

Celle Solari Organiche

Realizzazione di una cella solare a base di coloranti organici

Responsabile

Attilio V. Vargiu, Dipartimento di Fisica
attilio.vargiu@gmail.com

Breve descrizione degli scopi dell'esperimento

La soluzione del problema dell'approvvigionamento energetico si presenta come una delle sfide non rimandabili per la comunità scientifica. L'attuale dipendenza dagli idrocarburi fossili (carbone, petrolio, gas), la cui combustione genera emissioni in atmosfera di agenti inquinanti pericolosi per la salute e il clima, deve essere ridotta a favore di fonti rinnovabili e non inquinanti. Varie soluzioni sono state proposte e sono in corso di studio e fra queste la tecnologia fotovoltaica, che trasforma la luce del sole in energia elettrica, appare promettente. Un solo dato serve a dare un'idea dell'importanza di tale tecnica: la disponibilità di energia solare è circa 10000 volte maggiore rispetto al consumo dell'intera umanità. A questa disponibilità si contrappone la limitata diffusione delle celle fotovoltaiche a causa del loro costo elevato. Con l'esperimento descritto nella presente scheda si vuole dimostrare che, grazie alle nanotecnologie, è possibile fabbricare celle solari con tecniche semplici e impiegando materiali poco costosi. Mentre le celle tradizionali basano il loro funzionamento sulle proprietà dei materiali semiconduttori (silicio cristallino), in questa esperienza costruiremo una cella solare di Graetzel, il cui funzionamento presenta analogie con il processo della fotosintesi clorofilliana. Gli ingredienti fondamentali sono un colorante organico, preparato dagli studenti, per assorbire la luce, e una nanostruttura porosa (TiO_2) utilizzata per aumentare l'efficienza del dispositivo. Una volta realizzata la cella, gli studenti la caratterizzeranno da un punto di vista elettrico e confronteranno i loro risultati con le caratteristiche di celle al silicio commerciali.

Fasi

- 1) descrizione dei principi di funzionamento della cella solare
 - 2) preparazione del colorante organico e dell'elettrolita
 - 3) preparazione dello strato assorbente e del controcatodo
 - 4) assemblaggio della cella
 - 5) caratterizzazione elettrica: misura della tensione e dell'intensità di corrente in funzione di:
 - potenza di illuminazione
 - sorgenti di luce utilizzate
-

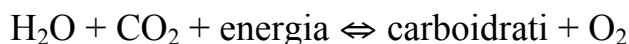
Celle solari

Introduzione e background

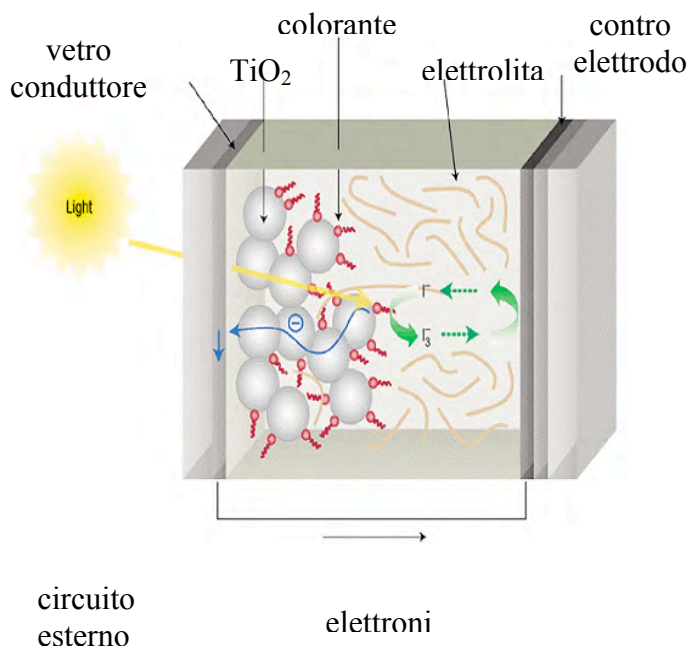
Il funzionamento e, di conseguenza, l'efficienza delle celle solari convenzionali sono fortemente dipendenti dalle tecnologie dei materiali semiconduttori (diodi, transistor, circuiti integrati, ecc.). Questo perché in tali celle la conversione della luce in elettricità avviene sfruttando l'effetto fotovoltaico, che si presenta all'interfaccia tra materiali semiconduttori. Differentemente, le cosiddette celle di Graetzel si basano su un principio diverso: l'assorbimento della luce e la separazione delle cariche (elettroni e buche) sono separati spazialmente. Il primo ha luogo grazie ad uno strato di colorante chimicamente legato a uno strato di particelle di biossido di titanio (TiO_2) interconnesse tra loro e depositate su un *vetro trasparente e conduttore* (le dimensioni di queste particelle sono di poche decine di miliardesimi di metro e sono perciò chiamate *nanocristalli*). Infatti, colpito dalla luce, il colorante trasferisce un elettrone al biossido di titanio il quale lo cede all'elettrodo (il vetro conduttore). Contemporaneamente, una carica positiva (buca) passa dal colorante a un composto mediatore che, ossidandosi (cedendo cioè un elettrone), trasporta la carica positiva fino all'altro capo della cella, al contro-elettrodo.

