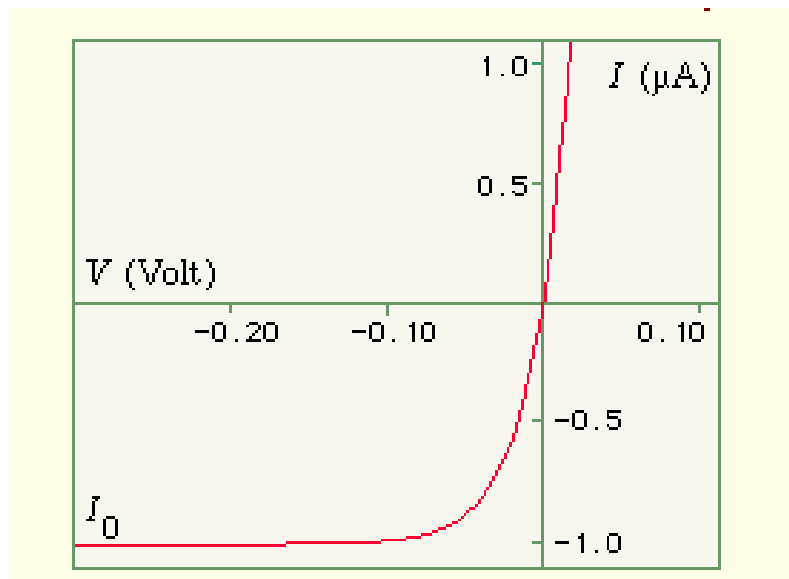
Notate che la scala di rappresentazione delle ordinate è diversa per i valori di corrente positivi (rappresentati in milliampere) e per quelli negativi (rappresentati in microampere nella figura). Questo perché l'ordine di grandezza della corrente circolante nel diodo è molto diversa nel caso il diodo sia polarizzato direttamente e nel caso in cui sia polarizzato inversamente.

Analizziamo in dettaglio questa curva. Osservando la parte della curva che si riferisce alla polarizzazione diretta del diodo, notiamo innanzitutto che il diodo non conduce appena gli si applichi una tensione positiva tra anodo

e catodo. Esiste, infatti, un valore di tensione minimo che va superato, detto *tensione di soglia*, prima che cominci a circolare corrente nel diodo. La presenza della tensione di soglia si spiega con il fatto che nel diodo è presente una *barriera di potenziale* naturale. La tensione di polarizzazione diretta imposta dall'esterno deve superare questo valore di tensione per abbattere la barriera di potenziale, prima di poter permettere il passaggio di corrente. Superata la tensione di soglia, la corrente cresce molto rapidamente all'aumentare della tensione. Il legame che si ha fra corrente e tensione è di tipo esponenziale.



Passiamo ora alla parte sinistra del grafico che rappresenta il comportamento del diodo in polarizzazione inversa. Abbiamo detto, a proposito della giunzione pn, che in polarizzazione inversa essa non conduce. Notiamo, invece, dal grafico che una corrente interessa il diodo anche se piccolissima, dell'ordine dei microampere o addirittura nanoampere. La presenza di tale corrente si spiega ricordando che nella giunzione pn sono presenti *portatori di carica minoritari*. Nella zona p abbiamo una gran quantità di lacune introdotte con il drogaggio ma ciò non toglie che esista una piccola quantità di elettroni che abbandonano naturalmente gli orbitali degli atomi di silicio. Essi sono i portatori minoritari nella zona p. Analogamente troviamo una piccola quantità di lacune nella zona n. Se il diodo è polarizzato inversamente, abbiamo un campo elettrico che va dalla zona n alla zona p. Le lacune non possono passare dalla zona p alla zona n e gli elettroni non possono più passare dalla zona n alla zona p. I portatori di carica minoritari possono invece attraversare la giunzione perché trovano un campo elettrico favorevole.



