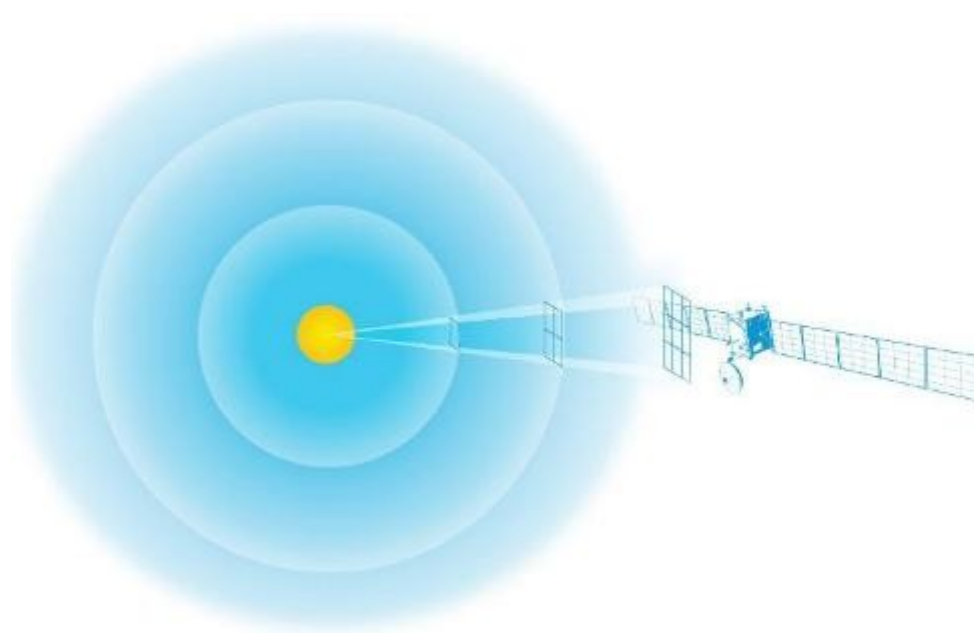


Fisica | P09

A scuola con lo spazio

→ ENERGIA DALLA LUCE SOLARE

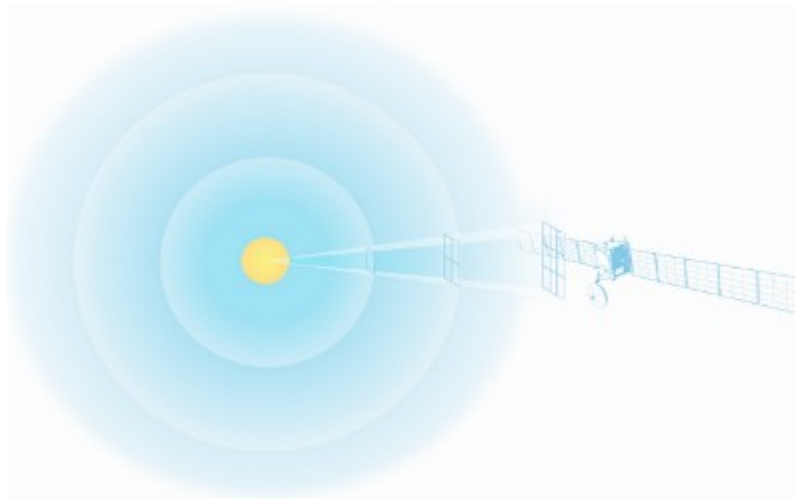
Alimentare l'esplorazione spaziale con energia solare



Guida per insegnanti e schede di lavoro per studenti

European Space Agency

Traduzione e
adattamento ESERO Italia



Guida per insegnanti

Fatti in breve	pag 3
Riepilogo delle attività	pag 4
Introduzione	pag 5
Attività 1: La legge dell'inverso del quadrato	pag 7
Attività 2: L'angolo di incidenza	pag 9
Attività 3: Esplorare lo spazio con energia	pag 11
Foglio di lavoro per studenti	pag 14
Link utili	pag 23
Allegato 1: Legge dell'inverso del quadrato	pag 24
Allegato 2: Angolo di incidenza	pag 26

A scuola con lo spazio – Energia dalla luce solare | P09

www.esa.int/education

L'Ufficio Istruzione ESA accoglie feedback e commenti
teachers@esa.int

Una produzione ESA Education
Copyright 2018 © Agenzia Spaziale Europea

→ ENERGIA DALLA LUCE SOLARE

Alimentare l'esplorazione spaziale con energia solare

Fatti in breve

Materia: Fisica

Fascia d'età: 14-18 anni

Tipo: attività per studenti

Difficoltà: media

Costo: basso

Tempo di preparazione: 1 ora

Durata della lezione: 1 ora e 30 minuti (più 20 minuti per assemblare l'esperimento)

Luogo: in aula

Include l'uso di: celle solari

Parole chiave: energia solare, legge dell'inverso del quadrato, intensità della luce, angolo di incidenza, Sistema Solare

Breve descrizione

In questo set di attività, gli studenti impareranno due concetti che influenzano la progettazione dei pannelli solari nelle missioni spaziali: la legge dell'inverso del quadrato e l'angolo di incidenza. Gli studenti eseguiranno due semplici indagini utilizzando una cella fotovoltaica e una sorgente luminosa. Misureranno come la potenza prodotta dalle celle solari varia con la distanza dalla sorgente e cercheranno di recuperare sperimentalmente la legge dell'inverso del quadrato per l'intensità luminosa. Gli studenti condurranno quindi un secondo esperimento per indagare la dipendenza dell'energia emessa dalla cella solare rispetto all'angolo di incidenza. Infine, applicheranno questi concetti alle missioni spaziali dell'ESA.

Obiettivi di apprendimento

- Capire e calcolare l'intensità della luce.
- Capire l'angolo di incidenza.
- Imparare cosa sono le celle solari.
- Eseguire esperimenti pratici per indagare la legge dell'inverso del quadrato dell'intensità luminosa e l'impatto dell'angolo di incidenza della luce.
- Analizzare i dati e metterli in un grafico.
- Costruire semplici circuiti elettrici usando celle solari.
- Imparare cosa sono la differenza di potenziale elettrico, la corrente elettrica, la potenza e l'intensità della luce.
- Esplorare e comprendere quali sono le esigenze di energia solare nelle missioni spaziali.

→ Riepilogo delle attività

	Titolo	Descrizione	Risultati	Requisiti	Durata
1	La legge dell'inverso del quadrato	Studio della legge dell'inverso del quadrato dell'intensità luminosa attraverso un esperimento.	Comprendere la legge sull'inverso del quadrato e come Influenza l'output energetico delle celle solari.	Nessuno	20 minuti per la costruzione 30 min per l'attività
2	L'angolo di incidenza	Indagine sull'angolo di incidenza attraverso un esperimento.	Capire cos'è l'angolo di Incidenza e come influenza la potenza di output di celle solari.	Consigliato il completamento attività 1	30 min
3	Esplorazione dello spazio con l'energia solare	Esercitazione con la legge dell'inverso del quadrato nelle missioni spaziali ESA.	Comprendere vantaggi e svantaggi dell'energia solare per l'esplorazione spaziale.	Consigliato il completamento attività 1	30 min

→ INTRODUZIONE

L'energia solare viene spesso utilizzata per alimentare le missioni spaziali perché è l'unica fonte di energia che non necessita di essere lanciata con il veicolo spaziale e può alimentare il veicolo per diversi anni. In questa risorsa, si parlerà di due fattori importanti che devono essere considerati nella progettazione dei pannelli solari per missioni spaziali: la legge dell'inverso del quadrato e l'angolo di incidenza.

