



LE SFIDE DELL'ASTROFISICA NEL PROSSIMO DECENNIO

DANIELE GARDIOL – GIUSEPPE PETTITI

CORSO DI FORMAZIONE IN ASTRONOMIA E ASTROFISICA PER DOCENTI DELLE SCUOLE SECONDARIE SUPERIORI 2020/21 – OTTAVA LEZIONE DEL 14 APRILE 2021

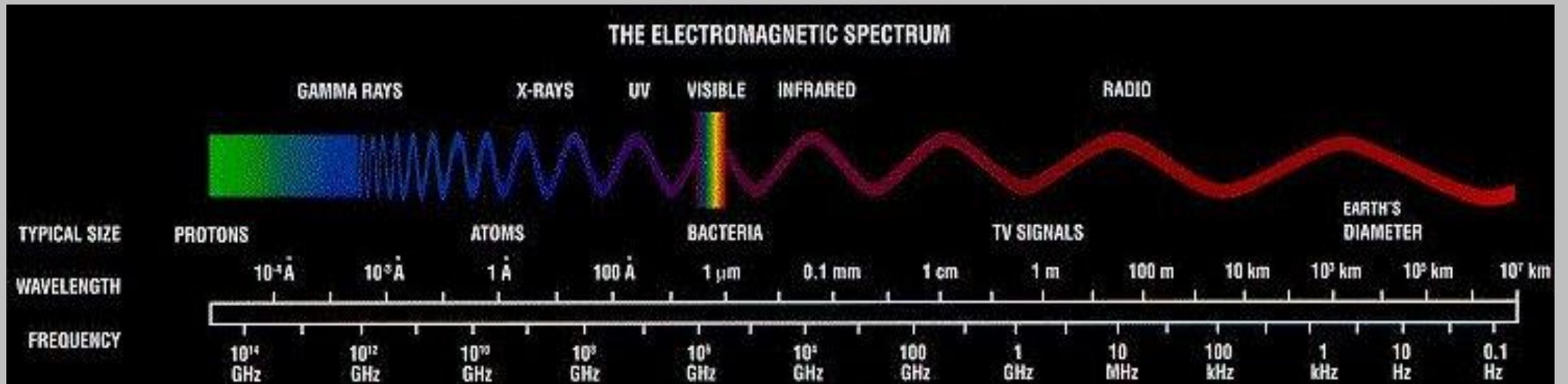
INDICE DEGLI ARGOMENTI

- L'astronomia multimessaggera.
- Lo stato attuale: il Very Large Telescope (VLT).
- L'universo delle alte energie: il Cherenkov Telescope Array (CTA).
- I telescopi visuali di prossima generazione: l'Extremely Large Telescope (ELT).
- Il radiotelescopio del futuro: lo Square Kilometer Array (SKA).
- Un nuovo telescopio spaziale: il James Webb Space Telescope (JWST).

L'ASTRONOMIA MULTIMESSAGGERA

- Esempi di osservazioni dello stesso oggetto fatte con diversi tipi di «luce»

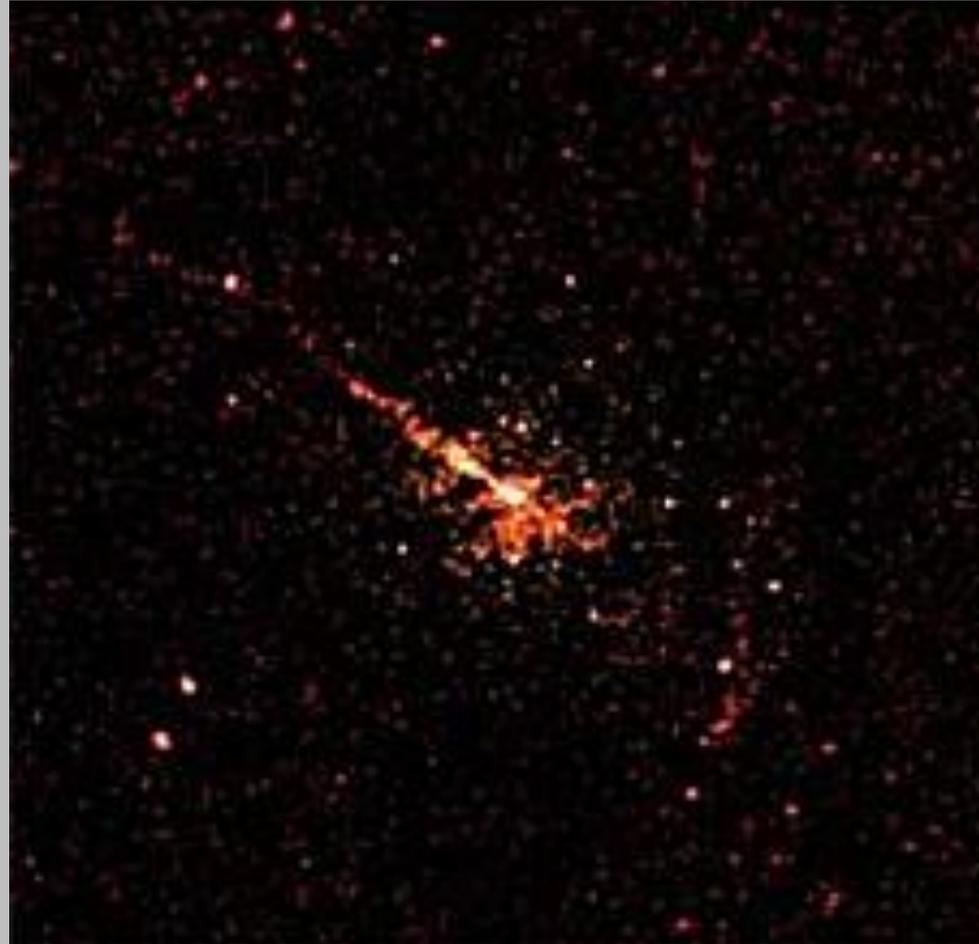
(adattato da Amber L. Stuver – LIGO)



L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

- Esempi di osservazioni dello stesso oggetto fatte con diversi tipi di «luce»

- RAGGI X



L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

- Esempi di osservazioni dello stesso oggetto fatte con diversi tipi di «luce»

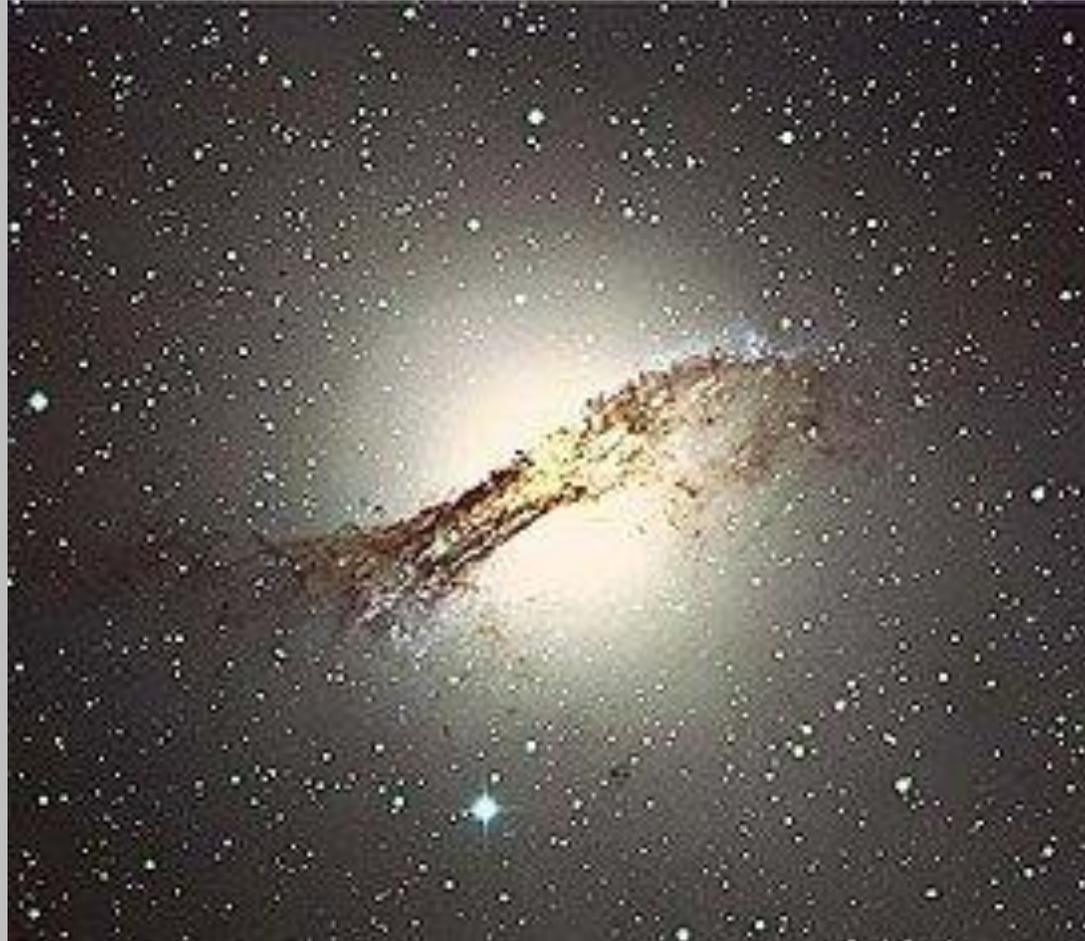
- ULTRAVIOLETTO



L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

- Esempi di osservazioni dello stesso oggetto fatte con diversi tipi di «luce»

- LUCE VISIBILE



L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

- Esempi di osservazioni dello stesso oggetto fatte con diversi tipi di «luce»

- VICINO INFRAROSSO



L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

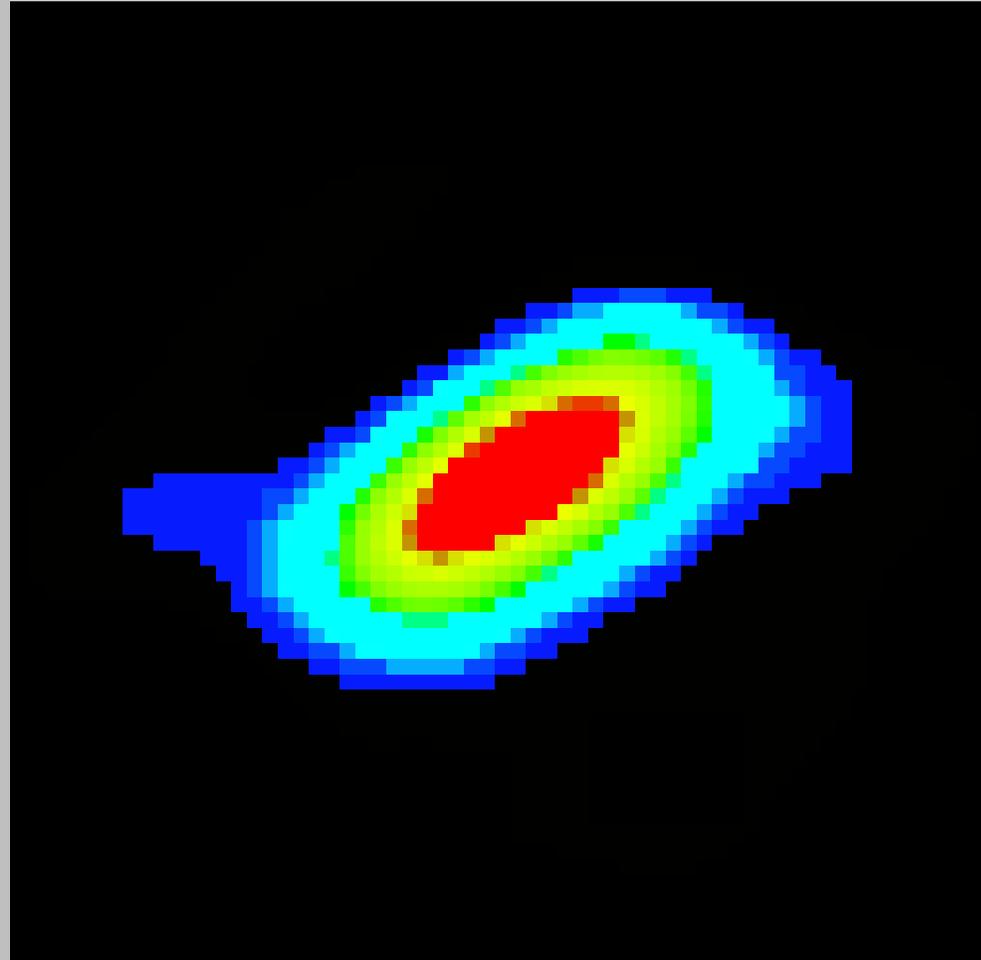
- Esempi di osservazioni dello stesso oggetto fatte con diversi tipi di «luce»

- MEDIO INFRAROSSO



L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

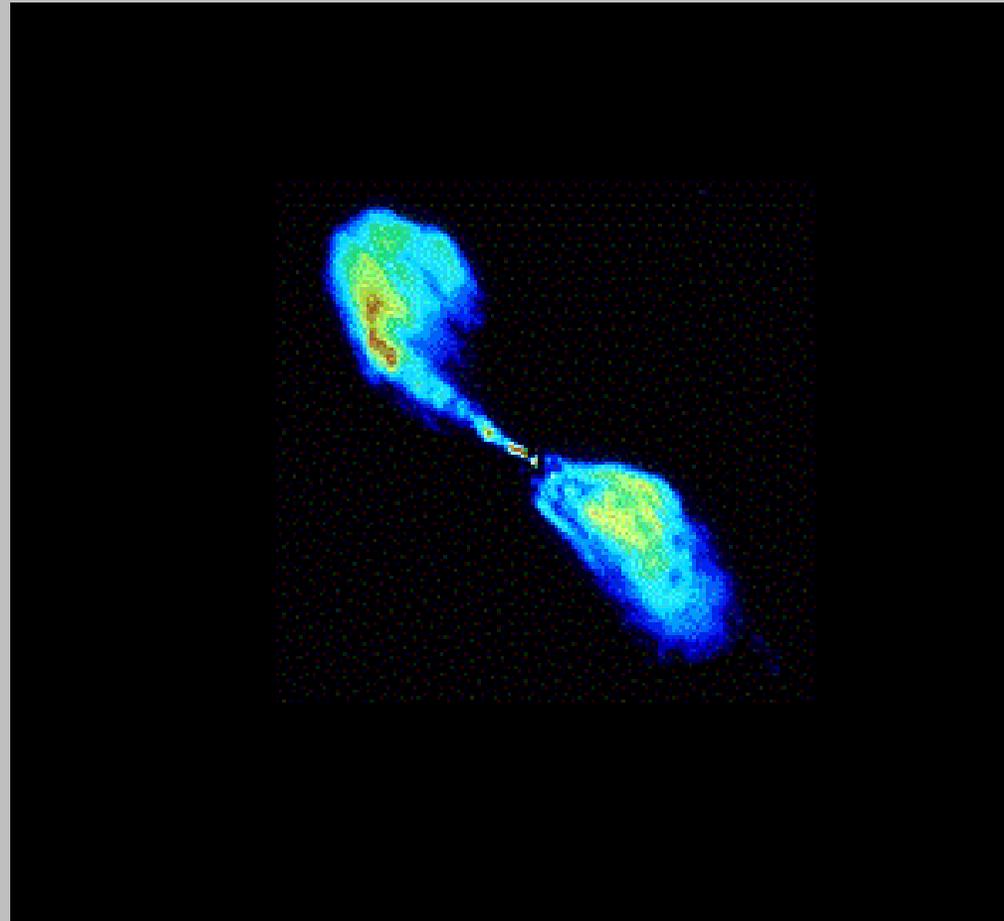
- Esempi di osservazioni dello stesso oggetto fatte con diversi tipi di «luce»
- LONTANO INFRAROSSO



L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

- Esempi di osservazioni dello stesso oggetto fatte con diversi tipi di «luce»

- ONDE RADIO



L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

- Esempi di osservazioni dello stesso oggetto fatte con diversi tipi di «luce»
- L'oggetto in questione è la
Galassia Centaurus A

Combinando tutte le osservazioni fatte a diverse lunghezze d'onda, abbiamo un'idea più completa di ciò che stiamo guardando.



