## EMANUELE PACE

Dip. Astronomia e Scienza dello Spazio
L.go E. Fermi, 2
Firenze (Arcetri, ex edificio del Dip. Fisica)
Tel. 055-2307618
pace@arcetri.astro.it

http://www.arcetri.astro.it/Dipartimento
http://www.arcetri.astro.it/Dipartimento/Xuvlab

# *La scienza dallo spazio*

Dr. Emanuele Pace

Gennaio 2005

# Perché si va nello spazio?


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

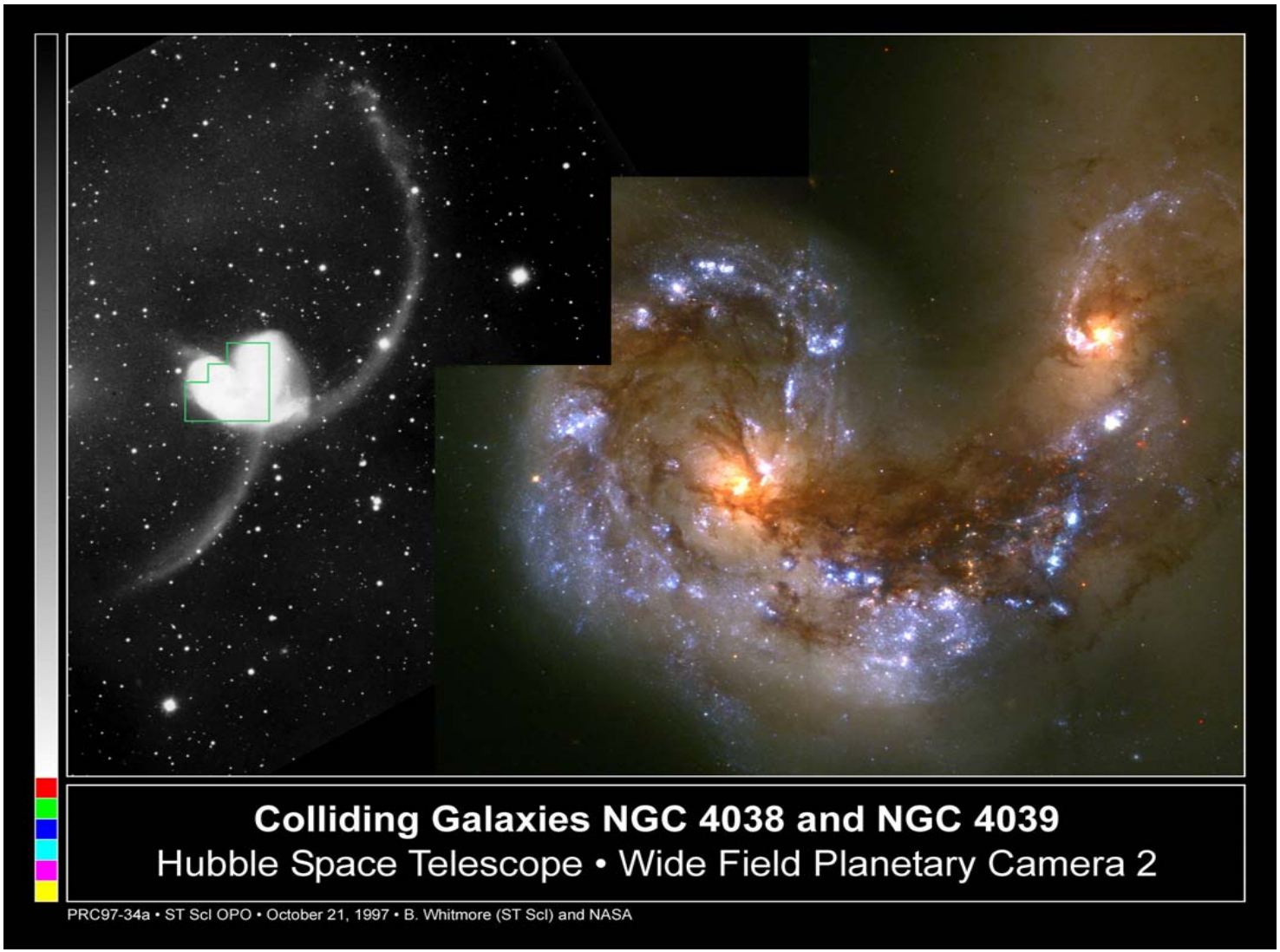
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

