

# CHIMICA: verde, sostenibile e sicura!

Per chimica verde si intende: l'invenzione, la progettazione e l'uso di prodotti chimici e processi per ridurre o eliminare l'uso e la produzione di sostanze pericolose. Quindi fare chimica verde significa non solo studiare la struttura e le proprietà di una molecola, ma chiedersi: da dove arriva? Quanta energia si è consumata per produrla? Come posso produrre la stessa molecola usando le risorse rinnovabili del territorio? Posso usare energia rinnovabile? Scarti agricoli? Posso inventare o sfruttare processi che utilizzano ciò che arriva dall'ambiente e all'ambiente possa tornare? Dodici principi basilari ci aiutano a capire questa nuova "visione" della chimica.

## **Relatori:**

Gianna Reginato, Cnr-Iccom

Alessio Dessì, Cnr-Iccom

## **Moderatore:**

Andrea Ienco, Cnr-Iccom

# SOSTENIBILITÀ

DEFINIZIONE - «Soddisfare i bisogni della generazione attuale **senza compromettere** la capacità delle **generazioni future** di soddisfare i propri bisogni»

*«Preserva quello di cui non puoi fare a meno e preservalo per sempre»*



# ECONOMIA CIRCOLARE



L'economia circolare è un sistema economico pianificato per riutilizzare i materiali in successivi cicli produttivi, riducendo al massimo gli sprechi



**Antoine-Laurent Lavoisier**

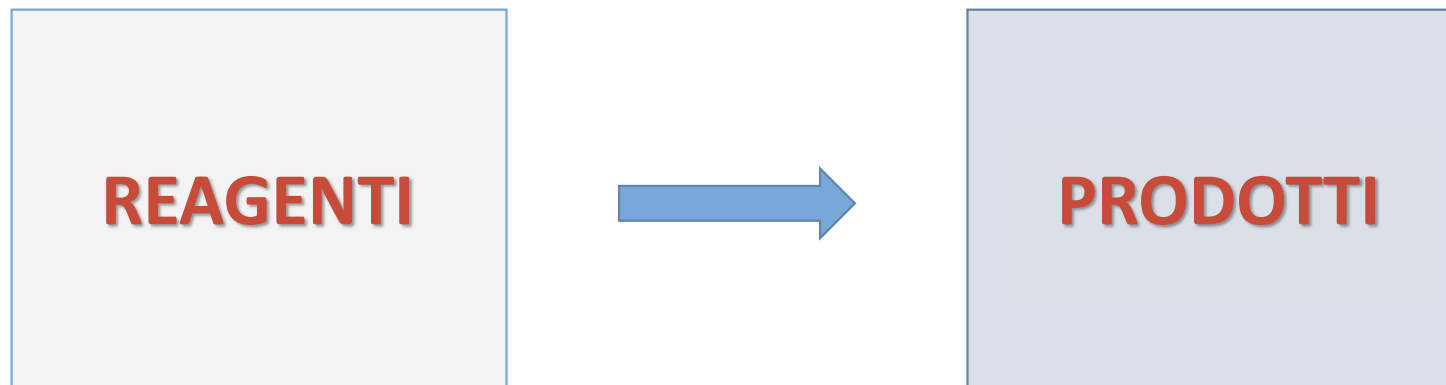
Il padre della scienza moderna

Nulla si crea,  
nulla si distrugge,  
tutto si trasforma.

**Legge della conservazione della massa - 1789**

# TRASFORMAZIONE

REAZIONE- Processo produce la trasformazione di sostanze, **REAGENTI**, in nuovi **PRODOTTI** con proprietà chimiche e fisiche diverse



# CHIMICA VERDE

## STRUMENTO PER LA PROMOZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ

Obiettivo: Migliorare la qualità della vita minimizzando gli effetti negativi sulla salute dell'uomo e dell'ambiente

*Un approccio etico fatto di criteri, di priorità e di obiettivi, quindi a suo modo una filosofia, che attinge dalla conoscenza scientifica della chimica per guidare le applicazioni di questa disciplina, ad iniziare da quelle industriali, verso modalità sostenibili dal punto di vista ambientale ed economico*

<https://www.carbon-counts.com/single-post/2015/03/25/Designing-a-CO2-Reuse-Prize-for-Europe>



# SETTORI DI INTERVENTO

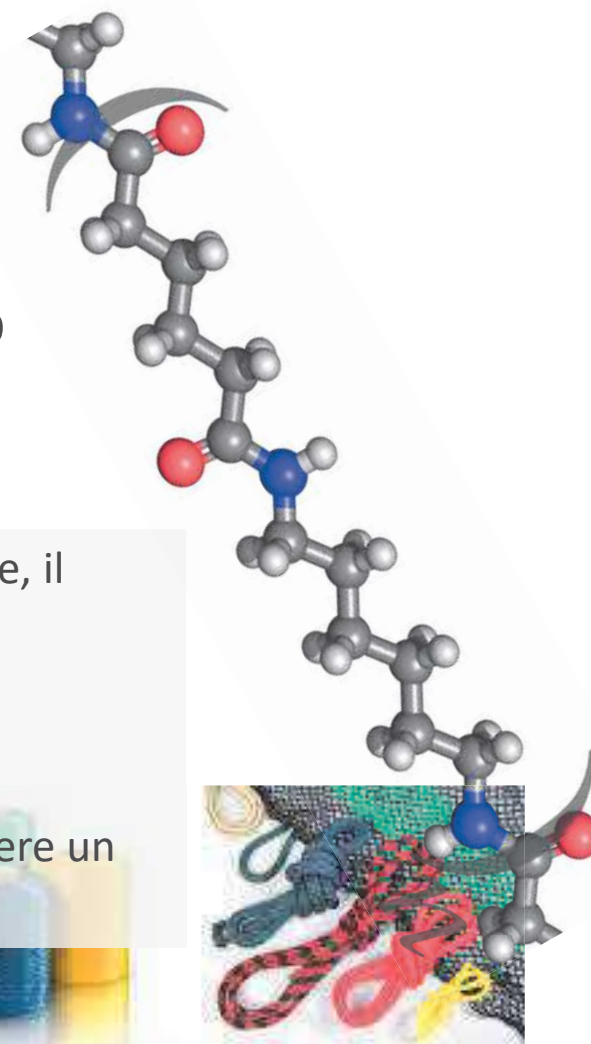
## MIGLIORARE I PROCESSI PRODUTTIVI

- Studio di nuovi processi chimici
  - Riduzione dell'inquinamento
  - Riduzione del consumo energetico
  - Aumento dell'efficienza

ESEMPIO: nel mondo si producono **4 milioni di tonnellate all'anno** di caprolattame, il materiale fondamentale per ottenere il **NYLON**.

Nella preparazione del caprolattame vengono prodotte quantità enormi di un sottoprodotto che non serve a niente e deve essere smaltito

Migliorare il processo produttivo del caprolattame riducendo gli scarti significa avere un approccio chimico «green».





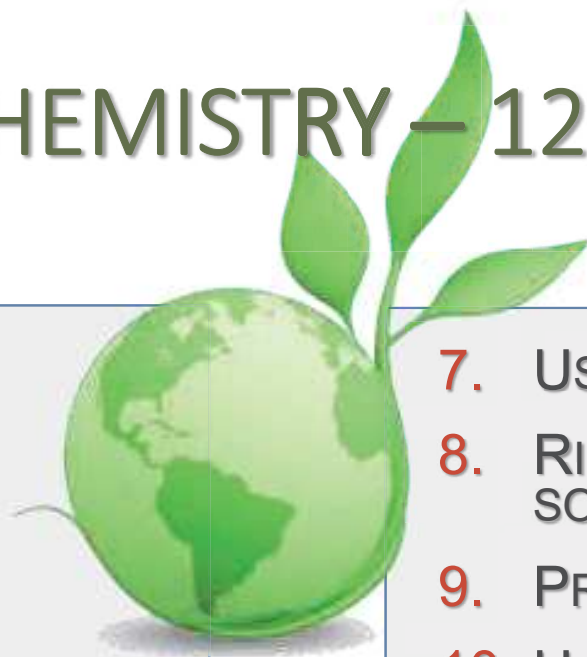
# GREEN CHEMISTRY



Paul Anastas (Università di Yale)  
Padre della **Green Chemistry**  
ha coniato il termine nel **1991**  
quando lavorava come chimico presso  
**U.S. Environmental Protection Agency**  
(EPA)

**Linee guida per operare nell'ambito della green chemistry**

# GREEN CHEMISTRY – 12 PRINCIPI



1. PREVENZIONE
2. ATOM ECONOMY
3. RIDUZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEI PROCESSI
4. PROGETTAZIONE DI PRODOTTI NON TOSSICI
5. USO DI SOLVENTI E REAGENTI NON PERICOLOSI
6. RIDUZIONE DEL CONSUMO ENERGETICO
7. USO DI MATERIE PRIME RINNOVABILI
8. RIDUZIONE DEI PASSAGGI SINTETICI E DEI SOTTOPRODOTTI (REAZIONI SELETTIVE)
9. PREFERENZA PER REAZIONI CATALITICHE
10. USO DI COMPOSTI FACILMENTE DEGRADABILI IN SOSTANZE NON DANNOSE
11. RINNOVO DELLE TECNICHE ANALITICHE PER UN MONITORAGGIO AMBIENTALE (CONTROLLO DELL'INQUINAMENTO) IN TEMPO REALE
12. PROGETTAZIONE DI IMPIANTI E PROCESSI A RISCHIO MINIMO DI INCIDENTI.



