

UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# Separazione di carica per la trasformazione di fotoni in fonti di energia

**Andrea Pajaro**

**Corso di studi in scienza  
dei materiali**

**Relatore: Antonella Glisenti**



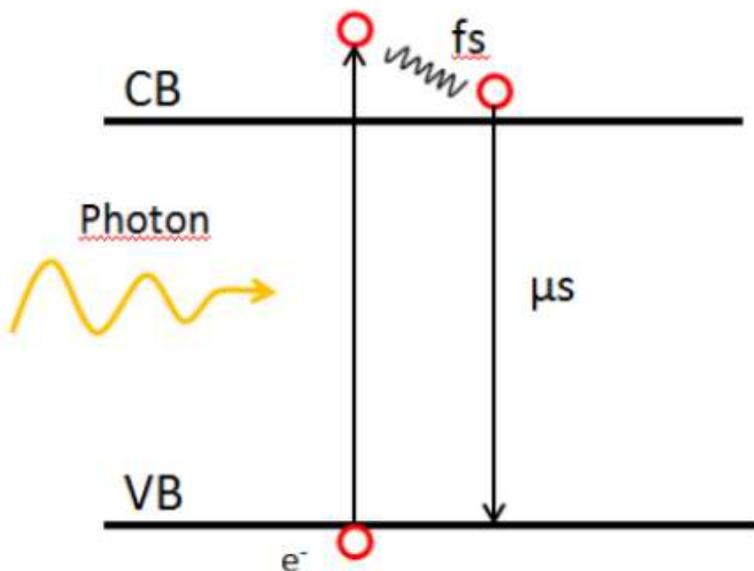
- Fotovoltaico
- Perovskiti
- Band-gap
- Celle tandem
- Struttura
- Difetti



# Fotovoltaico

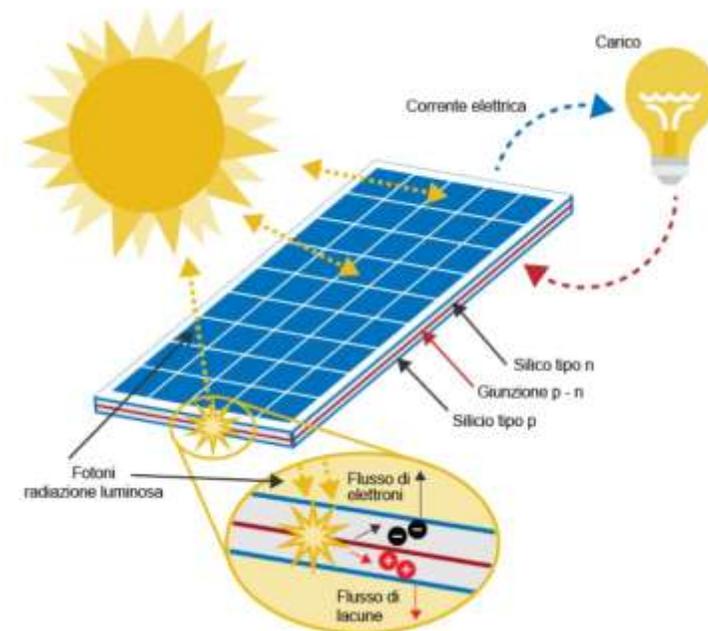
L'effetto fotovoltaico è il fenomeno che permette alle celle solari di convertire la luce solare in energia elettrica, si divide nelle seguenti fasi:

- Assorbimento
- Formazione di coppie elettrone-lacuna
- Separazione delle cariche



