

# Misurando la luce

Giulio D'Agostini

Università di Roma La Sapienza

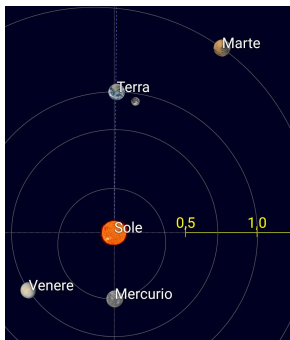


21 dicembre 2020



**ATT:** Non in scala, ma dà un'idea

# 21 dicembre 2020: Solsitizio d'inverno

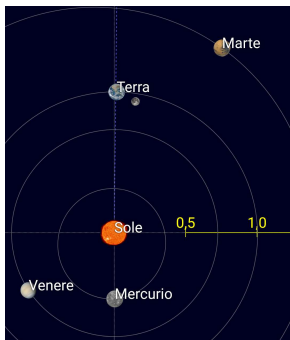


(Screenshot 20 dicembre)

## Ottima occasione

- ▶ per misurare la [latitudine di Roma](#)

# 21 dicembre 2020: Solsitizio d'inverno

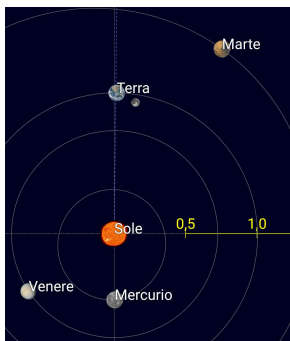


(Screenshot 20 dicembre)

## Ottima occasione

- ▶ per misurare la [latitudine di Roma](#),
- ▶ per la quale serve il concetto di [mezzogiorno locale](#)

# 21 dicembre 2020: Solsitizio d'inverno



(Screenshot 20 dicembre)

## Ottima occasione

- ▶ per misurare la **latitudine di Roma**,
- ▶ per la quale serve il concetto di **mezzogiorno locale**
- ▶ e quello di **equazione del tempo**.

# 21 dicembre 2020: Solsitizio d'inverno



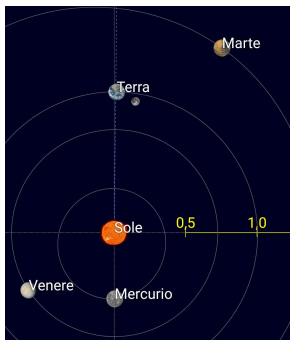
(Screenshot 20 dicembre)

## Ottima occasione

- ▶ per misurare la **latitudine di Roma**,
- ▶ per la quale serve il concetto di **mezzogiorno locale**
- ▶ e quello di **equazione del tempo**.

→ approfondimenti lasciati a iniziativa personale e/o di classe.

# 21 dicembre 2020: Solsitizio d'inverno



(Screenshot 20 dicembre)

## Ottima occasione

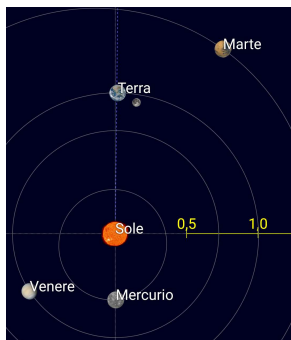
- ▶ per misurare la **latitudine di Roma**,
- ▶ per la quale serve il concetto di **mezzogiorno locale**
- ▶ e quello di **equazione del tempo**.

→ approfondimenti lasciati a iniziativa personale e/o di classe.

## Attività multidisciplinare

- ▶ **Sol invictus**

# 21 dicembre 2020: Solsitizio d'inverno



(Screenshot 20 dicembre)

## Ottima occasione

- ▶ per misurare la **latitudine di Roma**,
- ▶ per la quale serve il concetto di **mezzogiorno locale**
- ▶ e quello di **equazione del tempo**.

→ approfondimenti lasciati a iniziativa personale e/o di classe.

## Attività multidisciplinare

- ▶ **Sol invictus** → **Natale (!)**



# 21 dicembre 2020: La grande congiunzione

Foto 20 Dicembre, c.a 17:30



## 21 dicembre 2020: La grande congiunzione

Foto 20 Dicembre, c.a 17:30



Evento molto pubblicizzato, ma non molto spettacolare:

- ▶ subito dopo il tramonto

## 21 dicembre 2020: La grande congiunzione

Foto 20 Dicembre, c.a 17:30



Evento molto pubblicizzato, ma non molto spettacolare:

- ▶ subito dopo il tramonto ... (nel 2080 sarà meglio...)

## 21 dicembre 2020: La grande congiunzione

Foto 20 Dicembre, c.a 17:30



Evento molto pubblicizzato, ma non molto spettacolare:

- ▶ subito dopo il tramonto ... (nel 2080 sarà meglio...)
- ▶ Quanto contribuisce Saturno alla luminosità di totale?

## 21 dicembre 2020: La grande congiunzione

Foto 20 Dicembre, c.a 17:30



Evento molto pubblicizzato, ma non molto spettacolare:

- ▶ subito dopo il tramonto ... (nel 2080 sarà meglio...)
- ▶ Quanto contribuisce Saturno alla luminosità di totale?

**Magnitudini** di oggi: Giove -2.0, Saturno 1.4

# 21 dicembre 2020: La grande congiunzione

Foto 20 Dicembre, c.a 17:30



Evento molto pubblicizzato, ma non molto spettacolare:

- ▶ subito dopo il tramonto ... (nel 2080 sarà meglio...)
- ▶ Quanto contribuisce Saturno alla luminosità di totale?  
**Magnitudini** di oggi: Giove -2.0, Saturno 1.4 (Venere -3.9, Marte -0.5)

## 21 dicembre 2020: La grande congiunzione

Foto 20 Dicembre, c.a 17:30



Evento molto pubblicizzato, ma non molto spettacolare:

- ▶ subito dopo il tramonto ... (nel 2080 sarà meglio...)
- ▶ Quanto contribuisce Saturno alla luminosità di totale?

**Magnitudini** di oggi: Giove -2.0, Saturno 1.4 (Venere -3.9, Marte -0.5) : → -3.9, -2.0, -0.5 e 1.4 (!)

## 21 dicembre 2020: La grande congiunzione

Foto 20 Dicembre, c.a 17:30



Evento molto pubblicizzato, ma non molto spettacolare:

- ▶ subito dopo il tramonto ... (nel 2080 sarà meglio...)
- ▶ Quanto contribuisce Saturno alla luminosità di totale?

**Magnitudini** di oggi: Giove -2.0, Saturno 1.4 (Venere -3.9, Marte -0.5) : → -3.9, -2.0, -0.5 e 1.4 (!)

(Ci ritorneremo)



# Sole: luce e calore



## Sole: luce e calore



→ Luce ed energia

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

- ▶ Di fotometria non si fa (o si faceva) molto nei vari corsi.

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

- ▶ Di fotometria non si fa (o si faceva) molto nei vari corsi.
- ▶ Personalmente ci sono arrivato per puro caso, facendo da esercitatore al Prof. [Franco Dupré](#) (*secoli fa...*)

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

- ▶ Di fotometria non si fa (o si faceva) molto nei vari corsi.
- ▶ Personalmente ci sono arrivato per puro caso, facendo da esercitatore al Prof. **Franco Dupré** (*secoli fa...*):
  - ▶ corso di **Fisica per Biologia** (60h didattica e 60h di esercitazioni)

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

- ▶ Di fotometria non si fa (o si faceva) molto nei vari corsi.
- ▶ Personalmente ci sono arrivato per puro caso, facendo da esercitatore al Prof. **Franco Dupré** (*secoli fa...*):
  - ▶ corso di **Fisica per Biologia** (60h didattica e 60h di esercitazioni)... che cominciava *curiosamente* con la **fotometria** per poi passare all'**ottica geometrica**

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

- ▶ Di fotometria non si fa (o si faceva) molto nei vari corsi.
- ▶ Personalmente ci sono arrivato per puro caso, facendo da esercitatore al Prof. **Franco Dupré** (*secoli fa...*):
  - ▶ corso di **Fisica per Biologia** (60h didattica e 60h di esercitazioni)... che cominciava *curiosamente* con la **fotometria** per poi passare all'**ottica geometrica**

<b>PREMESSA</b> .....	Pag.	1
<b>CAPITOLO PRIMO</b>		
<b>L'OTTICA GEOMETRICA</b> .....	"	3
1.1 La luce e il modello corpuscolare.....	"	3
1.2 Elementi di fotometria.....	"	8
1.2.1 L'angolo solido.....	"	8
1.2.2 Le grandezze fotometriche fondamentali.....	"	9
1.2.3 Unità fotometriche.....	"	12
1.3 I raggi luminosi.....	"	15
1.3.1 La visione.....	"	16
1.3.2 La camera oscura.....	"	17
1.4 Interazione della luce con la materia.....	"	19

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.

*Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.*

*Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.*

*Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:*

*1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;*



# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.

Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.

Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.

Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:

1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.

Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.

Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.

Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:

1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.

Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.

Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.

Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:

1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;

Chi ha difficoltà con le basi della meccanica,

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.

Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.

Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.

Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:

1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;

Chi ha difficoltà con le basi della meccanica,  
a partire dal '**principio di inerzia**',

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.

Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.

Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.

Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:

1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;

Chi ha difficoltà con le basi della meccanica,  
a partire dal '**principio di inerzia**',  
è in buona compagnia!

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.

Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.

Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.

Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:

1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;

Chi ha difficoltà con le basi della meccanica,  
a partire dal '**principio di inerzia**',

è in buona compagnia! ⇒ Stupito da studenti che **ripetevano**  
a pappagallo le leggi della termodinamica!!

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.

Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.

Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.

Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:

1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;



# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.

Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.

Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.

Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:

1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;



# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

*Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.*

*Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.*

*Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.*

*Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:*

*1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;*

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

*Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.*

*Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.*

*Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.*

*Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:*

*1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;*

- ▶ Teoria fenomenologica autocontenuta;

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

*Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.*

*Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.*

*Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.*

*Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:*

*1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;*

- ▶ Teoria fenomenologica autocontenuta;
- ▶ leggi semplici;

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

*Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.*

*Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.*

*Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.*

*Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:*

*1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;*

- ▶ Teoria fenomenologica autocontenuta;
- ▶ leggi semplici;
- ▶ importanza delle approssimazioni;

# Preambolo

(Ricordo di Franco Dupré)

## Motivazione

*Tradizionalmente un corso di fisica inizia con la meccanica di Newton.*

*Questa è solo apparentemente semplice; lo sembra perché descrive il fenomeno a noi più evidente e noto, il moto, ma in realtà si tratta di una teoria molto formalizzata, ad un alto livello di astrazione, e perciò nient'affatto facile.*

*Per questo, scostandoci dalla prassi usuale, inizieremo il corso di fisica con lo studio della luce, che porteremo avanti fino a completare la impostazione dell'ottica geometrica.*

*Accanto allo scopo palese di studiare l'ottica di per sé, questa scelta permette di renderci conto degli stadi iniziali della costruzione di una teoria, proprio quelli che non si incontrano nello studio della meccanica:*

*1) iniziamo con una descrizione dei fatti sperimentali, che si evolve subito in una fenomenologia, cioè lo stabilire di una serie di relazioni fra le grandezze osservate;*

- ▶ Teoria fenomenologica autocontenuta;
- ▶ leggi semplici;
- ▶ importanza delle approssimazioni;
- ▶ ripasso di trigonometria.

# Sole: luce e calore





## Sole: luce e calore



► Quanto ci illumina?

## Sole: luce e calore



- ▶ Quanto ci illumina?
- ▶ Quanto ci scalda?



## Sole: luce e calore



- ▶ Quanto ci illumina?
- ▶ Quanto ci scalda? → Quanta **energia** ci fornisce?

# Energia

L'energia appare in tante forme

# Energia

L'energia appare in tante forme e passa da una forma all'altra

# Energia

L'energia appare in tante forme e passa da una forma all'altra

Ma cosa è l'energia?

# Energia

L'energia appare in tante forme e passa da una forma all'altra

Ma cosa è l'energia?

*“È ciò che scalda una pentola d'acqua”*



(Giorgio Salvini)

# Energia

L'energia appare in tante forme e passa da una forma all'altra

Ma cosa è l'energia?

*“È ciò che scalda una pentola d'acqua”*



(Giorgio Salvini)

→ 'degradazione dell'energia'

# Energia

L'energia appare in tante forme e passa da una forma all'altra

Ma cosa è l'energia?

*“È ciò che scalda una pentola d'acqua”*



(Giorgio Salvini)

→ 'degradazione dell'energia'

“Se ti cade il tappo del tubetto del dentifricio, non cercare di riprenderlo mentre rimbalza nel lavello. Aspettalo in fondo!” (G.S.)

# Energia

L'energia appare in tante forme e passa da una forma all'altra

Ma cosa è l'energia?

*“È ciò che scalda una pentola d'acqua”*



(Giorgio Salvini)

→ 'degradazione dell'energia'

“Se ti cade il tappo del tubetto del dentifricio, non cercare di riprenderlo mentre rimbalza nel lavello. Aspettalo in fondo!” (G.S.)

→ **Calorimetria**



# Calorimetria

Non è roba antica accantonata in qualche scantinato.

# Calorimetria

Non è roba antica accantonata in qualche scantinato.

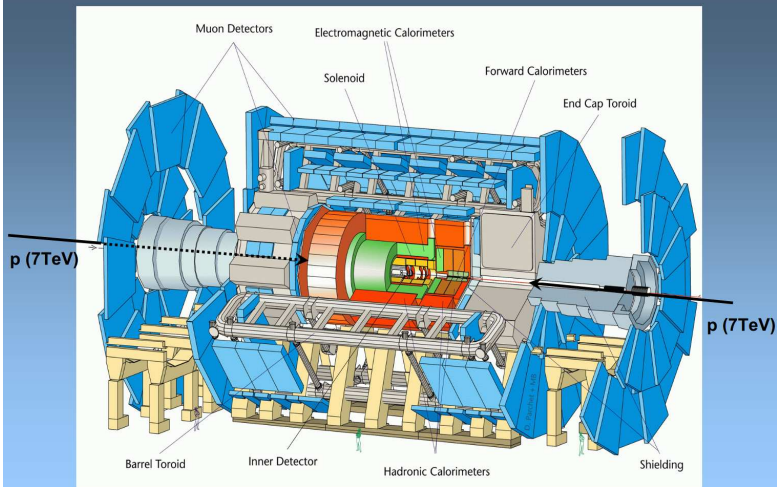
Importante il **concetto**, anche se sono mutate le tecniche

# Calorimetria

Non è roba antica accantonata in qualche scantinato.

Importante il **concetto**, anche se sono mutate le tecniche

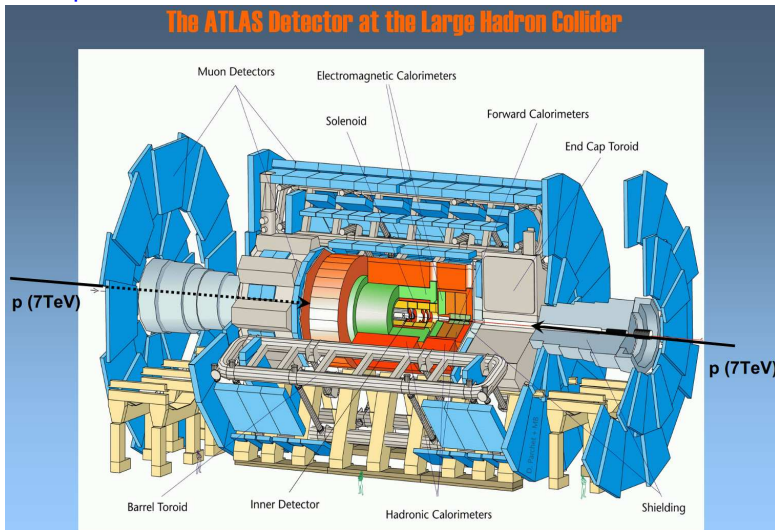
## The ATLAS Detector at the Large Hadron Collider



# Calorimetria

Non è roba antica accantonata in qualche scantinato.

Importante il **concetto**, anche se sono mutate le tecniche



→ Output proporzionale a energia totale rilasciata

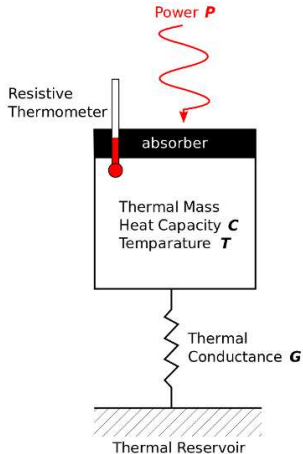
## Misurare energia radiante ( $\rightarrow$ 'radiometria')

Pentola un po' più raffinata di quelle per cuocere la pasta...

# Misurare energia radiante ( $\rightarrow$ 'radiometria')

Pentola un po' più raffinata di quelle per cuocere la pasta...

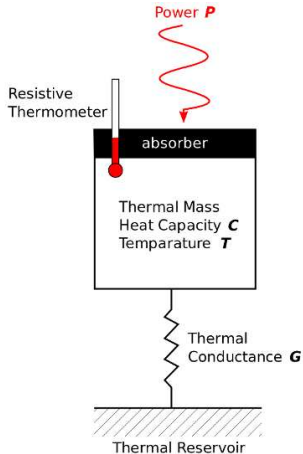
$\rightarrow$  Bolometro



# Misurare energia radiante (→ 'radiometria')

Pentola un po' più raffinata di quelle per cuocere la pasta...

→ Bolometro



$$\Rightarrow \Delta T \propto P \times \Delta t$$

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2$$



## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2$$

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.0 \text{ kW/m}^2$$

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.0 \text{ kW/m}^2$$

(pannello ortogonale ai raggi del sole)

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.0 \text{ kW/m}^2$$

(pannello ortogonale ai raggi del sole)

### Esercizi:

1. Quanta potenza (media) incide sul pianeta Terra?

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.0 \text{ kW/m}^2$$

(pannello ortogonale ai raggi del sole)

### Esercizi:

1. Quanta potenza (media) incide sul pianeta Terra?
2. Quanta potenza totale emette il Sole?

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.0 \text{ kW/m}^2$$

(pannello ortogonale ai raggi del sole)

### Esercizi:

1. Quanta potenza (media) incide sul pianeta Terra?
2. Quanta potenza totale emette il Sole?
3. Quanta ne emette per  $\text{m}^2$  di superficie?

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.0 \text{ kW/m}^2$$

(pannello ortogonale ai raggi del sole)

### Esercizi:

1. Quanta potenza (media) incide sul pianeta Terra?
2. Quanta potenza totale emette il Sole?
3. Quanta ne emette per  $\text{m}^2$  di superficie? (!!!) (vedi dopo)



## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.0 \text{ kW/m}^2$$

(pannello ortogonale ai raggi del sole)

### Esercizi:

1. Quanta potenza (media) incide sul pianeta Terra?
2. Quanta potenza totale emette il Sole?
3. Quanta ne emette per  $\text{m}^2$  di superficie? (!!!) (vedi dopo)
4. Ricordando la famosa  $E = m c^2$ ,  
quanta massa è 'bruciata' al secondo?