L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

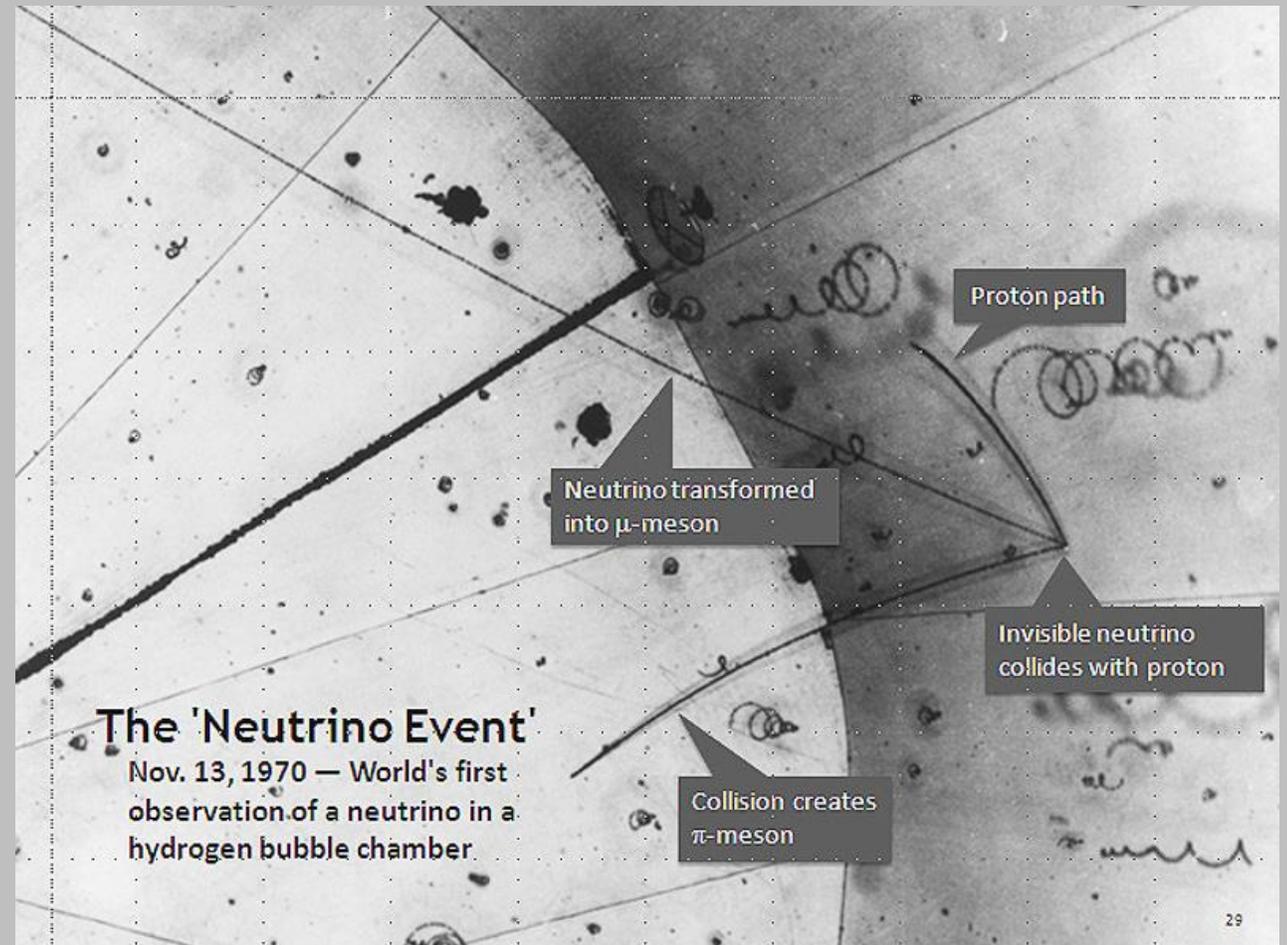
- Come ci apparirebbe una Sinfonia se potessimo ascoltare solo alcune note?



L'ASTRONOMIA MULTIMESSAGGERA

Astronomia dei Neutrini

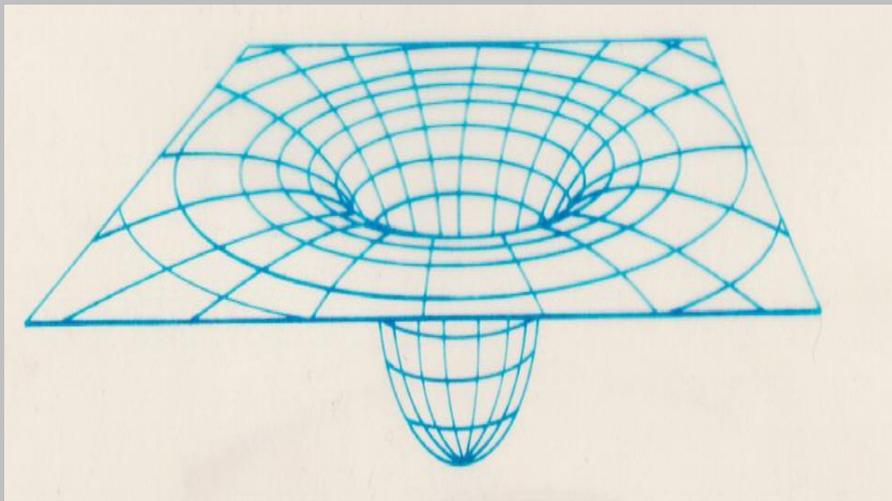
- Sono particelle essenzialmente senza massa e senza carica, che viaggiano alla velocità della luce o quasi.
- Interagiscono pochissimo con la materia, e in genere la attraversano senza colpo ferire.
- Sono prodotti da reazioni nucleari, incluse quelle che avvengono nelle stelle o nelle Supernovae.