# SETTORI DI INTERVENTO

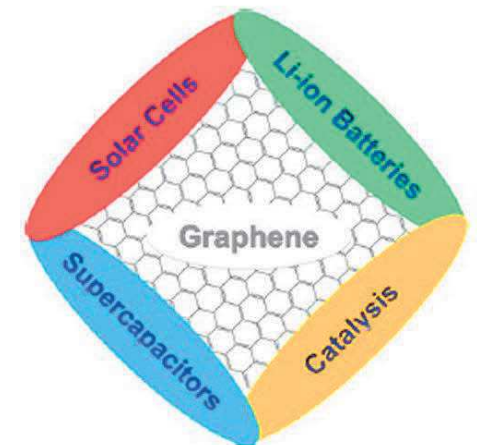
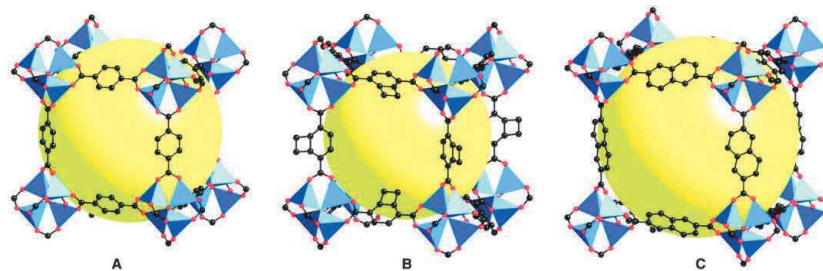
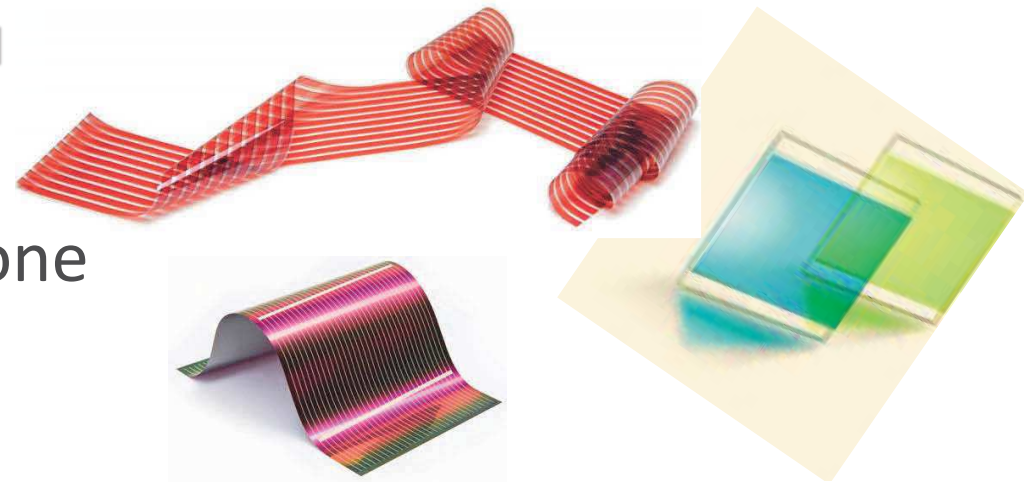
CONTRIBUIRE AD AFFRONTARE LE SFIDE PIÙ IMPORTANTI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE

- Sfruttamento di energie rinnovabili
- Diminuzione delle risorse
- Produzione di cibo
- Effetto serra (CO<sub>2</sub>)

# SETTORI DI INTERVENTO

## SFRUTTAMENTO DI ENERGIE RINNOVABILI

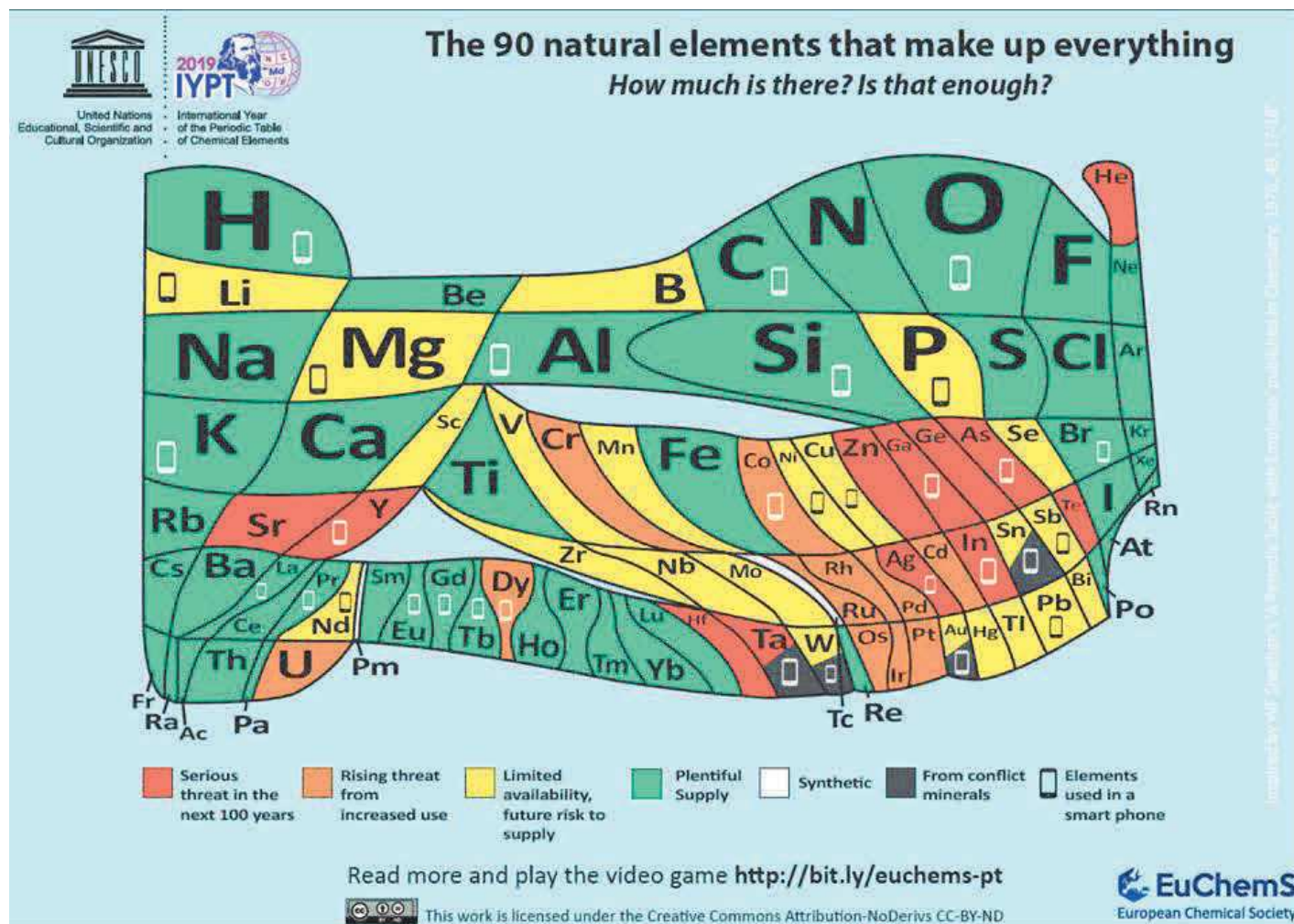
- Fotovoltaico di nuova generazione
- Celle a combustibile
- Nanotecnologie
- Gas (H<sub>2</sub>) storage
- Biomasse



# SETTORI DI INTERVENTO

## ESAURIMENTO DELLE RISORSE

*«Preserva quello di cui non  
puoi fare a meno  
e preservalo per sempre»*



<https://www.euchems.eu/euchems-periodic-table/>

# SETTORI DI INTERVENTO

## AGROALIMENTARE

- Una maggiore quantità di risorse alimentari sarà necessaria in futuro (aumento della popolazione, paesi emergenti)
- Gli attuali metodi usati in agricoltura per l'aumento della produzione alimentare non sono sostenibili

- Produrre pesticidi capaci di attaccare gli organismi target e degradarsi dopo l'uso in prodotti innocui
- Produrre fertilizzanti di massima efficienza che consentano di minimizzarne l'uso
- Recupero degli scarti





# CHIMICA VERDE

24 Gennaio 2020 – **Science**\* dedica un numero speciale alla chimica verde e alla sua importanza per un futuro sostenibile

**“Chemistry for tomorrow’ earth”**

\***Science** è una rivista scientifica pubblicata dall'American Association for the Advancement of Science, ed è considerata una delle più prestigiose riviste in campo scientifico, insieme a *Nature*





