



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

**Il comportamento termico di oggetti in  
presenza di radiazione e.m.  
assorbita ed emessa:**

***Esperimenti didattici***

# In che modo i materiali possono interagire con la radiazione?

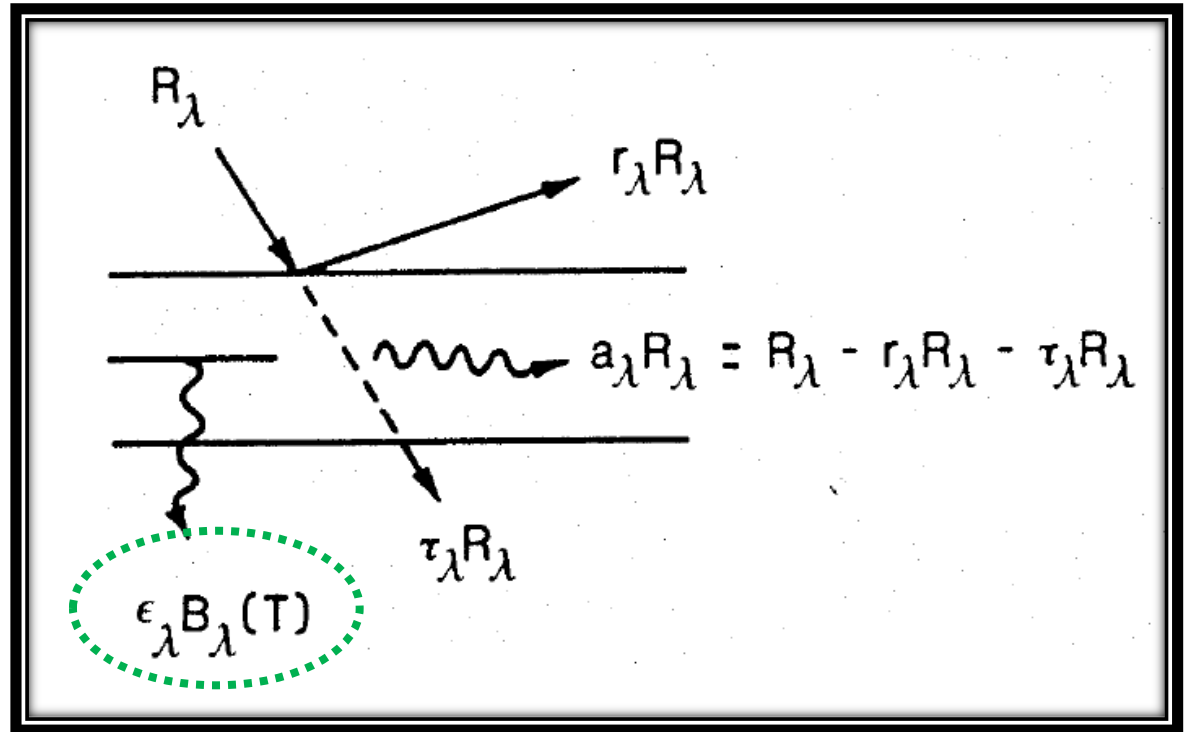
**a**ssorbanza

**r**iflettanza

**t**rasmittanza

**$\epsilon$**  emissività

( $\lambda$  lunghezza d'onda)



**LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA IMPONE CHE:**

$$a_\lambda + r_\lambda + t_\lambda = 1$$

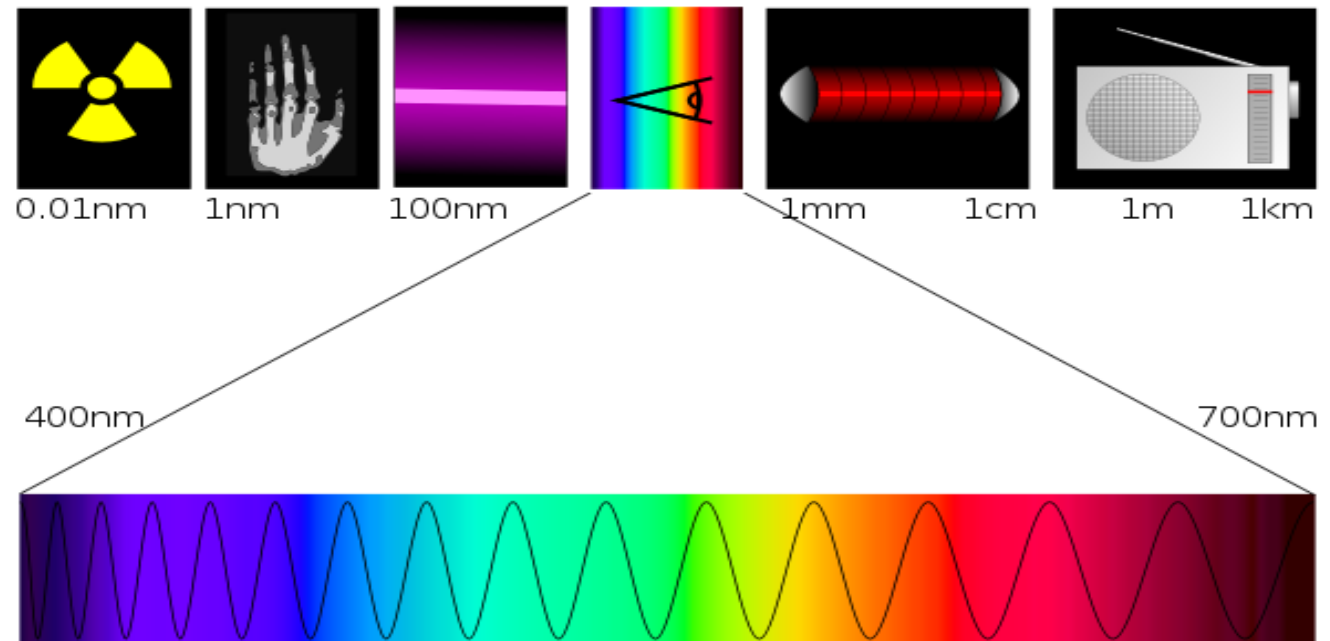
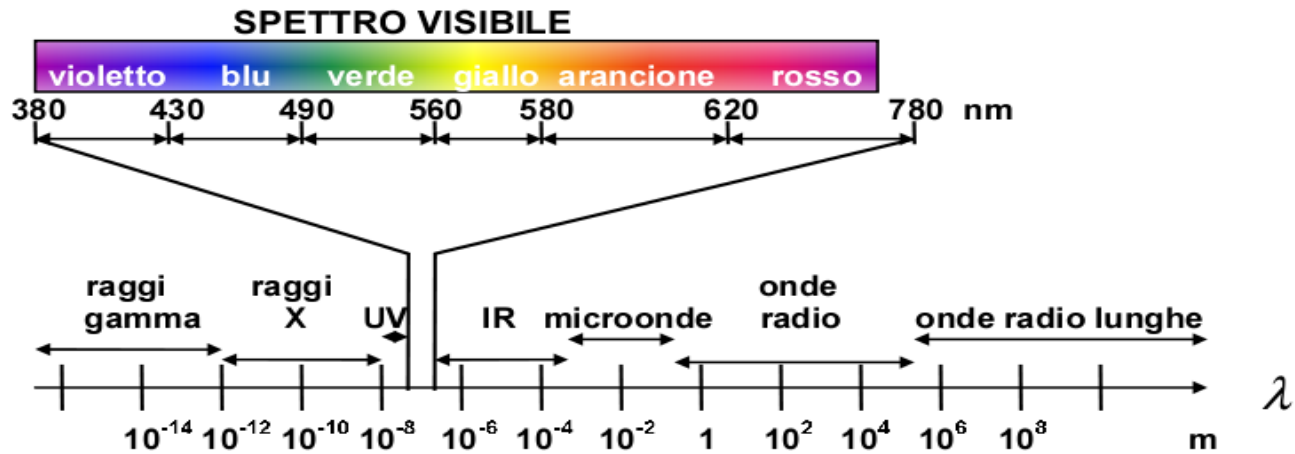
# Materiali e proprietà (\*)

?!

| "Qualità"<br>oggetto           | Assorbanza<br>( $a$ ) | Trasmittanza<br>( $t$ ) | Riflettanza<br>( $r$ ) | Relazione di<br>bilancio |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| Nero<br>(perfettamente)        | $a=1$                 | $t=0$                   | $r=0$                  | $a=1$                    |
| Bianco<br>(perfettamente)      | $a=0$                 | $0 < t < 1$             | $0 < r < 1$            | $t+r=1$                  |
| Trasparente<br>(perfettamente) | $a=0$                 | $t=1$                   | $r=0$                  | $t=1$                    |
| Grigio                         | $0 < a < 1$           | $0 < t < 1$             | $0 < r < 1$            | $a+t+r=1$                |
| Opaco                          | $0 < a < 1$           | $t=0$                   | $0 < r < 1$            | $a+r=1$                  |
| Lucido                         | $a \approx 0$         | $t \approx 0$           | $r \approx 1$          | $r \approx 1$            |