# Perché si va nello spazio?

**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

- Assorbimento atmosferico
- Seeing
  - Turbolenze atmosferiche
  - Inquinamento luminoso & aerosol
- Esplorazione del Sistema Solare
- Osservazione della Terra
- Grandi distanze
- Microgravità
- Telecomunicazioni

# L'atmosfera


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

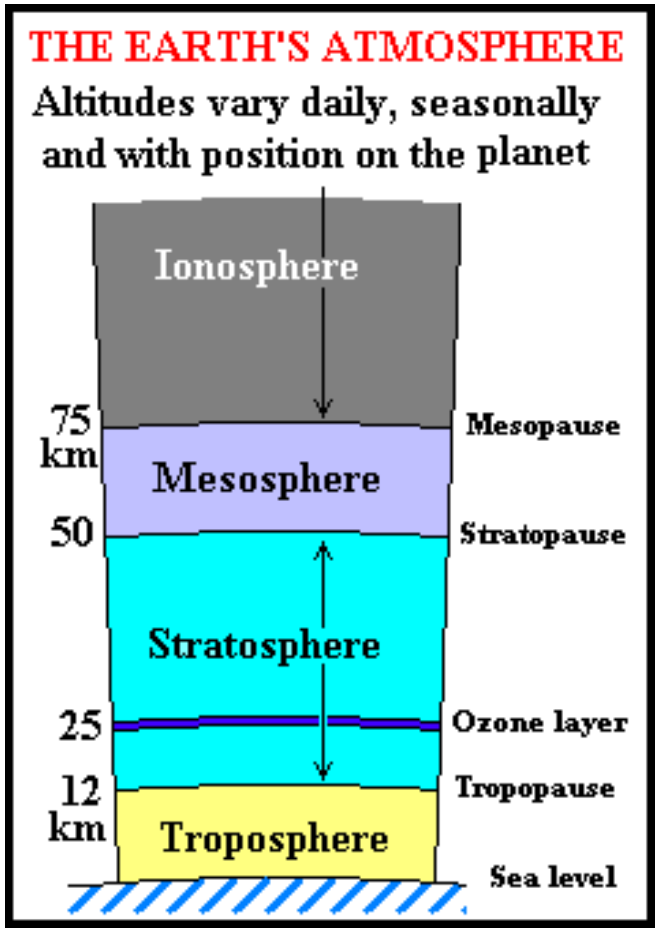
Esplorazione del Sistema Solare

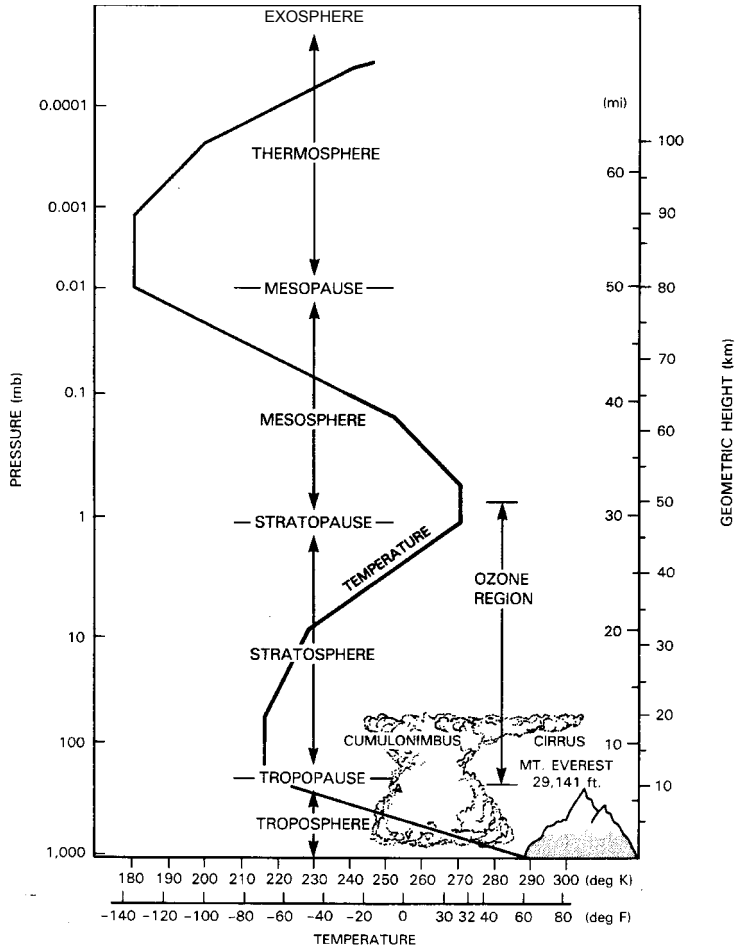
Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