# CHIMICA: *Verde Sostenibile e Sicura!*

---

*Energie rinnovabili*

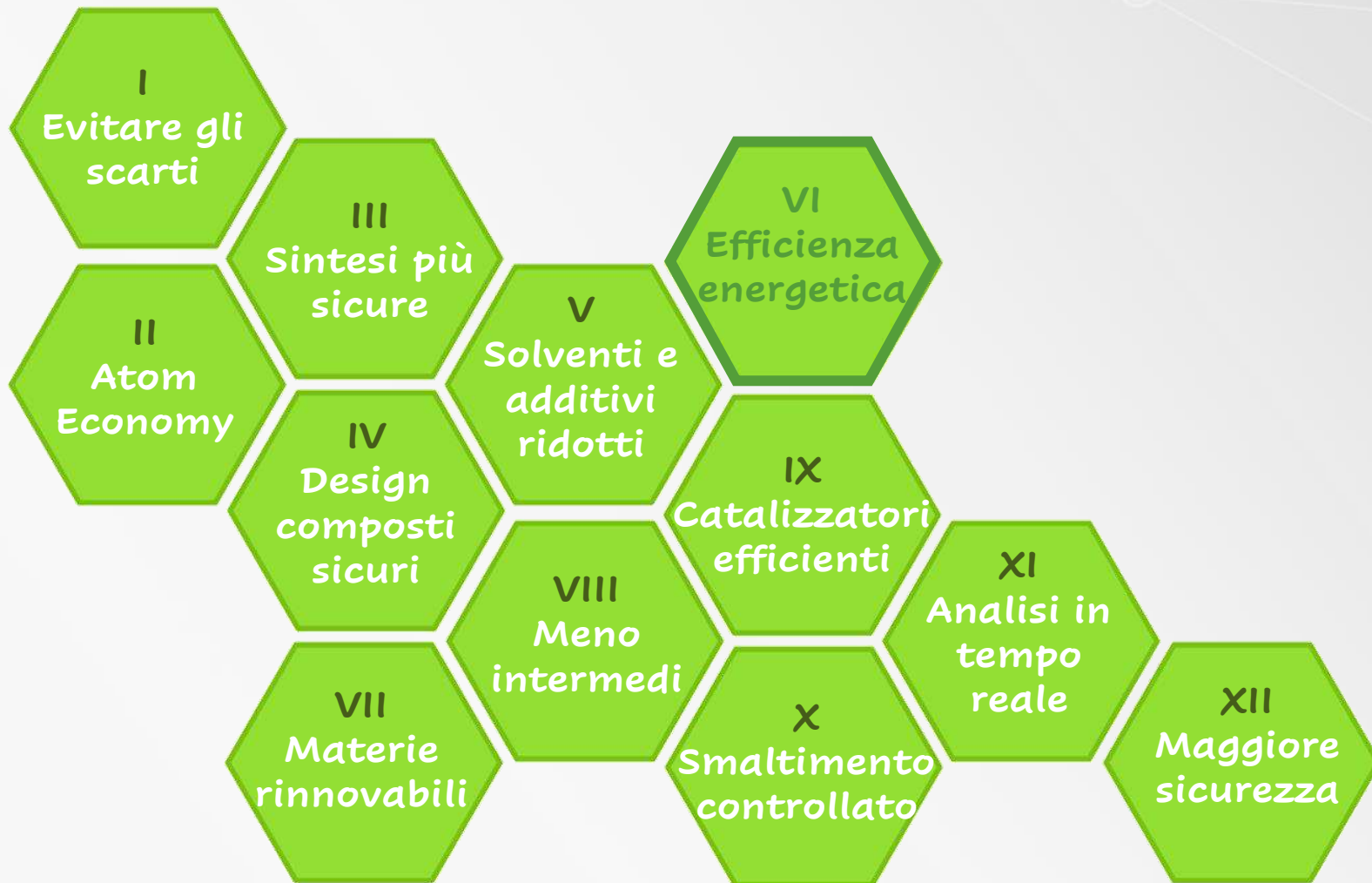
---

**Alessio Dessì**

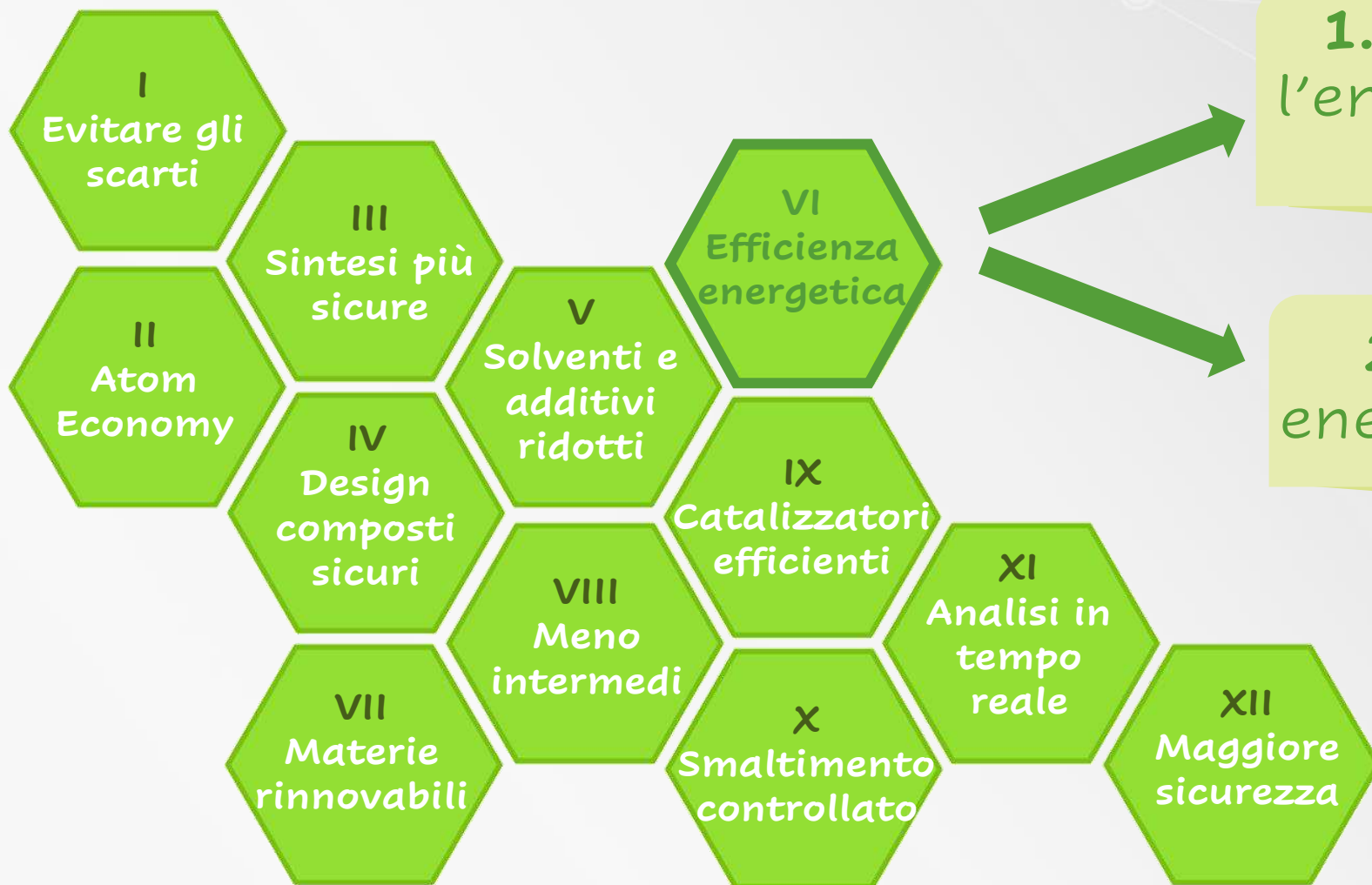


Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Chimica Verde



# Chimica Verde



1. Ridurre al minimo l'energia necessaria per una reazione

2. Sfruttare fonti energetiche **rinnovabili**

# Energia

1 TW = mille miliardi W = 10 miliardi di lampadine 100 W

## SOLARE

23000 TW all'anno



R  
I  
N  
N  
O  
V  
A  
B  
I  
L  
I

N  
O  
N  
R  
I  
N  
N  
O  
V  
A  
B  
I  
L  
I

**CARBONE**

900 TW totale

**URANIO**

90-300 TW totale

**PETROLIO**

240 TW totale

**GAS NATURALE**

215 TW totale

**RICHIESTA ENERGETICA MONDIALE**

16-17 TW all'anno

# Energia

1 TW = mille miliardi W = 10  
miliardi di lampadine 100 W

**SOLARE**

23000 TW all'anno



ENERGIA ELETTRICA:  
**Celle fotovoltaiche**

PRODOTTI CHIMICI:  
**Fotochimica**



# Fotovoltaico

---

I.

Celle solari al silicio  
( $\approx$  90% del mercato)

II.

Celle solari a film sottile  
( $\approx$  10% del mercato)

III.

Celle solari  
organiche e ibride



# Celle DSSC

## Dye Sensitized Solar Cell – Celle Solari Sensibilizzate a Colorante



Michael Grätzel

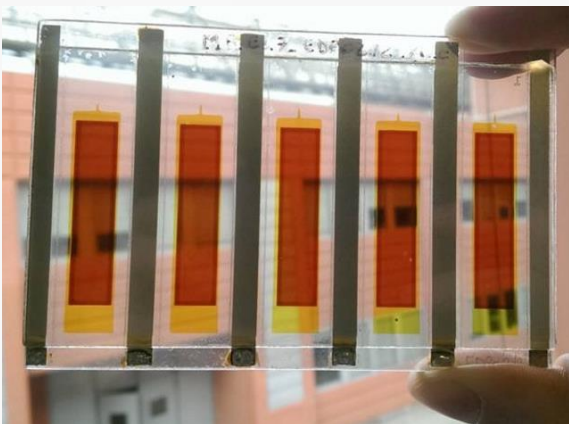
Le celle DSSC sono dei dispositivi fotovoltaici innovativi, inventati nel 1991 dal Prof. Micheal Grätzel dell'EPFL di Losanna.

### Vantaggi:

- Costi relativamente bassi
- Supportabili su vetro e plastica.
- Colorate e trasparenti.
- Funzionano anche con luce diffusa.
- Smaltimento più facile.

### Svantaggi:

- Efficienze più basse rispetto al silicio.
- La stabilità a lungo termine è ancora inferiore.



DSSC-powered  
remote control



Grätzel Solar Backpack 2  
by Gcell



Sony Flower Lantern



Solar Bluetooth Keyboard  
by Gcell







GreatCellSolar, Australia



Merck, Darmstadt



Merck, Darmstadt



Aeroporto di Ginevra, applicazione indoor



SwissTech Convention Center, Losanna, facciata di vetro di 300 m<sup>2</sup>



Science Tower, Graz



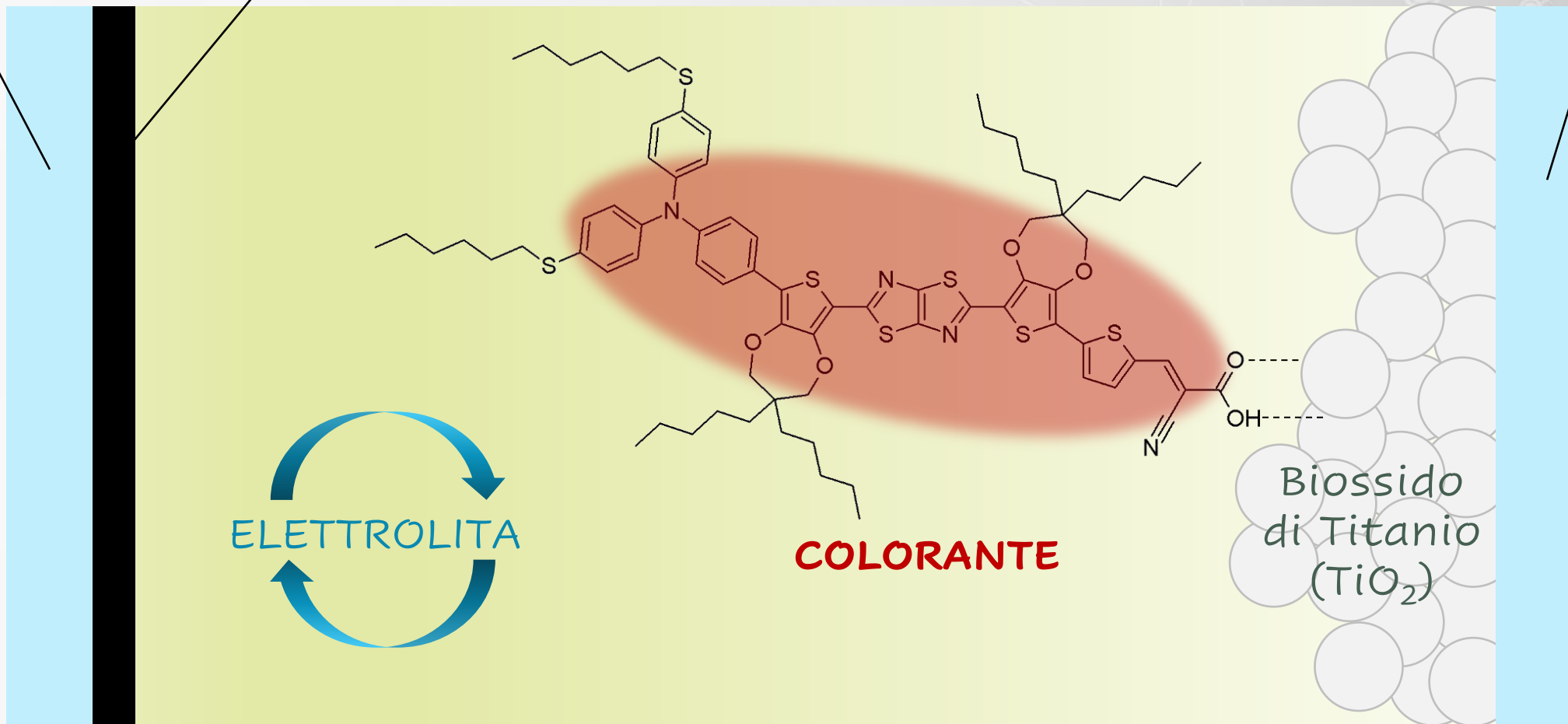


# Com'è fatta una DSSC

Vetro  
Conduttore  
trasparente

Platino  
(o grafite)