(\*) = ad una lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) fissata

# SPETTRO E.M.



2



$$a_{\lambda} + r_{\lambda} + t_{\lambda} = 1$$



1



$$E_{in} - E_{out} = cm\Delta T$$

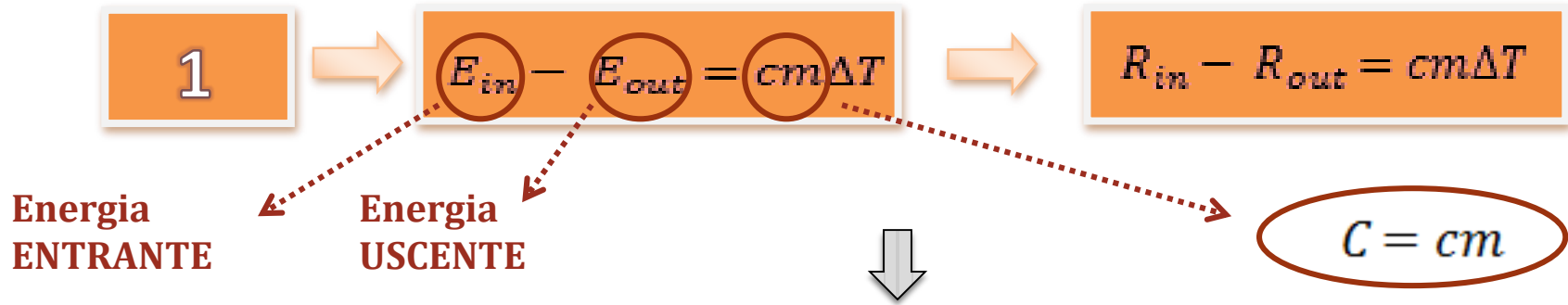


3



$$E = \varepsilon\sigma T^4$$

3  
R  
E  
F  
L  
E  
C  
T  
I  
V  
I  
T  
Y  
C  
O  
N  
D  
I  
T  
I  
O  
N  
S



**Bilancio energetico che può essere messo in relazione con il primo principio della TD facendo alcune ipotesi:**

- Il primo principio viene espresso in un modo da mettere in evidenza la legge di conservazione dell'energia valida in ogni situazione (in cui l'energia entrante nel sistema meno quella uscente dal sistema si ritrovano solo in termini di variazione di energia interna).
- La variazione di energia ( $\Delta U = cm\Delta T$ ) del sistema si manifesta solo in termini di variazione di  $T$  del sistema (non si considerano situazioni in cui ci siano passaggi di fase e/o reazioni chimiche interne).
- La modalità di scambio energetico tra sistema e ambiente avviene SOLO mediante *radiazione*.
- La condizione di equilibrio si esprime in termini di  $\Delta T = 0$  che implica, in termini di bilancio energetico, che tutta la radiazione che entra è uguale a tutta la radiazione che esce.

2



$$iR_{\lambda} = a_{\lambda}R_{\lambda} + r_{\lambda}R_{\lambda} + t_{\lambda}R_{\lambda}$$



$$a_{\lambda} + r_{\lambda} + t_{\lambda} = 1$$

**Bilancio energetico che pone l'accento sulla radiazione entrante e stabilisce come si “distribuisce” la radiazione che incide su un oggetto:**

$a$  = parte di radiazione **assorbita**

$r$  = parte di radiazione **riflessa**

$t$  = parte di radiazione **trasmessa**



Da questa relazione è possibile definire le  
“proprietà dei corpi”

3 →  $E = \varepsilon \sigma T^4$

Legge sperimentale che pone l'accento sulla radiazione uscente da un corpo e stabilisce che essa è proporzionale a:

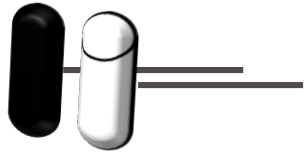
$\varepsilon$  = emissività

$\sigma$  = costante di Stefan-Boltzmann

$T^4$  = quarta potenza della temperatura

Questa "E" NON è un'energia ma rappresenta la potenza emessa per unità di superficie [W/m<sup>2</sup>].

# L' ESPERIMENTO



## MATERIALE ESPERIMENTO:

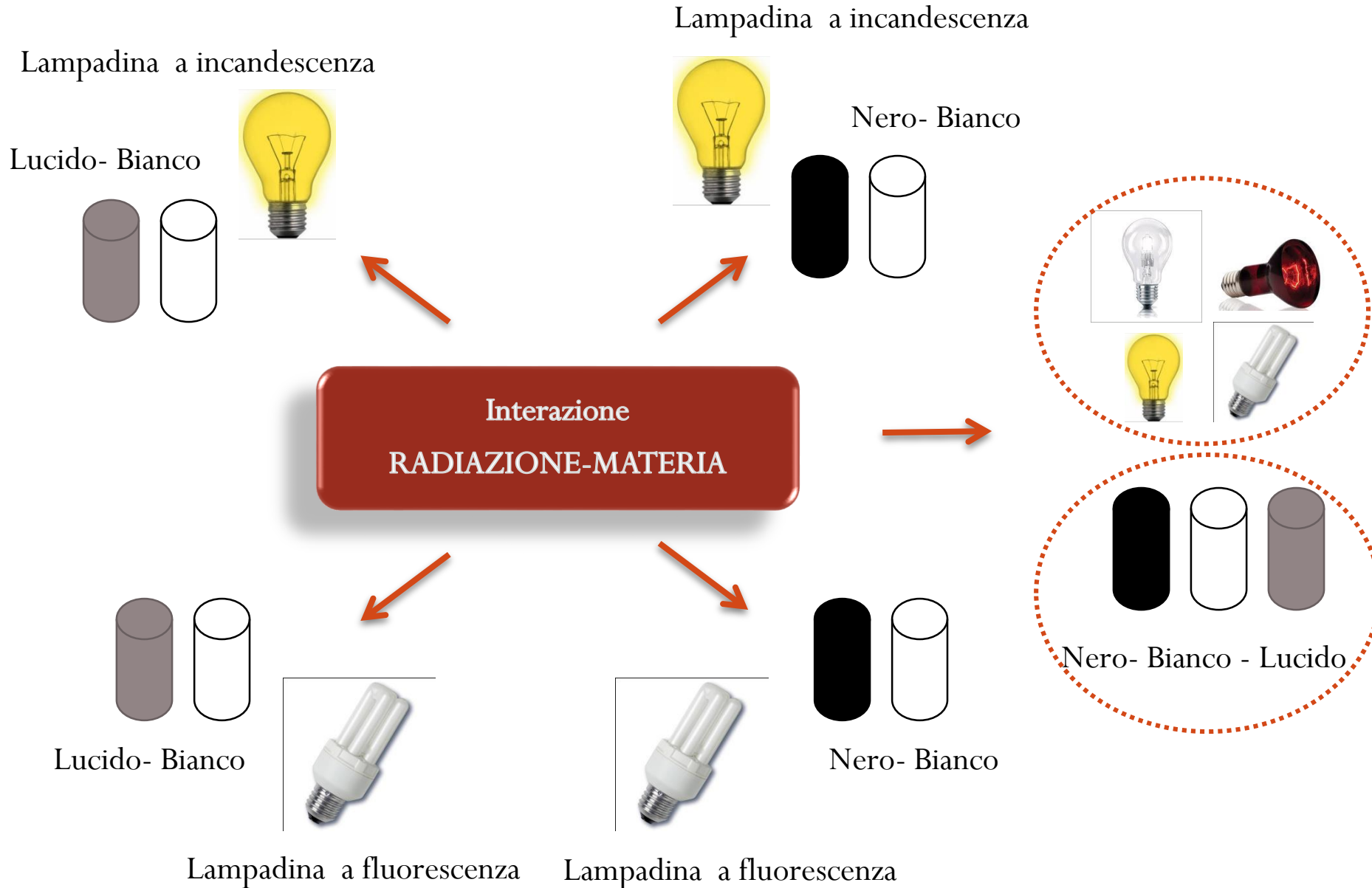
- 1 lampadina
- 2 cilindri di alluminio, stessa capacità termica e colori differenti
- 2 sensori di temperatura
- 1 interfaccia grafica
- Software LP3

## CARATTERISTICHE E IPOTESI FISICHE ALLA BASE DELL'ESPERIMENTO:

- ogni cilindro ha un foro centrale in cui viene inserito il sensore di T (si fa l'ipotesi che la T sia uniforme in tutto il cilindro);
- i cilindri sono fatti dello stesso materiale [alluminio,  $c_a \approx 900 \text{ J}/(\text{Kg}^\circ\text{K})$ ], stessa massa (stesso volume) ... per meglio dire hanno stessa **capacità termica** (J/K) :

$$C=mc$$

# I protagonisti dell'esperimento

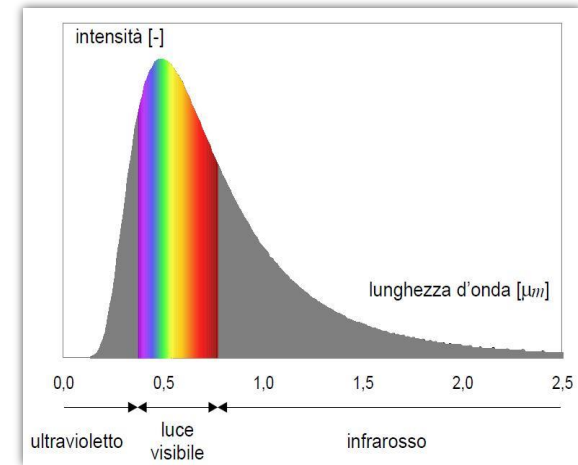
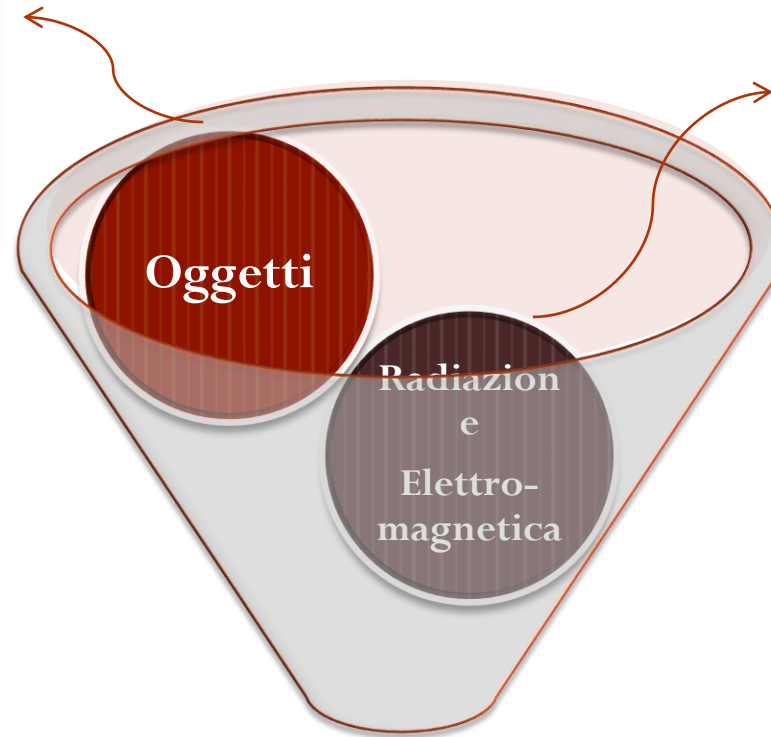
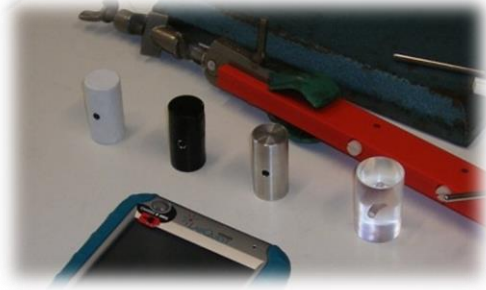


**ESPERIMENTO in corso**

...