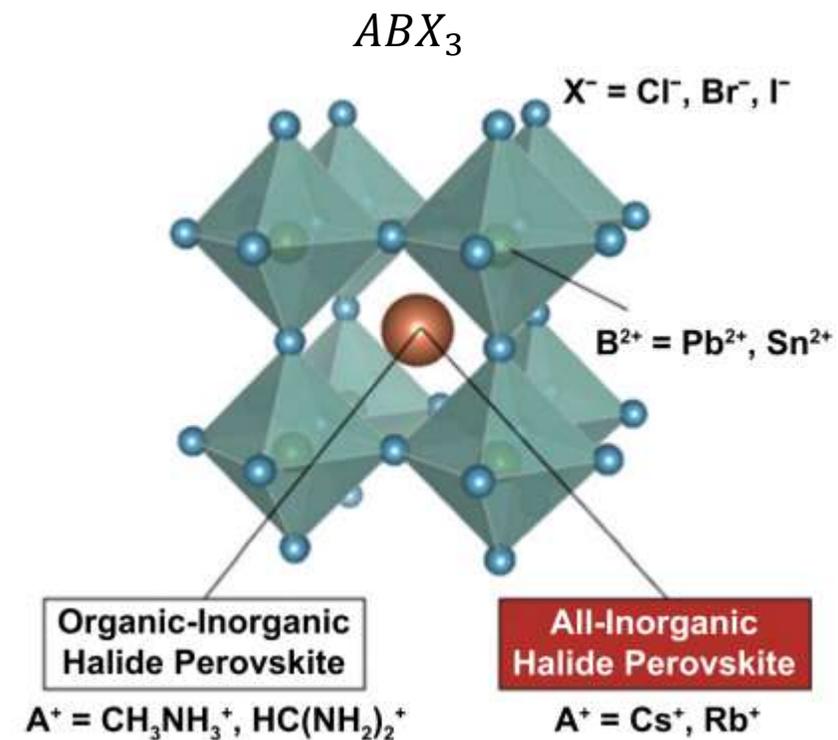
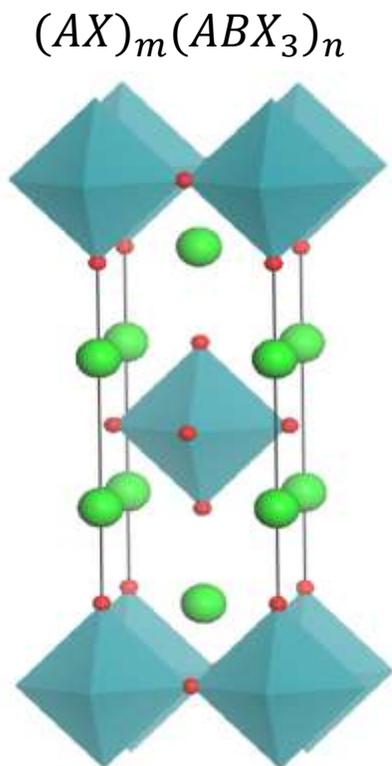
Per un dispositivo in silicio ideale l'efficienza massima prevista dal limite Shockley-Queisser è del 33,7%, questo è dovuto a:

- Assorbimento incompleto
- Ricombinazione



# Perovskiti

Nelle celle Tandem oltre ad uno strato di silicio c'è anche uno strato di perovskite, questo materiale si può depositare con processi semplici e basse temperature



Depositando sopra lo strato di perovskite un film 2D di Ruddlesden-Popper, caratterizzata da strati alternati di perovskite e strati di cationi più grandi, possiamo passivare i difetti e ottimizzare la struttura elettronica sulla superficie

Sostituendo l'alogeno possiamo modificare il band-gap della perovskite, inserendo un alogeno più piccolo il band-gap aumenta

