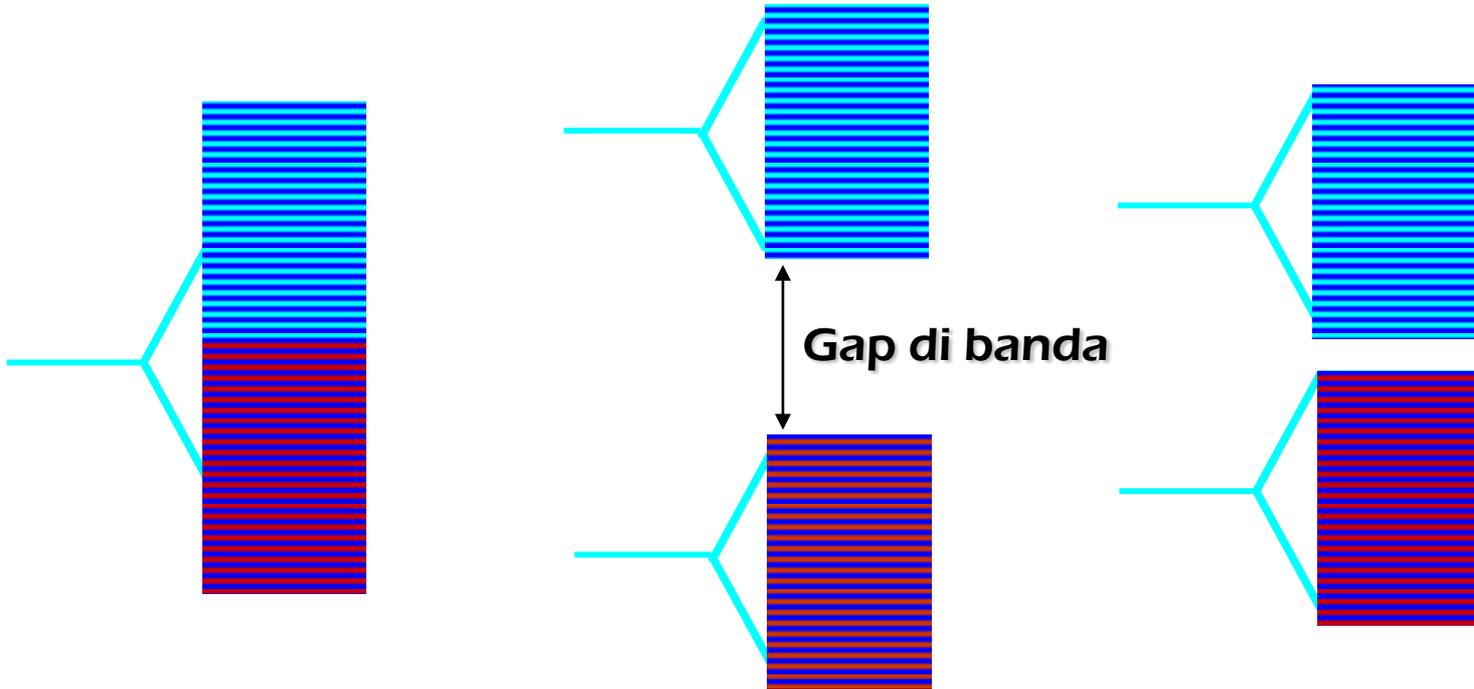


Un solido sarà conduttore solo se la banda è parzialmente occupata. Se invece la banda è completamente occupata si possono avere due casi: se la banda successiva è molto alta in energia il solido è un isolante mentre se è vicina in energia è un semiconduttore.



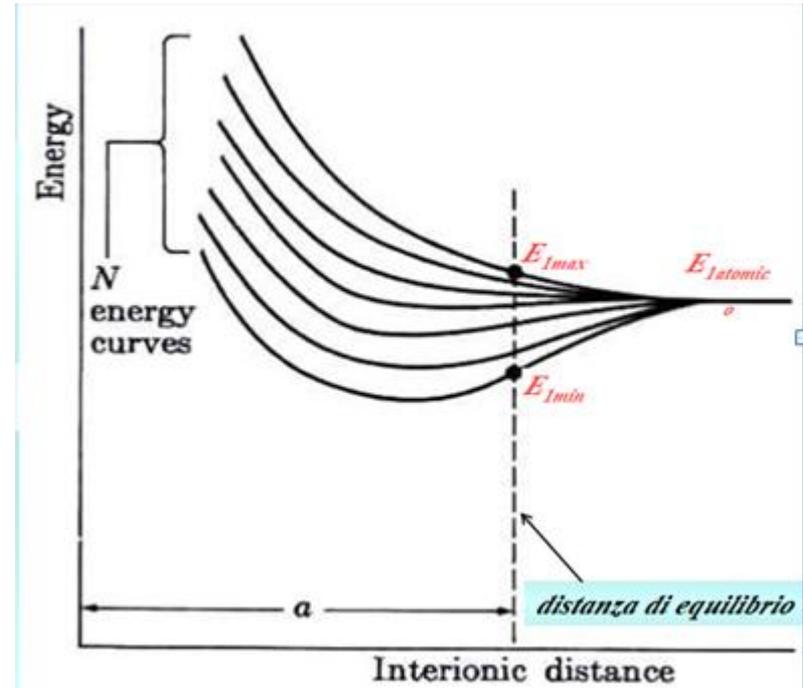
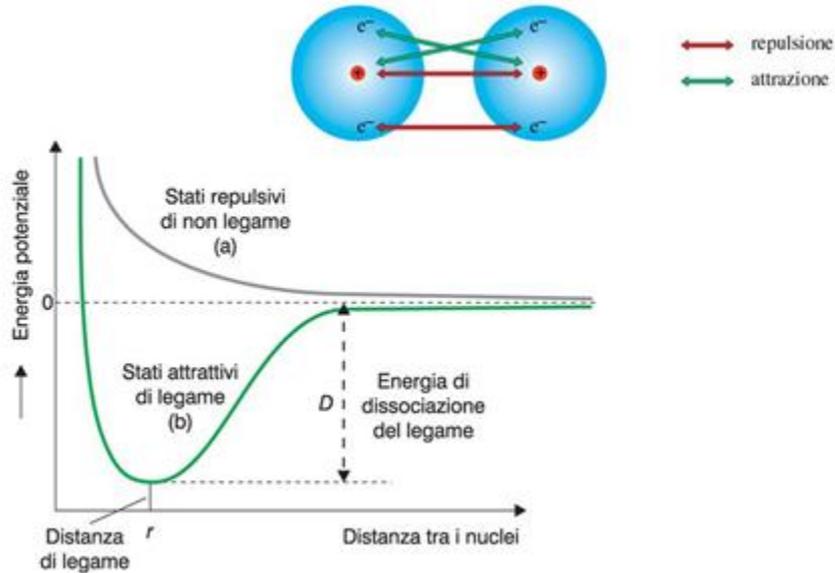
conduttori