# L'atmosfera


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

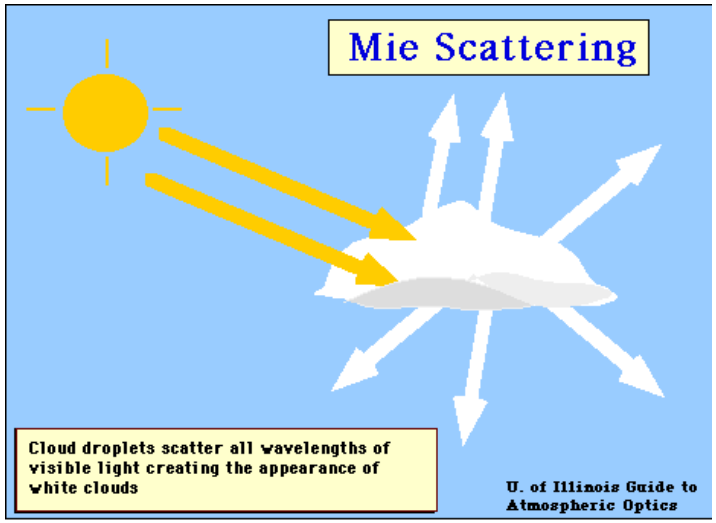
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

# L'atmosfera


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

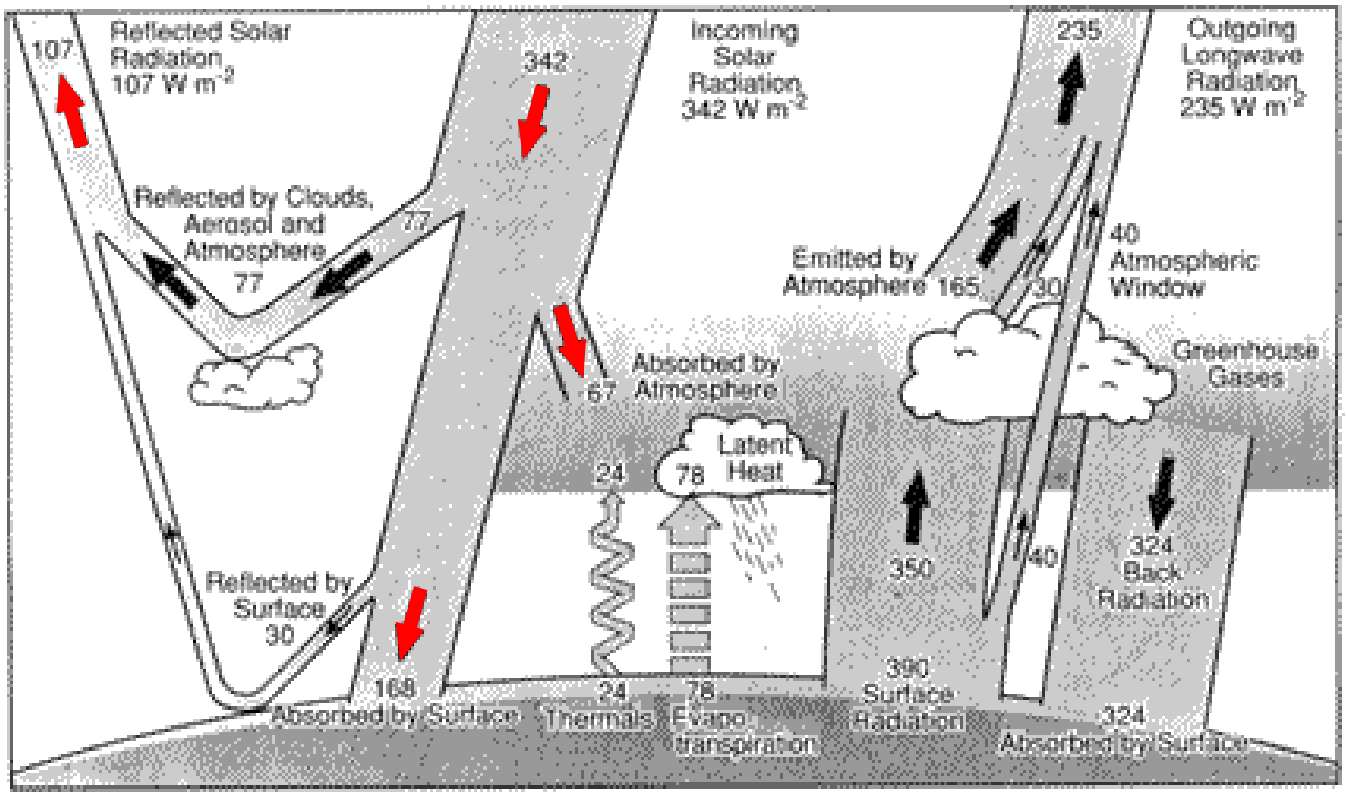
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità


La figura mostra la frazione di radiazione incidente assorbita tipicamente dall'atmosfera e la frazione riemessa dalla Terra parte della quale è ancora assorbita dall'atmosfera.

# Assorbimento atmosferico


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità


| λ (m) | Energy (eV) | Usual name | Penetrates to (typically) | Absorption mechanism |
|---|---|---|---|---|
| $< 10^{-17}$ | > 100 GeV | Ultrahard gamma rays | 40 km | **Atomic processes**. Detectable at ground level indirectly, via showers of sub-atomic particles. |
| $10^{-13}$ | | Gamma-rays with energy more than a few MeV | 40 km | **Pair production**. Gamma ray decays to electron and positron as it passes close to an atomic nucleus in the atmosphere. |
| $10^{-12}$ | | | | |
| $10^{-11}$ | | Low-energy gamma-rays and very hard X-rays | 40 km | **Compton scattering**. Photon knocks out an electron from an atom of atmospheric gas, loses energy and is shifted to a longer wavelength. |
| $10^{-10}$ | | | | |
| $10^{-9}$ | | Hard X-ray | 70-100 km | **Photoelectric effect**. Photon knocks electron out of atom of atmospheric gas. Energy of photon is transferred to electron. |
| $10^{-8}$ | | Soft X-ray/XUV/EUV | 150 km | |

# Assorbimento atmosferico


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità


| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $10^{-7}$ | | Ultraviolet | 50-100 km | **Dissociation and ionisation** of atmospheric molecules such as oxygen, nitrogen, and ozone. |
| $3 \times 10^{-7}$ | | | | |
| $4 \times 10^{-7}$ | | Visible | - | **Not absorbed**, but scattering and image degradation occurs. |
| $7 \times 10^{-7}$ | | | | |
| $10^{-6}$ | | Near infrared | 5-10 km | **Absorption by carbon dioxide and water vapour**. Photons have enough energy to cause bending and rotation of molecules. Some atmospheric windows from 1-4 μm, around 10 μm and 20 μm, and about 350 μm. High, dry sites required far infrared and submillimetre telescopes. |
| | | Infrared | | |
| $10^{-4}$ | | Far infrared | | |
| $10^{-3}$ | | Millimetre | - | **Radio window**; varies with state of ionosphere, that depends on the amount of solar activity. |
| $10^{-1}$ | | Microwave | | |
| 1 | | | | |
| 10 | | | 90-500 km | **Radio waves reflected back** into space by the ionosphere. |
| $10^{2}$ | | | | |
| $10^{3}$ | | Long wave | | |
| $\geq 10^{4}$ | | Long wave and very long wave/very low frequency | | |