Vetro  
Conduttore  
trasparente



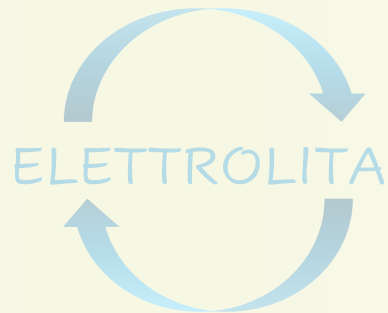
ELETTROLITA

COLORANTE

Biossido  
di Titanio  
(TiO<sub>2</sub>)

# Com'è fatta una DSSC

Materiale **atossico**, utilizzato come pigmento bianco in **edilizia**, nelle **creme solari**, come **colorante alimentare**

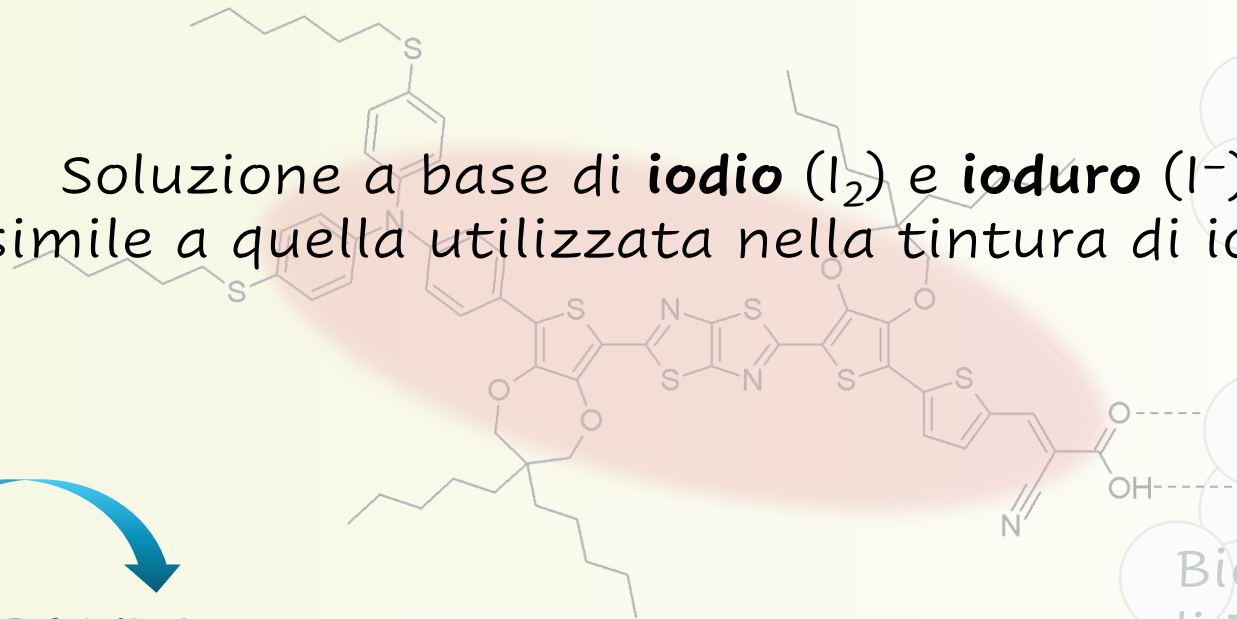
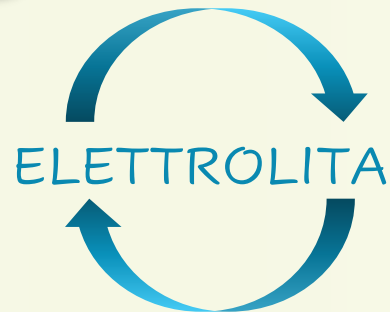


Biossido di Titanio (TiO<sub>2</sub>)

# Com'è fatta una DSSC



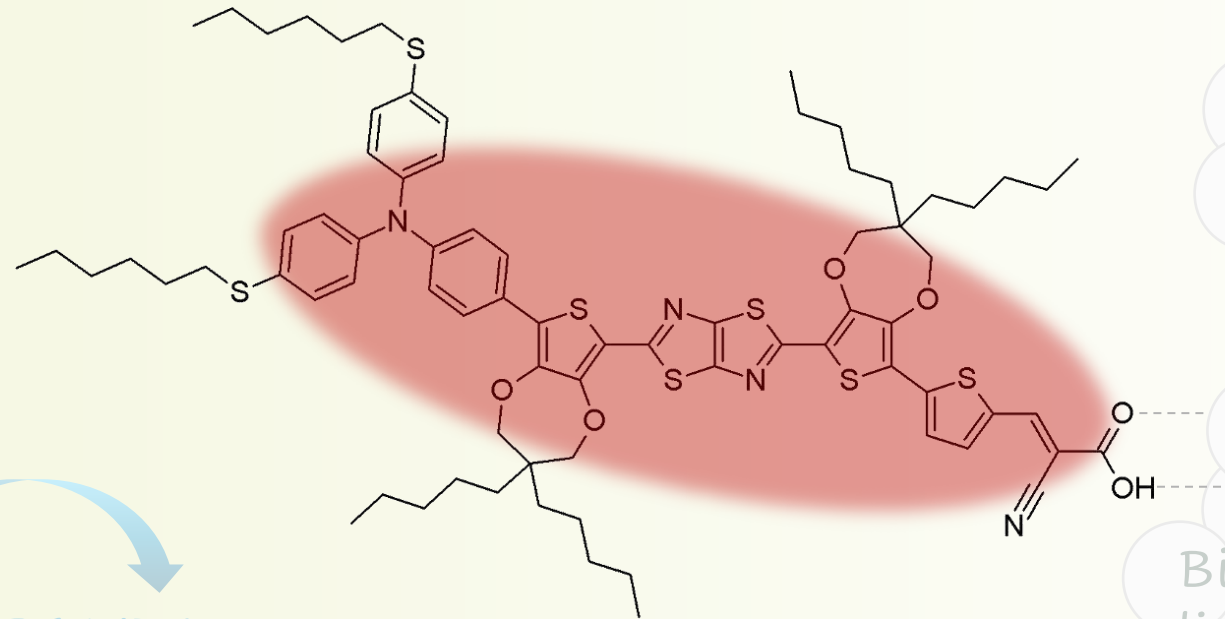
Soluzione a base di **iodio** ( $I_2$ ) e **ioduro** ( $I^-$ ), simile a quella utilizzata nella tintura di iodio



**COLORANTE**

Biossido di Titanio ( $TiO_2$ )

# Com'è fatta una DSSC



**COLORANTE**

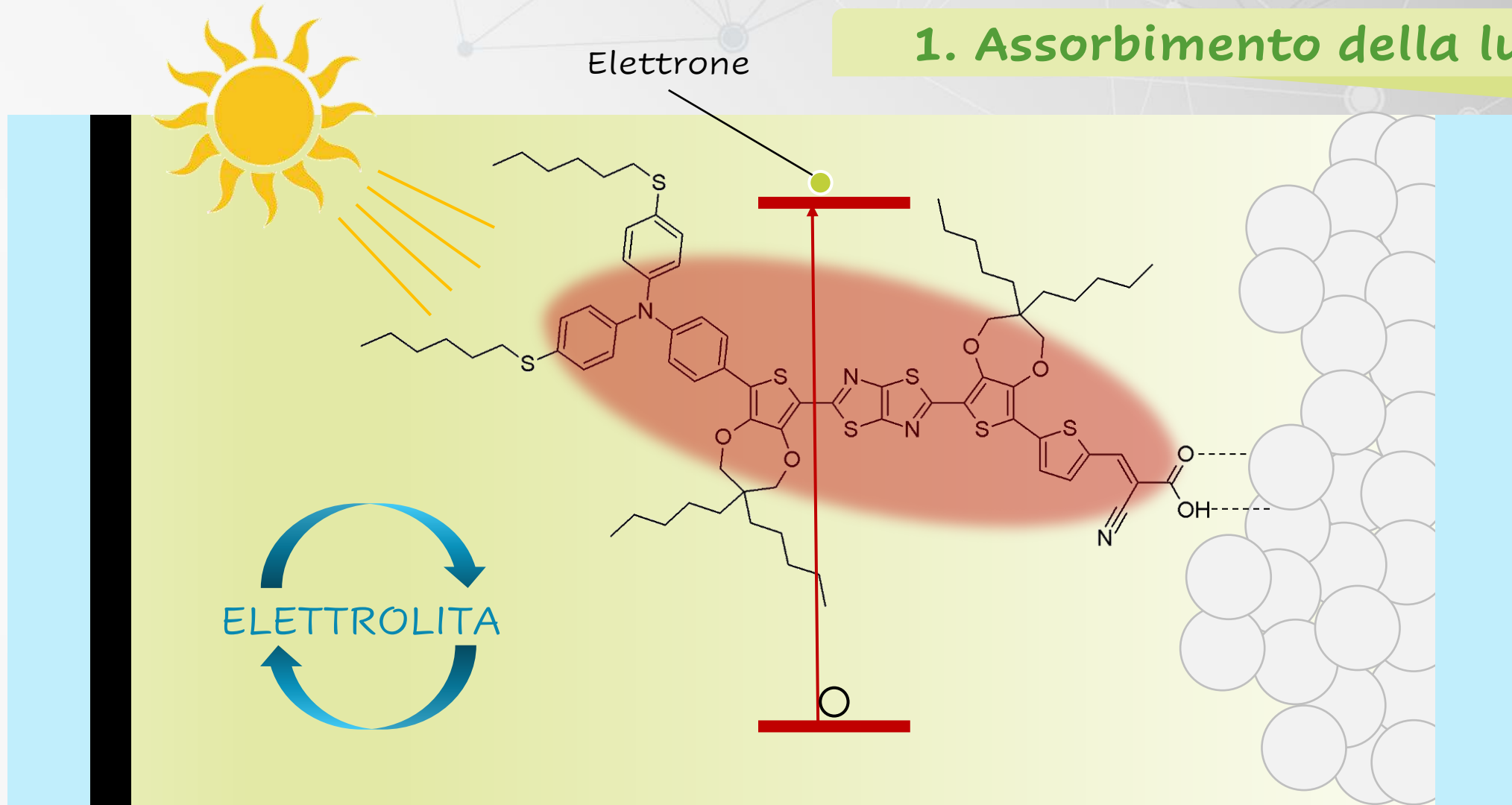
Biossido  
di Titanio  
(TiO<sub>2</sub>)