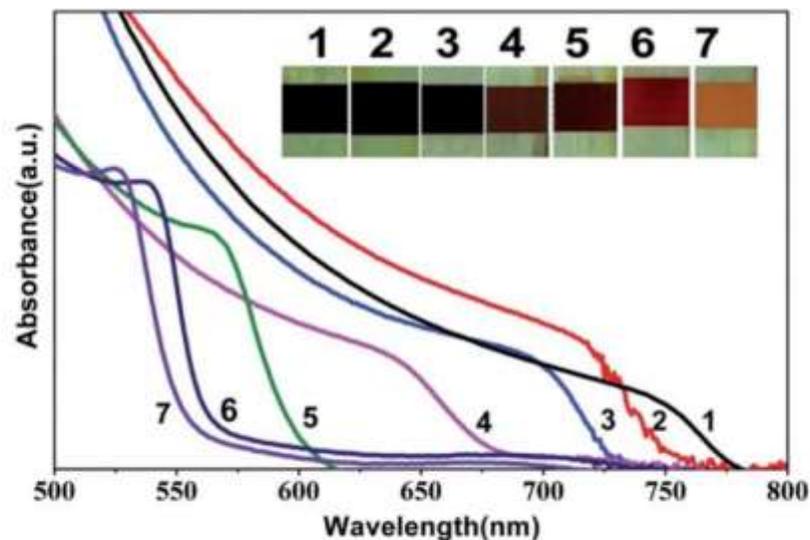


Figura 1.4: spettri di assorbimento UV-vis e colorazioni dei thin film della perovskite mista al piombo alogenuro ( $\text{MAPb}(\text{I}_{1-x}\text{Br}_x)_3$  ( $0 \leq x \leq 1$ )). Da [7]

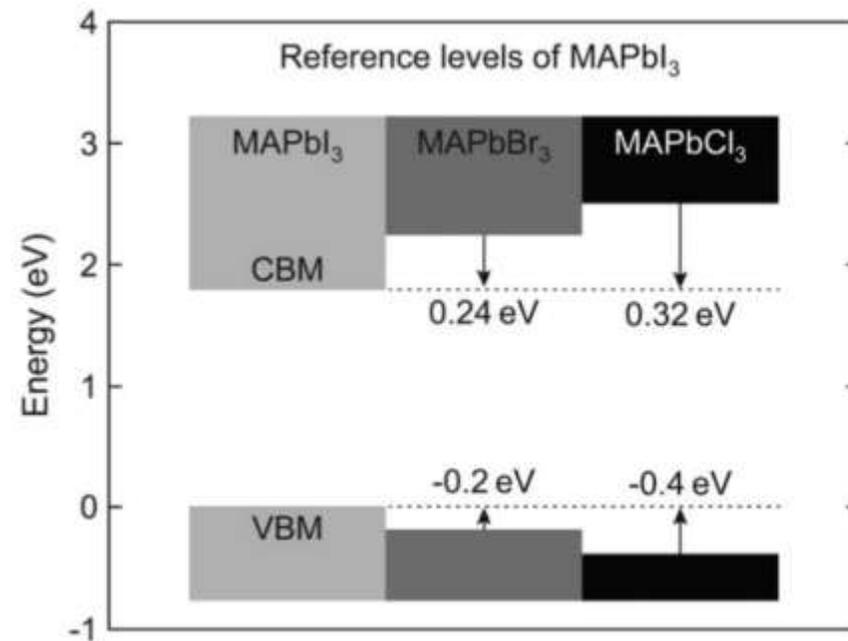
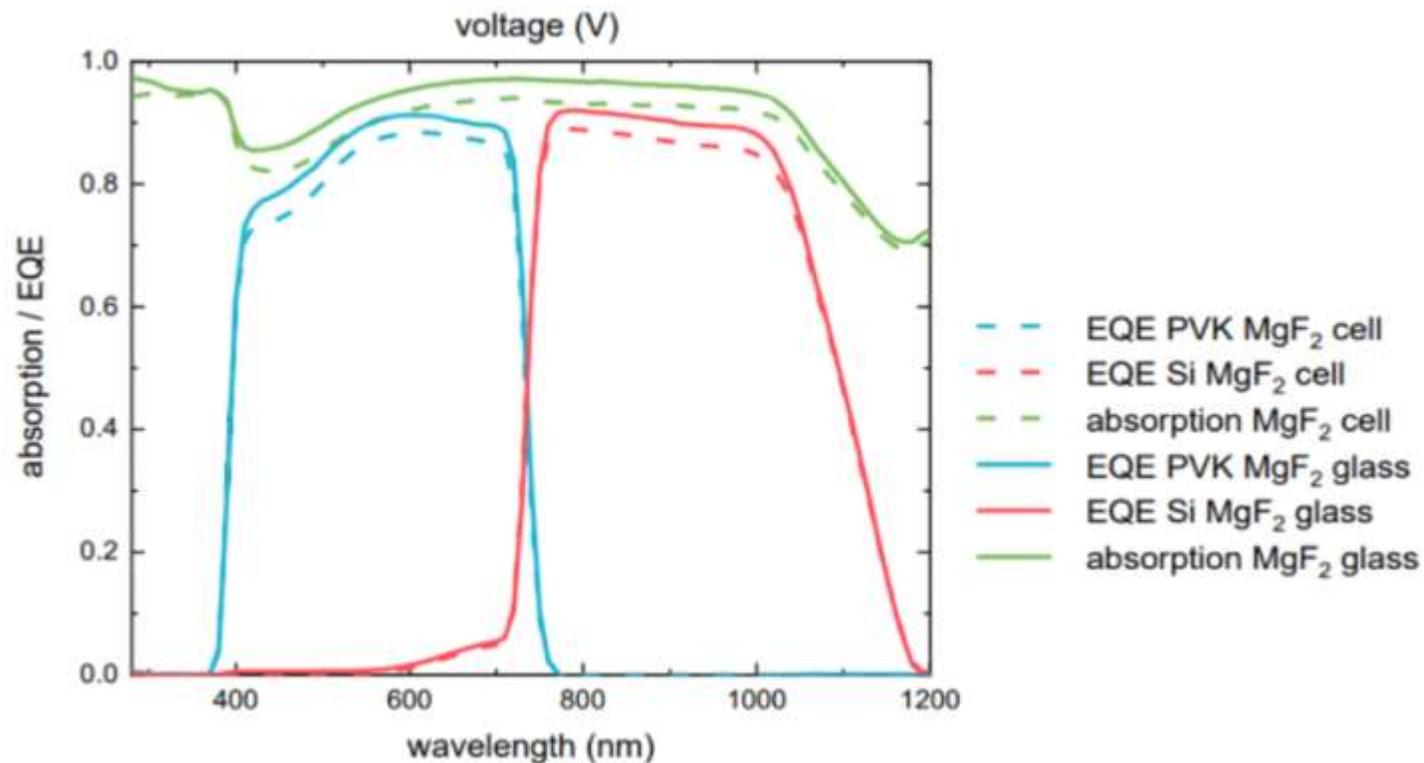