# Assorbimento atmosferico


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

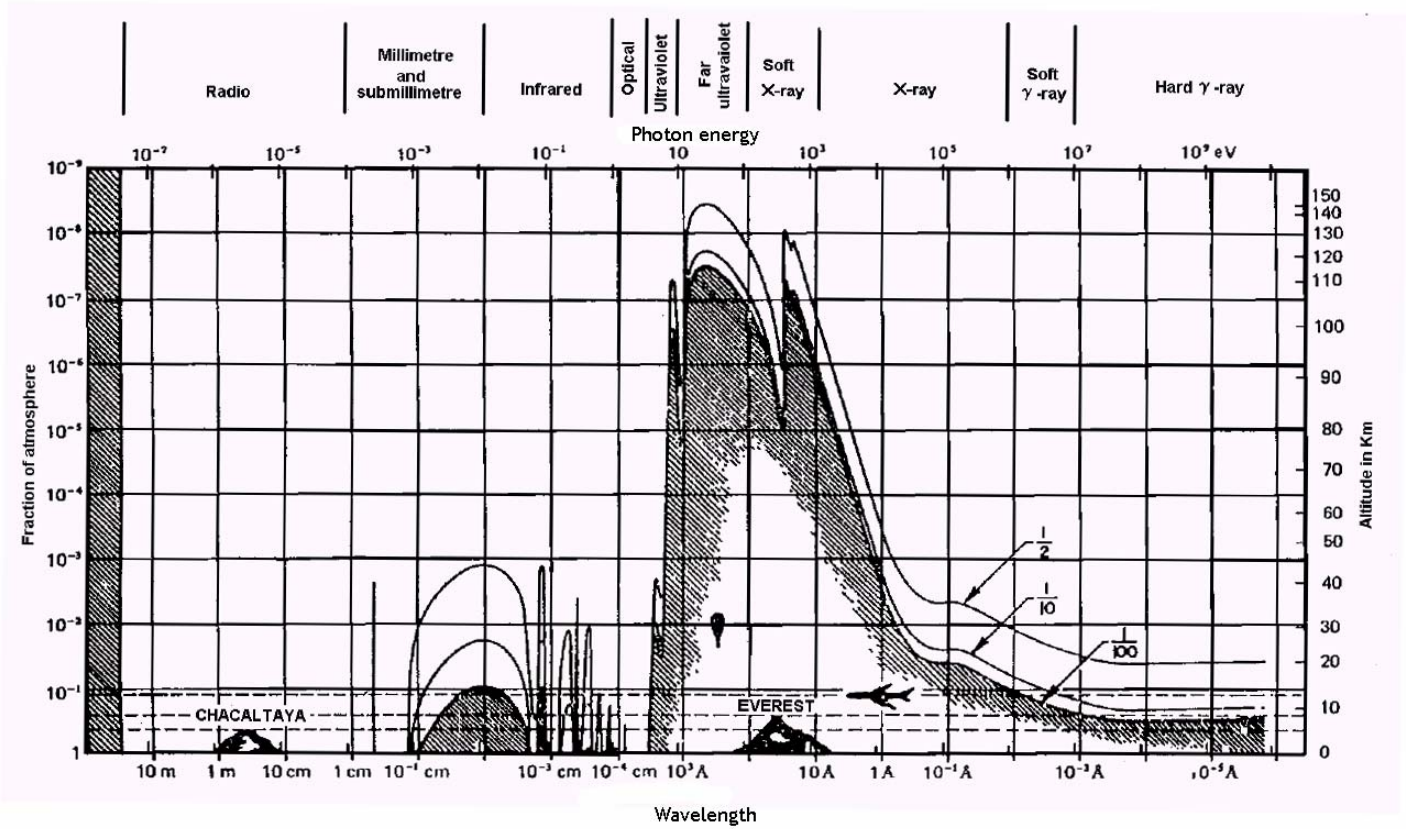
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità


Attenuazione della radiazione elettromagnetica alle varie lunghezze d'onda dovuta all'atmosfera. Le linee continue indicano l'altitudine (e la corrispondente pressione in unità di frazione di atmosfera) a cui si raggiunge l'attenuazione indicata dalla frazione riportata.

# Seeing

**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

- **Risoluzione di un telescopio** di diametro D alla lunghezza d'onda λ:

  $$\Delta = 1.22\ \lambda/D \qquad \text{radianti}$$

  detto **limite di diffrazione**

- Tra sorgente celeste e telescopio c'è l'atmosfera terrestre, mezzo tipicamente turbolento e ricco di vapor d'acqua, che causa l'allargamento ottico delle immagini astronomiche.