isolanti

semiconduttori

In un metallo la banda più esterna che contiene elettroni è detta **banda di valenza**

Formazione dei legami



Gli elettroni occupano i livelli energetici a partire dal più basso, rispettando il principio di Pauli

Il solido si forma ad una distanza di equilibrio tale da minimizzare l'energia complessiva degli elettroni che occupano i livelli

Formazione dei legami

Litio
metallico

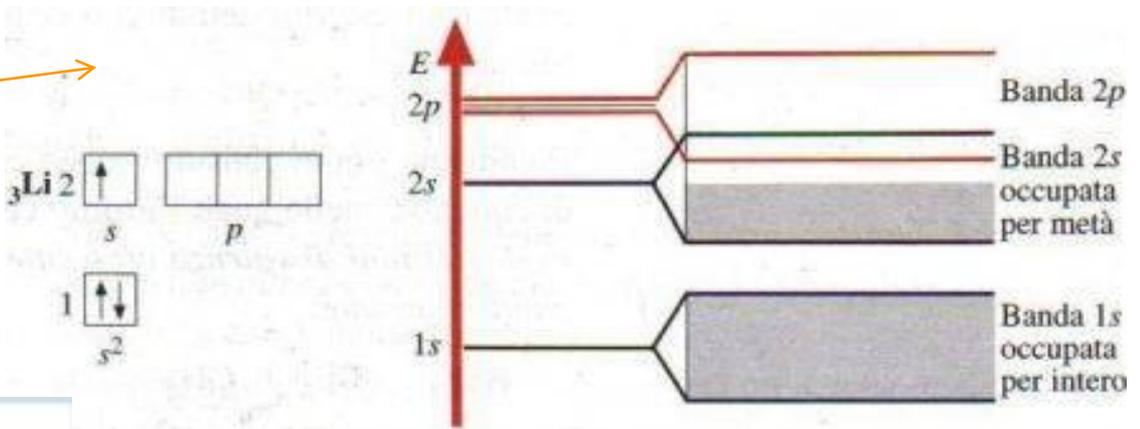


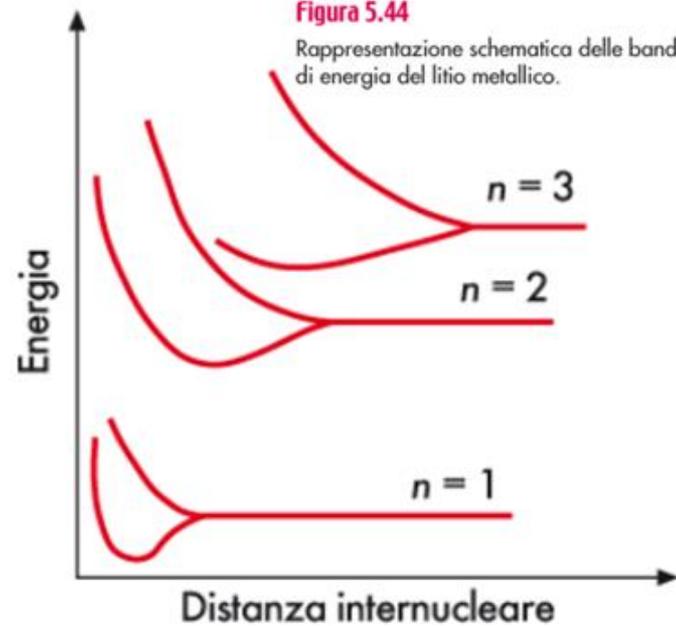
Figura 5.43

Livelli energetici nella molecola Li_2 , in funzione della distanza internucleare.



Figura 5.44

Rappresentazione schematica delle bande di energia del litio metallico.



1	1
1	H Idrogeno 1,008
3	2
2	Li Litio 6,94
11	3
3	Na Sodio 22,989...