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.0 \text{ kW/m}^2$$

(pannello ortogonale ai raggi del sole)

### Esercizi:

1. Quanta potenza (media) incide sul pianeta Terra?
2. Quanta potenza totale emette il Sole?
3. Quanta ne emette per  $\text{m}^2$  di superficie? (!!!) (vedi dopo)
4. Ricordando la famosa  $E = m c^2$ ,  
quanta massa è 'bruciata' al secondo?  
(Problema dell'età del Sole! **Vai al link**)

## Quanto ci scalda il Sole?

Costante solare (fuori dell'atmosfera):

$$\approx 1.36 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.4 \text{ kW/m}^2$$

Al suolo (in condizioni ottimali):

$$\approx 1.00 \text{ kW/m}^2 \rightarrow \approx 1.0 \text{ kW/m}^2$$

(pannello ortogonale ai raggi del sole)

### Esercizi:

1. Quanta potenza (media) incide sul pianeta Terra?
2. Quanta potenza totale emette il Sole?
3. Quanta ne emette per  $\text{m}^2$  di superficie? (!!!) (vedi dopo)
4. Ricordando la famosa  $E = m c^2$ ,  
quanta massa è 'bruciata' al secondo?  
(Problema dell'età del Sole! [Vai al link](#))
5. Irraggiamento sugli altri pianeti.

E quanto ci illumina?

E quanto ci illumina?

**radiometria** → **fotometria**

E quanto ci illumina?

**radiometria** → **fotometria**

- ▶ Il sole emette **radiazione elettromagnetica** su un ampio **spettro di frequenze**.

E quanto ci illumina?

**radiometria** → **fotometria**

- ▶ Il sole emette **radiazione elettromagnetica** su un ampio **spettro di frequenze**.
- ▶ Ma l'occhio umano è sensibile solo a un intervallo limitato di frequenze

E quanto ci illumina?

**radiometria** → **fotometria**

- ▶ Il sole emette **radiazione elettromagnetica** su un ampio **spettro di frequenze**.
- ▶ Ma l'occhio umano è sensibile solo a un intervallo limitato di frequenze  
⇒ **luce visibile**

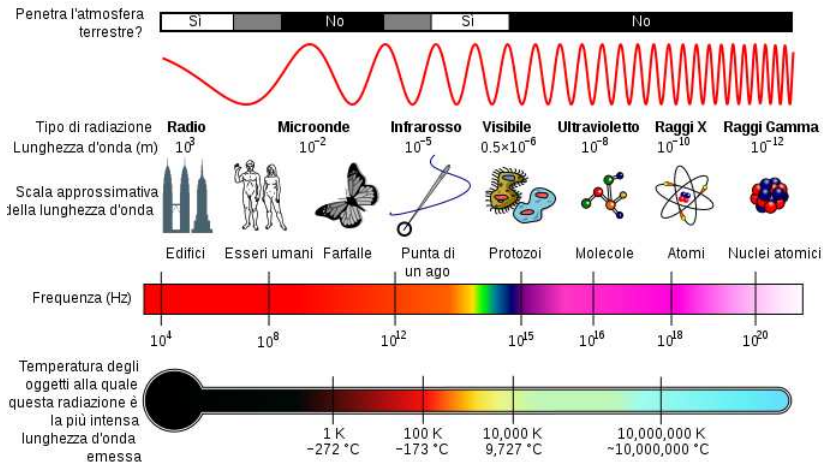


E quanto ci illumina?

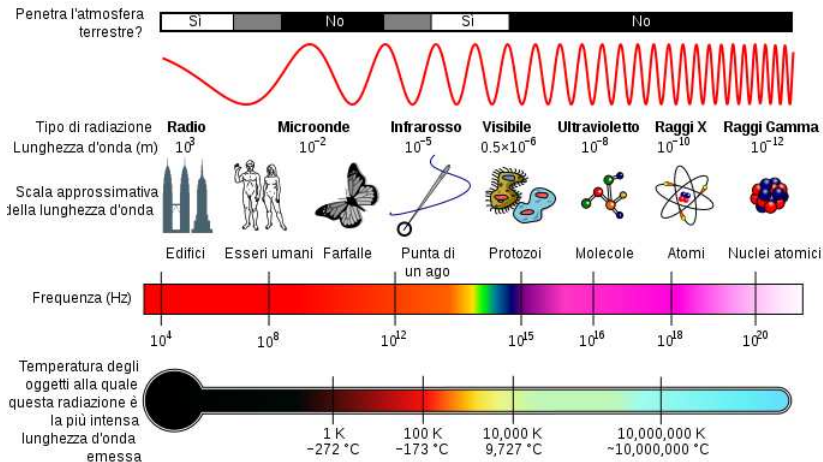
**radiometria** → **fotometria**

- ▶ Il sole emette **radiazione elettromagnetica** su un ampio **spettro di frequenze**.
- ▶ Ma l'occhio umano è sensibile solo a un intervallo limitato di frequenze  
⇒ **luce visibile**
- ▶ E *il visibile non è tutto ugualmente visibile*.

# Radiazione elettromagnetica

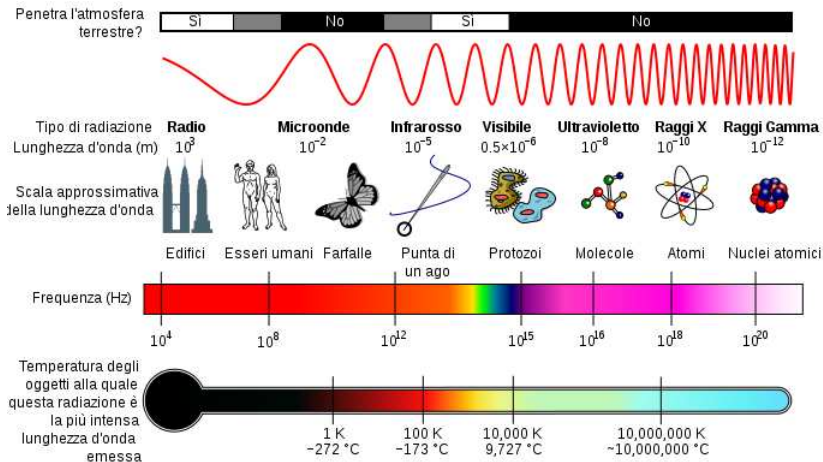


# Radiazione elettromagnetica



► relazione fra frequenza ( $\nu$ ) e lunghezza d'onda ( $\lambda$ ):  $\lambda \cdot \nu = c$ .

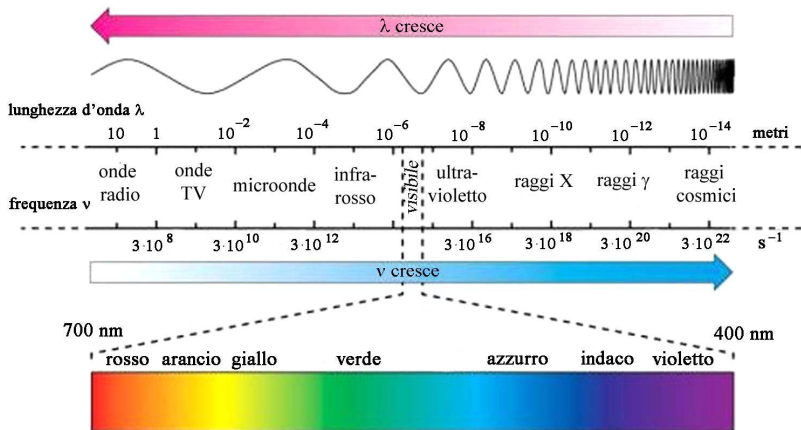
# Radiazione elettromagnetica



- ▶ relazione fra frequenza ( $\nu$ ) e lunghezza d'onda ( $\lambda$ ):  $\lambda \cdot \nu = c$ .
- ▶ Della **temperatura** parleremo dopo, ricollegandoci all'**esercizio nr. 3**.

# Radiazione elettromagnetica

Zoom nel visibile:



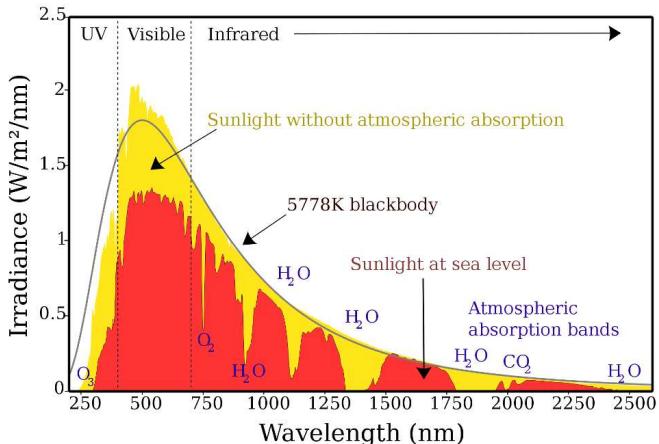
⇐ Infrarosso

Ultravioletto ⇒

# Spettro di emissione del Sole

Potenza al  $\text{m}^2$  per unità di lunghezza d'onda ([wiki/Sunlight](#))

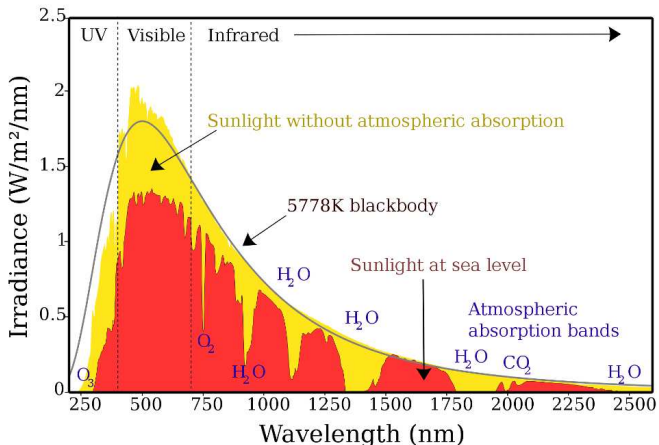
## Spectrum of Solar Radiation (Earth)



# Spettro di emissione del Sole

Potenza al  $\text{m}^2$  per unità di lunghezza d'onda ([wiki/Sunlight](#))

## Spectrum of Solar Radiation (Earth)

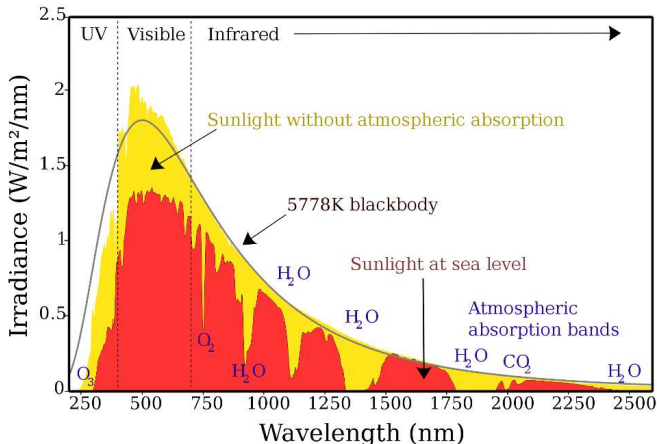


► L'area degli spettri ci dà i  $\text{W}/\text{m}^2$ .

# Spettro di emissione del Sole

Potenza al  $\text{m}^2$  per unità di lunghezza d'onda ([wiki/Sunlight](#))

## Spectrum of Solar Radiation (Earth)



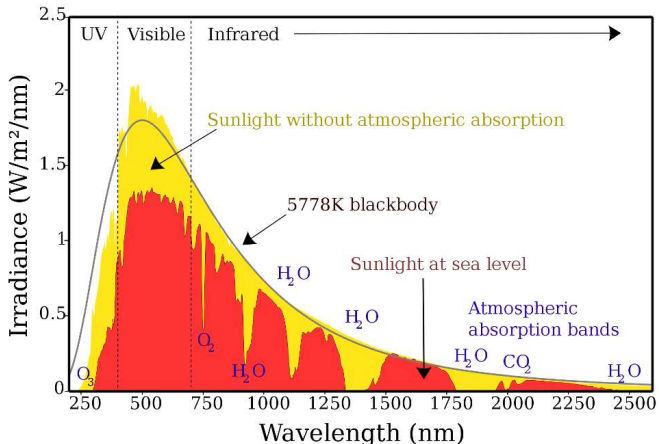
- ▶ L'area degli spettri ci dà i  $\text{W}/\text{m}^2$ .
- ▶ Della curva continua parleremo dopo.



# Spettro di emissione del Sole

Potenza al  $\text{m}^2$  per unità di lunghezza d'onda ([wiki/Sunlight](#))

## Spectrum of Solar Radiation (Earth)

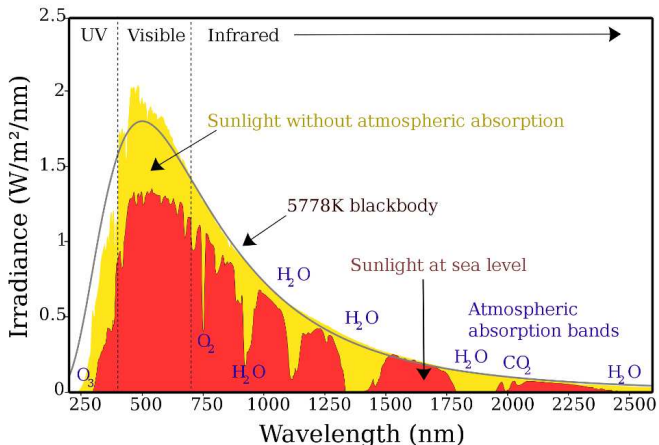


► Solo una frazione della potenza emessa è nel visibile

# Spettro di emissione del Sole

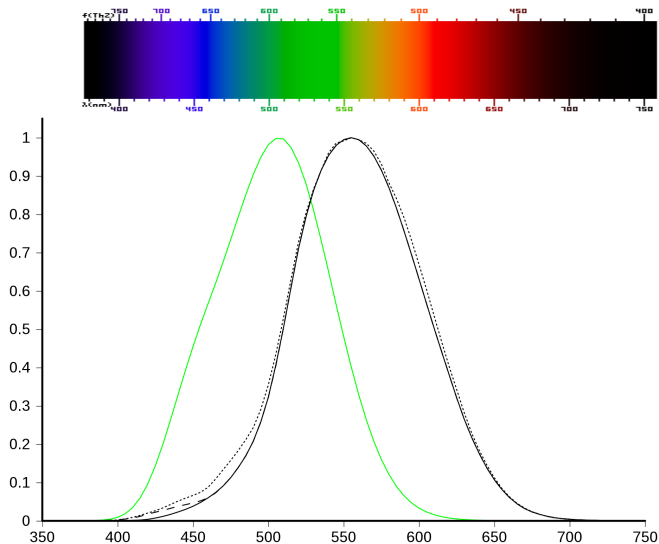
Potenza al  $\text{m}^2$  per unità di lunghezza d'onda ([wiki/Sunlight](#))

## Spectrum of Solar Radiation (Earth)

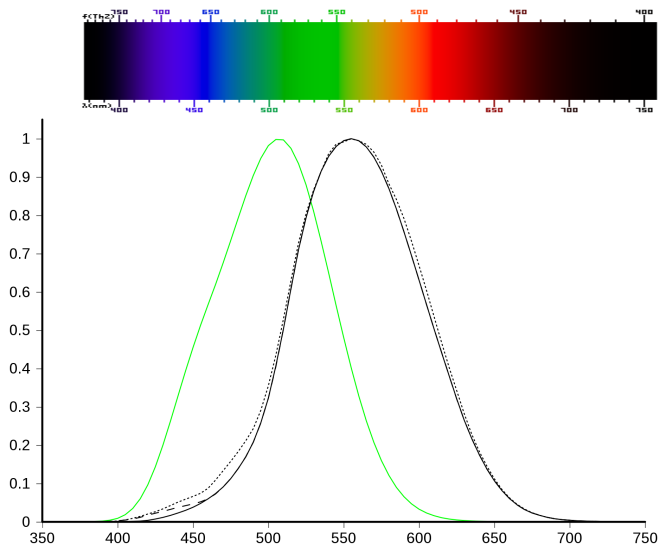


- ▶ Solo una frazione della potenza emessa è nel visibile e i nostri occhi non la vedono tutta nello stesso modo!

# Sensibilità dei nostri occhi alla 'luce visibile'

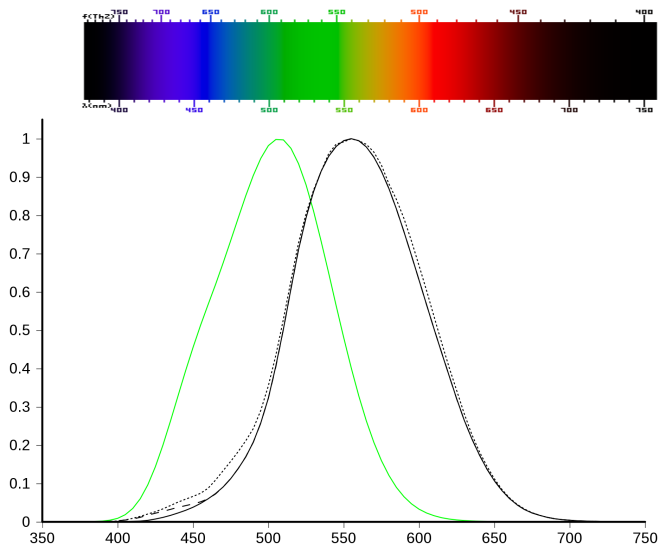


# Sensibilità dei nostri occhi alla 'luce visibile'



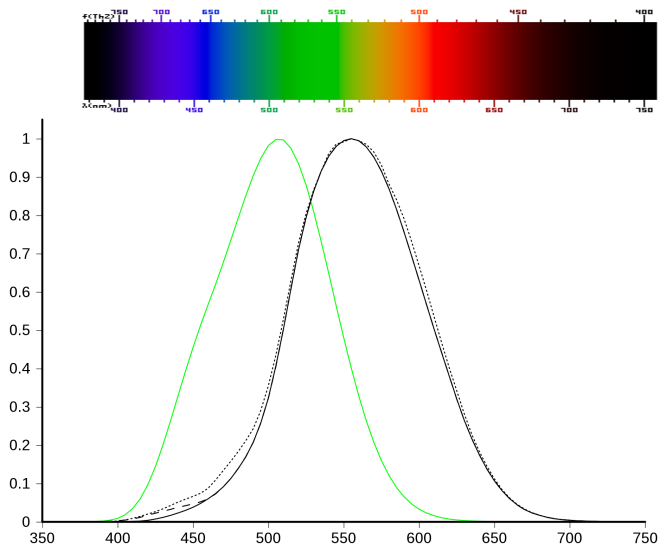
– Curva verde: 'bassa illuminazione' → vediamo **azzurrognolo!**

# Sensibilità dei nostri occhi alla 'luce visibile'



- Curva verde: 'bassa illuminazione' → vediamo **azzurrognolo!**
- Normalmente: max  $\approx$  **550 nm**

# Sensibilità dei nostri occhi alla 'luce visibile'



- Curva verde: 'bassa illuminazione' → vediamo **azzurrognolo!**
- Normalmente: max  $\approx$  **550 nm** (adattamento evolutivo!)

