

Tecnologie Digitali - Logbook Week 8

Salvatore Bottaro¹ and Lorenzo M. Perrone²

¹salvo.bottaro@hotmail.it

²lorenzo.perrone.lmp@gmail.com

Sommario—Logbook di laboratorio di Tecnologie Digitali, a.a. 2015/2016. Week 8.

Le celle fotovoltaiche al silicio consentono di convertire in corrente elettrica la radiazione luminosa incidente. La responsività spettrale dipende dalla struttura cristallina del silicio.

A. Hm. 1

Come si vede in figura 1 e 2, il silicio amorfo è in grado di convertire in corrente elettrica fotoni con lunghezza d'onda fra i 350 e 800 nm, con un picco di responsività sul giallo-verde, mentre il silicio cristallino copre un più ampio spettro da 350 nm a 1200 nm, con picco per lunghezze d'onda intorno ai 900 nm.

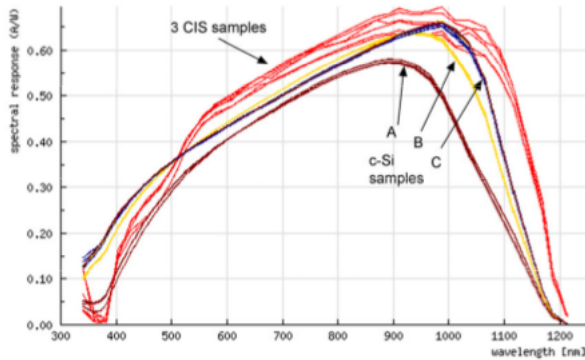


Figura 1: Responsività spettrale di celle fotovoltaiche con silicio amorfo e monocristallino.

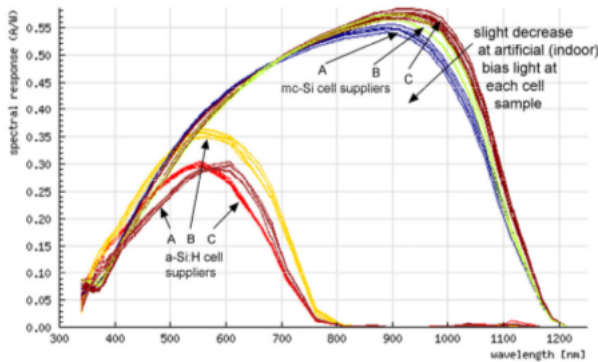


Figura 2: Responsività spettrale di celle fotovoltaiche con silicio multicristallino.

B. Hm. 2

Fra silicio cristallino e amorfo vi è una notevole differenza anche per quanto riguarda l'efficienza. In figura 3 è riportato il confronto in termini di efficienza di varie celle fotovoltaiche con diversi tipi di silicio (amorfo, cristallino, ...) in funzione della luminosità in condizioni standard (STC), ovvero il flusso luminoso è limitato a 1000 lux con spettro AM1.5. Si nota come il silicio amorfo ha un'efficienza maggiore che decresce meno rapidamente a basse luminosità rispetto al silicio cristallino. Questa differenza è attribuita al fatto che il silicio amorfo possiede una resistenza di shunt naturalmente più alta.

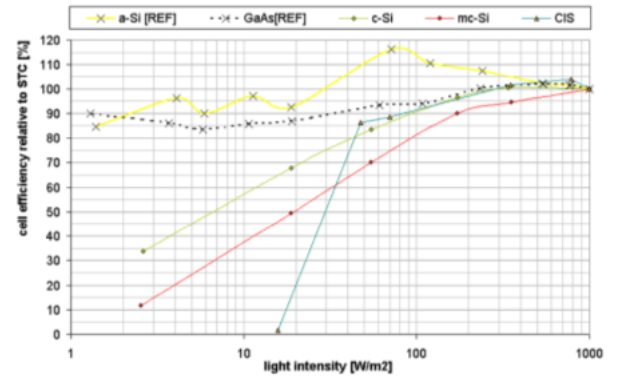


Figura 3: Efficienza di vari tipi di celle fotovoltaiche in funzione della luminosità incidente in *Standard Test Condition*.

Infatti una cella fotovoltaica è schematizzata dal circuito equivalente in figura 4. Pertanto una resistenza di shunt più alta, come nel caso del silicio amorfo, fa sì che una percentuale maggiore della fotocorrente generata (nello schema quella erogata dal generatore di corrente) passi nel circuito di carico e non rimanga nella fotocellula. Di fatti una delle caratteristiche per cui una cella fotovoltaica è considerata ideale è proprio a resistenza di shunt infinita.

Il modello di Shockley insieme alla conservazione della carica forniscono il seguente sistema di equazioni per la descrizione del circuito:

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{q(V - IR_s)}{kT}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$I = I_L - I_D - \frac{V - IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

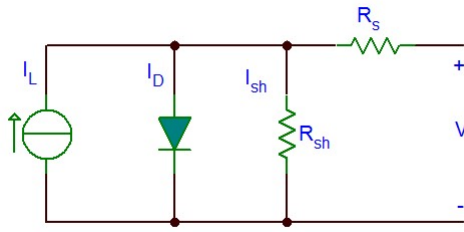


Figura 4: Circuito equivalente di una cella fotovoltaica.