Figura 1.3: aumento del band gap tramite la sostituzione dell'alogeno.

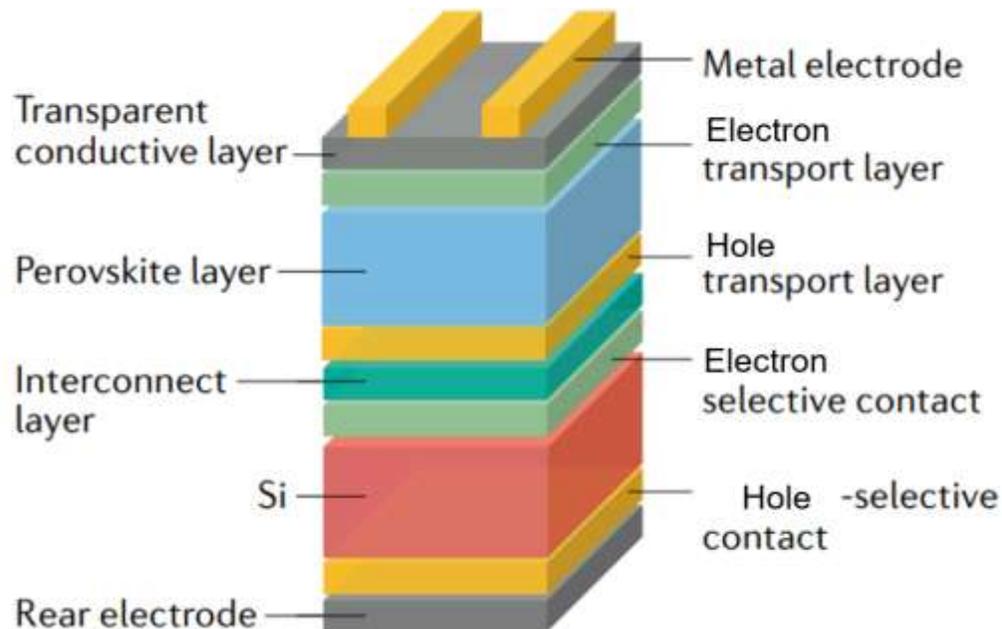
Quindi possiamo passare da un band-gap di 1.78 eV usando lo iodio a un band-gap di 2.5 eV usando il cloro

Il silicio ha difficoltà nell'assorbire fotoni con energia superiore della sua banda proibita, come le radiazioni UV che vengono assorbite solo in superficie.