# Grandezze fotometriche

## **Note preliminari**

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono 'complicate' (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').



# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono 'complicate' (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurle per analogia.

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono 'complicate' (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurle **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono **'complicate'** (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurle **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

Cominciamo dal **flusso luminoso**, ovvero, con riferimento alla **Wiki inglese** (con precisazioni):

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono **'complicate'** (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurre **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

Cominciamo dal **flusso luminoso**, ovvero, con riferimento alla **Wiki inglese** (con precisazioni):

- ▶ “total quantity of visible light emitted by a source per unit of time”.

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono **'complicate'** (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurle **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

Cominciamo dal **flusso luminoso**, ovvero, con riferimento alla **Wiki inglese** (con precisazioni):

- ▶ "total quantity of visible light emitted by a source per unit of time".  
⇒ in realtà non necessariamente luce 'emessa da una sorgente'

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono **'complicate'** (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurre **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

Cominciamo dal **flusso luminoso**, ovvero, con riferimento alla **Wiki inglese** (con precisazioni):

- ▶ "total quantity of visible light emitted by a source per unit of time".  
⇒ in realtà non necessariamente luce 'emessa da una sorgente'  
→ è la **quantità di luce per unità di tempo**

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono **'complicate'** (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurre **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

Cominciamo dal **flusso luminoso**, ovvero, con riferimento alla **Wiki inglese** (con precisazioni):

- ▶ "total quantity of visible light emitted by a source per unit of time".  
⇒ in realtà non necessariamente luce 'emessa da una sorgente'  
→ è la **quantità di luce per unità di tempo** e basta:

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono **'complicate'** (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurle **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

Cominciamo dal **flusso luminoso**, ovvero, con riferimento alla **Wiki inglese** (con precisazioni):

- ▶ "total quantity of visible light emitted by a source per unit of time".  
⇒ in realtà non necessariamente luce 'emessa da una sorgente'  
→ è la **quantità di luce per unità di tempo** e basta:
  - ▶ ad esempio **quantità di luce che entra da una finestra nell'unità di tempo**.



# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono **'complicate'** (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurle **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

Cominciamo dal **flusso luminoso**, ovvero, con riferimento alla **Wiki inglese** (con precisazioni):

- ▶ "total quantity of visible light emitted by a source per unit of time".  
⇒ in realtà non necessariamente luce 'emessa da una sorgente'  
→ è la **quantità di luce per unità di tempo** e basta:
  - ▶ ad esempio **quantità di luce che entra da una finestra nell'unità di tempo**.

Analogia ai  $m^3$  di aria al secondo che entrano da una porta

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono **'complicate'** (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurle **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

Cominciamo dal **flusso luminoso**, ovvero, con riferimento alla **Wiki inglese** (con precisazioni):

- ▶ "total quantity of visible light emitted by a source per unit of time".  
⇒ in realtà non necessariamente luce 'emessa da una sorgente'  
→ è la **quantità di luce per unità di tempo** e basta:
  - ▶ ad esempio **quantità di luce che entra da una finestra nell'unità di tempo**.

Analogia ai **m<sup>3</sup> di aria al secondo** che entrano da una porta, ai **litri d'acqua al minuto** che fluiscono da un rubinetto

# Grandezze fotometriche

## Note preliminari

- ▶ Sono **'complicate'** (quando le si vogliono definire esattamente) per i motivi detti (serve un 'occhio umano di riferimento').
- ▶ Conviene introdurle **per analogia**.
- ▶ Successivamente possono essere definite tramite degli standard (e assumendo una curva media di sensibilità).

Cominciamo dal **flusso luminoso**, ovvero, con riferimento alla **Wiki inglese** (con precisazioni):

- ▶ "total quantity of visible light emitted by a source per unit of time".  
⇒ in realtà non necessariamente luce 'emessa da una sorgente'  
→ è la **quantità di luce per unità di tempo** e basta:
  - ▶ ad esempio **quantità di luce che entra da una finestra nell'unità di tempo**.

Analogia ai **m<sup>3</sup> di aria al secondo** che entrano da una porta, ai **litri d'acqua al minuto** che fluiscono da un rubinetto o ai **Joule/s di calore** che 'fluiscono' da un radiatore.

# Lumen

**Wiki inglese:**

*The **lumen** (symbol: **lm**) is the SI derived unit of **luminous flux**,*

# Lumen

## Wiki inglese:

*The **lumen** (symbol: **lm**) is the SI derived unit of **luminous flux**, a measure of the total quantity of visible light emitted by a source per unit of time.*

# Lumen

## Wiki inglese:

*The **lumen** (symbol: **lm**) is the SI derived unit of **luminous flux**, a measure of the total quantity of visible light emitted by a source per unit of time.*

*Luminous flux differs from power ([radiant flux](#))*

# Lumen

## Wiki inglese:

*The **lumen** (symbol: **lm**) is the SI derived unit of **luminous flux**, a measure of the total quantity of visible light emitted by a source per unit of time.*

*Luminous flux differs from power (**radiant flux**) in that radiant flux includes all electromagnetic waves emitted,*

# Lumen

## Wiki inglese:

*The **lumen** (symbol: **lm**) is the SI derived unit of **luminous flux**, a measure of the total quantity of visible light emitted by a source per unit of time.*

*Luminous flux differs from power (**radiant flux**) in that radiant flux includes all electromagnetic waves emitted,*

*while luminous flux is **weighted** according to a model (a 'luminosity function') of the human eye's sensitivity to various wavelengths.*



# Lumen

## Wiki inglese:

*The **lumen** (symbol: **lm**) is the SI derived unit of **luminous flux**, a measure of the total quantity of visible light emitted by a source per unit of time.*

*Luminous flux differs from power (**radiant flux**) in that radiant flux includes all electromagnetic waves emitted,*

*while luminous flux is **weighted** according to a model (a 'luminosity function') of the human eye's sensitivity to various wavelengths.*

$$\Rightarrow \Phi_V \propto P$$

# Lumen

## Wiki inglese:

*The **lumen** (symbol: **lm**) is the SI derived unit of **luminous flux**, a measure of the total quantity of visible light emitted by a source per unit of time.*

*Luminous flux differs from power (**radiant flux**) in that radiant flux includes all electromagnetic waves emitted,*

*while luminous flux is **weighted** according to a model (a 'luminosity function') of the human eye's sensitivity to various wavelengths.*

$$\Rightarrow \Phi_V \propto P$$

- ▶ Sorgente che emette solo nel visibile (es. LED)  
→ alta **efficienza luminosa**.

# Lumen

## Wiki inglese:

*The **lumen** (symbol: **lm**) is the SI derived unit of **luminous flux**, a measure of the total quantity of visible light emitted by a source per unit of time.*

*Luminous flux differs from power (**radiant flux**) in that radiant flux includes all electromagnetic waves emitted,*

*while luminous flux is **weighted** according to a model (a 'luminosity function') of the human eye's sensitivity to various wavelengths.*

$$\Rightarrow \Phi_V \propto P$$

- ▶ Sorgente che emette solo nel visibile (es. LED)  
→ alta **efficienza luminosa**.
- ▶ Sorgente con **emissione marginale** nel visibile (**stufetta**)  
→ **bassissima** **efficienza luminosa**

# Lumen

## Wiki inglese:

*The **lumen** (symbol: **lm**) is the SI derived unit of **luminous flux**, a measure of the total quantity of visible light emitted by a source per unit of time.*

*Luminous flux differs from power (**radiant flux**) in that radiant flux includes all electromagnetic waves emitted,*

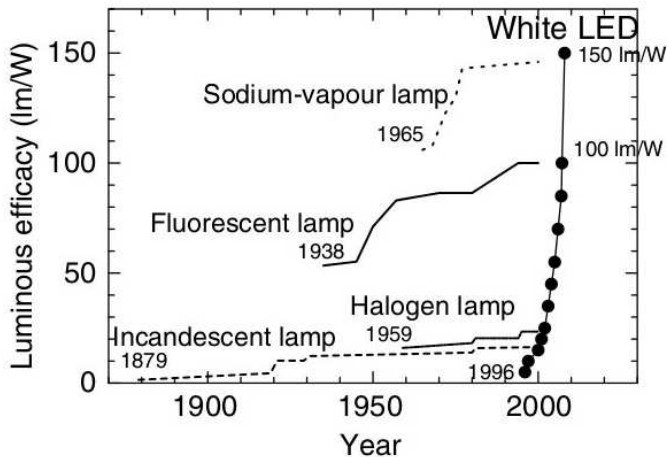
*while luminous flux is **weighted** according to a model (a 'luminosity function') of the human eye's sensitivity to various wavelengths.*

$$\Rightarrow \Phi_V \propto P$$

- ▶ Sorgente che emette solo nel visibile (es. LED)  
→ alta **efficienza luminosa**.
- ▶ Sorgente con **emissione marginale** nel visibile (**stufetta**)  
→ **bassissima** **efficienza luminosa**
- **lm/W**.

# Storia dell'efficienza luminosa

J. Phys. D: Appl. Phys. **43** (2010) 354002



**Figure 4.** The history of  $\eta_L$  in incandescent lamps, halogen lamps, fluorescent lamps, sodium-vapour lamps and commercial white LEDs. The development years of white light sources are also shown.

# Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.

# Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W: 14 lm/W.

# Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W: 14 lm/W.
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx$  100-200 lm/W (e oltre!).



## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W: 14 lm/W.
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100-200$  lm/W (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3$  lm/W

## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W: 14 lm/W.
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100-200$  lm/W (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3$  lm/W  
⇒ Non molto ecologica!!

## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W: 14 lm/W.
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100-200$  lm/W (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3$  lm/W  
⇒ Non molto ecologica!!

Ma l'efficienza luminosa non è il solo parametro di interesse

## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W: 14 lm/W.
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100-200$  lm/W (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3$  lm/W  
⇒ Non molto ecologica!!

Ma l'efficienza luminosa non è il solo parametro di interessa:

- ▶ **Qualità** della luce.

## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W: 14 lm/W.
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100-200$  lm/W (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3$  lm/W  
⇒ Non molto ecologica!!

Ma l'efficienza luminosa non è il solo parametro di interessa:

- ▶ **Qualità** della luce.
- Idealmente una sorgente che nel visibile abbia lo stesso spettro di emissione della luce solare.

## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W: 14 lm/W.
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100-200$  lm/W (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3$  lm/W  
⇒ Non molto ecologica!!

Ma l'efficienza luminosa non è il solo parametro di interessa:

- ▶ **Qualità** della luce.
- Idealmente una sorgente che nel visibile abbia lo stesso spettro di emissione della luce solare.  
(I nostri occhi si sono adattati alla luce solare!)

## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole:  $93 \text{ lm/W}$ .
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W:  $14 \text{ lm/W}$ .
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100\text{-}200 \text{ lm/W}$  (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3 \text{ lm/W}$   
⇒ Non molto ecologica!!

Ma l'efficienza luminosa non è il solo parametro di interesse:

- ▶ **Qualità** della luce.
- Idealmente una sorgente che nel visibile abbia lo stesso spettro di emissione della luce solare.  
(I nostri occhi si sono adattati alla luce solare!)

Ad esempio, il **massimo teorico** corrisponde a una sorgente di **luce monocromatica in corrispondenza del massimo** della **funzione di efficienza luminosa** ('luminosity function'):

## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole:  $93 \text{ lm/W}$ .
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W:  $14 \text{ lm/W}$ .
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100\text{-}200 \text{ lm/W}$  (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3 \text{ lm/W}$   
⇒ Non molto ecologica!!

Ma l'efficienza luminosa non è il solo parametro di interesse:

- ▶ **Qualità** della luce.

→ Idealmente una sorgente che nel visibile abbia lo stesso spettro di emissione della luce solare.  
(I nostri occhi si sono adattati alla luce solare!)

Ad esempio, il **massimo teorico** corrisponde a una sorgente di **luce monocromatica in corrispondenza del massimo** della **funzione di efficienza luminosa** ('luminosity function'):

⇒ **683 lm/W**



## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole:  $93 \text{ lm/W}$ .
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W:  $14 \text{ lm/W}$ .
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100\text{-}200 \text{ lm/W}$  (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3 \text{ lm/W}$   
⇒ Non molto ecologica!!

Ma l'efficienza luminosa non è il solo parametro di interesse:

- ▶ **Qualità** della luce.
- Idealmente una sorgente che nel visibile abbia lo stesso spettro di emissione della luce solare.  
(I nostri occhi si sono adattati alla luce solare!)

Ad esempio, il **massimo teorico** corrisponde a una sorgente di **luce monocromatica in corrispondenza del massimo** della **funzione di efficienza luminosa** ('luminosity function'):

⇒  **$683 \text{ lm/W}$** , ma non è la lampada che ci piacerebbe avere. . .

## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole:  $93 \text{ lm/W}$ .
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W:  $14 \text{ lm/W}$ .
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100\text{-}200 \text{ lm/W}$  (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3 \text{ lm/W}$   
⇒ Non molto ecologica!!

Ma l'efficienza luminosa non è il solo parametro di interesse:

- ▶ **Qualità** della luce.
- Idealmente una sorgente che nel visibile abbia lo stesso spettro di emissione della luce solare.  
(I nostri occhi si sono adattati alla luce solare!)

Ad esempio, il **massimo teorico** corrisponde a una sorgente di **luce monocromatica in corrispondenza del massimo** della **funzione di efficienza luminosa** ('luminosity function'):

⇒ **683 lm/W**, ma non è la lampada che ci piacerebbe avere...  
683?

## Efficienza luminosa (Luminous efficacy)

Alcuni valori, per avere un'idea (da [wiki/Efficienza\\_luminosa](#) )

- ▶ Sole: 93 lm/W.
- ▶ Lampadina incandescente da 100 W: 14 lm/W.
- ▶ Lampade a LED bianche:  $\approx 100\text{-}200$  lm/W (e oltre!).
- ▶ Candela (tipica di cera):  $\approx 0.3$  lm/W  
⇒ Non molto ecologica!!

Ma l'efficienza luminosa non è il solo parametro di interesse:

- ▶ **Qualità** della luce.

→ Idealmente una sorgente che nel visibile abbia lo stesso spettro di emissione della luce solare.  
(I nostri occhi si sono adattati alla luce solare!)

Ad esempio, il **massimo teorico** corrisponde a una sorgente di **luce monocromatica in corrispondenza del massimo** della **funzione di efficienza luminosa** ('luminosity function'):

⇒ **683 lm/W**, ma non è la lampada che ci piacerebbe avere. . .

**683?** 'Tautologico' (questione metrologica, che per ora non ci interessa)

# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

Potenza	↔	Flusso luminoso
Energia nell'unità di tempo	↔	quant. di luce nell'unità di tempo

# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

Potenza	↔	Flusso luminoso
Energia nell'unità di tempo	↔	quant. di luce nell'unità di tempo
watt (W)	↔	lumen (lm)

# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

Potenza	↔	Flusso luminoso
Energia nell'unità di tempo	↔	quant. di luce nell'unità di tempo
watt (W)	↔	lumen (lm)
Energia	↔	Quantità di luce

# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

Potenza	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso
Energia nell'unità di tempo	$\longleftrightarrow$	quant. di luce nell'unità di tempo
watt (W)	$\longleftrightarrow$	lumen (lm)

Energia	$\longleftrightarrow$	Quantità di luce
Potenza $\times \Delta t$	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso $\times \Delta t$
joule (J)	$\longleftrightarrow$	lumen second (lm·s) ( <i>'talbot'</i> )



# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

Potenza	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso
Energia nell'unità di tempo	$\longleftrightarrow$	quant. di luce nell'unità di tempo
watt (W)	$\longleftrightarrow$	lumen (lm)
Energia	$\longleftrightarrow$	Quantità di luce
Potenza $\times \Delta t$	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso $\times \Delta t$
joule (J)	$\longleftrightarrow$	lumen second (lm·s) ( <i>'talbot'</i> )
<i>irradiance (flux density)</i>	$\longleftrightarrow$	<i>illuminance</i>
Potenza / unità di superficie	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso / unità di sup.
$W/m^2$	$\longleftrightarrow$	$lm/m^2$

# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

Potenza	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso
Energia nell'unità di tempo	$\longleftrightarrow$	quant. di luce nell'unità di tempo
watt (W)	$\longleftrightarrow$	lumen (lm)
Energia	$\longleftrightarrow$	Quantità di luce
Potenza $\times \Delta t$	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso $\times \Delta t$
joule (J)	$\longleftrightarrow$	lumen second (lm·s) ( <i>'talbot'</i> )
<i>irradiance (flux density)</i>	$\longleftrightarrow$	<i>illuminance</i>
Potenza / unità di superficie	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso / unità di sup.
$W/m^2$	$\longleftrightarrow$	$lm/m^2 \rightarrow$ <b>lux (lx)</b>

# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

Potenza	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso
Energia nell'unità di tempo	$\longleftrightarrow$	quant. di luce nell'unità di tempo
watt (W)	$\longleftrightarrow$	lumen (lm)
Energia	$\longleftrightarrow$	Quantità di luce
Potenza $\times \Delta t$	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso $\times \Delta t$
joule (J)	$\longleftrightarrow$	lumen second (lm·s) ( <i>'talbot'</i> )
<i>irradiance (flux density)</i>	$\longleftrightarrow$	<i>illuminance</i>
Potenza / unità di superficie	$\longleftrightarrow$	Flusso luminoso / unità di sup.
$W/m^2$	$\longleftrightarrow$	$lm/m^2 \rightarrow$ <b>lux (lx)</b>

I lux sono quelli che si misurano in pratica!

# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

Potenza	↔	Flusso luminoso
Energia nell'unità di tempo	↔	quant. di luce nell'unità di tempo
watt (W)	↔	lumen (lm)

Energia	↔	Quantità di luce
Potenza $\times \Delta t$	↔	Flusso luminoso $\times \Delta t$
joule (J)	↔	lumen second (lm·s) ( <i>'talbot'</i> )

<i>irradiance (flux density)</i>	↔	<i>illuminance</i>
Potenza / unità di superficie	↔	Flusso luminoso / unità di sup.
$W/m^2$	↔	$lm/m^2 \rightarrow$ <b>lux (lx)</b>

I lux sono quelli che si misurano in pratica!