Legge dell'inverso del quadrato

La legge dell'inverso del quadrato afferma che il valore di una grandezza fisica è inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla fonte di quella quantità fisica. Uno degli esempi più famosi è la legge dell'inverso del quadrato dell'intensità luminosa; il flusso ricevuto da una sorgente luminosa è inversamente proporzionale alla distanza al quadrato dalla sorgente luminosa. Per la luce, il flusso è la quantità di potenza irradiata attraverso una determinata area. Per una sorgente luminosa sferica, come il Sole, il flusso è lo stesso dell'**intensità della radiazione** (I). Il Sole emette luce uniformemente in tutte le direzioni, quindi l'intensità della radiazione seguirà la legge dell'inverso del quadrato con la distanza dal Sole. La legge dell'inverso del quadrato per questo caso è riassunta nella seguente equazione:

$$I_0 \propto \frac{1}{r^2}$$

I = intensità della radiazione dal Sole

r = distanza dal Sole

Ciò significa che, se un pianeta o una sonda spaziale si trova al doppio della distanza dal Sole rispetto alla Terra, l'intensità della radiazione solare sarà solo un quarto di quella misurata sulla Terra (Figura 1).

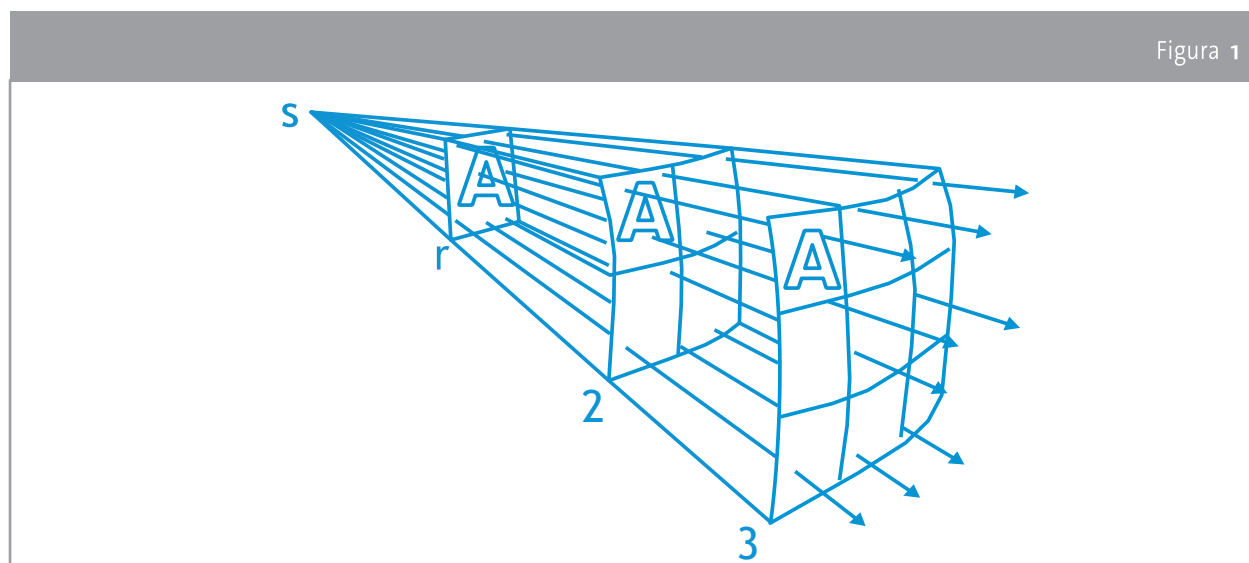


Figura 1

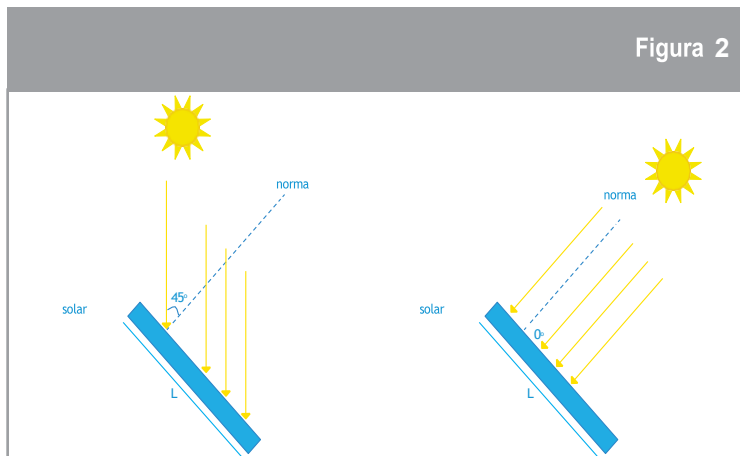
↑ Il Sole al punto S emette luce uniformemente in tutte le direzioni. Se a una certa distanza r la luce passa attraverso un'area A , quando la distanza raddoppia ($2r$) l'area quadruplica ($4A$) e quando la distanza triplica l'area diventa $9A$.

Comprendere la legge dell'inverso del quadrato ha importanti implicazioni per le missioni spaziali alimentate da pannelli solari. Più una sonda a energia solare è lontana dal Sole, maggiore deve essere l'area dei suoi pannelli solari per soddisfare gli stessi requisiti di energia.

Angolo di incidenza

L'angolo di incidenza θ della luce solare su un pannello solare è anch'esso un fattore importante per la generazione di energia. Un pannello solare raccoglierà l'energia solare in modo più efficiente quando i raggi solari sono perpendicolari alla superficie del pannello, con un angolo di incidenza di 0° , perché massimizza l'area effettiva di raccolta (vedi Figura 2). Per un pannello solare di lunghezza L , l'area effettiva di raccolta è uguale a $L \cdot \cos(\theta)$, quindi l'intensità incidente sul pannello solare è anch'essa $L \cdot \cos(\theta)$.

Per le missioni spaziali, l'angolo di incidenza della luce solare è un fattore critico. Molti veicoli spaziali sono dotati di pannelli solari rotanti per ridurre l'angolo di incidenza della luce solare e massimizzare la produzione di energia.



↑ Un angolo di incidenza di 45° (sinistra) e 0° (destra). L'angolo di incidenza è l'angolo tra i raggi solari incidenti e la normale rispetto ai pannelli solari (con lunghezza L). Quando i raggi solari sono perpendicolari al pannello solare, hanno un angolo di incidenza di 0° .

Energia solare per missioni spaziali

Esempi di come la legge dell'inverso del quadrato e l'angolo di incidenza influenzino l'ingegneria delle missioni spaziali.

Rosetta

La missione di ESA Rosetta viaggiò per più di 10 anni per incontrare la Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko. Nel punto più lontano del suo viaggio, Rosetta si trovava a 800 milioni di chilometri dal Sole, dove i livelli di luce solare sono solo il 4% di quelli ricevuti dalla Terra. Fu la prima missione a viaggiare oltre la fascia principale degli asteroidi affidandosi esclusivamente alle celle solari per la generazione di energia. I suoi pannelli solari si estendevano per 32 metri e avevano una superficie totale di 64 m^2 (vedi Figura 3).



↑ Sonda Rosetta con una delle sue due ali solari completamente dispiegata.

BepiColombo

Figura 4



ESA-C. Carreau, CC BY-SA 3.0 IGO

[↑](#) [Dispiegamento dell'ala solare del Modulo di Trasferimento BepiColombo Mercury.](#)

Gran parte della luce in ingresso che raggiunge i pannelli solari viene convertita in calore. La missione BepiColombo dell'ESA verso Mercurio ha volato vicino al Sole e quindi l'effetto riscaldamento è molto grande. Se i pannelli solari di BepiColombo puntassero direttamente verso il Sole per più di qualche secondo, i materiali si danneggerebbero e i pannelli solari smetterebbero di funzionare. Per mantenere i pannelli solari più freschi (circa 200°C) sono inclinati lontano dal Sole. Per produrre l'energia elettrica necessaria per BepiColombo, i pannelli solari dovrebbero essere molto più grandi rispetto ai dati calcolati usando solo la legge dell'inverso del quadrato. Per BepiColombo i pannelli solari devono essere di 42 m^2 (vedi Figura 4).

→ ATTIVITÀ 1 - LA LEGGE DELL'INVERSO DEL QUADRATO

In questa attività pratica, gli studenti calcoleranno la potenza di un pannello solare misurando la differenza di corrente elettrica e potenziale elettrico e cercheranno di recuperare la legge dell'inverso del quadrato dalle loro misurazioni sperimentali.