**LAVORI DI GRUPPO!!!**

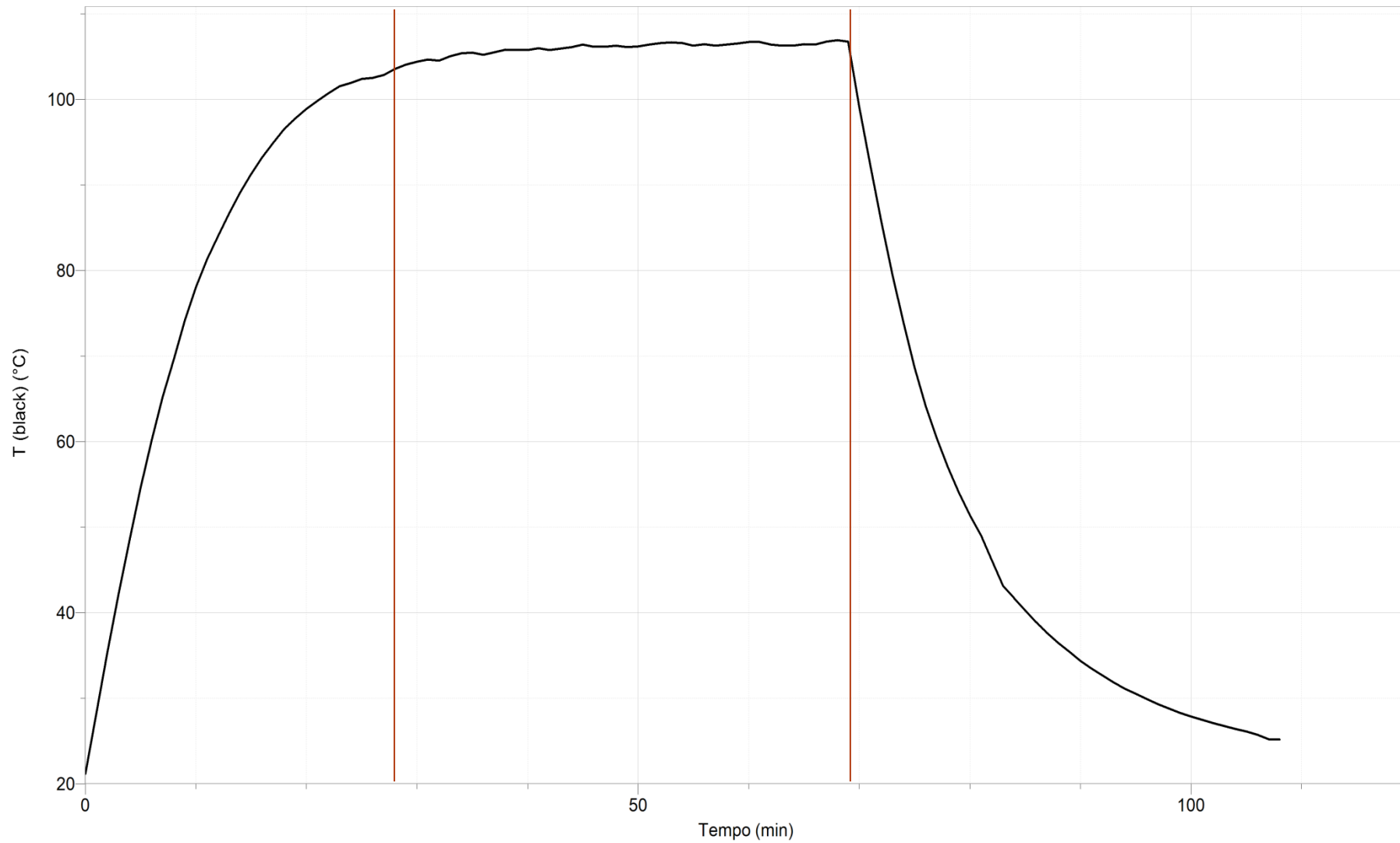
# I protagonisti del processo/fenomeno



Interazione  
RADIAZIONE-MATERIA

***CHE TIPO DI GRAFICO PREVEDIAMO  
DI OTTENERE?***

***COME LO SPIEGHIAMO?***



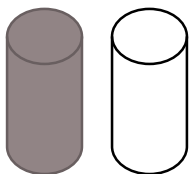
$E_{\text{in}} > E_{\text{out}}$

$E_{\text{in}} = E_{\text{out}}$

$E_{\text{in}} < E_{\text{out}}$

# L'oggetto ... i cilindri

Lucido- Bianco

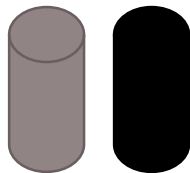


Nero- Bianco



**OGGETTO**

Lucido- Nero

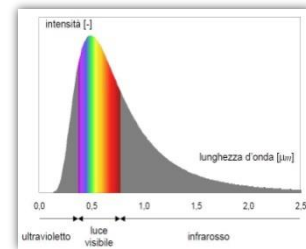


Nero- Bianco - Lucido

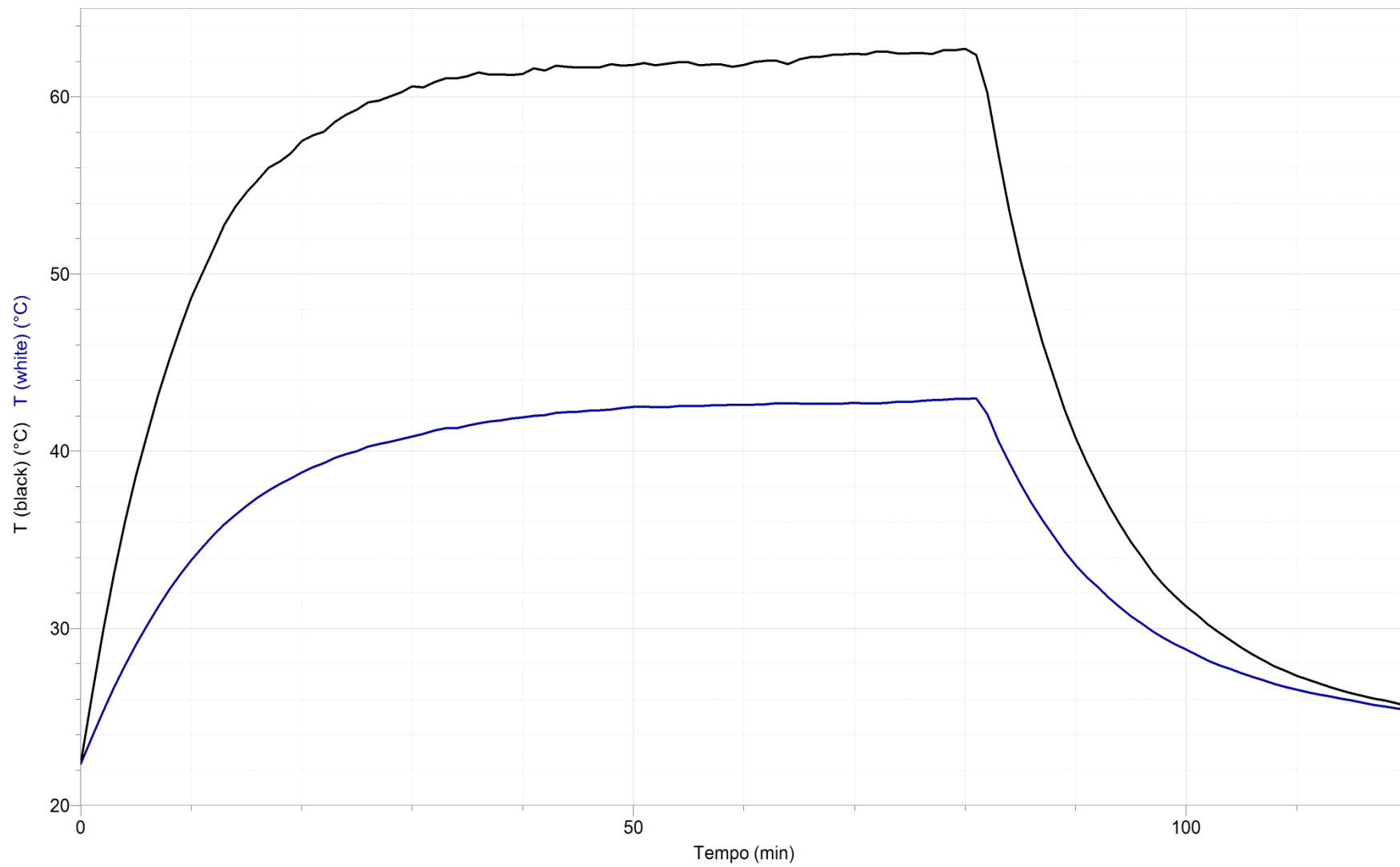


Manteniamo fissa la radiazione e.m., quindi stessa lampadina.

