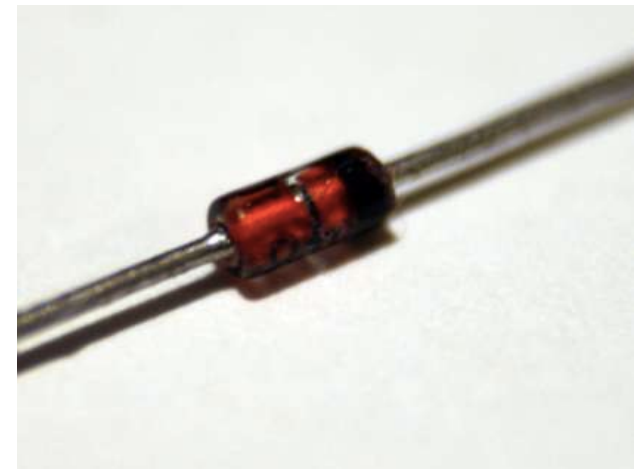


Semiconduttori e Fisica del diodo



diodi



Semiconduttori
Concentrazione dei portatori
Drogaggio

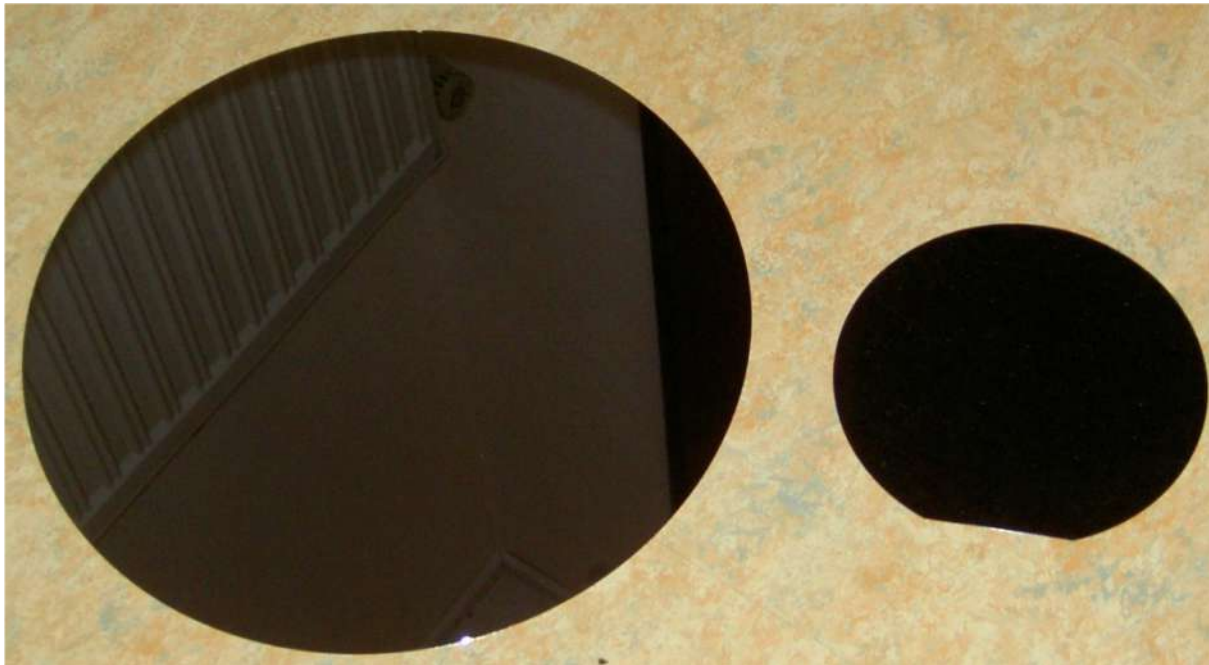
Tab. 1.1 Parte della tabella periodica degli elementi relativa ai semiconduttori

Periodo	Colonna II	III	IV	V	VI
2		B Boro	C Carbonio	N Azoto	
3	Mg Magnesio	Al Alluminio	Si Silicio	P Fosforo	S Zolfo
4	Zn Zinco	Ga Gallio	Ge Germanio	As Arsenico	Se Selenio
5	Cd Cadmio	In Indio	Sn Stagno	Sb Antimonio	Te Tellurio
6	Hg Mercurio		Pb Piombo		

Tab. 1.2 Semiconduttori elementari e semiconduttori composti.

Elementi	Composti IV-IV	Composti III-V	Composti II-VI	Composti IV-VI
Si	SiC	AlAs	CdS	PbS
Ge	SiGe	AlSb	CdSe	PbTe
		BN	CdTe	
		GaAs	ZnS	
		GaP	ZnSe	
		GaSb	ZnTe	
		InAs		
		InP		
		InSb		

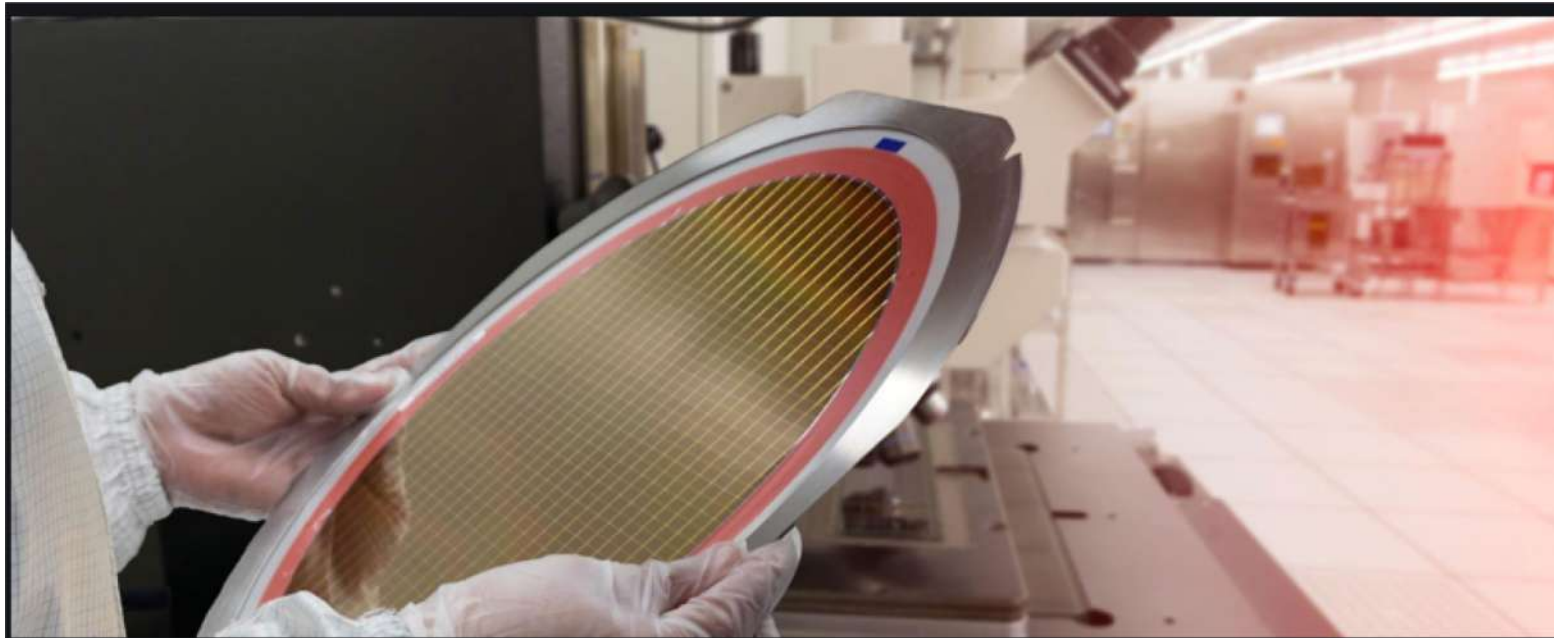
Fetta di silicio = Silicon wafer



Fetta di silicio = Silicon wafer



Fetta di silicio = Silicon wafer



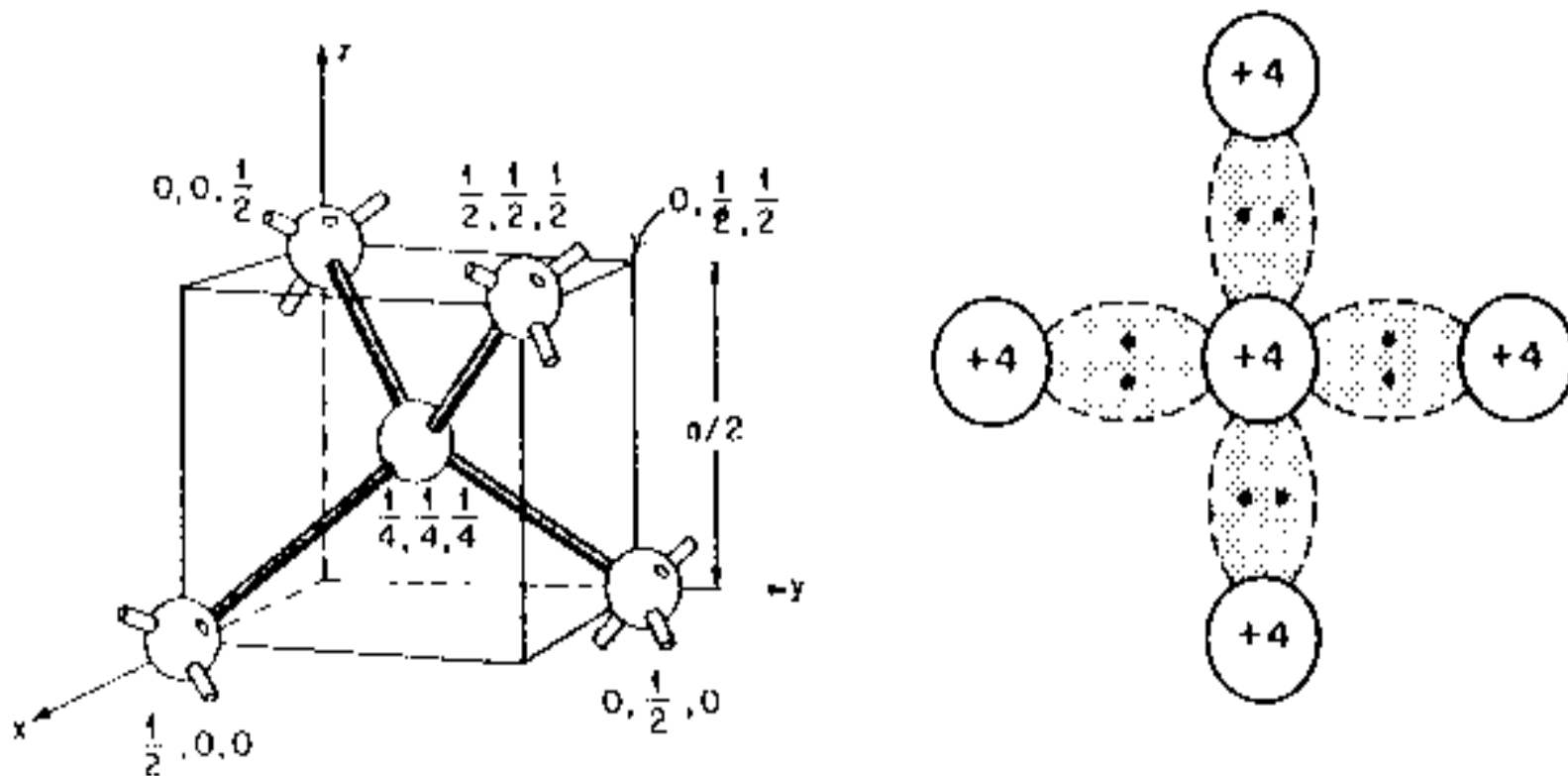
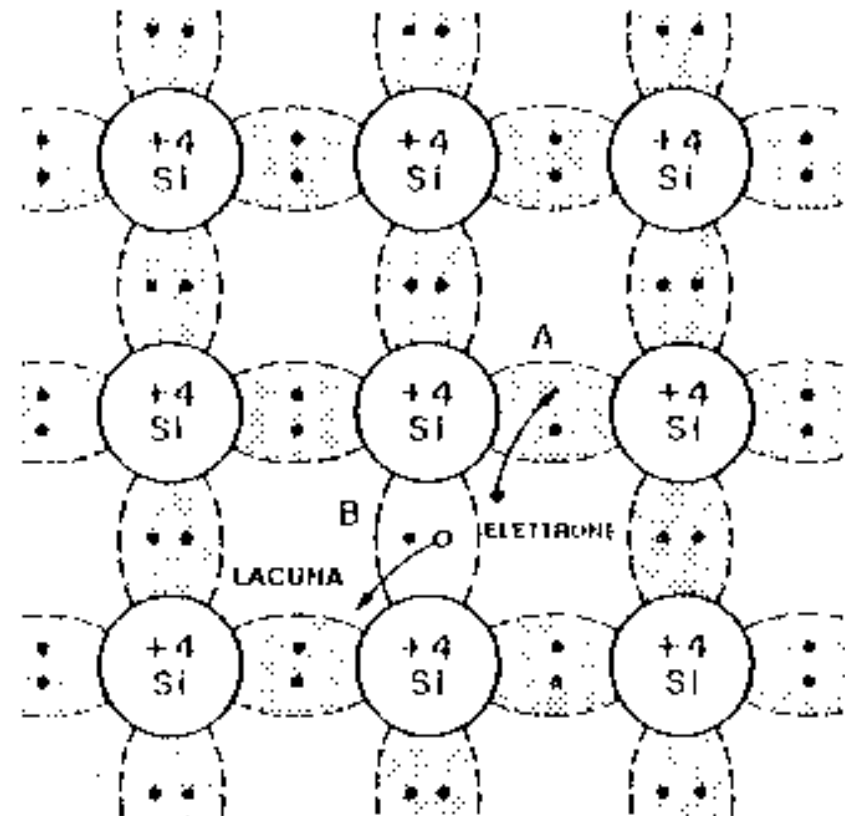
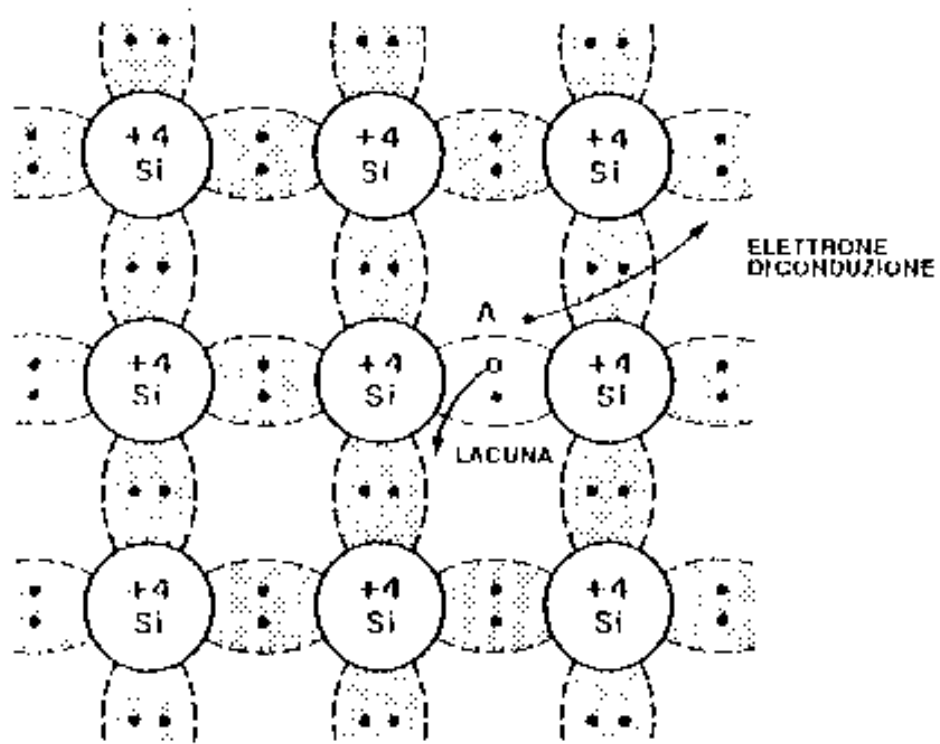