→ Strumenti professionali (**luxmetri**)

# Flusso luminoso e quantità di luce

Un'ultima precisazione sul concetto di flusso luminoso:

Potenza	↔	Flusso luminoso
Energia nell'unità di tempo	↔	quant. di luce nell'unità di tempo
watt (W)	↔	lumen (lm)

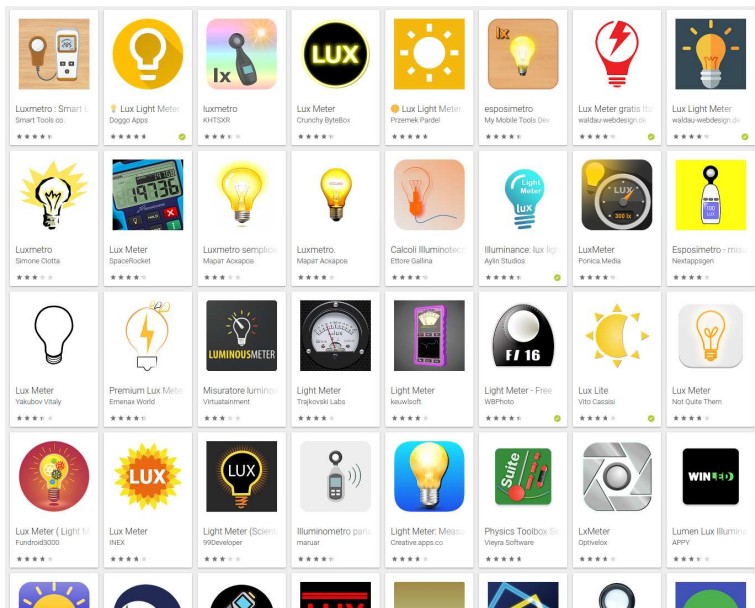
Energia	↔	Quantità di luce
Potenza $\times \Delta t$	↔	Flusso luminoso $\times \Delta t$
joule (J)	↔	lumen second (lm·s) ( <i>'talbot'</i> )

<i>irradiance (flux density)</i>	↔	<i>illuminance</i>
Potenza / unità di superficie	↔	Flusso luminoso / unità di sup.
W/m <sup>2</sup>	↔	lm/m <sup>2</sup> → <b>lux (lx)</b>

I lux sono quelli che si misurano in pratica!

→ Strumenti professionali (**luxmetri**) ... e **app!**

# Luxmetri Android (solo alcuni!)



# Confronto con strumento dedicato



## Confronto con strumento dedicato



Flusso di luce incidente sul foglio A4:  $\approx 300 \text{ lx} \times 0.062 \text{ m}^2 \approx 19 \text{ lm}$ .



# App Android usata



## Lux Light Meter

waldau-webdesign.de Strumenti

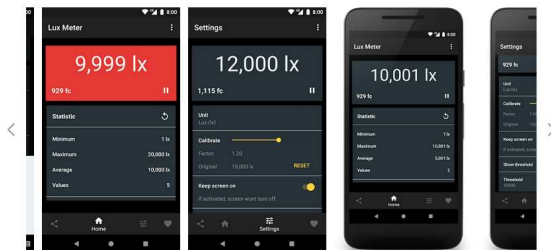
★★★★☆ 1.600

1 PEGI 3

Contiene annunci

L'app è compatibile con tutti i tuoi dispositivi.

Installata



# App Android usata



## Lux Light Meter

waldau-webdesign.de Strumenti

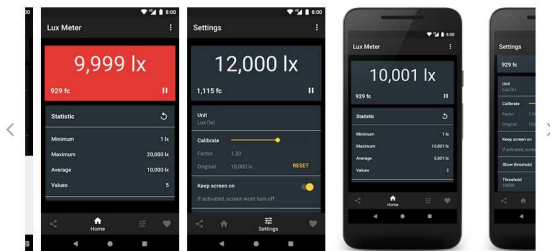
★★★★☆ 1.600

1 PEGI 3

Contiene annunci

L'app è compatibile con tutti i tuoi dispositivi.

Installata



(Ma ce ne saranno sicuramente di migliori,  
specialmente per uso fotografico)

# App Android usata



## Lux Light Meter

waldau-webdesign.de Strumenti

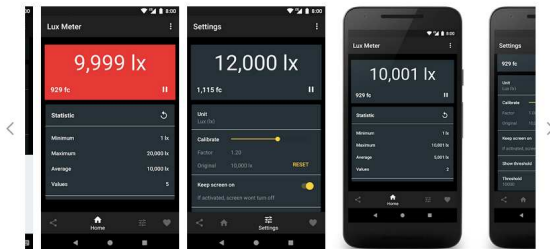
★★★★☆ 1.600

1 PEGI 3

Contiene annunci

L'app è compatibile con tutti i tuoi dispositivi.

Installata



(Ma ce ne saranno sicuramente di migliori,  
specialmente per uso fotografico)

Non è stato necessario calibrarla (ma può dipendere dallo smart)

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ **distanza** lampada-sensore: **50 cm**;

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

$$\approx 300 \text{ lx} \times 4 \pi \times (0.50 \text{ m})^2 \approx 940 \text{ lm}$$



# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

$$\approx 300 \text{ lx} \times 4 \pi \times (0.50 \text{ m})^2 \approx 940 \text{ lm}$$

Ma...

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

$$\approx 300 \text{ lx} \times 4 \pi \times (0.50 \text{ m})^2 \approx 940 \text{ lm}$$

Ma...

- ▶ si trattava di una lampada da tavolo e quindi *avremmo dovuto* considerare solo una porzione di angolo solido;

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

$$\approx 300 \text{ lx} \times 4 \pi \times (0.50 \text{ m})^2 \approx 940 \text{ lm}$$

Ma...

- ▶ si trattava di una lampada da tavolo e quindi *avremmo dovuto* considerare solo una porzione di angolo solido;
- ▶ inevitabili riflessioni multiple

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

$$\approx 300 \text{ lx} \times 4 \pi \times (0.50 \text{ m})^2 \approx 940 \text{ lm}$$

Ma...

- ▶ si trattava di una lampada da tavolo e quindi *avremmo dovuto* considerare solo una porzione di angolo solido;
- ▶ inevitabili riflessioni multiple (foglio, oggetti sul tavolo e tavolo stesso → soffitto e pareti)

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

$$\approx 300 \text{ lx} \times 4 \pi \times (0.50 \text{ m})^2 \approx 940 \text{ lm}$$

Ma...

- ▶ si trattava di una lampada da tavolo e quindi *avremmo dovuto* considerare solo una porzione di angolo solido;
- ▶ inevitabili riflessioni multiple (foglio, oggetti sul tavolo e tavolo stesso → soffitto e pareti)
  - ▶ È abbastanza noto l'influenza di soffitto e pareti nell'illuminazione di una stanza;

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

$$\approx 300 \text{ lx} \times 4 \pi \times (0.50 \text{ m})^2 \approx 940 \text{ lm}$$

Ma...

- ▶ si trattava di una lampada da tavolo e quindi *avremmo dovuto* considerare solo una porzione di angolo solido;
- ▶ inevitabili riflessioni multiple (foglio, oggetti sul tavolo e tavolo stesso → soffitto e pareti)
  - ▶ È abbastanza noto l'influenza di soffitto e pareti nell'illuminazione di una stanza;
  - ▶ Misure di fotometria *andrebbero* effettuate evitando questi effetti 'secondari'.

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

$$\approx 300 \text{ lx} \times 4 \pi \times (0.50 \text{ m})^2 \approx 940 \text{ lm}$$

Ma...

- ▶ si trattava di una lampada da tavolo e quindi *avremmo dovuto* considerare solo una porzione di angolo solido;
- ▶ inevitabili riflessioni multiple (foglio, oggetti sul tavolo e tavolo stesso → soffitto e pareti)
  - ▶ È abbastanza noto l'influenza di soffitto e pareti nell'illuminazione di una stanza;
  - ▶ Misure di fotometria *andrebbero* effettuate evitando questi effetti 'secondari'.
- ▶ E inoltre c'erano altre sorgenti di luce (monitor PC, luce lontana dal tavolo)

# Luce emessa dalla lampada

Dati ('ipotesi'):

- ▶ distanza lampada-sensore: 50 cm;
- ▶ emissione isotropa;
- ▶ solo luce direttamente dalla lampada.

$$\approx 300 \text{ lx} \times 4 \pi \times (0.50 \text{ m})^2 \approx 940 \text{ lm}$$

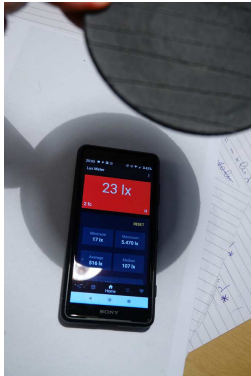
Ma...

- ▶ si trattava di una lampada da tavolo e quindi *avremmo dovuto* considerare solo una porzione di angolo solido;
- ▶ inevitabili riflessioni multiple (foglio, oggetti sul tavolo e tavolo stesso → soffitto e pareti)
  - ▶ È abbastanza noto l'influenza di soffitto e pareti nell'illuminazione di una stanza;
  - ▶ Misure di fotometria *andrebbero* effettuate evitando questi effetti 'secondari'.
- ▶ E inoltre c'erano altre sorgenti di luce (monitor PC, luce lontana dal tavolo):
  - ⇒ volutamente condizioni non ideali (visto che comunque non potevo eliminare le riflessioni. . .)



# Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)

# Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)



# Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)

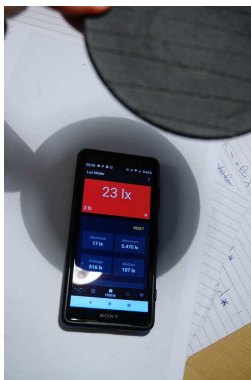
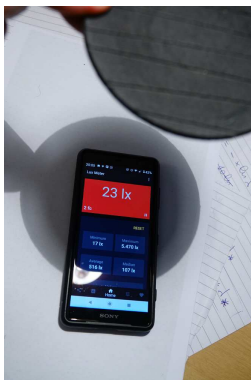


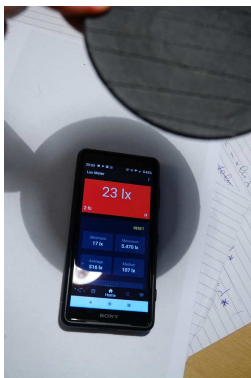
Immagine possibili obiezioni

## Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)



Immagino possibili **obiezioni**, che *condivido a priori*...

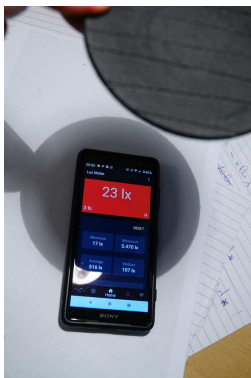
## Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)



Immagino possibili **obiezioni**, che *condivido a priori*...

**Intento:**

## Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)

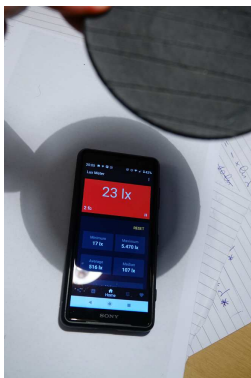


Immagino possibili **obiezioni**, che *condivido a priori*...

### **Intento:**

- ▶ stimare l'**ordine di grandezza**;

# Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)

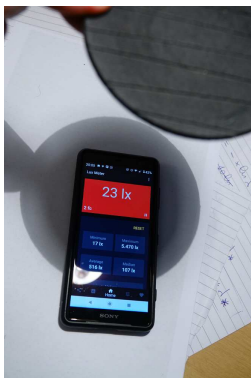


Immagino possibili **obiezioni**, che *condivido a priori*...

## **Intento:**

- ▶ stimare l'**ordine di grandezza**;
- ▶ capire **se gli effetti sono critici** per ulteriori misure.

# Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)



Immagino possibili **obiezioni**, che *condivido a priori*...

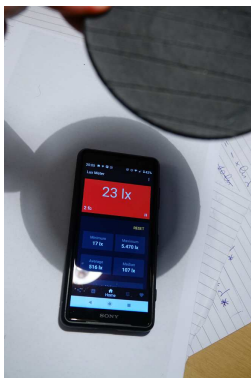
## **Intento:**

- ▶ stimare l'**ordine di grandezza**;
- ▶ capire **se gli effetti sono critici** per ulteriori misure.

Ovviamente, cercare di organizzarsi per fare le cose al meglio



# Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)



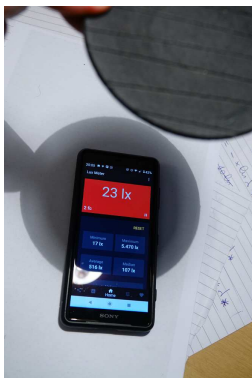
Immagino possibili **obiezioni**, che *condivido a priori*...

## **Intento:**

- ▶ stimare l'**ordine di grandezza**;
- ▶ capire **se gli effetti sono critici** per ulteriori misure.

Ovviamente, cercare di organizzarsi per fare le cose al meglio... ma in un tempo finito

## Stima grossolana della luce non diretta (e di fondo)



Immagino possibili **obiezioni**, che *condivido a priori*...

### **Intento:**

- ▶ stimare l'**ordine di grandezza**;
- ▶ capire **se gli effetti sono critici** per ulteriori misure.

Ovviamente, cercare di organizzarsi per fare le cose al meglio... ma in un tempo finito

⇒ "In the long run we are all dead."

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**  
(**300 lx erano tanti** perché sotto una lampada da tavolo!)

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ **Dipendenza logaritmica** della percezione della luce!

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ **Dipendenza logaritmica** della percezione della luce!  
(Chi si intende un po' di fotografia sa che un **raddoppio/dimezzamento** dell'illuminazione,

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ **Dipendenza logaritmica** della percezione della luce!  
(Chi si intende un po' di fotografia sa che un **raddoppio/dimezzamento** dell'illuminazione, ovvero  **$\pm 1$  diaframma**, è **difficilmente percepibile** dall'occhio umano, il quale si adatta rapidamente)



## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ **Dipendenza logaritmica** della percezione della luce!  
(Chi si intende un po' di fotografia sa che un **raddoppio/dimezzamento** dell'illuminazione, ovvero  **$\pm 1$  diaframma**, è **difficilmente percepibile** dall'occhio umano, il quale si adatta rapidamente)
  - ▶ Analoga alla percezione del suono:

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ **Dipendenza logaritmica** della percezione della luce!  
(Chi si intende un po' di fotografia sa che un **raddoppio/dimezzamento** dell'illuminazione, ovvero  **$\pm 1$  diaframma**, è **difficilmente percepibile** dall'occhio umano, il quale si adatta rapidamente)
  - ▶ Analoga alla percezione del suono:  
⇒ i **decibel** sono logaritmi della pressione sonora.

# Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ **Dipendenza logaritmica** della percezione della luce!  
(Chi si intende un po' di fotografia sa che un **raddoppio/dimezzamento** dell'illuminazione, ovvero  **$\pm 1$  diaframma**, è **difficilmente percepibile** dall'occhio umano, il quale si adatta rapidamente)
  - ▶ Analoga alla percezione del suono:  
⇒ i **decibel** sono logaritmi della pressione sonora.
  - ▶ **Grande adattabilità all'ambiente!**

# Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ **Dipendenza logaritmica** della percezione della luce!  
(Chi si intende un po' di fotografia sa che un **raddoppio/dimezzamento** dell'illuminazione, ovvero  **$\pm 1$  diaframma**, è **difficilmente percepibile** dall'occhio umano, il quale si adatta rapidamente)
  - ▶ Analoga alla percezione del suono:  
⇒ i **decibel** sono logaritmi della pressione sonora.
  - ▶ **Grande adattabilità all'ambiente!**
- ▶ **Dipendenza dalla distanza della sorgente**

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!**  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ **Dipendenza logaritmica** della percezione della luce!  
(Chi si intende un po' di fotografia sa che un **raddoppio/dimezzamento** dell'illuminazione, ovvero  **$\pm 1$  diaframma**, è **difficilmente percepibile** dall'occhio umano, il quale si adatta rapidamente)
  - ▶ Analoga alla percezione del suono:  
⇒ i **decibel** sono logaritmi della pressione sonora.
  - ▶ **Grande adattabilità all'ambiente!**
- ▶ **Dipendenza dalla distanza della sorgente**:  
→ organizzarsi a fare le misure!

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che l'occhio umano si adatta a condizioni di illuminamento che possono differire di vari ordini di grandezza! (\*)  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ Dipendenza logaritmica della percezione della luce!  
(Chi si intende un po' di fotografia sa che un raddoppio/dimezzamento dell'illuminazione, ovvero  $\pm 1$  diaframma, è difficilmente percepibile dall'occhio umano, il quale si adatta rapidamente)
  - ▶ Analoga alla percezione del suono:  
⇒ i decibel sono logaritmi della pressione sonora.
  - ▶ Grande adattabilità all'ambiente!
- ▶ Dipendenza dalla distanza della sorgente:  
→ organizzarsi a fare le misure!

(\*) A proposito, quanti lux si misurano alla luce diretta del sole?

## Qualche attività

- ▶ Provare a fare *misure in diversi ambienti*:
  - ▶ si scoprirà che **l'occhio umano si adatta** a condizioni di illuminamento che possono differire di **vari ordini di grandezza!** (\*)  
(300 lx erano tanti perché sotto una lampada da tavolo!)
  - ▶ **Dipendenza logaritmica** della percezione della luce!  
(Chi si intende un po' di fotografia sa che un **raddoppio/dimezzamento** dell'illuminazione, ovvero  **$\pm 1$  diaframma**, è **difficilmente percepibile** dall'occhio umano, il quale si adatta rapidamente)
  - ▶ Analoga alla percezione del suono:  
⇒ i **decibel** sono logaritmi della pressione sonora.
  - ▶ **Grande adattabilità all'ambiente!**
- ▶ **Dipendenza dalla distanza della sorgente**:  
→ organizzarsi a fare le misure!

(\*) A proposito, **quanti lux** si misurano **alla luce diretta del sole**?  
→ Avete tutte le informazioni: provare a fare l'**esercizio!**

# Intensità luminosa

## E le candele?



# Intensità luminosa E le candele?



In prossimità del Natale non ce le possiamo far mancare. . .

## Intensità luminosa

- ▶ Non tutte le sorgenti sono **isotrope** (*‘emettono la luce nello stesso modo in tutte le direzioni’*)

## Intensità luminosa

- ▶ Non tutte le sorgenti sono **isotrope** (*‘emettono la luce nello stesso modo in tutte le direzioni’*)

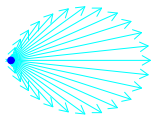
Spostiamoci un momento su **Flatland** (*‘sezione equatoriale’*):

# Intensità luminosa

- ▶ Non tutte le sorgenti sono **isotrope** (*‘emettono la luce nello stesso modo in tutte le direzioni’*)

Spostiamoci un momento su **Flatland** (*‘sezione equatoriale’*):

**Sorgente**

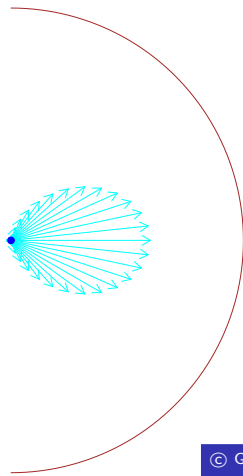


# Intensità luminosa

- ▶ Non tutte le sorgenti sono **isotrope** (*'emettono la luce nello stesso modo in tutte le direzioni'*)

Spostiamoci un momento su **Flatland** (*'sezione equatoriale'*):

**Sorgente** + **'schermo'**

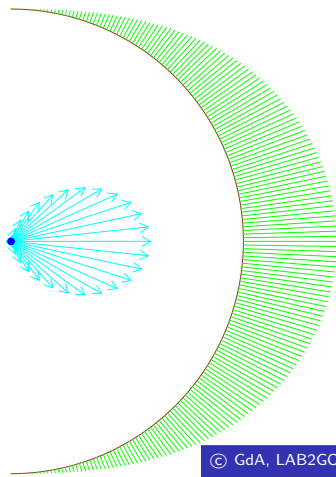


# Intensità luminosa

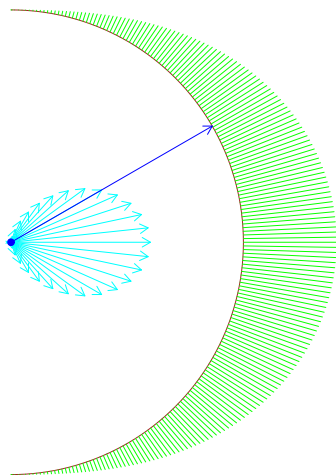
- ▶ Non tutte le sorgenti sono **isotrope** ('emettono la luce nello stesso modo in tutte le direzioni')

Spostiamoci un momento su **Flatland** ('sezione equatoriale'):

**Sorgente** + 'schermo' e **lux misurati**

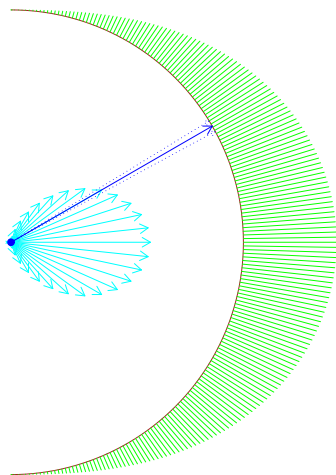


## Intensità luminosa in una certa direzione



' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo (siamo a Flatland!)