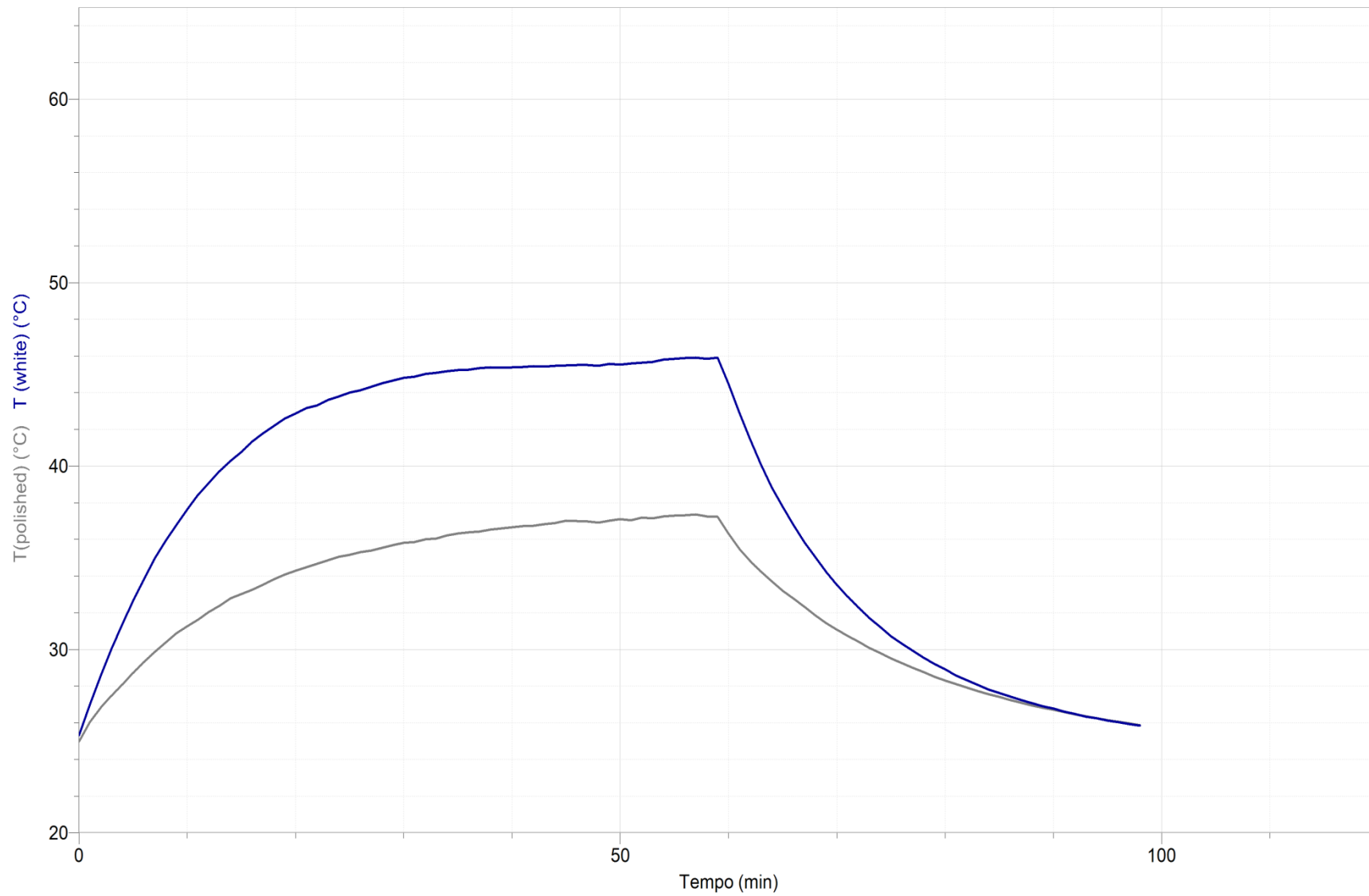
**Radiazione  
Elettro-  
magnetica**



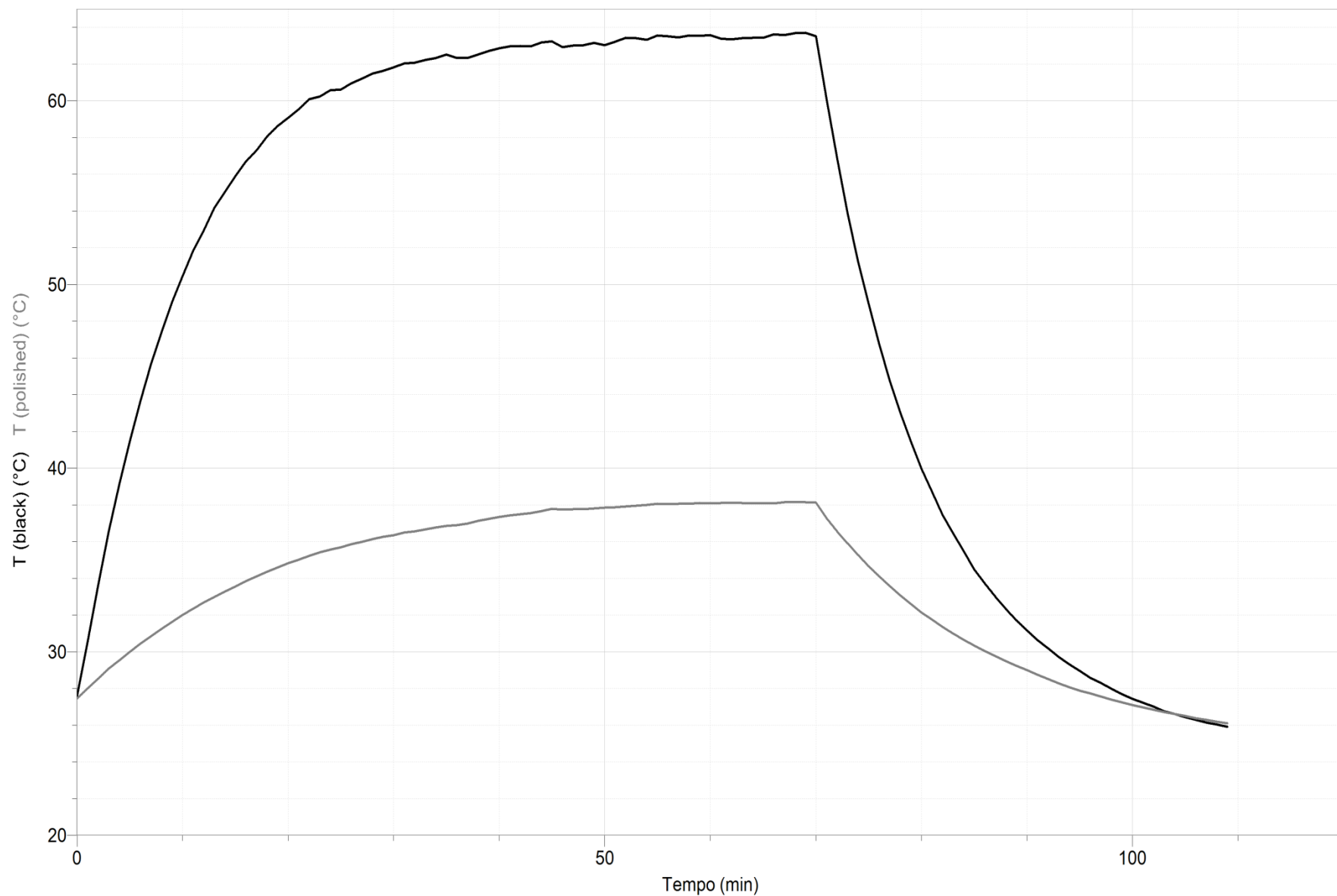
# NERO - BIANCO



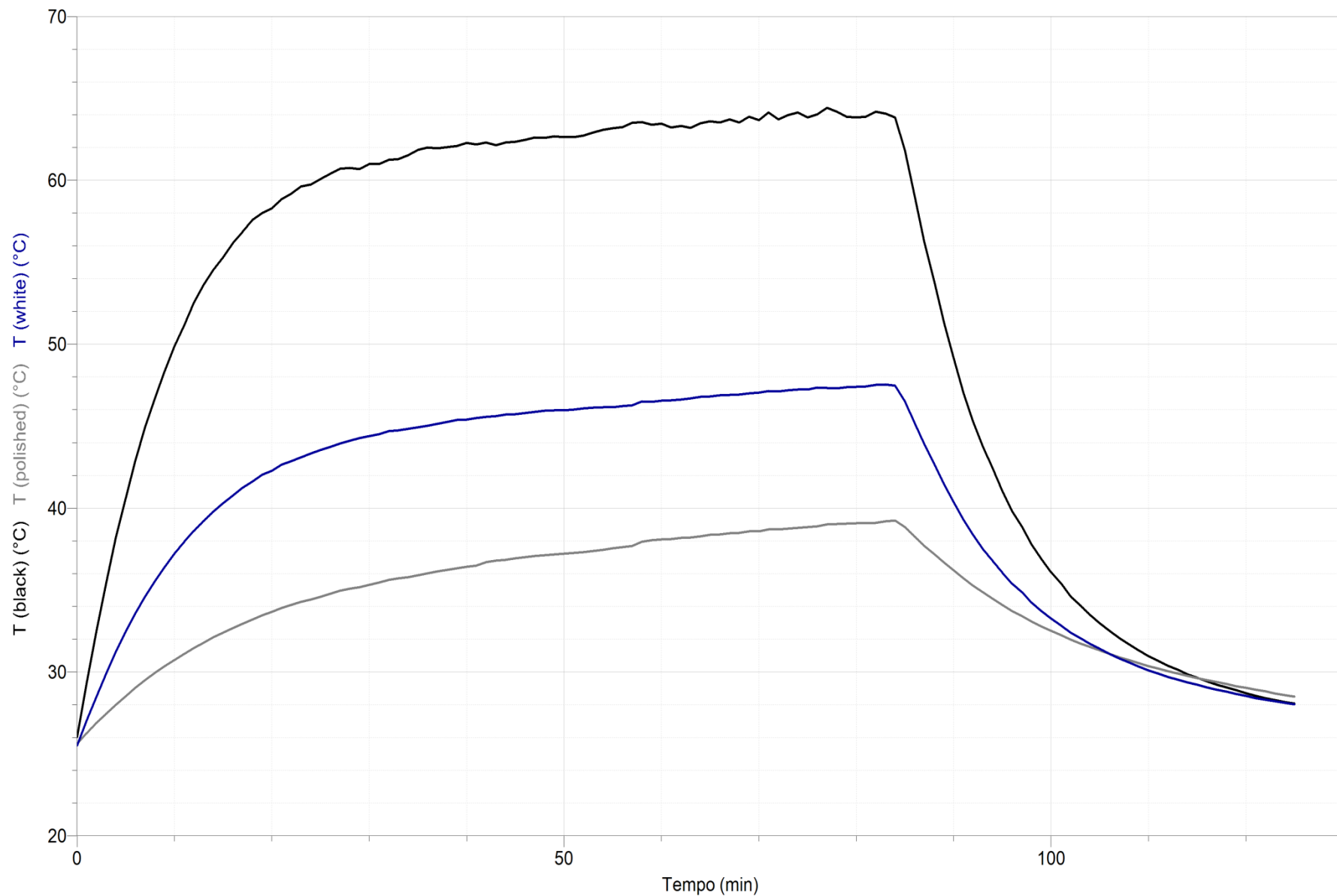
# BIANCO - LUCIDO



# NERO - LUCIDO

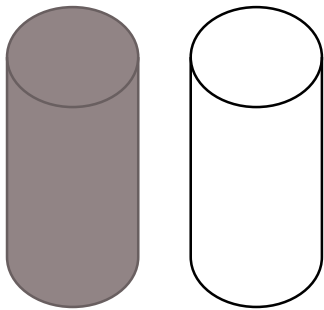