Materiale

- Foglio di lavoro degli studenti e Allegato 1 stampati per ogni gruppo
- Una scatola scura (aperta da un'estremità)
- Cavi elettrici
- Nastro adesivo
- Sorgente luminosa (piccola lampadina, 4,5V, 0,3A)
- Righello
- Asta da 30 cm (ad esempio un bastone di legno)
- Materiale per bloccare la luce (ad esempio una spugna, un panno)
- Amperometro e voltmetro (o multimetro)
- Clip coccodrillo

Esercizio

Dividere gli studenti in gruppi da 3 a 4 studenti. Distribuire il foglio di lavoro degli studenti e l'Allegato 1 a ciascun gruppo. Prima di iniziare l'esperimento, introdurre gli studenti al concetto di intensità della radiazione.

Preparazione dell'esperimento

Per prima cosa, gli studenti dovranno organizzare l'esperimento. Chiedere loro di completare i passaggi da 1 a 9, dell'Allegato 1. Al passaggio 9, assicurarsi che gli studenti segnino la distanza zero quando la sorgente luminosa tocca la cella solare. Dopo aver completato la fase di preparazione, gli studenti dovrebbero assicurarsi che tutte le attrezzature funzionino e siano collegate correttamente.

Esperimento

Gli studenti dovrebbero effettuare le misurazioni della differenza di potenziale elettrico (U) e della corrente elettrica (I), seguendo i passaggi dal 10 al 12 nell'Allegato 1, e registrare i dati nella Tabella 1 del foglio di lavoro degli studenti.

Prima di effettuare la prima misurazione, gli studenti dovrebbero ritrarre la barra di almeno 5 cm. Per ogni misura successiva, gli studenti dovrebbero ritrarre la sorgente luminosa di 1 cm fino a raggiungere circa 30 cm. Idealmente, gli studenti dovrebbero misurare da 20 a 30 distanze diverse. È possibile utilizzare intervalli più ampi, ma la diminuzione della potenza può essere troppo rapida per osservare la legge dell'inverso del quadrato, la variazione dipende dalla sorgente luminosa e dalle celle solari. Si consiglia di testare le distanze ottimali prima di fare l'esperimento con gli studenti.

Gli studenti dovrebbero ripetere le loro misurazioni altre due volte e calcolare la media. Discutere con gli studenti l'affidabilità dei risultati e del processo scientifico. Chiedere agli studenti di completare la Tabella 1 del loro foglio di lavoro calcolando la potenza di uscita:

$$P(W) = I(A) * U(V)$$

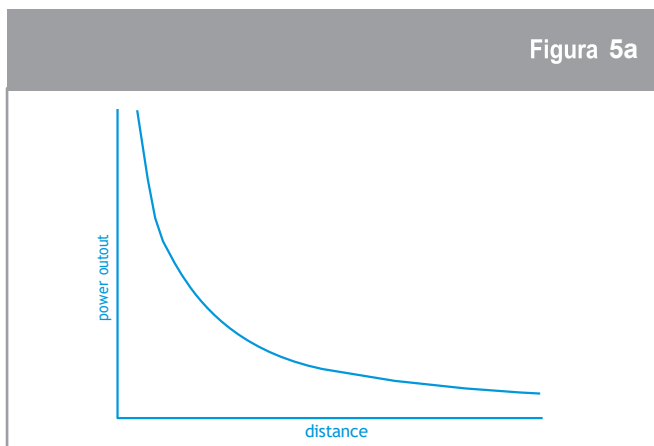
Risultati

Analizzando questi risultati, si può assumere che la potenza prodotta dalle celle solari sia direttamente proporzionale alla potenza ricevuta dalla cella solare (potenza prodotta = potenza ricevuta x efficienza della cella). La potenza ricevuta è proporzionale all'intensità luminosa della sorgente luminosa (perché intensità = potenza/area, e l'area rimane la stessa durante tutto l'esperimento). Pertanto, si può dire che la potenza prodotta dalla cella fotovoltaica è proporzionale all'intensità della luce.

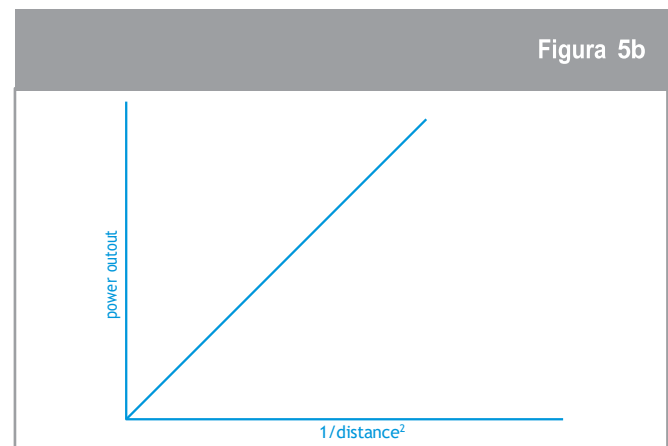
Per rispettare la legge dell'inverso del quadrato, la potenza prodotta dal pannello solare (P) dovrebbe essere proporzionale all'inverso della distanza al quadrato (r).

$$P \propto \frac{1}{r^2}$$

Per analizzare i dati, gli studenti dovrebbero rappresentare la potenza in funzione della distanza (Figura 5a) e la potenza come funzione di 1/distanza² (Figura 5b); il secondo grafico dovrebbe produrre una linea retta.



↑ Grafico atteso per la potenza di uscita rispetto alla distanza.



↑ Grafico atteso per la potenza di uscita rispetto a 1/distanza².

Gli studenti non possono recuperare esattamente una legge dell'inverso del quadrato. Di seguito ecco alcuni fattori che possono influenzare i risultati:

- La scatola potrebbe non essere completamente scura e le fluttuazioni della luce esterna influenzano le misurazioni.
- In questa configurazione, la misurazione della distanza può avere un grande errore.
- Potrebbe esserci scattering interno della luce.
- La resistenza interna della cella solare può variare durante l'esperimento.
- Le misurazioni vicine alla cella solare potrebbero non seguire la legge dell'inverso del quadrato perché la sorgente luminosa non può essere approssimata a una sorgente puntuale.

Come conclusione, gli studenti dovrebbero identificare che se raddoppiamo la distanza dalla sorgente luminosa, è necessario avere pannelli solari 4 volte più grandi per generare la stessa quantità di energia.

→ ATTIVITÀ 2: L'ANGOLO DI INCIDENZA

In questa attività, gli studenti impareranno l'importanza dell'angolo di incidenza e i benefici di posizionare in modo ottimale le celle solari. Attraverso un esperimento, misureranno come l'angolo di incidenza influenzi la potenza erogata.

Materiali

- Scheda di lavoro degli studenti e Allegato 2 stampati per ogni gruppo
- Configurazione sperimentale dall'attività 1 (vedi Allegato 2)
- Bastone per ruotare la cella solare
- Goniometro

Esercizio

Per questa attività, gli studenti dovrebbero nuovamente essere in gruppi da 3 a 4. Distribuire il foglio di lavoro degli studenti e l'Allegato 2 a ciascun gruppo. Prima di iniziare l'esperimento, introdurre gli studenti al concetto di angolo di incidenza.

Preparazione dell'esperimento

L'Attività 2 è una continuazione dell'Attività 1. Gli studenti dovranno aggiornare il proprio apparato sperimentale in modo da poter inclinare il pannello solare verso un angolo specifico. Gli studenti dovrebbero adattare l'esperimento dall'Attività 1 seguendo i passaggi da 1 a 7 nell'Allegato 2.1.

Se gli studenti non hanno già svolto l'Attività 1, dovrebbero seguire le istruzioni dell'Allegato 1 per assemblare l'esperimento, dal passaggio 1 al 7 saltando il 5, e poi seguire le istruzioni dell'Allegato 2.