- **Seeing:** definisce la risoluzione angolare migliore ottenibile in un certo sito ad un determinato momento e dipende dalle condizioni atmosferiche.

  Valori di miglior seeing: 0.5 - 0.7 arcsec

# Seeing

**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

- **Sorgenti puntiformi**, un seeing non ottimale riduce la rivelabilità di sorgenti deboli; il segnale è sparpagliato sopra un'area maggiore, quindi diminuisce il rapporto segnale/rumore.
- **Sorgenti estese**, il seeing non ottimale peggiora la risoluzione spaziale, eliminando alcune frequenze spaziali elevate dell'immagine originale; per esempio, nel caso delle galassie viene sottratta energia dai nuclei brillanti e quasi puntiformi, e ridistribuita nelle regioni adiacenti.
- **Soluzioni**:
  - ottiche adattive o attive, ovvero specchi deformabili che si adattano in "tempo reale" al fronte d'onda incidente.
  - Speckle interferometry

# Seeing


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

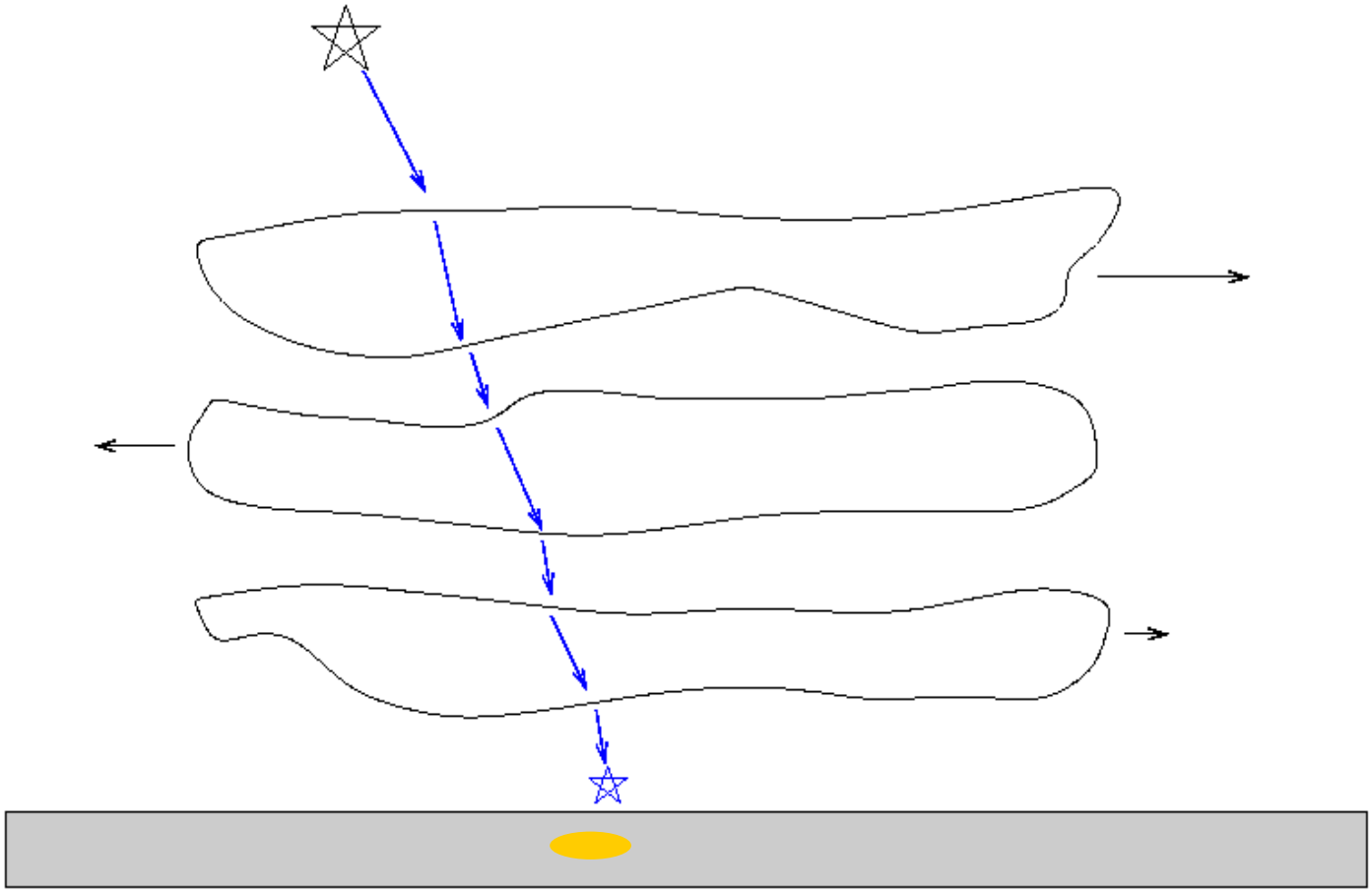
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

