

Fondamenti di Elettronica

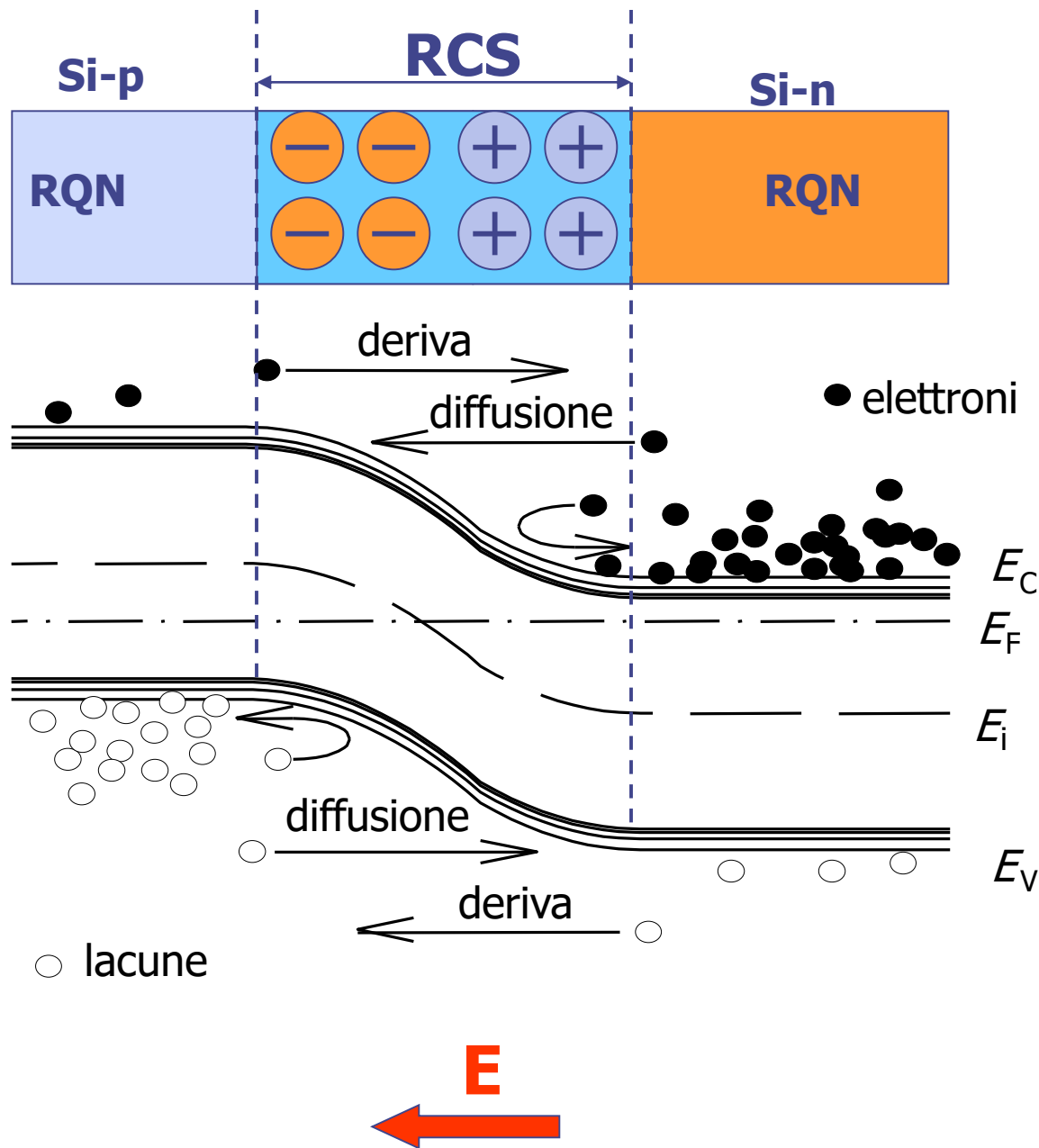
16

La giunzione pn in
polarizzazione inversa



Enrico Zanoni

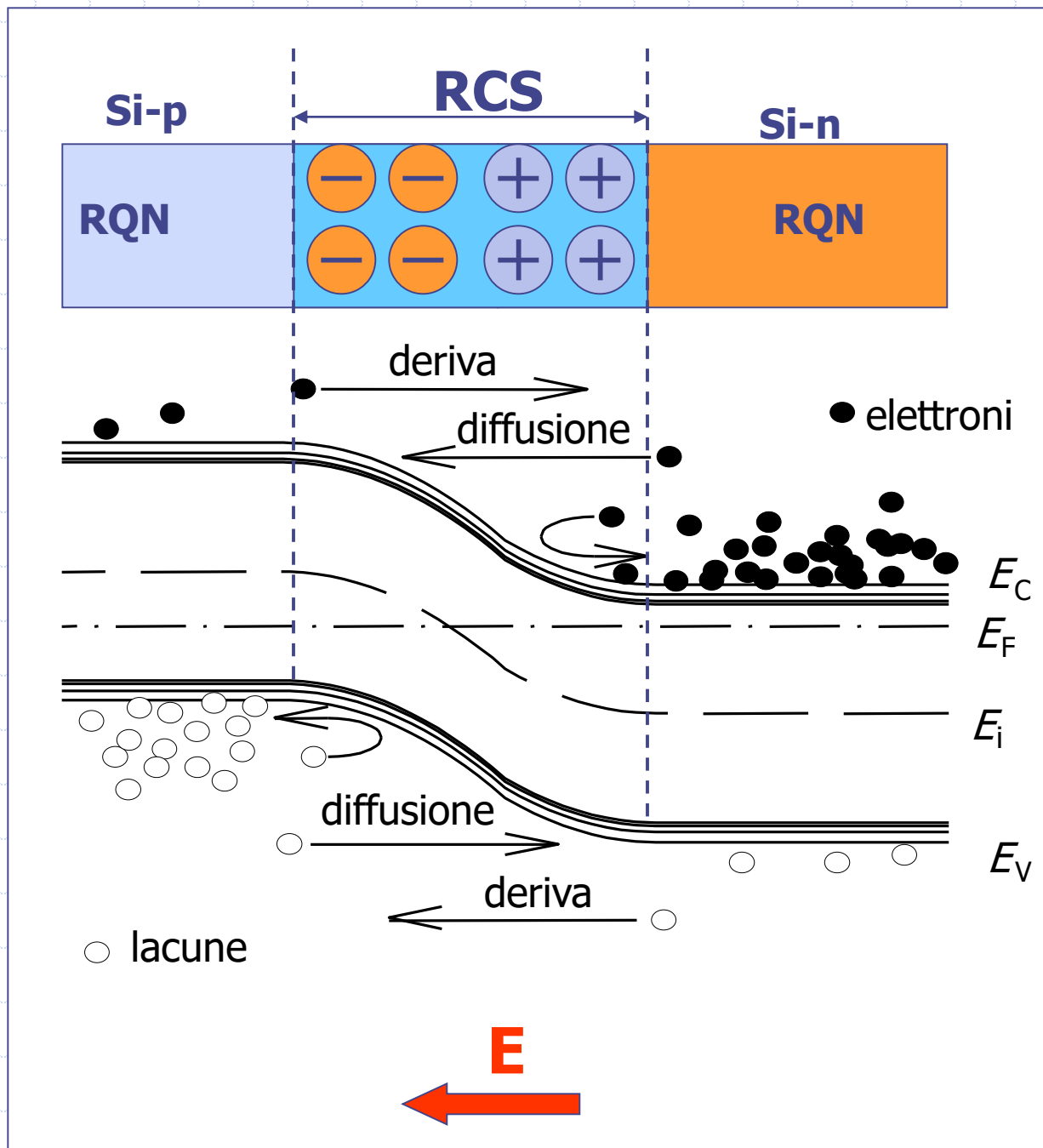
enrico.zanoni@unipd.it



La giunzione pn all'equilibrio (= con tensione applicata tra p e n nulla)

La figura mostra la barriera di energia che confina elettroni e lacune rispettivamente nelle regioni n e p, impedendo la diffusione

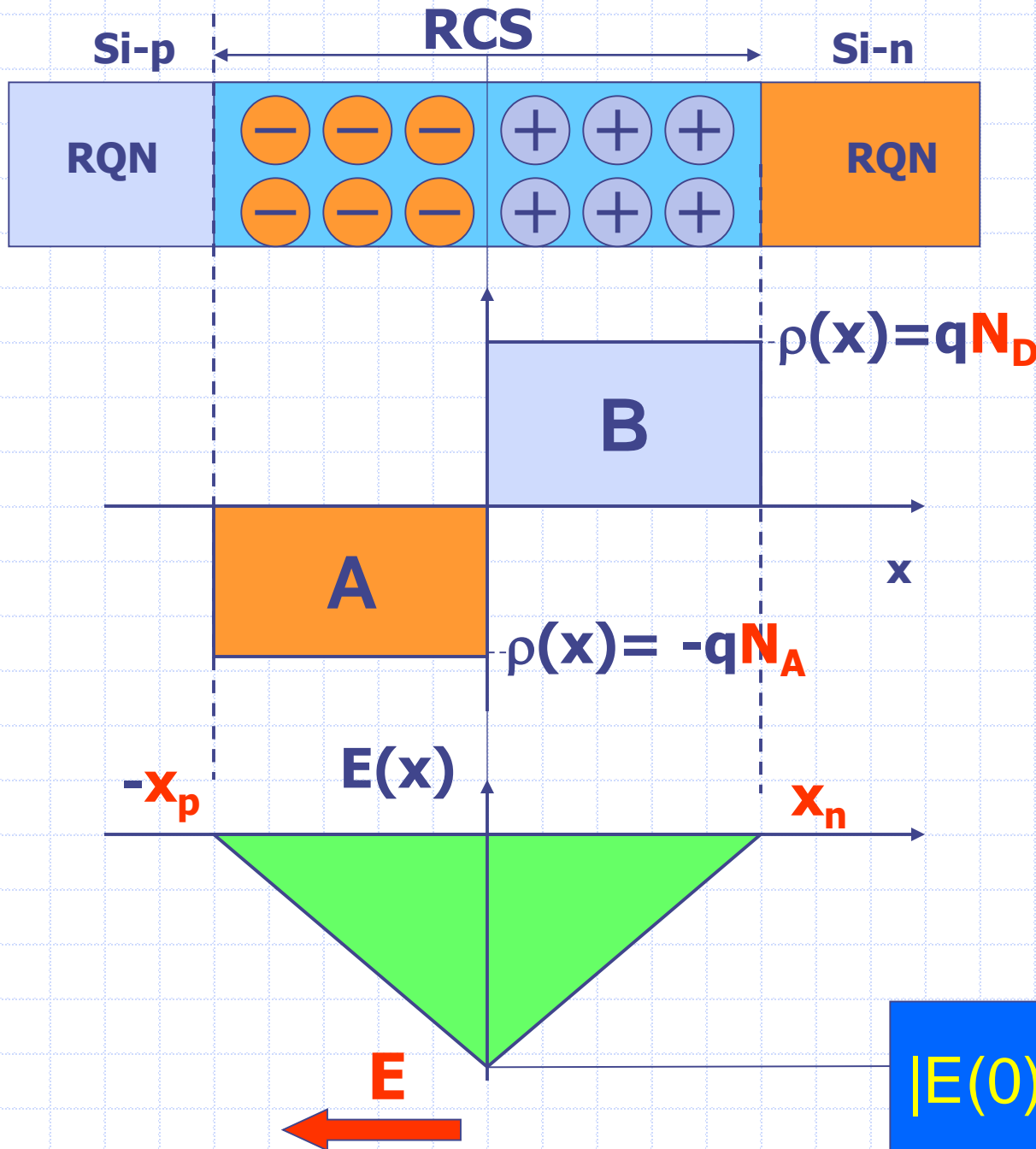
Potenziale e campo elettrico alla giunzione sono l'equivalente della valvola che separa due recipienti con gas in pressione



Potenziale e campo elettrico alla giunzione sono l'equivalente della valvola che separa due recipienti con gas in pressione

Se applico una differenza di potenziale tra p e n potrò modulare il potenziale che blocca la diffusione, contrastandola ulteriormente o favorendola

In polarizzazione INVERSA (potenziale della parte p più negativo di quello su n) Il potenziale di barriera si alza