Prima di iniziare le misurazioni, gli studenti dovrebbero assicurarsi che tutte le attrezzature funzionino e siano collegate correttamente.

Esperimento

Gli studenti dovrebbero prendere le misure come descritto nei passaggi dall'8 al 10 dell'Allegato 2 e registrarle nella Tabella 2 del foglio di lavoro degli studenti. Gli studenti dovrebbero ripetere le misurazioni altre due volte, assicurandosi di mantenere tutte le condizioni simili e calcolare la potenza media per ogni angolo di incidenza.

Risultati

Chiedere agli studenti di tracciare la potenza media in funzione dell'angolo di incidenza.

Gli studenti dovrebbero recuperare, dai loro dati, che la potenza erogata è maggiore quando il pannello solare è perpendicolare ai raggi luminosi (angolo di incidenza = 0°).

Sebbene la lettura attesa quando la cella solare è parallela alla sorgente luminosa (angolo di incidenza = 90°) se in linea di principio fosse zero, questo non verrà recuperato, principalmente a causa della dispersione della luce all'interno della scatola.

Anche se la lampada luminosa è spenta, una corrente residua misurabile nel circuito (corrente scura) può comunque esistere. Quando si eseguono esperimenti scientifici che richiedono misurazioni di precisione, i valori devono essere corretti sottraendo questo errore dalle letture.

Se gli studenti inclinano le loro celle solari per avere angoli di incidenza = -30° , -60° e -90° , dovrebbero recuperare valori simili, perché il sistema è simmetrico. Sperimentalmente, questo dipenderà da quanto bene il sistema sia allineato.

Alcune delle fonti di errore sono già state menzionate nell'Attività 1. In questa attività, dobbiamo anche considerare l'incertezza nella misurazione dell'angolo e l'allineamento del pannello solare nella scatola come potenziali fonti di errore.

Per concludere, gli studenti dovrebbero rispondere alla domanda 9 del foglio di lavoro, rilevando che per massimizzare l'output di potenza del pannello solare, l'angolo di incidenza dovrebbe essere vicino a 0° . Possono proporre un meccanismo di tracciamento del sole con pannelli solari che ruotano e si inclinano in base al movimento apparente del Sole.

In questi esperimenti l'effetto riscaldamento è trascurabile, poiché l'energia totale della lampadina è di pochi watt. Per i veicoli spaziali che volano vicino al Sole, come BepiColombo, l'effetto riscaldamento è notevole e ha un impatto significativo sulla progettazione della missione. Un altro aspetto da considerare è che i pannelli solari sulla Terra possono essere raffreddati dall'aria, cosa che non avviene nel vuoto dello spazio.

→ ATTIVITÀ 3: ESPLORARE LO SPAZIO CON ENERGIA SOLARE

In questa attività, gli studenti si eserciteranno nell'uso della legge dell'inverso del quadrato applicata alle missioni reali dell'ESA. Gli studenti scopriranno come le proprietà di questa legge influenzino la dimensione dei pannelli solari e come l'angolo di incidenza sia di importanza critica per le missioni che si avvicinano al Sole.

Risultati

1. L'intensità luminosa ricevuta alla distanza media della Terra dal Sole (I_{Terra}) può essere calcolata usando la legge dell'inverso del quadrato e i valori forniti nel foglio degli studenti:

$$I_{Terra} = \frac{3.828 \cdot 10^{26} \text{ W}}{4\pi(1.5 \cdot 10^{11} \text{ m})^2} = 1354 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

2. A una distanza di 45 milioni di km dal Sole l'intensità luminosa è calcolata come:

$$I_{BepiColombo} = \frac{3.828 \cdot 10^{26} \text{ W}}{4\pi(4.5 \cdot 10^{10} \text{ m})^2} = 15043 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$
$$I_{BepiColombo} = 11 I_{Terra}$$

A questa distanza dal Sole l'intensità luminosa è 11 volte maggiore rispetto a quella della Terra. I danni causati dal calore ai pannelli solari sarebbero stati significativi, se la loro superficie non fosse stata inclinata permanentemente lontano dal Sole. Per questo motivo la loro superficie reale, 42m², è molto più grande di quella che avrebbero avuto se fossero stati rivolti verso il Sole.

3. La sonda Rosetta dell'ESA ha seguito una traiettoria che lo ha portato a 800 milioni di km dal Sole. A questa distanza l'intensità luminosa si calcola come:

$$I_{Rosetta} = \frac{3.828 \cdot 10^{26} \text{ W}}{4\pi(8 \cdot 10^{11} \text{ m})^2} = 47.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$
$$I_{Rosetta} = 0.035 I_{Terra}$$

L'intensità della luce a 800 milioni di km dal Sole è circa il 3,5% dell'intensità della luce alla distanza della Terra dal Sole.

4. Sebbene alimentati da celle solari ad alta efficienza, i pannelli solari di Rosetta avevano un'efficienza variabile tra il 18% e il 26%. Unito alla bassa intensità luminosa nel punto più lontano dell'orbita, i pannelli solari di Rosetta dovevano avere una superficie molto ampia di 64m². Assumendo che l'unica variabile sarebbe la differenza di intensità luminosa se Rosetta fosse stata in orbita alla distanza della Terra, l'area dei pannelli solari sarebbe solo:

$$A_{Terra} = 0.035 \cdot 64 \text{ m}^2 = 2.24 \text{ m}^2$$

5. Usando la legge dell'inverso del quadrato, l'intensità luminosa alla distanza di Saturno è data da:

$$I_{Saturn} = \frac{3.828 \cdot 10^{26} \text{ W}}{4\pi(1.4 \cdot 10^{12} \text{ m})^2} = 15.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Simile al calcolo per la distanza terrestre: $I_{Rosetta} = 3.1 I_{Saturno}$

Ciò significa che i pannelli solari dovrebbero essere 3,1 volte più grandi, a una distanza di 1,4 miliardi di km, rispetto agli 800 milioni di km dal Sole.

$$A_{\text{Saturno}} = 3,1 * 64 \text{ m}^2 = 198,4 \text{ m}^2$$

6. I requisiti energetici di Cassini-Huygens sono 2,2 volte maggiori rispetto a quelli di Rosetta ($885 \text{ W} / 395 \text{ W} = 2,2$) e quindi utilizzava una fonte di energia nucleare chiamata generatore termoelettrico radioisotopico. Se avesse utilizzato invece pannelli solari, l'area dell'impianto solare avrebbe dovuto essere 2,2 volte più grande del valore calcolato nella domanda 4.

$$A_{\text{Cassini-Huygens}} = 2,2 * 198,4 \text{ m}^2 = 436,5 \text{ m}^2$$

7. I pannelli solari hanno una massa per metro quadrato di:

$$\frac{51,2 \text{ kg}}{64 \text{ m}^2} = 0,8 \text{ kg m}^{-2}$$

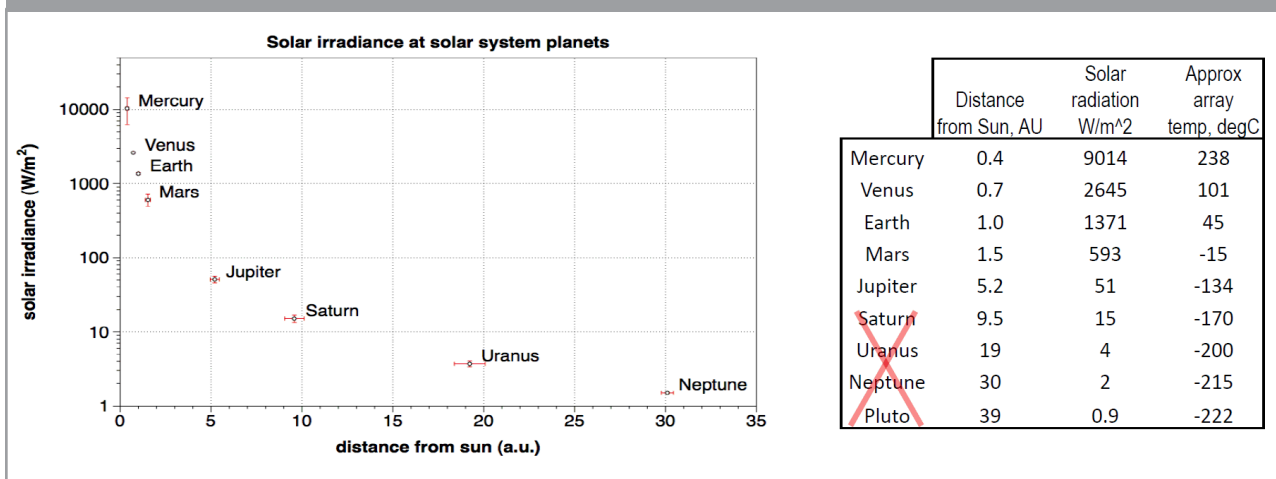
La massa totale dei pannelli solari necessari per alimentare Cassini sarebbe quindi approssimativa:

$$0,8 \text{ kg m}^{-2} * 436,5 \text{ m}^2 = 349,2 \text{ kg}$$

I generatori termoelettrici radioisotopici pesavano 56,4 kg.
L'aumento di massa sarebbe stato di 292,8 kg.

8. L'energia solare è molto importante perché è una fonte di energia rinnovabile e perché non viene lanciata con la navicella spaziale. A causa della legge dell'inverso del quadrato, l'intensità della luce diminuisce rapidamente con la distanza dal Sole (vedi Figura 6). Ciò significa che sono necessari impianti solari più grandi per fornire i requisiti di energia a bordo più lontani dal Sole e che a distanze oltre Giove è di fatto troppo buio per usare energia solare.

Figura 6



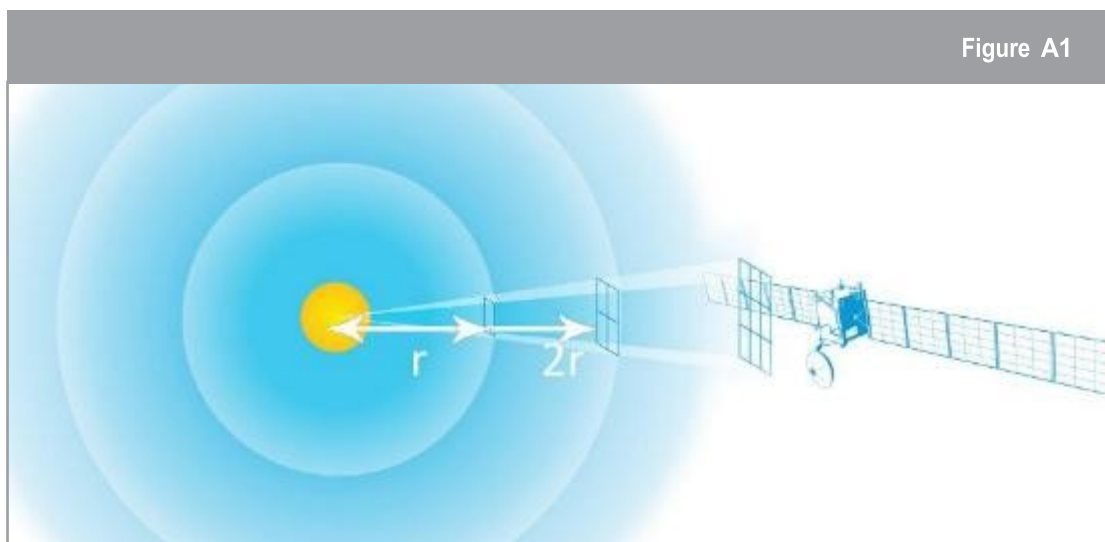
↑ Irraggiamento solare (intensità luminosa) sui pianeti del sistema solare.

Come calcolato nella domanda 6, se Cassini-Huygens avesse bisogno di pannelli solari, avrebbero una massa superiore a sei volte quella dei generatori termoelettrici radioisotopici! La considerazione della massa è molto importante per l'esplorazione spaziale, perché per ogni kilogrammo aggiuntivo è necessario più combustibile per sfuggire alla gravità terrestre. Tuttavia, bisogna considerare i vincoli di sicurezza e protezione associati soprattutto all'energia nucleare.

→ ENERGIA DALLA LUCE SOLARE

Alimentare l'esplorazione spaziale con energia solare

→ Attività 1: La legge dell'inverso del quadrato



↑ Il Sole emette luce uniformemente in tutte le direzioni. A una distanza r la luce attraversa un'area A , quando la distanza raddoppia ($2r$) la stessa quantità di luce coprirà un'area quattro volte più grande ($4A$).

Il Sole emette luce uniformemente in tutte le direzioni (vedi Figura A1), e quindi l'intensità luminosa (I) a una data distanza (r) sarà uguale alla potenza totale emessa dal Sole, distribuita su una sfera di raggio (r) con superficie $4\pi r^2$.

$$\text{Intensità della radiazione del Sole (W/m}^2\text{)} = \frac{\text{Energia emessa dal Sole (W)}}{4\pi r^2(\text{m}^2)} \quad (1)$$

A seconda della loro distanza dal Sole, le navicelle nel Sistema Solare sperimentano enormi differenze nella quantità di luce solare ricevute.

Lo sapevi che...

Lanciato nel settembre 2003, SMART-1 è diventato la prima missione ESA sulla Luna. Fu la prima missione a lasciare l'orbita terrestre utilizzando esclusivamente energia solare, seppur lentamente, stabilendo un record di 13 mesi per il viaggio più lungo verso la Luna. SMART-1 ha battuto il record di consumo di carburante più basso per km in qualsiasi viaggio lunare, assorbendo la maggior parte della sua energia elettrica dalle ali dei pannelli solari, ciascuna lunga circa 7 m.



Esperimento

In questo esperimento, cercherai di recuperare la legge dell'inverso del quadrato per la potenza erogata da una cella solare.

1. Imposta l'esperimento seguendo le istruzioni fornite nell'Allegato 1, dal passo 1 al passo 10.
2. Verifica che tutta l'attrezzatura sia collegata e funzioni correttamente.
3. Inizia a prendere le misure. Segui le istruzioni nei passaggi 11 e 12.
4. Prendi nota delle tue misurazioni della differenza di potenziale elettrico (U) e delle letture della corrente elettrica (I) nella Tabella 1.
5. Ripeti le misurazioni altre due volte.
6. Calcola la potenza prodotta dalla cella solare e completa la Tabella 1.