TITROLITA

**Molecola organica** progettata per catturare la luce solare e ancorarsi sul biossido di titanio.

# Come funziona una DSSC

## 1. Assorbimento della luce

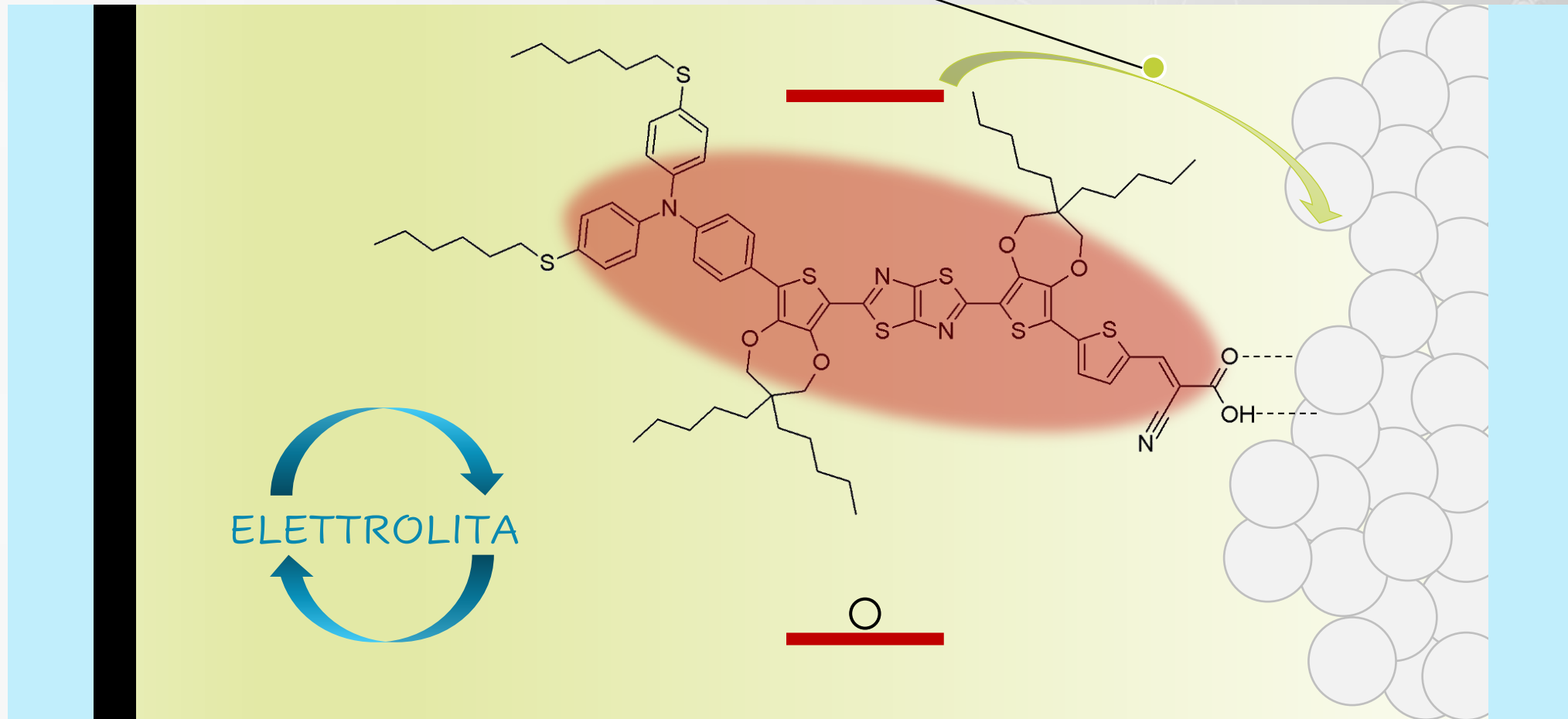




# Come funziona una DSSC

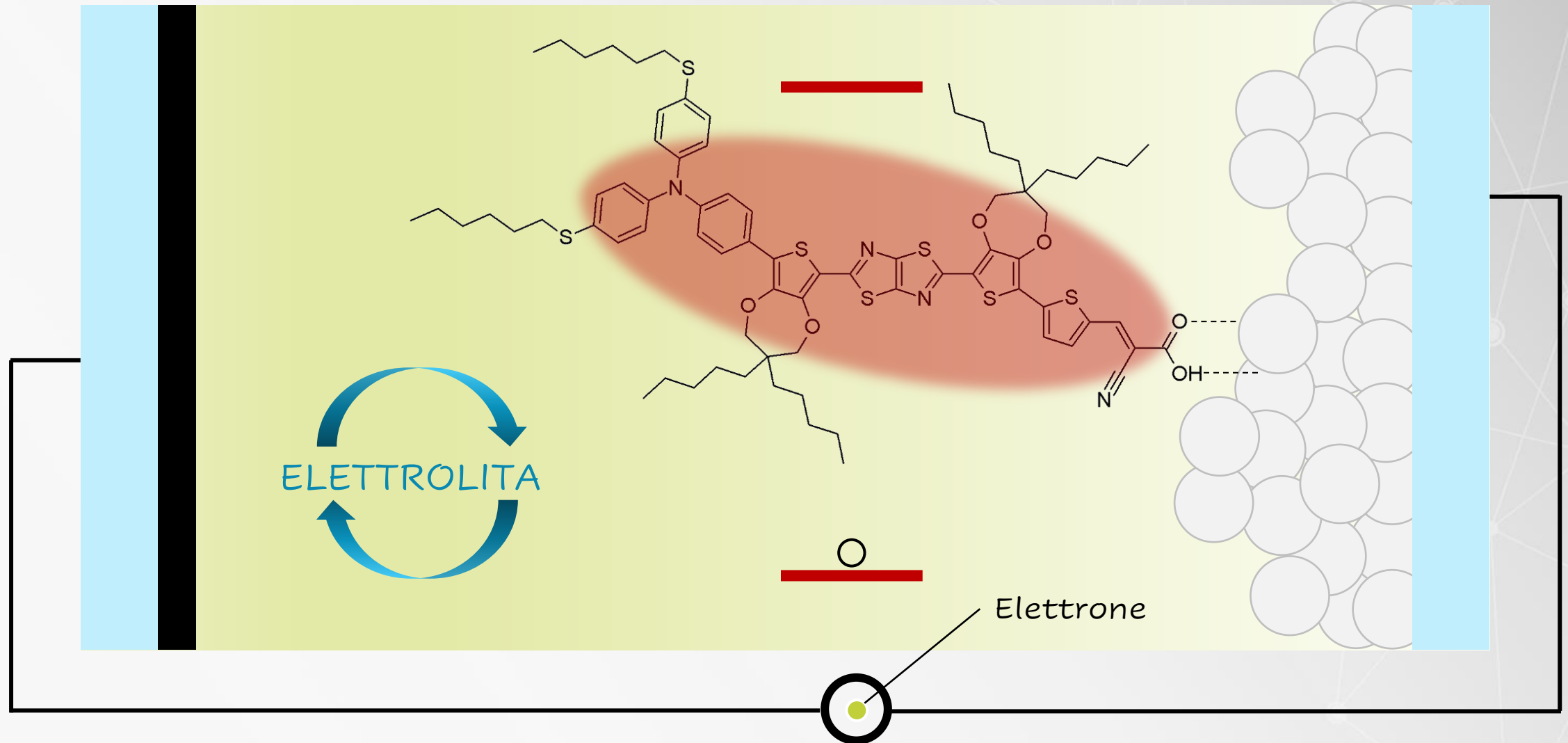
## 2. Trasferimento elettronico

Elettrone



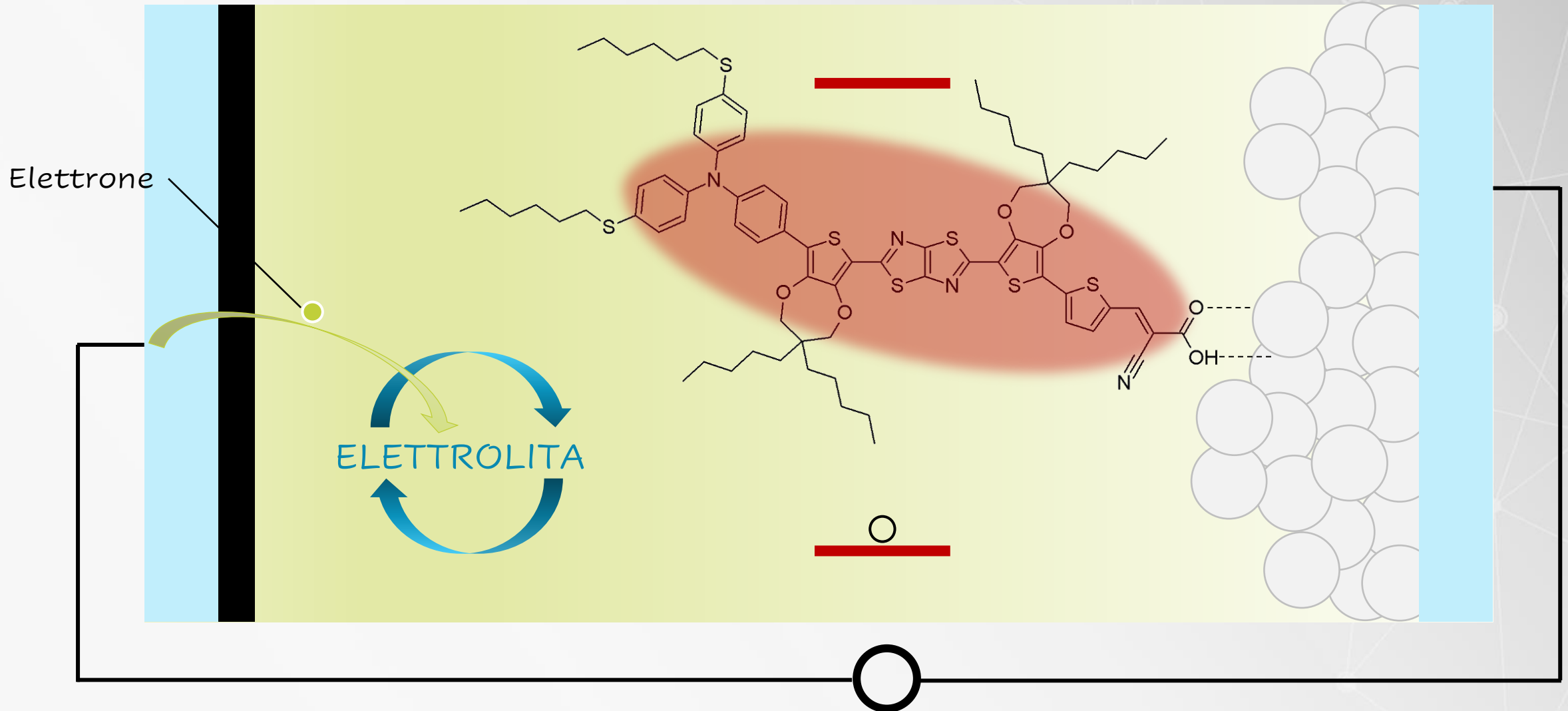