Formazione dei legami

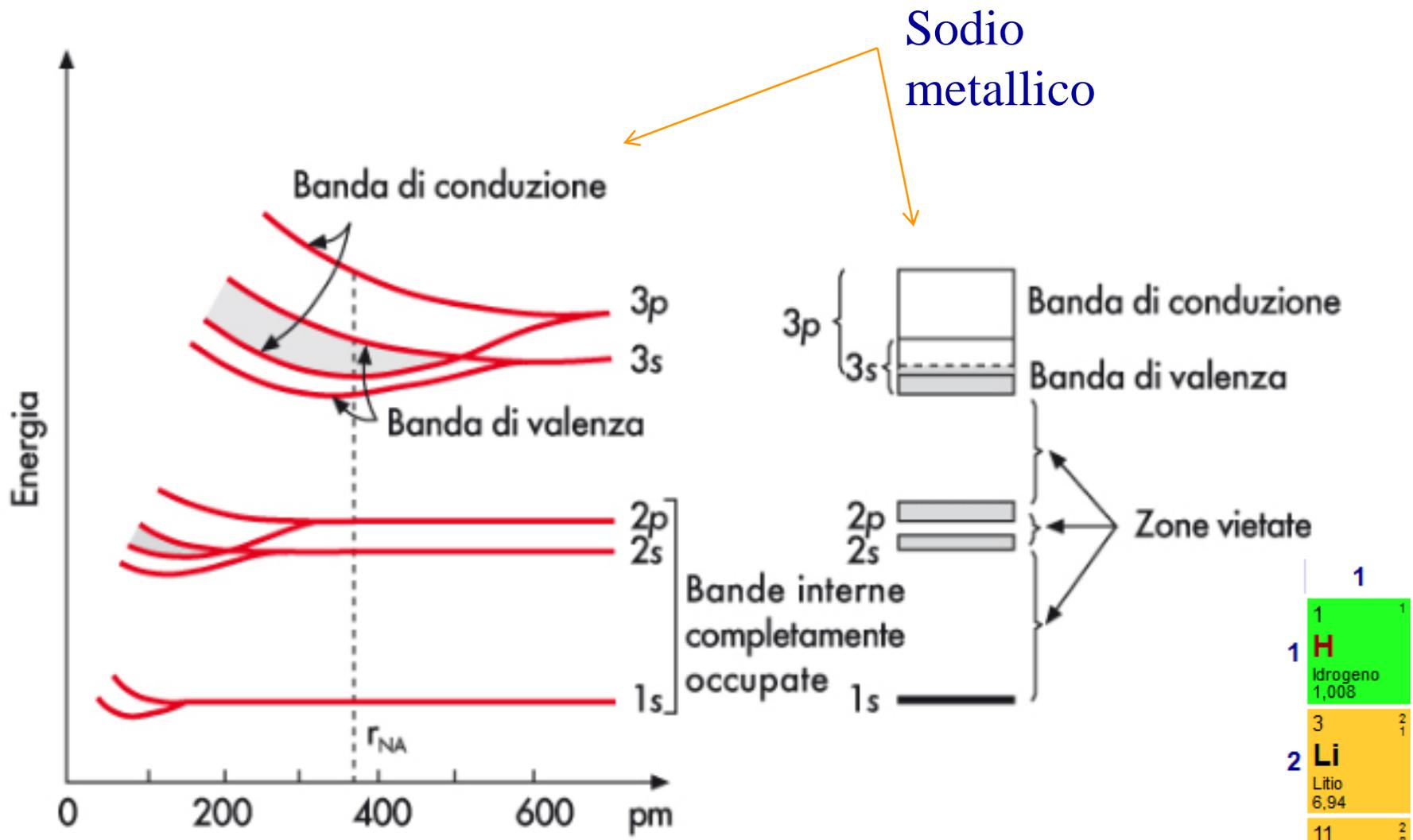


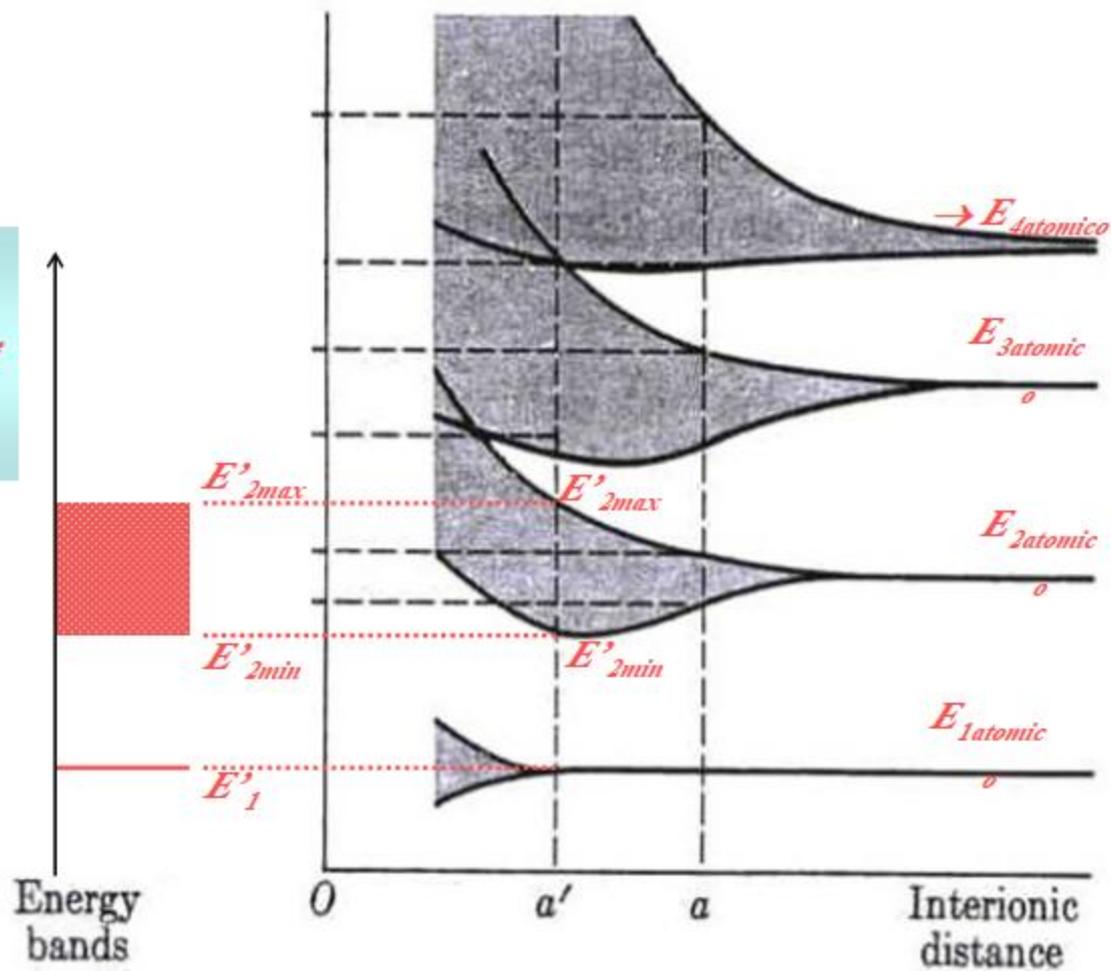
Figura 5.45

Bande di energia del sodio metallico (a destra è rappresentata la successione delle varie bande alla distanza internucleare).

1	1	1