RQN = Regioni Quasi Neutre
RCS = Regione di Carica Spaziale o di Svuotamento

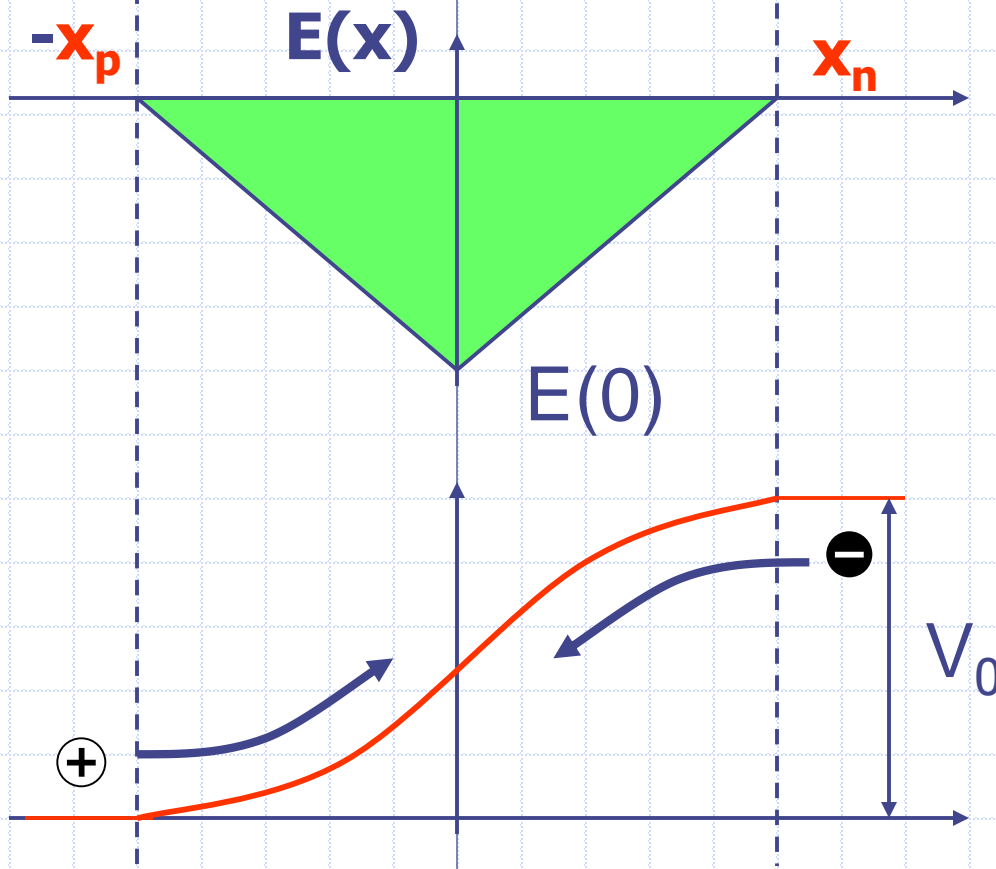
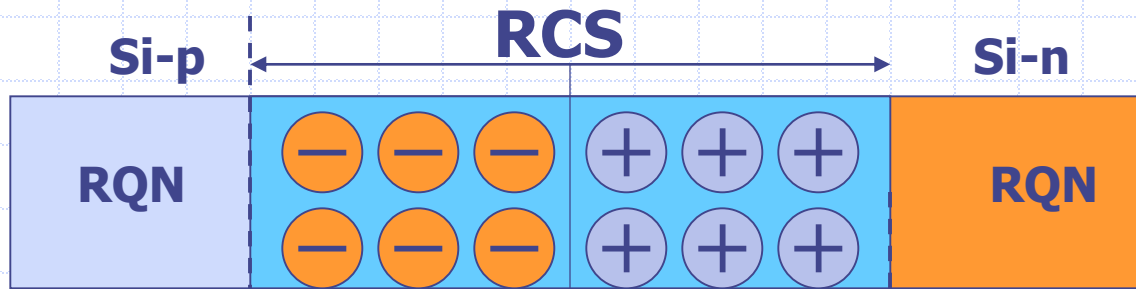
Carica netta e' nulla ($A=B$).

Usando l'eq. di Poisson:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{\rho}{\epsilon_s}$$

e integrando:

$$|E(0)| = \frac{qN_A x_p}{\epsilon_s} = \frac{qN_D x_n}{\epsilon_s}$$



$V_0 = \text{area sottesa dal campo elettrico}$

Al campo elettrico $E(x)$ è associata una barriera di potenziale V_0 :

$$\frac{dV}{dx} = -E(x)$$

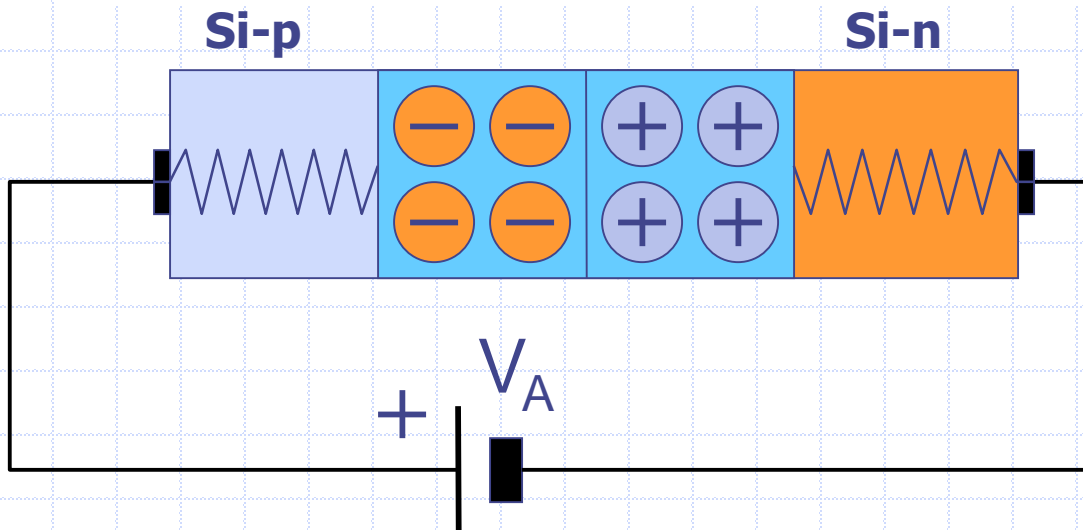
$$V_0 = \frac{|\mathbf{E}(0)| (x_n + x_p)}{2}$$

Giunzione pn *polarizzata*: applichiamo una differenza di potenziale V_A . Per convenzione la parte n è a massa e la parte p si trova a V_A

Nel nostro modello, la giunzione pn è composta **dalla regione di carica spaziale** (dove non ci sono portatori liberi, ma solo accettori (-) e donatori (+) ionizzati, fissi) **e dalle «regioni neutre»**, dove ci sono lacune (nella parte p) ed elettroni (nella parte n) che compensano – in media – la carica di accettori e donatori – quindi la carica netta è nulla.