Mettendo uno strato di perovskite prima del silicio possiamo quindi sfruttare anche la radiazione UV aumentando l'efficienza del dispositivo, superando il limite Shockley-Queisser.



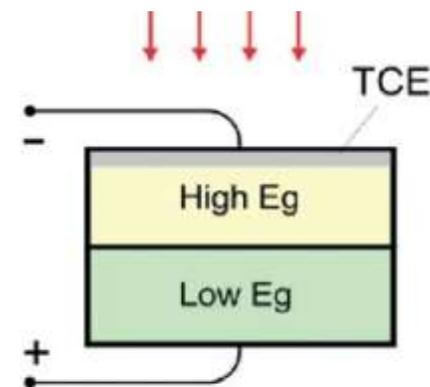
# Componenti della cella Tandem



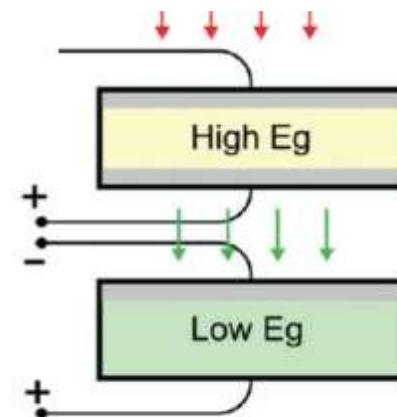
Le componenti del dispositivo sono:

- Elettrodo di metallo
- Strato conduttivo trasparente ITO
- Electron transport layer (ETL)
- Perovskite/silicio
- Hole transport layer (HTL)

Nella configurazione a quattro terminali (4T) le sotto celle sono prodotte e collegate indipendentemente, mentre nella configurazione monolitica a due terminali (2T), due sotto celle sono collegate in serie tramite uno strato di ricombinazione

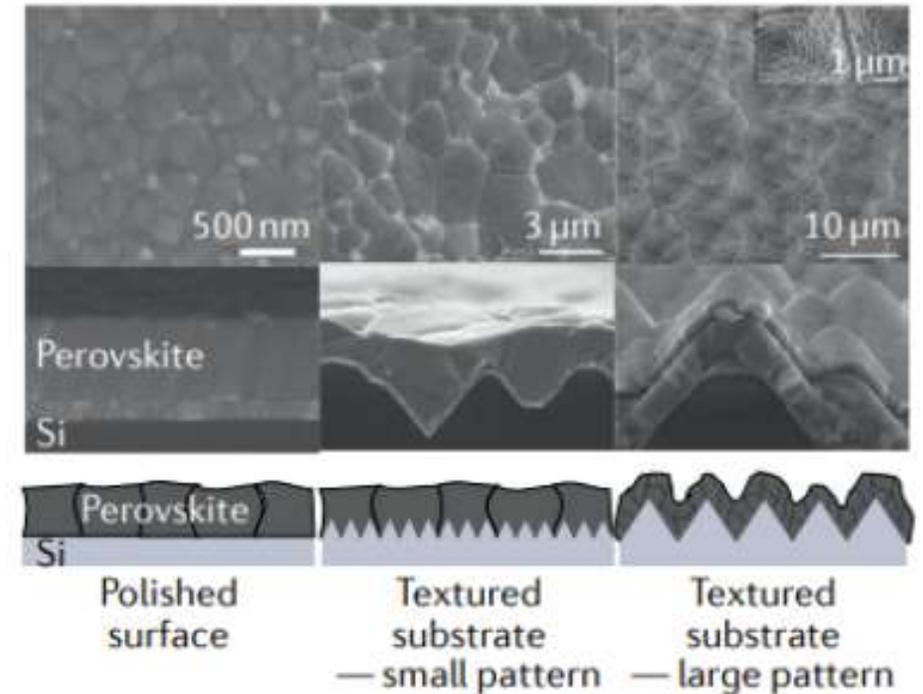
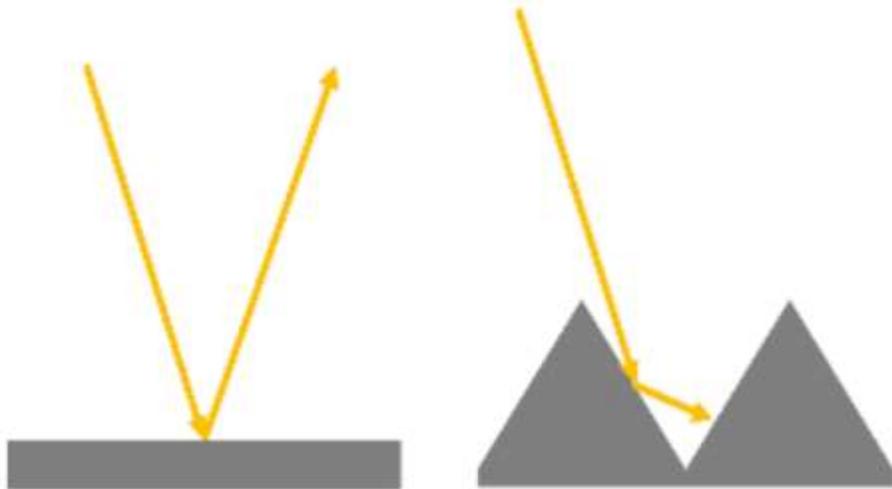