1	H	1,008
	Idrogeno	
3	2	1
2	Li	6,94
	Litio	
11	3	1
3	Na	22,989...
	Sodio	

bande di energia

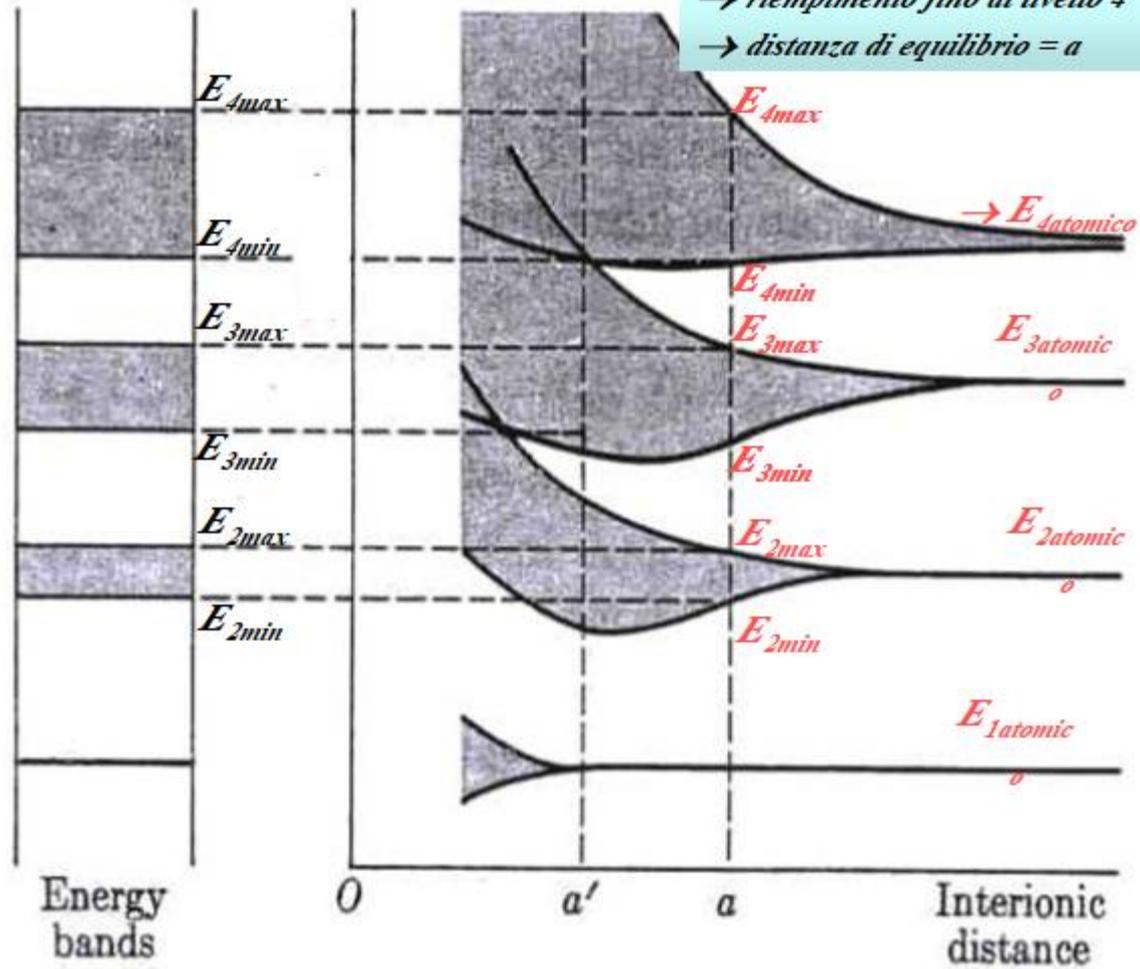
*pochi elettroni:
→ si riempiono solo i primi livelli
→ distanza di equilibrio = a'*



molti elettroni per atomo:

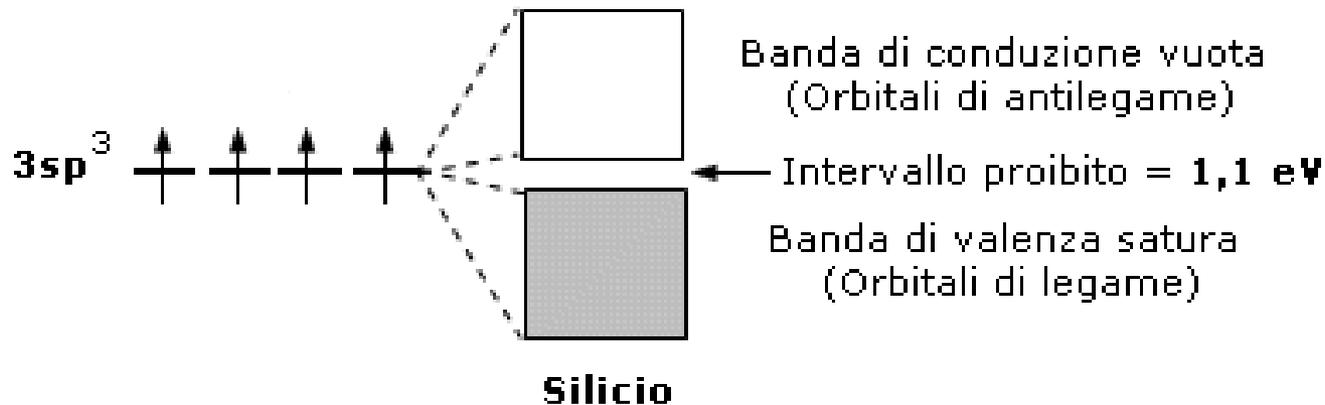
→ riempimento fino al livello 4

→ distanza di equilibrio = a



Semiconduttori

Sono semiconduttori elementi come il **silicio** (Si) ed il **germanio** (Ge) che presentano una banda piena ed un intervallo di banda (zona proibita) con un valore non eccessivamente alto (**1,1 eV per il Si; 0,74 eV per il Ge**), tale comunque da poter essere superato fornendo adeguate quantità di energia al cristallo.



Contrariamente a quanto accade per i Conduttori, nei semiconduttori la **Resistenza** al passaggio di corrente elettrica **diminuisce** all'aumentare della Temperatura.

Meccanismo di conduzione nei semiconduttori

Un particolare molto importante, che contraddistingue il comportamento specifico dei semiconduttori, è che l'elettrone nel saltare nella banda di conduzione, lascia un legame libero.

Questo posto vacante viene indicato come **"lacuna o buca" (hole)**.

Il meccanismo descritto provoca la creazione di **"coppie"** di **elettrone-lacuna** per cui il loro numero sarà sempre esattamente lo stesso, e dipenderà, in maniera direttamente proporzionale, dalla temperatura.

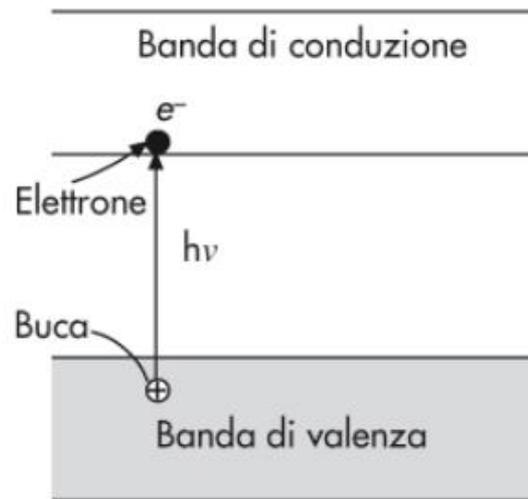
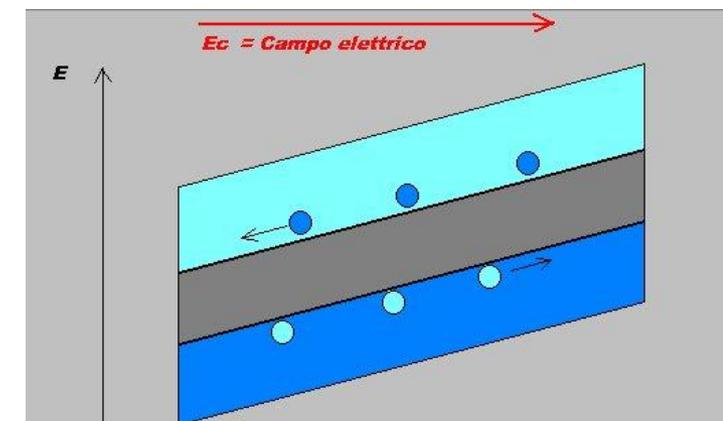
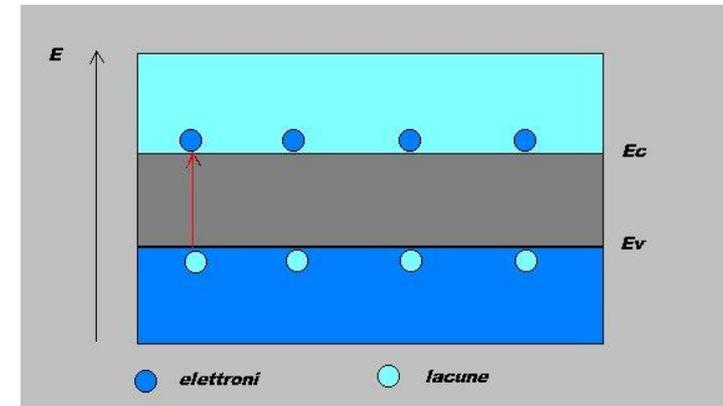


Figura 5.47

Creazione della coppia buca-elettrone in un semiconduttore.