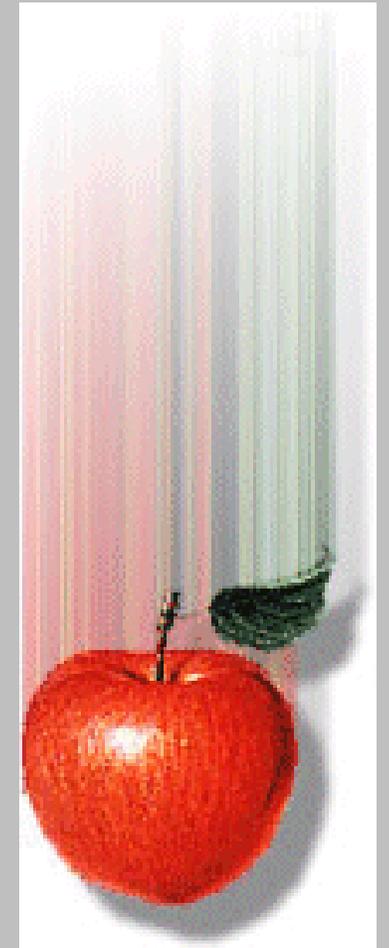
L'ASTRONOMIA *MULTIMESSAGGERA*

- Astronomia delle Onde Gravitazionali

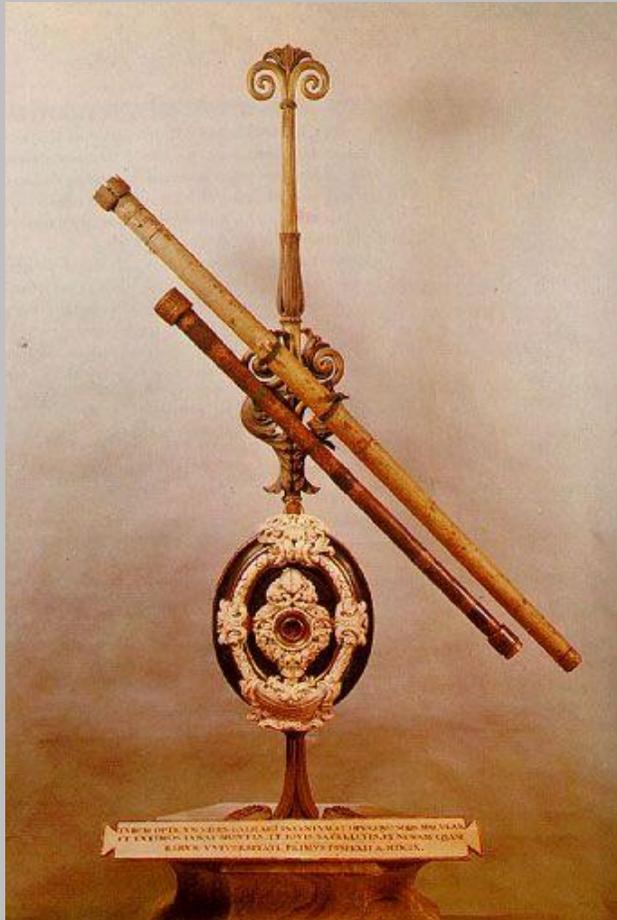
RELATIVITÀ GENERALE



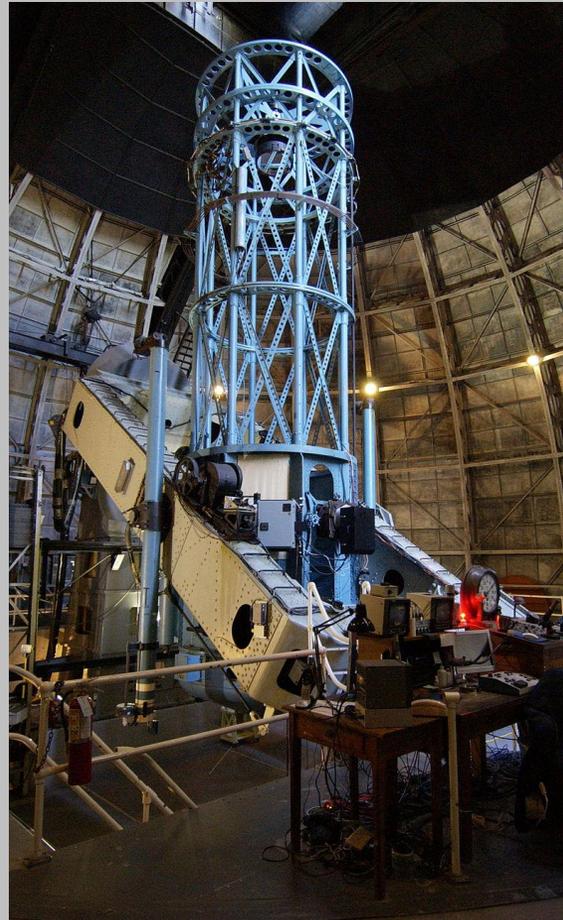
GRAVITAZIONE UNIVERSALE



VERY LARGE TELESCOPE (VLT) - DA GALILEO AL TELESCOPIO HALE



1610 - 37 mm - Galileo

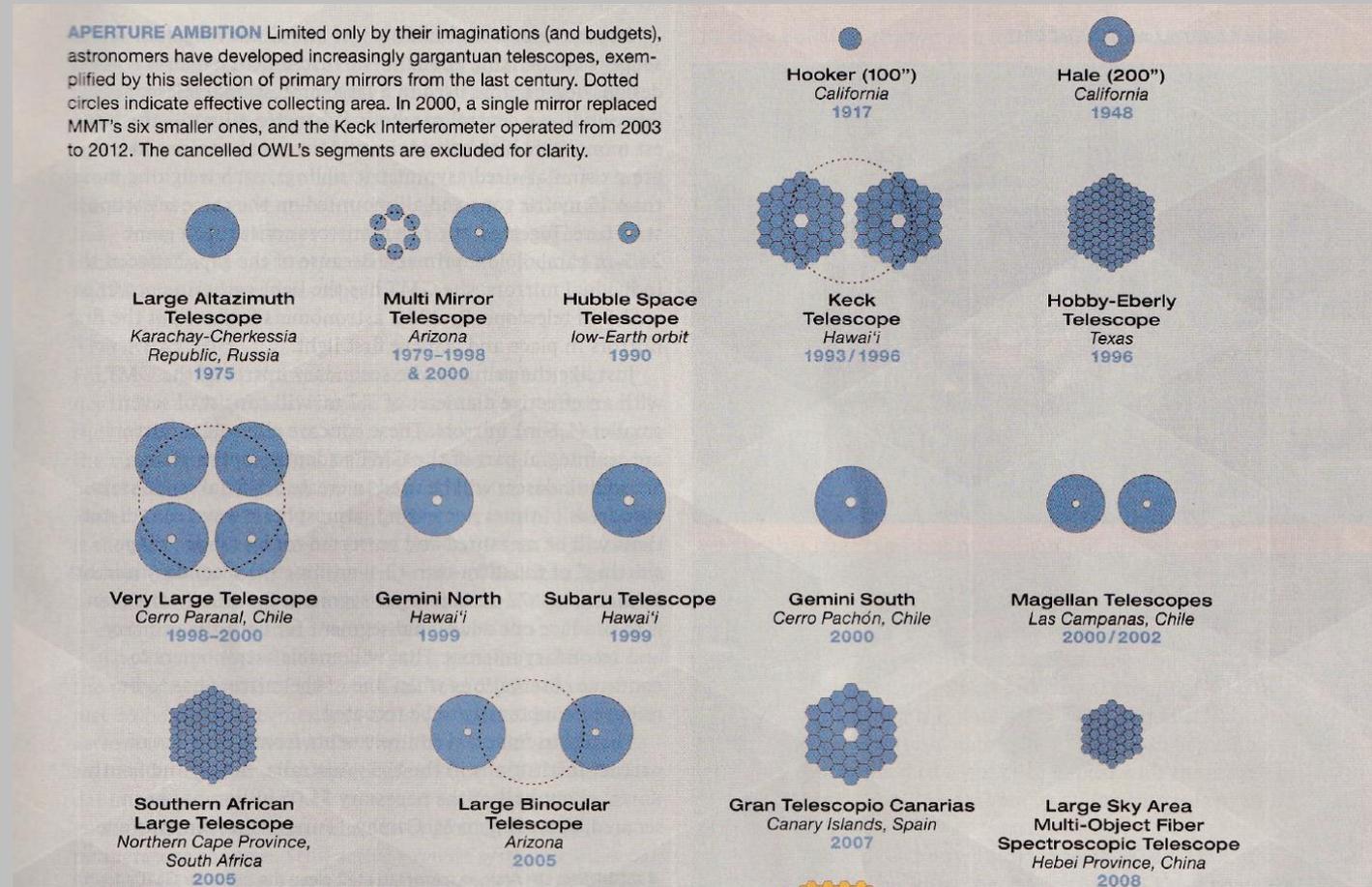


1917 - 2.54 m - Hooker Telescope



1948 - 5.1 m - Hale Telescope

VERY LARGE TELESCOPE (VLT) - I GRANDI TELESCOPI DI OGGI



From: Sky and Telescope - November 2018

VERY LARGE TELESCOPE - CERRO PARANAL

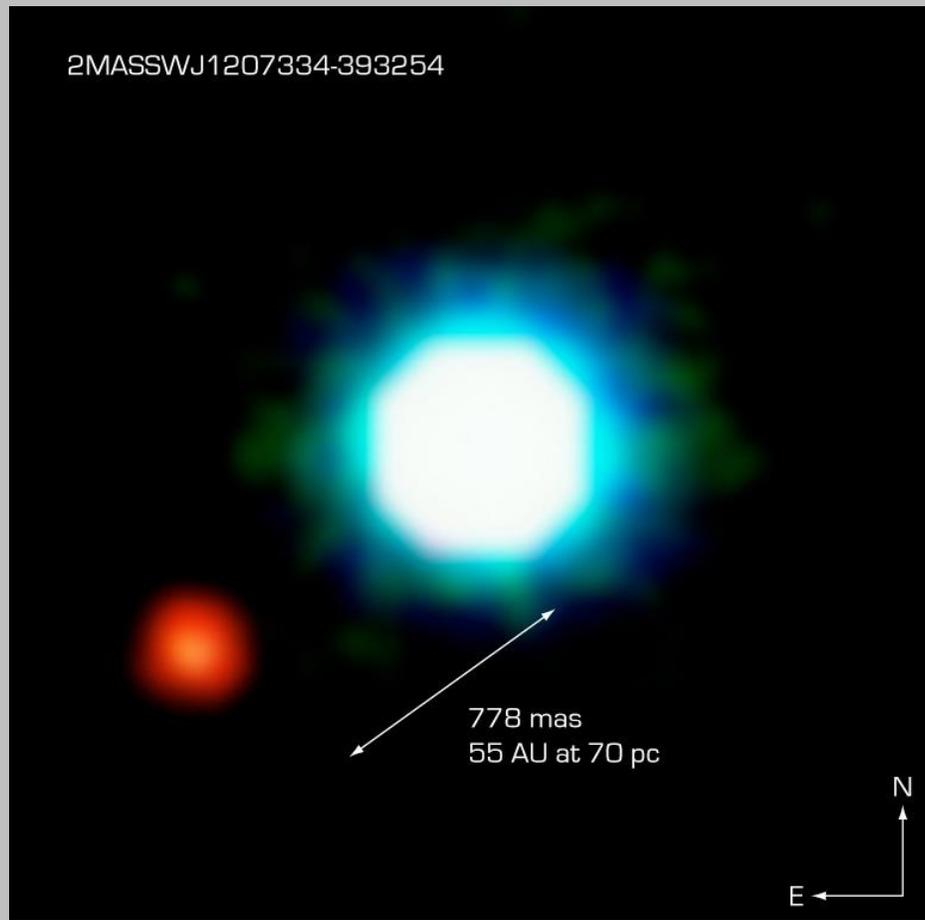
- L'osservatorio astronomico più d'avanguardia al mondo nella banda visibile.



VLT

Very Large Telescope (VLT) Observatory - Cerro Paranal

VERY LARGE TELESCOPE - LA PRIMA IMMAGINE DI UN ESOPIANETA



Credit: ESO/MPE

- L'esopianeta è il disco rosso in basso a sinistra, in orbita attorno alla nana bruna 2M1207 (al centro).
- E' il primo esopianeta ripreso direttamente (nel 2004) e il primo scoperto in orbita attorno a una nana bruna.
- E' un pianeta simile a Giove, 5 volte più massiccio e orbita attorno alla nana bruna a una distanza 55 volte maggiore della Terra rispetto al Sole.
- Il sistema si trova ad una distanza di 230 anni luce, nella costellazione di Hydra.

VERY LARGE TELESCOPE - IL BUCO NERO GALATTICO

[stars orbiting black hole 1](#)

Credit: ESO/L. Calçada/spaceengine.org

[stars orbiting black hole 2](#)

Credit: ESO/L. Calçada/spaceengine.org

- L'orbita di alcune stelle che si trovano nel centro della nostra Galassia dimostra l'esistenza di un oggetto non visibile di massa pari a circa 4 milioni di masse solari.
- Alcune stelle nella loro orbita raggiungono una velocità pari al 3% della velocità della Luce (9000 km/s).

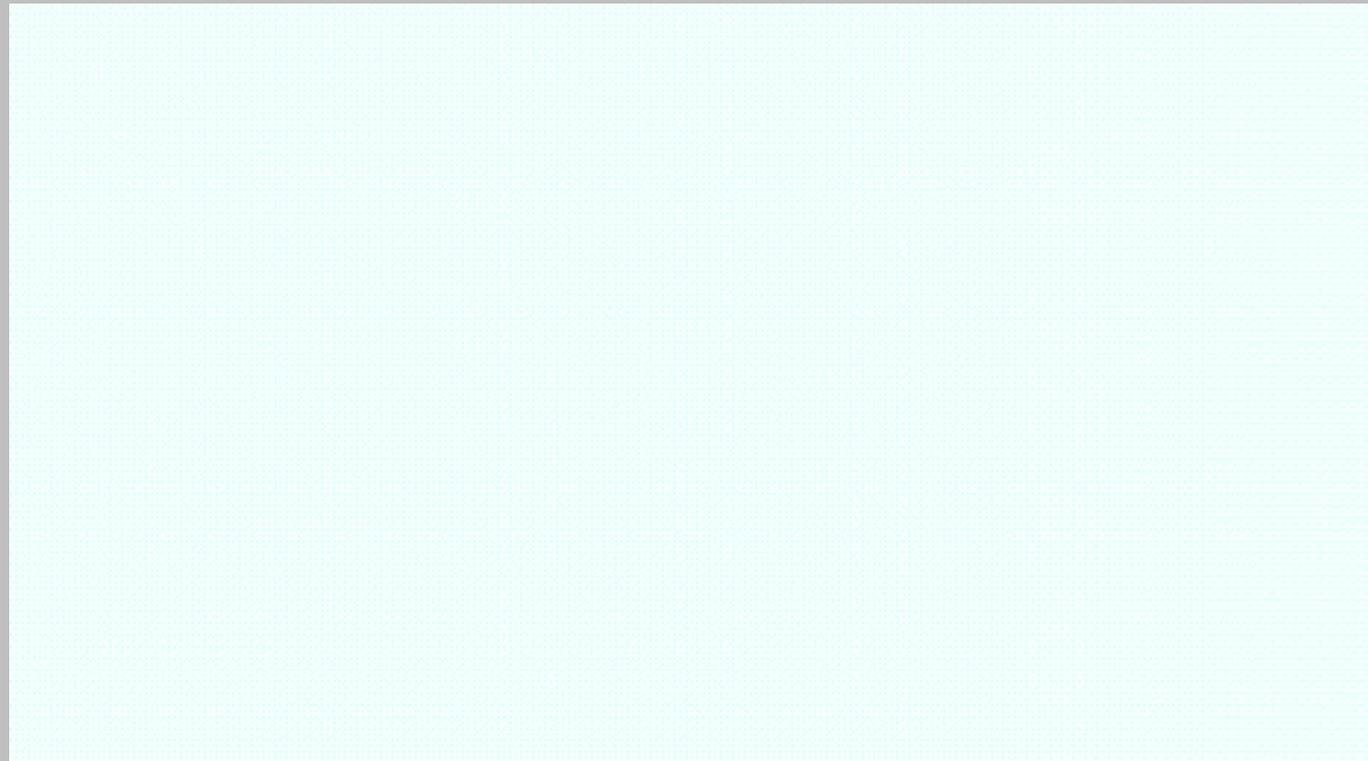
CHERENKOV TELESCOPE ARRAY (CTA)

Una «griglia» di telescopi cherenkov per l'osservazione dei raggi gamma



CHERENKOV TELESCOPE ARRAY (CTA)

