

 **TELESCOPIO  
NAZIONALE  
GALILEO**

 **INAF**  
ISTITUTO NAZIONALE  
DI ASTROFISICA



# CONCORSO GIOVANI ASTRONOMI AL TELESCOPIO NAZIONALE GALILEO

**II EDIZIONE, 2025**

**COSTANZA ARGIROFFI PRESENTA**

DiFC, Università degli Studi di Palermo, Italy, INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo, Italy

# STELLE E POPOLAZIONI STELLARI

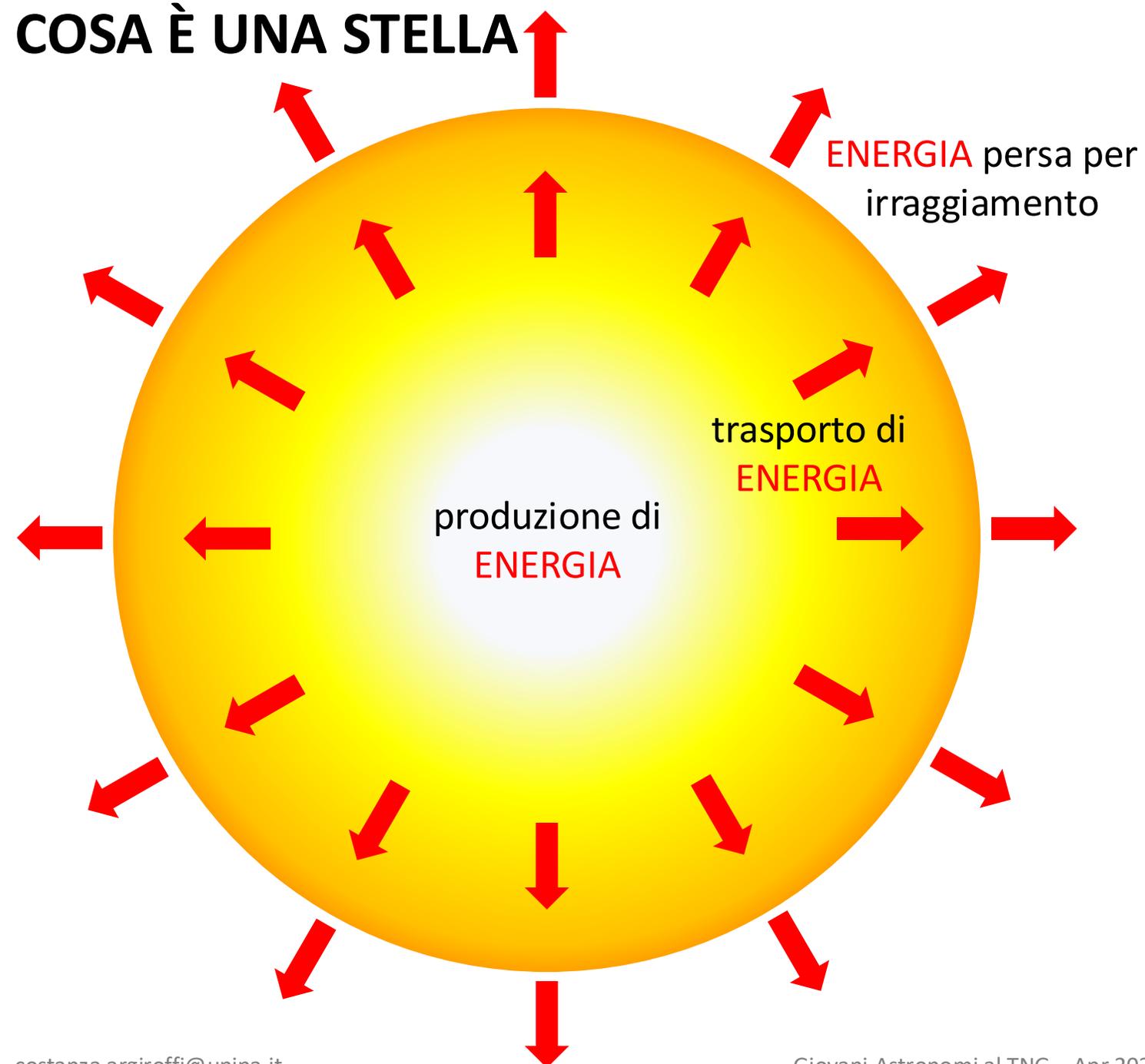
**16 APRILE, ORE 10:30**

# STELLE E POPOLAZIONI STELLARI – CONTENUTO DEL SEMINARIO

1. Fisica delle stelle
2. Evoluzione stellare
3. Osservazione delle stelle
4. Proposte osservative

# 1. FISICA DELLE STELLE

# COSA È UNA STELLA



1. oggetto sferico
2. in equilibrio
3. composto da gas molto caldi
4. composto da H e He
5. perde energia dalla superficie sottoforma di radiazione elettromagnetica
6. produce energia nelle zone più calde mediante reazioni nucleari

# STRUTTURA STELLARE



Ogni strato di stella è in equilibrio dinamico

# STRUTTURA STELLARE



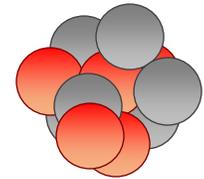
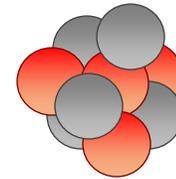
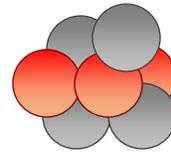
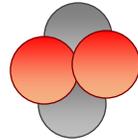
Ogni strato di stella è in equilibrio termico

$$\text{ENERGIA TRASFERITA} = \left\{ \begin{array}{l} \text{ENERGIA IN ARRIVO} \\ + \\ \text{ENERGIA PRODOTTA} \end{array} \right.$$

# NUCLEI ATOMICI

● neutrone

● protone



metalli

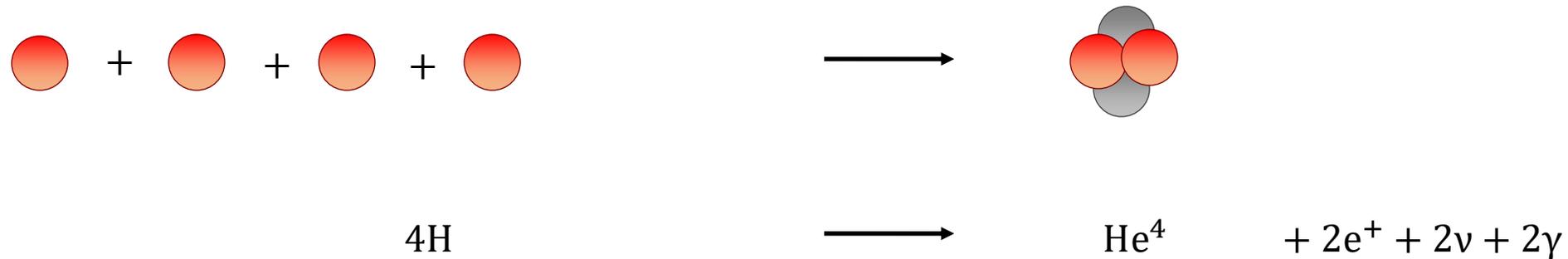


<b>Nome</b>	Idrogeno	Elio	Litio	Berillio	Boro	...
<b>Simbolo</b>	H	He	Li	Be	B	...
<b>Numero atomico Z</b>	1	2	3	4	5	...
<b>Massa atomica A</b>	1	4	7	9	11	...

# ENERGIA DI LEGAME NUCLEARE PER NUCLEONE

Si libera energia se:

- si aggregano nuclei leggeri per formarne di più pesanti, fino al ferro

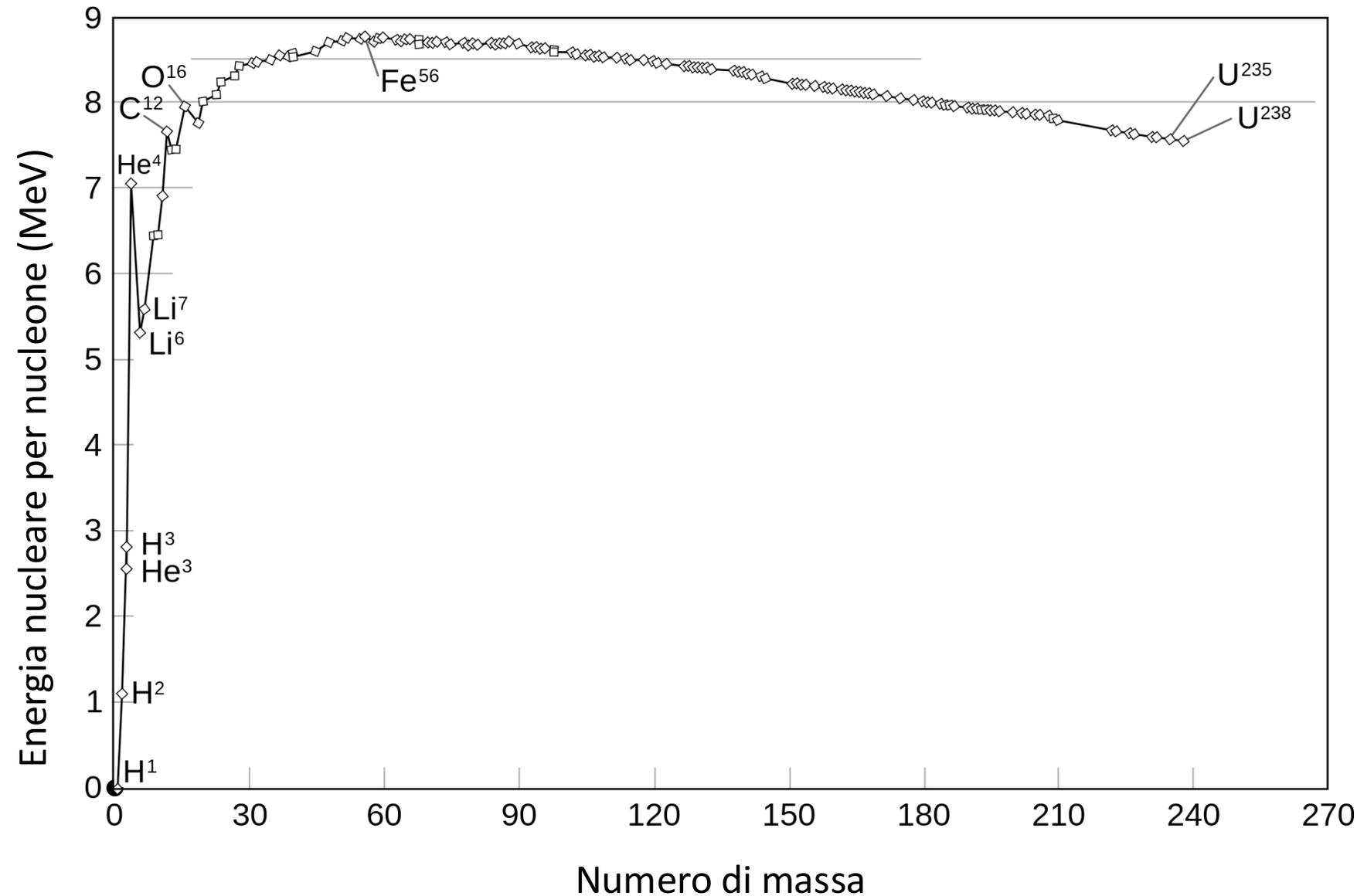


- si rompono nuclei pesanti per formarne di più leggeri, fino al ferro.