Fig. 1.6 (a) Legame tetraedrico. (b) Rappresentazione schematica bidimensionale di un legame tetraedrico.

www.chemtube3d.com/claydencarbonallotropes/

Silicio intrinseco



Si chiama *energy gap* (E_g [eV]), detta anche *ampiezza della banda proibita*, l'energia minima necessaria affinché un *elettrone di valenza* possa sfuggire al legame covalente in cui è coinvolto e diventare un *elettrone libero*

Per il silicio $E_g \approx 1.12$ eV a 300 K

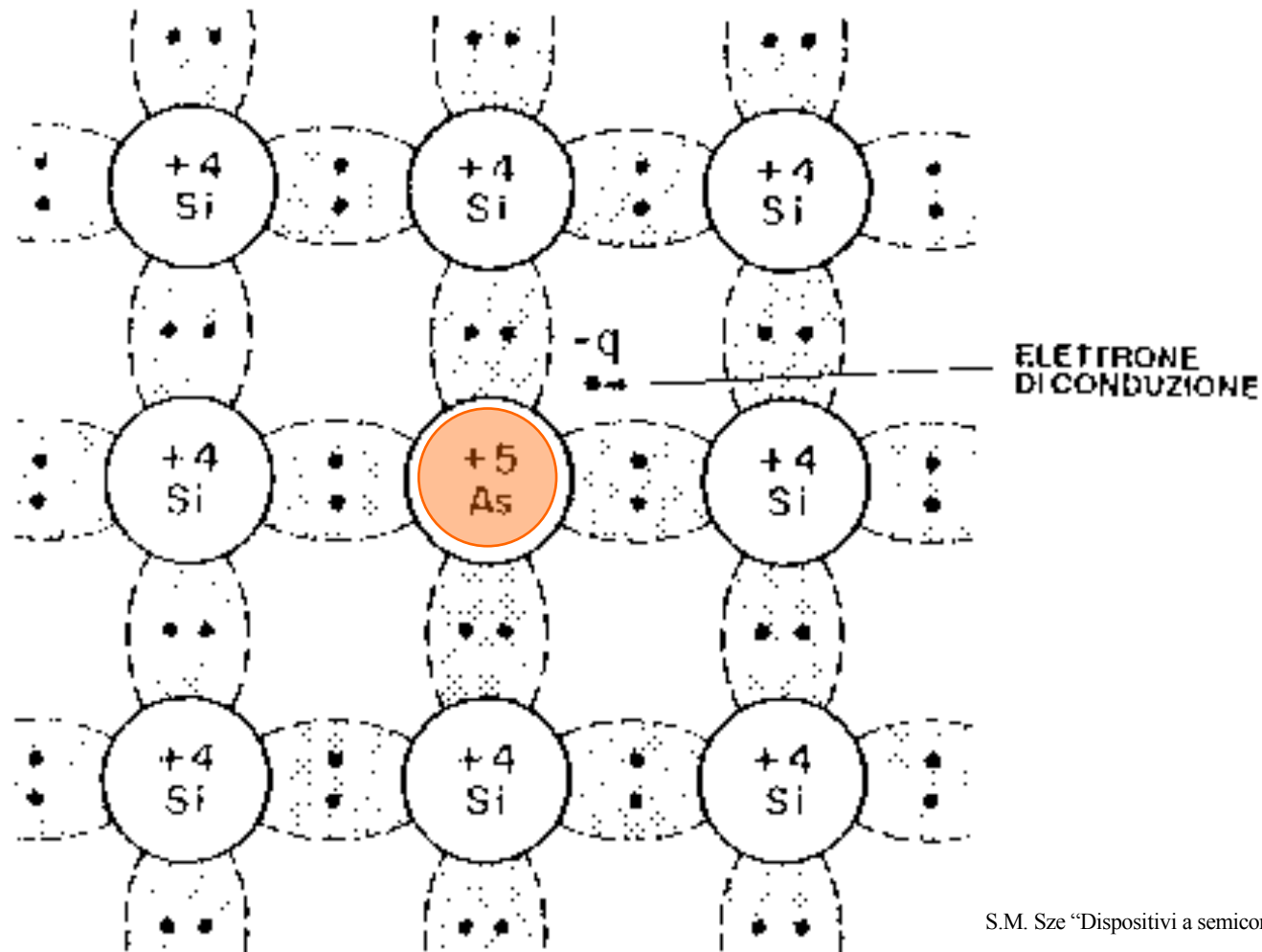
Per l'arseniuro di gallio (GaAs) $E_g \approx 1.42$ eV a 300 K

1 eV è l'energia che occorre per spostare un elettrone ($Q=1.6 \times 10^{-19}$ C) da un punto ad un altro punto dello spazio fra i quali esiste una differenza di potenziale pari ad 1 V.

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

DROGAGGIO CON ATOMI DONORI

(drogaggio di tipo n)

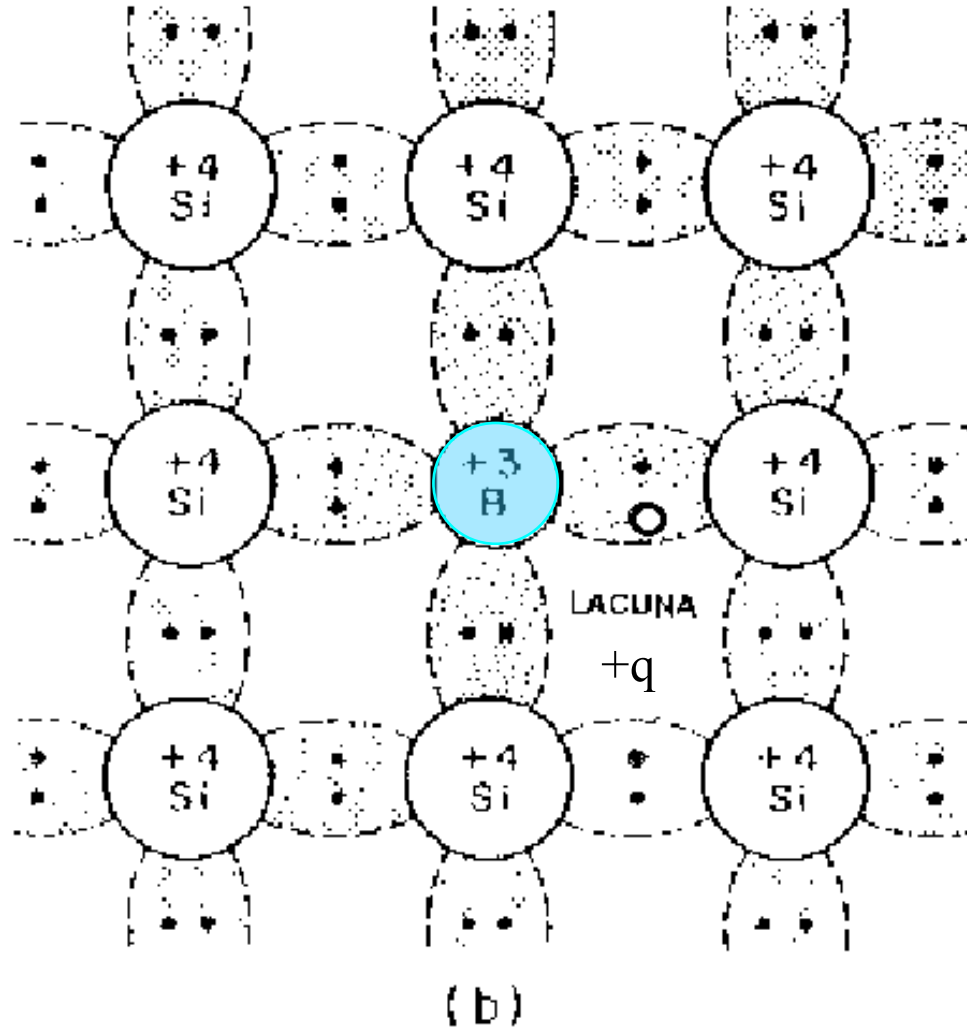


S.M. Sze "Dispositivi a semiconduttore" Ed. Hoepli

Si drogato con As

DROGAGGIO CON ATOMI ACCETTORI

(drogaggio di tipo p)



S.M. Sze "Dispositivi a semiconduttore" Ed. Hoepli

Si drogato con B

In un semiconduttore *intrinseco* la concentrazione degli elettroni n [cm⁻³] è ovviamente uguale a quella delle lacune p [cm⁻³] :

$$n = p = n_i$$

n_i prende il nome di *concentrazione intrinseca*. Essa cresce velocemente con la temperatura.