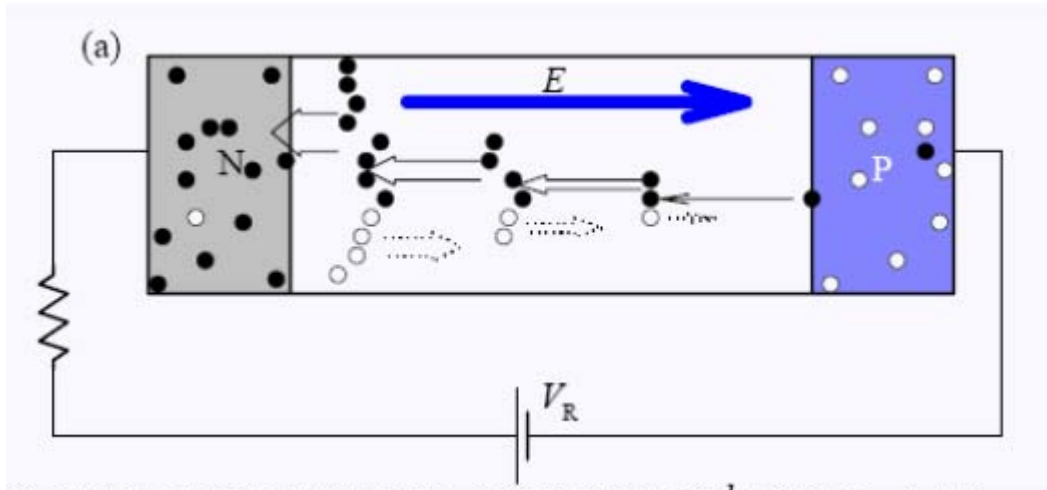
Gli elettroni minoritari che si trovano nella zona p, vengono spinti, infatti, in direzione opposta al campo elettrico, cioè verso la zona n e le lacune minoritarie che si trovano nella zona n vengono spinte nella direzione del campo elettrico cioè verso la zona p. La corrente di cariche minoritarie è quella rappresentata nella caratteristica e prende il nome di *corrente di saturazione inversa*.

Analizzando la caratteristica notiamo, però, che se si supera un certo valore di tensione di polarizzazione inversa, il diodo comincia ad essere interessato da una corrente notevolissima. La grande pendenza di questo tratto di curva, quasi verticale, ci informa del fatto che si hanno in tal caso aumenti notevoli della corrente per minime variazioni della tensione. Questo improvviso aumento della corrente che rende il diodo quasi un

cortocircuito, e può addirittura distruggerlo è dovuto a due fenomeni diversi:

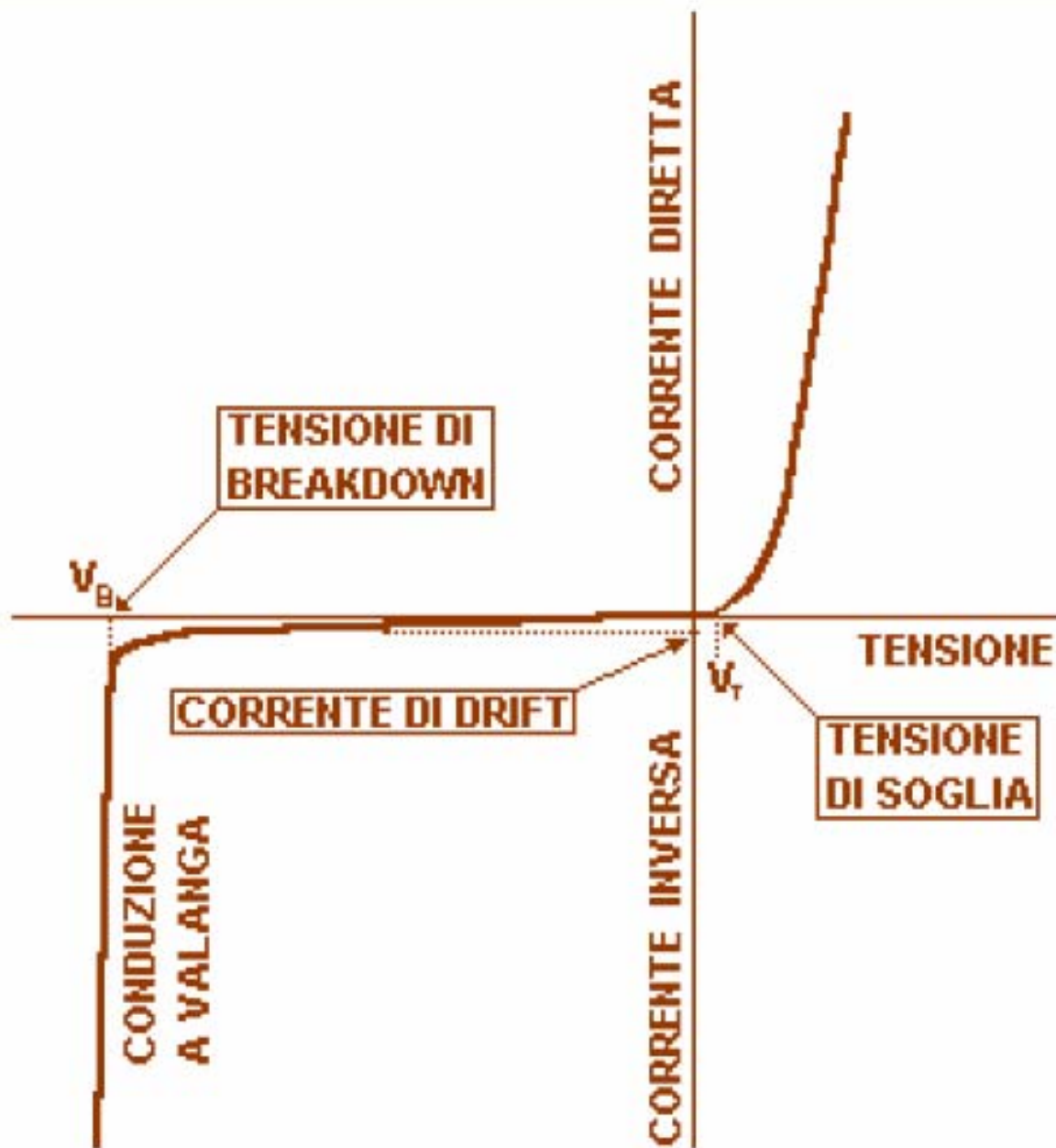
- ♦ Effetto valanga
- ♦ Effetto Zener

Il primo effetto consiste nel fatto che i portatori di carica minoritari che circolano nel diodo sono sottoposti al campo elettrico presente nel dispositivo. Come ci insegna la fisica, ciò significa che essi sono sottoposti ad una forza e quindi subiscono un'accelerazione, acquistando energia cinetica.



Se il campo elettrico è abbastanza forte (dell'ordine dei 200kV/cm) l'energia cinetica dei portatori di carica minoritari è tale che essi, collidendo con un atomo del reticolo cristallino, possono produrre la rottura dei legami covalenti e quindi liberare altre cariche. A questo

punto si ha un effetto valanga perché le cariche liberate vengono a loro volta accelerate e liberano altre cariche urtando atomi, e così via, con una moltiplicazione esponenziale del numero di cariche libere.



**Figura 3**



Il secondo effetto consiste nel fatto che, nel caso il campo elettrico sia sufficientemente forte ( $>500$  kV/cm) esso è in grado di strappare letteralmente elettroni dagli orbitali aumentando il numero di cariche libere.

La tensione oltre la quale il diodo diventa un forte conduttore è detta *tensione di breakdown o di rottura*.

In un diodo normale questo fenomeno può avere effetti distruttivi ma vi sono diodi speciali detti diodi zener in cui tale fenomeno viene invece sfruttato.

Osserviamo come prima particolarità che, nell'uso normale, mentre un diodo raddrizzatore viene attraversato dalla corrente nel senso anodo-catodo, un diodo zener viene inserito in circuito col catodo rivolto verso il positivo, così da essere attraversato da una corrente inversa nel senso catodo-anodo.