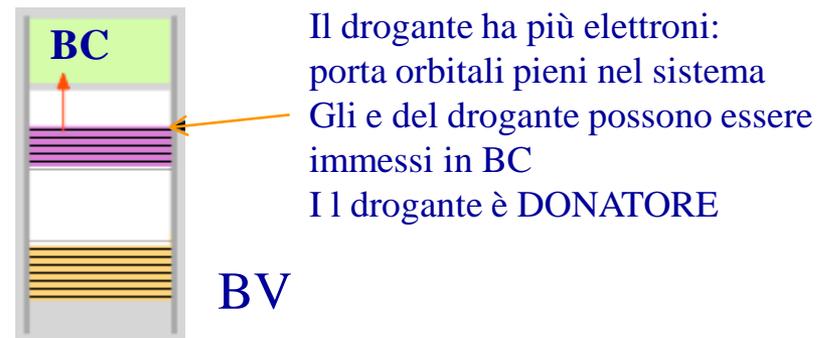
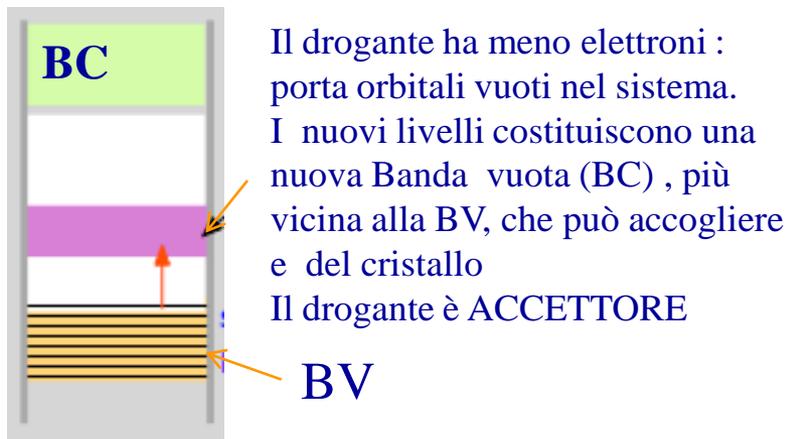


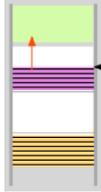
Il drogaggio dei semiconduttori

La presenza di impurezze in un semiconduttore può introdurre un nuovo gruppo di livelli energetici nel sistema.

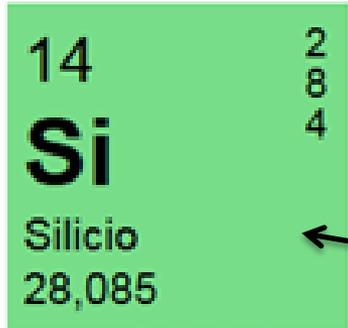
Se questi livelli si piazzano all'interno della regione proibita, si crea un nuovo e più piccolo intervallo di banda che aumenterà la conducibilità.

Gli elementi droganti sono normalmente atomi i cui gusci esterni contengono un elettrone in più o in meno rispetto agli atomi del cristallo di accoglienza

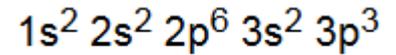
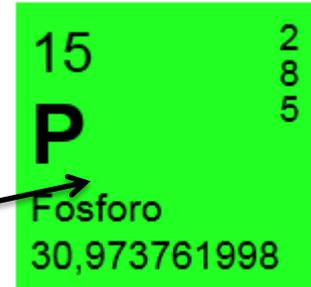




Drogaggio del Si con P

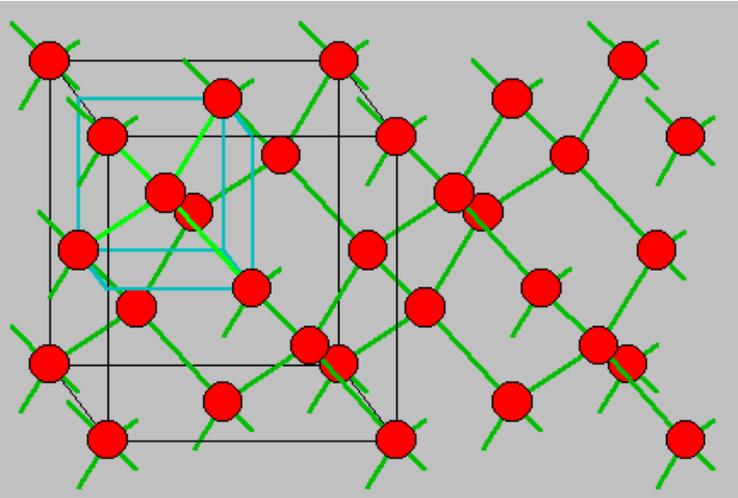


IVA		VA	
5 B Boro 3	6 C Carbonio -4,4	7 N Azoto -3,3,5	8 O Ossigeno -2
13 Al Alluminio 3	14 Si Silicio -4,4	15 P Fosforo -3,3,5	16 S Zolfo -2,2,4