Questi telescopi sfruttano l'effetto Cherenkov

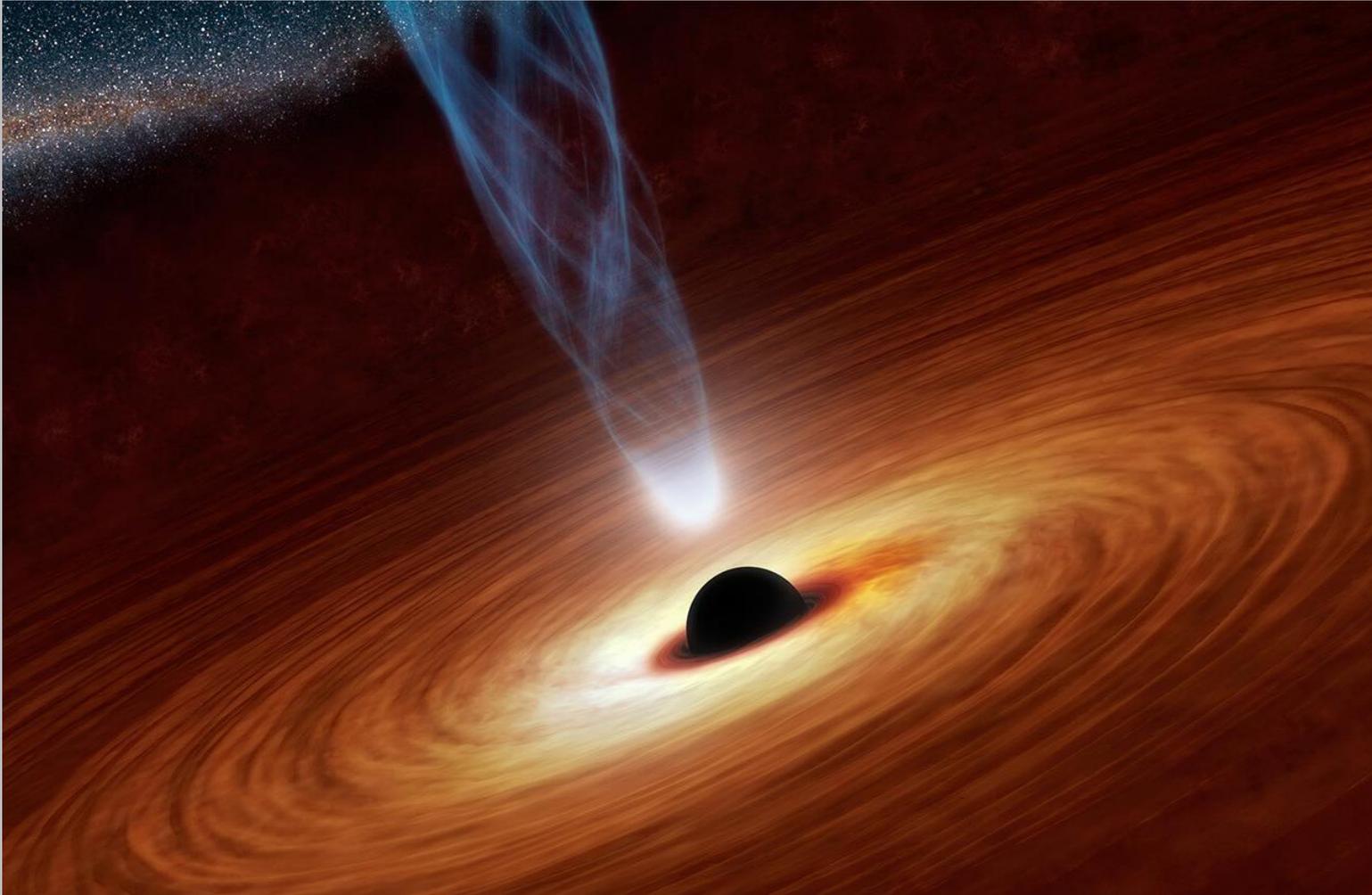


I RAGGI COSMICI



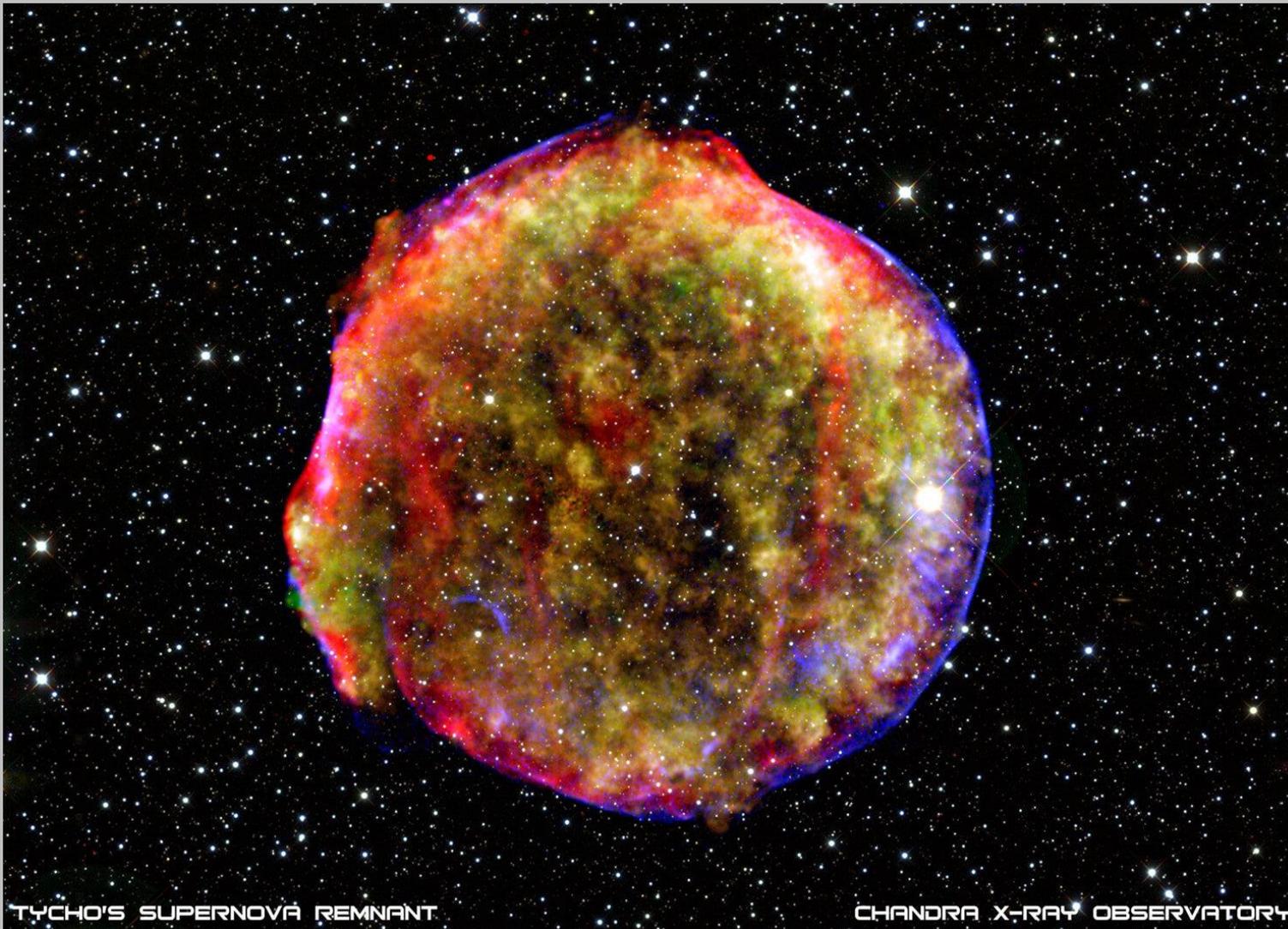
Anche se sono chiamati così, i raggi cosmici non sono altro che materia “normale”, particelle accelerate però a velocità prossime a quelle della luce. Perlopiù composti da protoni e nuclei atomici, i raggi cosmici bombardano la Terra. Poco si sa riguardo alla loro origine e ai meccanismi di accelerazione. I raggi gamma sono uno dei mezzi più efficaci per studiare i raggi cosmici e le sorgenti che li generano.

I BUCHI NERI



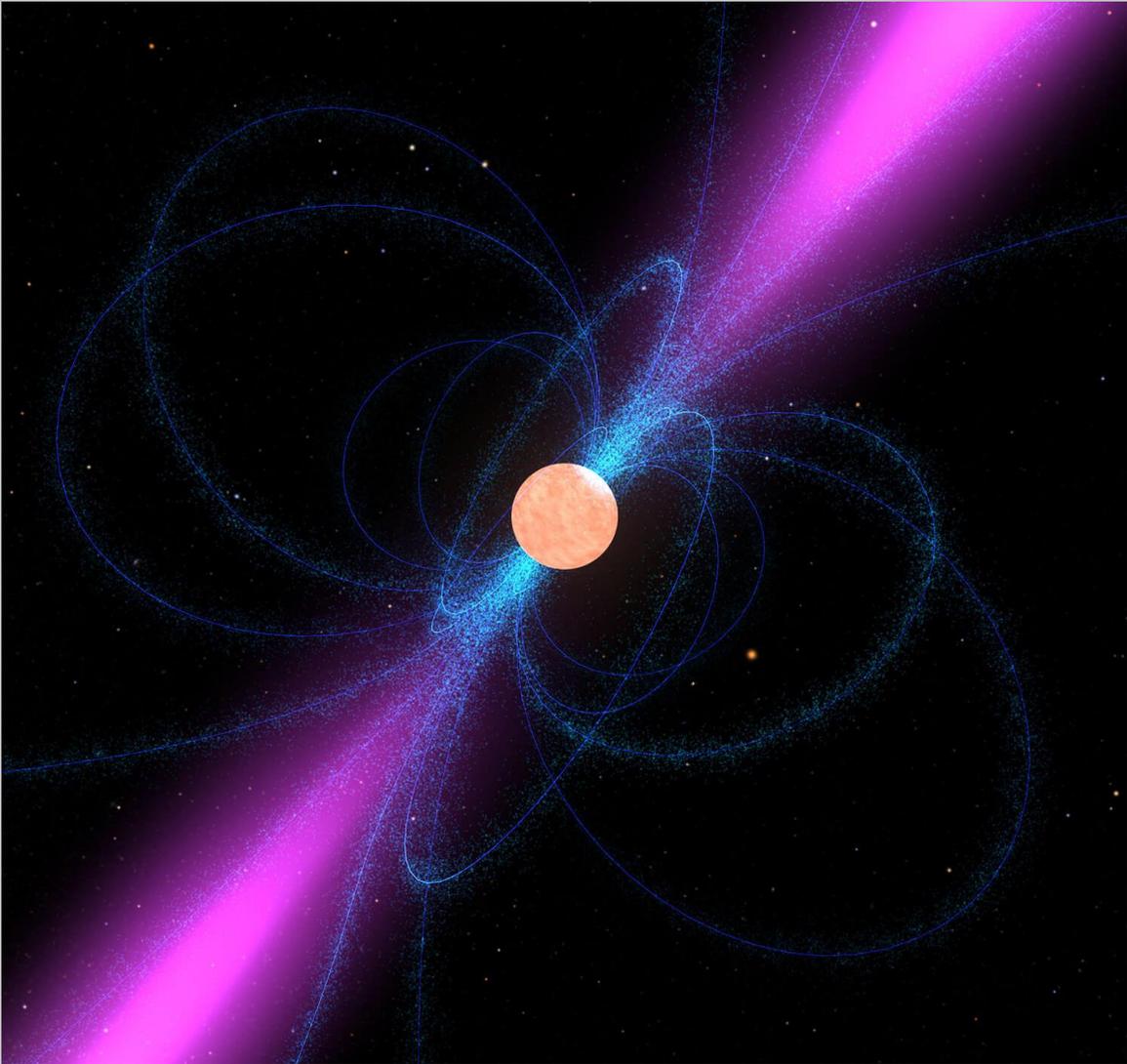
Nulla può sfuggire alla loro enorme gravità, nemmeno la luce. Alcuni sono generati dall'esplosione di Supernovae. Altri invece si trovano al centro di galassie attive. Hanno masse di miliardi di soli, e fagocitano tutto quanto sta loro intorno. CTA misurerà l'emissione gamma di un gran numero di questi oggetti, studiando l'accelerazione delle particelle e i processi di emissione, permettendo forse di spiegare la natura di questi misteriosi oggetti.

SUPERNOVAE E SNR (SUPER NOVA REMNANT)



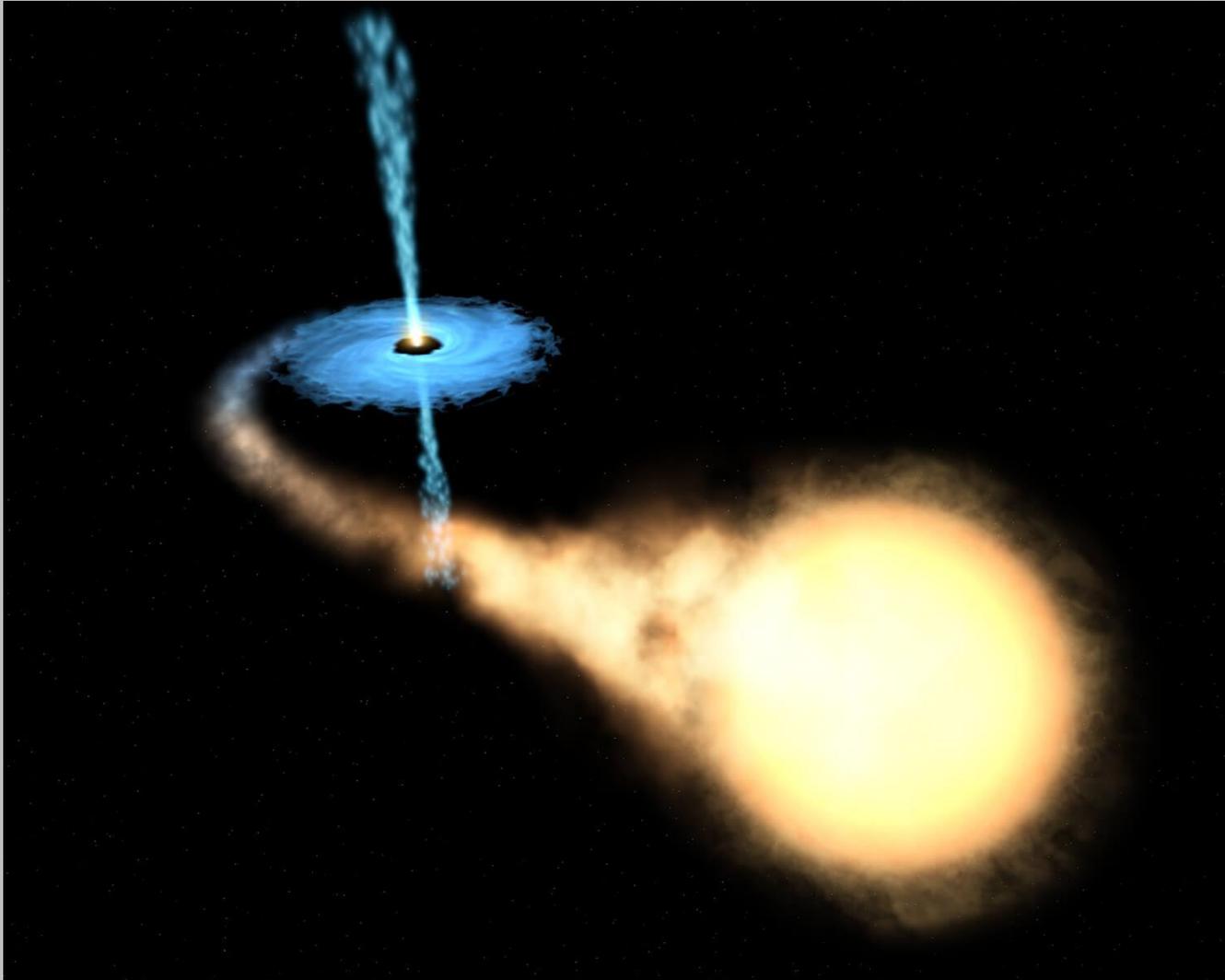
Quando una stella di grande massa termina la propria vita, esplose e diventa una Supernova. Le parti più esterne sono lanciate negli spazi siderali formando una nebulosa. Questi oggetti emettono raggi gamma. CTA potrà misurarne una gran quantità, permettendo di studiare questi oggetti in grande dettaglio. I risultati potrebbero stabilire se, come si pensa, i SNR siano una delle principali fonti dei raggi cosmici che bombardano la nostra Terra.

STELLE DI NEUTRONI PULSANTI (PULSAR)



Quando una stella di grande massa termina la propria vita, esplosione e diventa una Supernova. Le parti interne collassano in un oggetto supermassiccio, un buco nero oppure una pulsar. Una massa pari a quella del nostro Sole è condensate in una sfera di 10 km di raggio. Un cucchiaino di pulsar sulla Terra peserebbe 100 milioni di tonnellate. Scoperte per la prima volta nelle onde radio, possiedono un grande campo magnetico che accelera le particelle a velocità relativistiche. Esse emettono su tutto lo spettro elettromagnetico, quindi anche nei raggi gamma. CTA scoprirà nuove pulsar, ne studierà i meccanismi di rallentamento e i processi di emissione.

SISTEMI BINARI STRETTI



I sistemi binari stretti sono composti da due “stelle” che orbitano una attorno all’altra, scambiandosi materia ed energia. Se una delle due compagne è un buco nero o una stella di neutroni, le particelle raggiungono velocità relativistiche emettendo raggi gamma. Sono una manciata appena i sistemi noti. CTA scoprirà un gran numero di sistemi binari gamma, permettendo di effettuare degli studi statistici e di misurare con precisione il comportamento di molti di questi sistemi in funzione dei parametri orbitali.

MATERIA OSCURA E WIMP (WEAKLY INTERACTING MASSIVE PARTICLES)



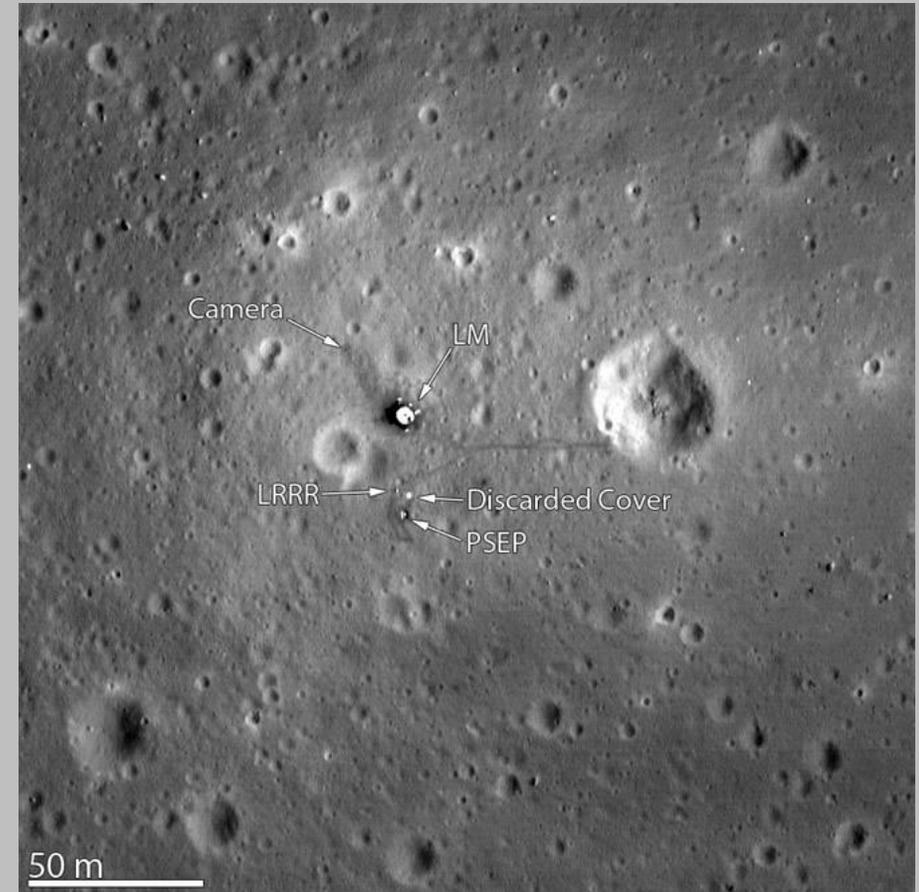
Solo una piccola parte della materia e dell'energia presenti nell'Universo sono visibili attraverso lo spettro elettromagnetico. Secondo recenti stime, solo il 5% è materia "ordinaria". Del restante 95%, il 68% è energia "oscura", il 27% materia "oscura". Una delle ipotesi per spiegare la natura della materia oscura (materia che interagisce con la gravità ma che non si "vede") è quella di particelle dette WIMP che non sono rivelabili direttamente con i normali telescopi. Secondo alcune teorie, le WIMP si annichirebbero producendo raggi gamma. Esistono stime di quanto dovrebbe essere intensa questa emissione, e CTA potrebbe determinarne l'esistenza o meno dando infine una spiegazione a questo misterioso problema.