In un semiconduttore *intrinseco*:

$$n = p = n_i$$

In un semiconduttore drogato con atomi donori (*tipo n*):

$$n = N_D \quad p = \frac{n_i^2}{N_D} \quad \text{con } N_D \text{ concentrazione di atomi donori [cm}^{-3}\text{]} \\ \text{(Legge d'azione di massa)}$$

In un semiconduttore drogato con atomi accettori (*tipo p*):

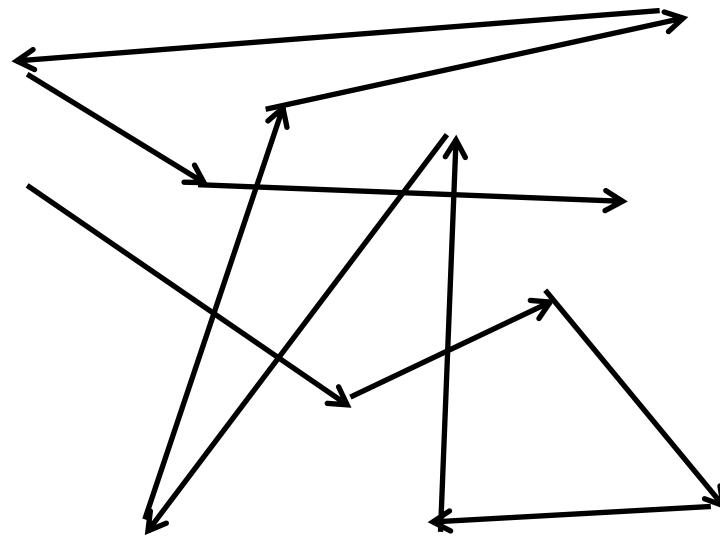
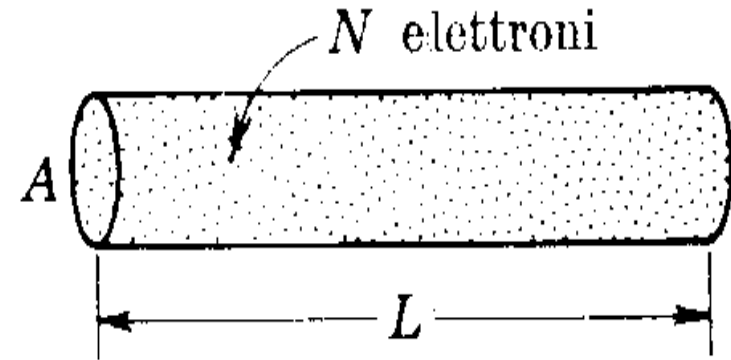
$$p = N_A \quad n = \frac{n_i^2}{N_A} \quad \text{con } N_A \text{ concentrazione di atomi accettori [cm}^{-3}\text{]} \\ \text{(Legge d'azione di massa)}$$

Leggi del trasporto di elettroni e lacune nei semiconduttori

In assenza di campo elettrico l'energia cinetica degli elettroni di conduzione in un conduttore (o in un semiconduttore) è:

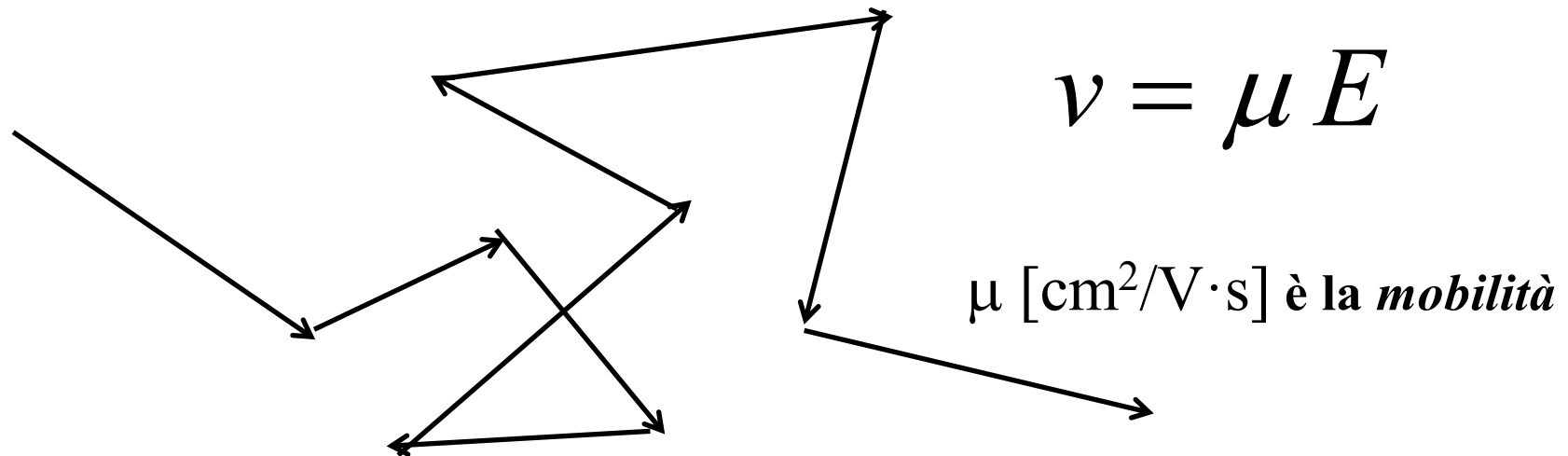
$$\frac{1}{2} m_n v_{th}^2 = \frac{3}{2} k T$$

$$kT = 26 \text{ meV} = 4.11 \cdot 10^{-21} \text{ J a } T=300 \text{ K}$$



Malgrado $v_{th} \neq 0$, data la casualità del moto, lo spostamento netto è nullo.

In presenza di un campo elettrico E , l'elettrone è soggetto ad una forza $-q E$ che determina uno spostamento netto non nullo.



Si manifesta quindi una *corrente di trascinamento* la cui densità è data da:

$$J = q n v = q n \mu E = \sigma E \left[\frac{\text{A}}{\text{cm}^2} \right]$$

dove σ [$\Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$] si chiama *conducibilità*

Data la contemporanea presenza di elettroni (e) e lacune (h), in un semiconduttore si ha:

$$J = q (\mu_n n + \mu_p p) E$$

$$\sigma = \rho^{-1} = q (\mu_n n + \mu_p p)$$

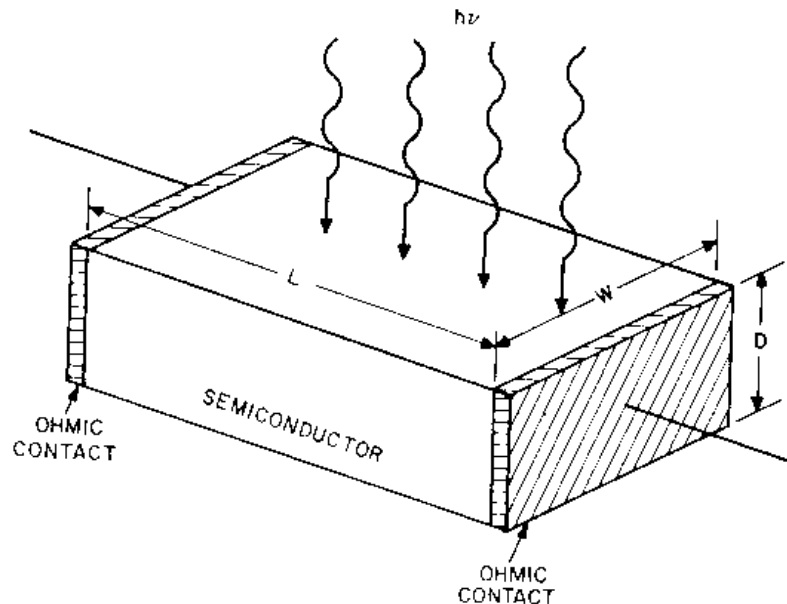
FOTOCONDUCCIBILITA'

Oltre che dalla temperatura, la conducibilità di un semiconduttore può essere modificata dall'esposizione ad una radiazione luminosa composta da fotoni che rispettano la relazione:

$$E_{\text{fotone}} \geq E_g \quad \text{dove} \quad E_{\text{fotone}} = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