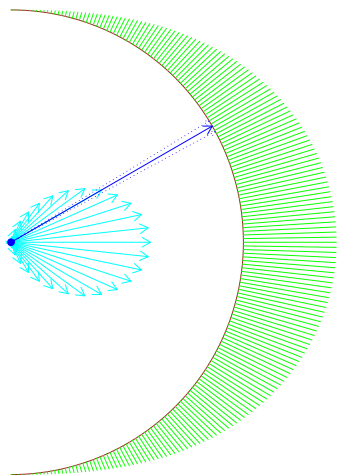
## Intensità luminosa in una certa direzione



' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo (siamo a Flatland!)  
→ '*flumen*' su angolo

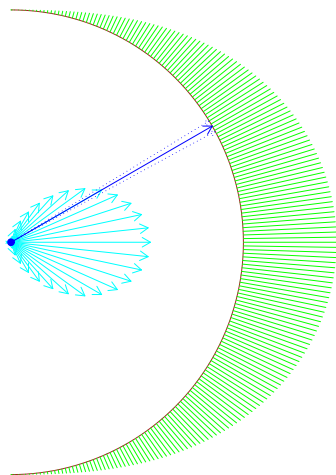


## Intensità luminosa in una certa direzione



' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo (siamo a Flatland!)  
→ '*flumen*' su angolo ('lumen' di Flatland!)

## Intensità luminosa in una certa direzione

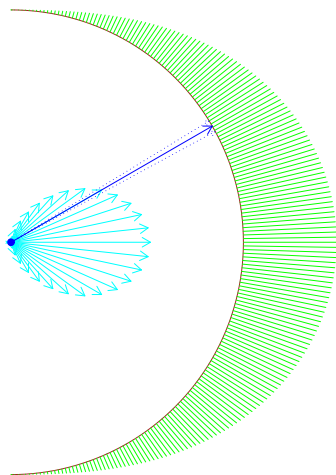


' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo (siamo a Flatland!)

→ '*flumen*' su angolo ('lumen' di Flatland!)

Angolo: lunghezza dell'arco diviso il raggio

## Intensità luminosa in una certa direzione



' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo (siamo a Flatland!)

→ '*flumen*' su angolo ('lumen' di Flatland!)

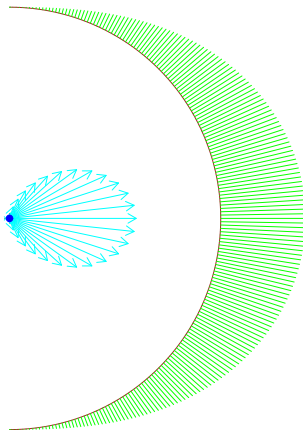
Angolo: lunghezza dell'arco diviso il raggio (radiante)

# Intensità luminosa e illuminamento

Per capire meglio il diverso significato, spostiamo la sorgente (sempre nel 'piano equatoriale'):

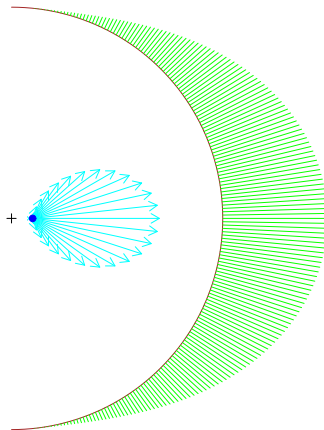
# Intensità luminosa e illuminamento

Per capire meglio il diverso significato, spostiamo la sorgente (sempre nel 'piano equatoriale'):



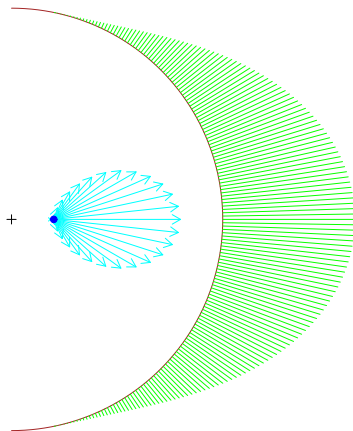
# Intensità luminosa e illuminamento

Per capire meglio il diverso significato, spostiamo la sorgente (sempre nel 'piano equatoriale'):



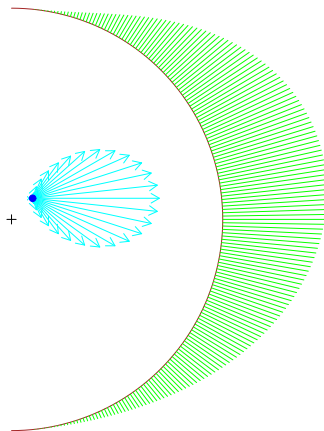
# Intensità luminosa e illuminamento

Per capire meglio il diverso significato, spostiamo la sorgente (sempre nel 'piano equatoriale'):



# Intensità luminosa e illuminamento

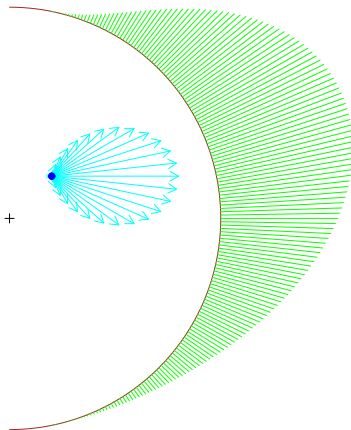
Per capire meglio il diverso significato, spostiamo la sorgente (sempre nel 'piano equatoriale'):





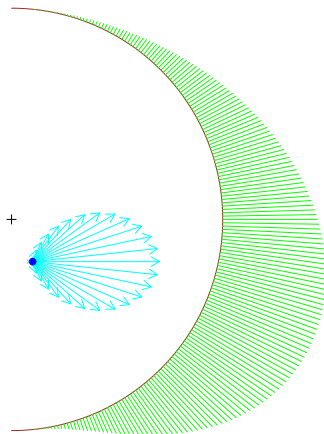
# Intensità luminosa e illuminamento

Per capire meglio il diverso significato, spostiamo la sorgente (sempre nel 'piano equatoriale'):



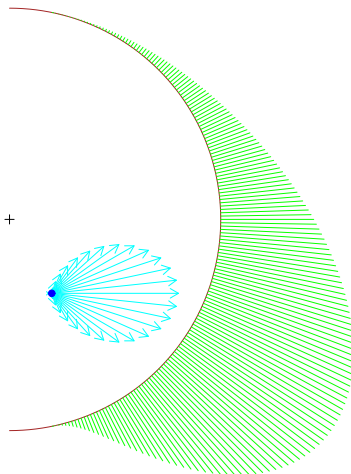
# Intensità luminosa e illuminamento

Per capire meglio il diverso significato, spostiamo la sorgente (sempre nel 'piano equatoriale'):



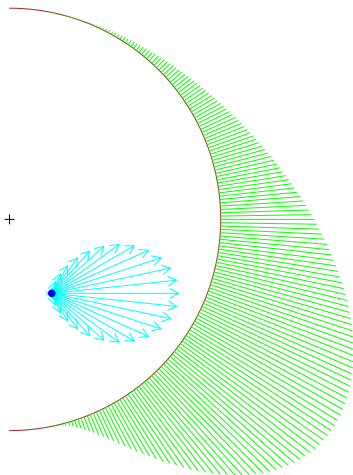
# Intensità luminosa e illuminamento

Per capire meglio il diverso significato, spostiamo la sorgente (sempre nel 'piano equatoriale'):



## Intensità luminosa e illuminamento

Per capire meglio il diverso significato, spostiamo la sorgente (sempre nel 'piano equatoriale'):



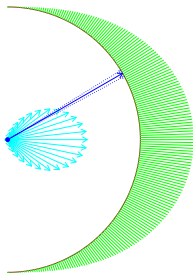
E, chiaramente, se abbiamo più sorgenti, si sommano i contributi.  
(Stiamo trascurando riflessioni/diffusioni)

# Intensità luminosa **in una certa direzione**

Torniamo sulla Terra

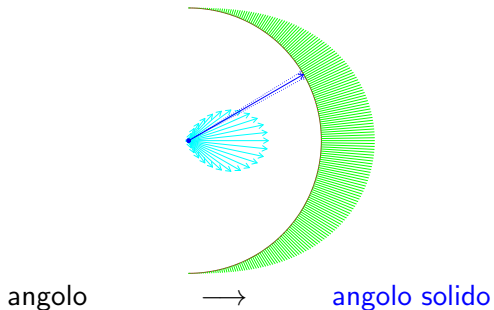
# Intensità luminosa in una certa direzione

Torniamo sulla Terra (che non è piatta... ma non lo dite in giro!)



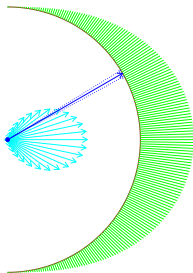
# Intensità luminosa in una certa direzione

Torniamo sulla Terra (che non è piatta... ma non lo dite in giro!)



# Intensità luminosa in una certa direzione

Torniamo sulla Terra (che non è piatta... ma non lo dite in giro!)



angolo  
'arco diviso  $R$ '



angolo solido

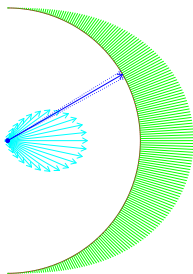


area calotta diviso  $R^2$



# Intensità luminosa in una certa direzione

Torniamo sulla Terra (che non è piatta... ma non lo dite in giro!)



angolo  
'arco diviso  $R$ '  
(adimensionale)

→

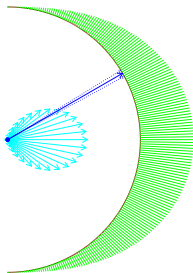
→

→

angolo solido  
area calotta diviso  $R^2$   
(adimensionale)

# Intensità luminosa in una certa direzione

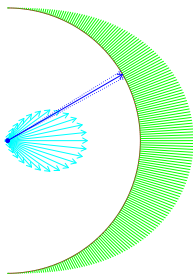
Torniamo sulla Terra (che non è piatta... ma non lo dite in giro!)



angolo	→	angolo solido
'arco diviso $R$ '	→	area calotta diviso $R^2$
(adimensionale)	→	(adimensionale)
<b>radiante:</b> $\theta$ , $\alpha$ , etc.	→	<b>steradiano (sr):</b> $\Omega$

# Intensità luminosa in una certa direzione

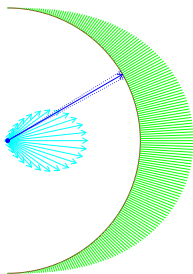
Torniamo sulla Terra (che non è piatta... ma non lo dite in giro!)



angolo	→	angolo solido
'arco diviso $R'$	→	area calotta diviso $R^2$
(adimensionale)	→	(adimensionale)
<b>radiante</b> : $\theta$ , $\alpha$ , etc.	→	<b>steradiane (sr)</b> : $\Omega$
angolo giro: $2\pi$		

# Intensità luminosa in una certa direzione

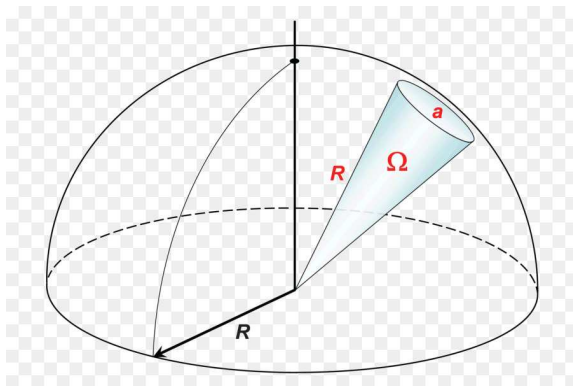
Torniamo sulla Terra (che non è piatta... ma non lo dite in giro!)



angolo	→	angolo solido
'arco diviso $R'$	→	area calotta diviso $R^2$
(adimensionale)	→	(adimensionale)
<b>radiante</b> : $\theta, \alpha$ , etc.	→	<b>steradiante (sr)</b> : $\Omega$
angolo giro: $2\pi$	→	$4\pi$

# Angolo solido

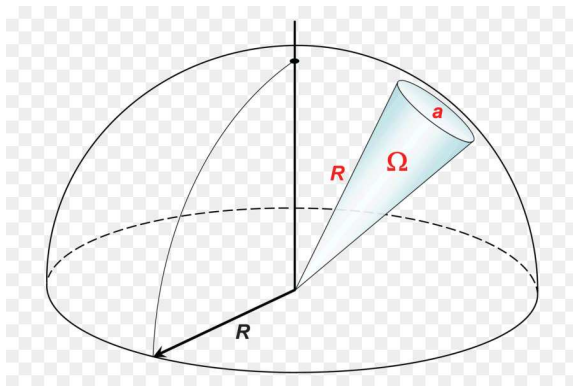
Una figura 3D



(Area della calotta!

# Angolo solido

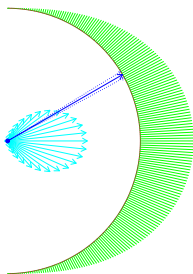
Una figura 3D



(Area della calotta! Se  $\Omega$  è 'piccolo' si può approssimare con la base del cono.)

# Intensità luminosa in una certa direzione

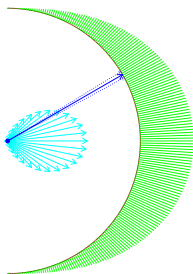
Torniamo sulla Terra (che non è piatta... non lo dite in giro!)



angolo	→	angolo solido
'arco diviso $R$ '	→	area calotta diviso $R^2$
(adimensionale)	→	(adimensionale)
<b>radiante</b> : $\theta$ , $\alpha$ , etc.	→	<b>steradiano (sr)</b> : $\Omega$
angolo giro: $2\pi$	→	$4\pi$

# Intensità luminosa in una certa direzione

Torniamo sulla Terra (che non è piatta... non lo dite in giro!)



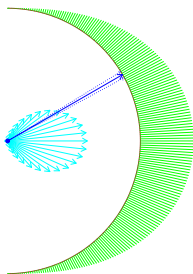
angolo	→	angolo solido
'arco diviso $R$ '	→	area calotta diviso $R^2$
(adimensionale)	→	(adimensionale)
<b>radiante:</b> $\theta$ , $\alpha$ , etc.	→	<b>steradiane (sr):</b> $\Omega$
angolo giro: $2\pi$	→	$4\pi$

' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo solido



# Intensità luminosa in una certa direzione

Torniamo sulla Terra (che non è piatta... non lo dite in giro!)



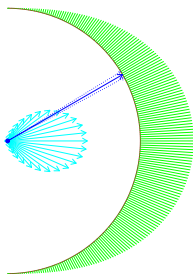
angolo	→	angolo solido
'arco diviso $R$ '	→	area calotta diviso $R^2$
(adimensionale)	→	(adimensionale)
<b>radiante:</b> $\theta, \alpha$ , etc.	→	<b>steradiante (sr):</b> $\Omega$
angolo giro: $2\pi$	→	$4\pi$

' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo solido

$$I_V(\text{dir}) = \frac{\Delta\Phi(\text{dir})}{\Delta\Omega}$$

# Intensità luminosa in una certa direzione

Torniamo sulla Terra (che non è piatta... non lo dite in giro!)



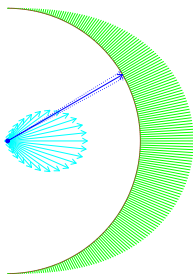
angolo	→	angolo solido
'arco diviso $R$ '	→	area calotta diviso $R^2$
(adimensionale)	→	(adimensionale)
<b>radiante:</b> $\theta$ , $\alpha$ , etc.	→	<b>steradiano (sr):</b> $\Omega$
angolo giro: $2\pi$	→	$4\pi$

' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo solido

$$I_V(\text{dir}) = \frac{\Delta\Phi(\text{dir})}{\Delta\Omega} \rightarrow \frac{d\Phi(\text{dir})}{d\Omega}$$

# Intensità luminosa in una certa direzione

Torniamo sulla Terra (che non è piatta... non lo dite in giro!)



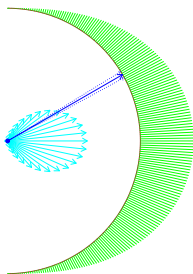
angolo	→	angolo solido
'arco diviso $R$ '	→	area calotta diviso $R^2$
(adimensionale)	→	(adimensionale)
<b>radiante</b> : $\theta$ , $\alpha$ , etc.	→	<b>steradianne (sr)</b> : $\Omega$
angolo giro: $2\pi$	→	$4\pi$

' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo solido

$$I_V(\text{dir}) = \frac{\Delta\Phi(\text{dir})}{\Delta\Omega} \rightarrow \frac{d\Phi(\text{dir})}{d\Omega} \rightarrow \text{candela}$$

# Intensità luminosa in una certa direzione

Torniamo sulla Terra (che non è piatta... non lo dite in giro!)