# NERO - BIANCO - LUCIDO

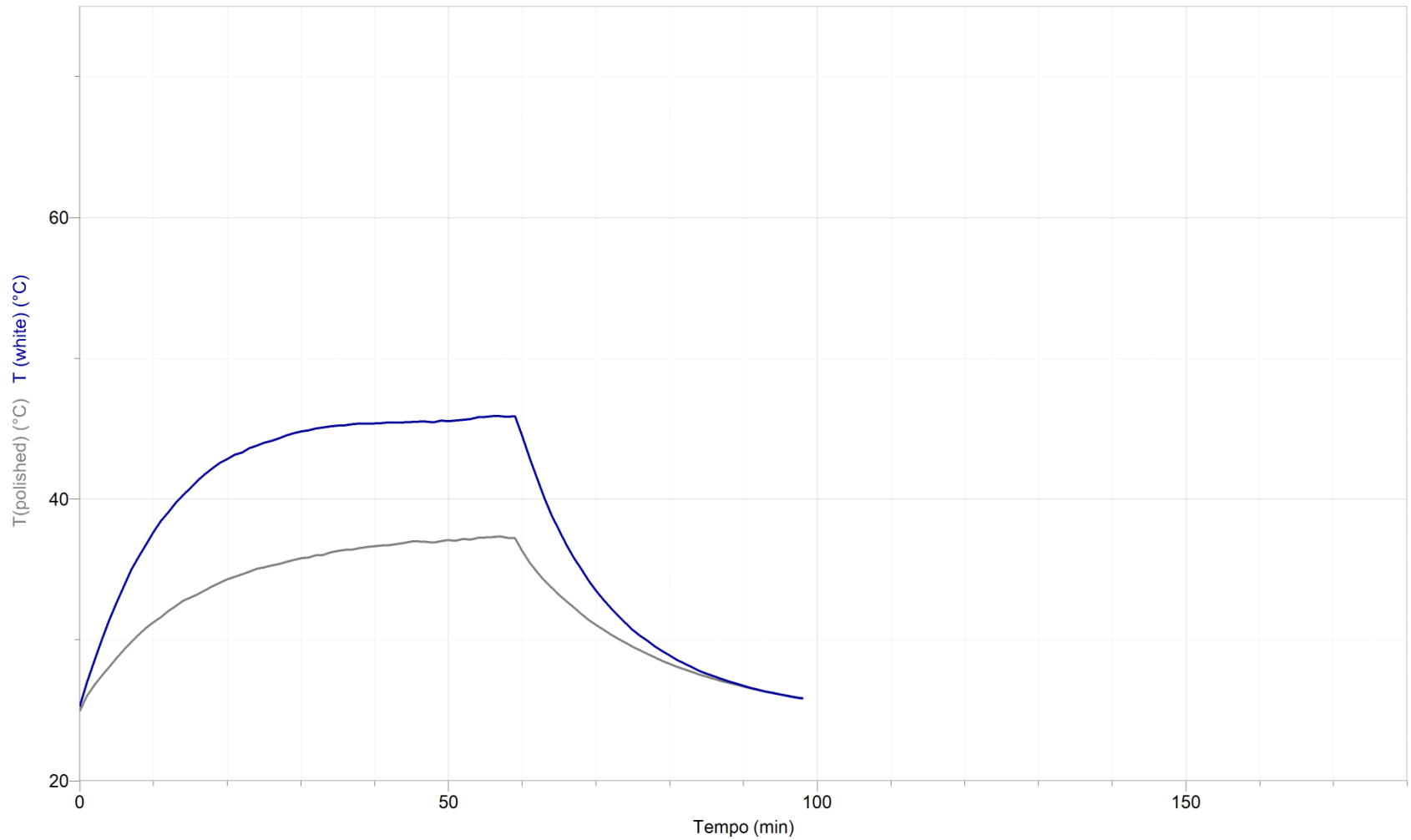


# La Radiazione ... le lampadine

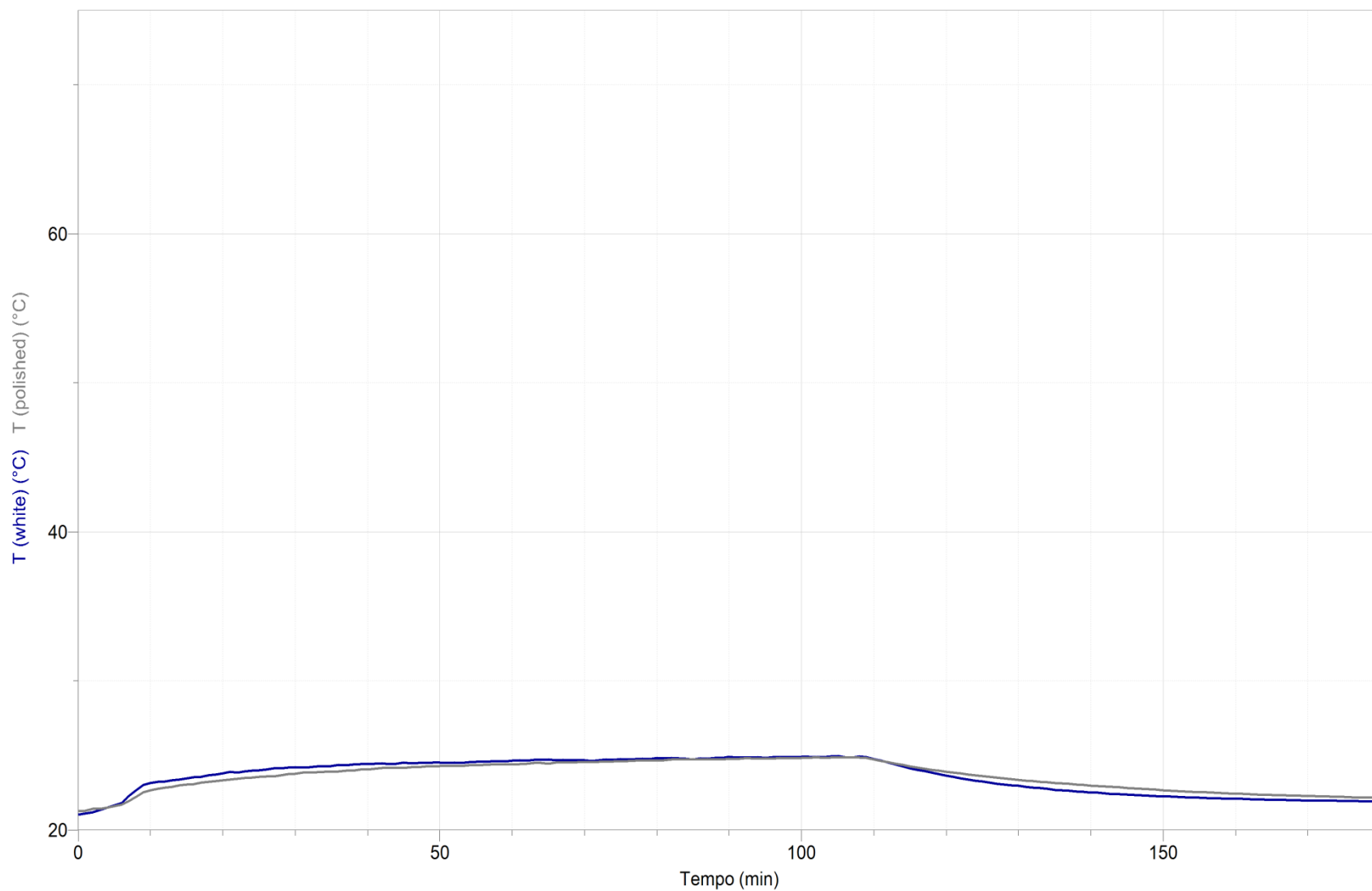
Manteniamo fissi gli oggetti,  
quindi stessa coppia di cilindri.