Niente carica \rightarrow campo elettrico nullo \rightarrow nessuna caduta di potenziale

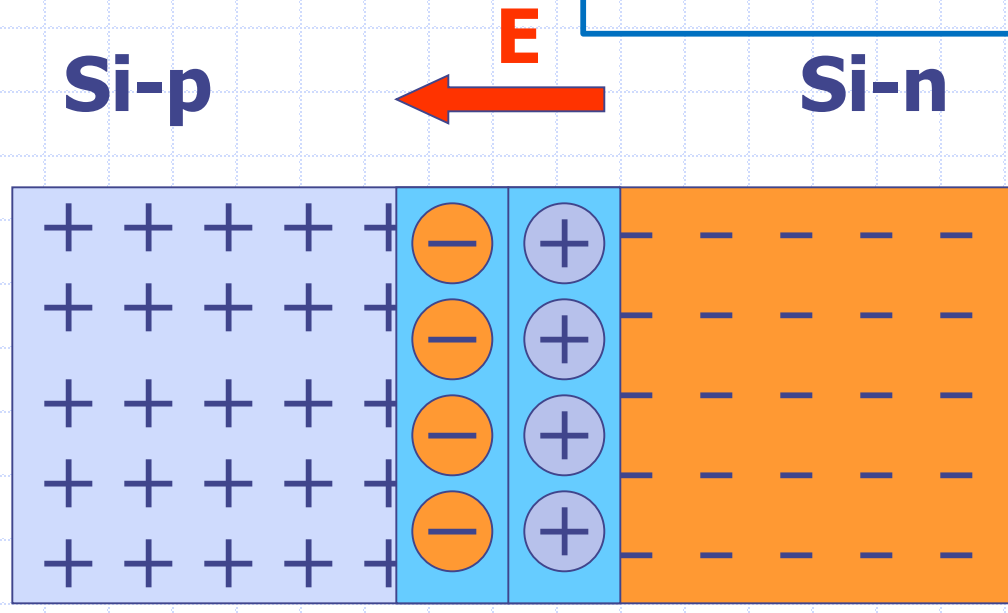
La tensione applicata V_A cade tutta alla giunzione.
La tensione sulla giunzione diventa $V_0 - V_A$.



$$V_0 \rightleftharpoons V_0 - V_A$$

**Nota: positivo a p
negativo a n**

La giunzione *pn*



NOTA BENE:

- = accettori ionizzati negativi fissi
- + = donatori ionizzati positivi fissi

NOTA BENE:

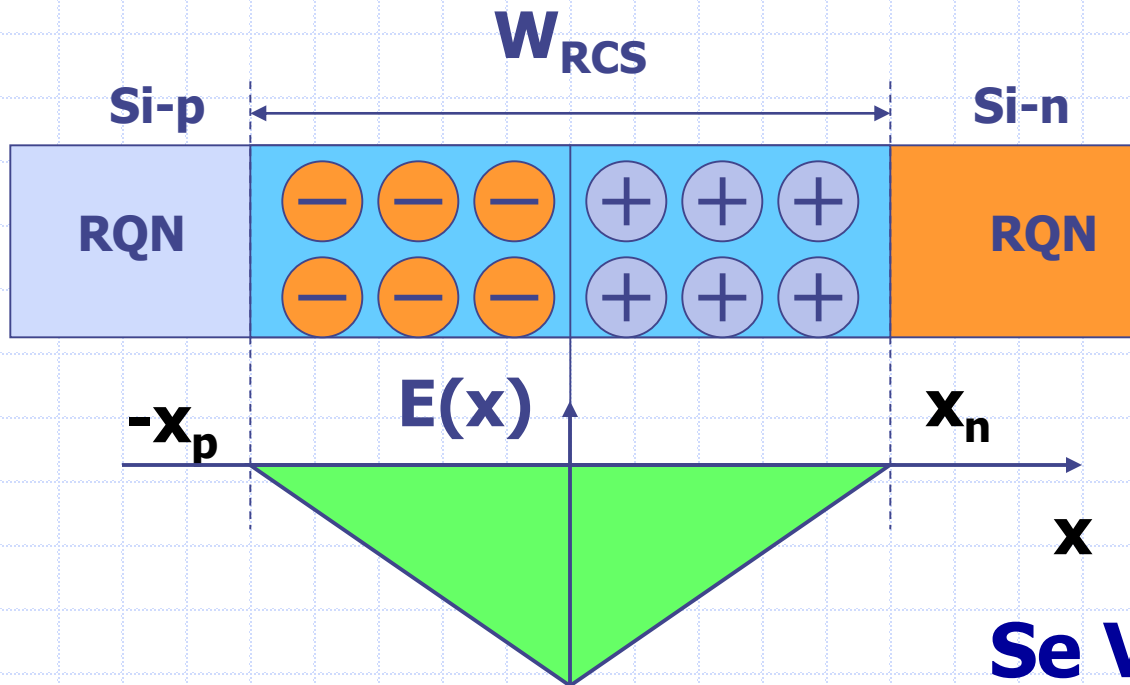
- = elettroni liberi
- + = lacune libere

Cosa frena la diffusione?

La diffusione di portatori mobili lascia atomi ionizzati che danno luogo ad un **CAMPO ELETTRICO, E**

Ipotesi di svuotamento completo “a gradino”:

l'interfaccia della giunzione risulta completamente svuotata di portatori mobili.



$$|E(0)| = \frac{2(V_0 - V_A)}{W_{dep}}$$

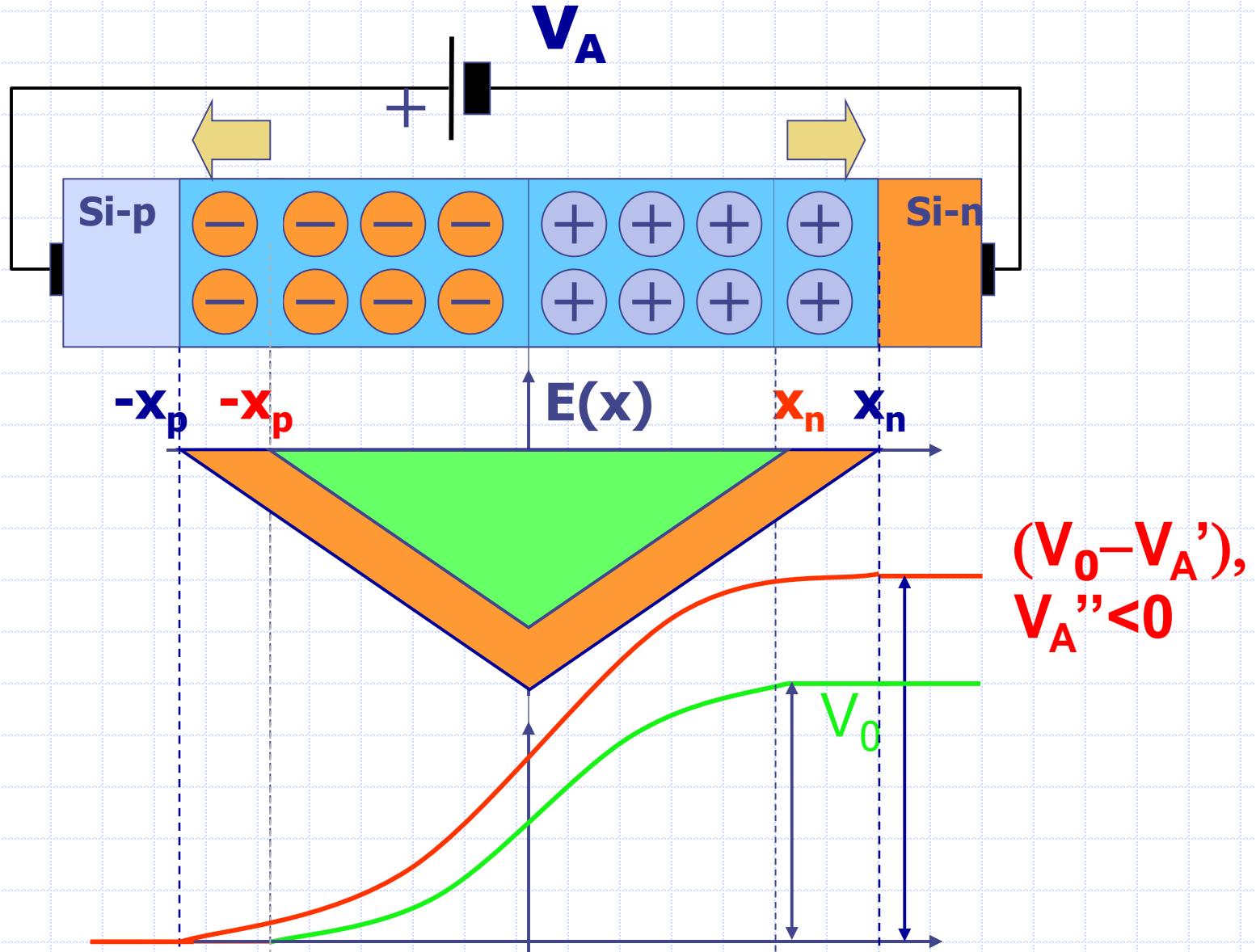
$$W_{dep} = x_p + x_n = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) (V_0 - V_A)}$$