h (costante di Plank) = 6.63×10^{-34} J·s

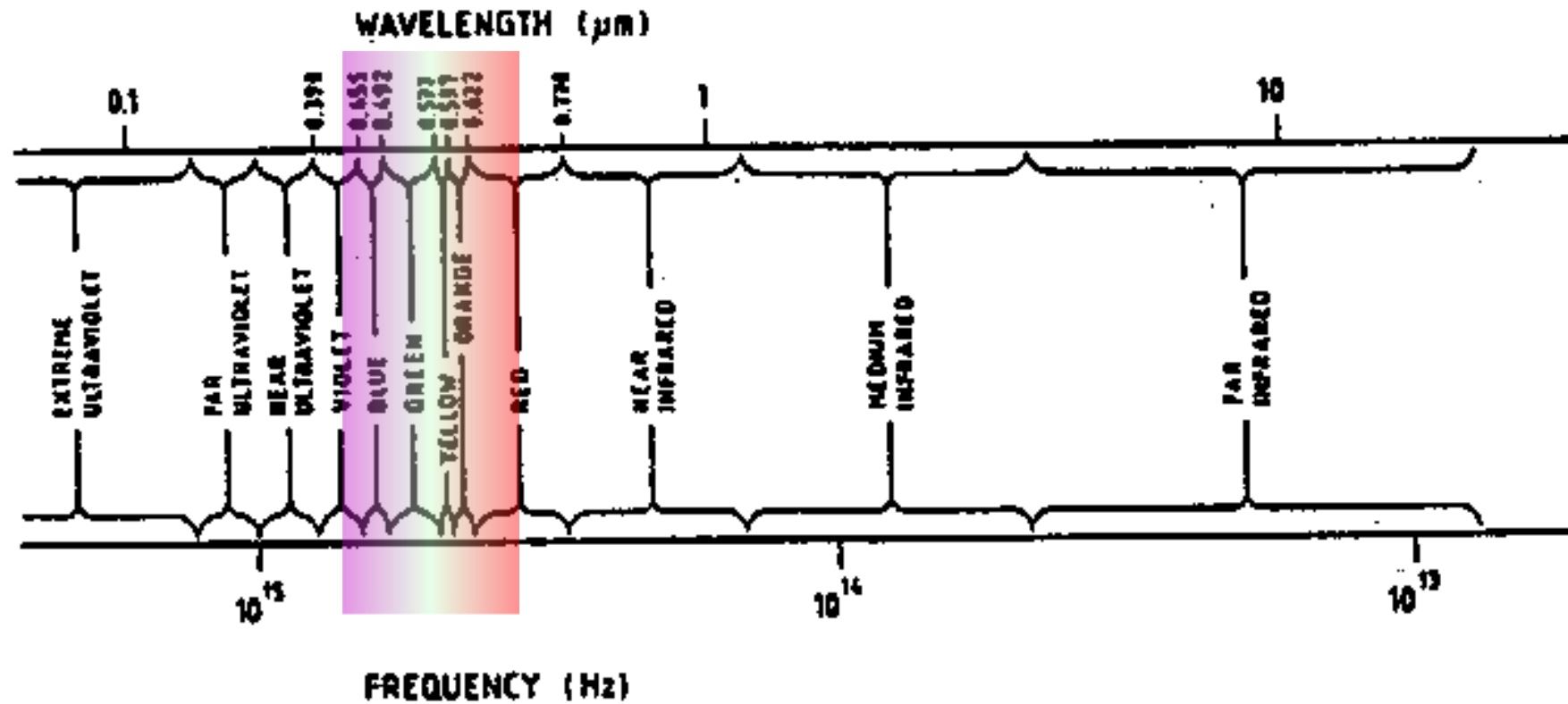
ν = frequenza del fotone in Hz



$$E_{\text{fotone}} = h\nu [eV] = \frac{1.24}{\lambda [\mu m]}$$



SENSORI DI LUCE



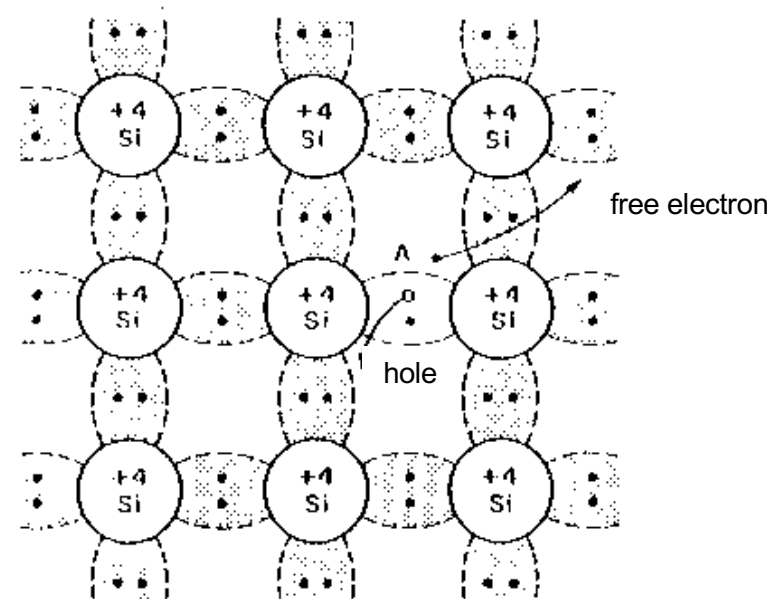
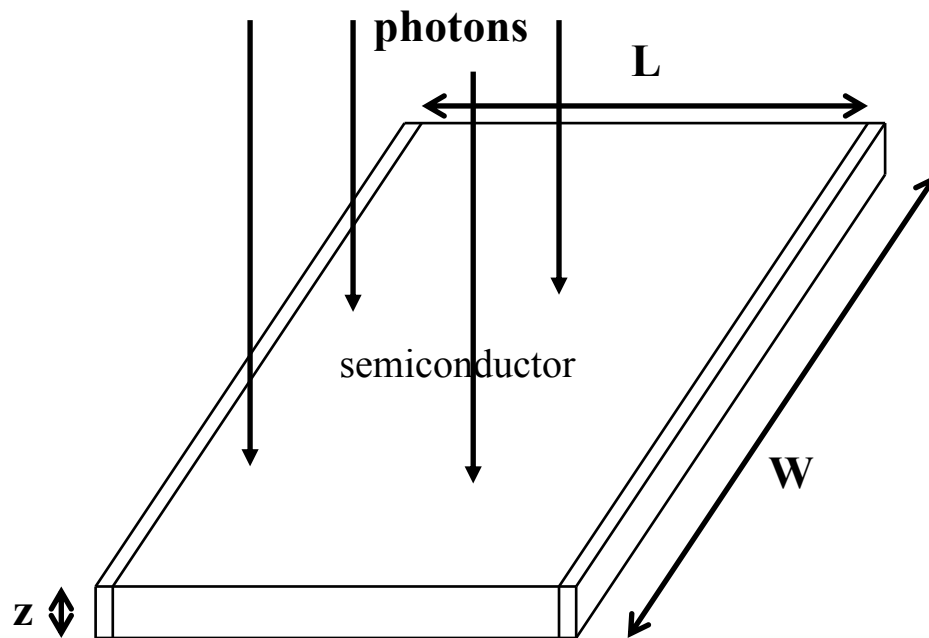
Spettro Visibile





Gli elettroni così creati modificano radicalmente le proprietà elettriche del materiale, che ora permette il passaggio di correnti più elevate: la sua resistenza diminuisce

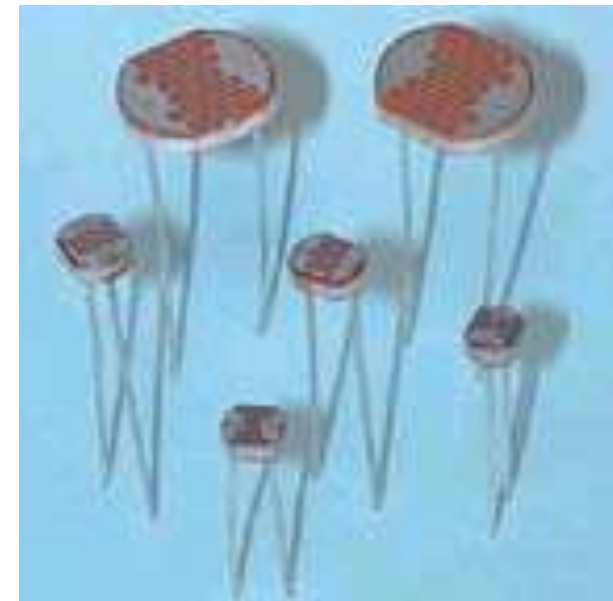
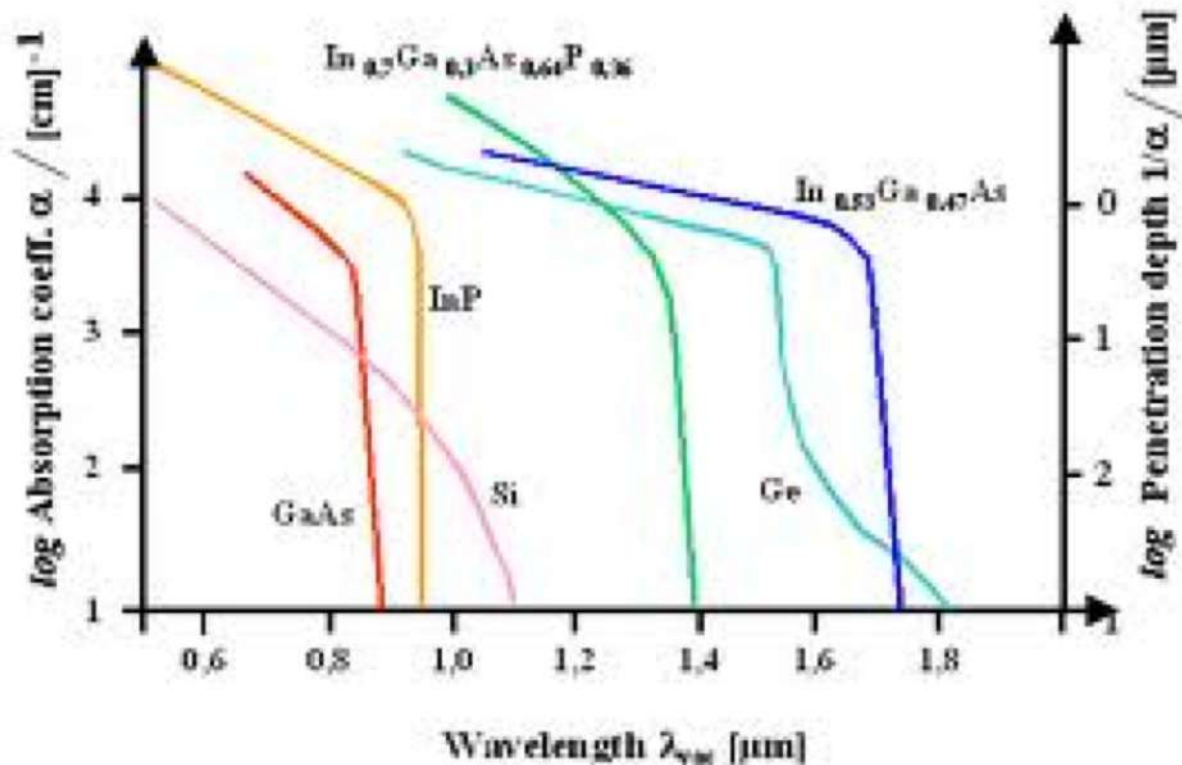
E' possibile ridurre la resistenza anche di un fattore 100.000 ed oltre



Se siamo in grado di misurare costantemente la corrente che circola nel semiconduttore, possiamo avere un'informazione sull'intensità della luce che lo investe



Ogni materiale semiconduttore assorbe fotoni con energia superiore ad un ben preciso valore. Usando semiconduttori diversi è possibile avere informazioni anche sul “colore” (composizione cromatica) della luce.



Fotoresistori commerciali



CORRENTI DI DIFFUSIONE

$$J_n = q D_n \frac{dn}{dx}$$

$l =$ cammino libero medio

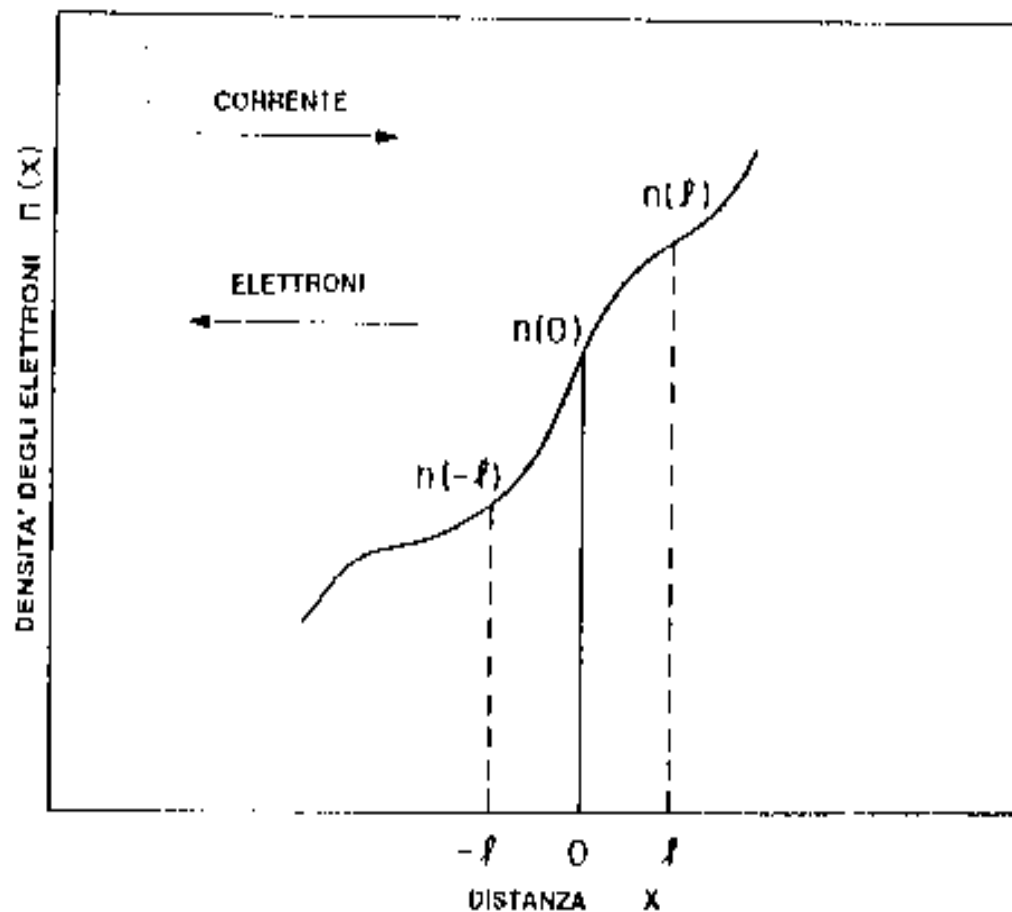
$$D_n \equiv v_{th} l = \frac{kT}{q} \mu_n$$

(relazione di Einstein)