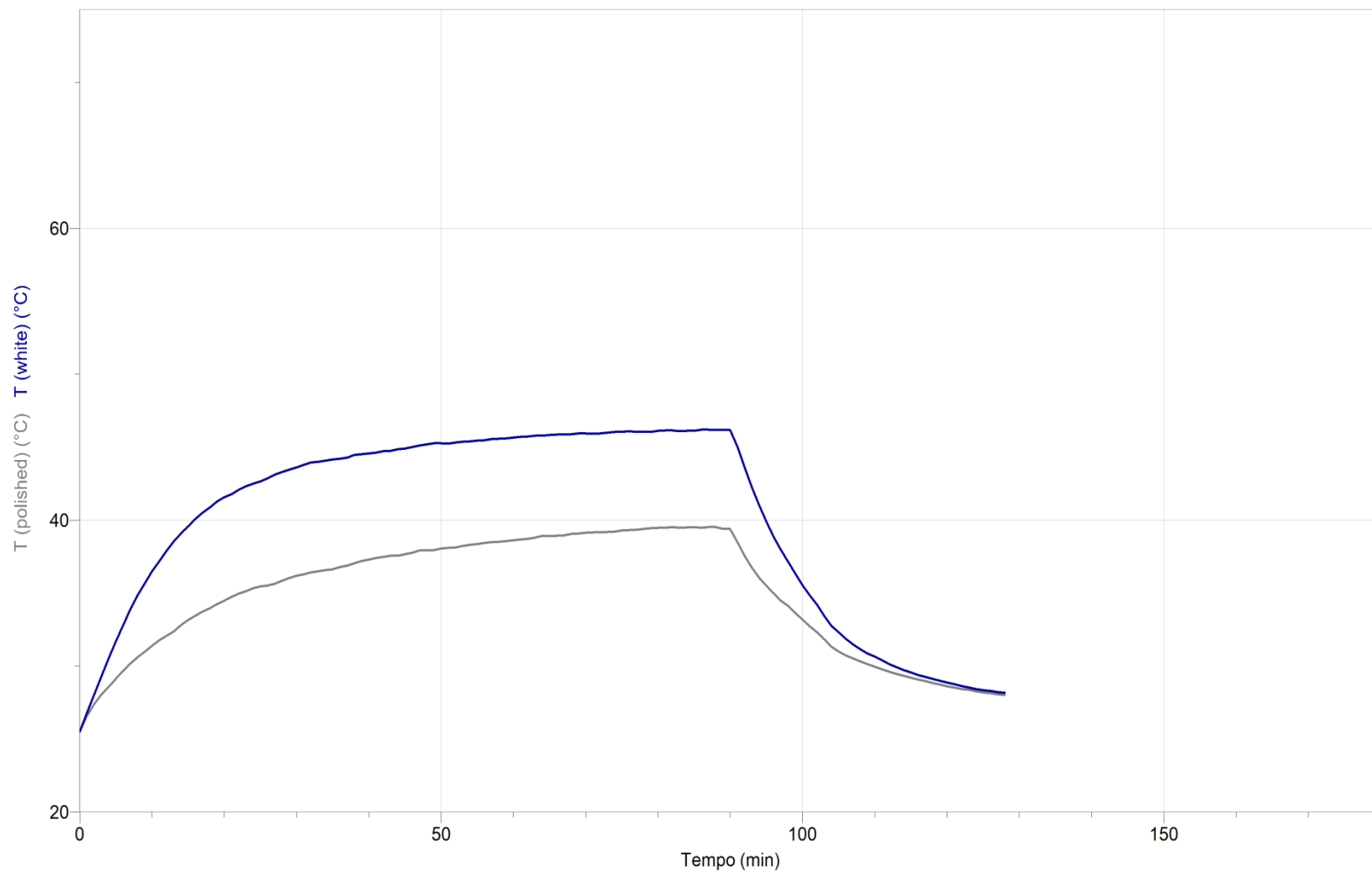
# Lampadina a Incandescenza



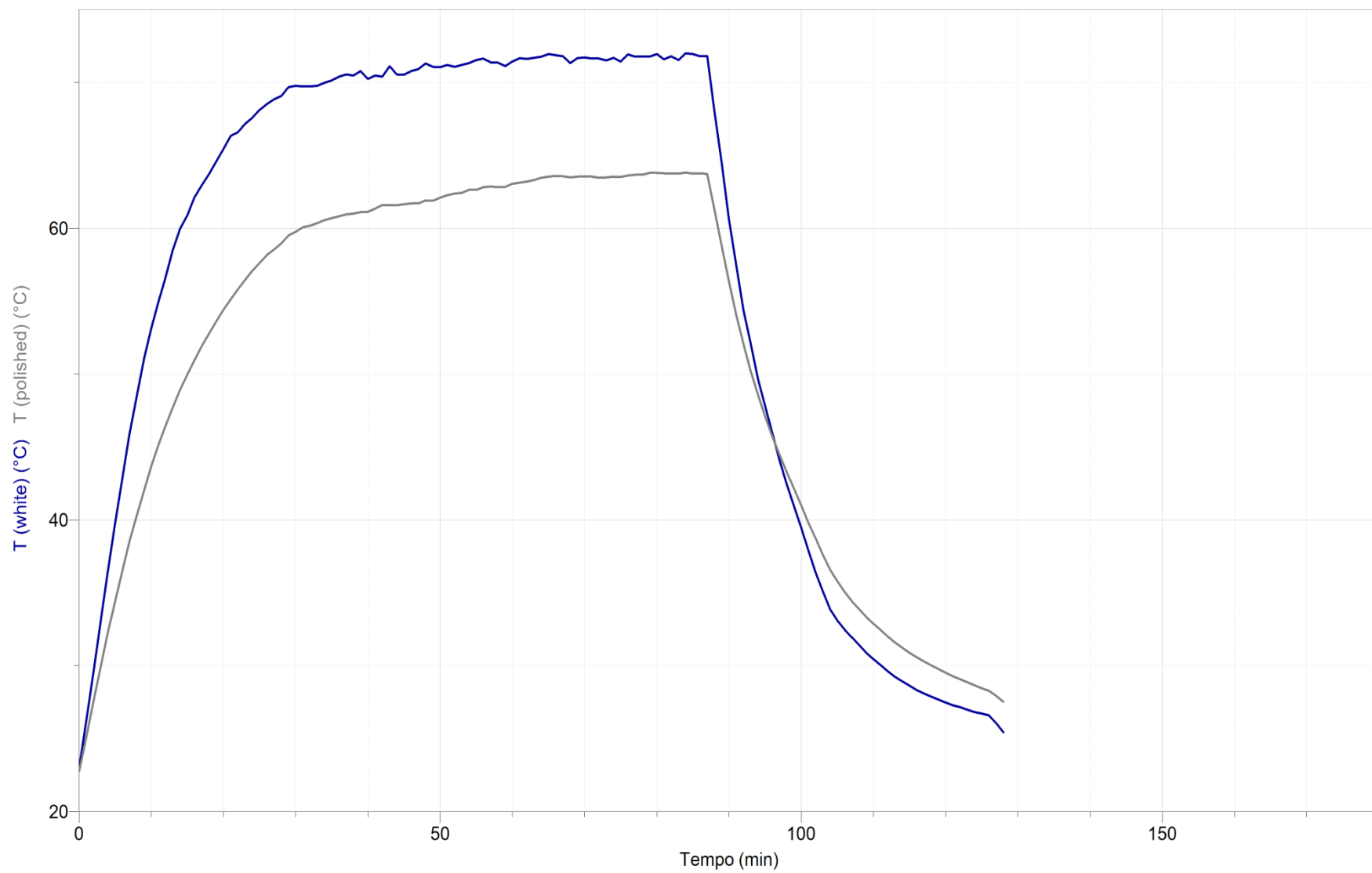
# Lampadina Eco



# Lampadina Alogena



# Lampadina IR



... uno 'strano' risultato

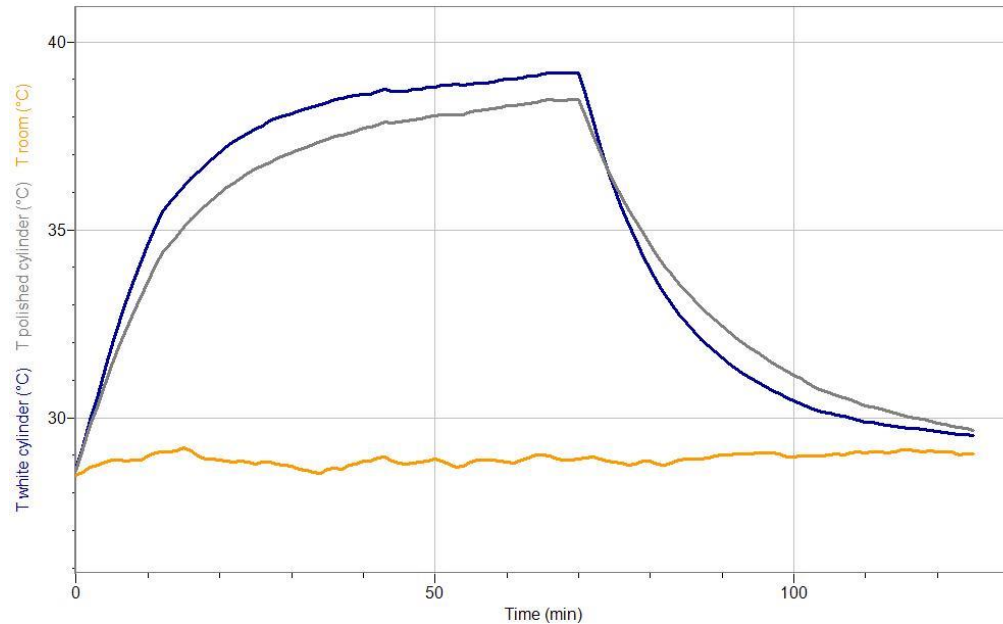
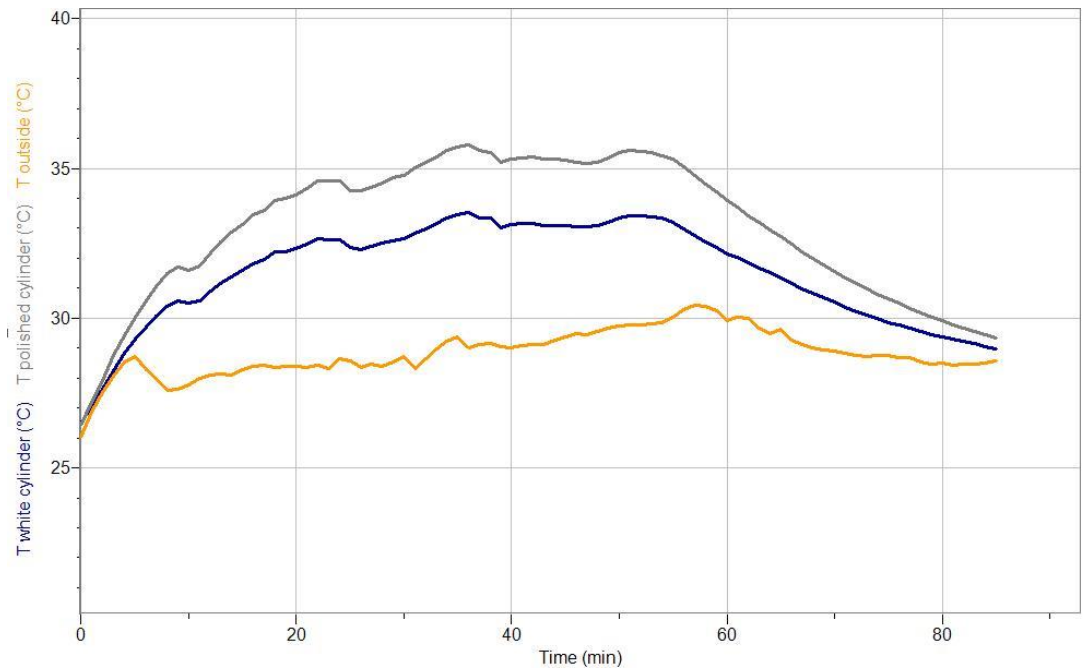