Se V_A aumenta:

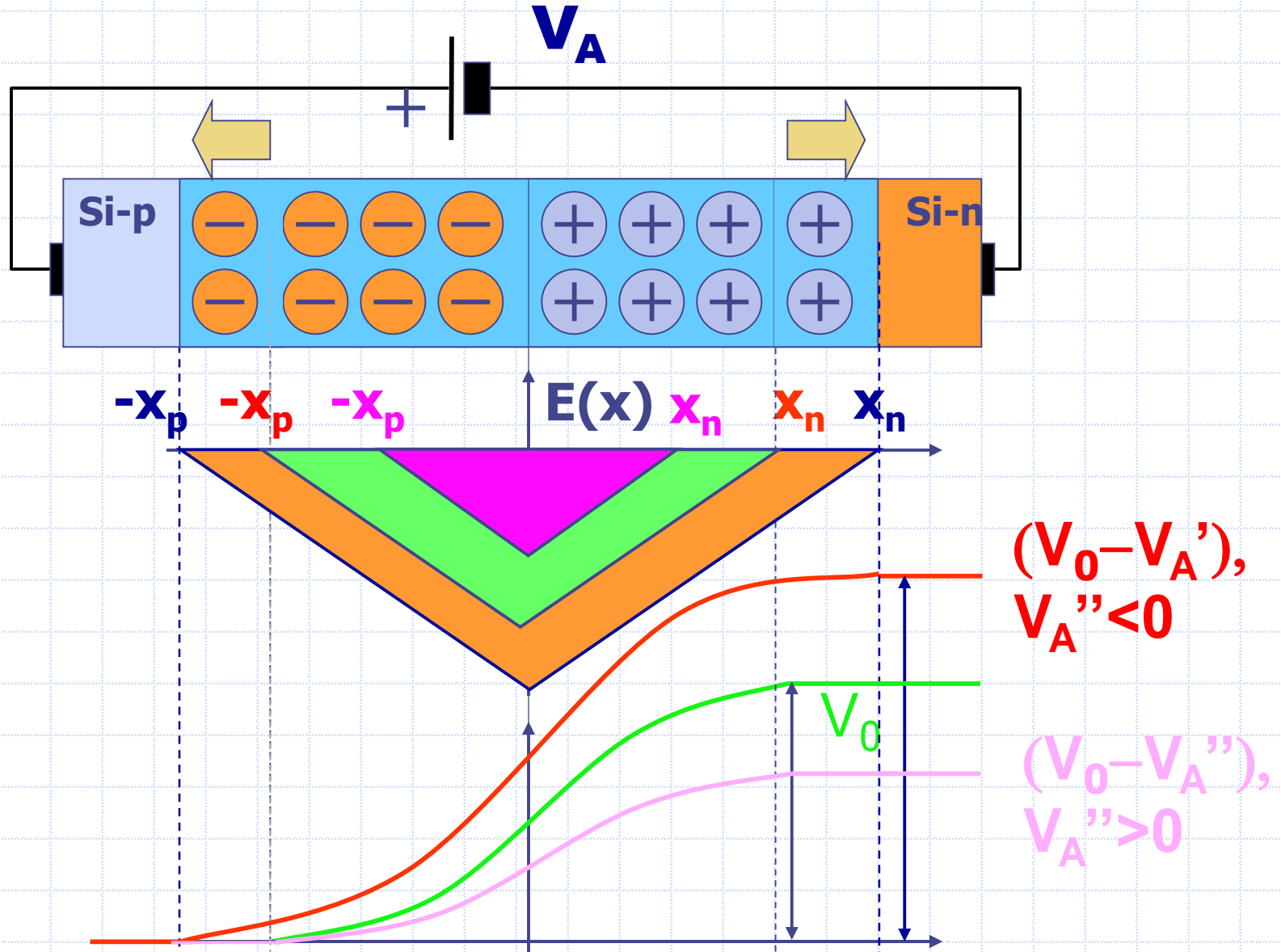
- W_{dep} cala
- $E(0)$ cala
- potenziale alla giunzione cala

e viceversa

La giunz. *polarizzata in inversa* ($V_A < 0$)