$$J_p = -q D_p \frac{dp}{dx}$$

$$D_p \equiv v_{th} l = \frac{kT}{q} \mu_p$$

$$\frac{kT}{q} = V_T \approx \frac{T}{11600}$$



EQUAZIONI DELLA CORRENTE NEI SEMICONDUCTORI

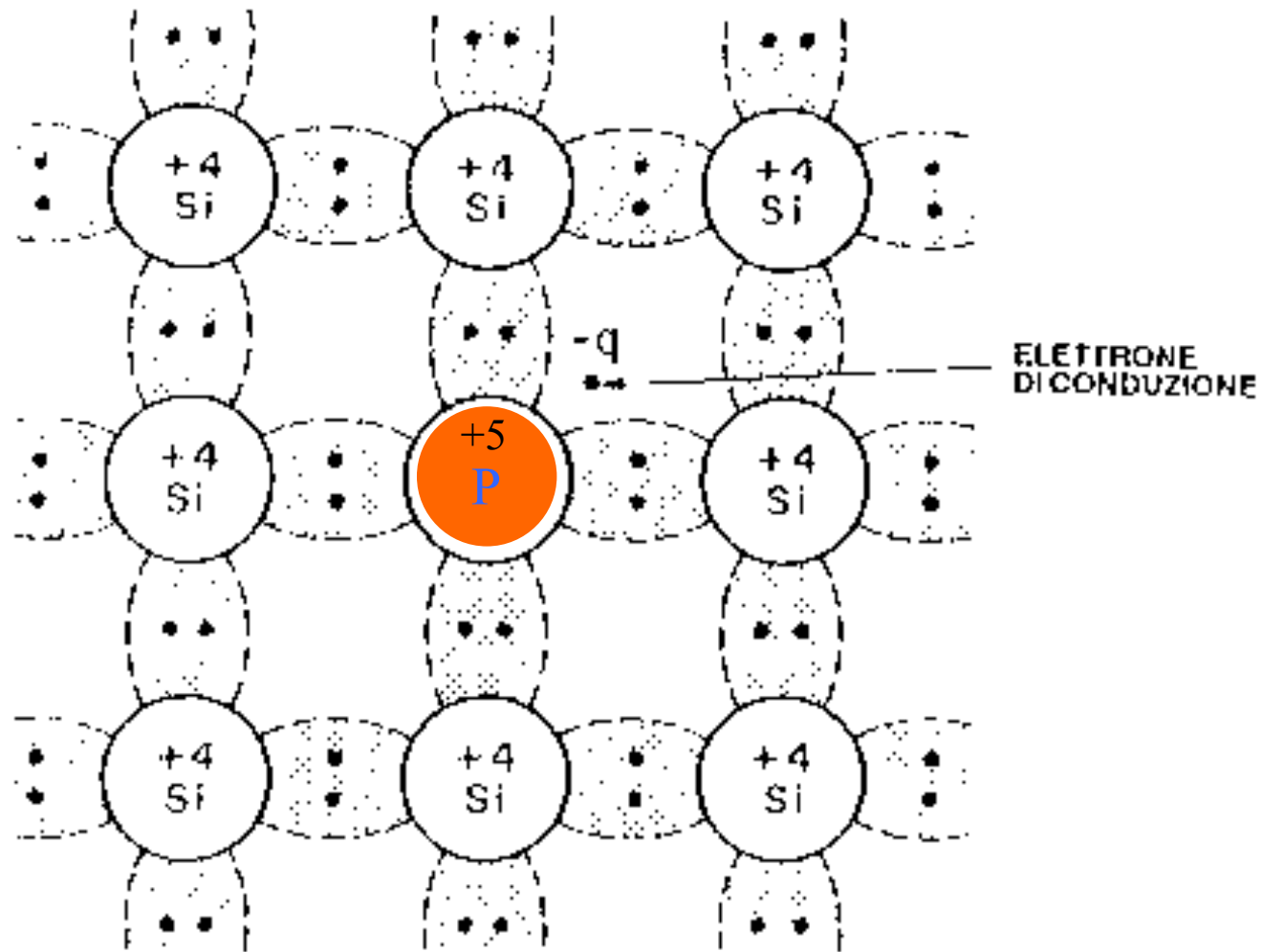
$$J_n = q\mu_n n E + q D_n \frac{dn}{dx} \qquad J_p = q\mu_p p E - q D_p \frac{dp}{dx}$$

$$J_T = J_n + J_p$$

La giunzione P-N

DROGAGGIO CON ATOMI DONORI (P, As)

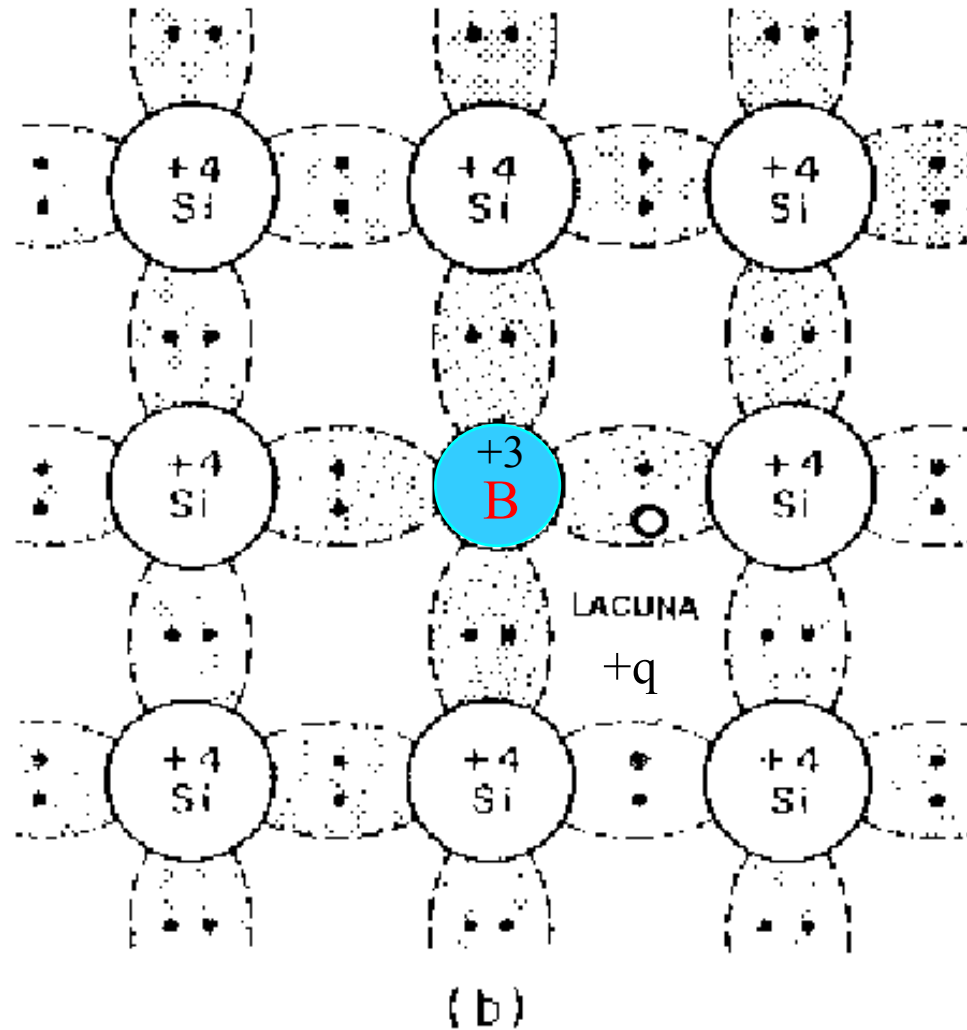
(drogaggio di tipo n)



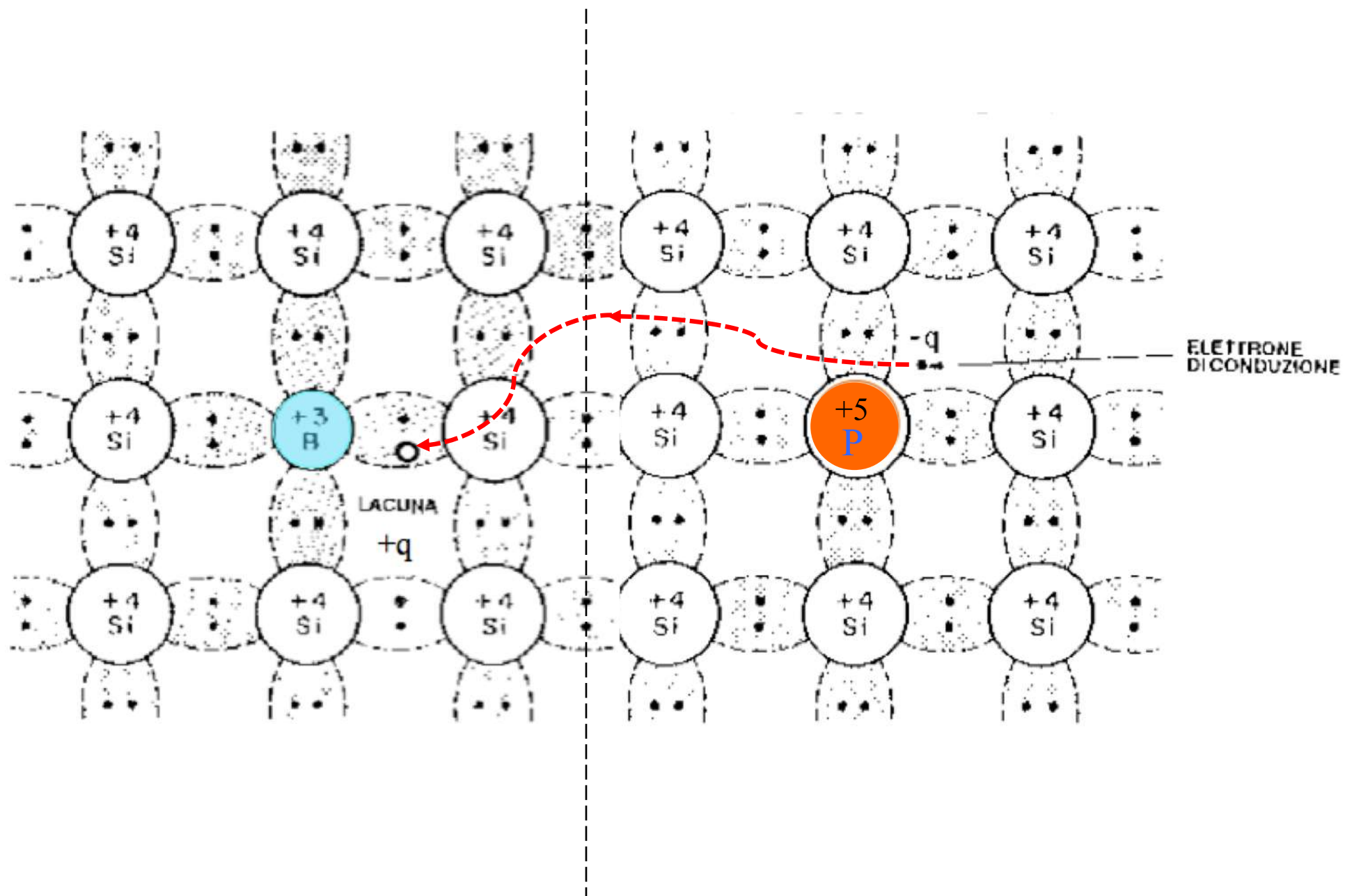
Si drogato con As

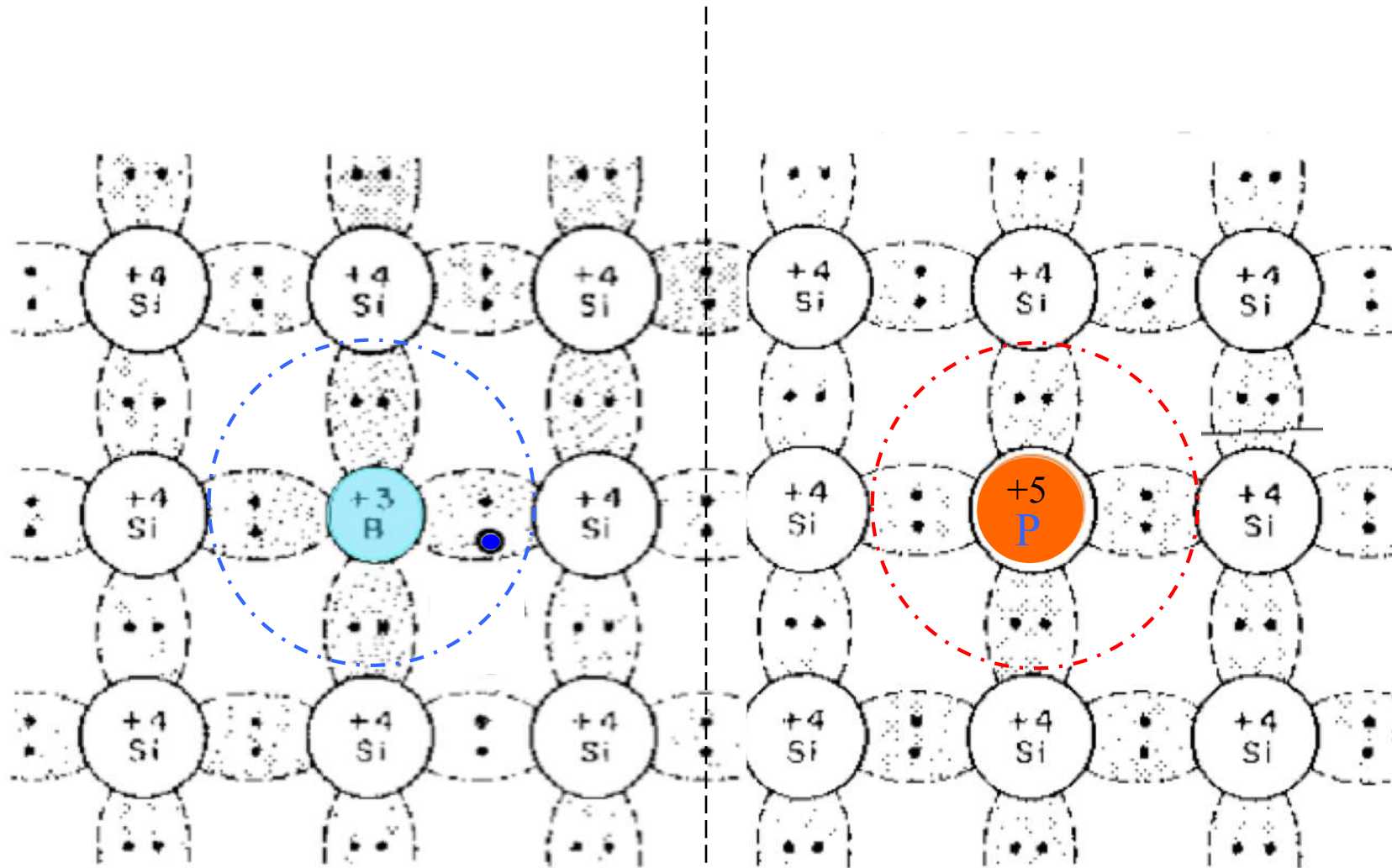
DROGAGGIO CON ATOMI ACCETTORI (B)