In figura 1 è mostrata l'applicazione di entrambi i diodi:

- Dr è un diodo raddrizzatore, che permette il passaggio della corrente diretta  $I_{dir}$ , solo quando la tensione presente sul suo anodo è positiva; vengono così eliminate tutte le semionde negative contenute nella

tensione alternata che arriva dal trasformatore

- Dz è un diodo zener, che ha lo scopo di stabilizzare la tensione Vcc; quando la tensione in arrivo tende a salire, la corrente che passa nel diodo zener aumenta in proporzione: poichè la stessa corrente passa anche nella resistenza Rz, ai capi di quest'ultima si determina una maggiore caduta di tensione, che compensa così l'aumento della tensione in ingresso.

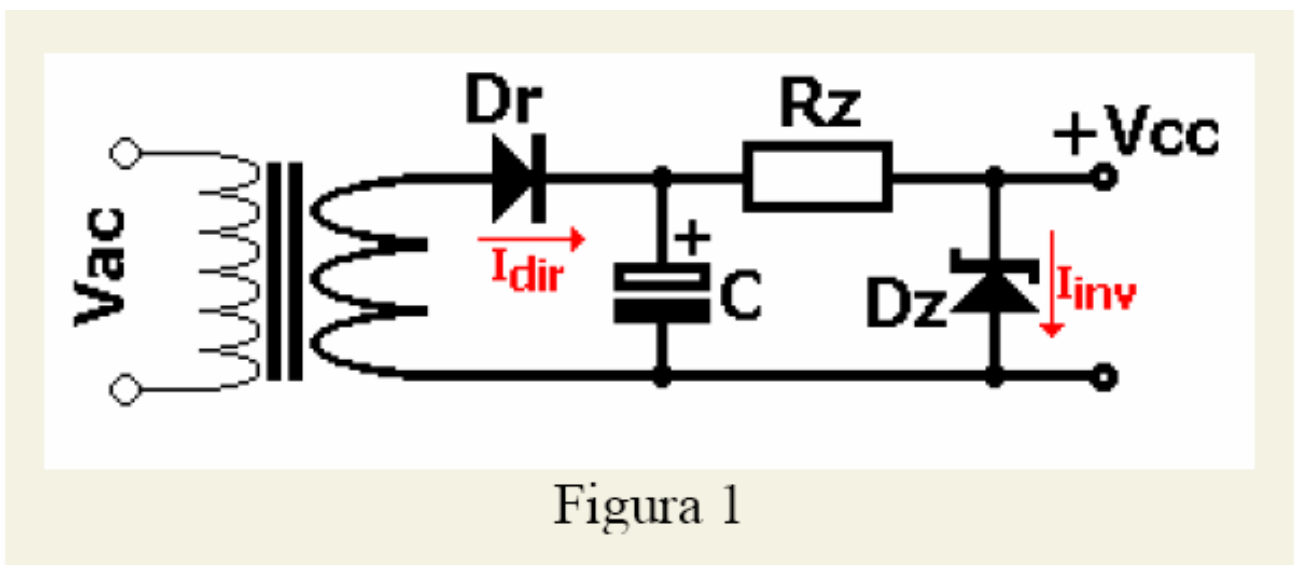


Figura 1

In figura 2 viene evidenziato il funzionamento caratteristico del diodo zener: quando è sottoposto a tensione diretta, il suo funzionamento non si discosta da quello del diodo raddrizzatore; nel funzionamento con tensione inversa vediamo, invece, che l'effetto valanga si manifesta ad una tensione  $V_Z$  molto bassa (nel caso specifico a 5,1 V). Questa tensione viene definita "tensione di zener" ed è caratteristica per quel tipo di

diodo.