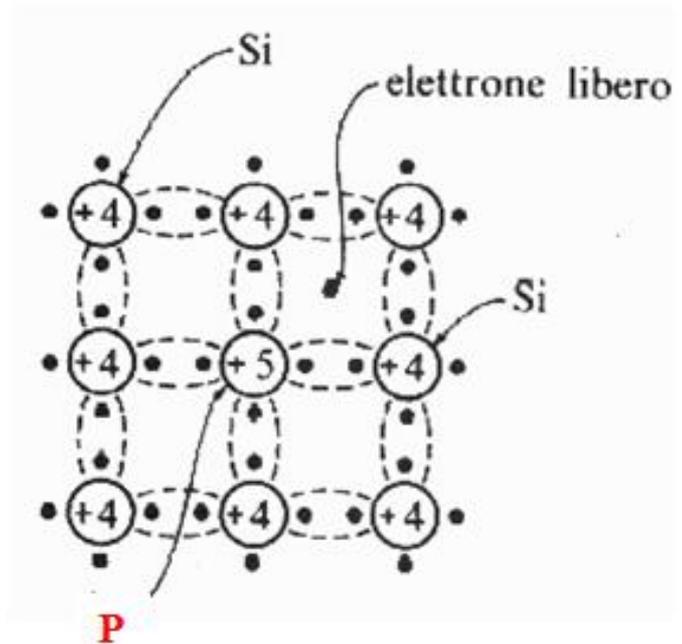


Non-metallo: 5 e- all'ultimo livello

Semimetallo: 4 e- all'ultimo livello

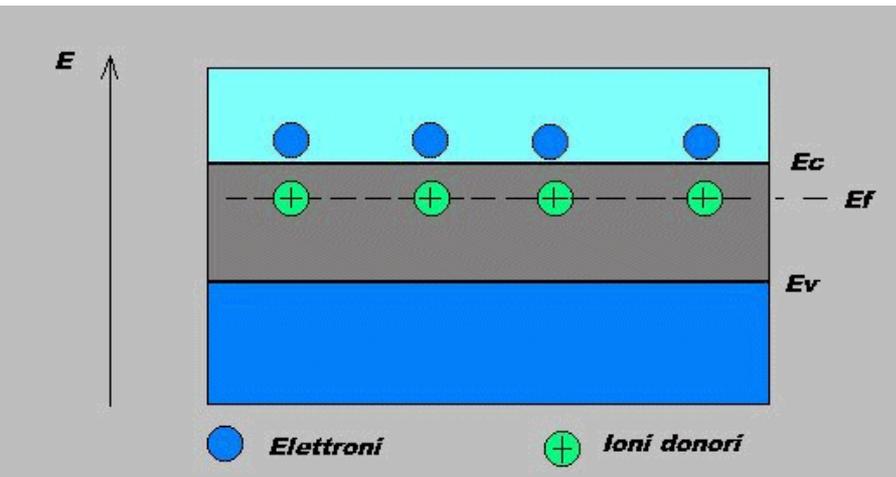


Se sostituiamo uno degli atomi originari nel Si, con un'impurità di P con cinque elettroni di valenza, all'interno del cristallo avremo un elettrone praticamente inutilizzato per i legami, essendone necessari solo quattro. Tali elettroni in più sono considerati praticamente tutti liberi.



Drogaggio del Si con P (fosforo)

DROGAGGIO tipo N



$$E_c - E_f = 0.045 \text{ eV}$$

$$E_g \text{ Silicio} = 1.1 \text{ eV}$$

Ogni atomo di impurità " **dona**" un elettrone (**donatore**) contribuendo alla conducibilità dovuta, in questo caso, agli elettroni (cariche negative).

DROGAGGIO di tipo N

L'atomo donore, perdendo un elettrone rimane, però, ionizzato per cui sugli atomi droganti resta localizzata una carica positiva intrappolata nel reticolo.

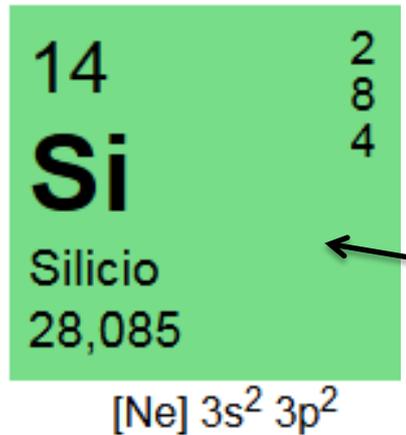
Le cariche maggioritarie sono Negative

Il numero degli elettroni eccedenti si somma a quello degli elettroni già esistenti nel semiconduttore puro, per cui avremo più elettroni n (cariche maggioritarie) che lacune p (cariche minoritarie).

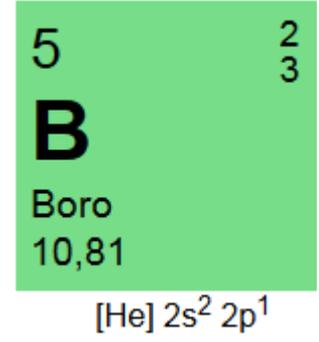
Il livello di Fermi si sposta verso la BC

Il livello energetico più elevato occupato da elettroni all'interno della banda di valenza alla temperatura dello zero assoluto è detto **livello di Fermi** (o energia di Fermi).