# ENERGIA DI LEGAME NUCLEARE PER NUCLEONE

Si libera energia se:

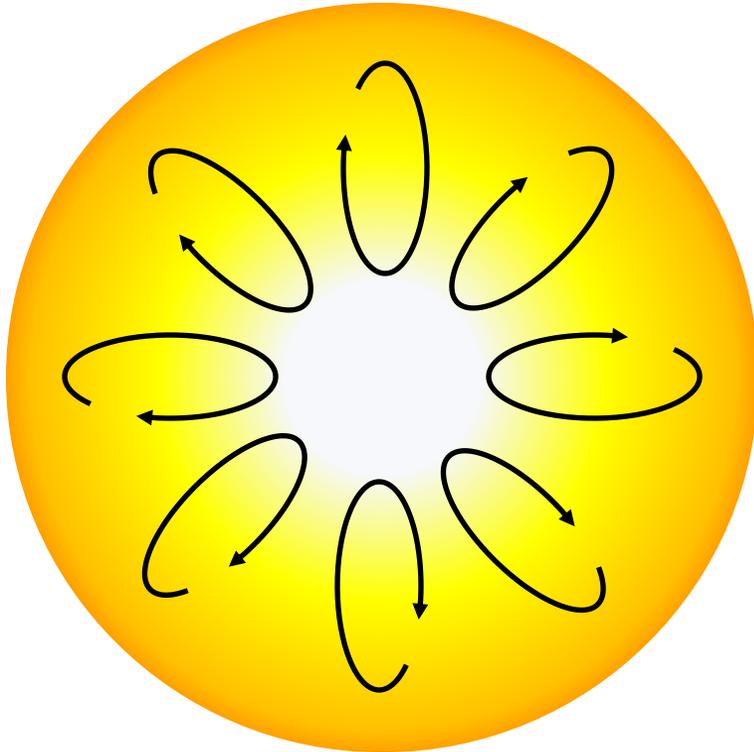
- si aggregano nuclei leggeri per formarne di più pesanti, fino al ferro
- si rompono nuclei pesanti per formarne di più leggeri, fino al ferro.



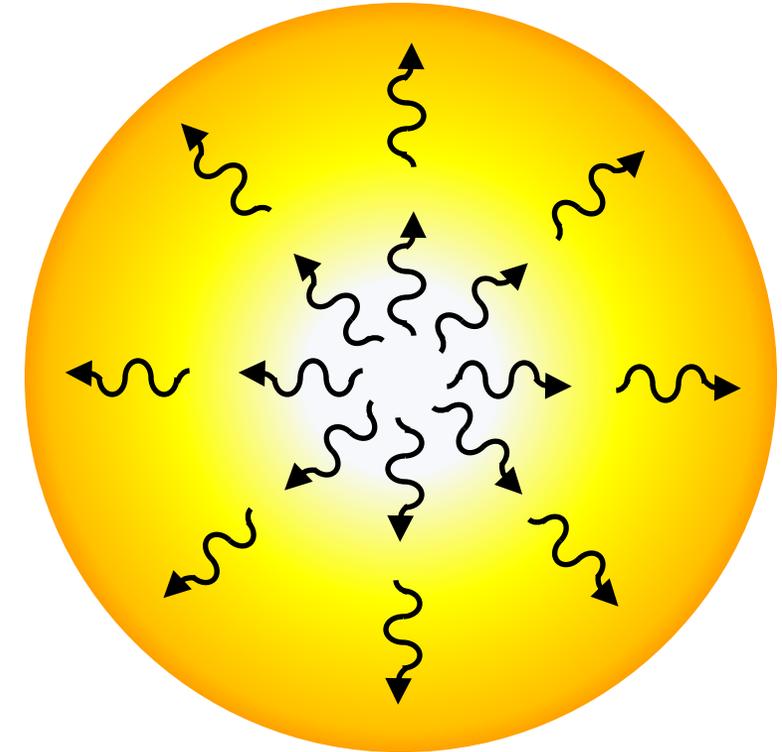
# TRASPORTO DI ENERGIA NELLE STELLE

L'energia è prodotta nelle zone più interne, ed è persa in superficie, con l'emissione di fotoni. Esistono due diversi meccanismi che portano l'energia dal centro in superficie.

Trasporto convettivo



Trasporto radiativo



Il trasporto di energia è legato alla stratificazione di temperatura.

# 2. EVOLUZIONE STELLARE

# L'UNIVERSO



Cielo profondo – Telescopio Spaziale Hubble

# LE GALASSIE



NGC4414 – galassia a spirale – Telescopio Spaziale Hubble

# IL MEZZO INTERSTELLARE



All'interno delle galassie, nello spazio fra le stelle, sono presenti nubi di polvere e gas.

Queste nubi sono estremamente:

- fredde
- rarefatte

# COME NASCONO LE STELLE



Se queste nubi sono abbastanza grandi, allora la forza gravitazionale diventa sufficientemente elevata da causarne il collasso.

La nube:

- collassa su se stessa
- si riscalda
- dà origine a nuove stelle

# COME NASCONO LE STELLE



Il collasso di una nube porta alla formazione di centinaia-migliaia di stelle, tutte nate contemporaneamente.

Queste stelle costituiscono un **ammasso stellare**.

La radiazione di queste stelle spazza via ciò che rimane della nube che le ha formate.

# GLI AMMASSI STELLARI

## AMMASSO GLOBULARE

M15 – Telescopio Spaziale Hubble

Se la massa dell'ammasso è elevata le stelle che lo compongono resteranno vicine per tutta la vita

## AMMASSO APERTO

IC 2602 – Siding Springs Telescope

Se la massa dell'ammasso non è elevata le stelle che lo compongono resteranno vicine all'inizio, per poi disperdersi e mescolarsi con le altre stelle

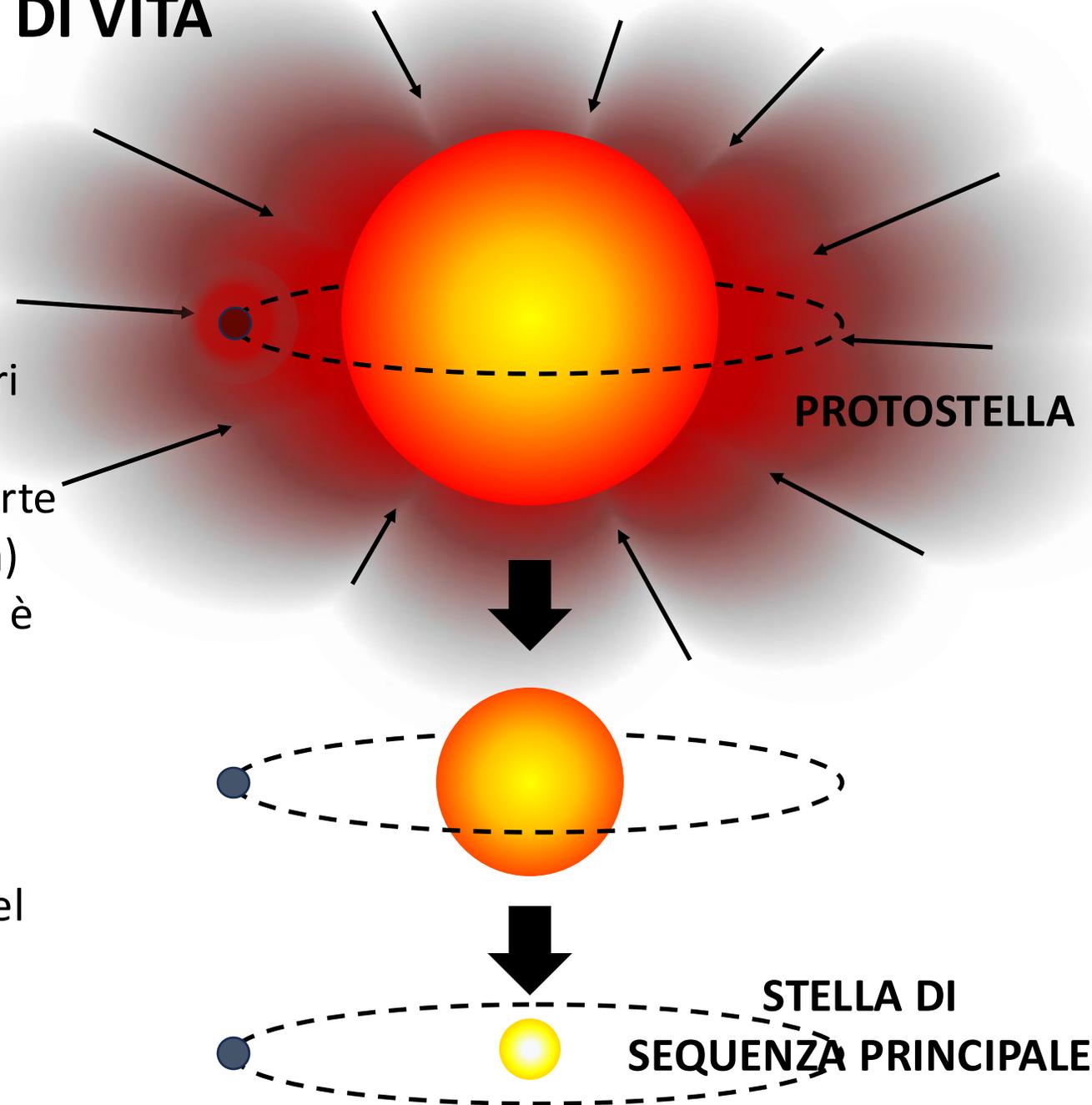
# EVOLUZIONE STELLARE: FASI INIZIALI DI VITA

## PROTOSTELLA

- Dal collasso di una piccola porzione di nube si forma un oggetto sferico, caldo, denso
- All'interno le temperature però non sono sufficientemente alte per avere reazioni nucleari
- La protostella si contrae, e si riscalda (→ perde energia gravitazionale, che viene convertita in parte in energia termica e in parte in energia irradiata)
- È in queste fasi che dal residuo di nube da cui si è formata la stella si possono formare anche dei pianeti

## STELLA DI SEQUENZA PRINCIPALE

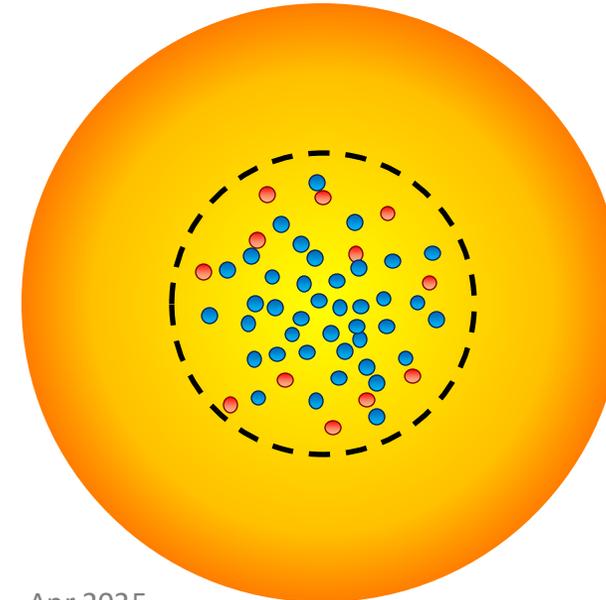
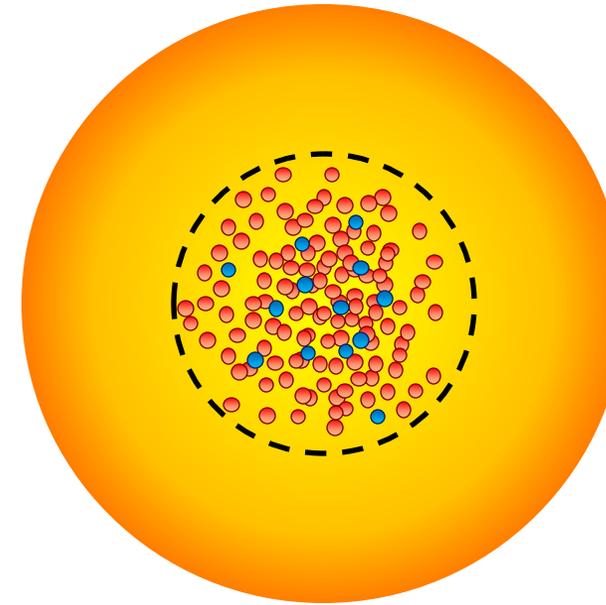
Quando la stella raggiunge temperature di  $10^6$  K nel nucleo partono le reazioni nucleari ( $4\text{H} \rightarrow \text{He}$ ), la stella non si contrae più, e inizia la fase più stabile della sua vita



# EVOLUZIONE STELLARE: FASE DI SEQUENZA PRINCIPALE

## STELLA DI SEQUENZA PRINCIPALE

- La stella rimane stabile, convertendo idrogeno in elio nelle zone interne
- A un certo punto l'idrogeno nel nucleo finisce, la stella termina la fase di sequenza principale