# Come funziona una DSSC

## 3. Circuito esterno



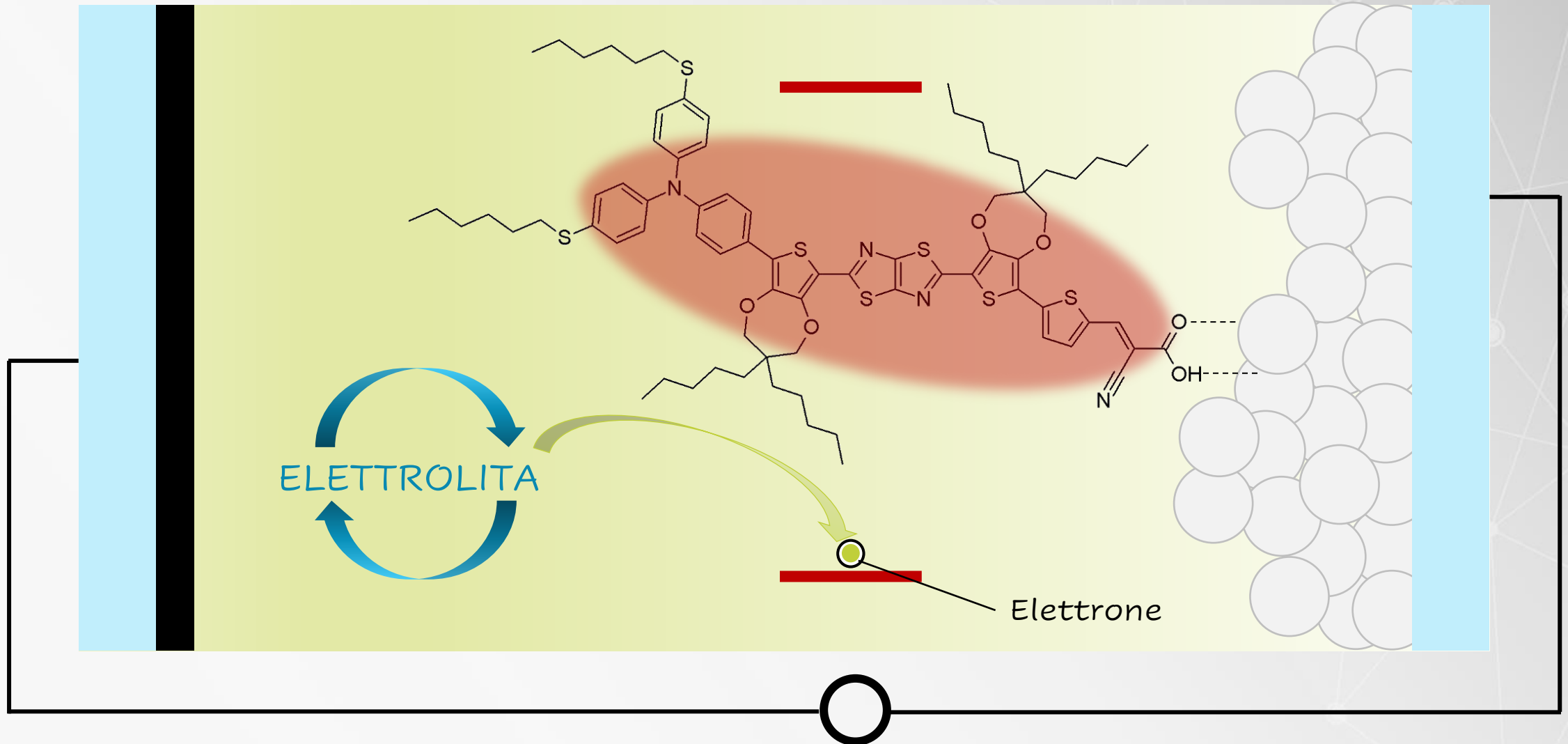
# Come funziona una DSSC

## 4. Riduzione elettrolita



# Come funziona una DSSC

## 5. Rigenerazione colorante



# La nostra ricerca

1.  
Progettazione di  
nuovi coloranti



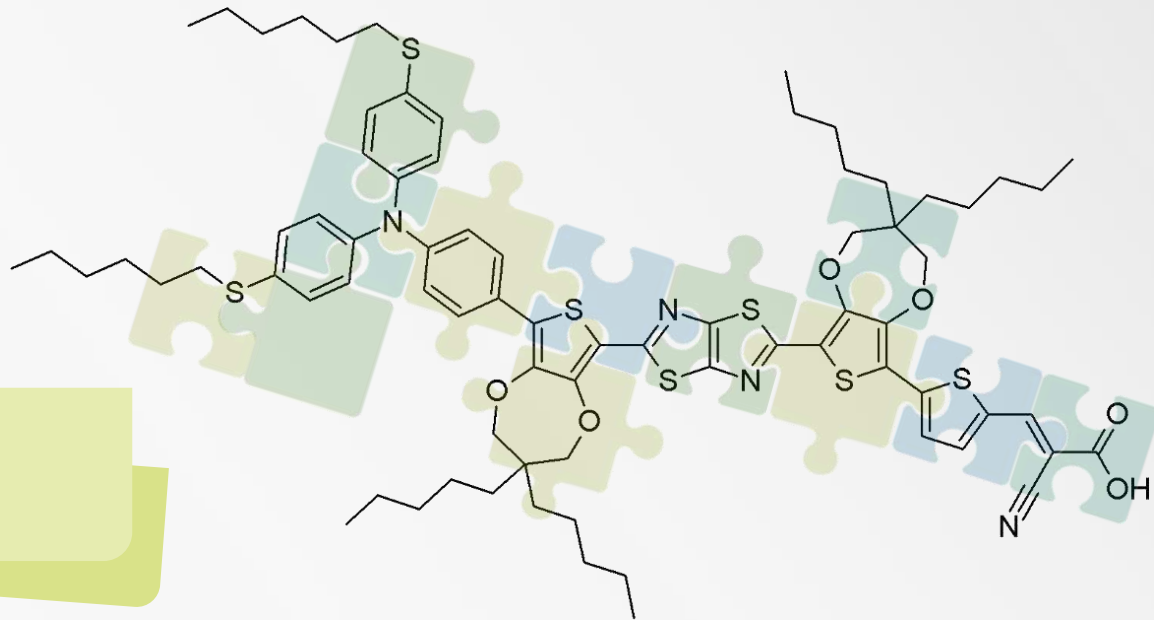


# La nostra ricerca

1.  
Progettazione di  
nuovi coloranti