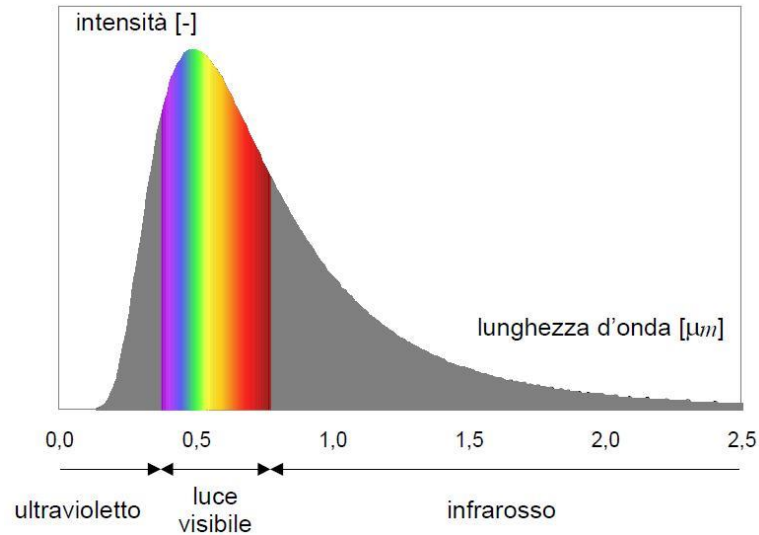
Grafico dei cilindri bianco e lucido esposti alla luce della lampada ad incandescenza.

Grafico dei cilindri bianco e lucido esposti alla luce solare

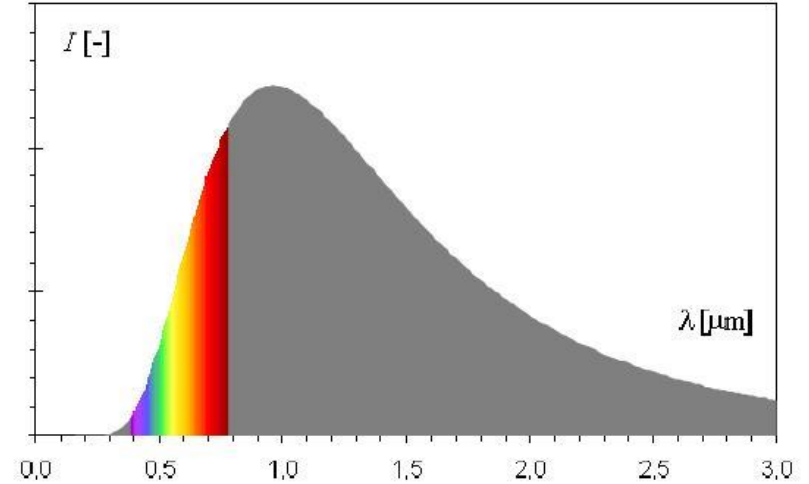


# Spettro della luce

Spettro solare

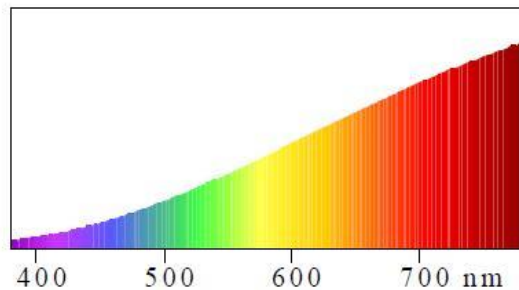


Spettro lampada incandescenza

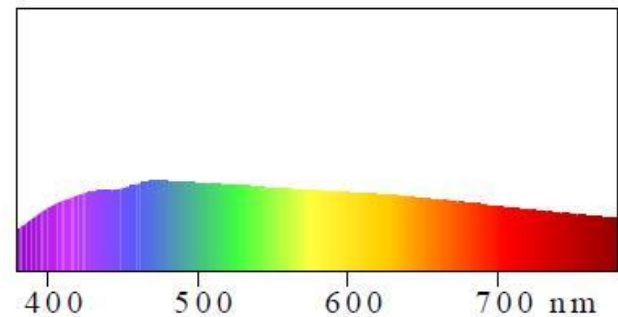


Ipotesi di lavoro ...

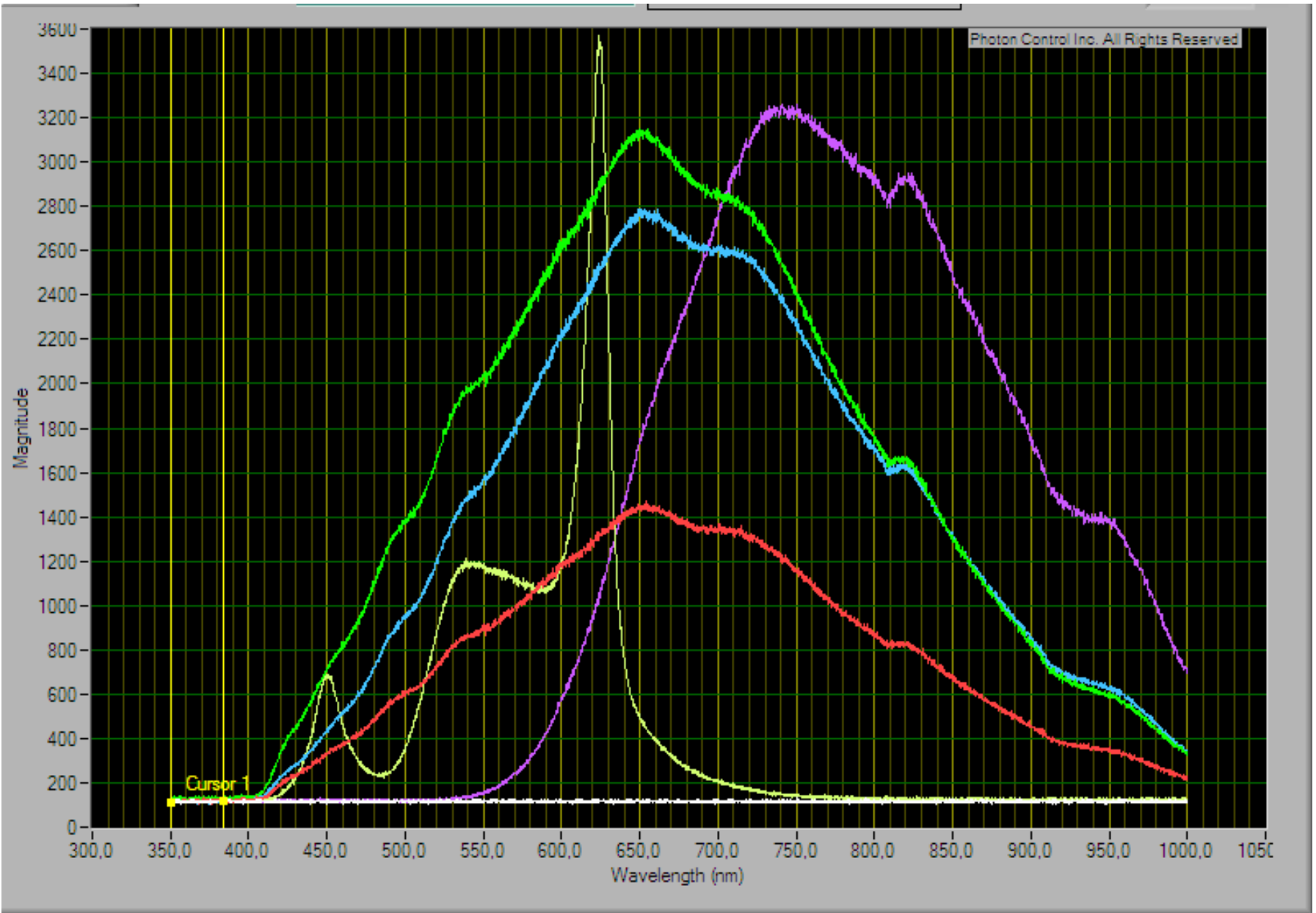
... proviamo ad esporre all'IR



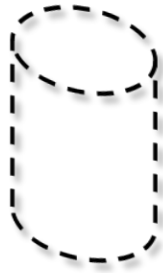
... proviamo a schermare l'IR



# Spettro delle lampadine



# Cilindro in plexiglass ... "trasparente"?



Aggiungiamo al nostro esperimento un nuovo cilindro in plexiglass.