EXTREMELY LARGE TELESCOPE - CERRO ARMAZONES



EXTREMELY LARGE TELESCOPE - QUALCHE NUMERO

- A circa 3000 m di quota, a soli 20 km da Cerro Paranal.
- 39 metri di diametro.
- Costo previsto: 1174 milioni di euro.
- Costi operativi previsti: 50 milioni di euro all'anno.
- Vita operativa prevista: 30 anni.
- Risoluzione di 10 m alla distanza della Luna.
- Entrata in funzione prevista: 2025.



Credit: NASA. Apollo 11 Landing site

EXTREMELY LARGE TELESCOPE - PERCHE' PROPRIO 39 METRI

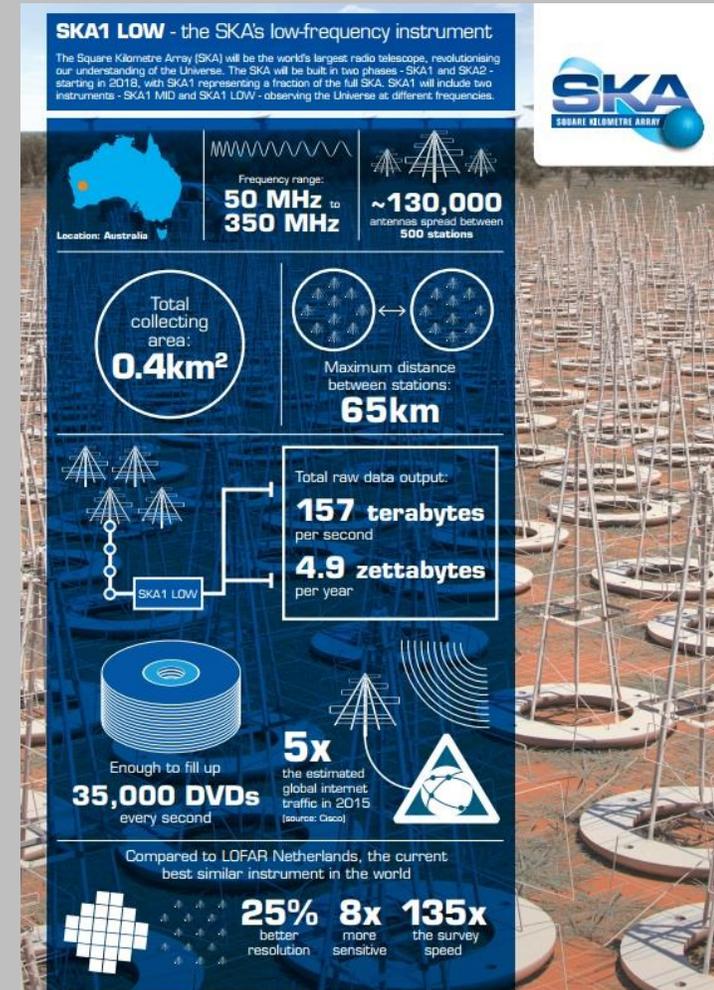
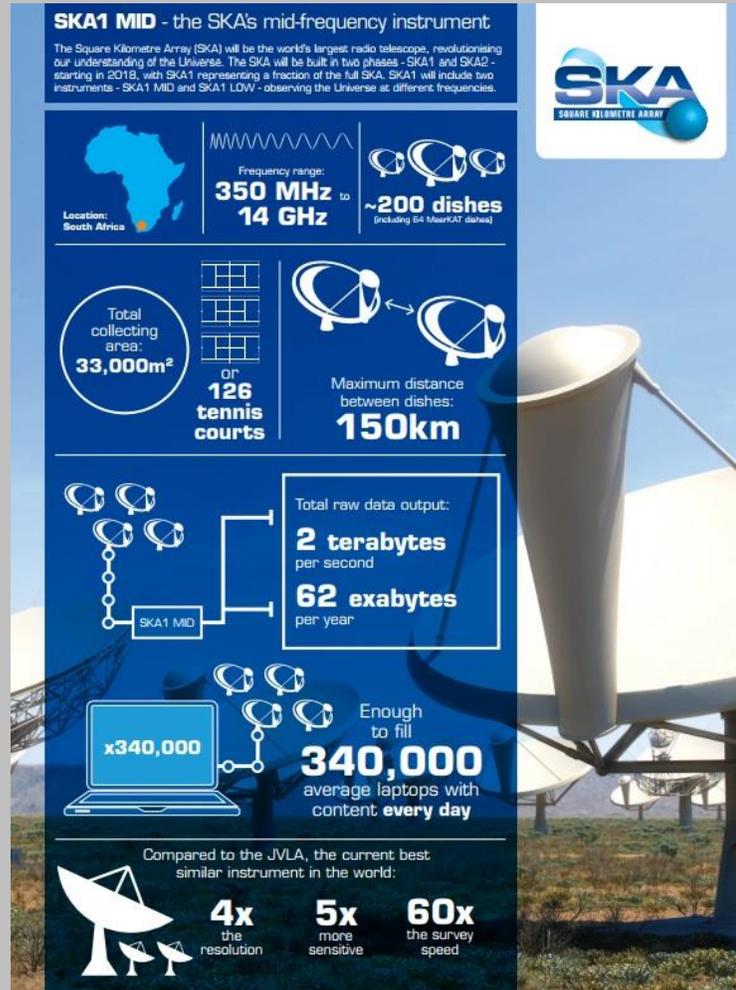
- E' il minimo diametro necessario per raggiungere alcuni obiettivi fondamentali:
 - Riprendere immagini dirette di esopianeti di tipo terrestre e caratterizzare le loro atmosfere.
 - Osservare gli oggetti più lontani all'interno del nostro sistema solare (Fascia di Kuiper-Edgeworth).
 - Osservare direttamente la popolazione stellare delle galassie più vicine.
 - Avere una misura diretta dell'accelerazione dell'espansione dell'universo.



SQUARE KILOMETER ARRAY (SKA)

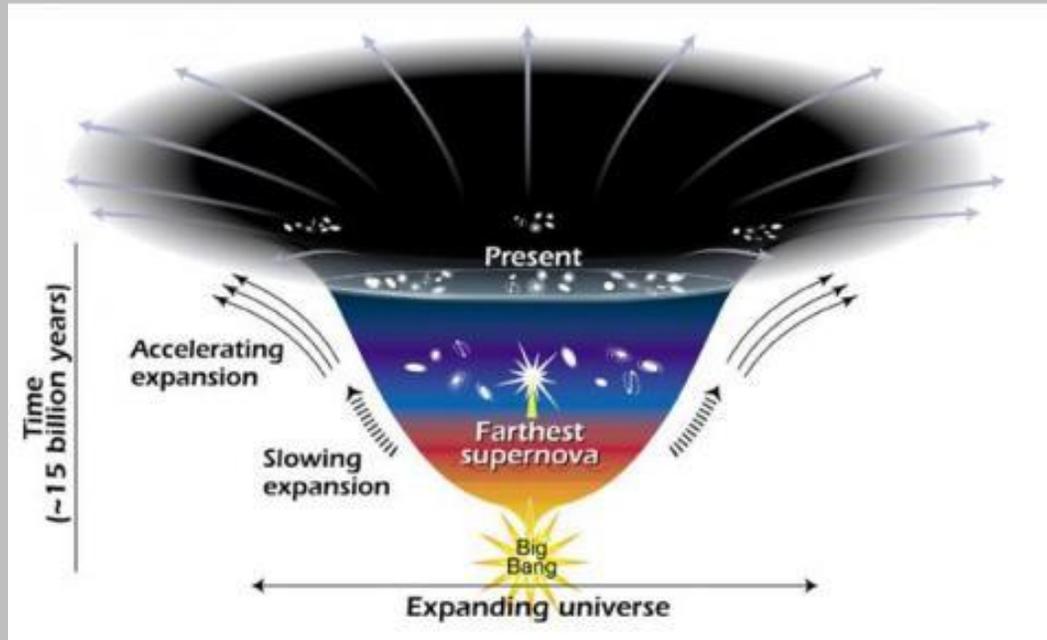


SQUARE KILOMETER ARRAY (SKA)



L'ENERGIA OSCURA

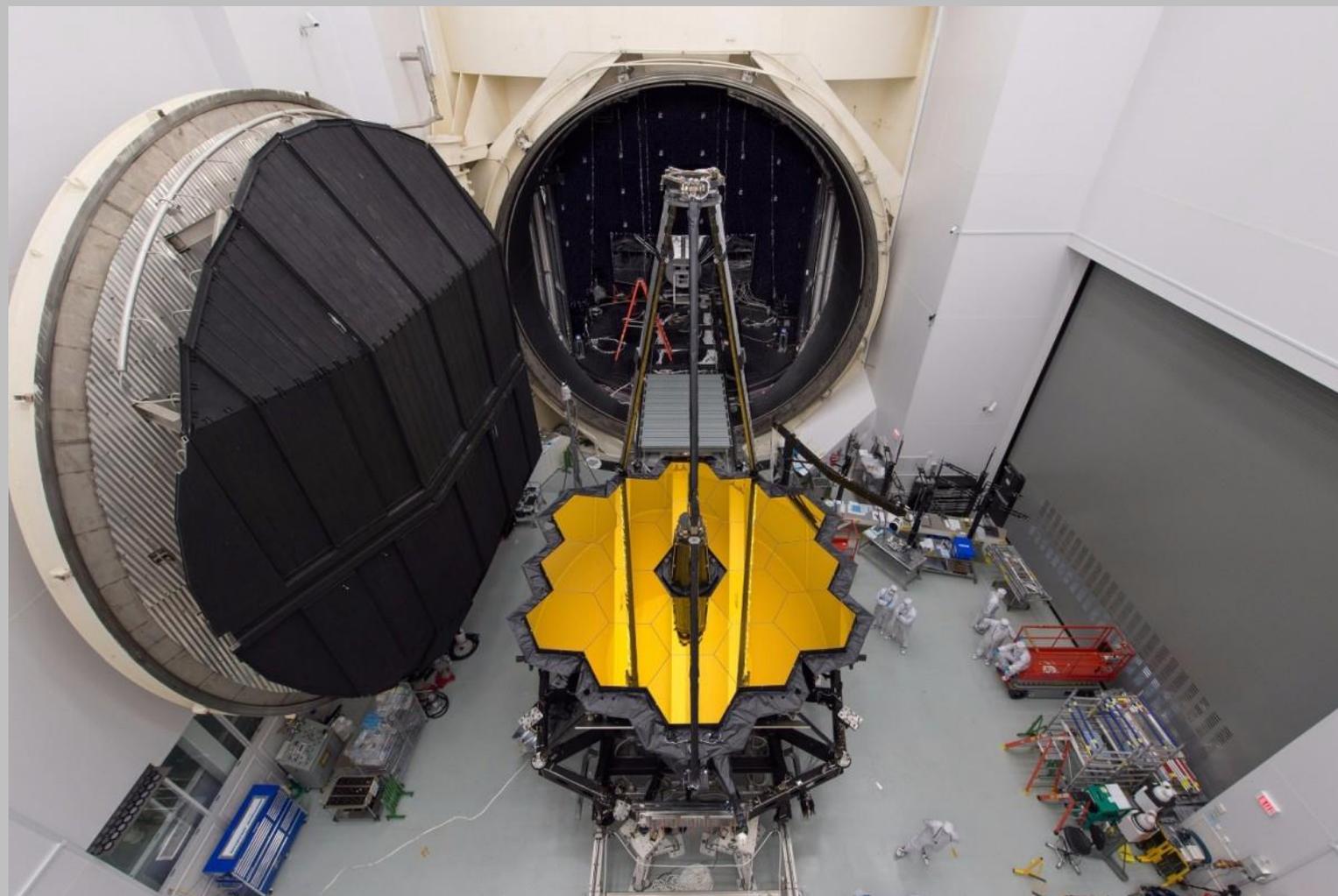
- Il nostro Universo si sta espandendo
- Recentemente è stato evidenziato che questa espansione sta accelerando.
- Questa accelerazione è stata attribuita ad una forza denominata 'energia oscura'.



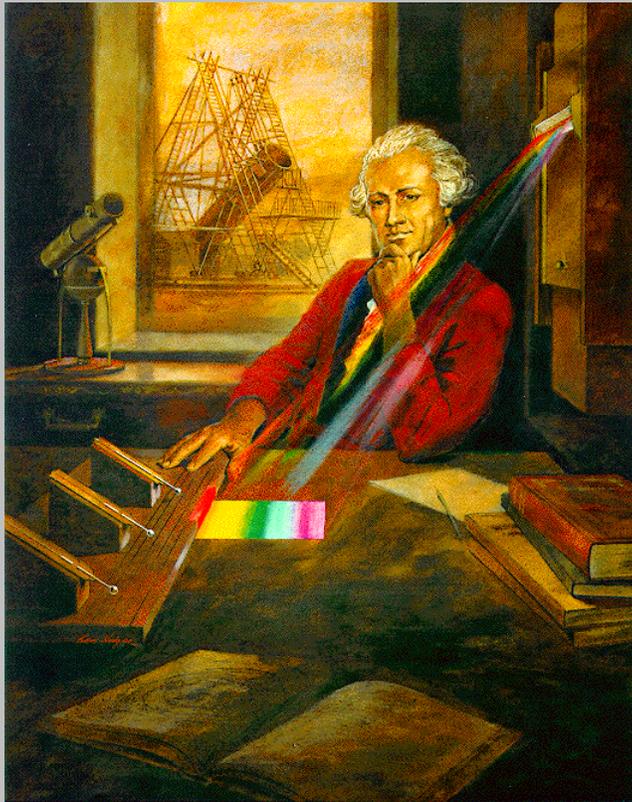
SKA si pone l'obiettivo di investigare l'origine di questa accelerazione misurando l'esatta distribuzione dell'idrogeno nell'Universo.