2.  
Sintesi

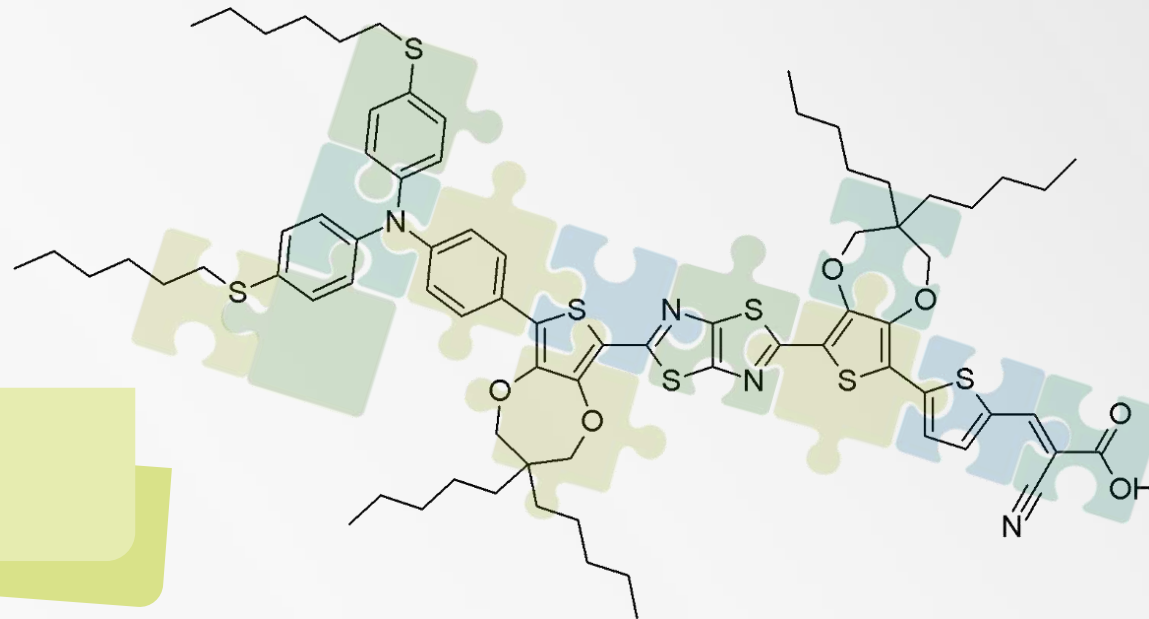


# La nostra ricerca

1.  
Progettazione di  
nuovi coloranti

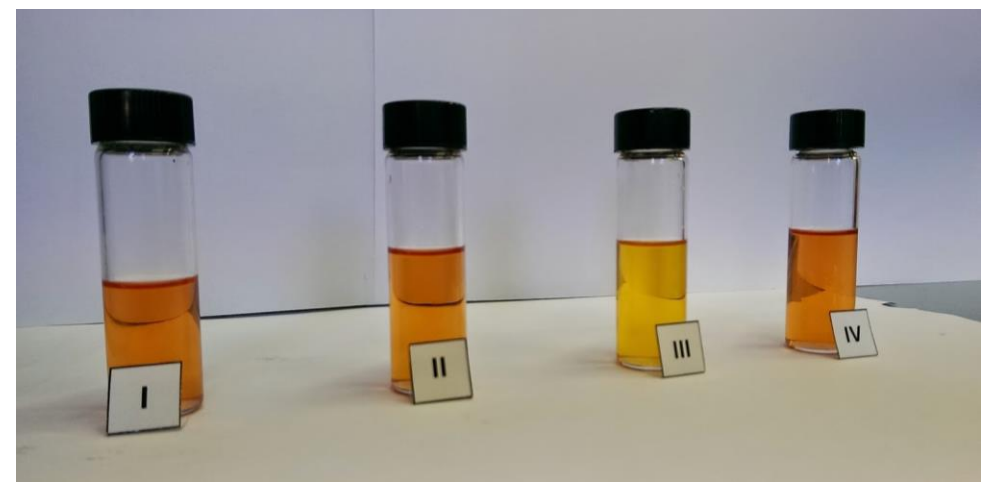
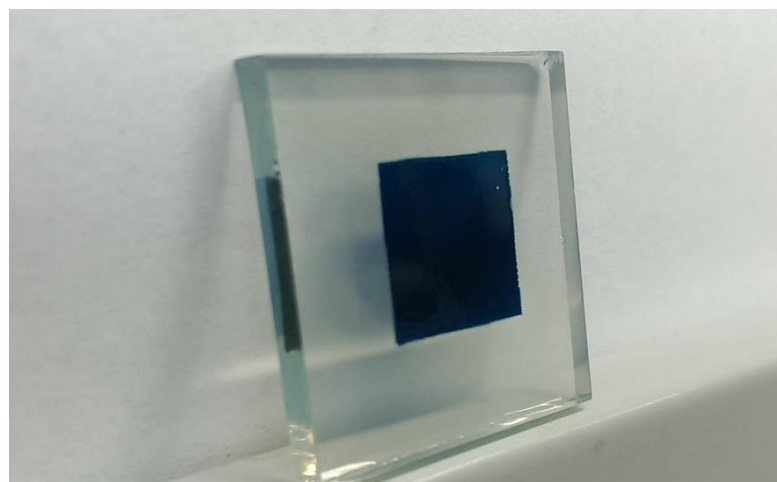
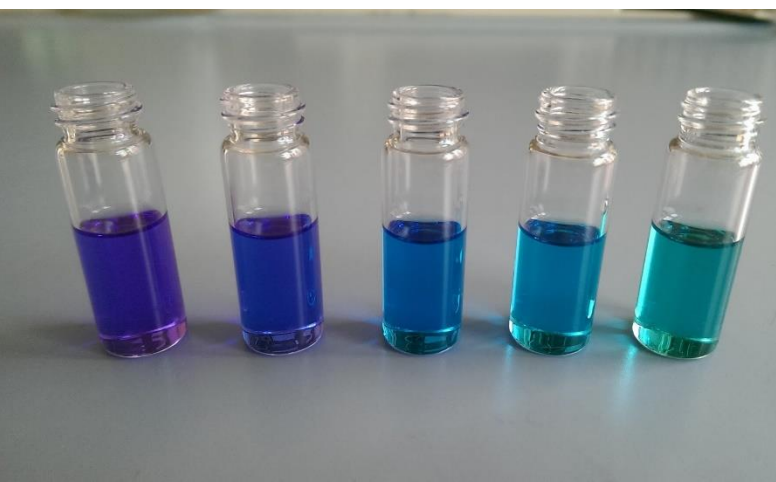
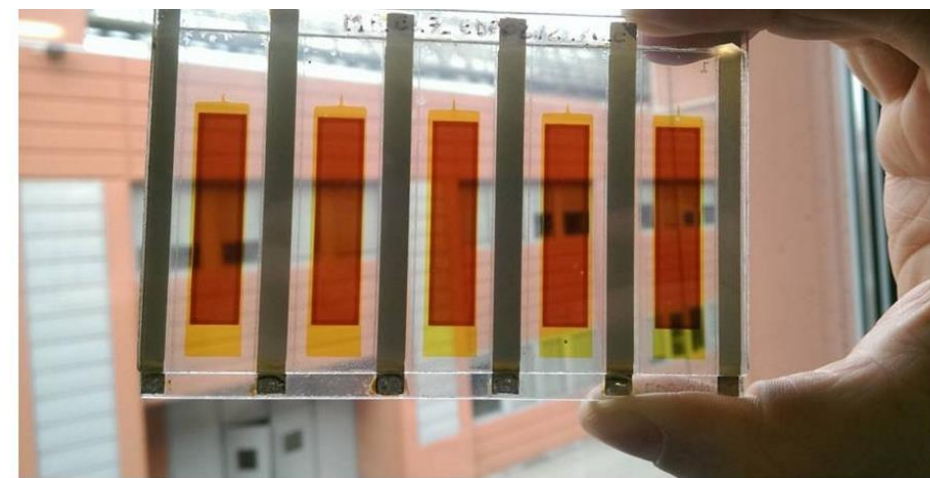
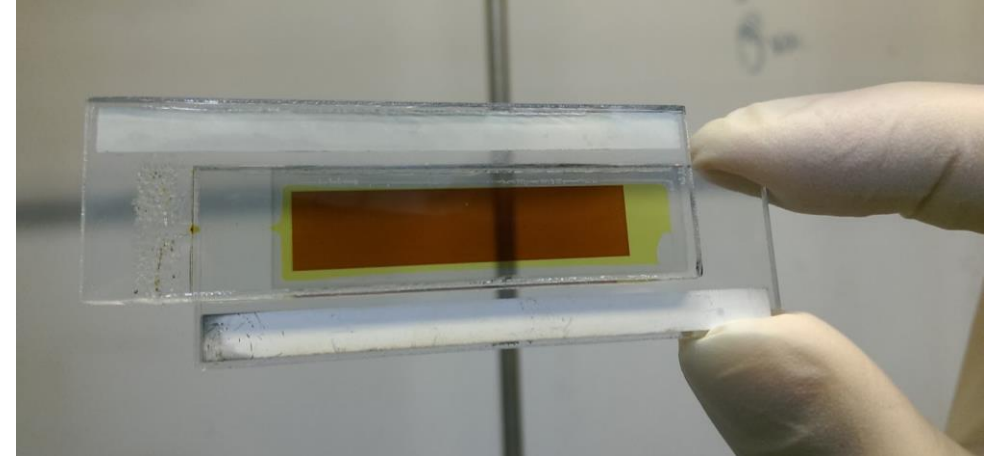
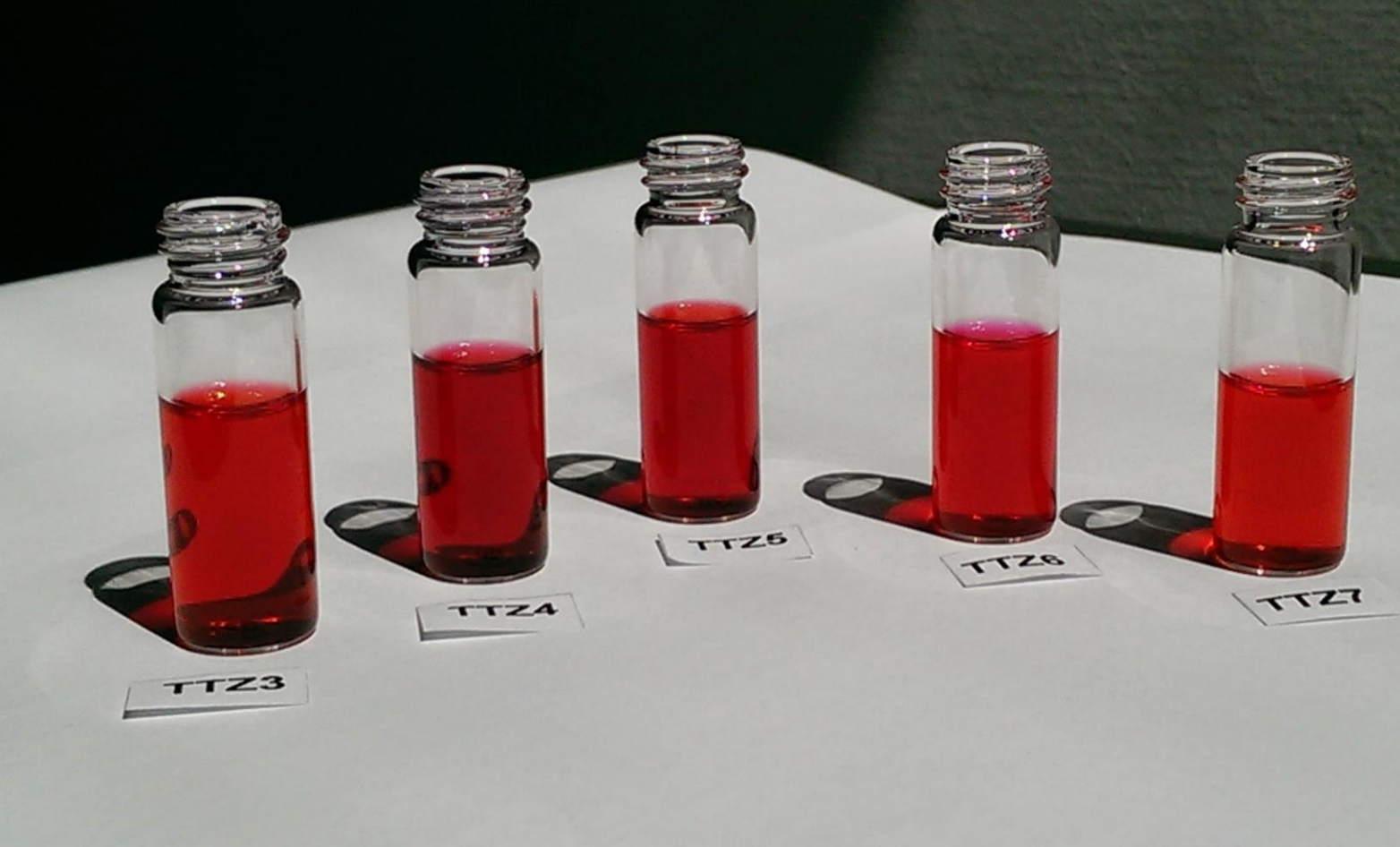