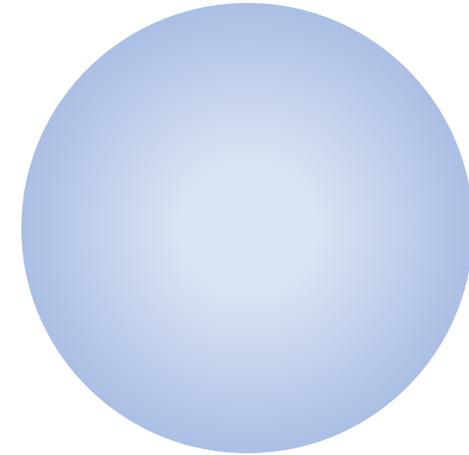


● idrogeno  
● elio

# EVOLUZIONE STELLARE: IMPORTANZA DELLA MASSA

Le stelle possono avere masse diverse, da  $0.08$  a  $100 M_{\odot}$

La massa influenza pesantemente la struttura e l'evoluzione di una stella



<b>Massa (<math>M_{\odot}</math>)</b>	1	5
<b>Raggio (<math>R_{\odot}</math>)</b>	1	5
<b>Temperatura efficace (K)</b>	6000	15000
<b>Temperatura al centro (MK)</b>	13	18
<b>Luminosità (energia totale emessa in un secondo, <math>L_{\odot}</math>)</b>	1	800
<b>Durata della fase di sequenza principale (Gyr)</b>	10	0.08

# EVOLUZIONE STELLARE: CLASSIFICAZIONE SPETTRALE

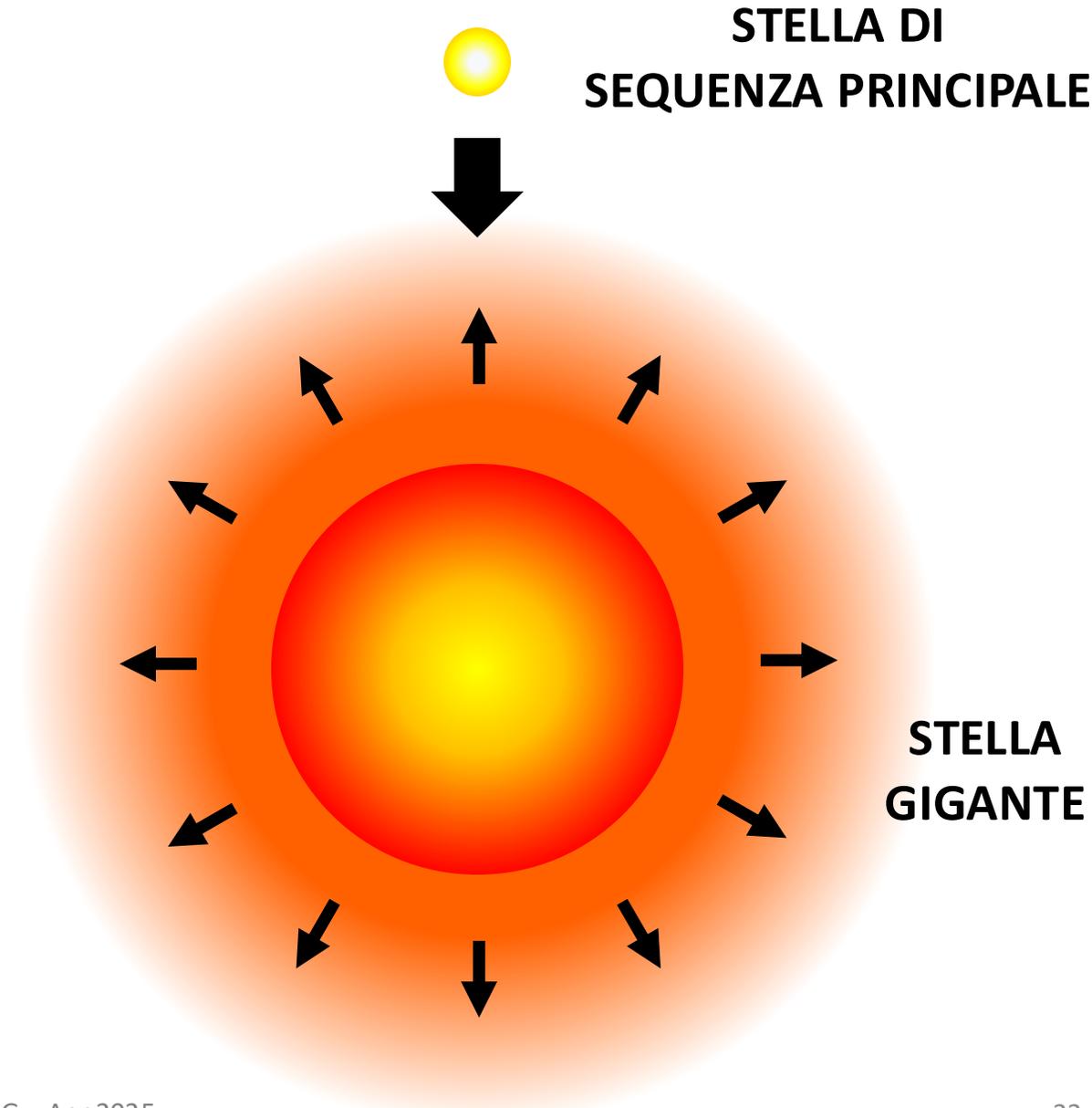
Massa	$T_{\text{eff}}$	Durata Seq. Princ.
$\geq 16 M_{\odot}$	$\geq 30 \text{ kK}$	1 – 10 Myrs
2.1 – 16 $M_{\odot}$	10 – 30 kK	11 – 400 Myrs
1.4 – 2.1 $M_{\odot}$	7.5 – 10 kK	0.4 – 3.0 Gyrs
1.04 – 1.4 $M_{\odot}$	6 – 7.5 kK	3 – 7 Gyrs
0.8 – 1.04 $M_{\odot}$	5.2 – 6 kK	7 – 15 Gyrs
0.45 – 0.8 $M_{\odot}$	3.7 – 5.2 kK	~ 17 Gyrs
0.08 – 0.45 $M_{\odot}$	$\leq 3.7 \text{ kK}$	~ 56 Gyrs

# EVOLUZIONE STELLARE: FASI DI POST SEQUENZA PRINCIPALE

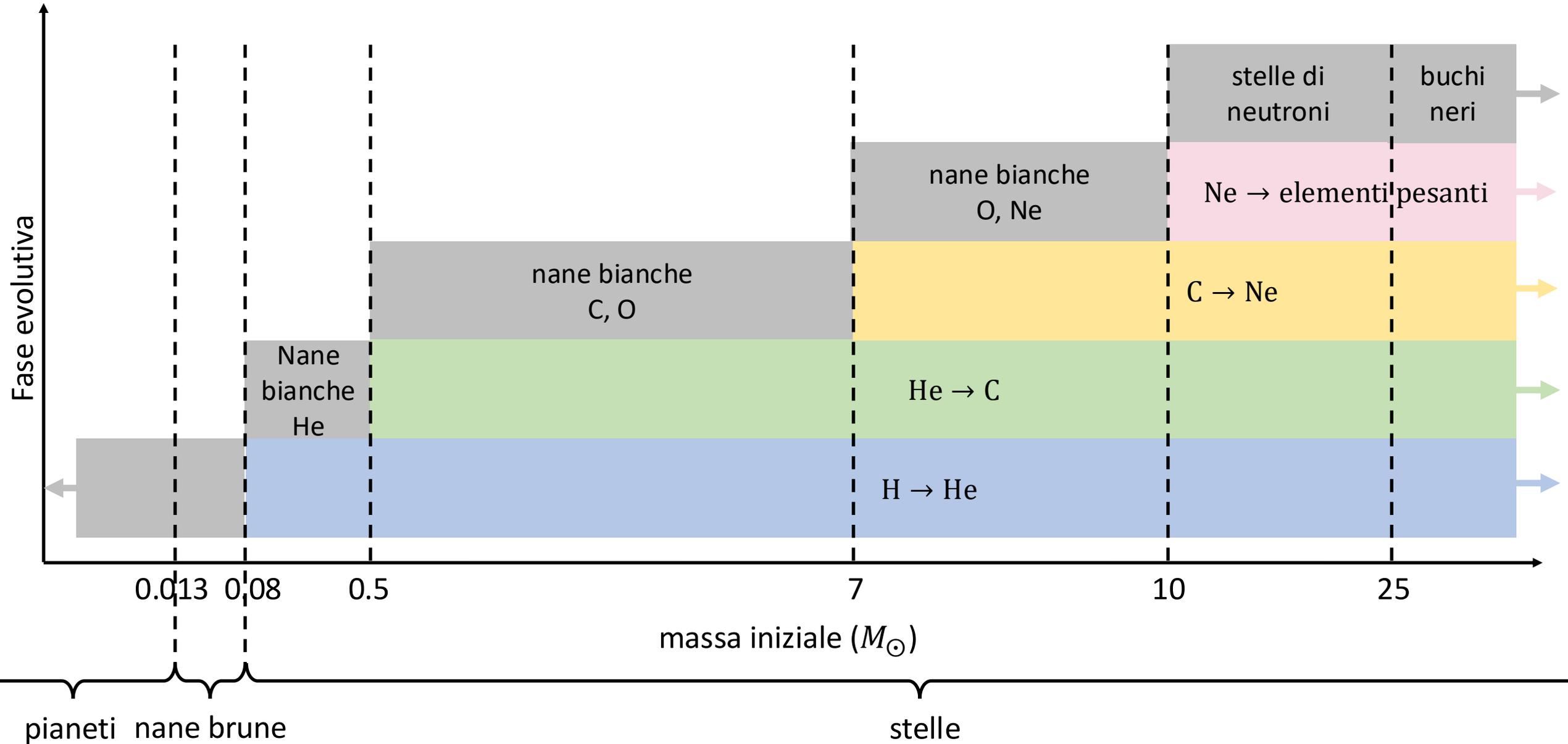
Terminata la fase di sequenza principale la stella alterna fasi in cui si espande e fasi in cui si contrae.

In queste fasi si ha la fusione di elio per formare carbonio e ossigeno, e poi in successione si ha la formazione di elementi più pesanti

In queste fasi le stelle possono perdere percentuali elevate della loro massa attraverso venti prodotti in superficie

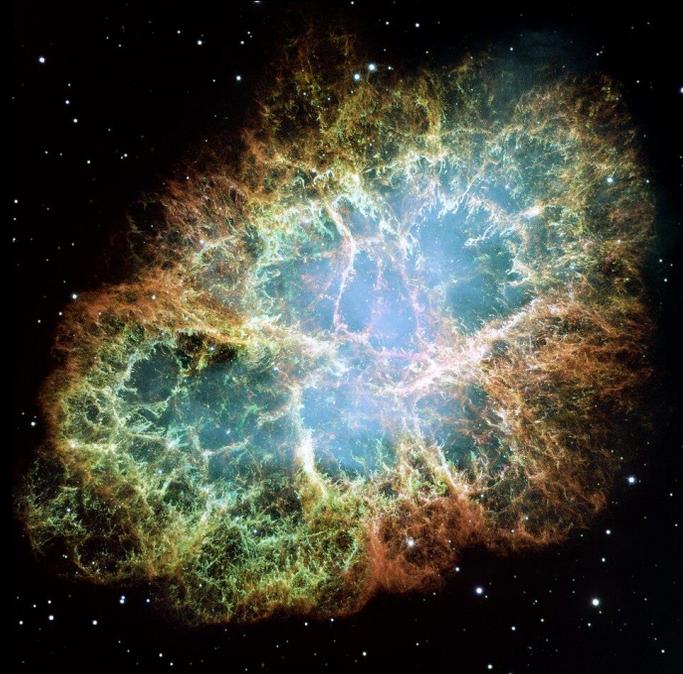


# EVOLUZIONE STELLARE



# EVOLUZIONE STELLARE: EVOLUZIONE CHIMICA DELL'UNIVERSO

il mezzo interstellare forma nuove stelle



Stelle più vecchie hanno  
metallicità minore

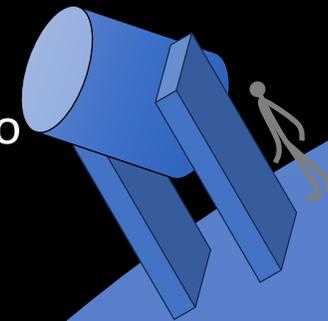
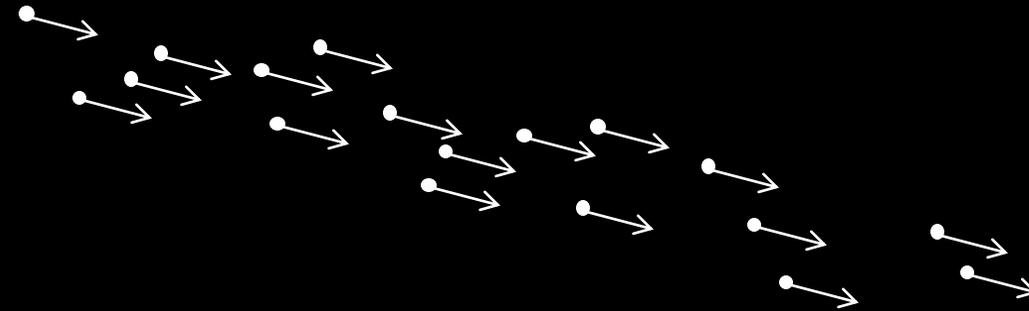
- Stelle di **popolazione I**  
(stelle relativamente  
giovani con elevata  
metallicità)
- Stelle di **popolazione II**  
(stelle vecchie con  
bassa metallicità)

Le stelle nelle fasi finali di vita perdono parte della  
loro massa che torna nel mezzo interstellare

# **3. OSSERVAZIONE DELLE STELLE**

# OSSERVAZIONI DI OGGETTI CELESTI STELLARI

Quando osserviamo oggetti celesti a occhio nudo, riusciamo a vedere solo gli oggetti più vicini e luminosi (ovvero quelli che fanno arrivare a terra un flusso di fotoni superiore a un livello limite, che il nostro occhio può percepire).