Il circuito di figura 1 costituisce il più semplice degli alimentatori stabilizzati; il suo impiego è limitato a carichi dall'assorbimento modesto, fino a qualche decina di mA. Il valore della resistenza  $R_z$  può essere determinato approssimativamente con la formula:

$$(V_i - V_z) : (I_c + I_z)$$

dove  $V_i$  è la tensione d'ingresso,  $V_z$  è la tensione del diodo zener (e quindi la tensione di uscita),  $I_c$  è la massima corrente che si richiede in uscita.  $I_z$  è la corrente minima che deve passare nel diodo zener perchè questo possa svolgere la sua azione stabilizzatrice: il suo valore cambia da un tipo di diodo all'altro, ma si aggira intorno ai 5÷10 mA. Un diodo zener è quindi caratterizzato in primo luogo dalla tensione a cui si verifica l'effetto valanga (tensione di zener); importante è poi la massima potenza che il diodo può dissipare senza distruggersi: i diodi di uso più comune sono adatti a potenze comprese fra 0,35 e 1 o 2 W. Vari esempi di applicazione del diodo zener si trovano in altre pagine di questo sito.

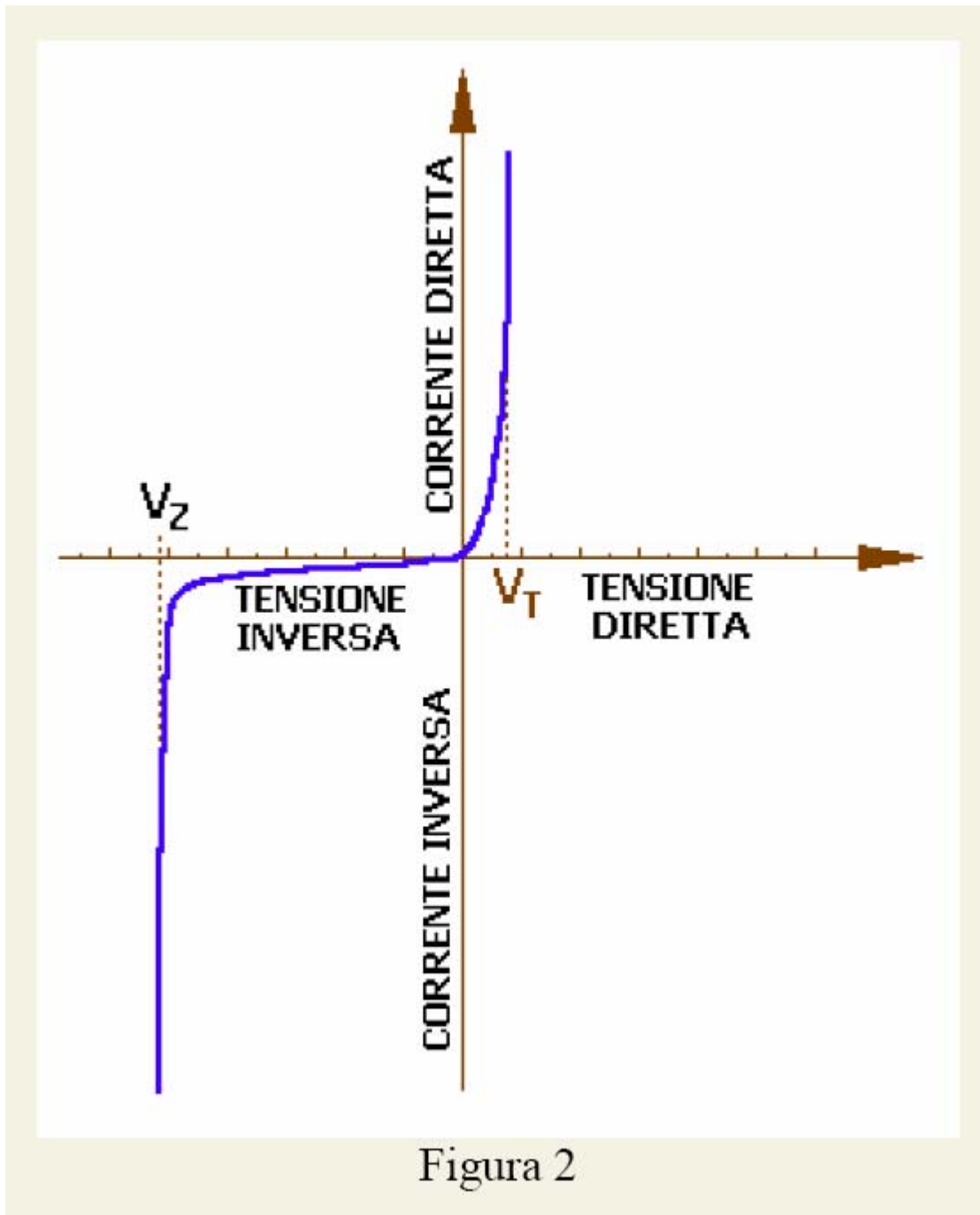


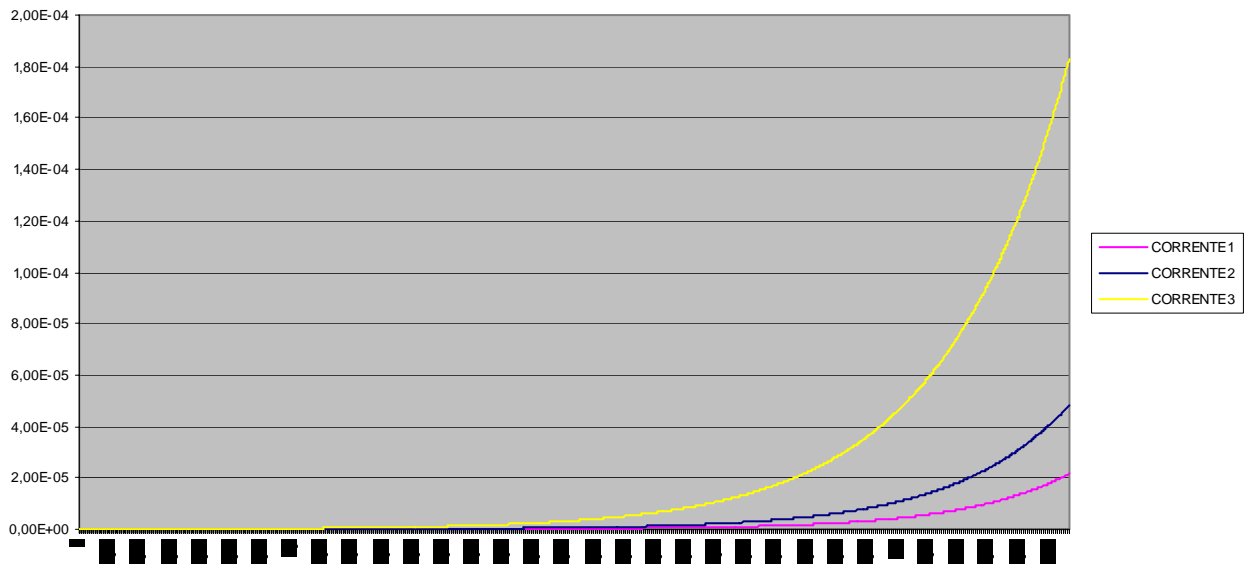
Figura 2

ALCUNI	DIODI	ZENER	DI	PRODUZIONE	FAIRCHILD
sono indicate nell'ordine: sigla - tensione di zener - potenza massima					
MMBZ5221B	2.4V, 0.35W	MMSZ4684	3.3V, 0.5W	1N4728A	3.3V, 1W
MMBZ5223B	2.7V, 0.35W	MMSZ4686	3.9V, 0.5W	1N4729A	3.6V, 1W
MMBZ5226B	3.3V, 0.35W	MMSZ4688	4.7V, 0.5W	1N4730A	3.9V, 1W
MMBZ5227B	3.6V, 0.35W	MMSZ4689	5.1V, 0.5W	1N4731A	4.3V, 1W
				BZX85C10	10V, 1.3W
				BZX85C11	11V, 1.3W
				BZX85C12	12V, 1.3W
				BZX85C13	13V, 1.3W