Il principio di funzionamento di questa cella è molto simile al meccanismo della *fotosintesi clorofilliana* e questo paragone sancisce ulteriormente l'importanza della relazione tra principi chimici, fisici e biologici.

Nella fotosintesi, le piante "fissano" l'energia della luce solare in legami chimici presenti in molecole organiche complesse, i carboidrati, che assunti e bruciati da piante e animali, rilasciano nell'atmosfera biossido di carbonio completando quel ciclo, reversibile e rinnovabile, che sta alla base della vita sulla terra:



La fotosintesi delle piante sulla terra e dei batteri negli oceani è in grado di produrre otto volte il fabbisogno energetico dell'umanità. Un rapido conto ci fornisce un altro argomento a supporto della ricerca in quest'ambito: se riuscissimo a convertire con un'efficienza del 10% l'energia solare su una superficie pari ad appena l'1% delle terre emerse, riusciremmo a produrre circa il doppio dell'attuale richiesta di energia elettrica. Tuttavia, sebbene siano costruite ogni anno celle al silicio per oltre 1 miliardo di Watt, nessuna tecnologia ha ancora soppiantato l'uso dei combustibili fossili come fonte di energia.



La cella di Graetzel

Nel suo funzionamento la cella di Graetzel richiama la fotosintesi delle piante, in quanto:

- (1) usa un colorante organico analogo alla clorofilla per assorbire la luce e produrre un flusso di elettroni;
- (2) usa strati multipli per migliorare l'efficienza sia dell'assorbimento della luce, sia della raccolta di elettroni.

La cella di Graetzel è un esempio di macchina molecolare che supera i confini della tecnologia microelettronica entrando in quel regno che è noto come nanotecnologia. Le particelle di dimensioni nanometriche di biossido di titanio (TiO_2) sono distribuite su un vetrino conduttore; l'asciugatura e il riscaldamento di questo strato producono una struttura porosa, con un'altissima area superficiale; l'immersione del vetrino nel colorante fa sì che uno strato di molecole di colorante si leghi a ciascuna particella di TiO_2 . I coloranti che possono essere utilizzati sono tutti quelli che possiedono i giusti gruppi chimici per legarsi al TiO_2 . Il dispositivo è completato da una soluzione elettrolitica che percola all'interno dei pori dell'ossido.

Lo strato di TiO_2 incrementa enormemente l'efficienza di raccolta della luce, disperdendo il colorante su una vasta area in maniera analoga a quanto avviene con la clorofilla nei cloroplasti. Poiché lo strato di colorante è molto sottile, quasi tutti gli elettroni prodotti dall'assorbimento della luce sono raccolti dal TiO_2 .

Gli elettroni perduti dalle molecole di colorante sono velocemente rimpiazzati dal mediatore, lo ione iodio presente nella soluzione elettrolitica, il quale riceve, a sua volta, elettroni dal contro-elettrodo (platino o carbonio), in modo da ripristinare il ciclo.

Le reazioni coinvolte nel processo complessivo sono le seguenti:

1. colorante + luce \Rightarrow colorante eccitato (coppia elettrone-buca);
2. colorante eccitato + $\text{TiO}_2 \Rightarrow e^-(\text{TiO}_2) + \text{colorante ossidato}$;
3. colorante ossidato + $3/2 \text{I}^- \Rightarrow \text{colorante} + 1/2 \text{I}_3^-$;
4. $1/2 \text{I}_3^- + e^-(\text{contro-elettrodo}) \Rightarrow 3/2 \text{I}^-$.