(drogaggio di tipo p)



Si drogato con B



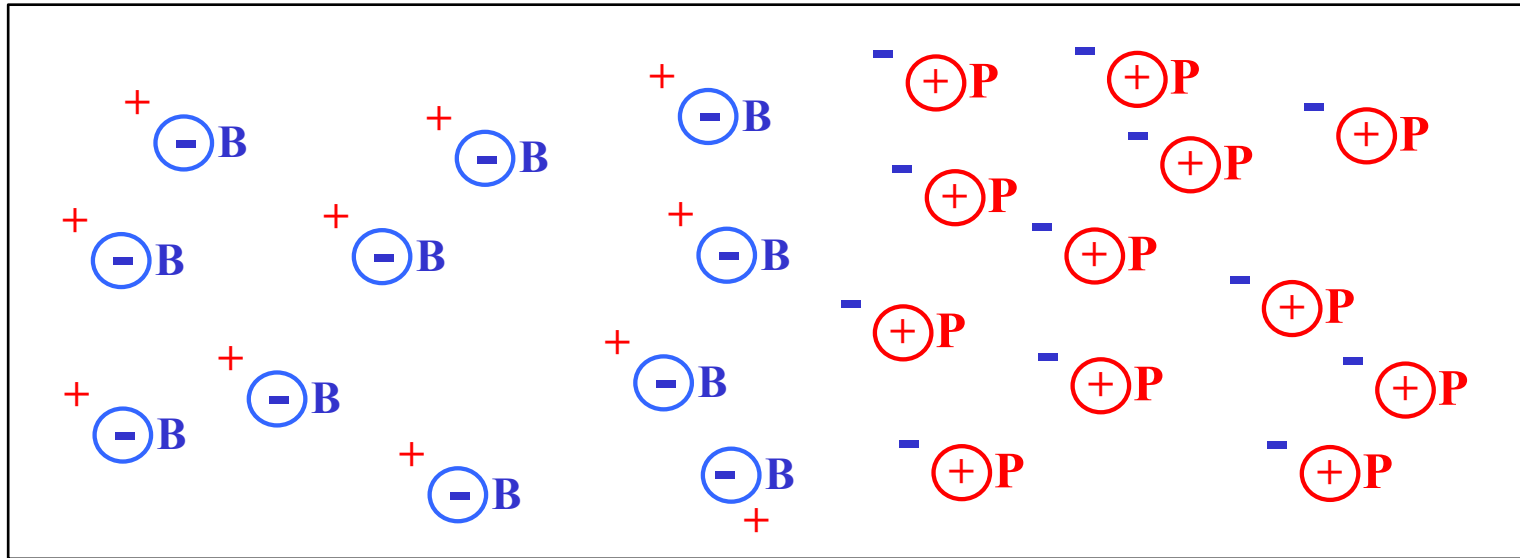


Questa regione ha **acquistato** un elettrone (che ora è bloccato in un legame) e quindi si è caricata **negativamente**

Questa regione ha **perso** un elettrone e quindi si è caricata **positivamente**

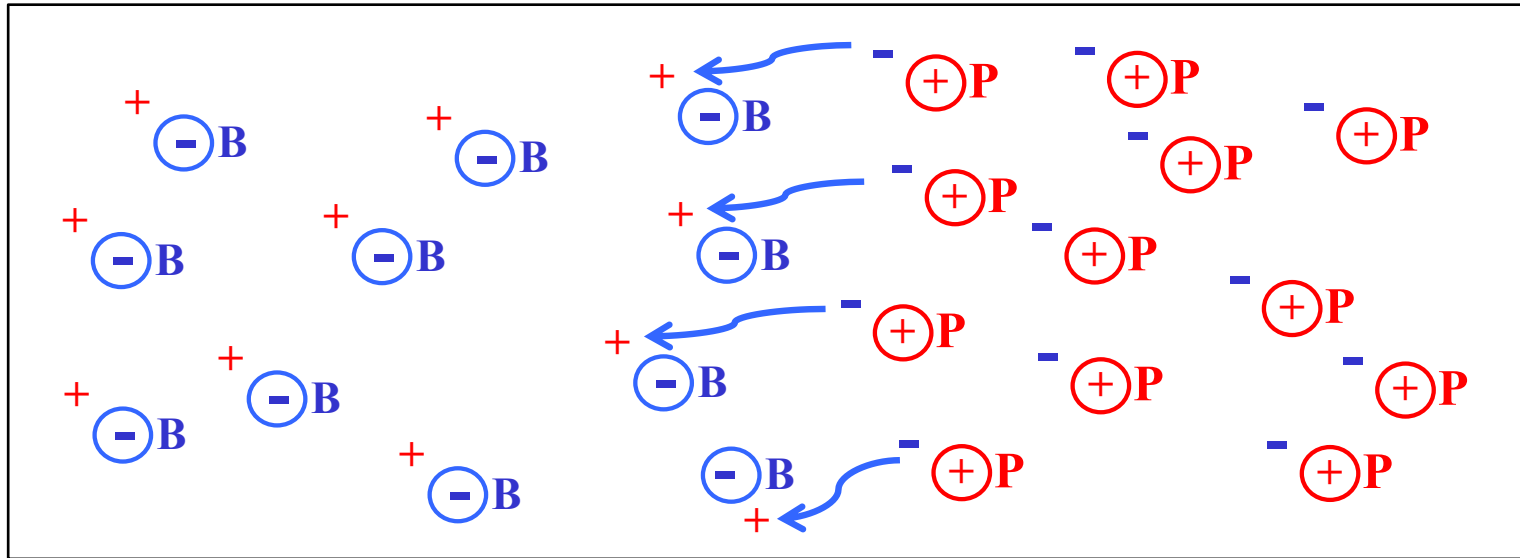
regione P

regione N



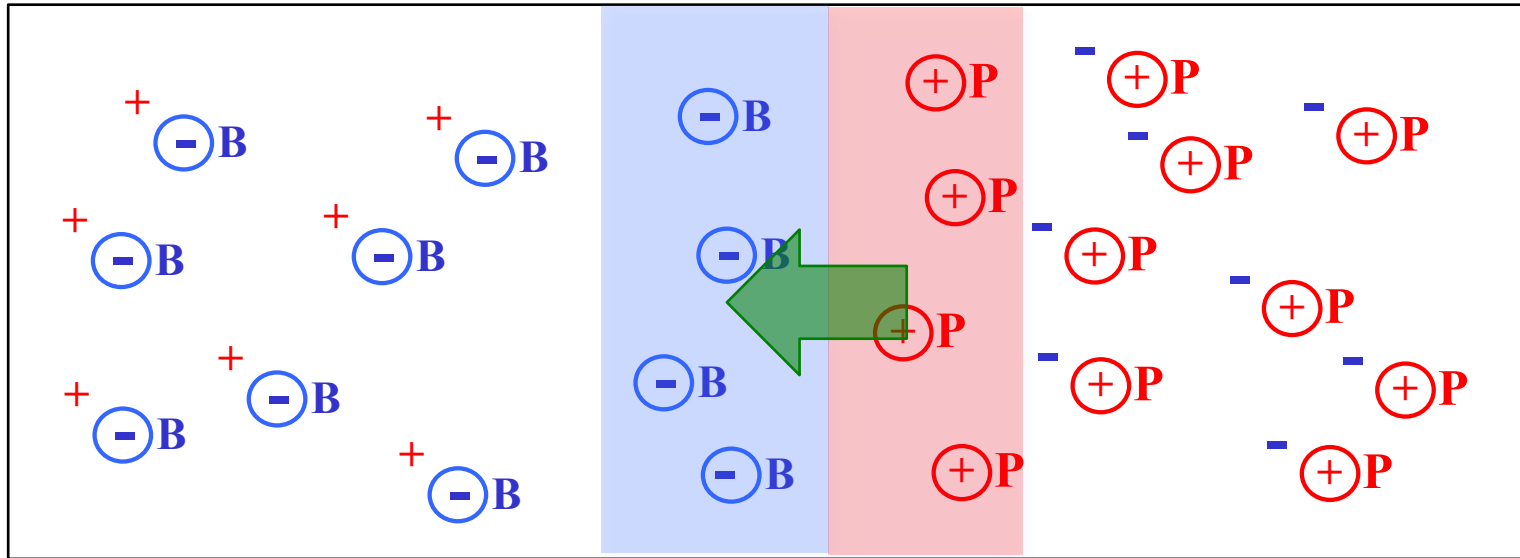
regione P

regione N



regione P

regione N



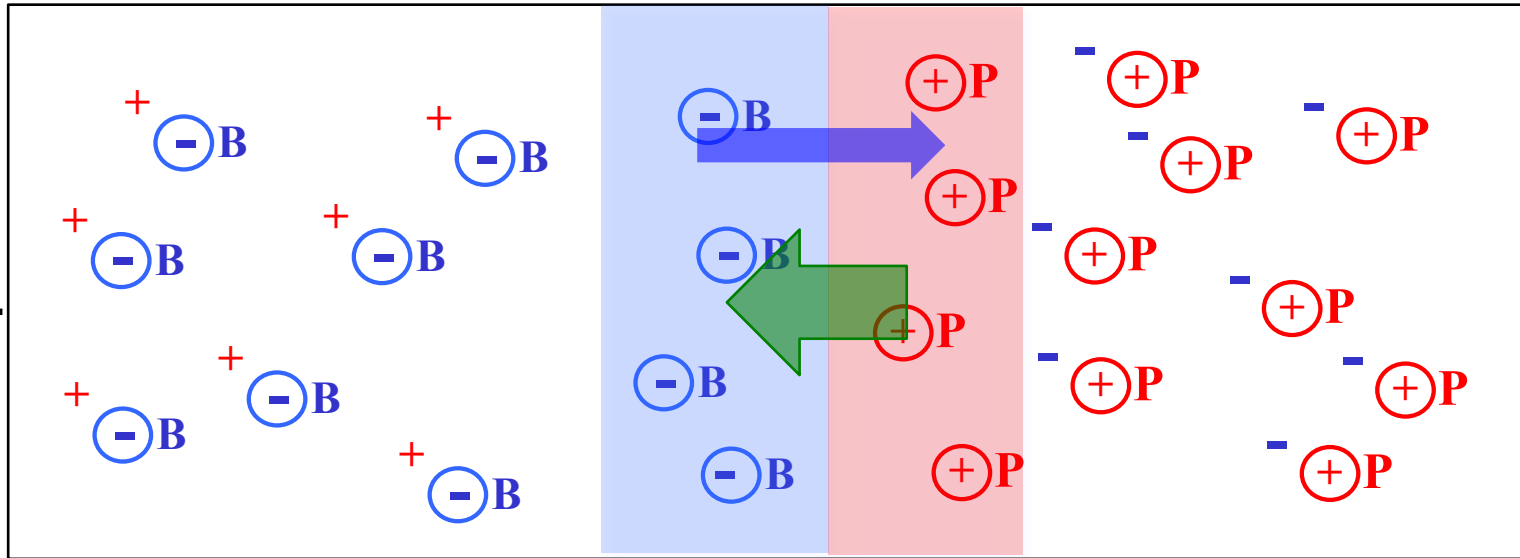
Campo elettrico naturale (built-in)
 E (V/cm)

Campo elettrico

regione P

aggiunto

regione N

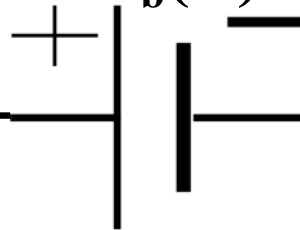


Campo elettrico naturale (built-in)

E (V/cm)

I (A)

V_b (V)