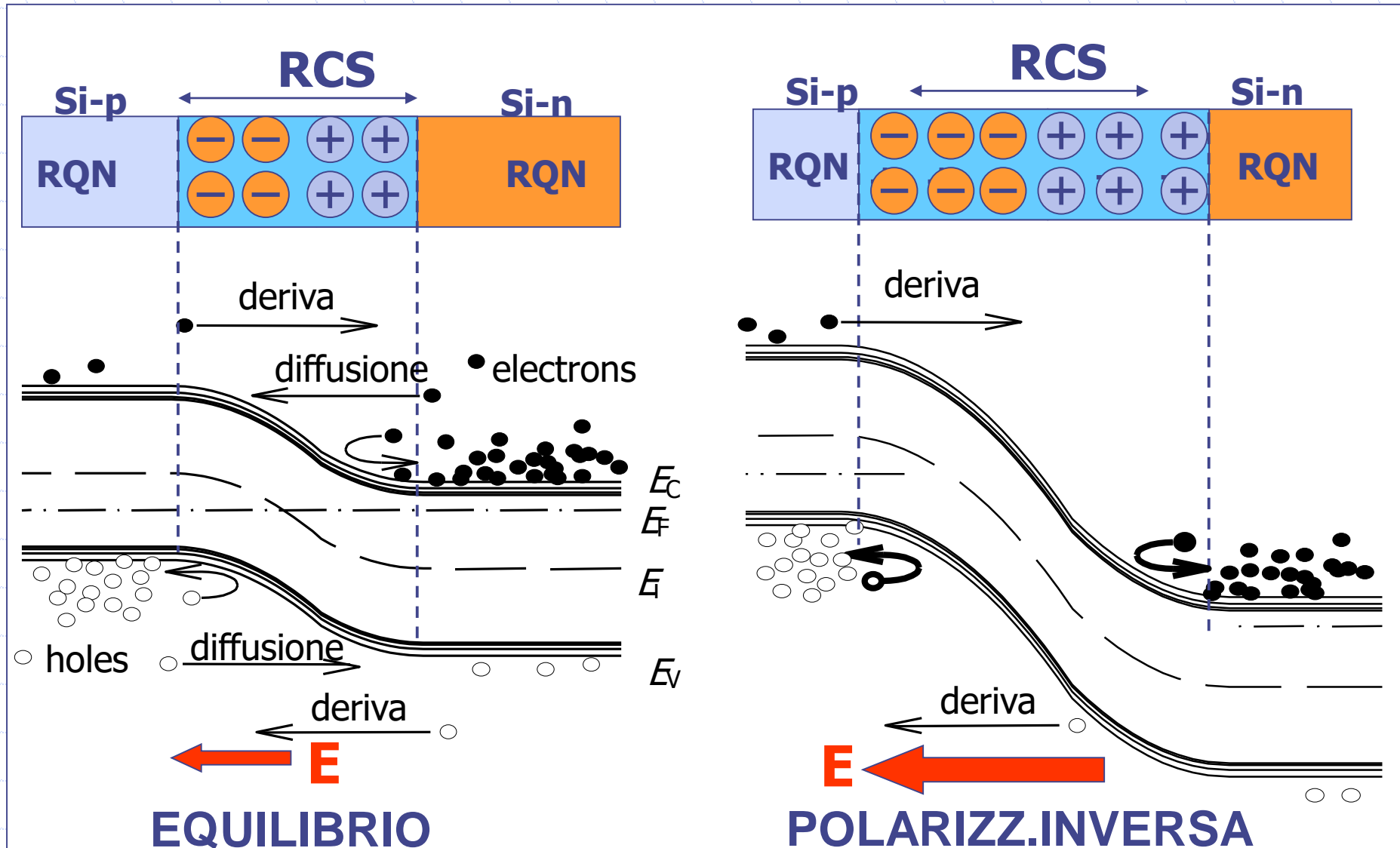


La giunz. *polarizzata in inversa* ($V_A < 0$)

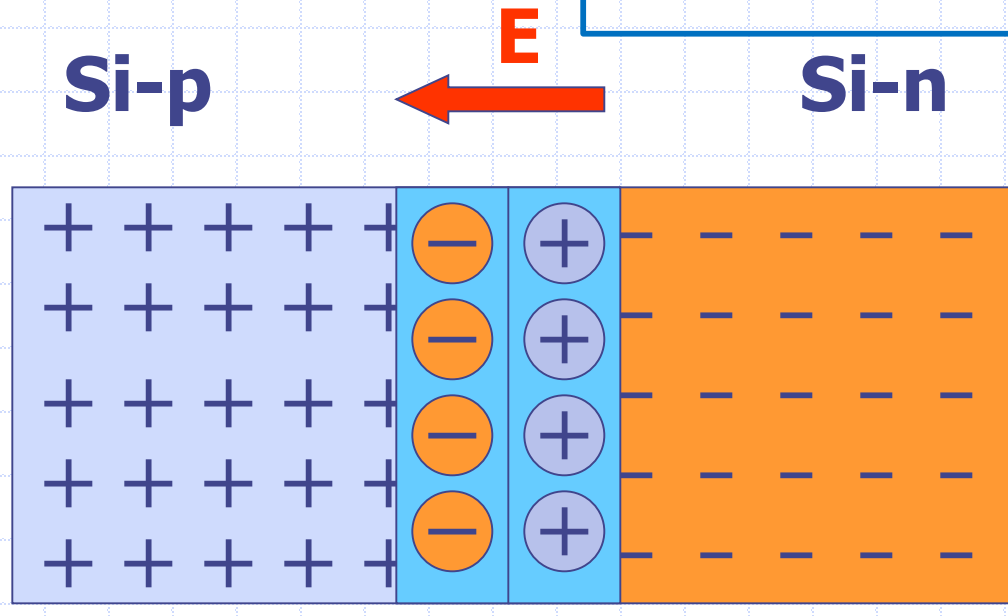


La giunz. *polarizzata in inversa* ($V_A < 0$)

movimento dei portatori liberi



La giunzione *pn*



NOTA BENE:

- = accettori ionizzati negativi fissi
- + = donatori ionizzati positivi fissi

NOTA BENE:

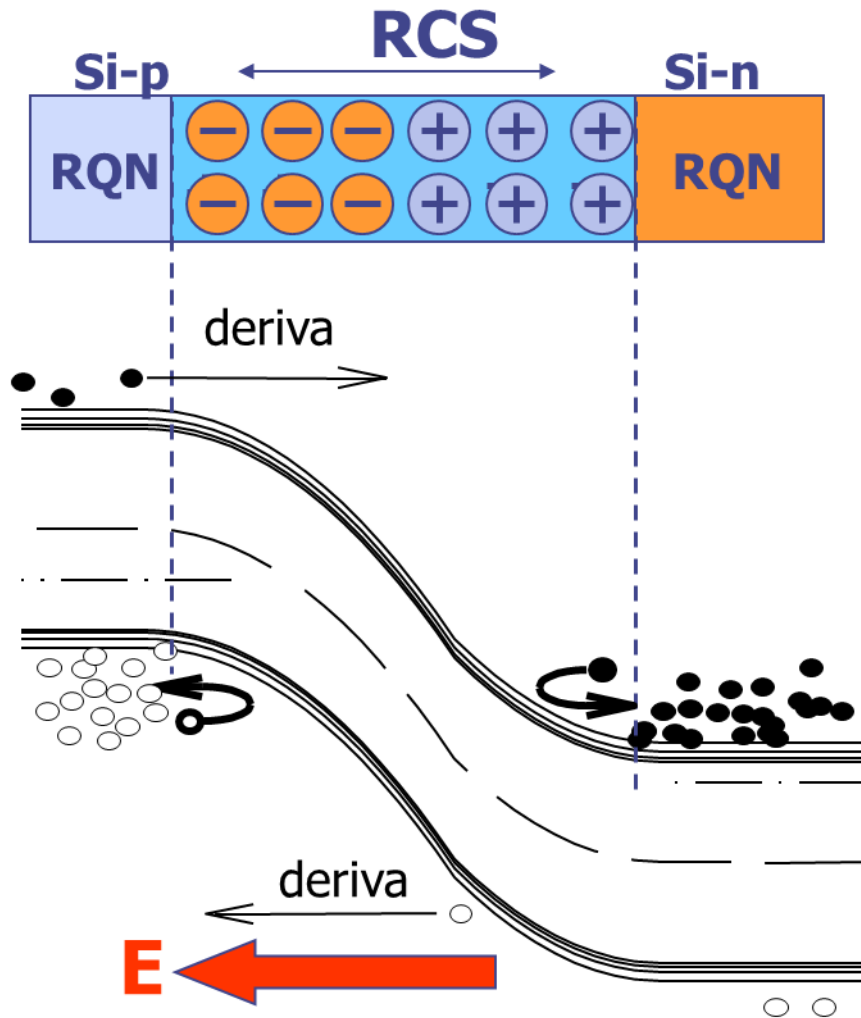
- = elettroni liberi
- + = lacune libere