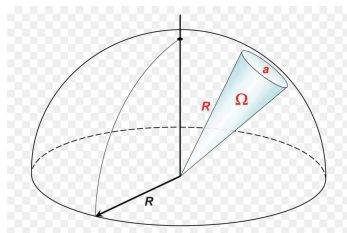
angolo	→	angolo solido
'arco diviso $R$ '	→	area calotta diviso $R^2$
(adimensionale)	→	(adimensionale)
<b>radiante</b> : $\theta$ , $\alpha$ , etc.	→	<b>steradianne (sr)</b> : $\Omega$
angolo giro: $2\pi$	→	$4\pi$

' $I_V(\text{dir})$ ': flusso di luce per unità di angolo solido

$$I_V(\text{dir}) = \frac{\Delta\Phi(\text{dir})}{\Delta\Omega} \rightarrow \frac{d\Phi(\text{dir})}{d\Omega} \rightarrow \text{candela}(\text{dir})$$

# Angolo solido

Calcolo dell'angolo solido entro un 'cono' (anche degenera!):

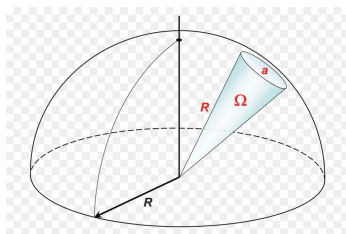


Indicando con  $\theta$  la 'semiapertura' del cono:

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta)$$

# Angolo solido

Calcolo dell'angolo solido entro un 'cono' (anche degenera!):



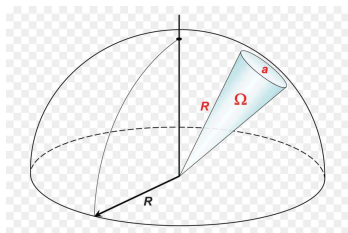
Indicando con  $\theta$  la 'semiapertura' del cono:

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta)$$

→ La formula vale anche per  $\theta \geq \pi/2$

# Angolo solido

Calcolo dell'angolo solido entro un 'cono' (anche degenera!):



Indicando con  $\theta$  la 'semiapertura' del cono:

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta)$$

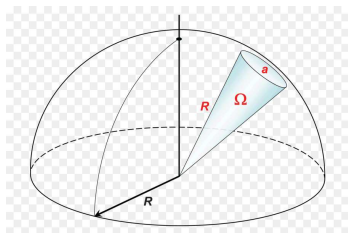
→ La formula vale anche per  $\theta \geq \pi/2$ . In particolare

- ▶ per  $\theta = \pi/2$  (superficie del cono che degenera in un piano, ovvero metà dell'angolo solido totale):

$$\Omega(\theta = \pi/2) = 2\pi \times (1 - 0)$$

# Angolo solido

Calcolo dell'angolo solido entro un 'cono' (anche degenerare!):



Indicando con  $\theta$  la 'semiapertura' del cono:

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta)$$

→ La formula vale anche per  $\theta \geq \pi/2$ . In particolare

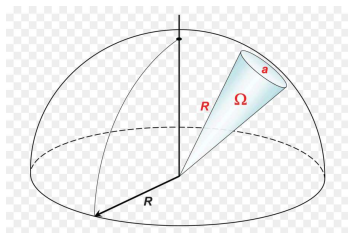
- ▶ per  $\theta = \pi/2$  (superficie del cono che degenera in un piano, ovvero metà dell'angolo solido totale):

$$\Omega(\theta = \pi/2) = 2\pi \times (1 - 0) = 2\pi;$$



# Angolo solido

Calcolo dell'angolo solido entro un 'cono' (anche degenerare!):



Indicando con  $\theta$  la 'semiapertura' del cono:

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta)$$

→ La formula vale anche per  $\theta \geq \pi/2$ . In particolare

- ▶ per  $\theta = \pi/2$  (superficie del cono che degenera in un piano, ovvero metà dell'angolo solido totale):

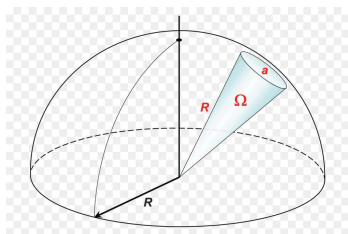
$$\Omega(\theta = \pi/2) = 2\pi \times (1 - 0) = 2\pi;$$

- ▶ per  $\theta = \pi$  (intero angolo solido):

$$\Omega(\theta = \pi) = 2\pi \times (1 - (-1))$$

# Angolo solido

Calcolo dell'angolo solido entro un 'cono' (anche degenerare!):



Indicando con  $\theta$  la 'semiapertura' del cono:

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta)$$

→ La formula vale anche per  $\theta \geq \pi/2$ . In particolare

- ▶ per  $\theta = \pi/2$  (superficie del cono che degenera in un piano, ovvero metà dell'angolo solido totale):

$$\Omega(\theta = \pi/2) = 2\pi \times (1 - 0) = 2\pi;$$

- ▶ per  $\theta = \pi$  (intero angolo solido):

$$\Omega(\theta = \pi) = 2\pi \times (1 - (-1)) = 4\pi.$$

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ ,  
da cui  $\cos \theta$ ?

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

**Aprossimazione per piccoli angoli:**

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### **A**pprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ),

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### **A**pprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2$$

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### **A**pprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$



## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ ,

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Approssimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.
- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ ,

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.
- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ , abbiamo, per piccoli angoli,  
 $\cos \theta \approx \sqrt{1 - \theta^2}$

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.
- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ , abbiamo, per piccoli angoli,  
 $\cos \theta \approx \sqrt{1 - \theta^2} \approx 1 - \theta^2/2$



## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.
- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ , abbiamo, per piccoli angoli,  
 $\cos \theta \approx \sqrt{1 - \theta^2} \approx 1 - \theta^2/2 \approx 1 - (\tan^2 \theta)/2$

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.
- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ , abbiamo, per piccoli angoli,  
 $\cos \theta \approx \sqrt{1 - \theta^2} \approx 1 - \theta^2/2 \approx 1 - (\tan^2 \theta)/2 \approx 1 - (r_c/R)^2/2$ .

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.

- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ , abbiamo, per piccoli angoli,  
 $\cos \theta \approx \sqrt{1 - \theta^2} \approx 1 - \theta^2/2 \approx 1 - (\tan^2 \theta)/2 \approx 1 - (r_c/R)^2/2$ .

Abbiamo quindi

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta)$$

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.
- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ , abbiamo, per piccoli angoli,  
 $\cos \theta \approx \sqrt{1 - \theta^2} \approx 1 - \theta^2/2 \approx 1 - (\tan^2 \theta)/2 \approx 1 - (r_c/R)^2/2$ .

Abbiamo quindi

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta) \approx 2\pi \times (1 - 1 + (r_c/R)^2/2)$$

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Aprossimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per **angoli piccoli**, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.

- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ , abbiamo, per piccoli angoli,  $\cos \theta \approx \sqrt{1 - \theta^2} \approx 1 - \theta^2/2 \approx 1 - (\tan^2 \theta)/2 \approx 1 - (r_c/R)^2/2$ .

Abbiamo quindi

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta) \approx 2\pi \times (1 - 1 + (r_c/R)^2/2) = \pi \times (r_c/R)^2$$

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Approssimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per angoli piccoli, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.
- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ , abbiamo, per piccoli angoli,  
 $\cos \theta \approx \sqrt{1 - \theta^2} \approx 1 - \theta^2/2 \approx 1 - (\tan^2 \theta)/2 \approx 1 - (r_c/R)^2/2$ .

Abbiamo quindi

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta) \approx 2\pi \times (1 - 1 + (r_c/R)^2/2) = \pi \times (r_c/R)^2$$

(Ci si poteva arrivare più direttamente *approssimando* l'area della calotta a quella di base del cono

## Angolo solido per 'coni stretti'

Ma veramente ci dobbiamo calcolare l'angolo di semiapertura  $\theta$ , da cui  $\cos \theta$ ? Fortunatamente nei casi pratici no!

### Approssimazione per piccoli angoli:

- ▶ innanzitutto ricordiamo che, chiamando  $\epsilon$  un numero 'molto minore' di 1 (ad es.  $\epsilon = 0.1$ ), vale

$$(1 - \epsilon)^2 = 1 - 2\epsilon + \epsilon^2 \approx 1 - 2\epsilon$$

[ad es.  $(1 - 0.1)^2 \approx 0.80$ , contro 0.81 esatto, ok?]

→ Ne segue  $\sqrt{1 - 2\epsilon} \approx 1 - \epsilon$ , e quindi anche  $\sqrt{1 - \epsilon} \approx 1 - \epsilon/2$ .

- ▶ Per angoli piccoli, ossia  $\theta \ll 1$  (ovviamente radianti), vale l'approssimazione  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx \theta$  ove  $\tan \theta = r_c/R$ , con  $r_c$  il raggio della base del cono.
- ▶ Ma, essendo  $\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta}$ , abbiamo, per piccoli angoli,  
 $\cos \theta \approx \sqrt{1 - \theta^2} \approx 1 - \theta^2/2 \approx 1 - (\tan^2 \theta)/2 \approx 1 - (r_c/R)^2/2$ .

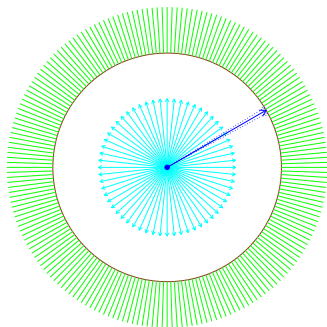
Abbiamo quindi

$$\Omega = 2\pi \times (1 - \cos \theta) \approx 2\pi \times (1 - 1 + (r_c/R)^2/2) = \pi \times (r_c/R)^2$$

(Ci si poteva arrivare più direttamente *approssimando* l'area della calotta a quella di base del cono:  $\Rightarrow \Omega \approx \pi r_c^2/R^2$  !)

## Caso di emissione isotropa

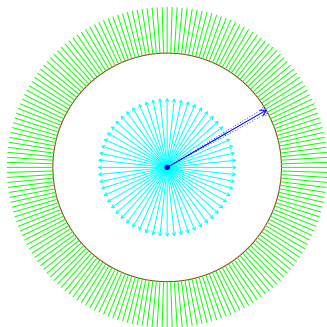
(Figura su Flatland per praticità, ma ragioniamo nello spazio. . .)





## Caso di emissione isotropa

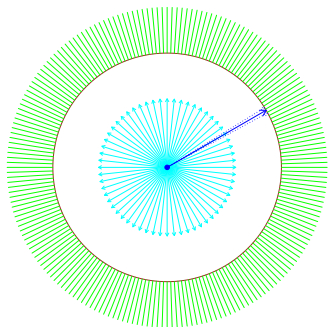
(Figura su Flatland per praticità, ma ragioniamo nello spazio. . .)



**Emissione isotropa:**  $I_V$  non dipende dalla direzione:

## Caso di emissione isotropa

(Figura su Flatland per praticità, ma ragioniamo nello spazio. . .)

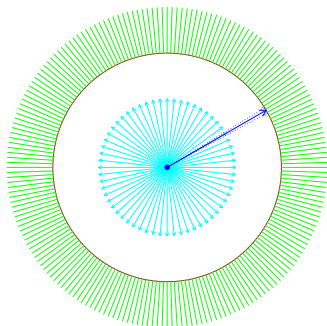


**Emissione isotropa:**  $I_V$  non dipende dalla direzione:

$$I_V = \frac{\text{flusso di luce totale}}{\text{angolo solido totale}}$$

## Caso di emissione isotropa

(Figura su Flatland per praticità, ma ragioniamo nello spazio...)

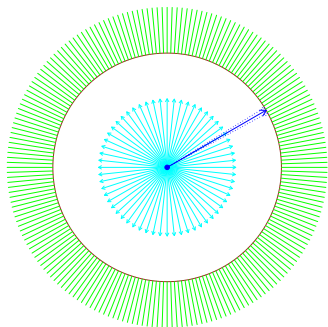


**Emissione isotropa:**  $I_V$  non dipende dalla direzione:

$$I_V = \frac{\text{flusso di luce totale}}{\text{angolo solido totale}} = \frac{\Phi_{tot}}{4\pi}$$

## Caso di emissione isotropa

(Figura su Flatland per praticità, ma ragioniamo nello spazio. . .)



**Emissione isotropa:**  $I_V$  non dipende dalla direzione:

$$I_V = \frac{\text{flusso di luce totale}}{\text{angolo solido totale}} = \frac{\Phi_{tot}}{4\pi}$$

in questo caso

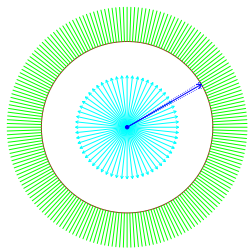
$$\text{'candele'} = \frac{\text{'lumen'}}{4\pi}$$

## Caso di emissione isotropa

Illuminamento prodotto da **1 cd** su una superficie a distanza  $R$   
(Trascurando riflessioni/diffusioni!)

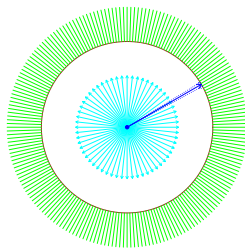
## Caso di emissione isotropa

Illuminamento prodotto da **1 cd** su una superficie a distanza  $R$   
(Trascurando riflessioni/diffusioni!)



## Caso di emissione isotropa

Illuminamento prodotto da **1 cd** su una superficie a distanza  $R$   
(Trascurando riflessioni/diffusioni!)

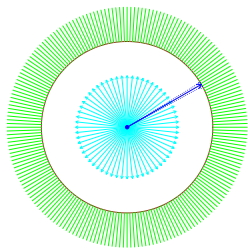


**Flusso luminoso:**

$$\Phi_{tot} = I_V \times 4\pi$$

## Caso di emissione isotropa

Illuminamento prodotto da **1 cd** su una superficie a distanza  $R$   
(Trascurando riflessioni/diffusioni!)



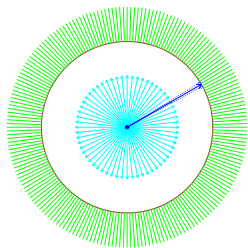
**Flusso luminoso:**

$$\Phi_{tot} = I_V \times 4\pi = 1 \text{ cd} \times 4\pi$$



## Caso di emissione isotropa

Illuminamento prodotto da **1 cd** su una superficie a distanza  $R$   
(Trascurando riflessioni/diffusioni!)

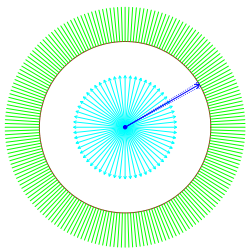


**Flusso luminoso:**

$$\Phi_{tot} = I_V \times 4\pi = 1 \text{ cd} \times 4\pi = 4\pi \text{ lm} \approx 12.6 \text{ lm}$$

# Caso di emissione isotropa

Illuminamento prodotto da **1 cd** su una superficie a distanza  $R$   
(Trascurando riflessioni/diffusioni!)



**Flusso luminoso:**

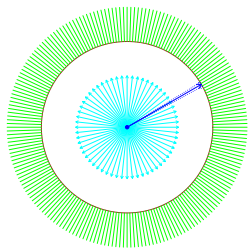
$$\Phi_{tot} = I_V \times 4\pi = 1 \text{ cd} \times 4\pi = 4\pi \text{ lm} \approx 12.6 \text{ lm}$$

**Illuminamento** ('illuminance'):

$$E_V = \frac{\Phi_{tot}}{4\pi R^2} =$$

## Caso di emissione isotropa

Illuminamento prodotto da **1 cd** su una superficie a distanza  $R$   
(Trascurando riflessioni/diffusioni!)



**Flusso luminoso:**

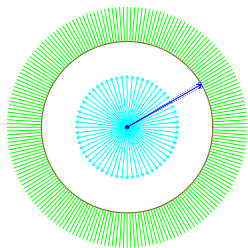
$$\Phi_{tot} = I_V \times 4\pi = 1 \text{ cd} \times 4\pi = 4\pi \text{ lm} \approx 12.6 \text{ lm}$$

**Illuminamento** ('illuminance'):

$$E_V = \frac{\Phi_{tot}}{4\pi R^2} = \frac{4\pi I_V}{4\pi R^2}$$

## Caso di emissione isotropa

Illuminamento prodotto da **1 cd** su una superficie a distanza  $R$   
(Trascurando riflessioni/diffusioni!)



**Flusso luminoso:**

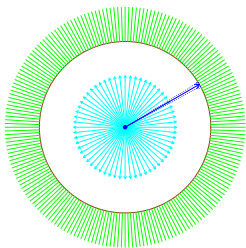
$$\Phi_{tot} = I_V \times 4\pi = 1 \text{ cd} \times 4\pi = 4\pi \text{ lm} \approx 12.6 \text{ lm}$$

**Illuminamento** ('illuminance'):

$$E_V = \frac{\Phi_{tot}}{4\pi R^2} = \frac{4\pi I_V}{4\pi R^2} = \frac{I_V}{R^2}$$

## Caso di emissione isotropa

Illuminamento prodotto da **1 cd** su una superficie a distanza  $R$   
(Trascurando riflessioni/diffusioni!)



**Flusso luminoso:**

$$\Phi_{tot} = I_V \times 4\pi = 1 \text{ cd} \times 4\pi = 4\pi \text{ lm} \approx 12.6 \text{ lm}$$

**Illuminamento** ('illuminance'):

$$E_V = \frac{\Phi_{tot}}{4\pi R^2} = \frac{4\pi I_V}{4\pi R^2} = \frac{I_V}{R^2} \xrightarrow{I_C=1 \text{ cd}, R=1 \text{ m}} 1 \text{ lx}$$

# Quante candele ha ... una candela?

## **Metodo:**

- ▶ misurare i lux (illuminamento) a una certa distanza;

# Quante candele ha ... una candela?

## Metodo:

- ▶ misurare i lux (illuminamento) a una certa distanza;
- lumen (totali)

# Quante candele ha ... una candela?

## Metodo:

- ▶ misurare i lux (illuminamento) a una certa distanza;
- lumen (totali) → candele.



# Quante candele ha ... una candela?

## Metodo:

- ▶ misurare i lux (illuminamento) a una certa distanza;
- lumen (totali) → candele.

## Problemi della misura:

- ▶ fare attenzione al background;

# Quante candele ha ... una candela?

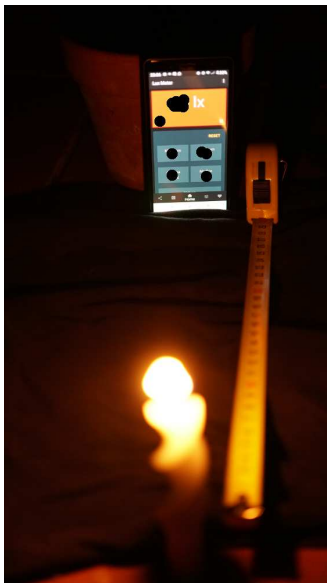
## Metodo:

- ▶ misurare i lux (illuminamento) a una certa distanza;
- lumen (totali) → candele.

## Problemi della misura:

- ▶ fare attenzione al background;
- ▶ valori intorno al minimo misurabile dalle app (!)

Quante candele ha ... una candela?



Buon divertimento!

# Parentesi metrologica

Sistema Internazionale:

- ▶ metro;
- ▶ chilogrammo;
- ▶ secondo;

# Parentesi metrologica

Sistema Internazionale:

- ▶ metro;
- ▶ chilogrammo;
- ▶ secondo;
- ▶ ...
- ▶ **candela** (anche in inglese!).

# Parentesi metrologica

Sistema Internazionale:

- ▶ metro;
- ▶ chilogrammo;
- ▶ secondo;
- ▶ ...
- ▶ **candela** (anche in inglese!).

“The **candela** [...] is **defined** by taking the fixed **numerical value of the luminous efficacy** of monochromatic radiation of frequency  $540 \times 10^{12}$  Hz ... to be **683** when expressed in the unit **lm/W**...”

# Parentesi metrologica

Sistema Internazionale:

- ▶ metro;
- ▶ chilogrammo;
- ▶ secondo;
- ▶ ...
- ▶ **candela** (anche in inglese!).