**2 Terminals Monolithic**



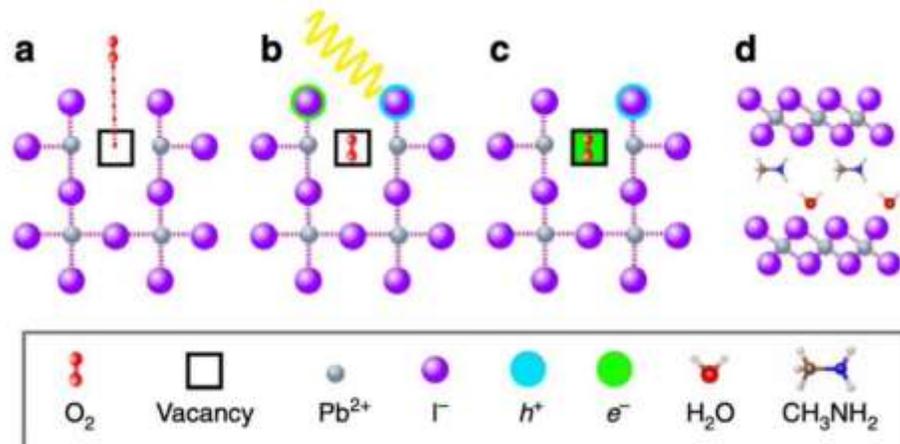
**4 Terminals**

Per massimizzare l'intrappolamento della luce si utilizza una soluzione alcalina sul silicio ottenendo una struttura piramidale sulla superficie.  
La struttura delle piramidi forma un sistema di intrappolamento della luce riducendo le perdite di riflessione frontale.



Riducendo la riflessione frontale aumentiamo la possibilità dei fotoni non assorbiti di rimbalzare verso un'altra piramide incrementando la probabilità di creare una copia buca-elettrone.

# Fotobleaching



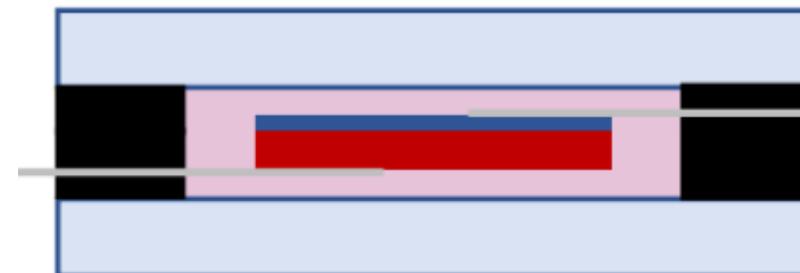
Il fotobleaching è una reazione di degradazione fotochimica a seguito dell'esposizione ad ossigeno e raggi X che avviene in 4 passaggi:

- A. diffusione dell'ossigeno ( $\text{O}_2$ ) e l'incorporazione nel reticolo cristallino
- B. foto eccitazione di  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  per creare elettroni e lacune
- C. formazione ( $\text{O}^{2-}$ ) dall'  $\text{O}_2$
- D. reazione e degradazione a strati di  $\text{CH}_3\text{NH}_2$  (metilammina),  $\text{PbI}_2$  (ioduro di piombo),  $\text{I}_2$  (iodio) e  $\text{H}_2\text{O}$  (acqua)

Figura 1.8: rappresentazione schematica della fotodegradazione indotta dall'ossigeno. Da [12]

Incapsulando la cella si riduce notevolmente il degrado del dispositivo, le perovskiti richiedono un incapsulamento vetro/vetro obbligatorio, questo perché i back-sheet polimerici convenzionali non sono una barriera sufficientemente adeguata contro la permeazione dell'umidità.

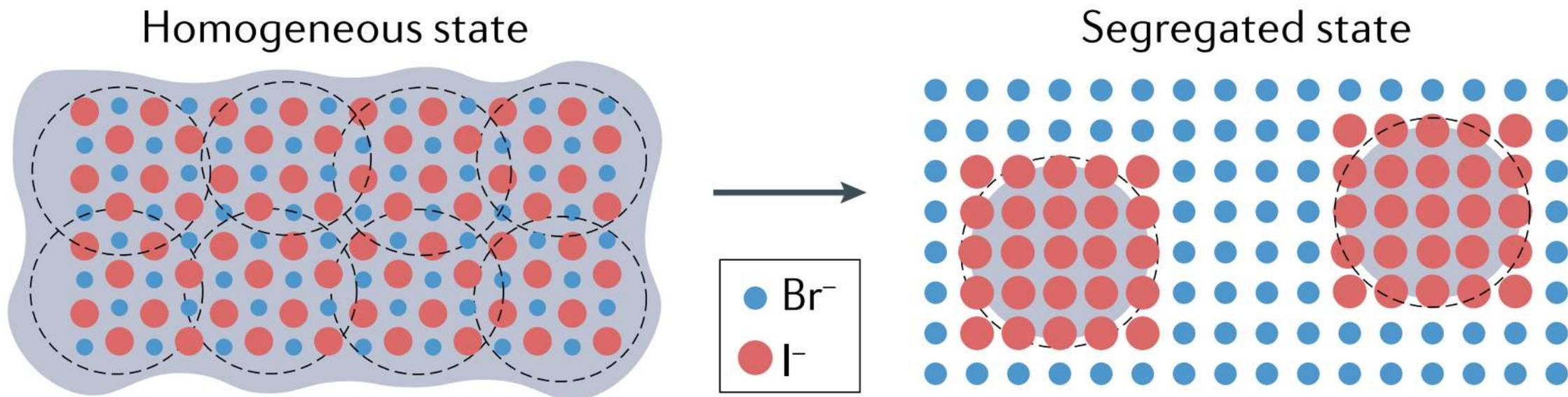
Cella incapsulata



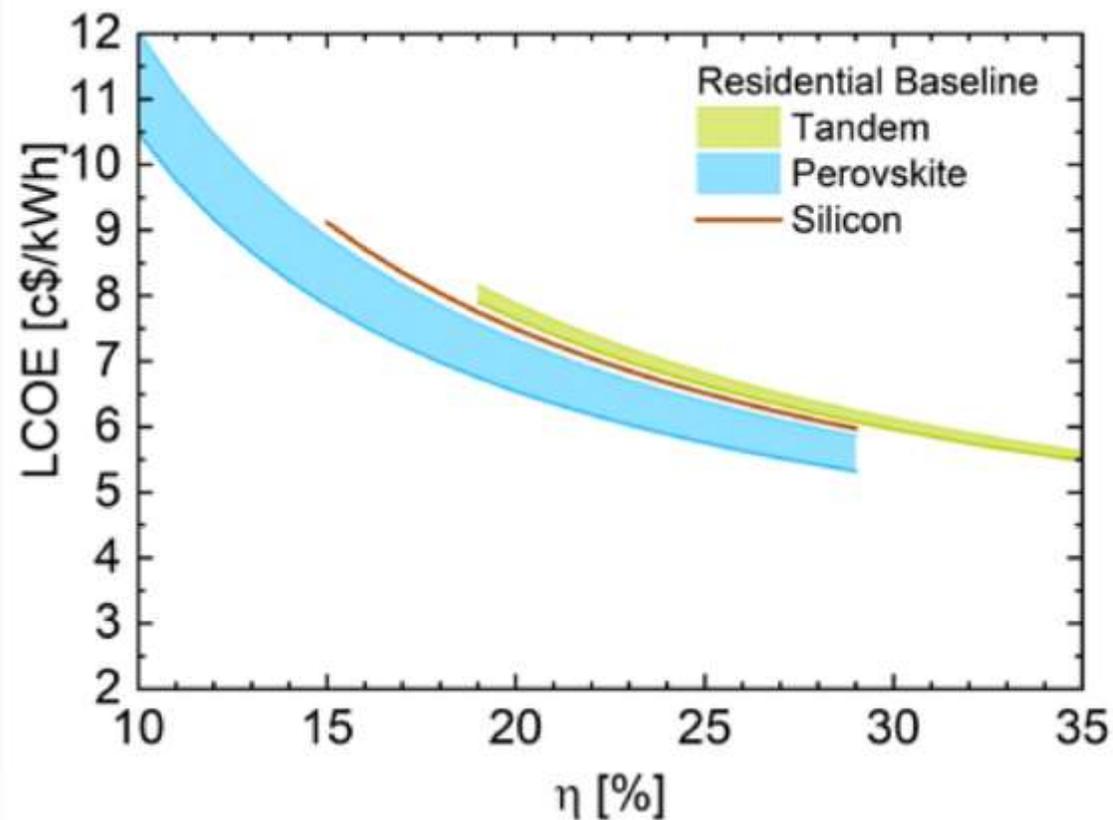
# Segregazione di fase

Sono stati ottenuti ampi band-gap aumentando il rapporto tra ioni bromuro e ioduro in una composizione di alogenuri misti, gli ioni bromuro e ioduro sono inclini alla segregazione sotto illuminazione, producendo fasi ricche di bromuro e ricche di ioduro.

Utilizzando FA o Cs invece di MA nel catione in A si può migliorare significativamente la fotostabilità, l'omogeneità e aumentare la barriera cinetica per la migrazione ionica; questo può eliminare o rallentare la segregazione di fase.