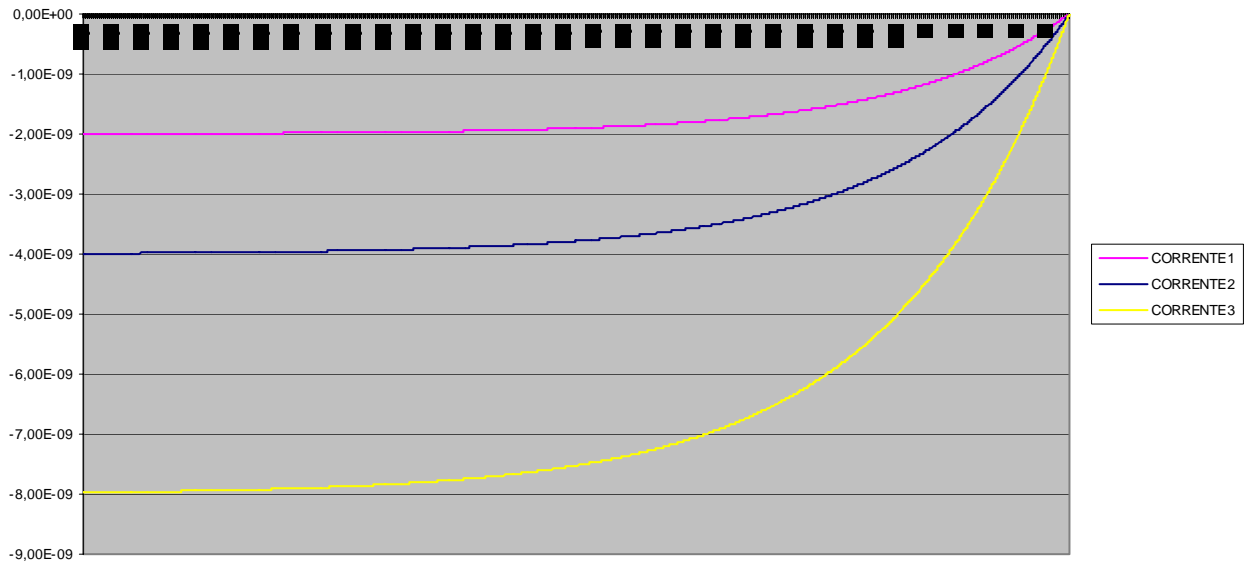
MMBZ5228B	3.9V, 0.35W	MMSZ4692	6.8V, 0.5W	1N4732A	4.7V, 1W	BZX85C15	15V, 1.3W
MMBZ5229B	4.3V, 0.35W	MMSZ4697	10V, 0.5W	1N4733A	5.1V, 1W	BZX85C16	16V, 1.3W
MMBZ5230B	4.7V, 0.35W	MMSZ4702	15V, 0.5W	1N4734A	5.6V, 1W	BZX85C18	18V, 1.3W
MMBZ5231B	5.1V, 0.35W	MMSZ4703	16V, 0.5W	1N4735A	6.2V, 1W	BZX85C20	20V, 1.3W
MMBZ5232B	5.6V, 0.35W	MMSZ4706	19V, 0.5W	1N4736A	6.8V, 1W	BZX85C22	22V, 1.3W
MMBZ5233B	6.0V, 0.35W	MMSZ5226B	3.3V, 0.5W	1N4737A	7.5V, 1W	BZX85C24	24V, 1.3W
MMBZ5234B	6.2V, 0.35W	MMSZ5227B	3.6V, 0.5W	1N4738A	8.2V, 1W	BZX85C27	27V, 1.3W
MMBZ5235B	6.8V, 0.35W	MMSZ5228B	3.9V, 0.5W	1N4739A	9.1V, 1W	BZX85C30	30V, 1.3W
MMBZ5236B	7.5V, 0.35W	MMSZ5229B	4.3V, 0.5W	1N4740A	10V, 1W	BZX85C33	33V, 1.3W
MMBZ5237B	8.2V, 0.35W	MMSZ5230B	4.7V, 0.5W	1N4741A	11V, 1W	BZX85C3V3	3.3V, 1.3W
MMBZ5238B	8.7V, 0.35W	MMSZ5231B	5.1V, 0.5W	1N4742A	12V, 1W	BZX85C3V6	3.6V, 1.3W
MMBZ5239B	9.1V, 0.35W	MMSZ5232B	5.6V, 0.5W	1N4743A	13V, 1W	BZX85C3V9	3.9V, 1.3W
MMBZ5240B	10V, 0.35W	MMSZ5233B	6.0V, 0.5W	1N4744A	15V, 1W	BZX85C4V3	4.3V, 1.3W
MMBZ5241B	11V, 0.35W	MMSZ5234B	6.2V, 0.5W	1N4745A	16V, 1W	BZX85C4V7	4.7V, 1.3W
MMBZ5242B	12V, 0.35W	MMSZ5235B	6.8V, 0.5W	1N4746A	18V, 1W	BZX85C5V1	5.1V, 1.3W
MMBZ5243B	13V, 0.35W	MMSZ5236B	7.5V, 0.5W	1N4747A	20V, 1W	BZX85C5V6	5.6V, 1.3W
MMBZ5244B	14V, 0.35W	MMSZ5237B	8.2V, 0.5W	1N4748A	22V, 1W	BZX85C6V2	6.2V, 1.3W
MMBZ5245B	15V, 0.35W	MMSZ5238B	8.7V, 0.5W	1N4749A	24V, 1W	BZX85C6V8	6.8V, 1.3W
MMBZ5246B	16V, 0.35W	MMSZ5239B	9.1V, 0.5W	1N4750A	27V, 1W	BZX85C7V5	7.5V, 1.3W
MMBZ5247B	17V, 0.35W	MMSZ5240B	10V, 0.5W	1N4751A	30V, 1W	BZX85C8V2	8.2V, 1.3W
MMBZ5248B	18V, 0.35W	MMSZ5241B	11V, 0.5W	1N4752A	33V, 1W	BZX85C9V1	9.1V, 1.3W
MMBZ5249B	19V, 0.35W	MMSZ5242B	12V, 0.5W				
MMBZ5250B	20V, 0.35W	MMSZ5243B	13V, 0.5W				
MMBZ5251B	22V, 0.35W	MMSZ5244B	14V, 0.5W				
MMBZ5252B	24V, 0.35W	MMSZ5245B	15V, 0.5W				
MMBZ5253B	25V, 0.35W	MMSZ5246B	16V, 0.5W				
MMBZ5254B	27V, 0.35W	MMSZ5247B	17V, 0.5W				
MMBZ5255B	28V, 0.35W	MMSZ5248B	18V, 0.5W				