“The **candela** [...] is **defined** by taking the fixed **numerical value of the luminous efficacy** of monochromatic radiation of frequency  $540 \times 10^{12}$  Hz ... to be **683** when expressed in the unit **lm/W**...”

La metrologia ha le sue ragioni...

# Parentesi metrologica

Sistema Internazionale:

- ▶ metro;
- ▶ chilogrammo;
- ▶ secondo;
- ▶ ...
- ▶ **candela** (anche in inglese!).

“The **candela** [...] is **defined** by taking the fixed **numerical value of the luminous efficacy** of monochromatic radiation of frequency  $540 \times 10^{12}$  Hz ... to be **683** when expressed in the unit **lm/W**...”

La metrologia ha le sue ragioni...

$540 \times 10^{12}$  Hz?



# Parentesi metrologica

Sistema Internazionale:

- ▶ metro;
- ▶ chilogrammo;
- ▶ secondo;
- ▶ ...
- ▶ **candela** (anche in inglese!).

“The **candela** [...] is **defined** by taking the fixed **numerical value of the luminous efficacy** of monochromatic radiation of frequency  $540 \times 10^{12}$  Hz ... to be **683** when expressed in the unit **lm/W**...”

La metrologia ha le sue ragioni...

$540 \times 10^{12}$  Hz?  $\lambda = c/\nu \rightarrow 555.\bar{6}$  nm

# Parentesi metrologica

Sistema Internazionale:

- ▶ metro;
- ▶ chilogrammo;
- ▶ secondo;
- ▶ ...
- ▶ **candela** (anche in inglese!).

“The **candela** [...] is **defined** by taking the fixed **numerical value of the luminous efficacy** of monochromatic radiation of frequency  $540 \times 10^{12}$  Hz ... to be **683** when expressed in the unit **lm/W**...”

La metrologia ha le sue ragioni...

$540 \times 10^{12}$  Hz?  $\lambda = c/\nu \rightarrow 555.\bar{6}$  nm ma *metrologicamente* è preferibile  $\nu$ !

# Parentesi metrologica

Sistema Internazionale:

- ▶ metro;
- ▶ chilogrammo;
- ▶ secondo;
- ▶ ...
- ▶ **candela** (anche in inglese!).

“The **candela** [...] is **defined** by taking the fixed **numerical value of the luminous efficacy** of monochromatic radiation of frequency  $540 \times 10^{12}$  Hz ... to be **683** when expressed in the unit **lm/W**...”

La metrologia ha le sue ragioni...

$540 \times 10^{12}$  Hz?  $\lambda = c/\nu \rightarrow 555.\bar{6}$  nm ma *metrologicamente* è **preferibile**  $\nu$ ! (Velocità e lunghezza d'onda variano nei mezzi!)

## Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

# Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;

# Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;
- ▶ trasmissione attraverso **due filtri polarizzatori**

# Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;
- ▶ trasmissione attraverso **due filtri polarizzatori** in funzione dell'angolo fra le direzioni di polarizzazione

# Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;
- ▶ trasmissione attraverso **due filtri polarizzatori** in funzione dell'angolo fra le direzioni di polarizzazione;  
(uno solo si comporta come un materiale semitrasparente);



# Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;
- ▶ trasmissione attraverso **due filtri polarizzatori** in funzione dell'angolo fra le direzioni di polarizzazione; (uno solo si comporta come un materiale semitrasparente);
- ▶ **ulteriori filtri** prima/dopo;

# Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;
- ▶ trasmissione attraverso **due filtri polarizzatori** in funzione dell'angolo fra le direzioni di polarizzazione; (uno solo si comporta come un materiale semitrasparente);
- ▶ **ulteriori filtri** prima/dopo;
- ▶ **due filtri 'ortogonali'** con terzo filtro fra i due

# Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;
- ▶ trasmissione attraverso **due filtri polarizzatori** in funzione dell'angolo fra le direzioni di polarizzazione; (uno solo si comporta come un materiale semitrasparente);
- ▶ **ulteriori filtri** prima/dopo;
- ▶ **due filtri 'ortogonali'** con terzo filtro fra i due



# Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;
- ▶ trasmissione attraverso **due filtri polarizzatori** in funzione dell'angolo fra le direzioni di polarizzazione; (uno solo si comporta come un materiale semitrasparente);
- ▶ **ulteriori filtri** prima/dopo;
- ▶ **due filtri 'ortogonali'** con terzo filtro fra i due



- ▶ Misure interessanti.

# Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;
- ▶ trasmissione attraverso **due filtri polarizzatori** in funzione dell'angolo fra le direzioni di polarizzazione; (uno solo si comporta come un materiale semitrasparente);
- ▶ **ulteriori filtri** prima/dopo;
- ▶ **due filtri 'ortogonali'** con terzo filtro fra i due



- ▶ Misure interessanti.
- ▶ Calibrazione assoluta non cruciale.

## Misure di assorbimento

I luxmetri degli smart permettono di effettuare esperienze quantitative:

- ▶ semplici misure con **materiali semitrasparenti**;
- ▶ trasmissione attraverso **due filtri polarizzatori** in funzione dell'angolo fra le direzioni di polarizzazione; (uno solo si comporta come un materiale semitrasparente);
- ▶ **ulteriori filtri** prima/dopo;
- ▶ **due filtri 'ortogonali'** con **terzo filtro** fra i due



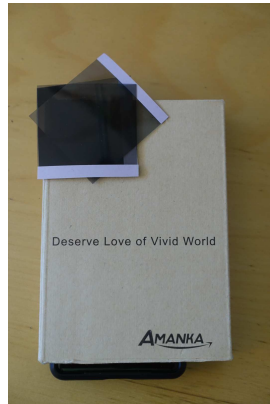
- ▶ Misure interessanti.
- ▶ Calibrazione assoluta non cruciale.

[Filtro usato: Amazon → filtro polarizzatore ST-38-20 (10 Euro)]

# Misure di assorbimento

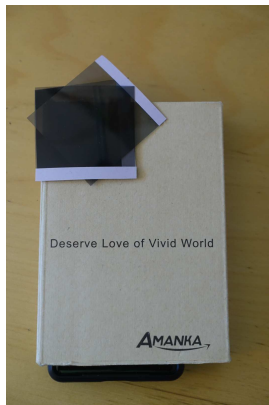


# Misure di assorbimento



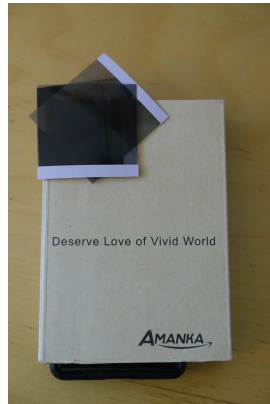


# Misure di assorbimento



Come mai i due polarizzatori incrociati danno “valori di lux” non trascurabili?

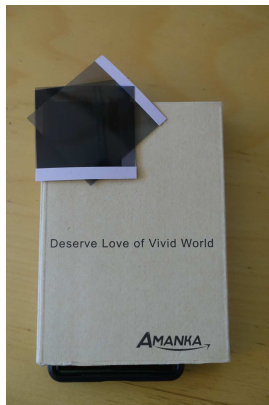
# Misure di assorbimento



Come mai i due polarizzatori incrociati danno “valori di lux” non trascurabili?

- ▶ ‘Normali inefficienze’ dei polarizzatori?
- ▶ Componenti della luce oltre il visibile?  
(I filtri sono venduti per il visibile)

# Misure di assorbimento



Come mai i due polarizzatori incrociati danno “valori di lux” non trascurabili?

- ▶ ‘Normali inefficienze’ dei polarizzatori?
- ▶ Componenti della luce oltre il visibile?  
(I filtri sono venduti per il visibile)

⇒ **Provare!**

# Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni

# Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

## Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

# Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

# Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

$$m - m_{REF} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi}{\Phi_{Ref}} \right)$$



# Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

$$m - m_{REF} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi}{\Phi_{Ref}} \right) = -2.5 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_{V_{REF}}} \right)$$

# Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

$$m - m_{REF} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi}{\Phi_{Ref}} \right) = -2.5 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_{V_{REF}}} \right)$$

Occhi sensibili ai logaritmi della luce (come anche l'udito)

# Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

$$m - m_{REF} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi}{\Phi_{Ref}} \right) = -2.5 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_{V_{REF}}} \right)$$

Occhi sensibili ai logaritmi della luce (come anche l'udito)  
(I dettagli sono questioni di storia e tradizione...)

## Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

$$m - m_{REF} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi}{\Phi_{Ref}} \right) = -2.5 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_{V_{REF}}} \right)$$

Occhi sensibili ai logaritmi della luce (come anche l'udito)

(I dettagli sono questioni di storia e tradizione...)

⇒ Utile formula fra **differenze di magnitudine** (' $\Delta m$ ') e **rapporti di illuminamento** (' $R_{E_V}$ ')

$$\Delta m = -2.5 \log_{10}(R_{E_V})$$

## Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

$$m - m_{REF} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi}{\Phi_{Ref}} \right) = -2.5 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_{V_{REF}}} \right)$$

Occhi sensibili ai logaritmi della luce (come anche l'udito)

(I dettagli sono questioni di storia e tradizione...)

⇒ Utile formula fra **differenze di magnitudine** (' $\Delta m$ ') e **rapporti di illuminamento** (' $R_{E_V}$ ')

$$\Delta m = -2.5 \log_{10}(R_{E_V}) \rightarrow R_{E_V} = 10^{-\Delta m/2.5}.$$

## Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

$$m - m_{REF} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi}{\Phi_{Ref}} \right) = -2.5 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_{V_{REF}}} \right)$$

Occhi sensibili ai logaritmi della luce (come anche l'udito)

(I dettagli sono questioni di storia e tradizione...)

⇒ Utile formula fra **differenze di magnitudine** (' $\Delta m$ ') e **rapporti di illuminamento** (' $R_{E_V}$ ')

$$\Delta m = -2.5 \log_{10}(R_{E_V}) \rightarrow R_{E_V} = 10^{-\Delta m/2.5}.$$

Esempio: Giove vs Saturno (ora):

## Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

$$m - m_{REF} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi}{\Phi_{Ref}} \right) = -2.5 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_{V_{REF}}} \right)$$

Occhi sensibili ai logaritmi della luce (come anche l'udito)

(I dettagli sono questioni di storia e tradizione...)

⇒ Utile formula fra **differenze di magnitudine** (' $\Delta m$ ') e **rapporti di illuminamento** (' $R_{E_V}$ ')

$$\Delta m = -2.5 \log_{10}(R_{E_V}) \rightarrow R_{E_V} = 10^{-\Delta m/2.5} .$$

Esempio: Giove vs Saturno (ora):  $\Delta m = -2.0 - 1.4 = -3.4$

## Magnitudine (apparente) e flusso luminoso

Torniamo ai pianeti visibili in questi giorni  
(anche Venere, ma prima che sorga il sole!).

In ordine di 'luminosità' (espressa come *magnitudine apparente*):

Venere: -3.9

Giove: -2.0

Marte: -0.5

Saturno: 1.4

$$m - m_{REF} = -2.5 \log_{10} \left( \frac{\Phi}{\Phi_{Ref}} \right) = -2.5 \log_{10} \left( \frac{E_V}{E_{V_{REF}}} \right)$$

Occhi sensibili ai logaritmi della luce (come anche l'udito)

(I dettagli sono questioni di storia e tradizione...)

⇒ Utile formula fra **differenze di magnitudine** (' $\Delta m$ ') e **rapporti di illuminamento** (' $R_{E_V}$ ')

$$\Delta m = -2.5 \log_{10}(R_{E_V}) \rightarrow R_{E_V} = 10^{-\Delta m/2.5}.$$

Esempio: Giove vs Saturno (ora):  $\Delta m = -2.0 - 1.4 = -3.4$ :

$$\rightarrow R_{E_V} = 10^{-(-3.4)/2.5} = 23 \quad (\text{Giove } 23 \text{ volte pi\`u 'luminoso'!})$$



# Qualcosa sui colori

Finora abbiamo considerato la luce (visibile) 'totale'.

# Qualcosa sui colori

Finora abbiamo considerato la luce (visibile) 'totale'.

Lo studio (quantitativo) dei colori è un altro mondo!  
(Ben al di là di questo intervento)

# Qualcosa sui colori

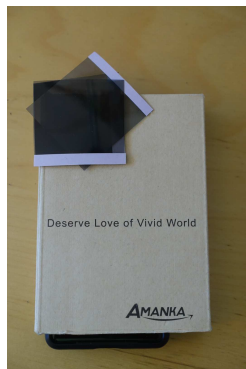
Finora abbiamo considerato la luce (visibile) 'totale'.

Lo studio (quantitativo) dei colori è un altro mondo!  
(Ben al di là di questo intervento)

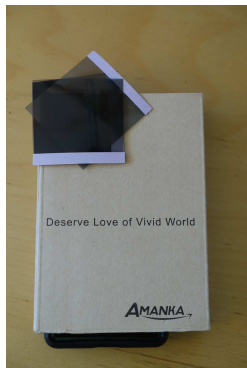
Eppure qualche piccola (grande!) cosa si può dire

Cos'è il bianco?

# Cos'è il bianco?

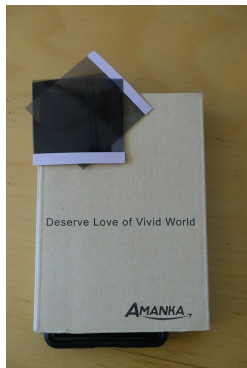


## Cos'è il bianco?



Come mai le scatoline hanno **colori** (leggermente) **diversi** nelle due foto? (e anche il tavolo e le strisce di post-it)

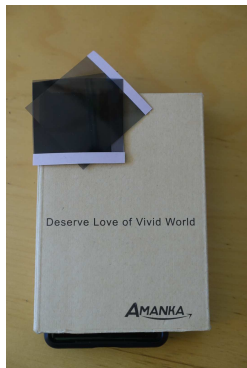
## Cos'è il bianco?



Come mai le scatoline hanno **colori** (leggermente) **diversi** nelle due foto? (e anche il tavolo e le strisce di post-it)

**Nota:** Per la fretta le due foto sono state effettuate in modalità automatica (non tutto il male vien per nuocere. . .)

## Cos'è il bianco?



Come mai le scatoline hanno **colori** (leggermente) **diversi** nelle due foto? (e anche il tavolo e le strisce di post-it)

**Nota:** Per la fretta le due foto sono state effettuate in modalità automatica (non tutto il male vien per nuocere. . .)

Come mai spesso (e malvolentieri) le cose **bianche** nelle foto ci vengono **giallognole** o **azzurrognole**?



# Cos'è il bianco?

Come ci hanno insegnato alle elementari,

- ▶ i corpi bianchi sono quelli che 'riflettono' (in realtà diffondono) tutti i colori nello stesso modo;

# Cos'è il bianco?

Come ci hanno insegnato alle elementari,

- ▶ i corpi bianchi sono quelli che 'riflettono' (in realtà diffondono) tutti i colori nello stesso modo;
- ▶ quelli **rossi** diffondono 'solo' il **rosso**;
- ▶ quelli **verdi** diffondono 'solo' il **verde**;
- ▶ etc.

# Cos'è il bianco?

Come ci hanno insegnato alle elementari,

- ▶ i corpi bianchi sono quelli che 'riflettono' (in realtà diffondono) tutti i colori nello stesso modo;
- ▶ quelli **rossi** diffondono 'solo' il **rosso**;
- ▶ quelli **verdi** diffondono 'solo' il **verde**;
- ▶ etc.
- ▶ ... e il **nero** assorbe tutti colori (e si scalda di più).

# Cos'è il bianco?

Come ci hanno insegnato alle elementari,

- ▶ i corpi bianchi sono quelli che 'riflettono' (in realtà diffondono) tutti i colori nello stesso modo;
- ▶ quelli **rossi** diffondono 'solo' il **rosso**;
- ▶ quelli **verdi** diffondono 'solo' il **verde**;
- ▶ etc.
- ▶ ... e il **nero** assorbe tutti colori (e si scalda di più).

Ma cosa succede se illuminiamo un oggetto con una **luce leggermente giallognola**?

## Cos'è il bianco?

Come ci hanno insegnato alle elementari,

- ▶ i corpi bianchi sono quelli che 'riflettono' (in realtà diffondono) tutti i colori nello stesso modo;
- ▶ quelli **rossi** diffondono 'solo' il **rosso**;
- ▶ quelli **verdi** diffondono 'solo' il **verde**;
- ▶ etc.
- ▶ ... e il **nero** assorbe tutti colori (e si scalda di più).

Ma cosa succede se illuminiamo un oggetto con una **luce leggermente giallognola**?

- ▶ un foglio bianco la riflette tutta

# Cos'è il bianco?

Come ci hanno insegnato alle elementari,

- ▶ i corpi bianchi sono quelli che 'riflettono' (in realtà diffondono) tutti i colori nello stesso modo;
- ▶ quelli **rossi** diffondono 'solo' il **rosso**;
- ▶ quelli **verdi** diffondono 'solo' il **verde**;
- ▶ etc.
- ▶ ... e il **nero** assorbe tutti colori (e si scalda di più).

Ma cosa succede se illuminiamo un oggetto con una

**luce leggermente giallognola?**

- ▶ un foglio bianco la riflette tutta  
→ ci *dovrebbe* apparire **giallognolo**

## Cos'è il bianco?

Come ci hanno insegnato alle elementari,

- ▶ i corpi bianchi sono quelli che 'riflettono' (in realtà diffondono) tutti i colori nello stesso modo;
- ▶ quelli **rossi** diffondono 'solo' il **rosso**;
- ▶ quelli **verdi** diffondono 'solo' il **verde**;
- ▶ etc.
- ▶ ... e il **nero** assorbe tutti colori (e si scalda di più).

Ma cosa succede se illuminiamo un oggetto con una

**luce leggermente giallognola?**

- ▶ un foglio bianco la riflette tutta  
→ ci *dovrebbe* apparire **giallognolo**
- ... ma il **cervello si adatta e lo vede bianco**  
(per contrasto con gli altri oggetti).

## Cos'è il bianco?

Come ci hanno insegnato alle elementari,

- ▶ i corpi bianchi sono quelli che 'riflettono' (in realtà diffondono) tutti i colori nello stesso modo;
- ▶ quelli **rossi** diffondono 'solo' il **rosso**;
- ▶ quelli **verdi** diffondono 'solo' il **verde**;
- ▶ etc.
- ▶ ... e il **nero** assorbe tutti colori (e si scalda di più).

Ma cosa succede se illuminiamo un oggetto con una **luce leggermente giallognola**?

- ▶ un foglio bianco la riflette tutta  
→ ci *dovrebbe* apparire **giallognolo**
- ... ma il **cervello si adatta e lo vede bianco**  
(per contrasto con gli altri oggetti).

Ma la **foto** rimane **giallognola** (se non 'correggiamo')



## Cos'è il bianco?

Come ci hanno insegnato alle elementari,

- ▶ i corpi bianchi sono quelli che 'riflettono' (in realtà diffondono) tutti i colori nello stesso modo;
- ▶ quelli **rossi** diffondono 'solo' il **rosso**;
- ▶ quelli **verdi** diffondono 'solo' il **verde**;
- ▶ etc.
- ▶ ... e il **nero** assorbe tutti colori (e si scalda di più).