2.  
Sintesi



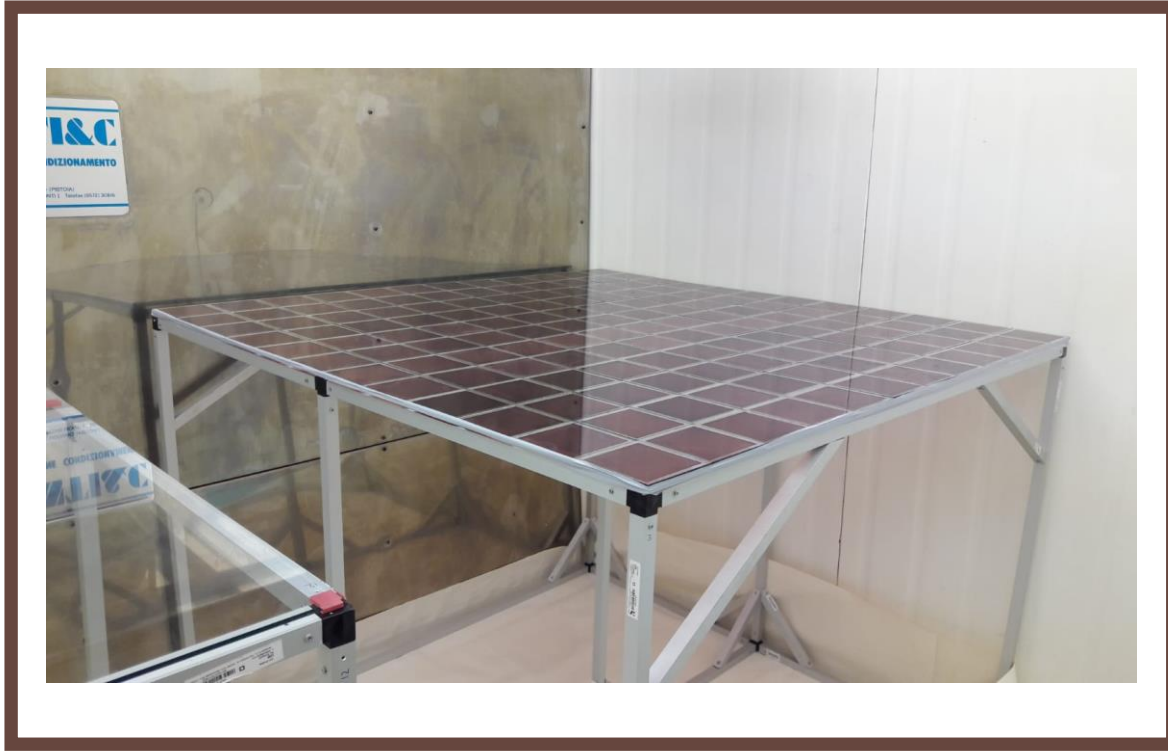
3.  
Costruzione  
delle celle







## Tetto fotovoltaico per serre



## "Smart window"

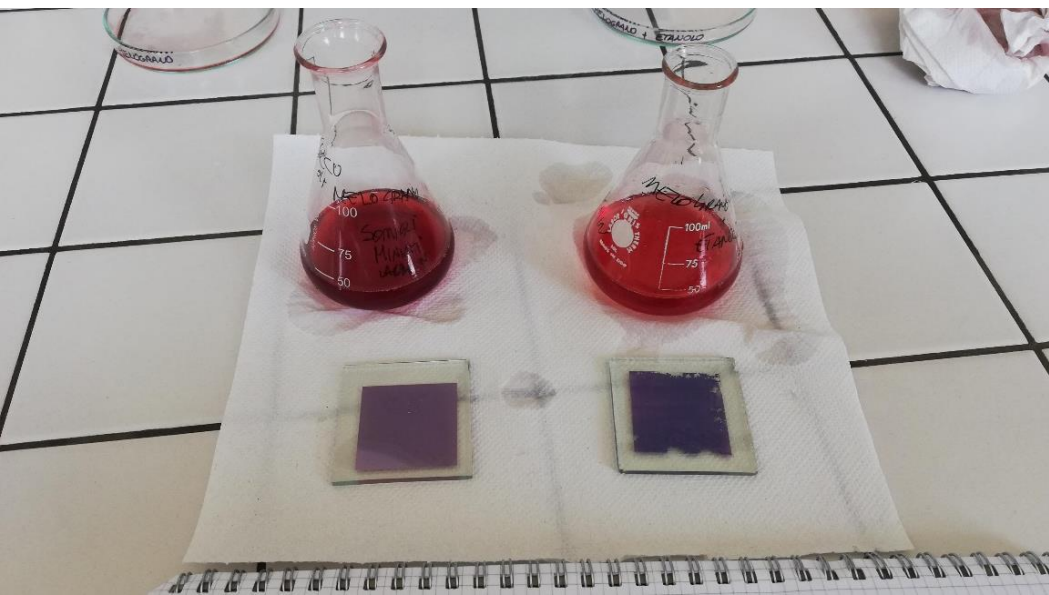


Pannello DSSC



Fibra DSSC





A  
l  
t  
e  
r  
n  
a  
n  
z  
a  
  
S  
c  
u  
o  
l  
a  
-  
L  
a  
v  
o  
r  
o



# Video: Come costruire una cella solare a coloranti



<https://www.youtube.com/watch?v=yXn9UydTmP4>



# 12 PRINCIPI DELLA GREEN CHEMISTRY

1. Prevenzione
2. Atom economy
3. Riduzione della pericolosità dei processi
4. Progettazione di prodotti non tossici
5. Uso di solventi e reagenti non pericolosi
6. Riduzione del consumo energetico
7. Uso di materie prime rinnovabili
8. Riduzione dei passaggi sintetici e dei sottoprodotti (reazioni selettive)
9. Preferenza per reazioni catalitiche
10. Uso di composti facilmente degradabili in sostanze non dannose
11. Rinnovo delle tecniche analitiche per un monitoraggio ambientale (controllo dell'inquinamento) in tempo reale
12. Progettazione di impianti e processi a rischio minimo di incidenti.



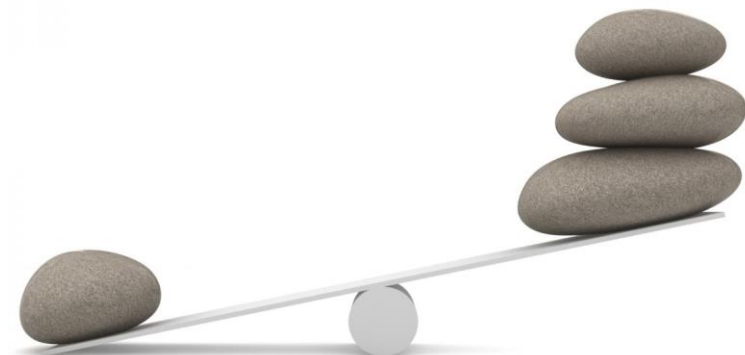
## Principio 1: PREVENZIONE

Prevenire l'inquinamento all'origine è più conveniente rispetto a doverlo trattare successivamente

## UTILIZZARE MATERIALI E TRASFORMAZIONI NON INQUINANTI

## Principio 2: ATOM ECONOMY

In una reazione si dovrebbe sempre realizzare la trasformazione completa dei reagenti in prodotti, senza produrre scarti



**IN UN PROCESSO CHIMICO IDEALE  
NON SI PERDE NEANCHE UN ATOMO !**

### Calculation of Atom Economy

$$\text{atom economy} = \frac{\text{mass of atoms in desired product}}{\text{mass of atoms in reactants}} \times 100\%$$

## Principio 3: RIDUZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEI PRODOTTI

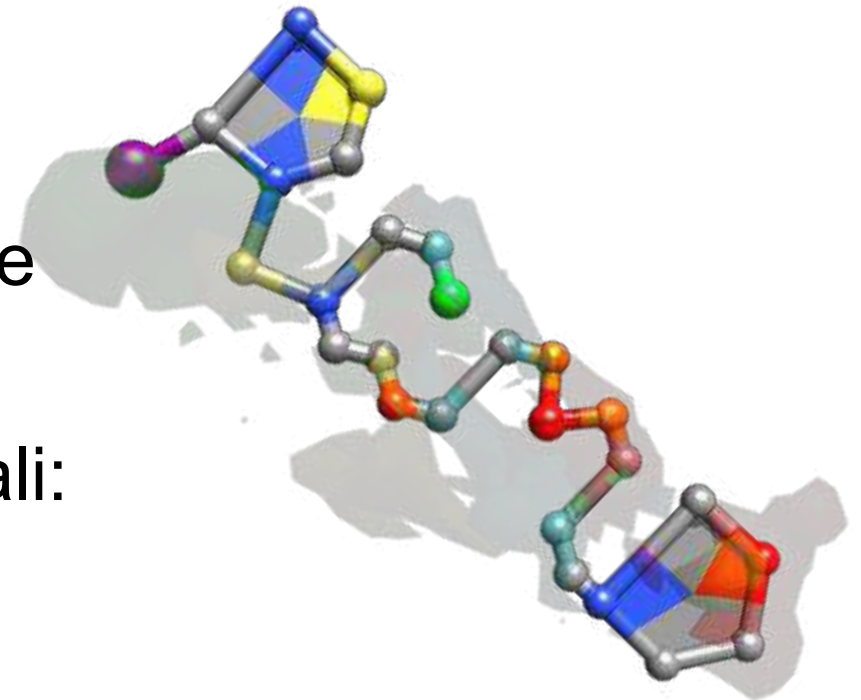
Le sintesi dovrebbero prevedere l'uso e la produzione di sostanze con una tossicità minima o nulla.



## USARE PROCESSI CON MASSIMA EFFICIENZA E MINIMA PERICOLOSITÀ

## Principio 4: PROGETTAZIONE

I materiali prodotti devono essere accuratamente progettati per svolgere la funzione desiderata, evitando o riducendo al massimo effetti collaterali: tossicità, inquinamento:



## MOLECULAR DESIGN



## Principio 5: SOLVENTI E REAGENTI

In un processo chimico il solvente contribuisce per più 85% alla produzione scorie

**SOLVENTI, ADDITIVI, ETC. DEVONO ESSERE NON TOSSICI E FACILI DA SMALTIRE**

**PROPRIETÀ IDEALI PER UN SOLVENTE:**

bassa reattività

bassa tossicità

incolore e inodore

facilmente riciclabile

non infiammabile

facilmente allontanabile

## Principio 6: RISPARMIO ENERGETICO

L'energia necessari per far avvenire un processo deve essere minimizzata in modo da ridurre il suo impatto ambientale ed

**ADOTTARE PROCEDURE CHE POSSONO ESSERE CONDOTTE IN TEMPI BREVI  
E A TEMPERATURA E PRESSIONE AMBIENTI**

## Principio 7: FONTI RINNOVABILI

Utilizzare materie prime e fonti di energia rinnovabili

**BIOMASSE, RIFIUTI, CO<sub>2</sub>, ENERGIE RINNOVABILI**



## Principio 8: RIDUZIONE DEI PASSAGGI SINTETICI

Privilegiare processi caratterizzati dal minor numero possibile di passaggi sintetici.

Per ottenere una molecola complessa, si deve eseguire un certo numero di reazioni. Ogni «passaggio» è una reazione, per la quale servono reagenti, solventi, energia, manodopera, che consuma solventi ed energia e produce scarti

**USARE REAZIONI SELETTIVE**

# Principio 9: CATALIZZATORI

L'uso di processi catalitici (possibilmente molto selettivi) è sempre da preferire

**CATALIZZATORE:** Specie che interviene durante lo svolgimento di una reazione aumentandone quindi la **velocità** e spesso anche la **selettività**  
Il catalizzatore non subisce modifiche durante la reazione e può essere **recuperato**

ATOM ECONOMY

RISPARMIO ENERGETICO

# Principio 10: COMPOSTI DEGRADABILI

Reagenti e prodotti devono essere scelti in modo da degradarsi in prodotti innocui al termine dello svolgimento della loro funzione per la quale, e non persistere nell'ambiente nella forma originaria (o trasformandosi in altri prodotti pericolosi)



## Principio 11: MONITORAGGIO AMBIENTALE

Sviluppare e usare metodi di analisi che consentano il controllo in tempo reale dei processi e del loro controllo “prima” che avvenga la formazione di eventuali sostanze pericolose

**VALUTAZIONE PREVISIONALE**

## Principio 12: SICUREZZA

Le sostanze e i processi chimici usati devono essere scelti minimizzando il **potenziale rischio di incidenti chimici**, inclusi rilasci, esplosioni e incendi

**EVITARE SOSTANZE TOSSICHE, ESPLOSIVE, INFIAMMABILI  
E CONDIZIONI DI REAZIONE PERICOLOSE**