La capacità di raccogliere luce del nostro occhio dipende dalla pupilla, che al massimo può avere un diametro di 7 mm.

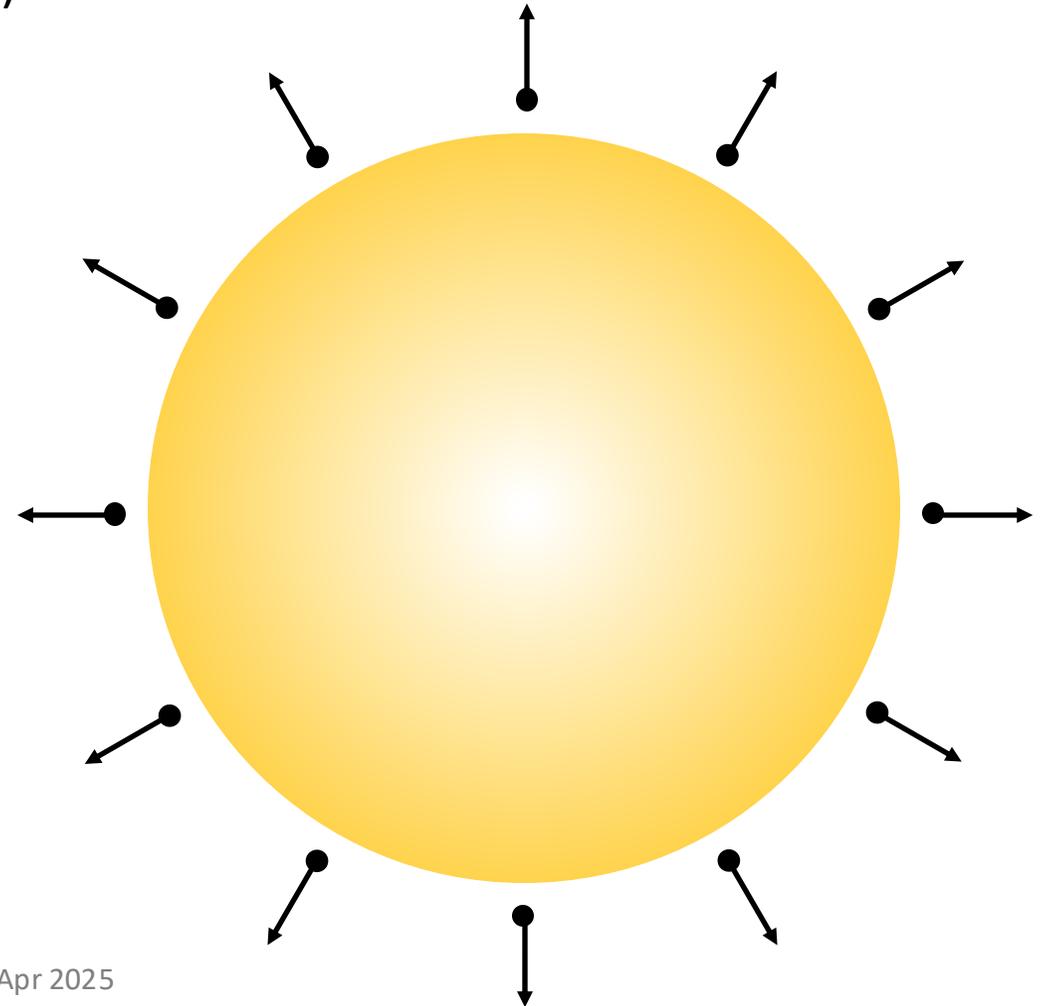
Un telescopio, con i suoi strumenti sul piano focale, permette di:

- raccogliere molta più luce in ogni secondo (perché l'area di raccolta è maggiore)
- raccogliere luce per tempi più lunghi (perché si può aumentare il tempo di esposizione)
- ingrandire l'immagine (potere risolutivo maggiore)
- acquisire dati molto più precisi e articolati (posizione, fotometria, spettroscopia...)

# OSSERVAZIONI STELLARI

Si possono osservare solo i fotoni prodotti negli strati esterni della stella.

Quindi quello che si osserva è la **fotosfera** della stella, non arrivano fotoni dall'interno (non è possibile osservare l'interno delle stelle).



# SPETTRO DI CORPO NERO

Un oggetto ideale a temperatura  $T$  in equilibrio con la radiazione (ovvero assorbe e riemette tutto).

## Spettro di corpo nero

$$B(T, \lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1}$$

La lunghezza d'onda a cui si ha il massimo di emissione:

$$\lambda_{\max} = b/T$$

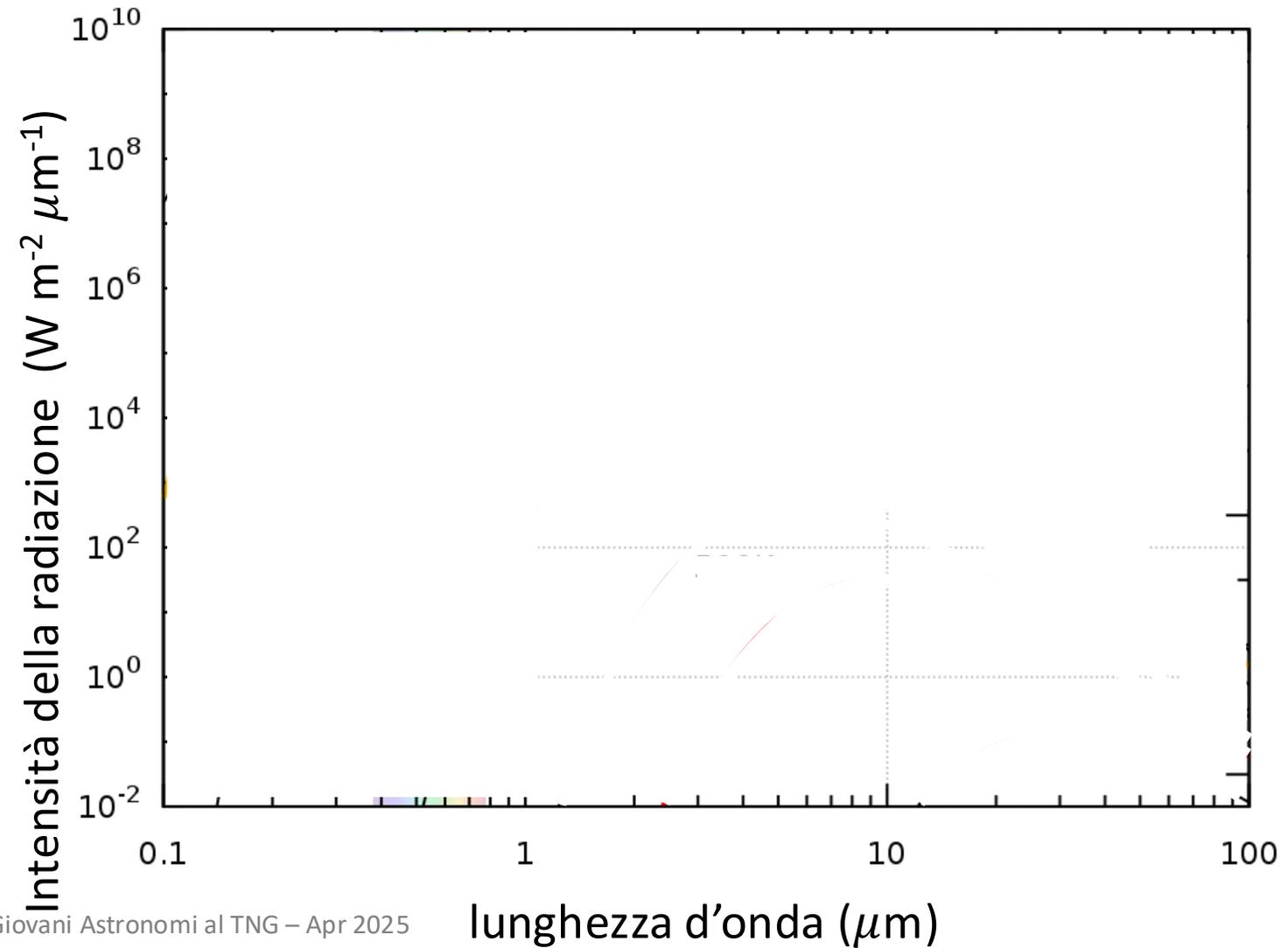
Se si somma quanto si emette in tutte le lunghezze d'onda si trova che:

$$L = A \sigma T^4$$

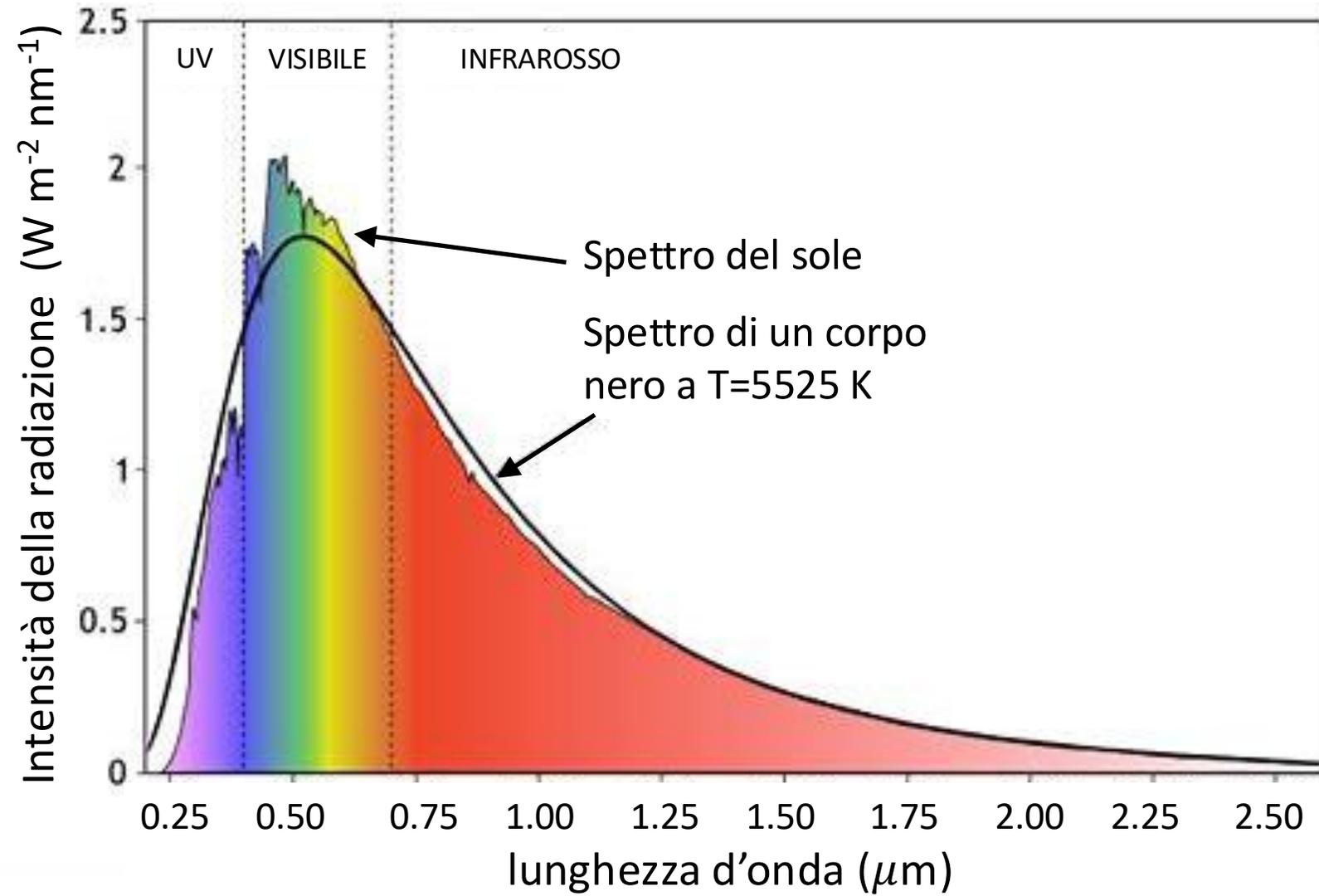
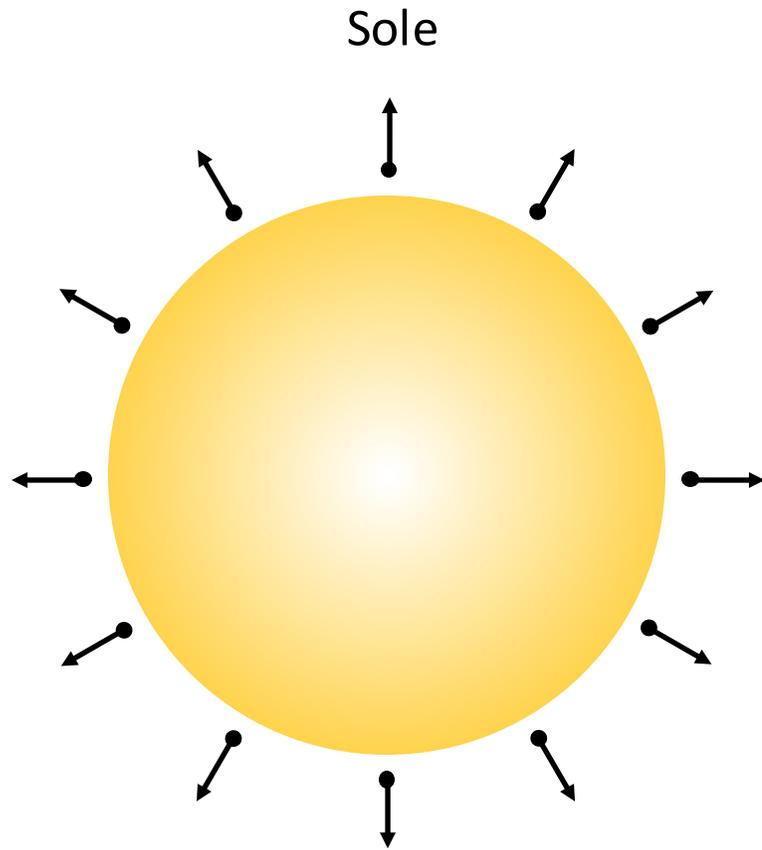
dove  $h$ ,  $c$ ,  $k_B$ ,  $b$ , e  $\sigma$  sono costanti, e  $A$  è l'area della superficie.

costanza.argiroffi@unipa.it

spettro di corpo nero



# SPETTRO DEL SOLE



# OSSERVAZIONI STELLARI

Dalle osservazioni stellari si possono facilmente ottenere:  
**Flusso** (energia che arriva a terra per unità d'area, per unità di tempo): si misura dai dati raccolti dal telescopio.  
**Luminosità** (energia totale emessa in un secondo):

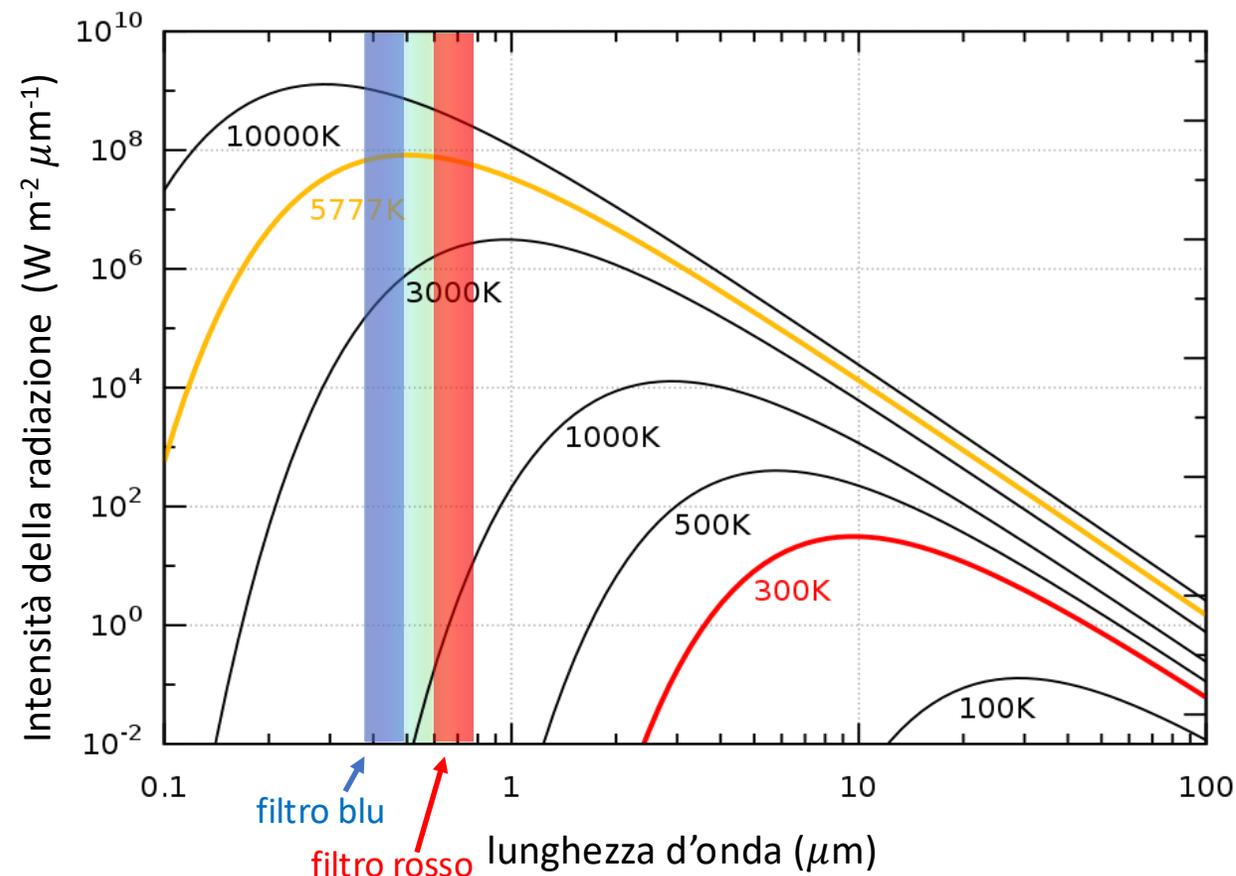
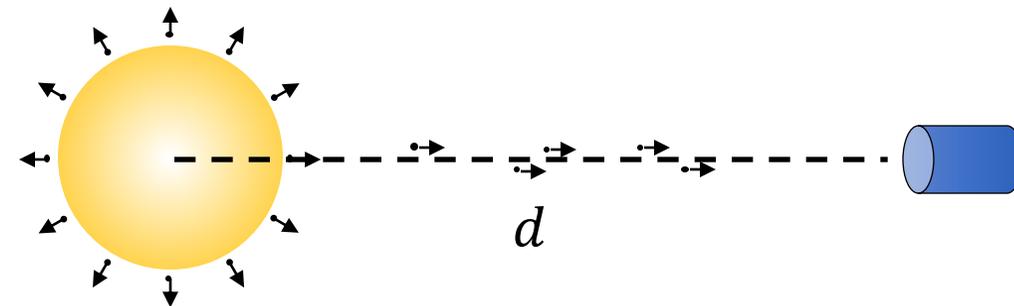
$$L = f 4\pi d^2$$

dove  $d$  è la distanza della stella.

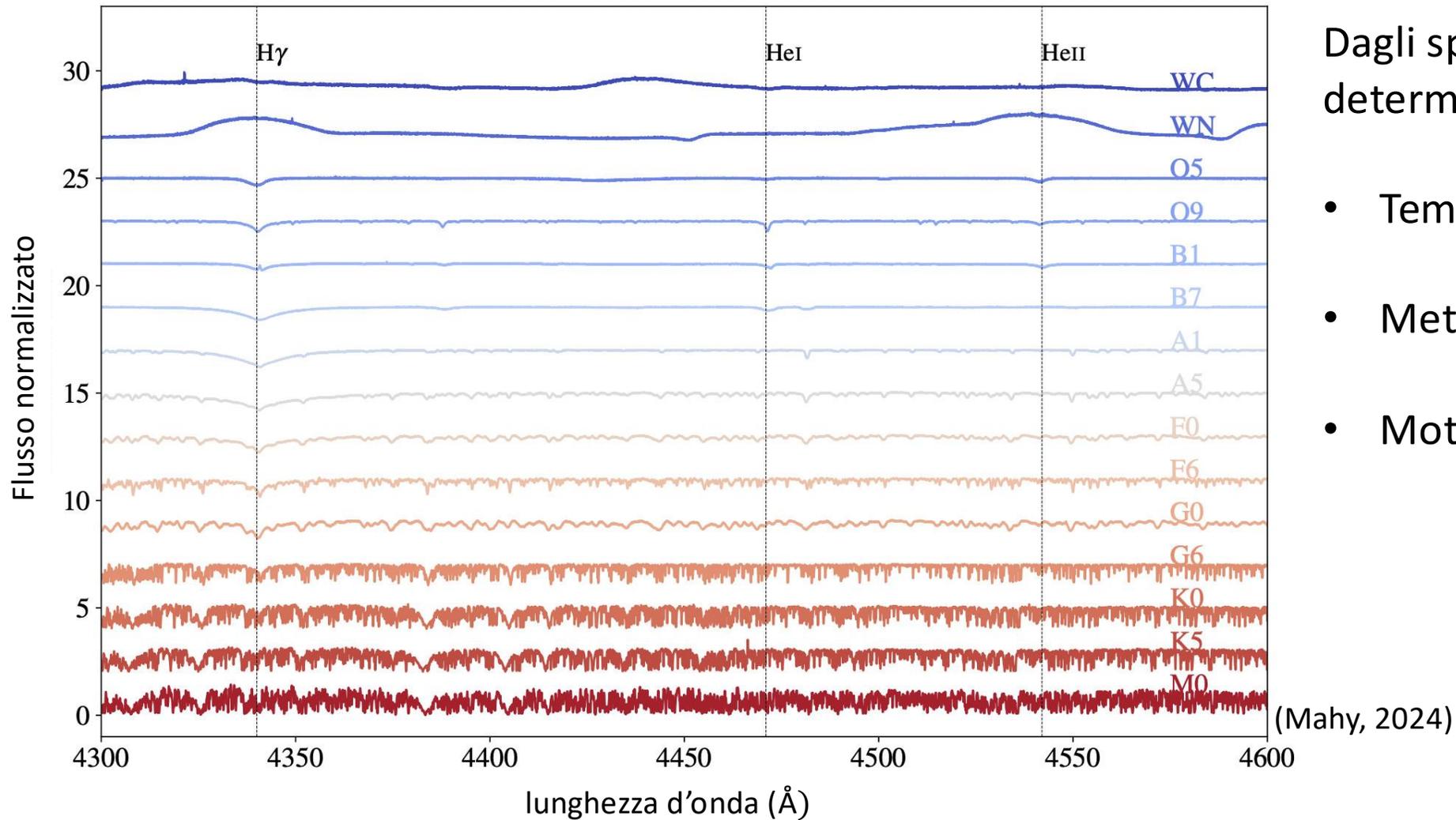
**Temperatura efficace** (temperatura *media* della fotosfera) si può facilmente derivare dalla forma dello spettro (o anche solo misurando il rapporto del flusso emesso da una stella in due bande diverse).