Il campo elettrico alla giunzione blocca la diffusione dei portatori maggioritari delle due regioni (elettroni in N; **lacune** in **P**)

Promuove l'iniezione attraverso la giunzione di portatori minoritari (elettroni in **P**; **lacune** in N)

Anche i portatori generati entro la regione di carica spaziale vengono iniettati dal campo elettrico attraverso la giunzione (**le lacune verso la regione P**, gli elettroni verso la regione N)

Giunzione p-n polarizzata in inversa



In polarizzazione inversa la corrente che attraversa la giunzione è identicamente ZERO ?

No, perchè il campo elettrico alla giunzione **BLOCCA LA DIFFUSIONE** dei portatori **MAGGIORITARI**,

ma

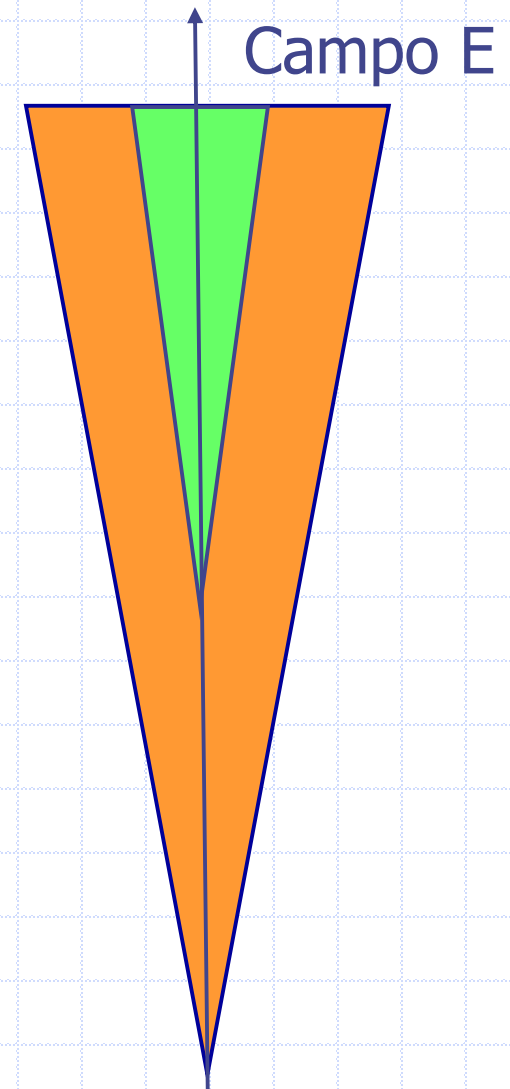
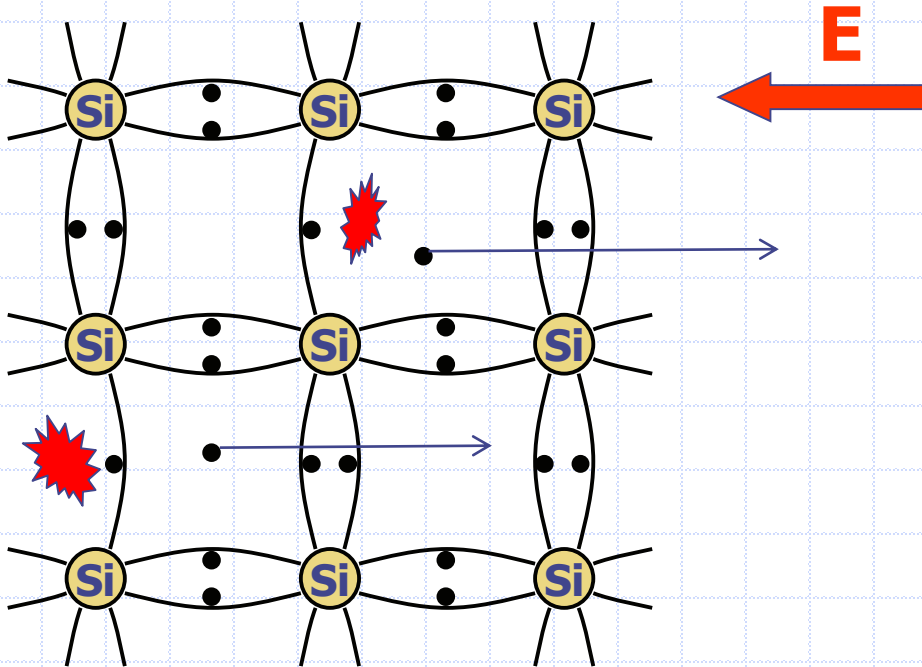
ha il verso **FAVOREVOLE** per l'iniezione di portatori **MINORITARI** = passa una corrente «inversa» ma è **estremamente piccola**

La corrente inversa si mantiene piccola per qualsiasi valore di tensione inversa ?

No, perchè intervengono altri fenomeni innescati dall'elevato campo elettrico di giunzione

1) Breakdown ZENER

In giunzioni pesantemente drogate, la RCS risulta sottile ed il **campo elettrico** alla giunzione così **elevato** da riuscire a rompere legami covalenti e a creare coppie elettrone-lacuna con conseguente aumento della corrente inversa.