Drogaggio del Si con Boro

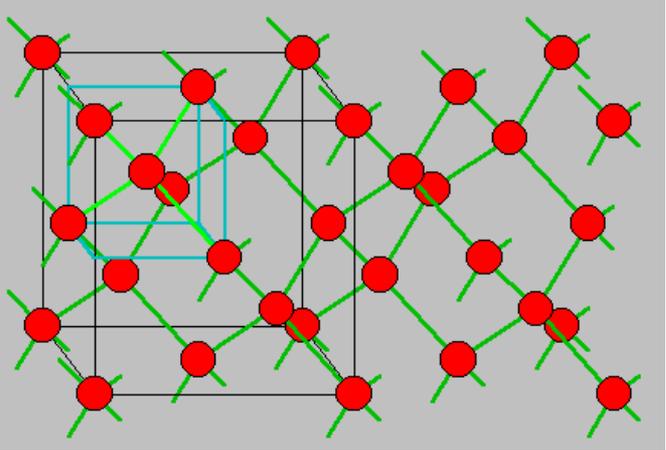


		IV A		V A	
5 B Boro 10,81 3	6 C Carbonio 12,01 -4,4	7 N Azoto 14,01 -3,3,5	8 O Ossigeno 16,00 -2		
13 Al Alluminio 26,98 3	14 Si Silicio 28,09 4	15 P Fosforo 30,97 -3,3,5	16 S Zolfo 32,07 -2,2,4		

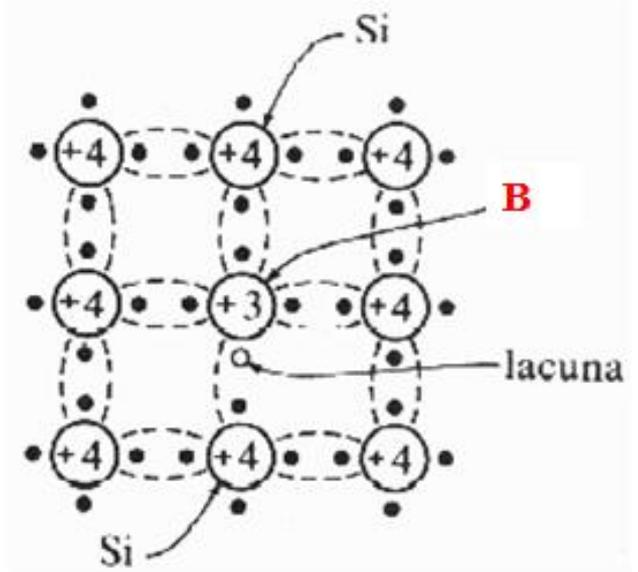


Semimetallo: 3 e- all'ultimo livello

Semimetallo: 4 e- all'ultimo livello

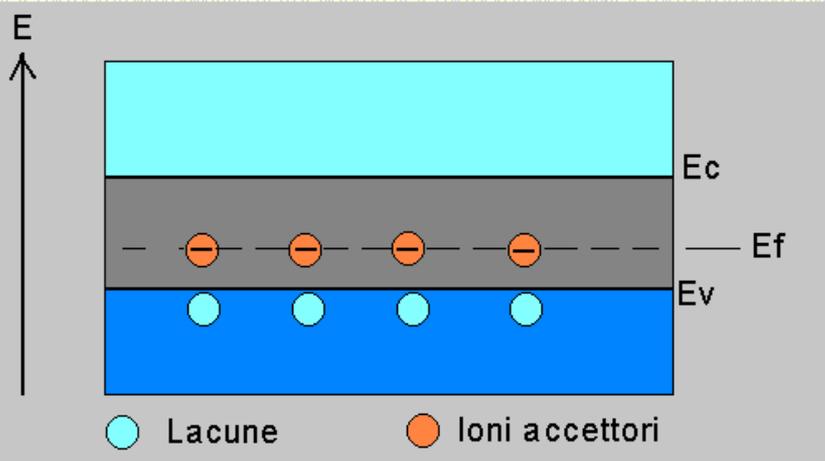


Se sostituiamo uno degli atomi originari nel **Si**, con un'impurità di **B** con 3 elettroni di valenza, all'interno del cristallo si ha una mancanza di un elettrone nel reticolo, visto che è impossibile completare l'ottetto. Ogni atomo di impurità potrà, in questo caso, "accettare" un elettrone da un vicino, diventando "accettore".



Drogaggio del Si con B (boro)

DROGAGGIO tipo P



Ogni atomo di impurità porta nel sistema delle **lacune** che quindi diventano il componente maggioritario rispetto agli elettroni.

Ogni lacuna è in grado di " **accettare**" un elettrone (**accettore**)

La conducibilità è dovuta, in questo caso, alle lacune (cariche positive).

DROGAGGIO di tipo P

L'atomo accettore, acquistando un elettrone rimane, però ionizzato negativamente con la carica negativa localizzata sugli atomi droganti

$$E_f - E_v = 0.045 \text{ eV}$$
$$E_g \text{ Silicio} = 1.1 \text{ eV}$$

Le cariche maggioritarie sono POSITIVE

Il numero degli elettroni eccedenti si somma a quello degli elettroni già esistenti nel semiconduttore puro, per cui avremo più elettroni n (cariche maggioritarie) che lacune p (cariche minoritarie).

Il livello di fermi è spostato verso la BV