**Raggio della stella:** può essere derivato dalla relazione che lega temperatura efficace e luminosità:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4$$



# SPETTRI STELLARI



Dagli spettri si possono determinare:

- Temperatura della fotosfera
- Metallicità
- Moti del materiale

(Mahy, 2024)

# FOTOSFERE DI STELLE FREDDHE



Immagine del Sole, a 1700 Å, NASA/SDO

Le atmosfere delle stelle più fredde non hanno temperature uniformi, possono esserci:

- macchie fotosferiche (zone più fredde, quindi meno luminose)
- facole (zone più calde, quindi più luminose)
- brillamenti (improvvisi rilasci di energia localizzati)

Nelle osservazioni delle stelle, a differenza di quelle solari, non possiamo distinguere i dettagli della superficie (non si ha sufficiente risoluzione spaziale).

# IL DIAGRAMMA HR (HR = Hertzsprung-Russell)

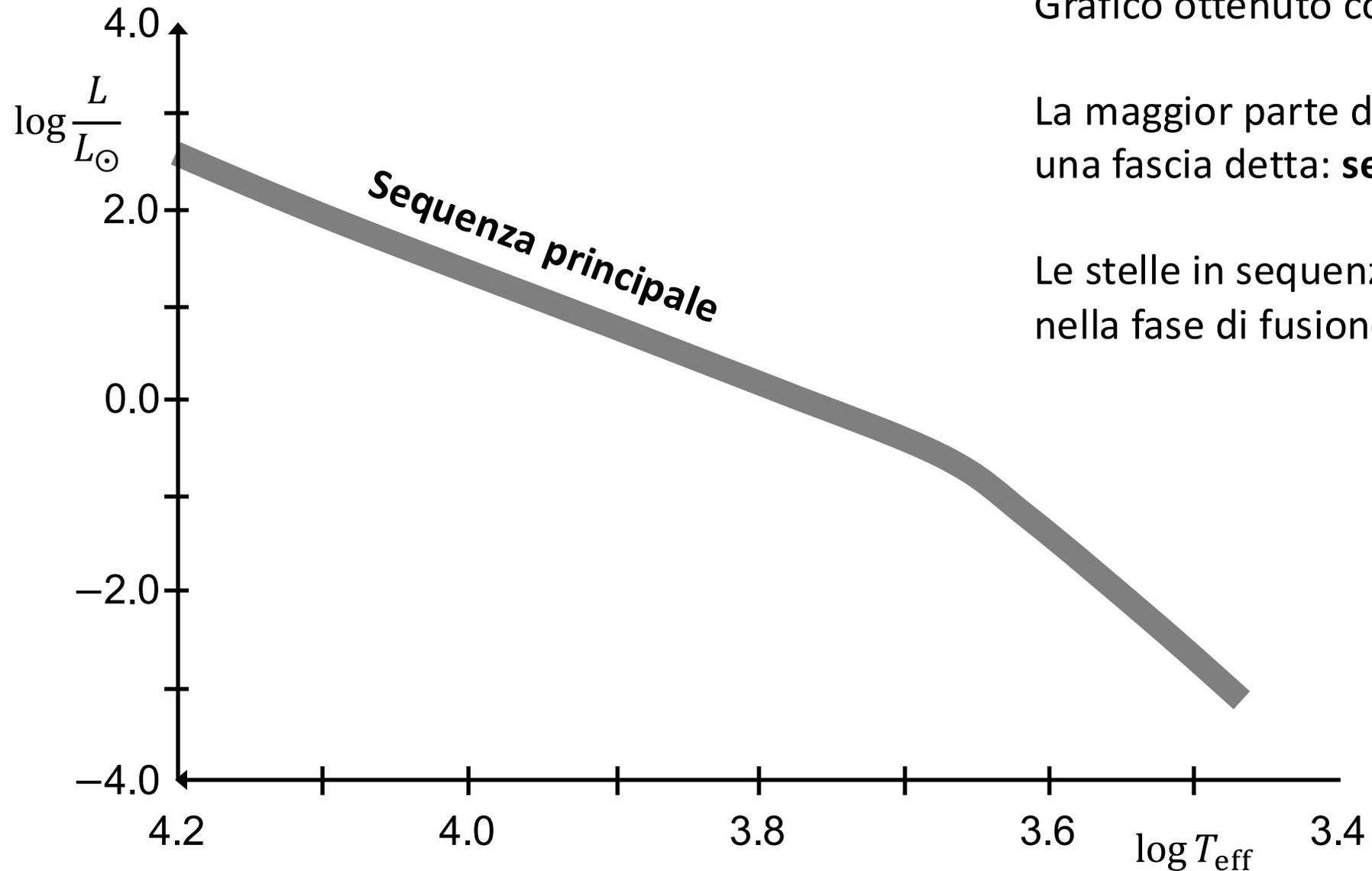


Grafico ottenuto considerando  $L$  e  $T_{\text{eff}}$

La maggior parte delle stelle si colloca su una fascia detta: **sequenza principale**

Le stelle in sequenza principale sono nella fase di fusione dell'idrogeno

# EVOLUZIONE STELLARE NEL DIAGRAMMA HR

## Pre-sequenza principale

Durata:

1 Myr per  $4 M_{\odot}$

20 Myr per  $1 M_{\odot}$

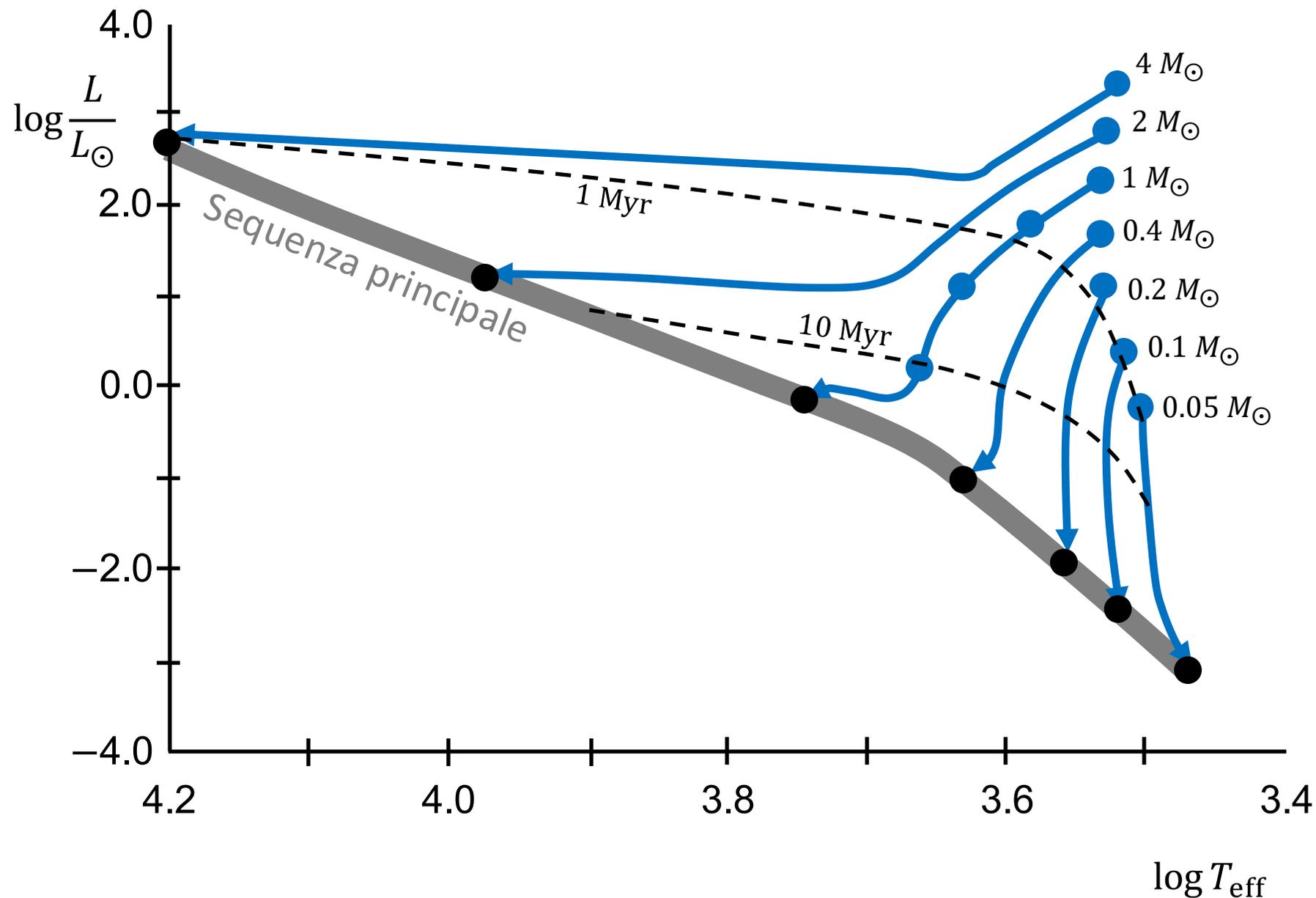
100 Myr per  $0.1 M_{\odot}$

## Sequenza principale

Durata:

80 Myr per  $5 M_{\odot}$

10 Gyr per  $1 M_{\odot}$



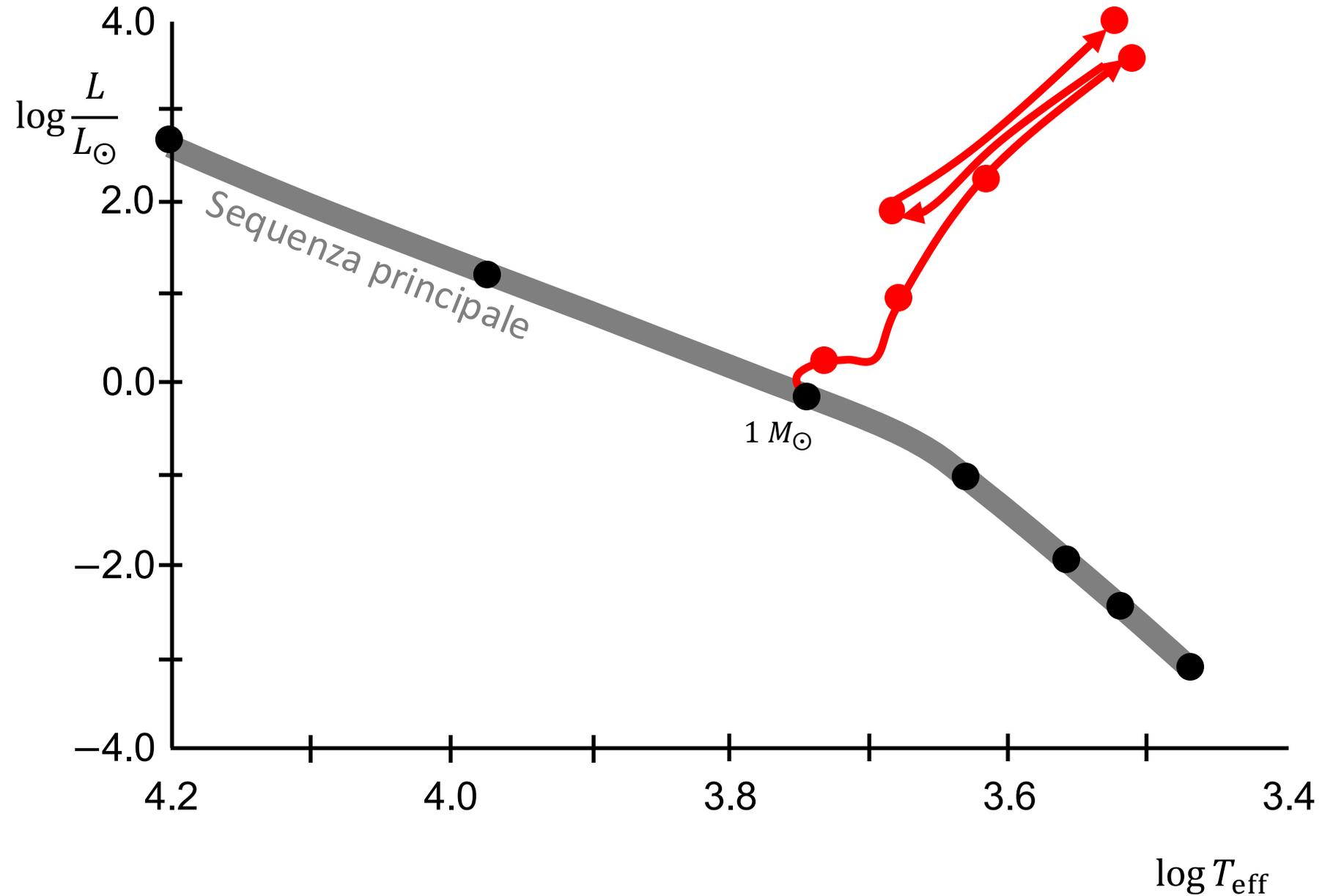
# EVOLUZIONE STELLARE NEL DIAGRAMMA HR

**Post-sequenza principale**

Durata:

20 Myr per  $5 M_{\odot}$

1 Gyr per  $1 M_{\odot}$



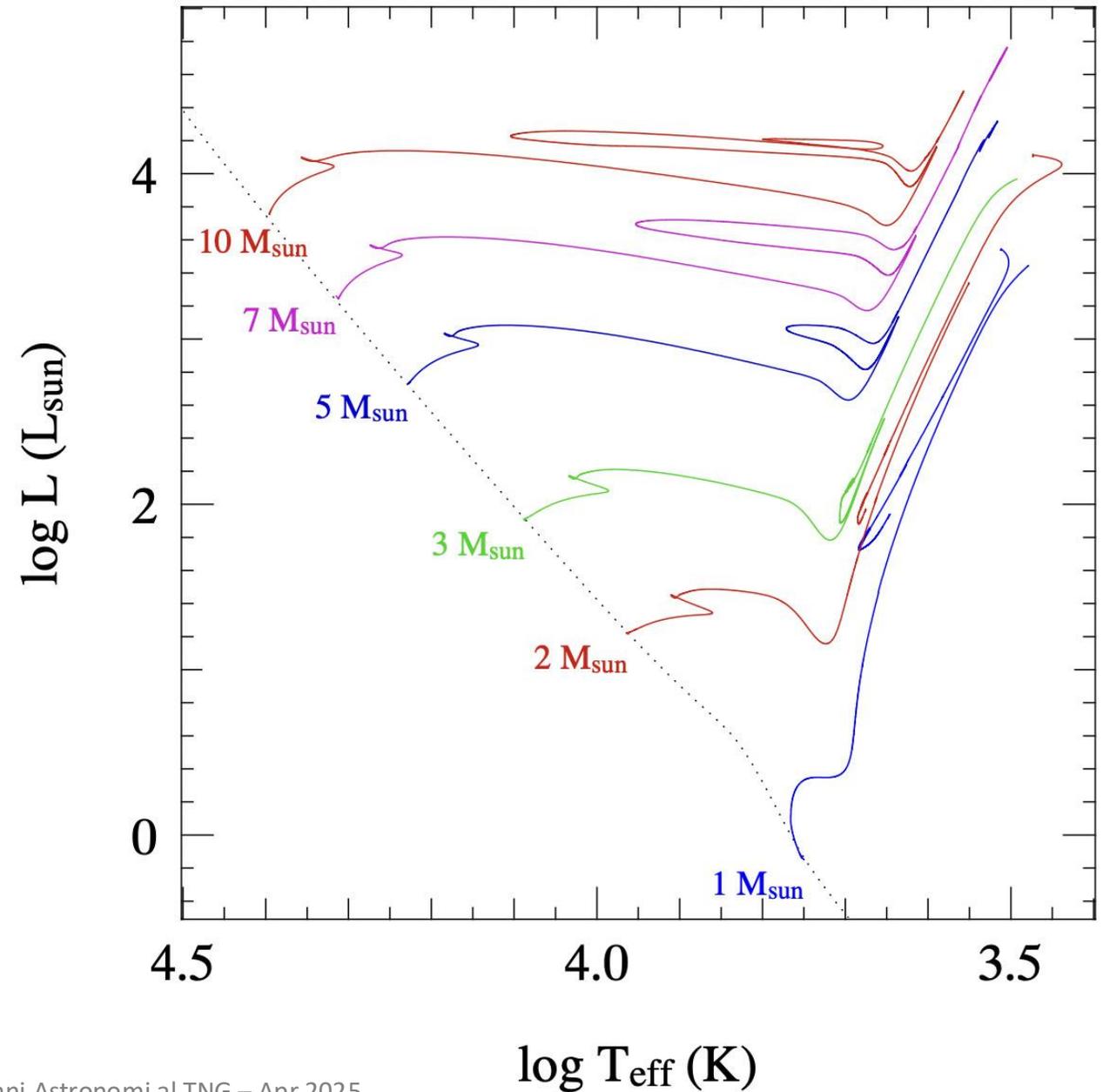
# EVOLUZIONE STELLARE NEL DIAGRAMMA HR

## Post-sequenza principale

Durata:

20 Myr per  $5 M_{\odot}$

1 Gyr per  $1 M_{\odot}$



# QUESITI APERTI

- Testare i modelli di struttura ed evoluzione stellare, ovvero determinare quali sono le principali caratteristiche (massa, raggio, luminosità...) di una stella di una data massa ad una data età.
- Quando si formano nuove stelle, con quale percentuale si formano stelle di masse diverse?
- Quanto è importante la metallicità di una stella nel determinare la sua struttura e la sua evoluzione?
- Quanta massa perdono le stelle durante la loro vita?
- Quanto velocemente ruotano le stelle? Cosa cambia nella struttura stellare se una stella ruota velocemente o meno? Come evolve la rotazione delle stelle con il tempo?
- Cosa accade nelle atmosfere di stelle con campi magnetici intensi? (presenza e caratteristiche: di macchie stellari, brillamenti, espulsioni di massa coronale...)

# 4. PROPOSTE OSSERVATIVE

# COSA È UNA PROPOSTA OSSERVATIVA

- In astrofisica la maggior parte dei fenomeni non può essere studiata in laboratorio
- Il laboratorio per lo studio delle stelle è l'Universo

È necessario osservare l'Universo al telescoio

- Per ottenere i dati migliori si devono usare i telescopi migliori
- I telescopi migliori sono molto richiesti, e non si possono accontentare tutti gli studiosi

È necessario motivare la propria richiesta di utilizzo del telescopio, ovvero è necessario scrivere una **proposta osservativa**

Se una propria proposta osservativa viene accettata si ottiene l'uso del telescopio, e quindi si ottengono i dati richiesti

- Per una prima fase i dati appartengono a chi ha fatto la proposta
- Dopo un certo tempo i dati diventano pubblici

Questo incentiva la condivisione dei dati, e permette a tutti di poter accedere a dati di grande qualità.

# COSA VALUTARE NEL PROGETTARE UNA PROPOSTA

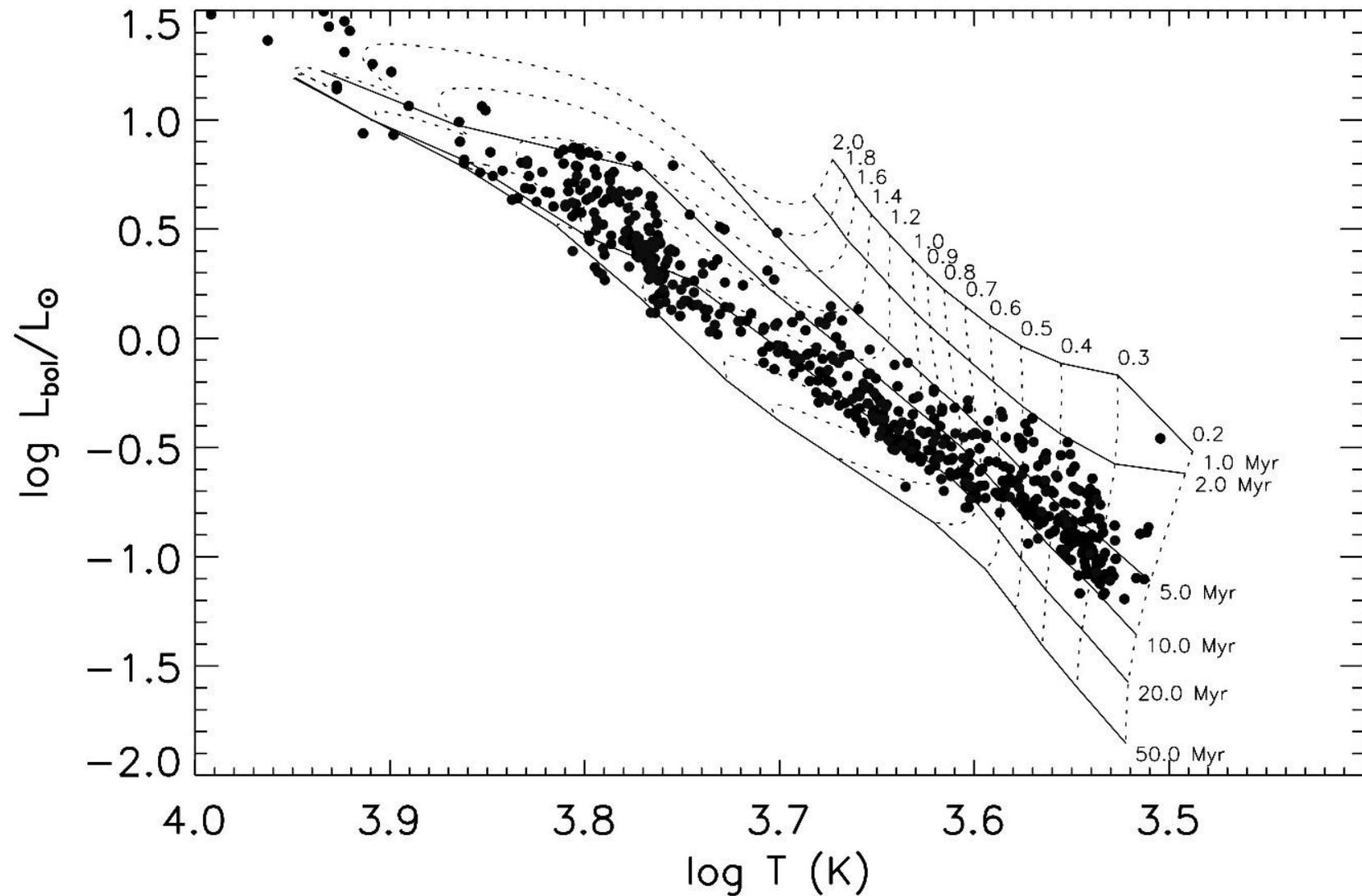
- A quale domanda voglio dare una risposta?
- Quali dati devo raccogliere, e quali misure devo fare su questi dati, per avere la risposta?
- Qual è la sorgente migliore da osservare?
- Qual è lo strumento ideale per osservarla?
- Come devo programmare i dettagli della mia osservazione?

# ESEMPIO DI PROPOSTA OSSERVATIVA

Voglio stimare l'età di un ammasso di stelle molto giovane. Come?

Fotometria dell'ammasso usando diversi filtri

- Dal colore di ogni sorgente (rapporto dei flussi nelle diverse bande) si misura la  $T_{\text{eff}}$  di ogni stella
- Dal flusso in una banda si deduce la  $L$  di ogni stella
- Si mettono le stelle in un diagramma HR e si confrontano le loro posizioni con quelle previste teoricamente dai modelli evolutive.