I. MISURA DELLA CARATTERISTICA I-V DI UNA CELLA FOTOVOLTAICA

Abbiamo simulato il circuito con TINA secondo lo schema in figura 5, ottenendo i grafici per le caratteristiche I-V e P-V al variare della resistenza del potenziometro.

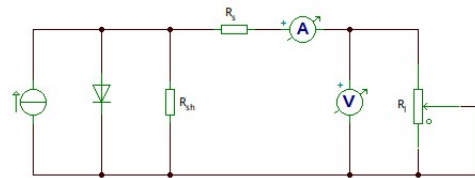


Figura 5: Circuito per la simulazione con TINA

In figura 6 e 7 sono riportati i grafici simulati, in cui si è posto $I_L = 10$ mA, $R_{sh} = 5$ k Ω , $R_s = 10$ Ω e la resistenza è stata variata da 0 a 500 Ω (che corrisponde con il range di resistenze ottenibili con il potenziometro disponibile in laboratorio). Dalla caratteristica P-V si nota che per un certo valore della resistenza di carico si ha un massimo per la potenza erogata dalla cella. Tale resistenza la si ottiene dal rapporto $\frac{V}{I}$ alla corrispondente tensione.

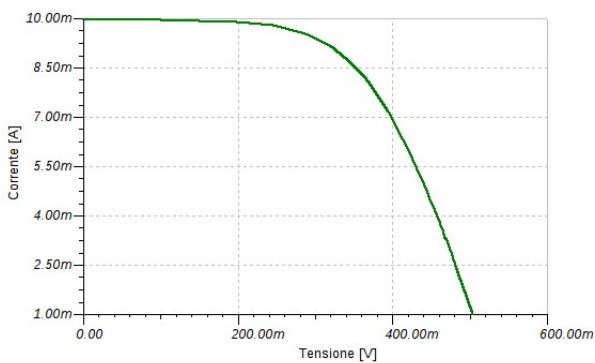


Figura 6: Caratteristica I-V simulata della cella fotovoltaica

All'aumentare della resistenza di shunt i grafici precedenti non cambiano molto, dal momento che la cella fotovoltaica si avvicina al comportamento ideale, già ben approssimato con i valori precedenti. Riducend tale resistenza a 100 Ω i grafici cambiano significativamente, come si vede in figura 8 e 9. Chiaramente la potenza massima trasferita diminuisce

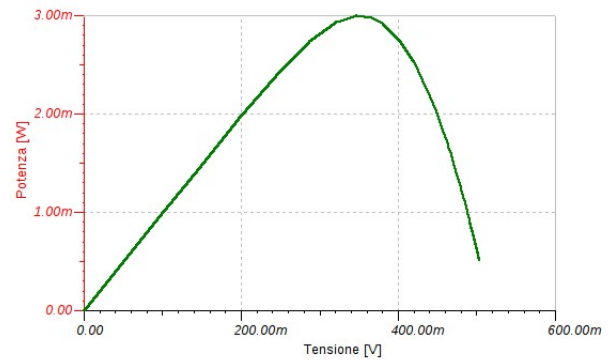
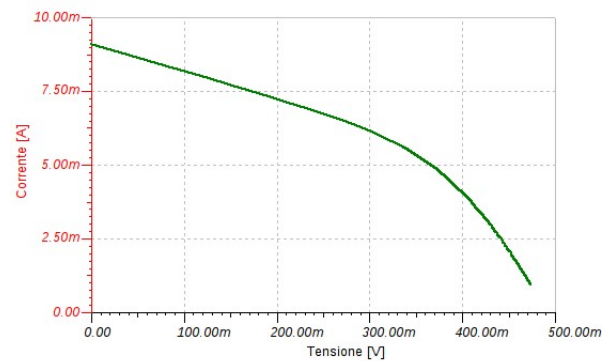
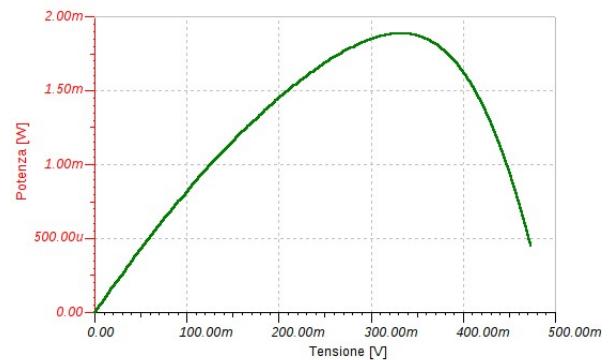


Figura 7: Caratteristica P-V simulata della cella fotovoltaica

poichè una quantità maggiore di corrente scorre sul ramo di shunt. Aumentando R_s si ottengono effetti analoghi, con una potenza massima ulteriormente diminuita (meno di 1 mW) e la caratteristica I-V diventa completamente lineare.