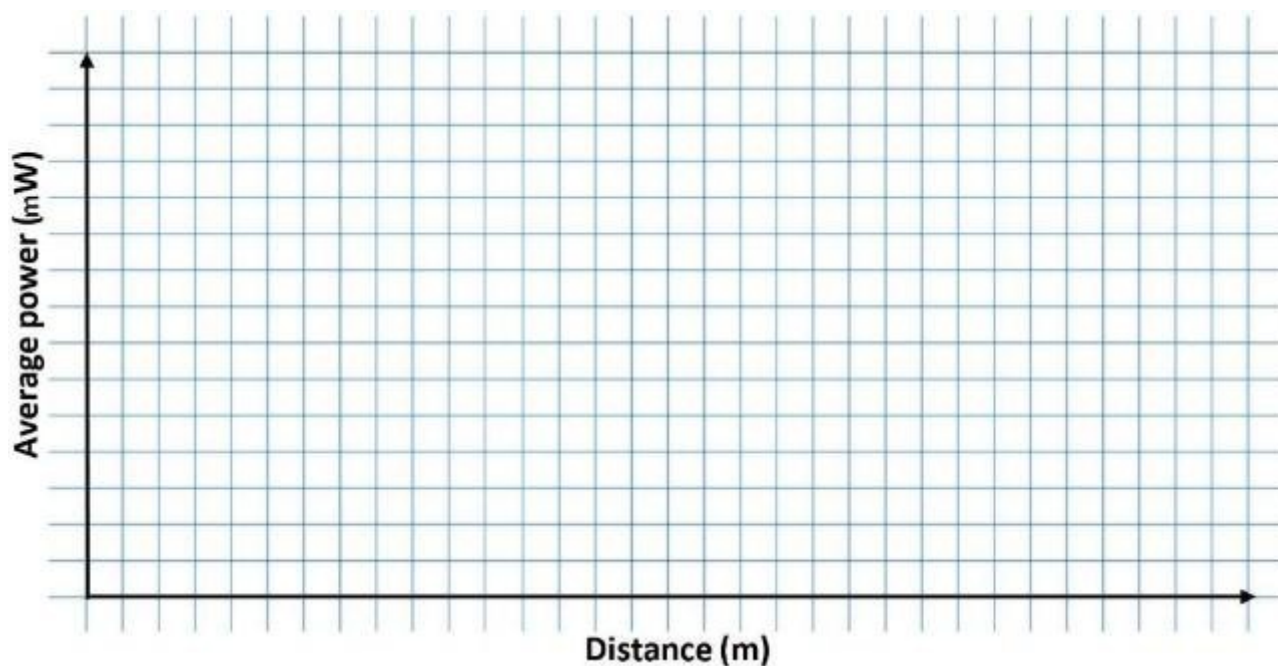
$$P(W) = I(A) * U(V)$$

7. Calcola la potenza media per ogni distanza.

[illegible]

↑ Tabella per le registrazioni della Differenza di Potenziale Elettrico (U), della corrente (I) e della corrispondente potenza in uscita (P)

1. Traccia la potenza media in funzione della distanza della sorgente luminosa:



2. La potenza erogata dalla cella solare segue la legge dell'inverso del quadrato? Spiega.

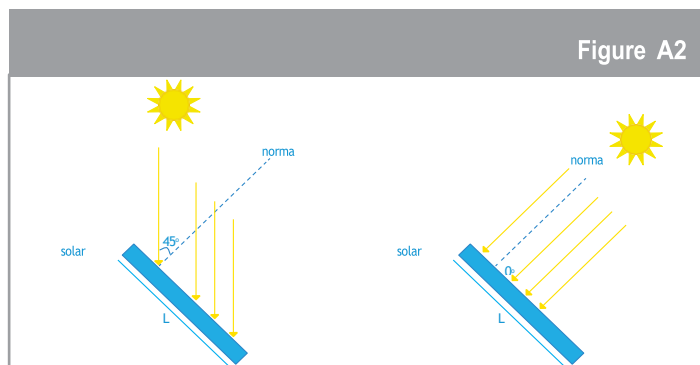
3. Quali incertezze ci sono nel tuo esperimento? Come influenzano il tuo risultato?

4. Se raddoppiamo la distanza dalla sorgente luminosa, quanto devono essere grandi i pannelli solari per produrre la stessa potenza?

- a) Dovrebbero essere più piccoli
- b) Dovrebbero essere il doppio più grandi
- c) Dovrebbero essere 4 volte più grandi
- d) Dovrebbero essere 9 volte più grandi

→ Attività 2: L'angolo di incidenza

L'angolo di incidenza della luce sui pannelli solari è un fattore importante. L'angolo di incidenza è l'angolo tra i raggi solari incidenti e la normale dei pannelli solari. Quando i raggi solari sono perpendicolari al pannello solare, hanno un angolo di incidenza di 0°.



↑ Rappresentazione di un angolo di incidenza di 45° (sinistra) e 0° (destra).

1. Prima di iniziare le misurazioni, prevedi quale angolo di incidenza genererà la maggiore potenza. Spiega la tua ipotesi.

Esperimento

In questo esperimento, misurerai quanto l'angolo di incidenza influenzi la potenza prodotta dalle tue celle solari.

1. Adatta la configurazione sperimentale dall'Attività 1 seguendo il passaggio da 1 a 7 nelle istruzioni fornite nell'Allegato 2.
2. Esegui l'esperimento seguendo le istruzioni dei passaggi da 8 a 10 dell'Allegato 2. Prendi nota delle tue misurazioni della differenza di potenziale elettrico (U) e della corrente elettrica (I) per i diversi angoli di incidenza nella Tabella 2 sottostante.
3. Ripeti le misurazioni altre due volte.
4. Calcola la potenza prodotta dalla cella solare e completa la Tabella 2.

$$P(W) = I(A) * U(V)$$

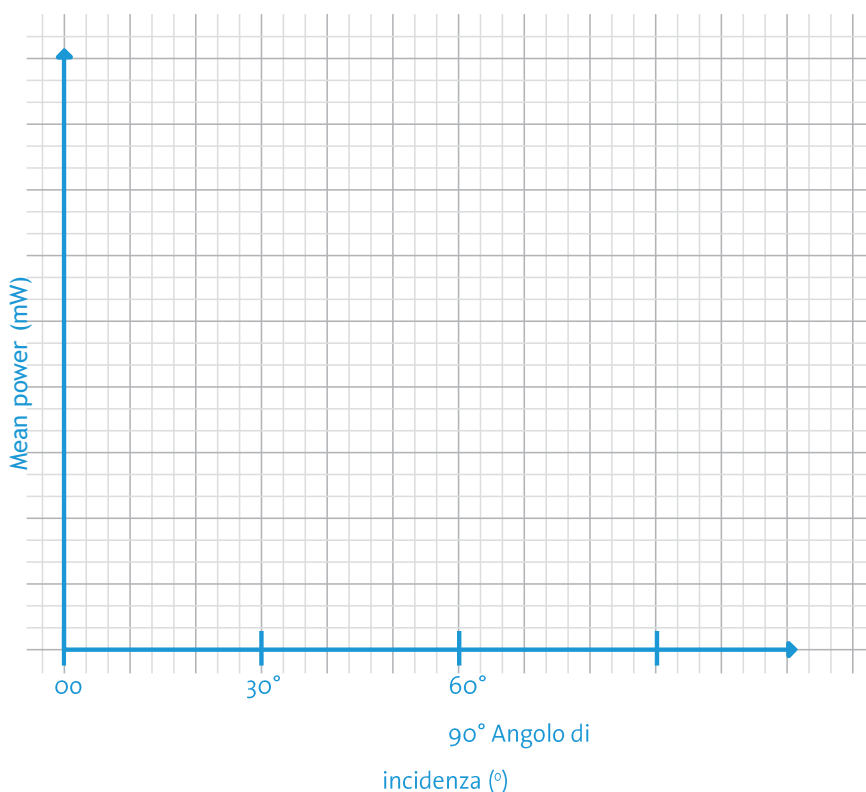
5. Calcola la potenza media per ogni angolo di incidenza.

Tabella 2

Distanza	Esperimento 1			Esperimento 2			Esperimento 3			P media (mW)
	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	U (V)	I (mA)	P (mW)	
0°										
30°										
45°										
60°										
90°										

↑ Registrazioni della differenza di potenziale elettrico (U), della corrente elettrica (I) e della potenza di uscita (P) per diversi angoli di incidenza.

1. Traccia la potenza media in funzione dell'angolo di incidenza:



2. Quale angolo di incidenza genera la maggiore potenza in uscita? _____

3. La tua previsione nella domanda 1 era corretta? Se no, puoi spiegare perché era diverso?

4. Perché pensi che l'output di potenza non sia zero quando la cella solare è parallela alla sorgente luminosa? (Angolo di incidenza = 90°)

5. Ti aspetti di avere potenza se fai l'esperimento con la lampada spenta? Metti alla prova la tua ipotesi e spiega i risultati che hai scoperto.

6. Quali valori di potenza ti aspetteresti se eseguiessi l'esperimento con l'angolo di incisione a -30° , -45° , -60° e -90° ? Spiega la tua risposta.

7. Quali sono le principali incertezze dell'esperimento? Ci sono errori nelle tue misurazioni?

8. Hai misurato come la potenza dipende dall'angolo di incidenza. Come costruiresti i tuoi pannelli solari per massimizzare la produzione di energia?

Lo sapevi che...