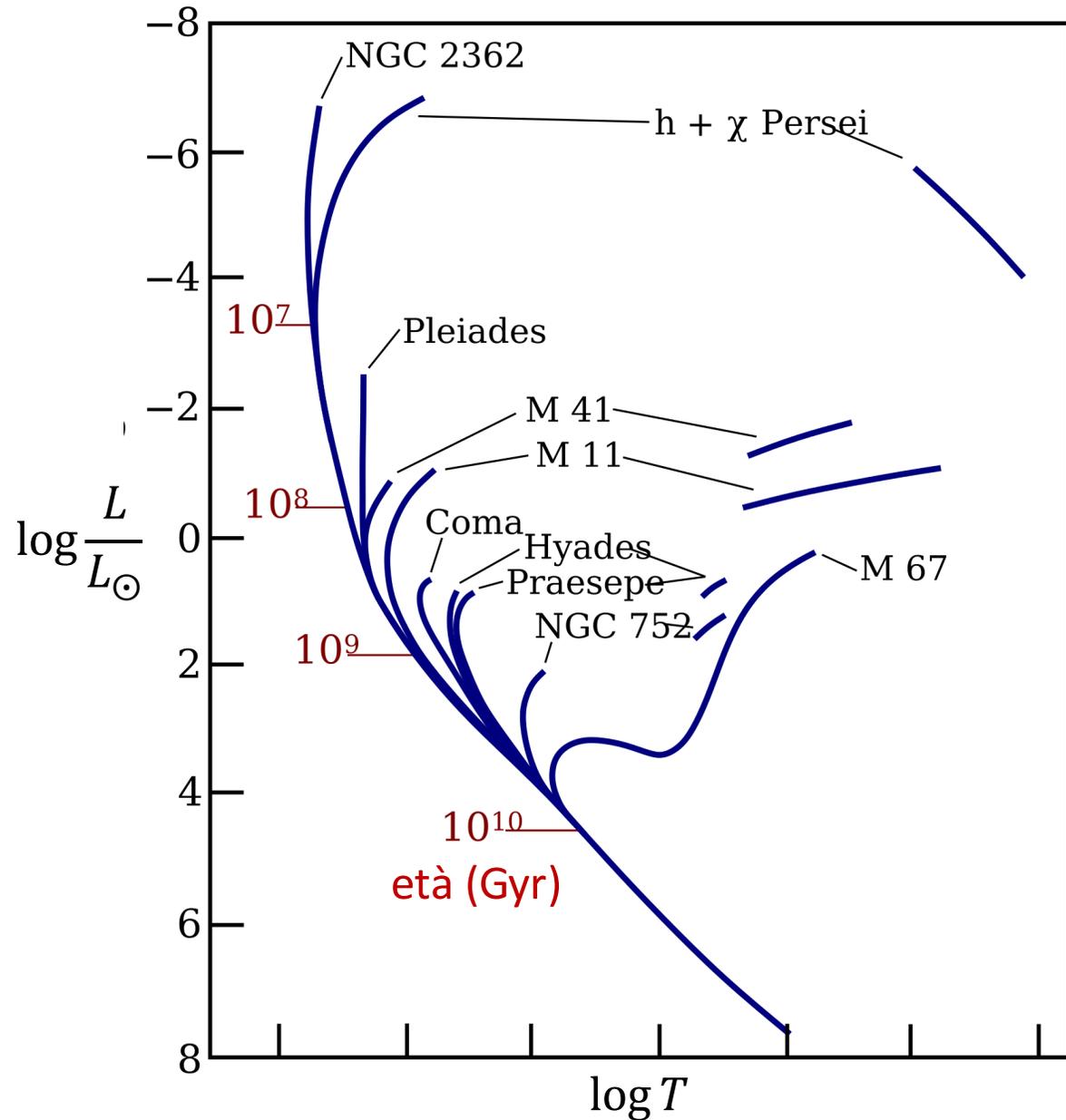


# ESEMPIO DI PROPOSTA OSSERVATIVA

Voglio stimare l'età di un ammasso di stelle molto giovane. Come?

Fotometria dell'ammasso usando diversi filtri

- Dal colore di ogni sorgente (rapporto dei flussi nelle diverse bande) si misura la  $T_{\text{eff}}$  di ogni stella
- Dal flusso in una banda si deduce la  $L$  di ogni stella
- Si mettono le stelle in un diagramma HR e si confrontano le loro posizioni con quelle previste teoricamente dai modelli evolutive.



# DI COSA DEVO PREOCCUPARMI NEL PROGETTARE LA PROPOSTA?

Obiettivo: fare fotometria delle stelle dell'ammasso, con due filtri diversi

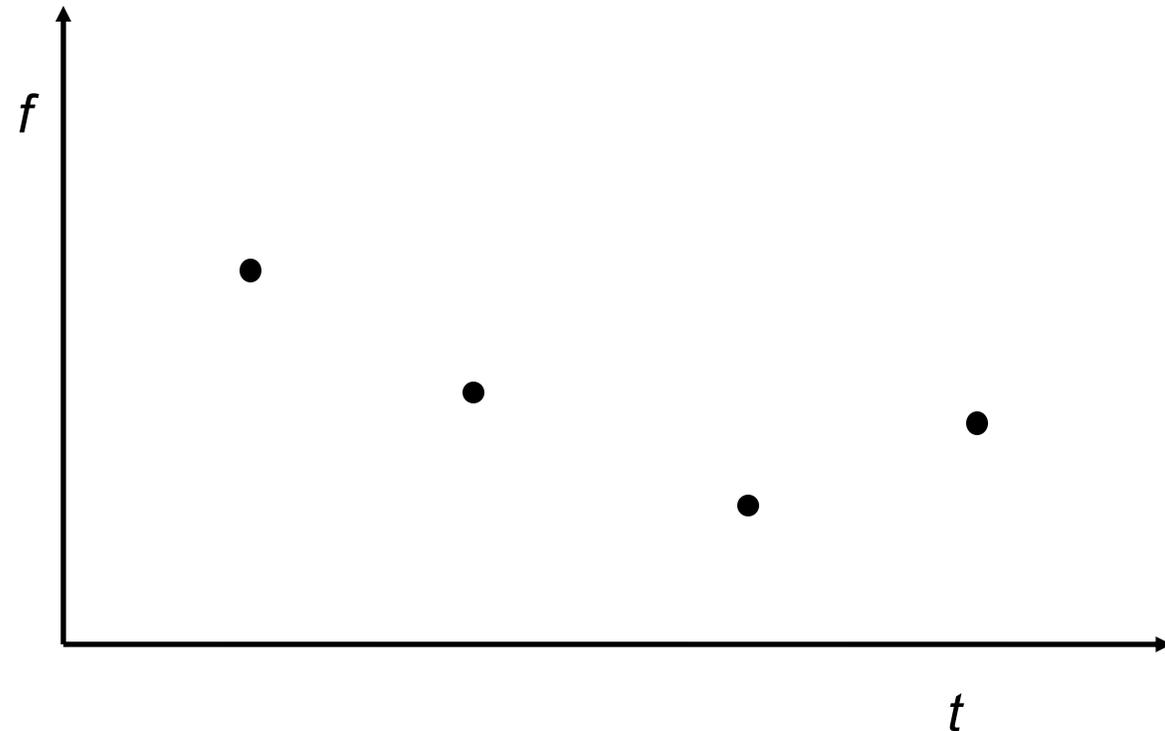
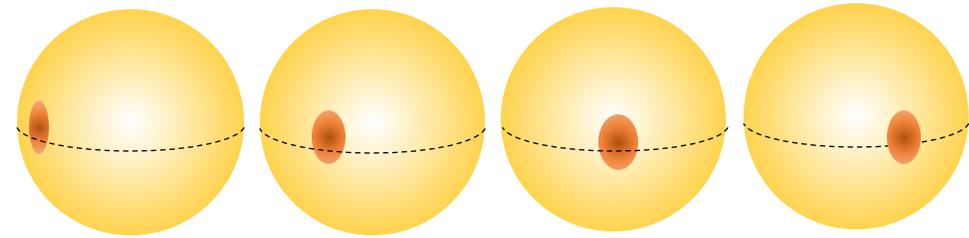
- L'ammasso che ho scelto di studiare è visibile dal TNG nel periodo indicato?
- Quanto è grande nel cielo l'ammasso? Entra tutto nel campo di vista del mio strumento, o sono necessari diversi puntamenti?
- Qual è il flusso atteso per le stelle di massa minore? Con quale tempo di esposizione della mia immagine riesco a "vederle" (avere raccolto un numero minimo di fotoni per quelle sorgenti)?
- Qual è il flusso atteso per le stelle di massa maggiore? Con quale tempo di esposizione sono sicuro di non saturare l'immagine?

# ESEMPIO DI PROPOSTA OSSERVATIVA

Voglio studiare se ci sono macchie sulla superficie di una stella, e stimare quanto sono estese, e quanto sono più fredde rispetto alla fotosfera. Come?

Fotometria della stella, con diversi filtri, ripetuta nel tempo.

- la variazione nel tempo del flusso della stella è associato al passaggio sulla superficie visibile di macchie fotosferiche
- la variazione nelle diverse bande aiuta a vincolare la temperatura e l'estensione
- si può stimare il periodo di rotazione

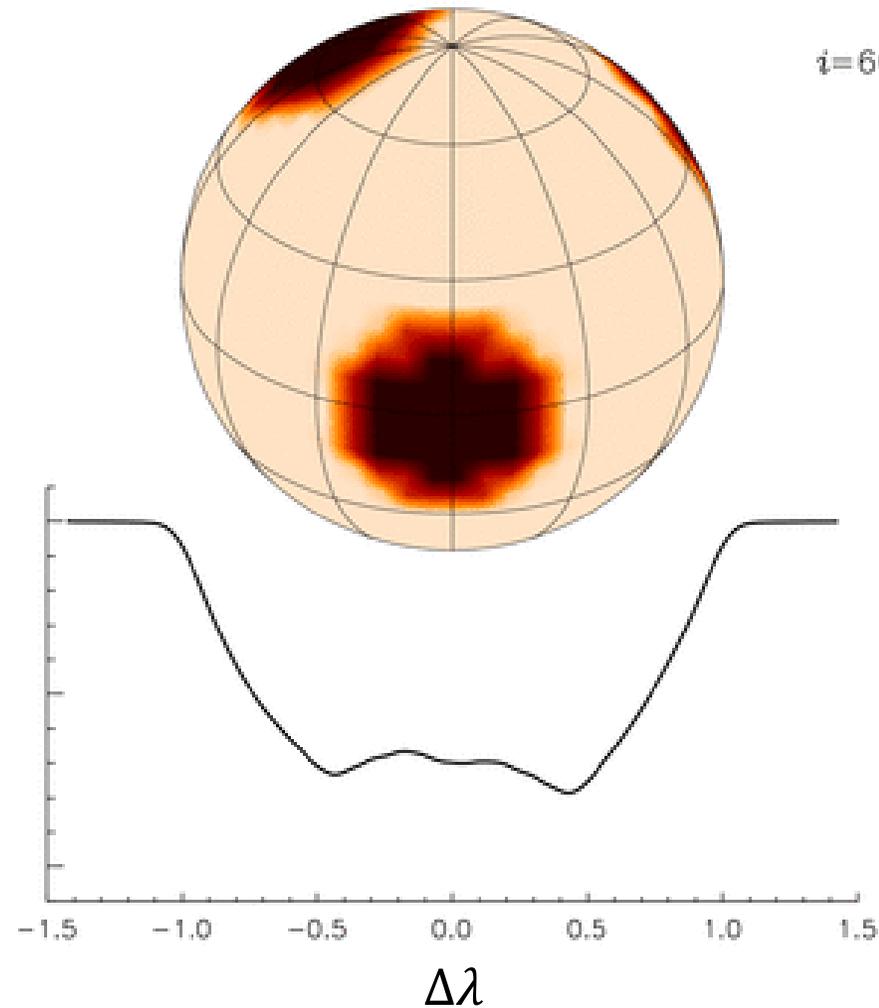


# ESEMPIO DI PROPOSTA OSSERVATIVA

Voglio studiare se ci sono macchie sulla superficie di una stella, e stimare quanto sono estese, e quanto sono più fredde rispetto alla fotosfera. Come?

Fotometria della stella, con diversi filtri, ripetuta nel tempo.

- la variazione nel tempo del flusso della stella è associato al passaggio sulla superficie visibile di macchie fotosferiche
- la variazione nelle diverse bande aiuta a vincolare la temperatura e l'estensione
- si può stimare il periodo di rotazione
- si possono aggiungere misure di spettroscopia per vincolare meglio la presenza di macchie e le variazioni di temperatura



# DI COSA DEVO PREOCCUPARMI NEL PROGETTARE LA PROPOSTA?

Obiettivo: studiare se ci sono macchie sulla superficie di una stella attraverso misure di fotometria e spettroscopia

- La stella che ho scelto di studiare è visibile dal TNG nel periodo indicato?
- Si sa qual è il periodo di rotazione della stella? Su quale tempo mi aspetto che cambi il flusso della stella, ore? giorni? settimane? Ogni quanto devo ripetere la misura?
- Che percentuale di variazione mi aspetto nel flusso della stella
- Qual è il flusso atteso per la stella nei diversi filtri? Con quale tempo di esposizione per la singola misura riesco a raccogliere un numero adeguato di fotoni? Con quel numero di fotoni riesco a “vedere bene” le piccole variazioni di flusso che sto cercando?
- Qual è il tempo di esposizione che devo assumere per acquisire uno spettro? Per quanto tempo devo raccogliere luce per avere un numero sufficiente di fotoni nei diversi bin spettrali dello spettrografo?

# ESEMPIO DI PROPOSTA OSSERVATIVA

Voglio testare i modelli evolutivi. Studio di una stella binaria a eclisse.

- La strategia è simile a quella usata per transiti e velocità radiali usata per lo studio di esopianeti
- È possibile misurare masse, raggi, temperature fotosferiche, e luminosità delle stelle
- Queste misure possono poi essere confrontate con quanto previsto dai modelli evolutivi stellari