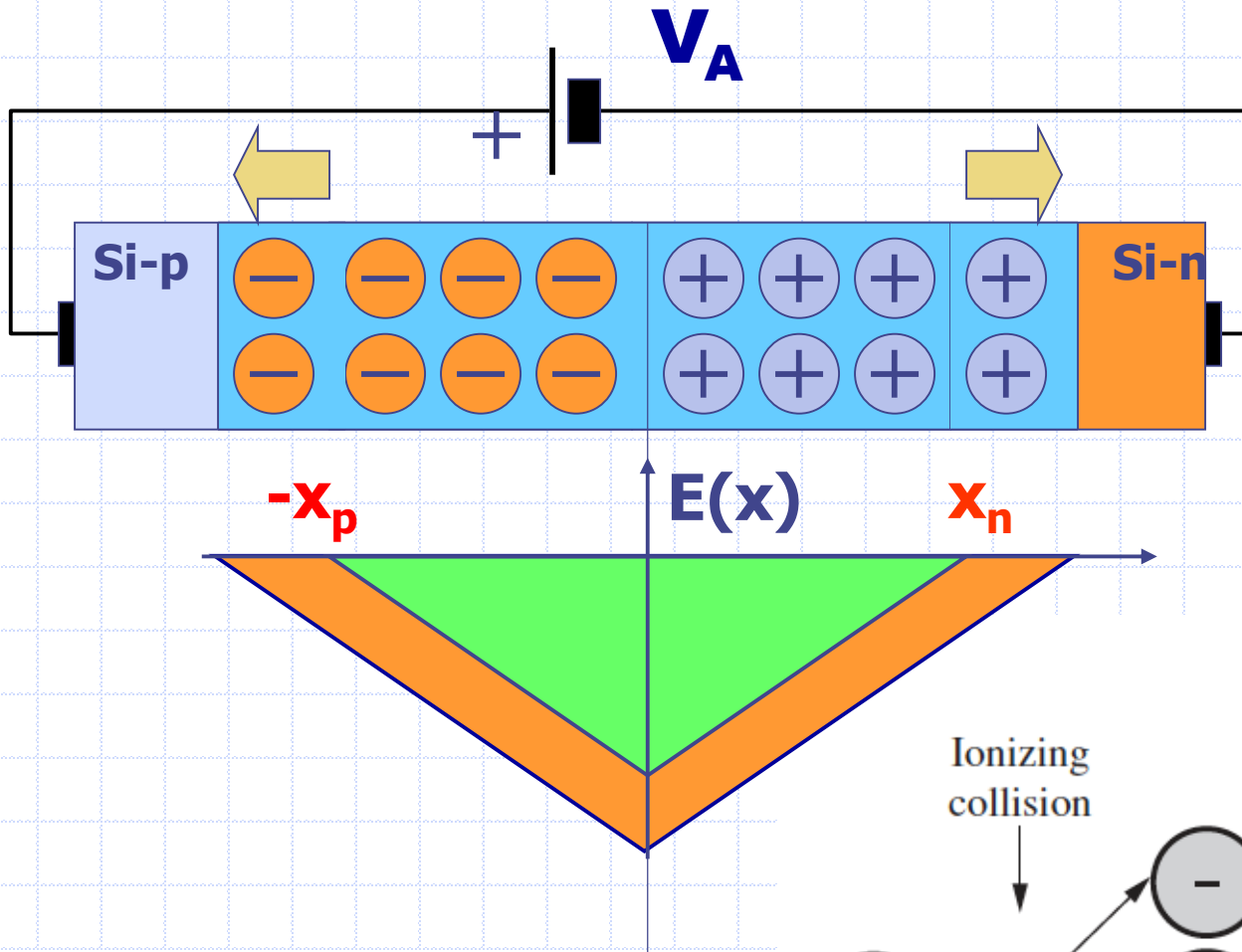
2) Breakdown a valanga o per ionizzazione da impatto

I portatori minoritari possono entrare nella regione di carica spaziale ed essere accelerati dal campo elettrico

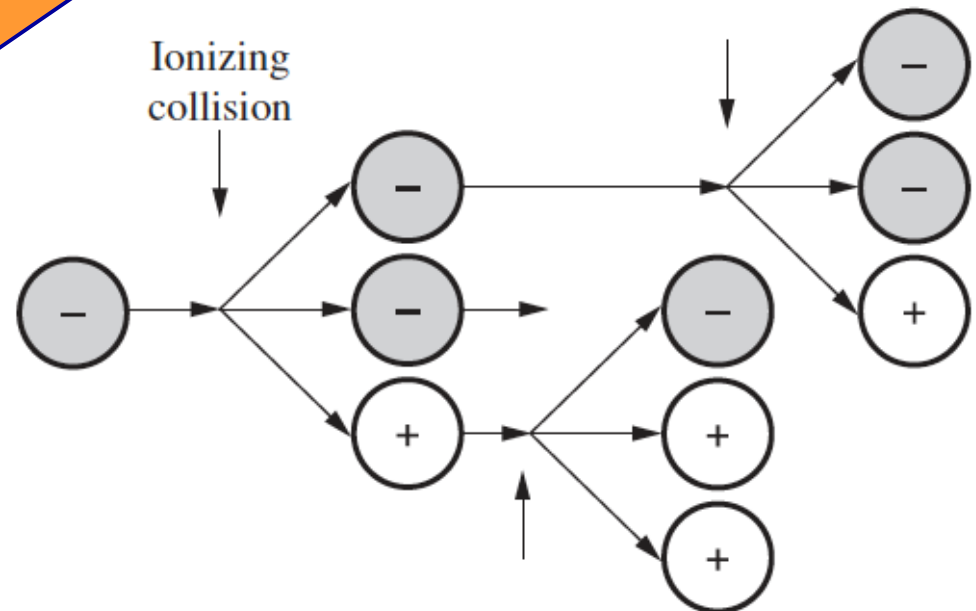
L'energia cinetica acquisita può essere ceduta al reticolo cristallino durante un urto e può causare l'apertura di un legame covalente.

Quindi un portatore (minoritario) genera una coppia elettrone-lacuna, che, a sua volta può essere accelerata, rompere legami covalenti, creare altre coppie. Ad ogni passo il numero di portatori si moltiplica per 2.

E' una reazione a catena o una moltiplicazione «a valanga» dei portatori. Tutti questi possono attraversare la giunzione



Breakdown
a valanga
o ionizzazione da
impatto



Dipendenza del Breakdown dalla temperatura

Nella Rottura per effetto a **Valanga**, la tensione di breakdown **V_{BR} cresce al crescere della temperatura**.
Al crescere della temperatura cala la mobilità dei portatori, quindi serve un campo elettrico maggiore (= tensione maggiore, $v = \mu E$) per far raggiungere agli elettroni energie sufficienti ($\frac{1}{2}mv^2$) per rompere i legami covalenti.

Nella Rottura per effetto **Zener**, la tensione di breakdown **V_{BR} cala al crescere della temperatura**.
Al crescere della temperatura aumenta l'energia media degli elettroni, che quindi richiedono meno "sforzo" dal campo elettrico (tensione minore) per liberarsi dal legame covalente.