Le particelle interconnesse di biossido di titanio fungono da accettori di elettroni, lo iodio è un donatore di elettroni e il colorante funziona come una "pompa" fotochimica: nella fotosintesi, questi tre ruoli sono svolti rispettivamente dal biossido di carbonio, dall'acqua e dalla clorofilla.

Lavoro sperimentale

Componenti per ciascuna cella:

- 2 vetrini conduttori;
- 3 – 4 gocce di TiO_2 in sospensione acquosa;
- colorante;
- 2 gocce di soluzione elettrolitica;
- Soluzione Platisol o grafite.

Strumenti necessari per l'assemblaggio della cella:

- nastro adesivo;
- 2 clips (o una morsa metallica);
- 1 foglio di plastica lucida;
- forno.

Preparazione

Vetrini conduttori:

- determinare con un multimetro la faccia conduttrice di una lastrina.

TiO_2 in sospensione acquosa (in alternativa a questa preparazione si può usare una pasta di titania colloidale già pronta):

- 3 g di TiO_2 ;
- aggiungere 5 ml di acido nitrico (pH 3-4): 1 ml alla volta, macinando attentamente fino ad ottenere una crema senza grumi, della consistenza di una vernice densa;
- trasferire la sospensione dal mortaio al crogiuolo e lasciarla riposare per circa 15 minuti.

Colorante (in alternativa a questa preparazione si può usare una soluzione di colorante sintetico già pronta):

- scegliere 2 - 3 more o lamponi;
- una volta scongelati schiacciarli leggermente su un vetro d'orologio usando una spatola (se necessario, aggiungere qualche goccia d'acqua);
- in alternativa, avvolgerli nello straccio di cotone e strizzarli facendo gocciolare il succo sul vetro d'orologio.

Soluzione elettrolitica (in alternativa a questa preparazione si può usare una soluzione elettrolitica già pronta):

- 1 ml di etilen glicole;
- aggiungere 12.7 mg di I_2 e agitare;
- aggiungere 83 mg di KI;
- agitare e conservare al buio.

Procedura

Preparazione dello strato assorbente.

1. Prendere due lastrine di vetro conduttore e lavarle con acetone o isopropanolo per rimuovere l'eventuale sporco. In particolare, il grasso della pelle può contaminarne le superfici, per cui è opportuno maneggiare le lastrine con le pinzette o tenendole per i bordi. Asciugarle delicatamente con il panno di cotone.
2. Con il multimetro, determinare il lato conduttore di ciascuna piastrina.
3. Orientare una lastrina con la faccia conduttrice rivolta verso l'alto: questa faccia sarà ricoperta dal biossido di titanio; capovolgere la seconda lastrina con la faccia conduttrice rivolta verso il basso, accanto alla prima (vedi figura 1A). In questo stadio, la seconda lastrina aiuta semplicemente il processo di ricopertura della prima.