Ma cosa succede se illuminiamo un oggetto con una

**luce leggermente giallognola?**

- ▶ un foglio bianco la riflette tutta  
→ ci *dovrebbe* apparire **giallognolo**
- ... ma il **cervello si adatta e lo vede bianco**  
(per contrasto con gli altri oggetti).

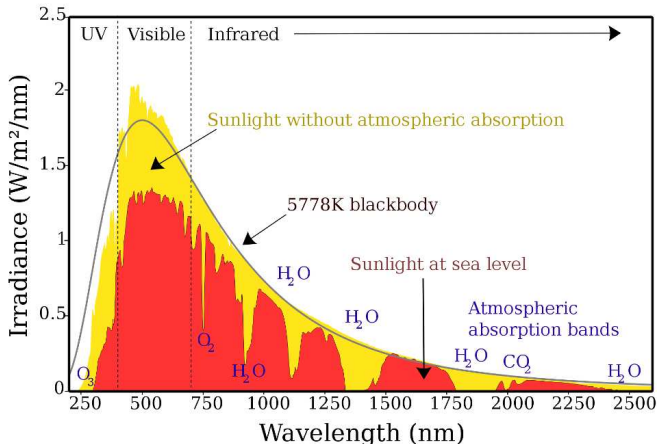
Ma la **foto** rimane **giallognola** (se non 'correggiamo')

⇒ **bilanciamento del bianco.**

# Spettro di emissione del Sole

Potenza al  $\text{m}^2$  per unità di lunghezza d'onda ([wiki/Sunlight](#))

## Spectrum of Solar Radiation (Earth)

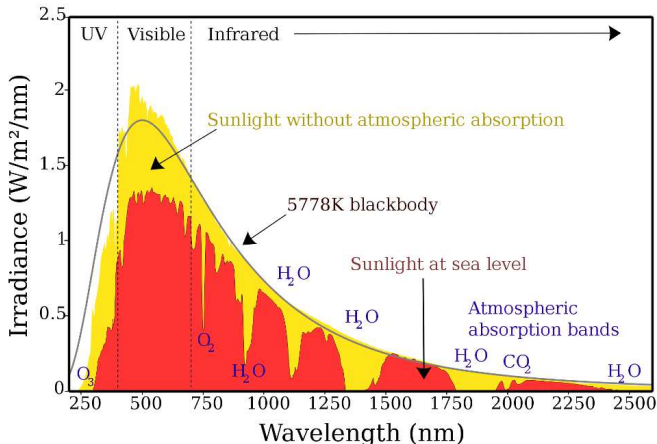


⇒ curva continua (blackbody: 'corpo nero');

# Spettro di emissione del Sole

Potenza al  $\text{m}^2$  per unità di lunghezza d'onda ([wiki/Sunlight](#))

## Spectrum of Solar Radiation (Earth)



⇒ curva continua (blackbody: 'corpo nero');

⇒ 5778 K ('gradi Kelvin').

# Spettro di emissione del corpo nero

Leggi importanti (si invita ad approfondire...)

- ▶ Lo spettro di frequenza (e quindi lunghezza d'onda) dipende dalla temperatura

# Spettro di emissione del corpo nero

Leggi importanti (si invita ad approfondire...)

- ▶ Lo spettro di frequenza (e quindi lunghezza d'onda) dipende dalla temperatura
  - **Legge di Planck**, ove per la prima volta compare la famosa costante  $h$  che porta il suo nome

# Spettro di emissione del corpo nero

Leggi importanti (si invita ad approfondire...)

- ▶ Lo spettro di frequenza (e quindi lunghezza d'onda) dipende dalla temperatura
  - **Legge di Planck**, ove per la prima volta compare la famosa costante  $h$  che porta il suo nome
  - **quantizzazione dell'energia**  $E = h\nu$ .

# Spettro di emissione del corpo nero

Leggi importanti (si invita ad approfondire...)

- ▶ Lo spettro di frequenza (e quindi lunghezza d'onda) dipende dalla temperatura
    - **Legge di Planck**, ove per la prima volta compare la famosa costante  $h$  che porta il suo nome
    - **quantizzazione dell'energia**  $E = h\nu$ .
- (Vedremo dopo come)

# Spettro di emissione del corpo nero

Leggi importanti (si invita ad approfondire...)

- ▶ Lo spettro di frequenza (e quindi lunghezza d'onda) dipende dalla temperatura

→ **Legge di Planck**, ove per la prima volta compare la famosa costante  $h$  che porta il suo nome

→ **quantizzazione dell'energia**  $E = h\nu$ .

(Vedremo dopo come)

- ▶ La potenza emessa per unità di superficie ('emittanza') è proporzionale alla **quarta potenza della temperatura** assoluta:

$$q \propto T^4 \quad (\text{dettagli su Wiki/libri})$$



# Spettro di emissione del corpo nero

Leggi importanti (si invita ad approfondire...)

- ▶ Lo spettro di frequenza (e quindi lunghezza d'onda) dipende dalla temperatura

→ **Legge di Planck**, ove per la prima volta compare la famosa costante  $h$  che porta il suo nome

→ **quantizzazione dell'energia**  $E = h\nu$ .

(Vedremo dopo come)

- ▶ La potenza emessa per unità di superficie ('emittanza') è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta:

$$q \propto T^4 \quad (\text{dettagli su Wiki/libri})$$

→ termometri 'anti-Covid'

# Spettro di emissione del corpo nero

Leggi importanti (si invita ad approfondire...)

- ▶ Lo spettro di frequenza (e quindi lunghezza d'onda) dipende dalla temperatura

→ **Legge di Planck**, ove per la prima volta compare la famosa costante  $h$  che porta il suo nome

→ **quantizzazione dell'energia**  $E = h\nu$ .

(Vedremo dopo come)

- ▶ La potenza emessa per unità di superficie ('emittanza') è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta:

$$q \propto T^4 \quad (\text{dettagli su Wiki/libri})$$

→ termometri 'anti-Covid'

→ risolto 'esercizio nr. 3 di pag. 17 siete in grado di valutare la temperatura del Sole!

# Spettro di emissione del corpo nero

Leggi importanti (si invita ad approfondire...)

- ▶ Lo spettro di frequenza (e quindi lunghezza d'onda) dipende dalla temperatura

→ **Legge di Planck**, ove per la prima volta compare la famosa costante  $h$  che porta il suo nome

→ **quantizzazione dell'energia**  $E = h\nu$ .

(Vedremo dopo come)

- ▶ La potenza emessa per unità di superficie ('emittanza') è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta:

$$q \propto T^4 \quad (\text{dettagli su Wiki/libri})$$

→ termometri 'anti-Covid'

→ risolto 'esercizio nr. 3 di pag. 17 siete in grado di valutare la temperatura del Sole!

- ▶ Legge di Wien:

$$\lambda_{max} \propto \frac{1}{T} \quad (\text{dettagli su Wiki/libri})$$

# Spettro di emissione del corpo nero

Leggi importanti (si invita ad approfondire...)

- ▶ Lo spettro di frequenza (e quindi lunghezza d'onda) dipende dalla temperatura

→ **Legge di Planck**, ove per la prima volta compare la famosa costante  $h$  che porta il suo nome

→ **quantizzazione dell'energia**  $E = h\nu$ .

(Vedremo dopo come)

- ▶ La potenza emessa per unità di superficie ('emittanza') è proporzionale alla quarta potenza della temperatura assoluta:

$$q \propto T^4 \quad (\text{dettagli su Wiki/libri})$$

→ termometri 'anti-Covid'

→ risolto 'esercizio nr. 3 di pag. 17 siete in grado di valutare la temperatura del Sole!

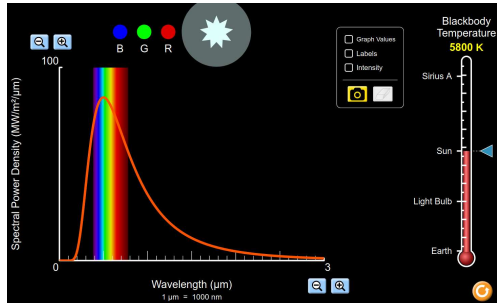
- ▶ Legge di Wien:

$$\lambda_{max} \propto \frac{1}{T} \quad (\text{dettagli su Wiki/libri})$$

⇒  $T \uparrow \longrightarrow \lambda_{max} \downarrow \longrightarrow$  verso il blue

# Spettro di emissione del corpo nero

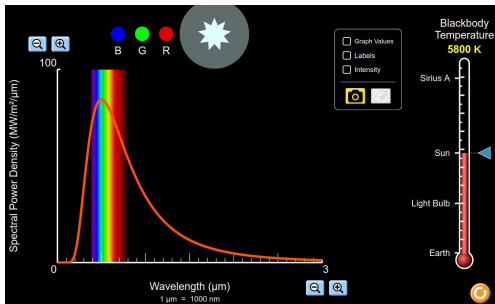
Simulazione interattiva:



[Clicca per andare al sito](#)

# Spettro di emissione del corpo nero

Simulazione interattiva:



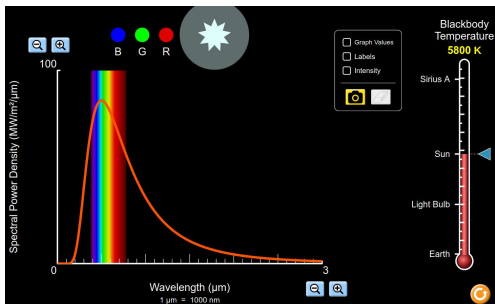
[Clicca per andare al sito](#)

**Nota:** Nel linguaggio comune (e anche tecnico):

- ▶ **bassa temperatura colore** ( $\approx 3200$  K)  $\rightarrow$  **luce calda**;

# Spettro di emissione del corpo nero

Simulazione interattiva:



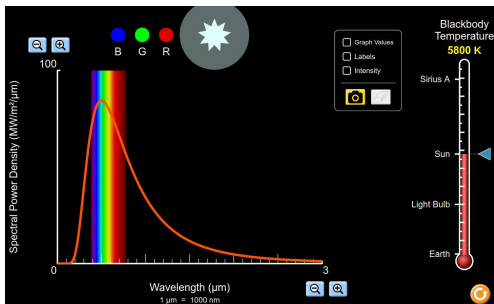
[Clicca per andare al sito](#)

**Nota:** Nel linguaggio comune (e anche tecnico):

- ▶ **bassa temperatura colore** ( $\approx 3200$  K)  $\rightarrow$  **luce calda**;
- ▶ **alta temperatura colore** ( $>\approx 5000$  K)  $\rightarrow$  **luce fredda**.

# Spettro di emissione del corpo nero

Simulazione interattiva:



[Clicca per andare al sito](#)

**Nota:** Nel linguaggio comune (e anche tecnico):

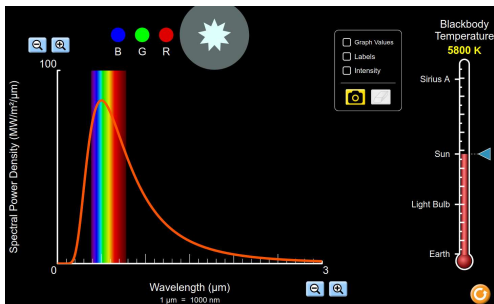
- ▶ **bassa temperatura colore** ( $\approx 3200$  K) → **luce calda**;
- ▶ **alta temperatura colore** ( $>\approx 5000$  K) → **luce fredda**.

Sic est...



# Spettro di emissione del corpo nero

Simulazione interattiva:



[Clicca per andare al sito](#)

**Nota:** Nel linguaggio comune (e anche tecnico):

- ▶ **bassa temperatura colore** ( $\approx 3200$  K)  $\rightarrow$  **luce calda**;
- ▶ **alta temperatura colore** ( $>\approx 5000$  K)  $\rightarrow$  **luce fredda**.

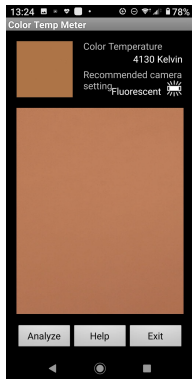
Sic est... (associamo il **rossastro** al **fuoco**, l'**azzurino** al **ghiaccio**)

Associazione bassa temperatura ↔ azzurro



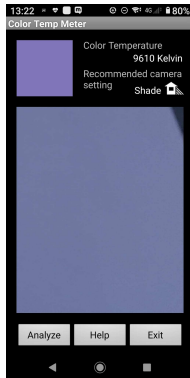
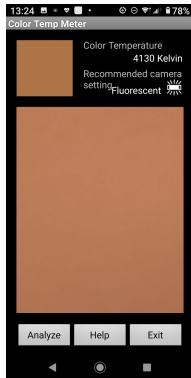
# Misuriamo la 'temperatura colore'

In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:



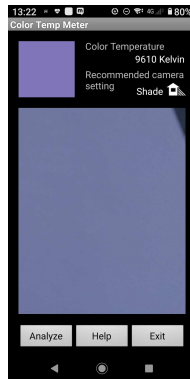
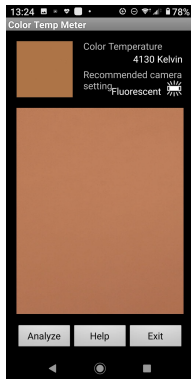
# Misuriamo la 'temperatura colore'

In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:



# Misuriamo la 'temperatura colore'

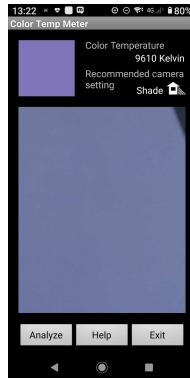
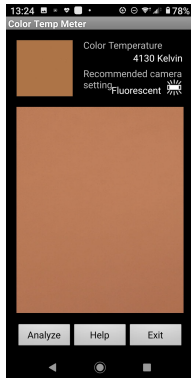
In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:



**9610 Kelvin**

# Misuriamo la 'temperatura colore'

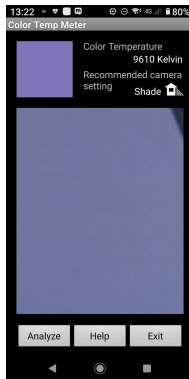
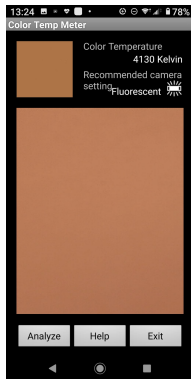
In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:



9610 Kelvin ???

# Misuriamo la 'temperatura colore'

In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:

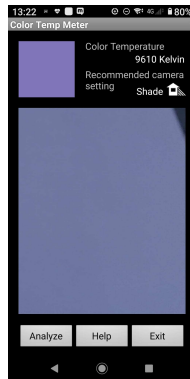
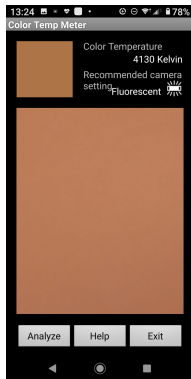


**9610 Kelvin ???**

► Il cielo è azzurro!

# Misuriamo la 'temperatura colore'

In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:



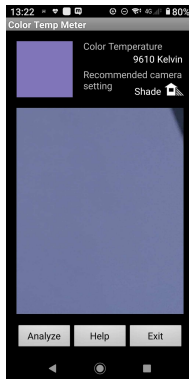
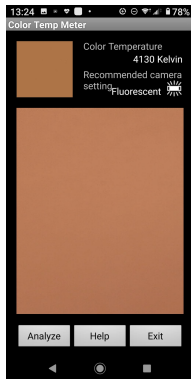
**9610 Kelvin ???**

► Il cielo è azzurro! toh! ...



# Misuriamo la 'temperatura colore'

In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:

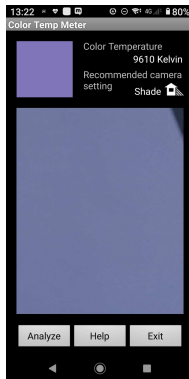
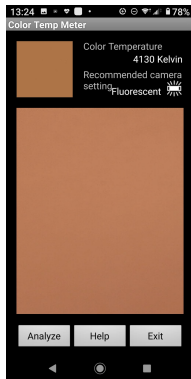


**9610 Kelvin ???**

► Il cielo è azzurro! toh! ... ma sicuramente non ha  $> 9000$  K!

# Misuriamo la 'temperatura colore'

In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:

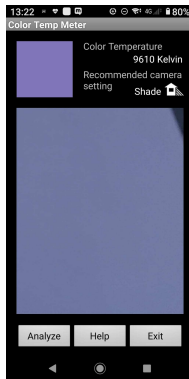
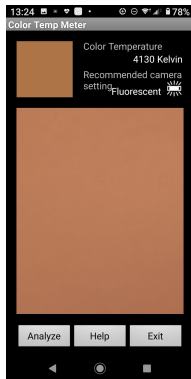


**9610 Kelvin ???**

► Il cielo è azzurro! toh! ... ma sicuramente non ha  $> 9000\text{ K}$ ! ???

# Misuriamo la 'temperatura colore'

In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:



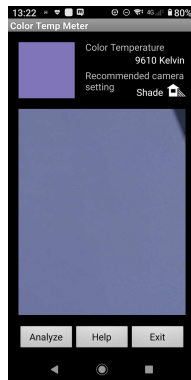
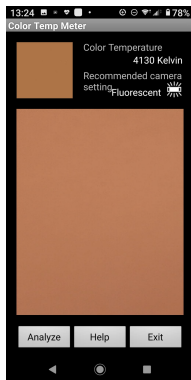
**9610 Kelvin ???**

► Il cielo è azzurro! toh! ... ma sicuramente non ha  $> 9000\text{ K}$ ! ???

⇒ Temperatura di un **'corpo nero'** equivalente che vedremmo di quel colore.

# Misuriamo la 'temperatura colore'

In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:



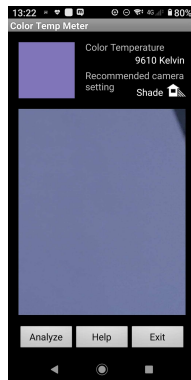
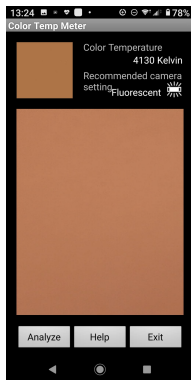
## 9610 Kelvin ???

► Il cielo è azzurro! toh! ... ma sicuramente non ha  $> 9000$  K! ???

⇒ Temperatura di un **'corpo nero' equivalente** che vedremmo di quel colore. (Insomma, una torcia a LED che emette luce chiara di  $\approx 5000$  K la possiamo toccare senza rischio di scottarci!)

# Misuriamo la 'temperatura colore'

In casa, sotto una lampada, e fuori all'ombra:



## 9610 Kelvin ???

► Il cielo è azzurro! toh! ... ma sicuramente non ha  $> 9000$  K! ???

⇒ Temperatura di un **'corpo nero' equivalente** che vedremmo di quel colore. (Insomma, una torcia a LED che emette luce chiara di  $\approx 5000$  K la possiamo toccare senza rischio di scottarci! E anche quella a 'luce calda',  $\approx 3200$  K!)

Buone Feste

e

un Radioso Futuro