# Conclusioni



La competitività sul mercato dei sistemi fotovoltaici può essere valutata utilizzando il LCOE, che è influenzato dall'efficienza del dispositivo e dal suo costo iniziale.

Dal punto di vista economico, per un'efficienza in tandem del 24-27% richiede una durata di 15 o 21 anni; oppure se l'efficienza del modulo raggiunge il 30% con un degrado annuo del 4% all'anno, la durata dovrebbe essere di circa 6 anni.



- [1] Duan, Leiping, Daniel Walter, Nathan Chang, James Bullock, Di Kang, Sieu Pheng Phang, Klaus Weber, et al. «Stability Challenges for the Commercialization of Perovskite–Silicon Tandem Solar Cells». *Nature Reviews Materials* 8, fasc. 4 (9 gennaio 2023): 261–81. <https://doi.org/10.1038/s41578-022-00521-1>.
- [2] Meneghetti, Moreno, Stefaan De Wolf, Antonella Glisenti, e Francesco Furlan. «HIGH EFFICIENCY WIDE-BAND GAP PEROVSKITE SOLAR CELLS», s.d.
- [3] Wu, Tianhao, Zhenzhen Qin, Yanbo Wang, Yongzhen Wu, Wei Chen, Shufang Zhang, Molang Cai, et al. «The Main Progress of Perovskite Solar Cells in 2020–2021». *Nano-Micro Letters* 13, fasc. 1 (dicembre 2021): 152. <https://doi.org/10.1007/s40820-021-00672-w>.
- [4] Xu, Lujia, Fuzong Xu, Jiang Liu, Xuechun Zhang, Anand Selvin Subbiah, e Stefaan De Wolf. «Bandgap Optimization for Bifacial Tandem Solar Cells». *ACS Energy Letters* 8, fasc. 7 (14 luglio 2023): 3114–21. <https://doi.org/10.1021/acseenergylett.3c01014>.