JAMES WEBB SPACE TELESCOPE

UN TELESCOPIO SPAZIALE PER GUARDARE NELL'INFRAROSSO



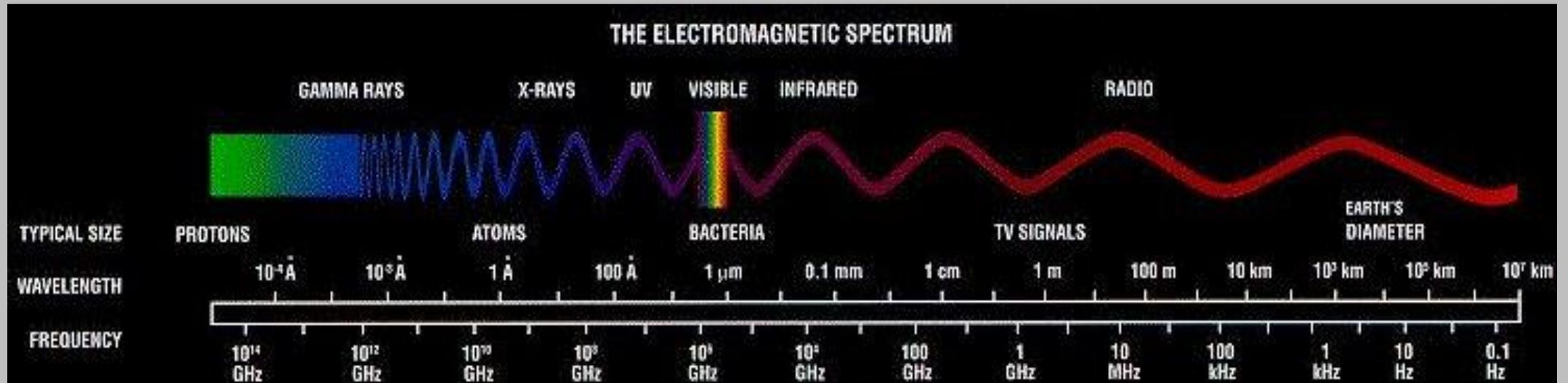
Radiazione infrarossa: la scoperta



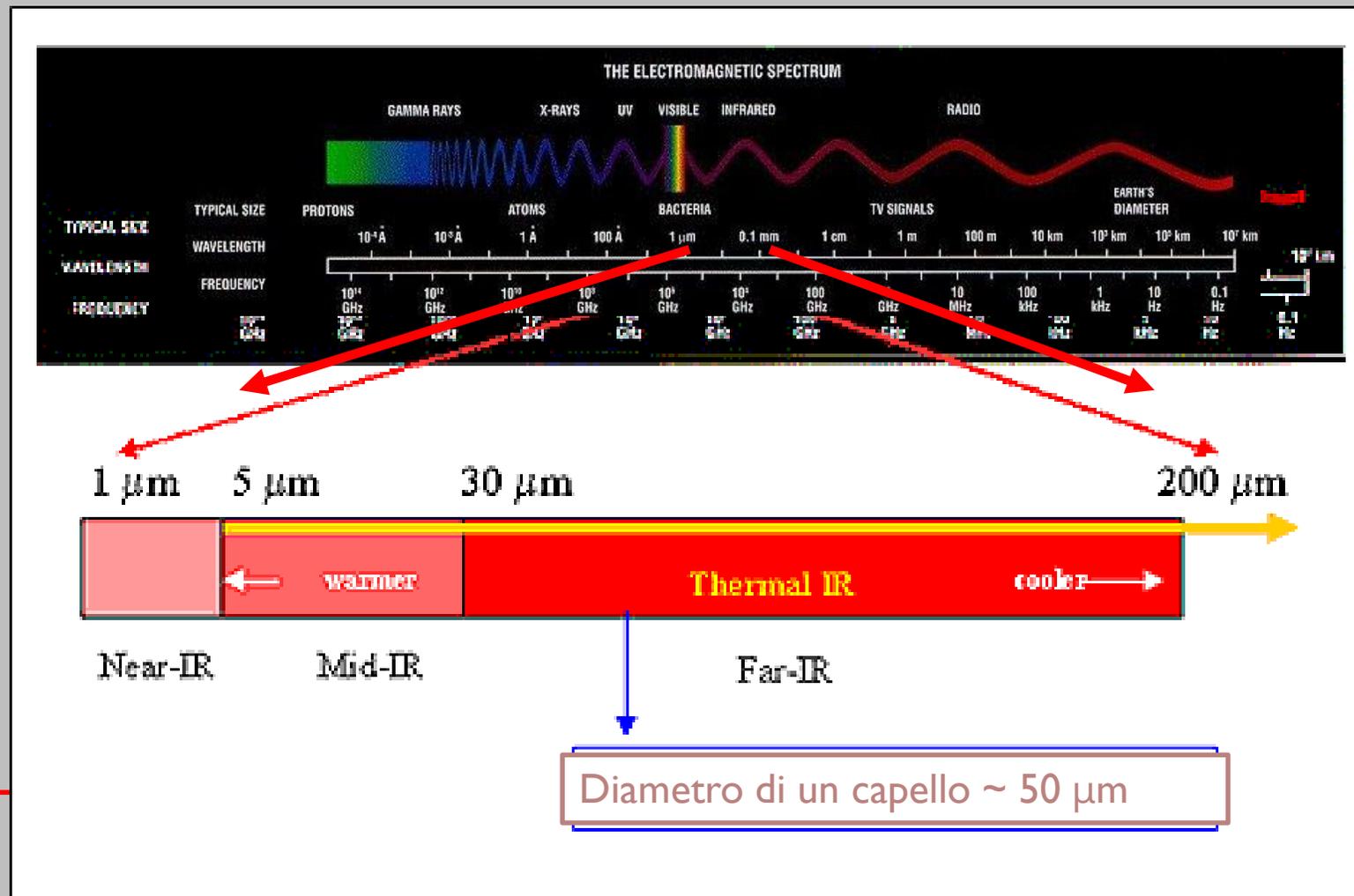
***Sir Frederick William
Herschel (1738-1822)
Astronomo***

*Scopritore del pianeta
Urano (1781).
Nel 1800 scopre i «raggi
calorifici» poi denominati
«infrarossi»*

Il posto dell'IR nello spettro EM



Perché guardare nell'infrarosso?

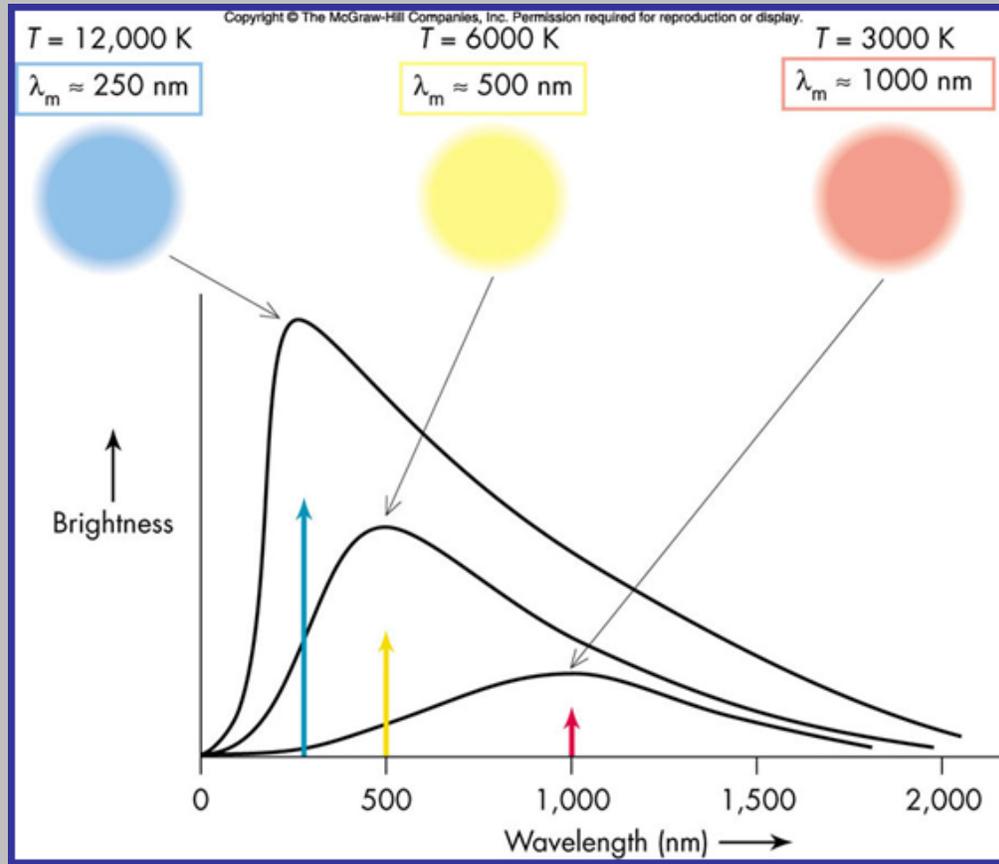


Emissione «termica»

Un corpo a una certa temperatura (T) emette radiazione elettromagnetica:

- 1) Su un ampio intervallo di λ*
 - 2) Maggiore la T , minore la λ di picco (Wien)*
 - 3) Maggiore la T , maggiore l'Energia emessa (Stefan-Boltzmann)*
-

Le stelle come «corpo nero»



1) $L=L(\lambda)$

2) $\lambda T=b$

3) $L_{Totale} = 4\pi R^2\sigma T^4$

costanti

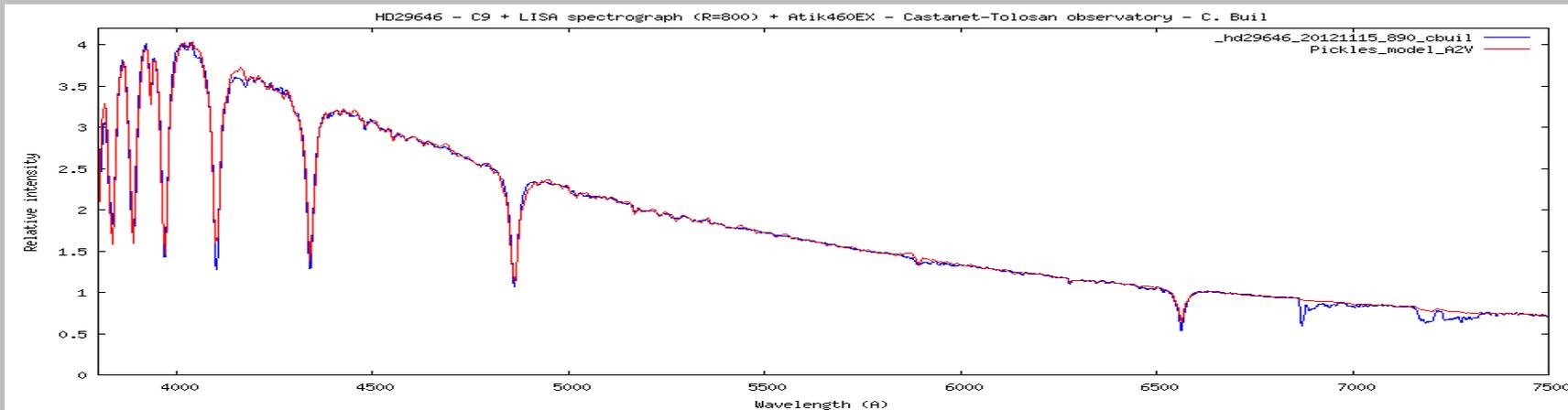
$b \sim 0.003 \text{ m}\cdot\text{K}$

$\sigma \sim 5,67\cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

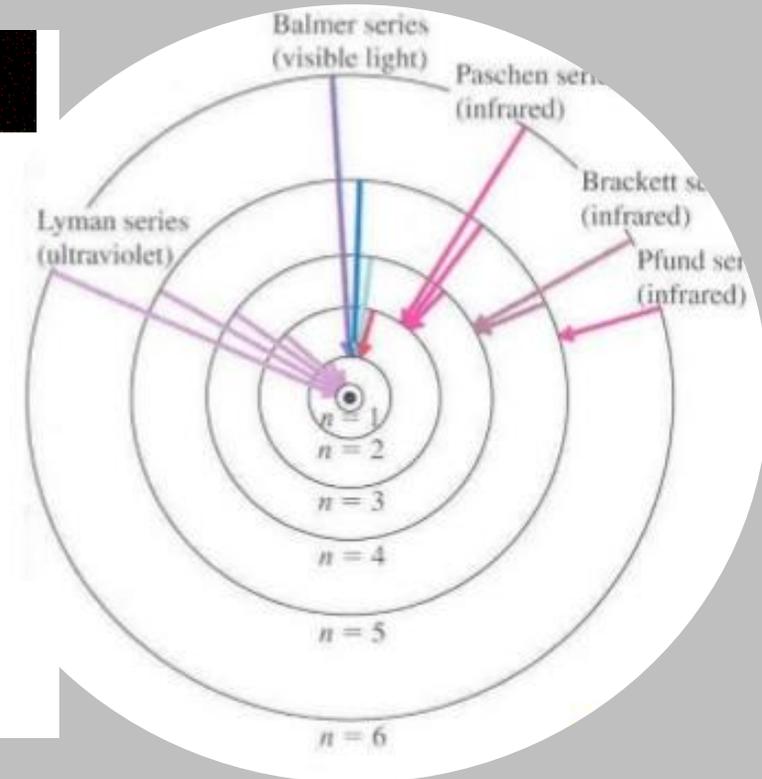
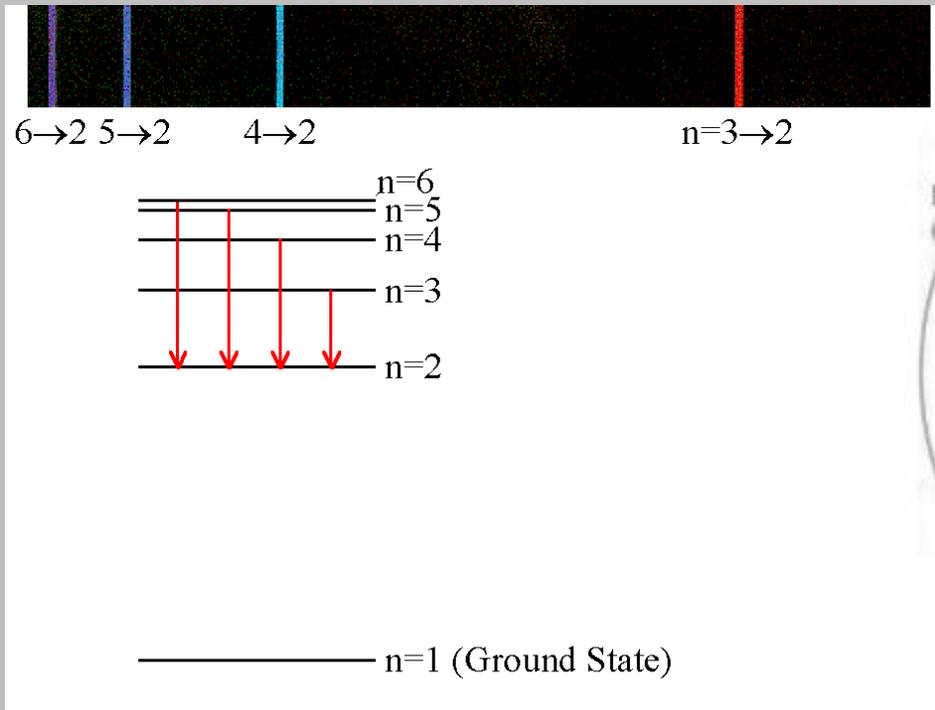
IR per vedere oggetti «freddi»:

- ***Nane rosse e nane brune***
 - ***Nubi di polveri circumstellari***
 - ***Polveri molecolari interstellari***
 - ***Pianeti e satelliti del Sistema Solare***
 - ***Pianeti extrasolari***
-

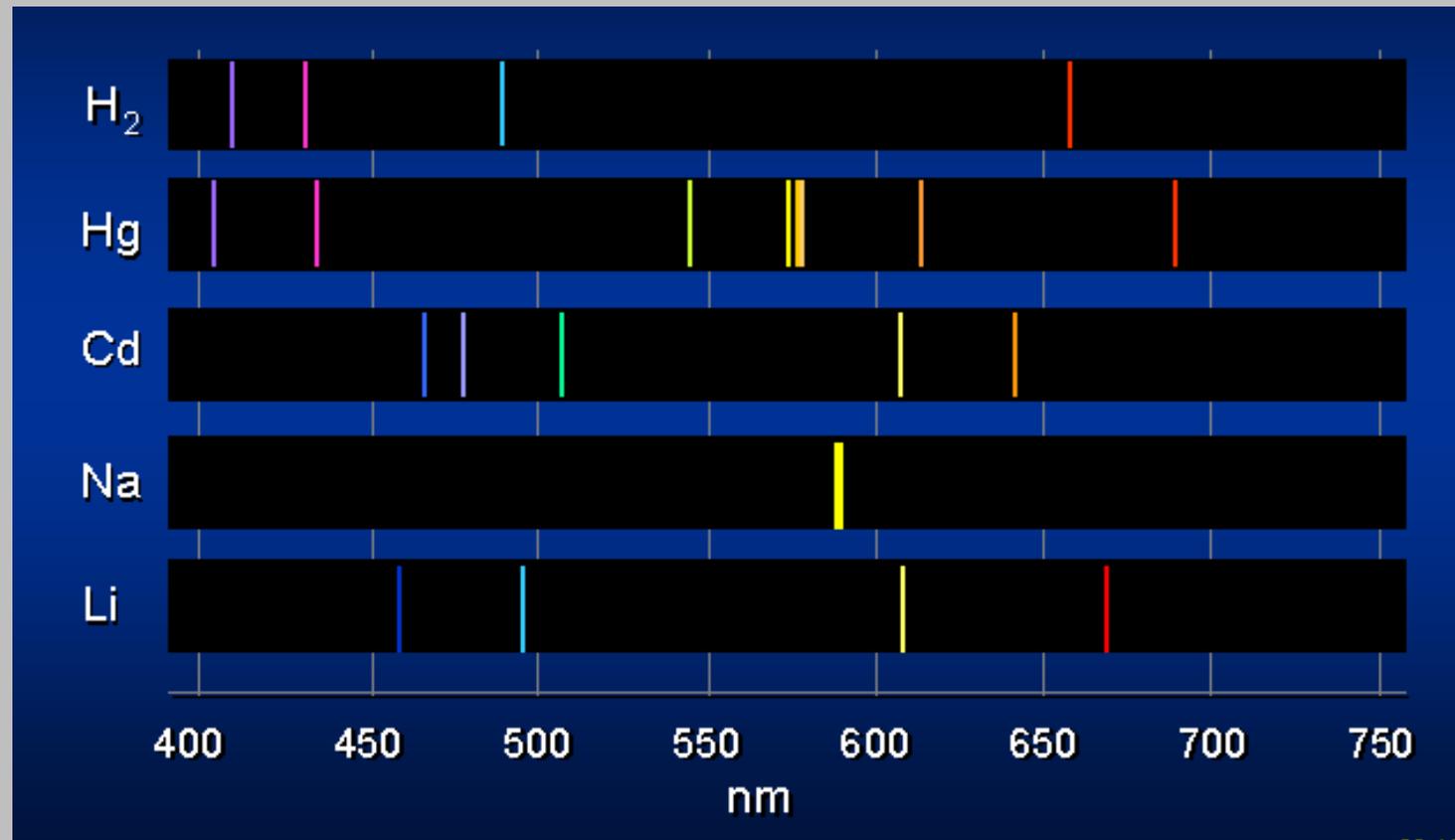
Non solo termico: righe spettrali



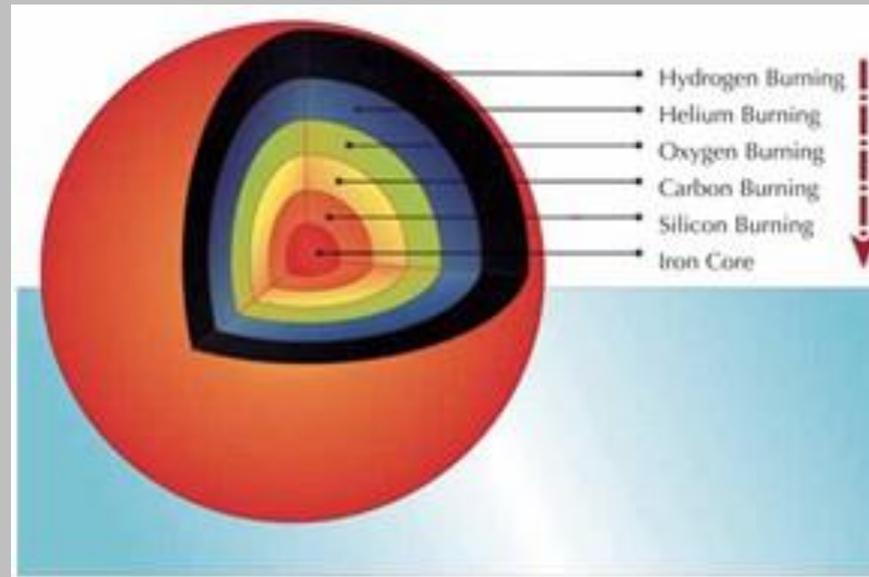
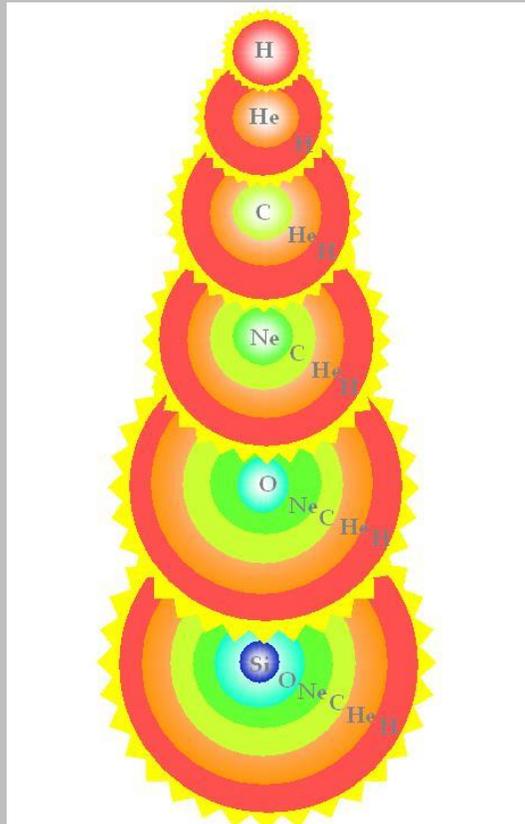
Non solo termico: righe spettrali



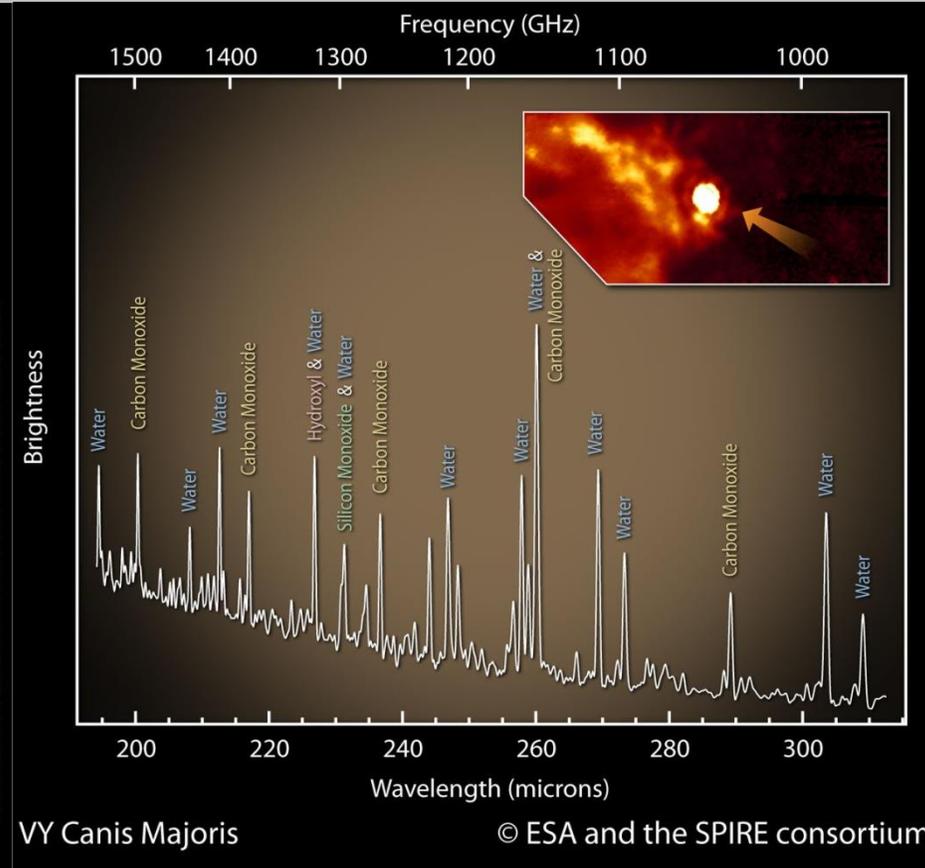
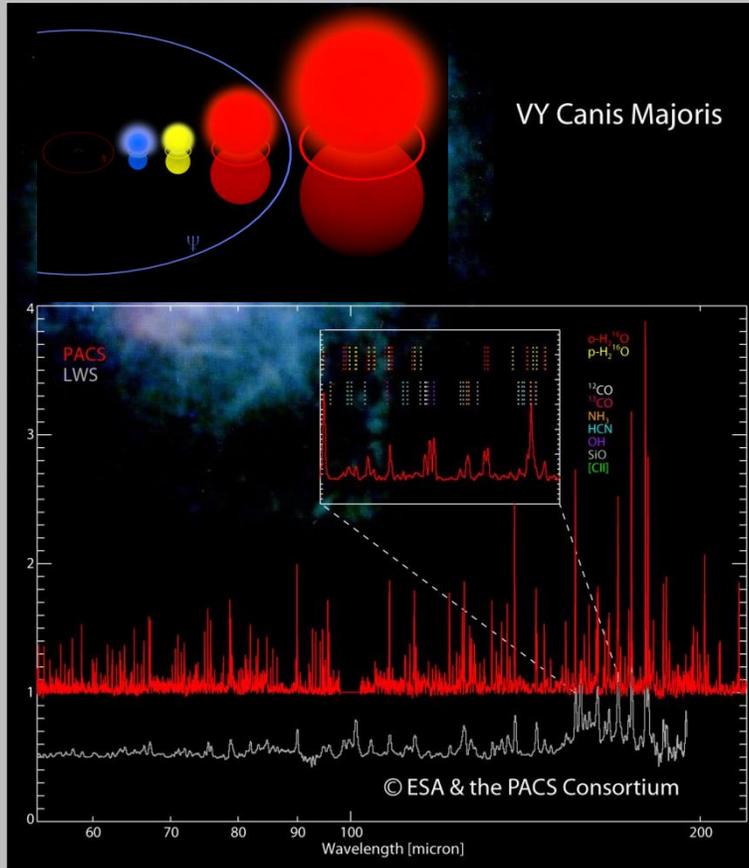
la «firma» degli elementi