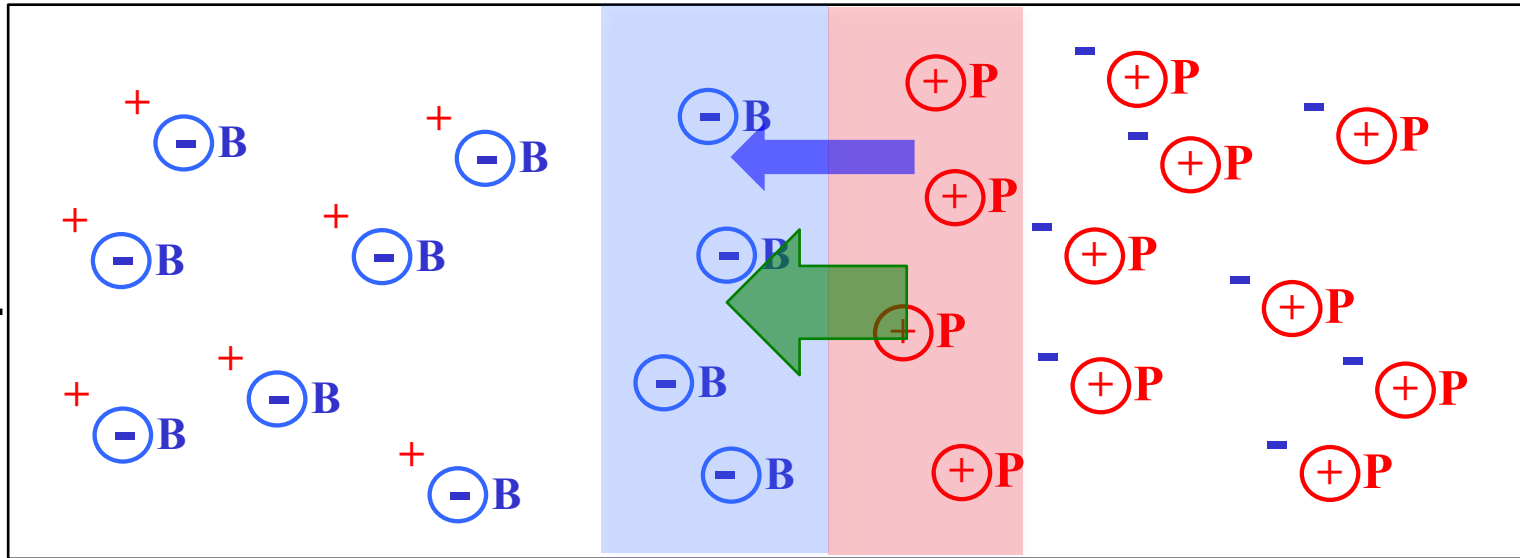


Campo elettrico

regione P

aggiunto

regione N

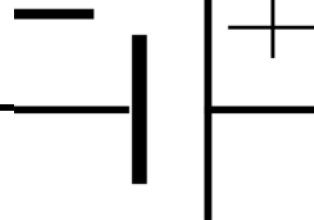


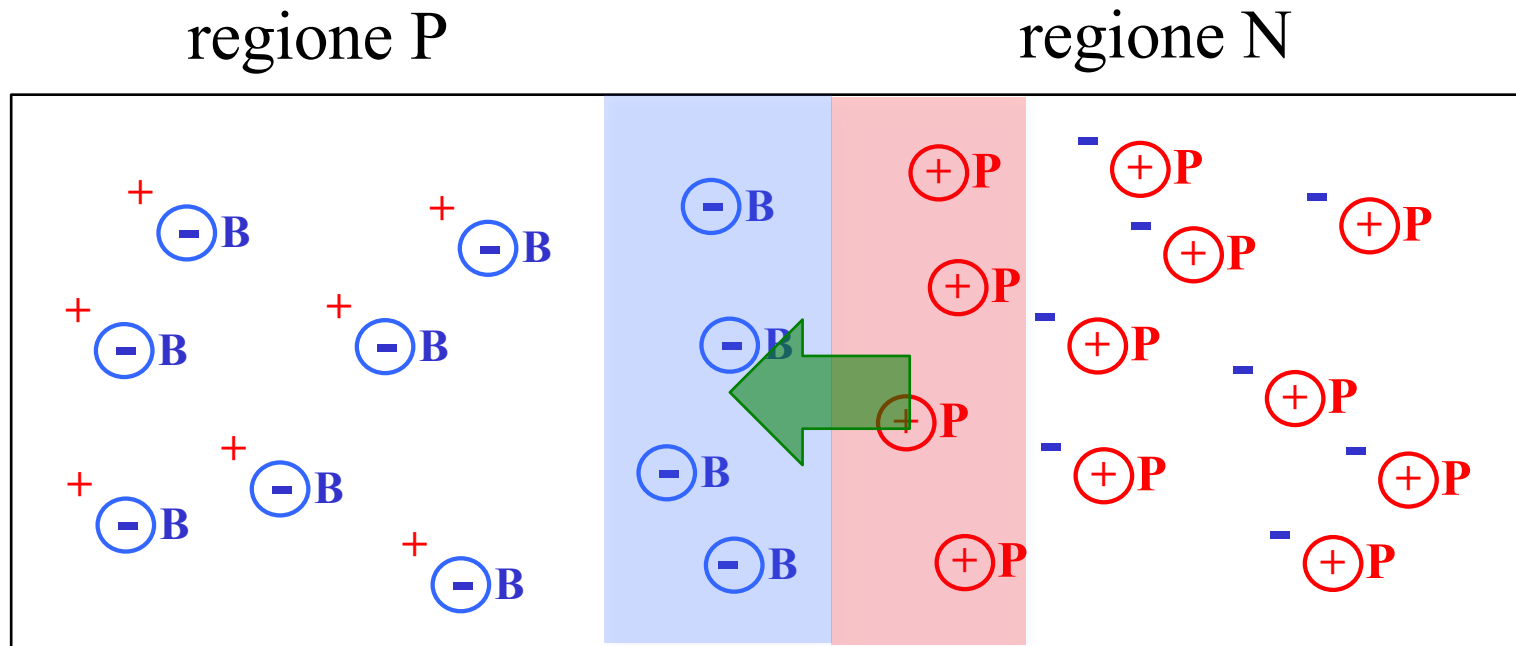
Campo elettrico naturale (built-in)

E (V/cm)

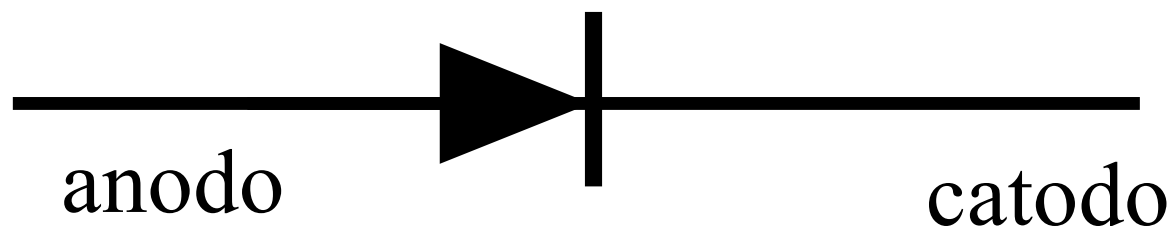
$I(A)=0$

$V_b(V)$

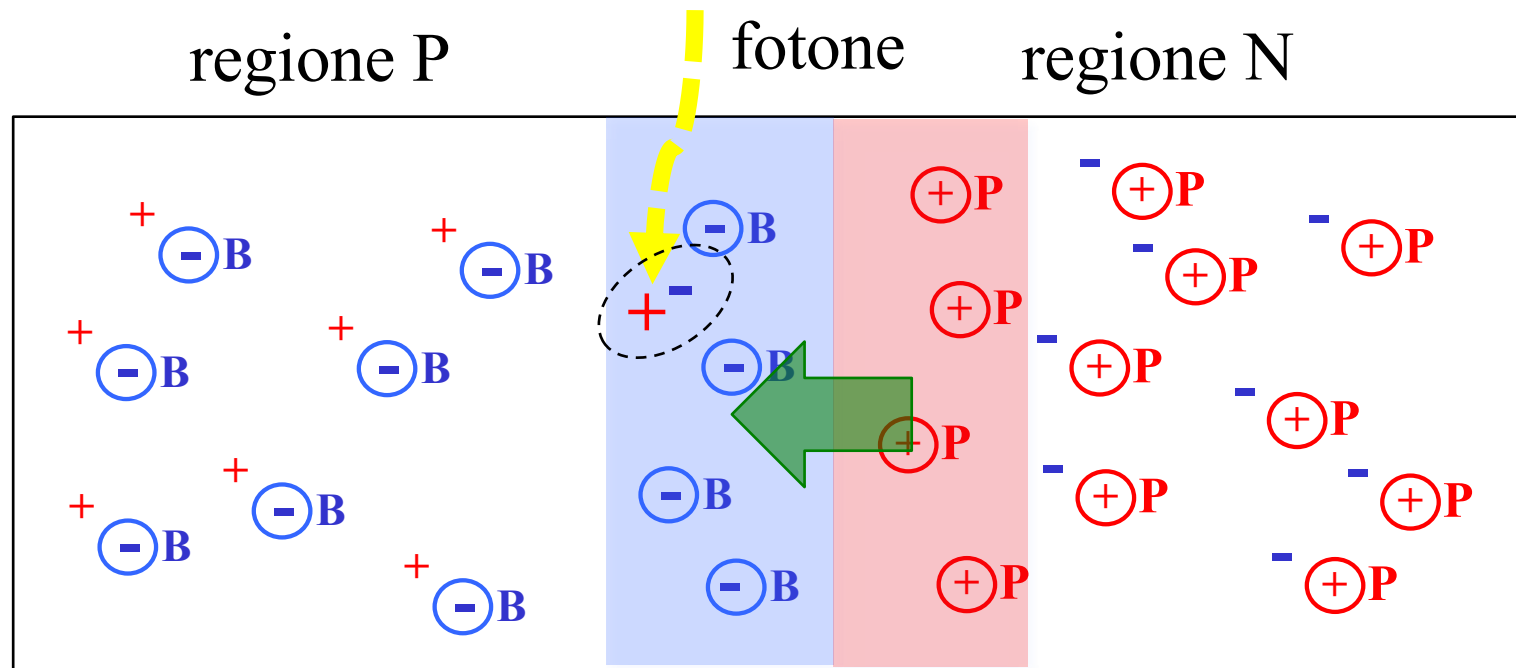




Campo elettrico naturale (built-in)
 E (V/cm)