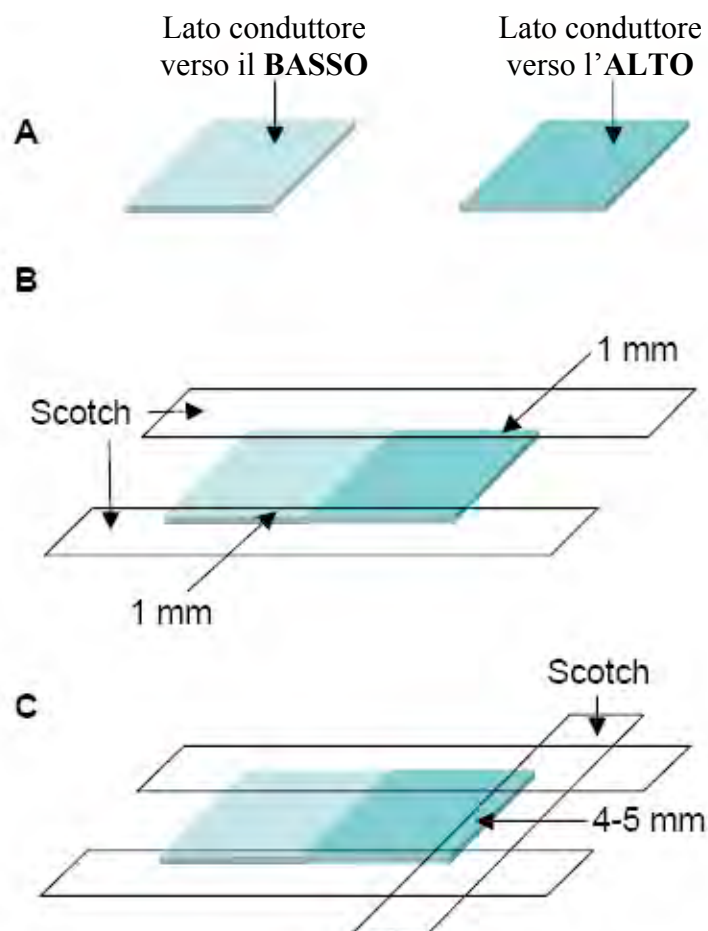


Figura 1.

4. Applicare due pezzi di scotch (lunghi circa 6-7 cm) sui bordi lunghi delle lastrine, in modo che queste ultime siano coperte per un tratto non più lungo di 1 mm (figura 1B).
5. Applicare un altro pezzo di scotch sul lato corto della lastrina che sarà ricoperta di TiO_2 , per circa 4-5 mm (figura 1C). In questo modo, non solo le due lastrine si fissano a un piano d'appoggio, ma lo scotch crea anche una sorta di "vasca" profonda 40-50 μm che verrà riempita dal biossido di titanio, lasciando uno spazio utile per i contatti.

6. Depositare 2-3 gocce della sospensione di TiO_2 sulla lastrina con la faccia conduttrice rivolta verso l'alto (figura 2A) e stenderle sul vetrino con la bacchetta di vetro o una pipetta pasteur, in modo da coprirlo in maniera uniforme (figura 2B). La tecnica più efficace è quella di partire dal centro con il movimento della bacchetta (non deve rotolare) fino all'estremità con il nastro adesivo e quindi tornare indietro portando il TiO_2 in accesso sulla seconda lastrina.