<b>MMBZ5256B 30V, 0.35W</b>	<b>MMSZ5249B 19V, 0.5W</b>		
<b>MMBZ5257B 33V, 0.35W</b>	<b>MMSZ5250B 20V, 0.5W</b>		
	<b>MMSZ5251B 22V, 0.5W</b>		
	<b>MMSZ5252B 24V, 0.5W</b>		
	<b>MMSZ5253B 25V, 0.5W</b>		
	<b>MMSZ5254B 27V, 0.5W</b>		
	<b>MMSZ5255B 28V, 0.5W</b>		
	<b>MMSZ5256B 30V, 0.5W</b>		
	<b>MMSZ5257B 33V, 0.5W</b>		

La caratteristica del diodo, sia in polarizzazione diretta sia in polarizzazione inversa è fortemente influenzata dalla temperatura. Nel primo caso la curva trasla verso l'alto all'aumentare della temperatura



Nel secondo caso essa trasla verso il basso



In entrambi i casi si ha un aumento del valore assoluto della corrente. Ciò si spiega con il fatto che un aumento di temperatura significa somministrare energia alla barretta di silicio, cioè aumentare il numero di elettroni che posseggono l'energia sufficiente per abbandonare gli orbitali e divenire liberi e quindi aumentare l'intensità della corrente a parità di tensione applicata.