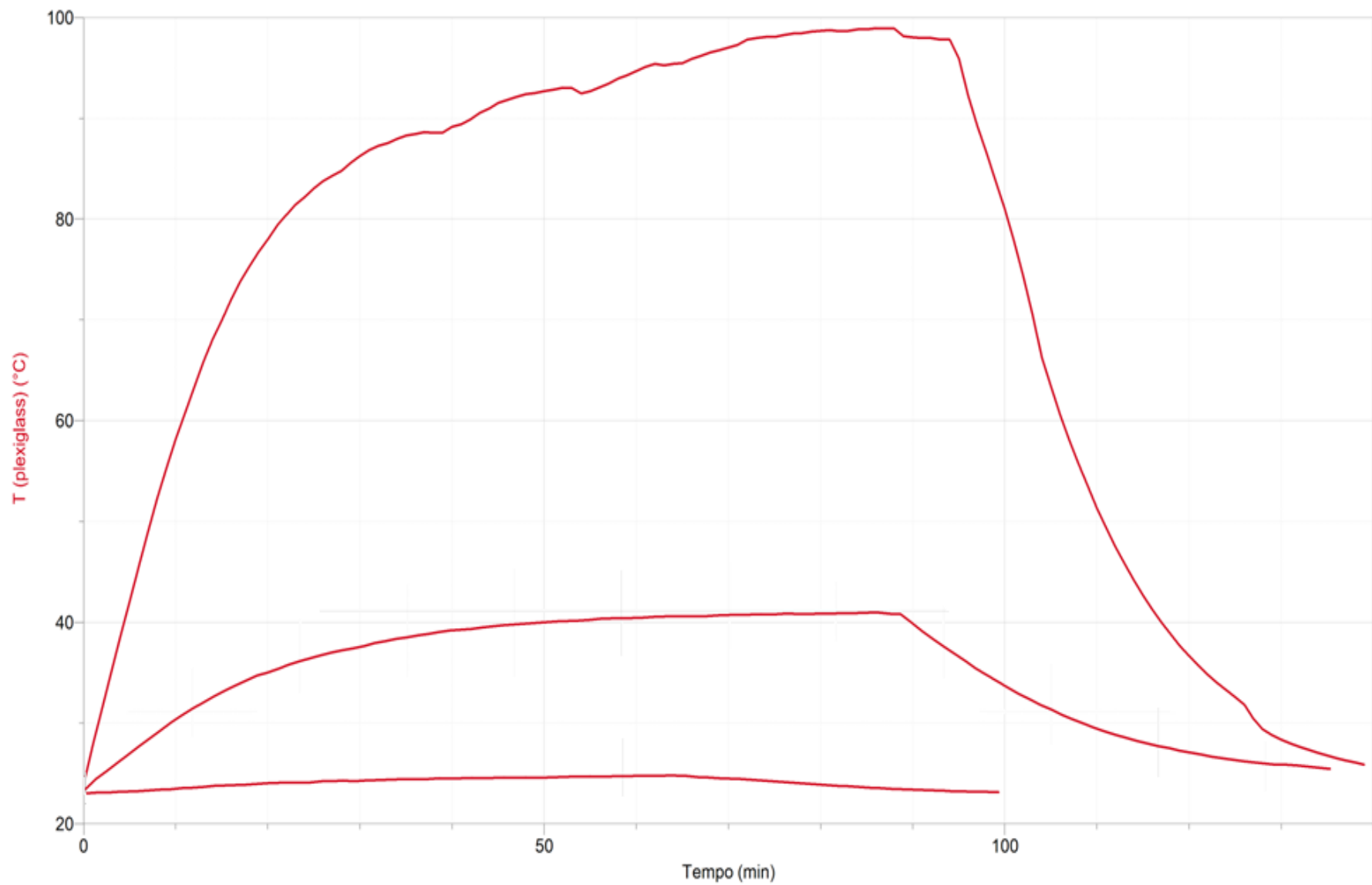
(Il cilindro in plexiglass ha la stessa capacità termica dei cilindri in alluminio)



**Cosa ci aspettiamo che succeda?**  
**Come reagirà il cilindro in plexiglass alle tre differenti radiazioni?**

...

**Cosa significa trasparente?**

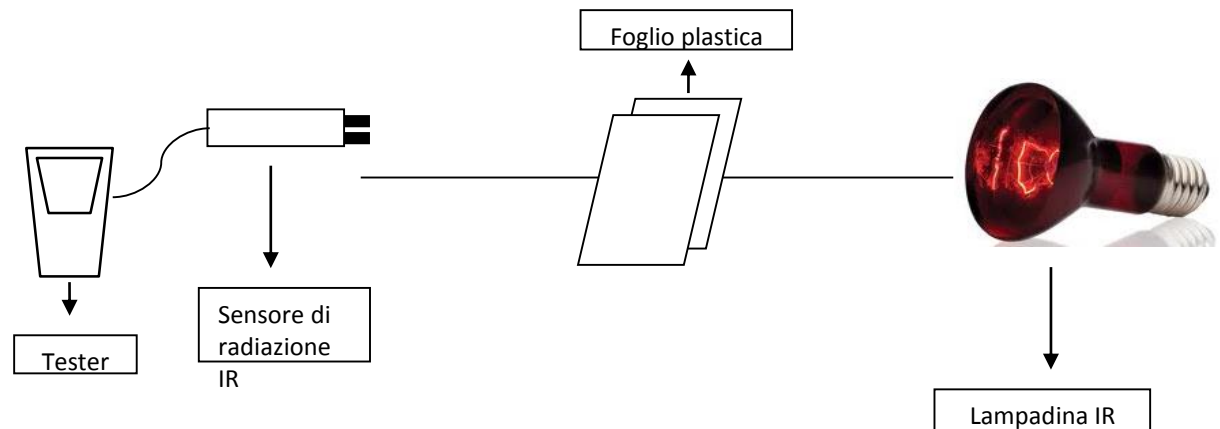




## Apparato sperimentale



## Esperimento



## Dati

| IR (mV) | Note                                             |
|---------|--------------------------------------------------|
| 14.7    | Radiazione IR rilevata a 100 cm dalla lampada IR |
| 10.1    | Interposizione di 1 foglio di plastica           |
| 7.7     | Interposizione di 2 fogli di plastica            |
| 6.0     | Interposizione di 3 fogli di plastica            |

La proprietà della **trasparenza** non è quindi una proprietà "assoluta"

...

Ad esempio il cilindro di plexiglass è "nera"  
all'infrarosso,  
mentre è "trasparente" al visibile

Il comportamento ottico dipende dalla regione di spettro che si sta considerando



Si può anche dire che:

*Il **calore** "passa" solo se scalda il  
materiale attraverso cui passa,  
la **radiazione** "passa" solo se non  
scalda.*

# Concetto di *trasparenza*

## Esercizio n.°1 (Guida esperimento “cilindri”)

Un oggetto opaco A (es. un blocco di legno o una pietra) e un oggetto trasparente B, aventi la stessa capacità termica e la stessa temperatura iniziale pari a  $T_i$ , sono esposti alla luce solare per un tempo  $t$ . La temperatura  $T_A$  e  $T_B$  dei due oggetti alla fine del tempo di esposizione sarà:

- a.  $T_A = T_B$
- b.  $T_A > T_B$
- c.  $T_A < T_B$
- d. Non so

Giustifica la tua risposta.

**Come avete risposto a questa domanda?**

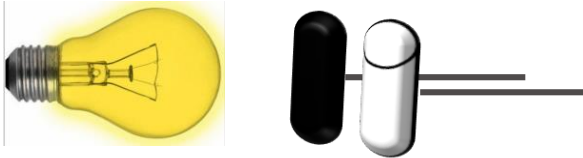
**Come avete giustificato la vostra risposta?**

...

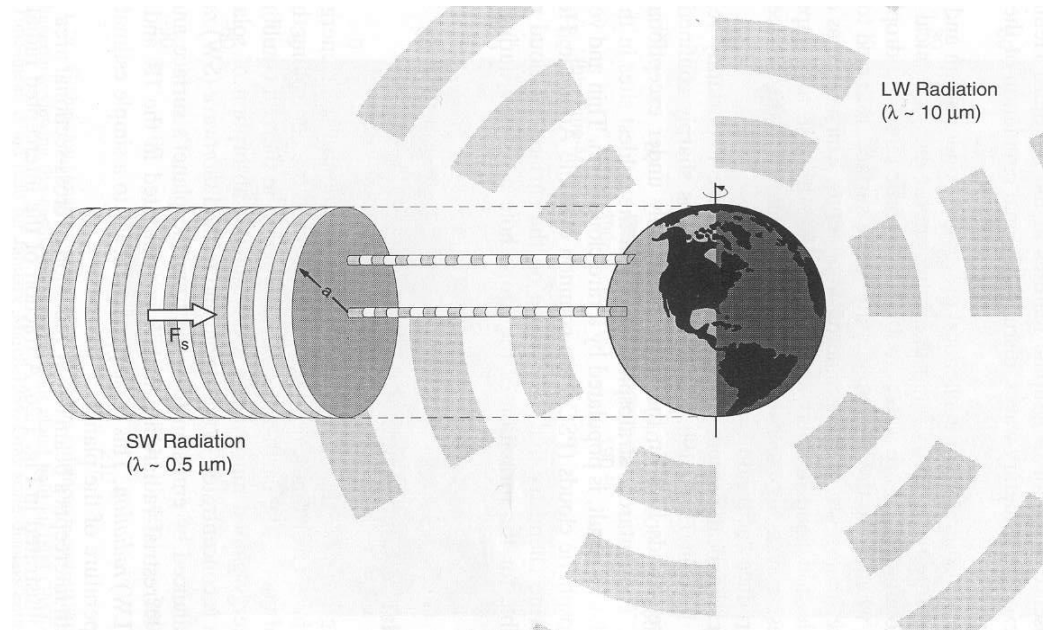
**Come rispondereste adesso?**

# Dagli ESPERIMENTI al MODELLO

Dai cilindri ...



... al modello planetario





**Grazie**  
**per l'attenzione**  
**...**

*Ai prossimi esperimenti*