La sintesi degli elementi

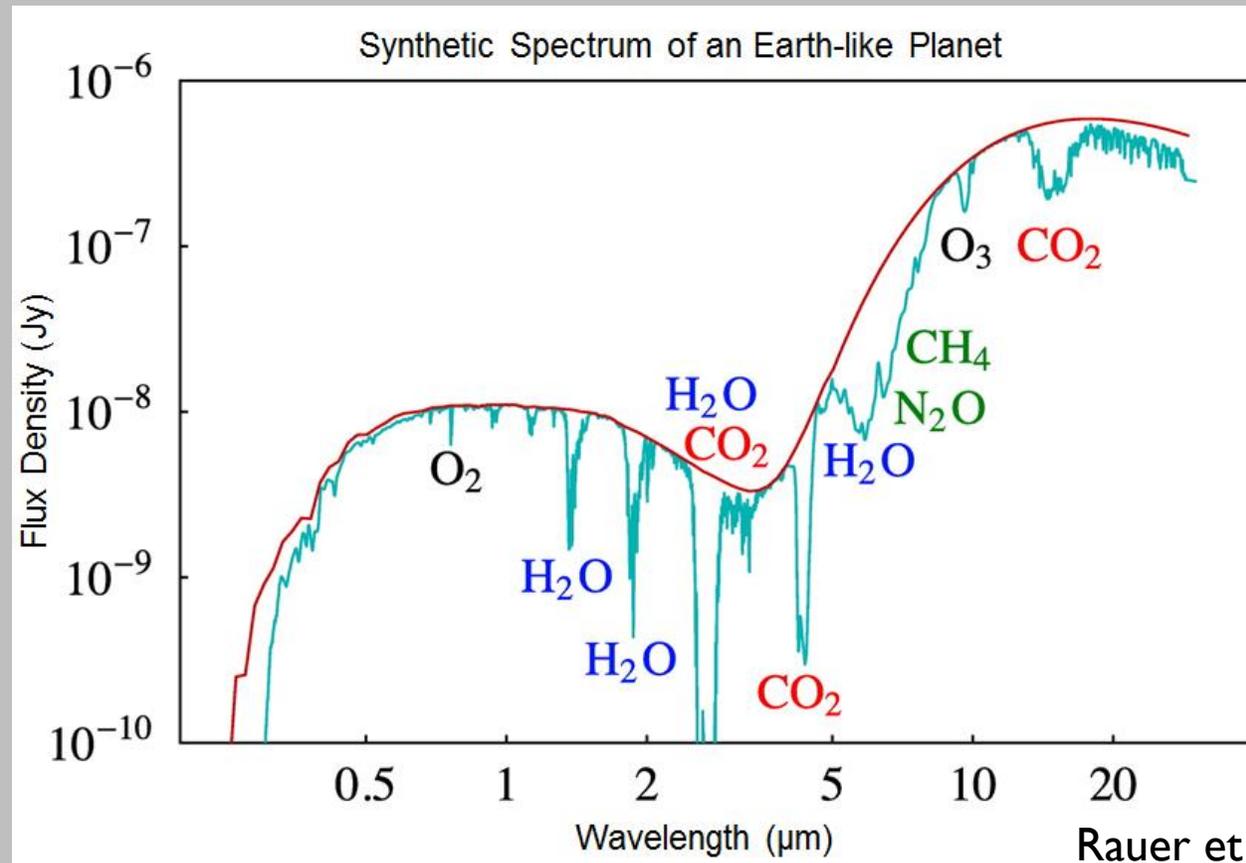


Righe molecolari

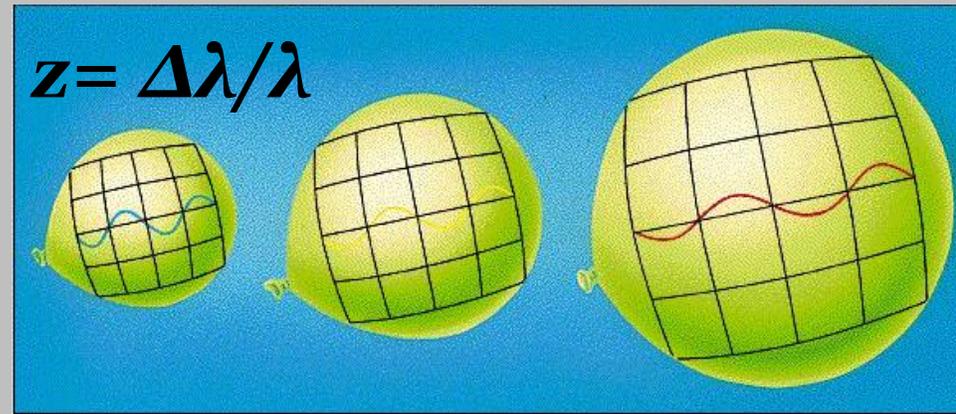
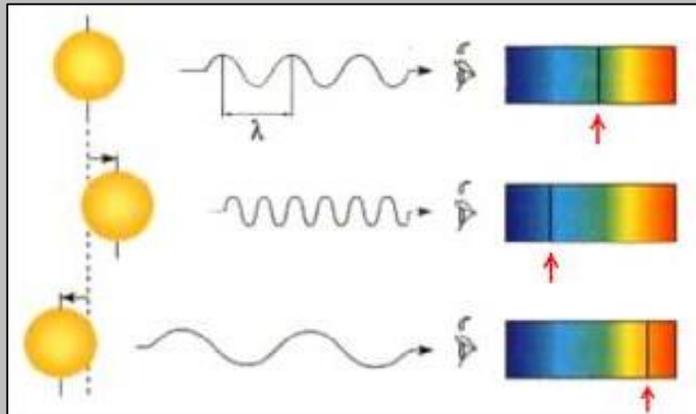


- H_2^{16}O
- ^{12}CO
- ^{13}CO
- NH_3
- HCN
- OH
- SiO
- ...

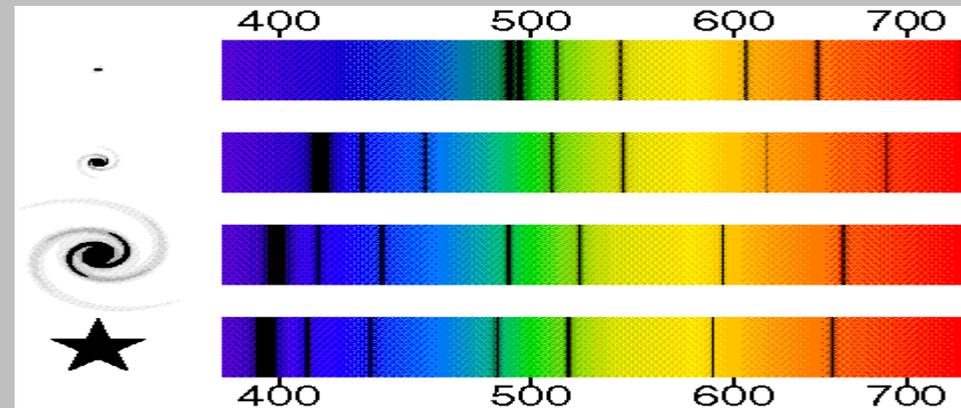
Spettro sintetico di una eso-terra



Righe spettrali e redshift cosmologico



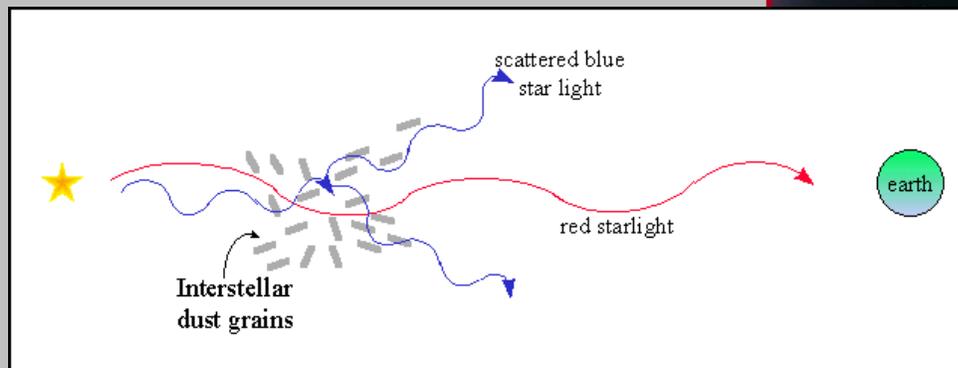
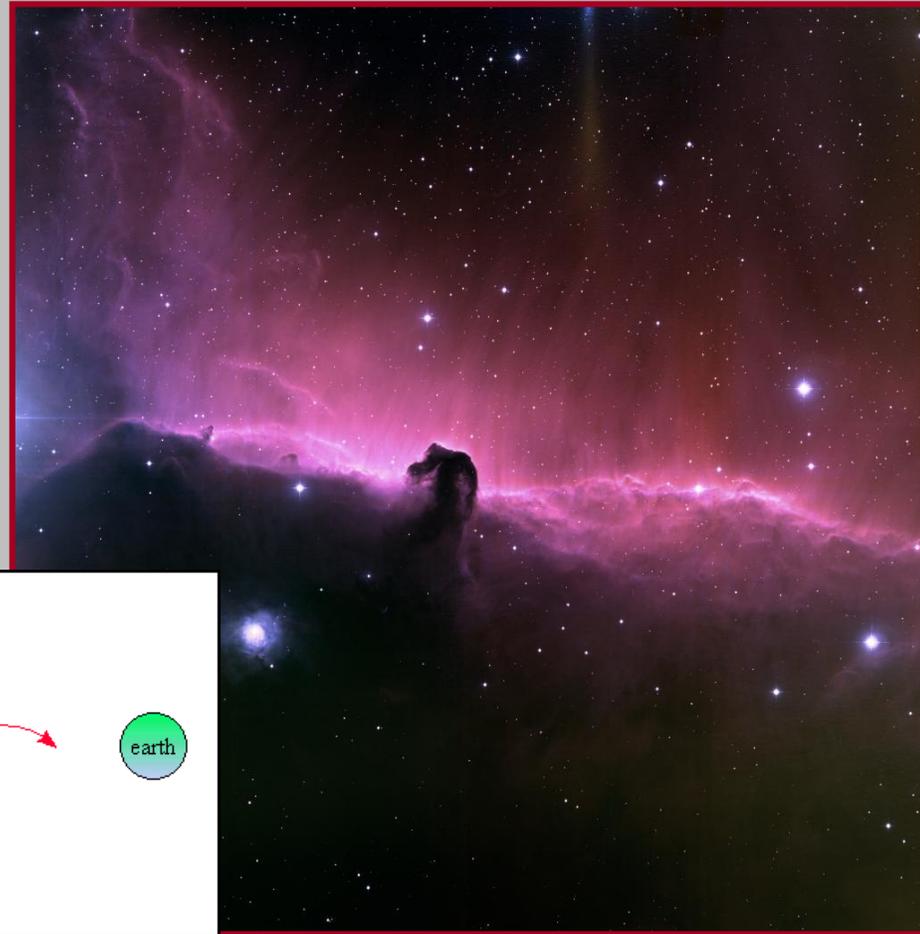
| | |
|--------|--------------------------|
| $z=0$ | $\lambda = 500$ nm |
| $z=1$ | $\lambda = 1000$ nm |
| $z=4$ | $\lambda = 2500$ nm |
| $z=10$ | $\lambda = 5500$ nm |



Infrarosso per:

- ***Scoprire e studiare la presenza di composti molecolari nella nostra e in altre galassie***
- ***Osservare oggetti ad alto redshift cioè molto vecchi -> origine ed evoluzione del nostro Universo***

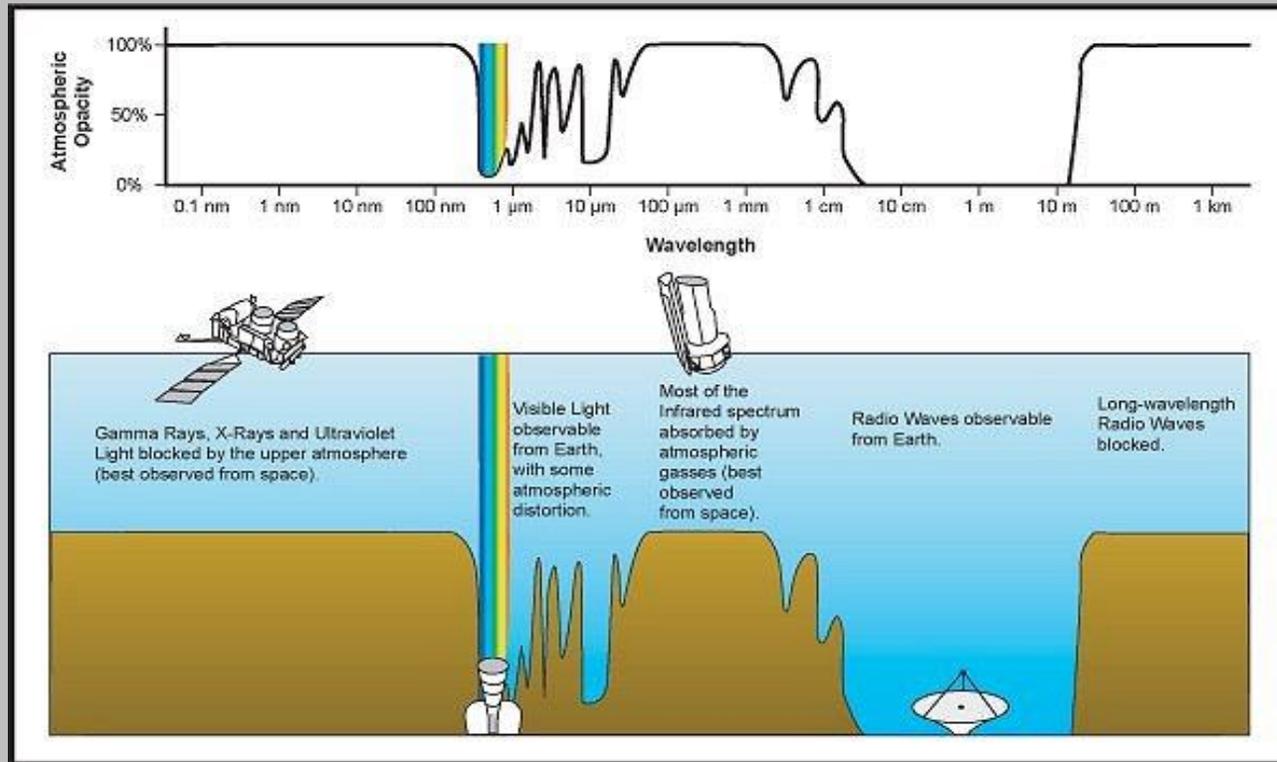
Estinzione interstellare da nubi di polveri e gas



IR in astronomia: come?

- ***Problema 1: assorbimento dei raggi IR da parte dell'atmosfera -> telescopi spaziali***
 - ***Problema 2: nell'IR (in particolare nell'IR cosiddetto «termico») TUTTO BRILLA-> soluzione: raffreddare/schermare***
 - ***Problema 3: necessità di rivelatori veloci / a basso rumore -> soluzione: tecnologie specifiche / raffreddare***
-

«finestre» atmosferiche nell'IR



| | range (μm) |
|----------|----------------------------|
| J | 1.1-1.4 |
| H | 1.5-1.8 |
| K | 2.0-2.4 |
| L | 3.0-4.0 |
| M | 4.6-5.0 |
| N | 7.5-14.5 |
| Q | 17-25 |
| Z | 28-40 |

*Potendo, la cosa migliore è
comunque andare nello spazio:*

James

Webb

Space

Telescope