La Stazione Spaziale Internazionale (ISS) è alimentata da pannelli solari. L'immagine a destra mostra alcuni dei pannelli solari della ISS, che ospita fino a sei astronauti contemporaneamente. Mentre la ISS orbita attorno alla Terra, i pannelli solari possono essere ruotati per puntare più direttamente verso il Sole. I pannelli coprono un'area di 2500 m^2 – equivalente alla dimensione di metà di un campo da football!



→ Attività 3: Esplorare lo spazio con l'energia solare

Quando è una buona idea utilizzare l'energia solare per l'esplorazione spaziale e come possiamo sfruttare la nostra conoscenza della legge dell'inverso del quadrato e dell'angolo di incidenza a nostro vantaggio?

La missione **Rosetta dell'ESA**, che viaggiava per 800 milioni di km dal Sole, richiedeva enormi pannelli solari per produrre abbastanza energia da sostenere i suoi sistemi di bordo. Al contrario, la missione **BepiColombo dell'ESA** verso Mercurio ha viaggiato così vicino al Sole che l'enorme quantità di radiazione poteva danneggiare i pannelli solari.

Esercizio

1. La Terra si trova a una distanza media di circa 150 milioni di km dal Sole. La potenza media emessa dal Sole è di $3,828 \cdot 10^{26} \text{ W}$. Usa l'equazione (1) nell'attività 1 per calcolare l'intensità luminosa alla distanza della Terra (I_{Terra})

2. La distanza minima di BepiColombo dal Sole è stata di circa 45 milioni di km. Per minimizzare i danni ai pannelli solari causati dal calore intenso, sono stati inclinati lontano dal Sole. Calcola l'intensità luminosa ($I_{\text{BepiColombo}}$) a questa distanza. Confrontalo con I_{Terra} .

3. La distanza massima di Rosetta dal Sole era di 800 milioni di km. Calcola l'intensità luminosa (I_{Rosetta}) a questa distanza. Confrontalo con I_{Terra} .

4. Considerando la necessità di energia in combinazione con la bassa intensità luminosa nel punto più lontano dell'orbita, i pannelli solari di Rosetta dovevano avere una superficie molto ampia, di 64 m². Quale sarebbe la dimensione richiesta dei pannelli solari se Rosetta fosse invece a distanza dalla Terra? Considera solo la differenza di intensità luminosa e assumi che tutte le altre variabili rimangano costanti.

5. Ora immagina che una sonda come Rosetta vada a esplorare Saturno, a 1,4 miliardi di km dal Sole. Qual è la dimensione richiesta dei pannelli solari a questa distanza? Considera solo la differenza di intensità luminosa e assumi che tutte le altre variabili rimangano costanti.

6. L'ultima missione verso Saturno, Cassini-Huygens, fu alimentata da generatori termoelettrici radioisotopici (RTG). Cassini-Huygens necessitava di 885 W di potenza, mentre Rosetta ne aveva bisogno solo di 395W. Calcola la dimensione dei pannelli solari necessari per alimentare Cassini-Huygens (alla distanza di Saturno), assumendo che siano simili ai pannelli solari di Rosetta.

7. I generatori termoelettrici radioisotopici utilizzati per Cassini-Huygens avevano una massa di 56,4 kg. I pannelli solari di Rosetta avevano una massa di 51,2 kg. Quanto aumenterebbe la massa di Cassini-Huygens se la missione avesse utilizzato pannelli solari, come calcolato nella domanda 5?

8. Quali sono i vantaggi e gli svantaggi dell'uso dell'energia solare per l'esplorazione spaziale?

→ LINK

Risorse ESA

Sfida del Campo Lunare

esa.int/Education/Moon_Camp

Animazioni lunari sull'esplorazione lunare

esa.int/Education/Moon_Camp/Making_a_Home_on_the_Moon

Risorse per la classe ESA

esa.int/Education/Classroom_resources

Progetti spaziali ESA

Mission Rosetta

esa.int/rosetta

missione BepiColombo

ESA/JAXA.esa.int/Our_Activities/Space_Science/BepiColombo_overview2

Missione Cassini-Huygens

esa.int/Our_Activities/Space_Science/Cassini-Huygens

Informazioni tecniche relative alle domande

Informazioni sulla massa dei pannelli solari Rosetta (pagina 10)

lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

Potenza effettiva generata a 5,25 UA da Rosetta (395 W, 64 m²)

esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/The_Rosetta_orbiter

Specifiche per la sonda Cassini

fas.org/nuke/space/bennetto706.pdf

Informazioni sulla massa dei pannelli solari stimate dalla diapositiva 10

lpi.usra.edu/opag/nov_2007_meeting/presentations/solar_power.pdf

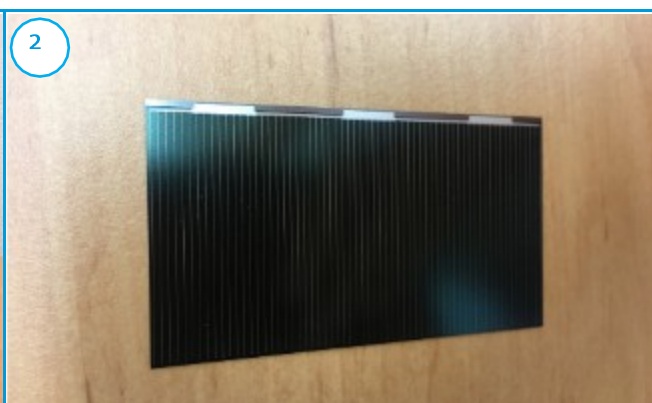
Dispiegamento dell'ala solare BepiColombo

youtube.com/watch?v=Lhw4aojbkvs

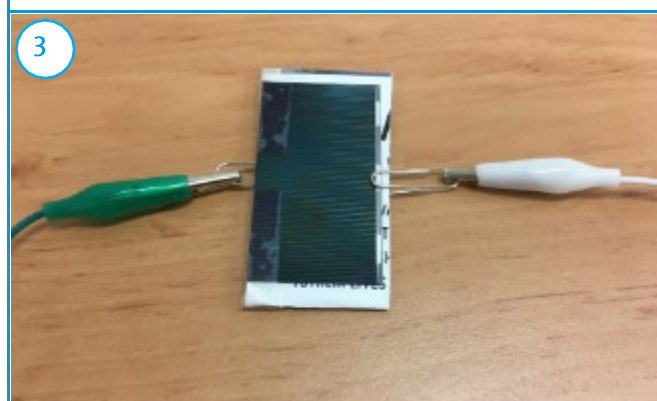
→ ALLEGATO 1 - LEGGE DELL'INVERSO DEL QUADRATO



1
Ti servirà una scatola scura (20-30 cm di lunghezza sono sufficienti per una piccola lampadina).



2
Avrai anche bisogno di una cella solare.



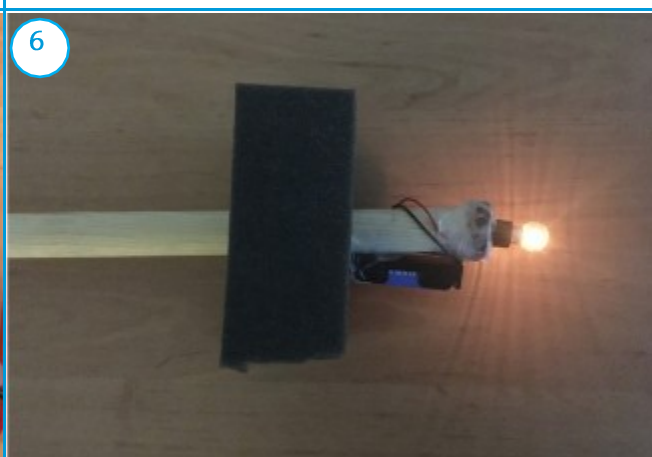
3
Collega i fili del coccodrillo alla cella solare. A seconda della cella solare che possiedi, potresti dover creare punti di connessione per i fili del coccodrillo. Un modo semplice per farlo è usare graffette.