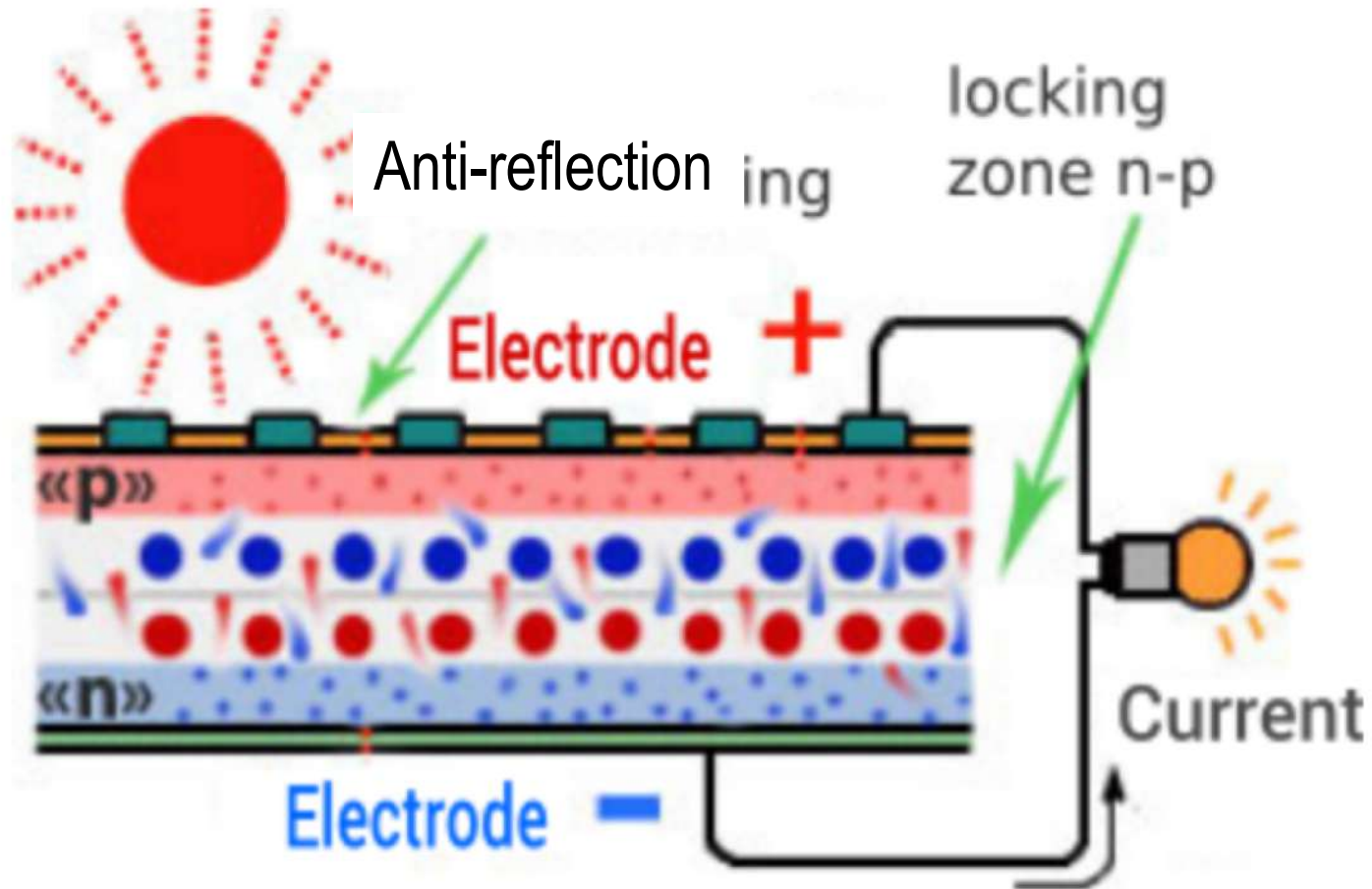
Funzionamento della cella fotovoltaica

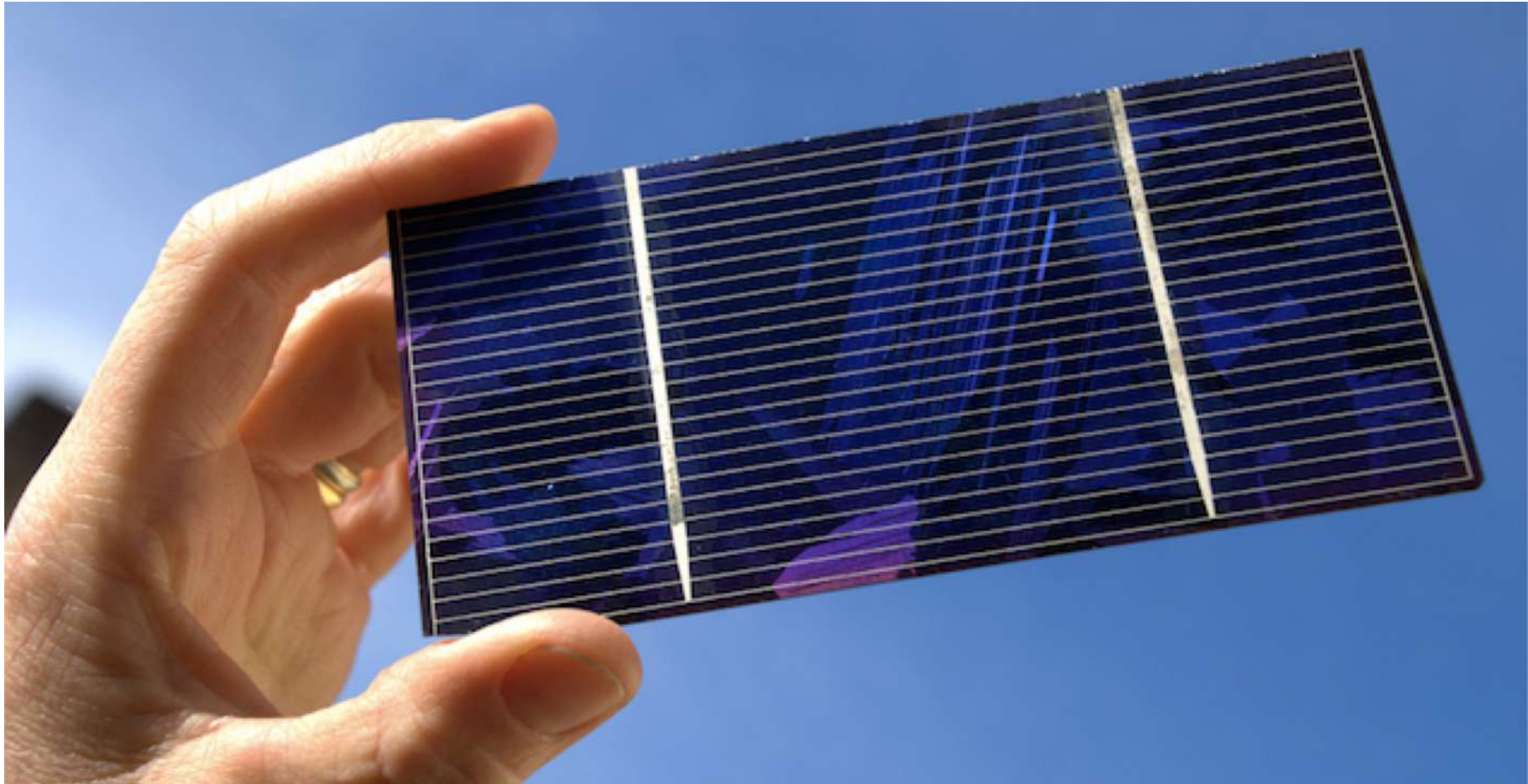


Campo elettrico naturale (built-in)
 E (V/cm)

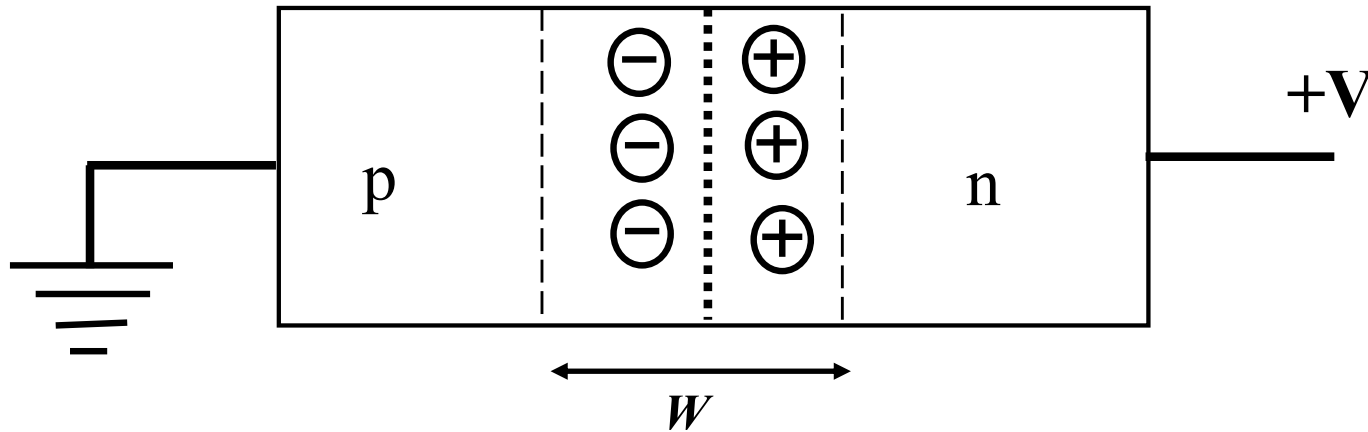
Le celle solari, o celle fotovoltaiche, basano il loro funzionamento sul campo elettrico che si instaura naturalmente all'interno di una giunzione p-n.

Il campo elettrico provvede a separare gli elettroni e le lacune che si generano all'interno (o nei pressi) della regione di carica spaziale ogni volta che arriva un fotone avente energia superiore alla E_g del semiconduttore.





CAPACITA' DI GIUNZIONE



Alla carica fissa presente nella regione di carica spaziale è associabile una capacità detta *capacità di giunzione* o di *transizione*. Al contrario di un normale condensatore a facce piane e parallele, questa capacità è una funzione del potenziale applicato. Si definisce quindi una capacità incrementale (o differenziale):

$$C_j = \frac{dQ}{dV} = \epsilon_{Si} \frac{A}{W}$$

Una variazione dV del potenziale applicato determina il passaggio di una corrente aggiuntiva a quella vista in precedenza.

CAPACITA' DI DIFFUSIONE

La corrente in un diodo è proporzionale alla quantità di portatori (elettroni e lacune) che riescono a superare la barriera costituita dal campo elettrico presente alla giunzione.

Le lacune che, partendo dalla regione p, riescono ad arrivare nella regione n si dicono “lacune iniettate”

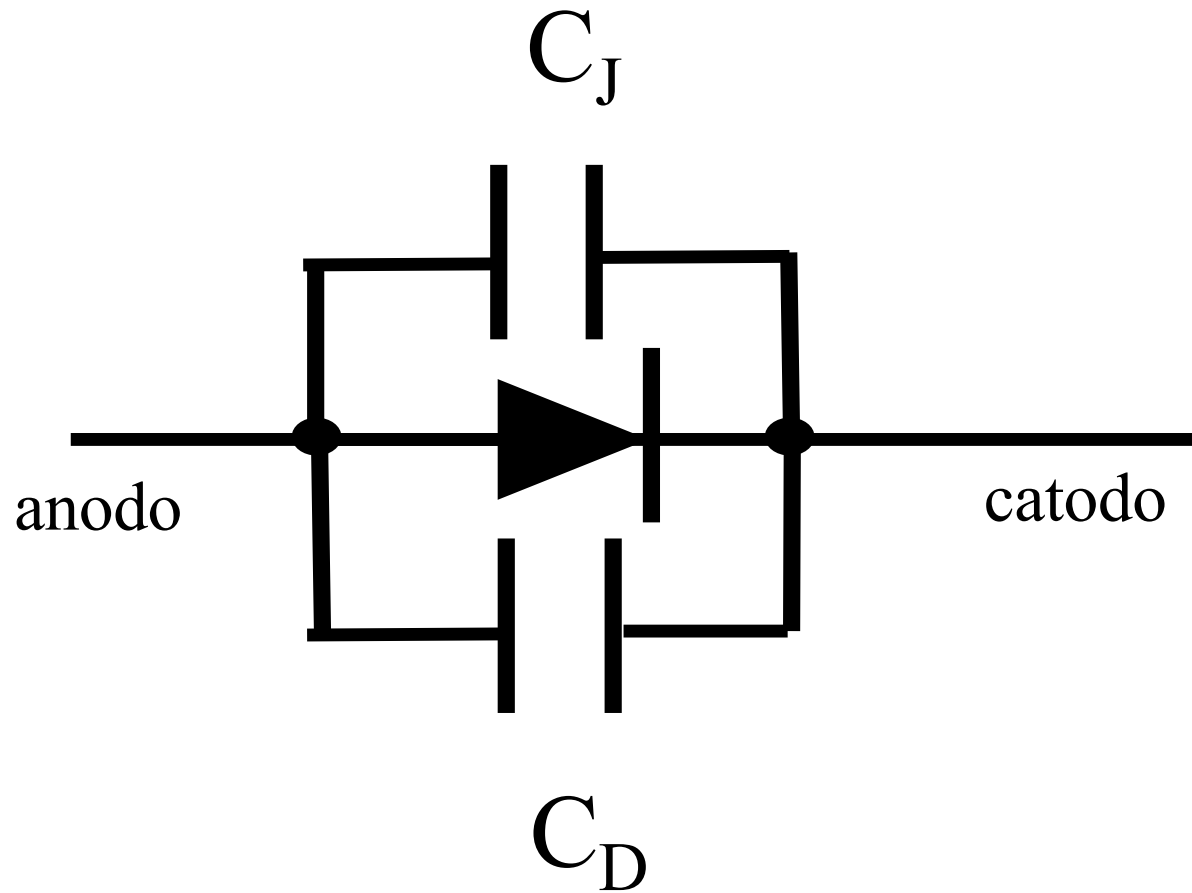
Gli elettroni che, partendo dalla regione n, riescono ad arrivare nella regione p si chiamano “elettroni iniettati”

La presenza di questi portatori determina la nascita di un'altra capacità, detta *capacità di diffusione, C_D* .

$$C_D \equiv \frac{dQ(I)}{dV} = \frac{dQ}{dI} \frac{dI}{dV} = \tau \frac{dI}{dV} = \tau \frac{I}{\eta V_T}$$

in cui si è utilizzata la relazione: $I \approx I_o e^{\frac{V}{\eta V_t}}$ per il calcolo della derivata di I .

τ è un tempo (misurato in s), che si chiama “vita media dei portatori”



In polarizzazione diretta: $C_D \gg C_J$, in polarizzazione inversa: $C_D \ll C_J$