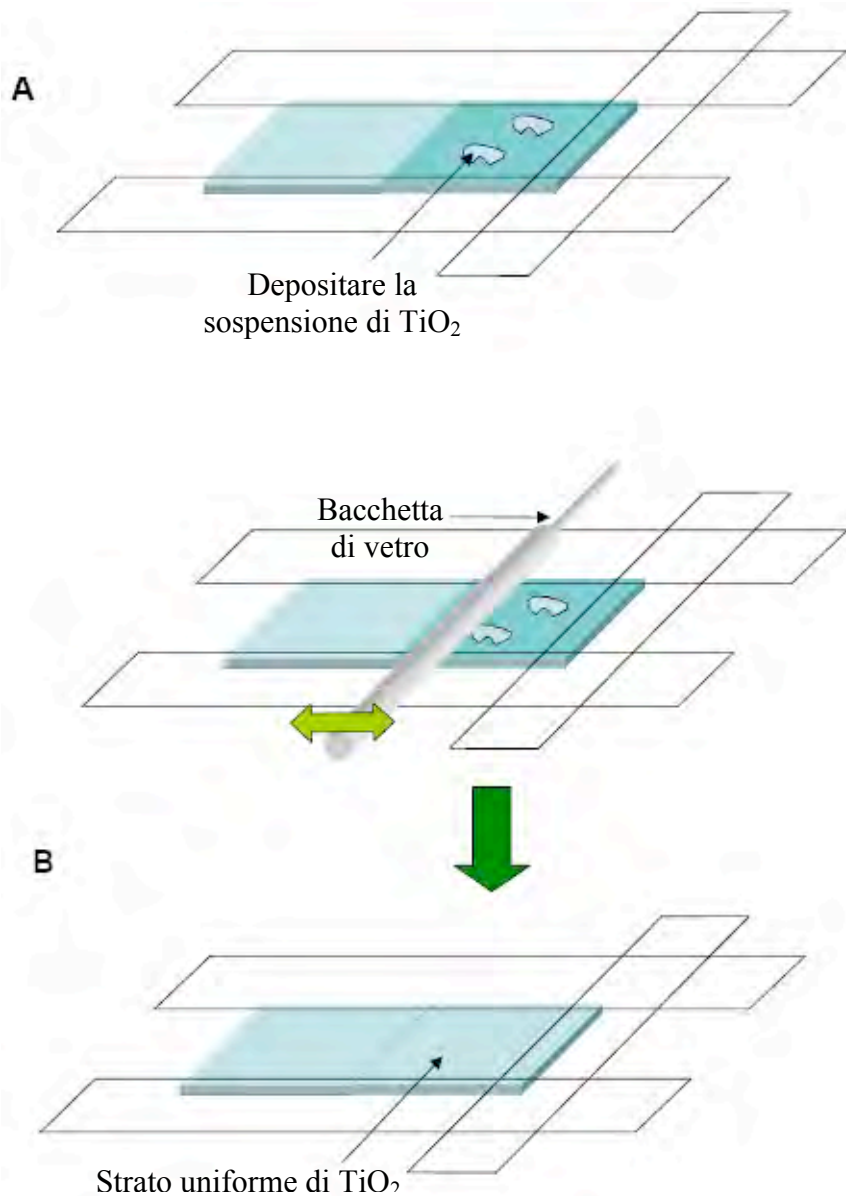


Figura 2.

Qualora lo strato non fosse omogeneo, è possibile ripetere la procedura dopo aver rimosso delicatamente l'ossido già depositato.

7. Una volta terminato, rimuovere lo scotch e lasciare asciugare all'aria per circa 1 min; pulire la seconda lastrina dall'eventuale ossido in eccesso, come al punto 1.
8. Il vetrino con lo strato di ossido è pronto per essere *sinterizzato* in forno a 450°C , per 10 minuti.
9. Lasciare raffreddare il vetrino sulla *navicella* (un raffreddamento rapido potrebbe far spaccare il vetro o lo strato di ossido).

10. Immergere il vetrino nel succo o nel colorante organico sul vetrino d'orologio, tenendo la faccia coperta di ossido rivolta verso il basso, per circa 30 minuti (figura 3). Al termine di tale operazione, il colore bianco del TiO_2 non dovrebbe essere più rilevabile sul vetrino, anche guardandolo dal sotto. In caso contrario, immergere il vetrino nuovamente nel succo per altri 30 minuti. Se sono previste due sessioni in giorni successivi, ci può lasciare l'elettrodo a bagno per un giorno intero, a patto che il contenitore sia sigillato per evitare l'evaporazione.

In ogni caso, è opportuno lasciare il vetrino immerso nel colorante fino a quando non si è pronti ad assemblare la cella.



Fig.3.

Preparazione del contro-elettrodo.

11. Se necessario, determinare nuovamente il lato conduttore della seconda lastrina e coprirlo con uno strato di carbonio, usando una matita morbida o affumicando il vetro sulla fiamma della candela (figura 4).



Fig.4.

ATTENZIONE! sia l'acetone che l'isopropanolo sono altamente infiammabili, non usarli vicino a fiamme libere.

In alternativa, si può ricoprire il lato conduttore del vetrino con uno strato di platino, spennellando la soluzione Platisol. Lo strato di carbonio o platino così depositato agisce da catalizzatore per la reazione di rigenerazione dello iodio (reazione 4) e deve perciò coprire interamente il vetrino.

Assemblaggio della cella.

12. Rimuovere il vetrino con l'ossido di titanio dal colorante e lavarlo con acqua e quindi con isopropanolo o acetone; per un corretto funzionamento della cella di Graetzel è importante che non siano presenti tracce d'acqua sullo strato di TiO_2 /colorante prima di aggiungere la soluzione elettrolitica. Se così non fosse, sciacquarlo nuovamente con isopropanolo o acetone e asciugarlo delicatamente con un tessuto.
13. Appoggiare il primo vetrino su una superficie piana con il lato con lo strato di ossido/colorante rivolto verso l'alto e adagiare delicatamente sopra di esso il contro-elettrodo con lo strato di carbonio rivolto verso il basso (figura 6A), lievemente sfalsato in modo da lasciare esposto il bordo scoperto della prima lastrina (figura 6B). Le due estremità libere, di 4-5 mm di lunghezza, serviranno come contatti elettrici.