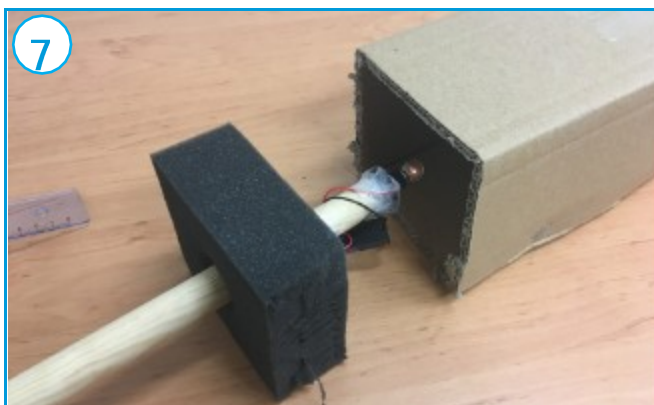
4
Verifica che la tua cella solare funzioni correttamente collegando un amperometro in serie e un voltmetro in parallelo (oppure collegando un multimetro). Dovresti avere letture della differenza di corrente e potenziale elettrico.



5
Attacca la cella solare all'interno della scatola come mostrato nell'immagine. Chiudi la scatola.



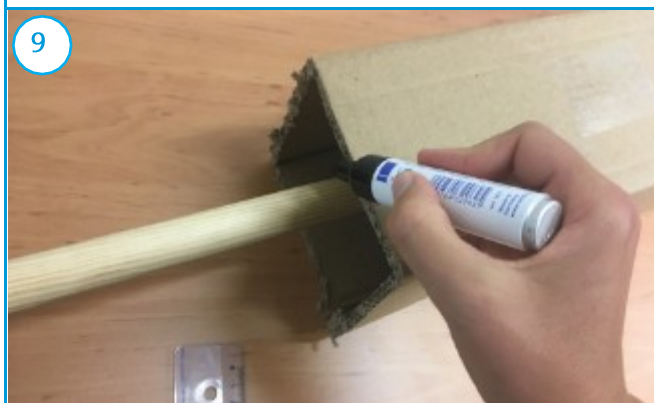
6
Mettila piccola luce con una batteria all'estremità di una barra. Taglia un pezzo di materiale nelle dimensioni della sezione trasversale della scatola per bloccare qualsiasi luce che entra da dietro la sorgente luminosa come mostrato nell'immagine.



7
Accendi la fonte luminosa e inserisci la barra nella scatola. Fai in modo che la schiuma scura si adatti al box il più stretto possibile, se necessario, isola la scatola con del nastro scuro oppure fai le misurazioni in una stanza buia.



8
Inserisci con attenzione l'asta nella scatola finché la sorgente luminosa non tocca la cella solare. Fai attenzione a non rompere la cella solare.



9
Annota questa posizione iniziale sull'asta con un pennarello oppure attacca un metro a nastro e annota il valore.



10
Hai finito di preparare l'esperimento. Assicurati che l'attrezzatura funzioni e che sia collegata correttamente.

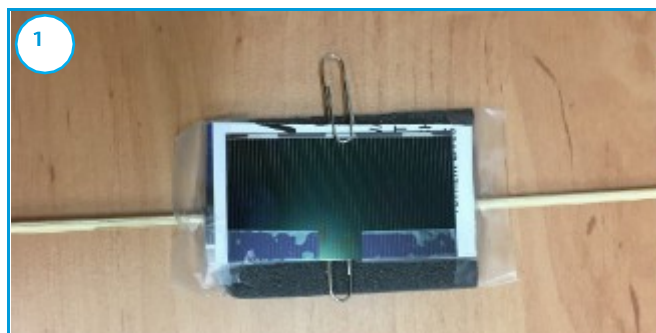


11
Sposta la sorgente luminosa lontano dalla cella solare di 5 cm. Annota la misurazione della differenza di corrente e potenziale elettrico nella tabella 1 del tuo foglio di calcolo.



12
Sposta la sorgente luminosa lontano dal pannello solare di 1 cm alla volta finché la fonte luminosa non si trova all'estremità della scatola. Annota la differenza di potenziale elettrico e la corrente in ogni posizione. Ripeti le misurazioni due volte con le stesse condizioni e distanze.

→ ALLEGATO 2 – ANGOLO DI INCIDENZA



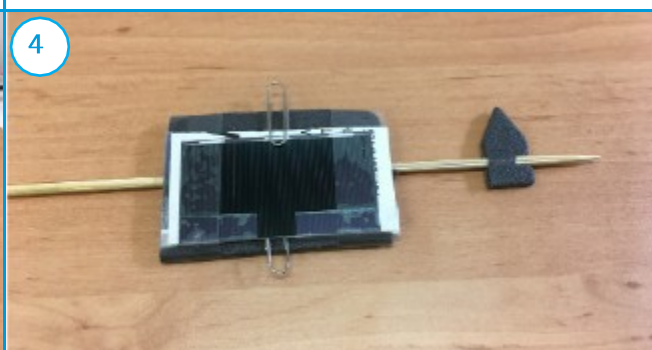
1 Usa l'attrezzatura dell'attività 1. Attacca la cella solare a un piccolo bastoncino. Questo permetterà di ruotarla all'interno della scatola. L'asse di rotazione dovrebbe essere al centro della cella solare.



2 Usa la scatola dell'attività 1. Segna un punto sul lato della scatola per far passare il bastoncino attraverso la scatola. Assicurati che sia centrato verticalmente con la stessa distanza dalla parte superiore e inferiore. Assicurati che la cella solare abbia abbastanza spazio per ruotare liberamente.



3 Segna gli angoli 0° , 30° , 45° , 60° e 90° gradi con l'asse verticale su un lato della scatola (oppure attacca un goniometro).



4 Attacca un pezzo di cartone al bastoncino con lo stesso orientamento della cella solare. Questo si posiziona all'esterno della scatola e indica l'angolo della cella solare all'interno della scatola chiusa.



5 Inserisci la cella solare nella scatola e collega un amperometro in serie e un voltmetro in parallelo (oppure collega un multimetro). Chiudi la scatola.

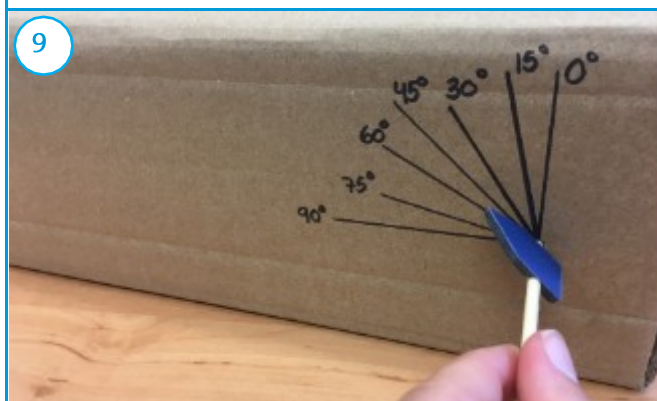


6 Accendi la fonte luminosa e inseriscila nella scatola. La distanza tra la sorgente luminosa e la cella solare dovrebbe essere di circa 10 cm. Questa distanza dovrebbe rimanere costante durante tutto l'esperimento (la barra non deve essere spostata).



7
Verifica che stia funzionando.

8
Effettuare misurazioni della differenza di corrente e potenziale elettrico quando la cella solare è perpendicolare alla sorgente luminosa (angolo di incidenza 0°). Annota le tue misure nella tabella 2 del tuo foglio di lavoro per studenti.



9
Inclina gradualmente la cella solare ruotando il piccolo bastone e leggendo l'angolo laterale. Misura la differenza di corrente e potenziale elettrico a ogni angolo e annotala nella tabella 2 del tuo foglio di lavoro per studenti.

10
Ruota la cella solare finché non è in parallelo con la sorgente luminosa (angolo di incidenza 90°). Prendi misurazioni della differenza di corrente e potenziale elettrico in questa posizione e registrale nella tabella 2. Ripeti l'esperimento altre due volte.