Figura 8: Caratteristica I-V simulata con $R_{sh} = 100 \Omega$ Figura 9: Caratteristica P-V simulata con $R_{sh} = 100 \Omega$

Abbiamo realizzato infine sulla breadboard il circuito secondo lo schema in figura 10. Il potenziometro impiegato aveva come resistenza minima $R_{min} = 2.5(2)\Omega$ e come resistenza massima $R_{max} = 502\Omega \pm 0.8\%$, abbiamo inoltre preso $R_1 = 2.5(1)\Omega$.

Tramite il VI Vin_DC2ch sono state acquisite le tensioni alla CB33 e CB68, la prima, nota R_1 , fornisce la corrente che

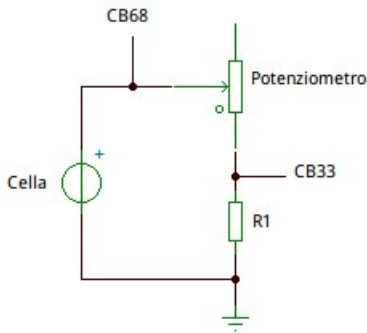


Figura 10: Schema del circuito realizzato sulla breadboard.

Tabella I: Valori di tensioni e correnti in varie condizioni.

Condizioni	Tensione (mV)	Corrente (mA)
Luce lab	88	0.205
Luce lab (res max)	102	0.186
Luce lab (res min)	2	0.540
Cella oscurata	0	0.029
Led (res min)	26	8.12
Led (res max)	408	0.67
Led (5 cm)	287	0.488
Con flash (res min)	32	9.81

scorre nel circuito di carico, le seconda la tensione ai capi della cella. In tabella I sono riportate le misure fatte con il VI in diverse condizioni.

Come si vede da queste prime misure il comportamento della cella non contraddice l’andamento previsto, in particolare le misure fatte variando la resistenza del potenziometro.

Tramite il VI `Potenza_celle` abbiamo tracciato la caratteristica I-V e P-V campionando le tensioni alle porte analogiche variando progressivamente la resistenza dell’amperometro. In figura 11 sono mostrate le curve caratteristiche della cella alla luce ambientale. Come si vede l’andamento ottenuto non coincide con quello in figura 6, ma è più lineare. A livello di simulazione con TINA si è verificato che nelle stesse condizioni, abbassando la corrente del generatore il grafico diventava sempre più lineare.

Abbiamo fatto la stessa prova esponendo la cella alla luce di una lampada al led. Le curve ottenute si possono vedere in figura 12. Questa volta il grafico è molto più simile a quello della prima simulazione, corrispondentemente alla maggiore fotocorrente generata.

Dai grafici è possibile ottenere una stima della resistenza di carico ottimale. Nel primo caso si ha che la potenza massima è erogata a $V = 0.307(7)$ V, cui corrisponde una corrente di $0.075(3)$ mA, da cui la resistenza BOH. Nel secondo caso invece si ha $V = 5.4(2)$ V e $I = 0.28(1)$ mA, da cui $R = BOH$

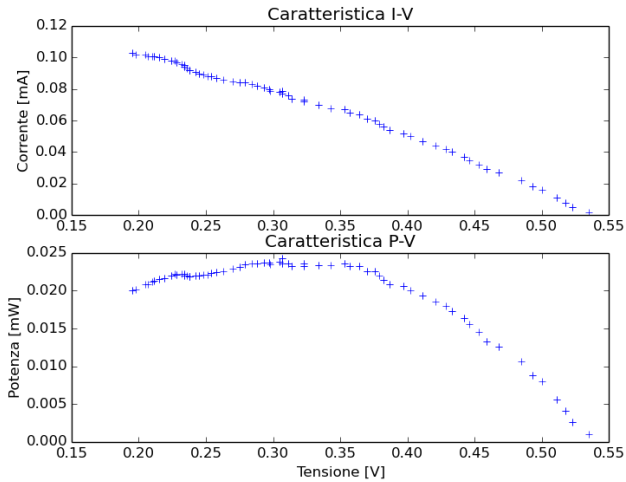


Figura 11: Curve caratteristiche della cella alla luce del laboratorio.

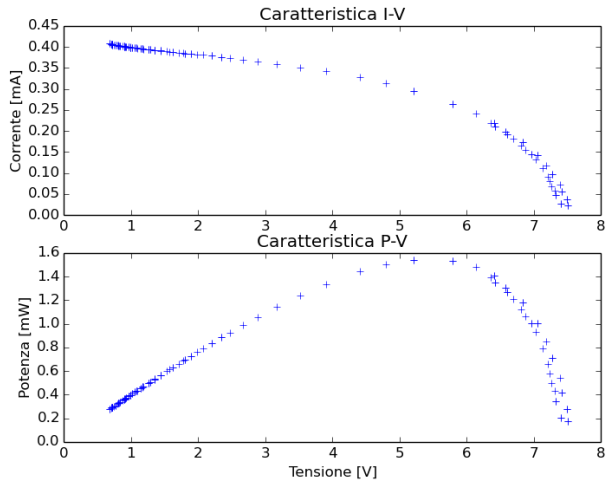


Figura 12: Curve caratteristiche della cella alla luce del laboratorio.