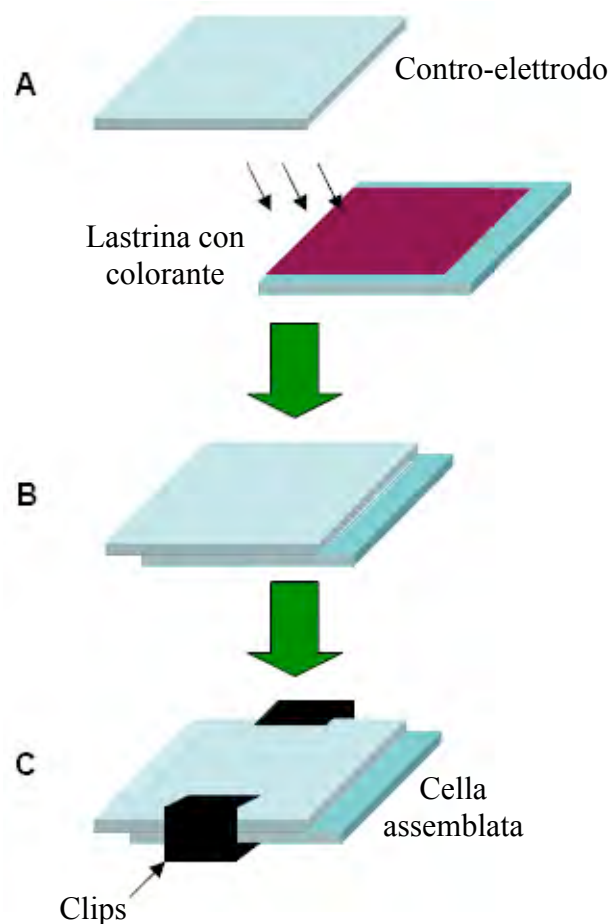


Figura 6.

ATTENZIONE! Lo strato di TiO_2 è sufficientemente ruvido da poter grattare via il carbonio dall'altro elettrodo.

Per una sigillatura più precisa si può utilizzare un foglio di plastica trasparente (Fig. 7), ritagliare delle strisce lungo i bordi, pressare tra loro i due vetrini con una morsa e lasciar saldare in un forno a 120 gradi per 15 minuti.

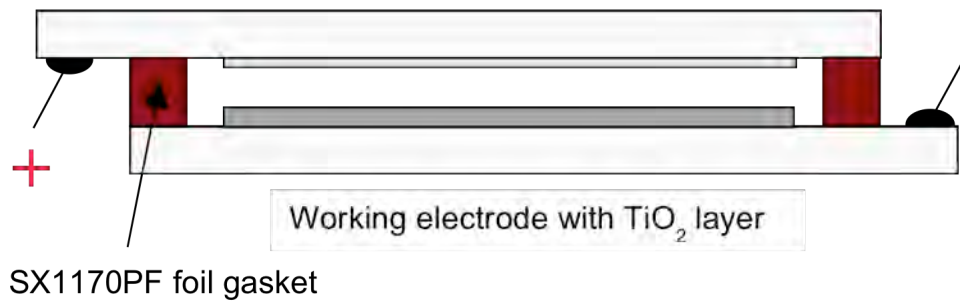


Figura 7.

14. Sollevare i due vetrini mantenendoli nella loro posizione e bloccarli con due clips (figura 6C).
15. Depositare 1 o 2 gocce di soluzione elettrolitica sul bordo del dispositivo: per azione capillare, il liquido bagnerà completamente lo strato di ossido di titanio tra i due vetrini (per favorire questo processo è utile togliere e rimettere alternativamente le due clips).
16. Rimuovere l'eccesso di elettrolita usando un bastoncino di cotone bagnato con isopropanolo o acetone: è importante che l'elettrolita sia completamente rimosso dalle aree esposte dei due vetrini.

La cella di Graetzel così assemblata è pronta per la caratterizzazione elettrica.

Caratterizzazione elettrica

Dopo aver misurato con un righello le dimensioni dell'area attiva della cella di Graetzel, collegarla con i coccodrilli al multimetro: l'elettrodo negativo è il vetrino coperto di TiO_2 (cavo nero), mentre quello positivo è il contro-elettrodo (cavo rosso). È così possibile misurare la differenza di tensione ai capi della cella e la corrente massima prodotta. Per ottenere la curva completa tensione vs. corrente, si collega la cella a un potenziometro a carico variabile, raccogliendo e mettendo in grafico i valori di tensione e corrente al variare della resistenza.