Consideriamo un'onda piana, corrispondente ad una sorgente puntiforme all'infinito. La rifrazione differenziale distorce casualmente il fronte d'onda (frequenza tipica di 50 Hz). L'immagine integrata nel tempo non è più puntiforme, bensì estesa. In tali immagini, la distribuzione dell'intensità relativa al flusso è assimilabile ad una funzione gaussiana della distanza *r* dal baricentro di luce; la deviazione standard di questa gaussiana è sovente adottata dagli astronomi come misura del seeing.

# Effetti del seeing

**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

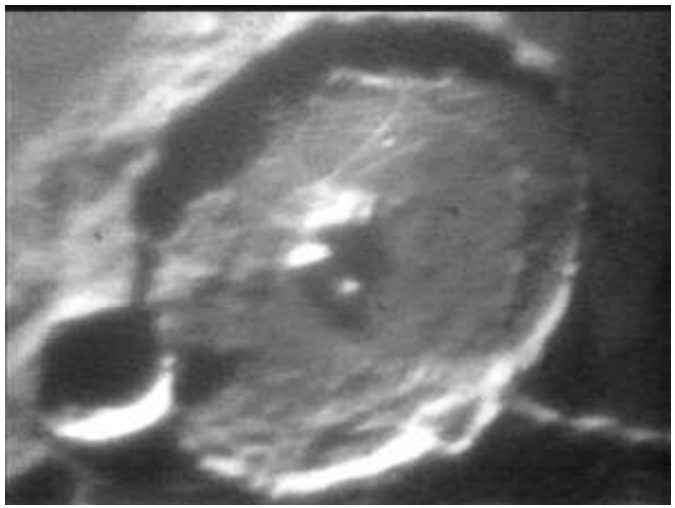
Esplorazione del Sistema Solare

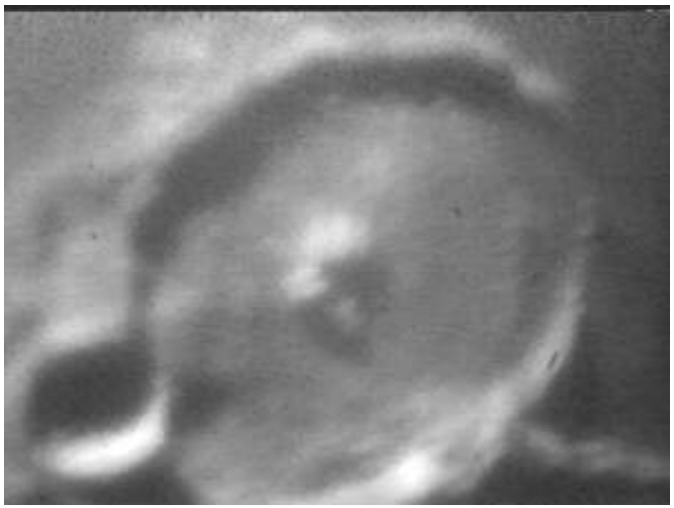
Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità





# Effetti del seeing


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

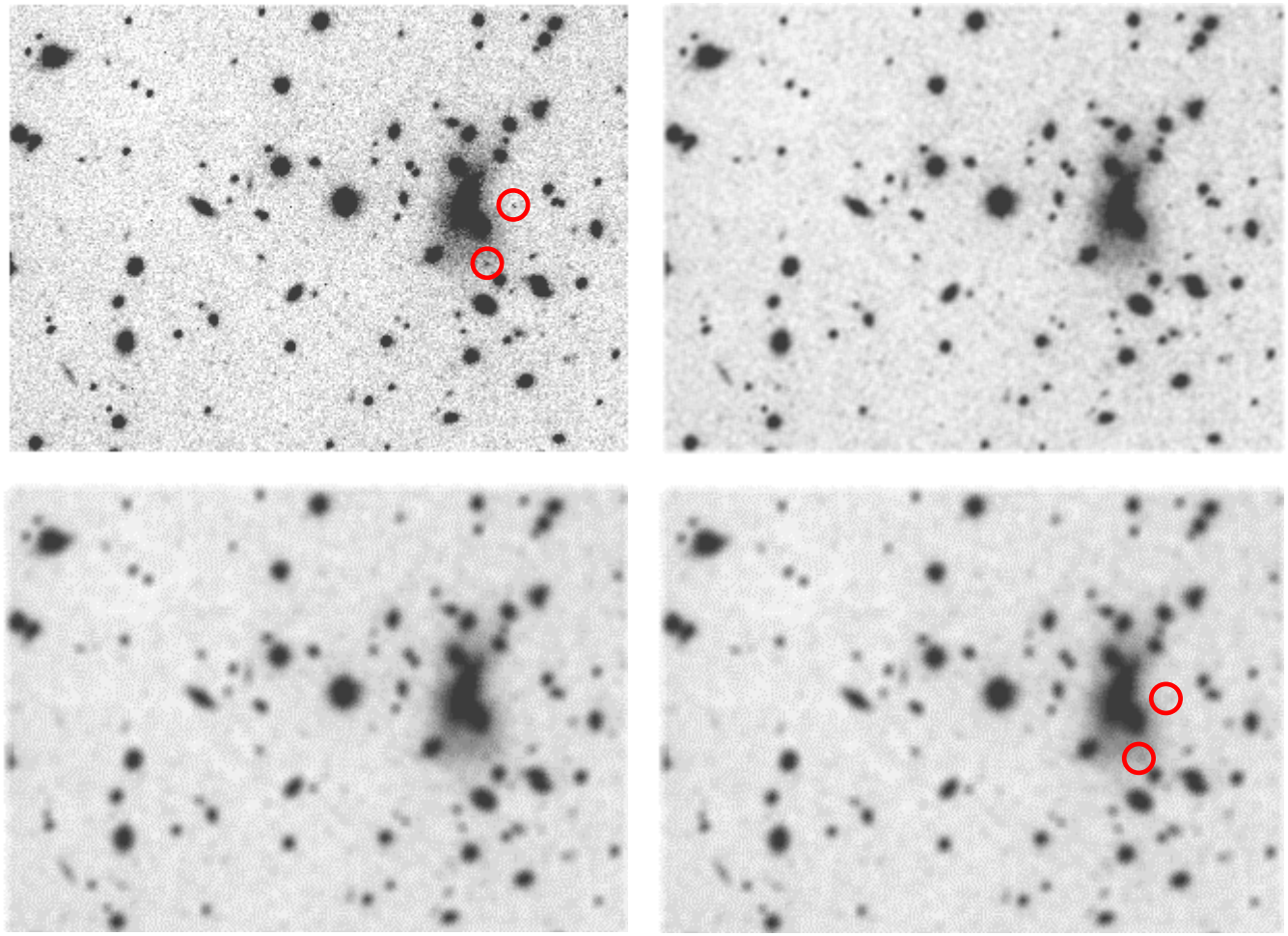
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

# Luminescenza diffusa

**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

- **Luminescenza diffusa del cielo notturno**:
  - Luminosità diffusa di origine galattica ed extragalattica, dovuta alle innumerevoli sorgenti (stelle e galassie) con intensità di emissione inferiore alla soglia di rivelazione
  - Luce zodiacale, dovuta alla radiazione solare diffusa da polvere e particolato presente nello spazio interplanetario e in minima parte nello spazio interstellare.
  - Fluorescenza della ionosfera, prodotta da processi fotochimici che avvengono nell'alta atmosfera. Questa componente ha uno spettro irregolare e rapidamente variabile nel tempo, con fluttuazioni di magnitudine del 20% su scala temporale dell'ora; varia inoltre di un fattore 2 circa dalla latitudine 20° alla latitudine 70°.
  - Inquinamento luminoso prodotto dagli insediamenti umani (parzialmente eliminabile scegliendo il sito degli Osservatori).

# Luminescenza diffusa


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

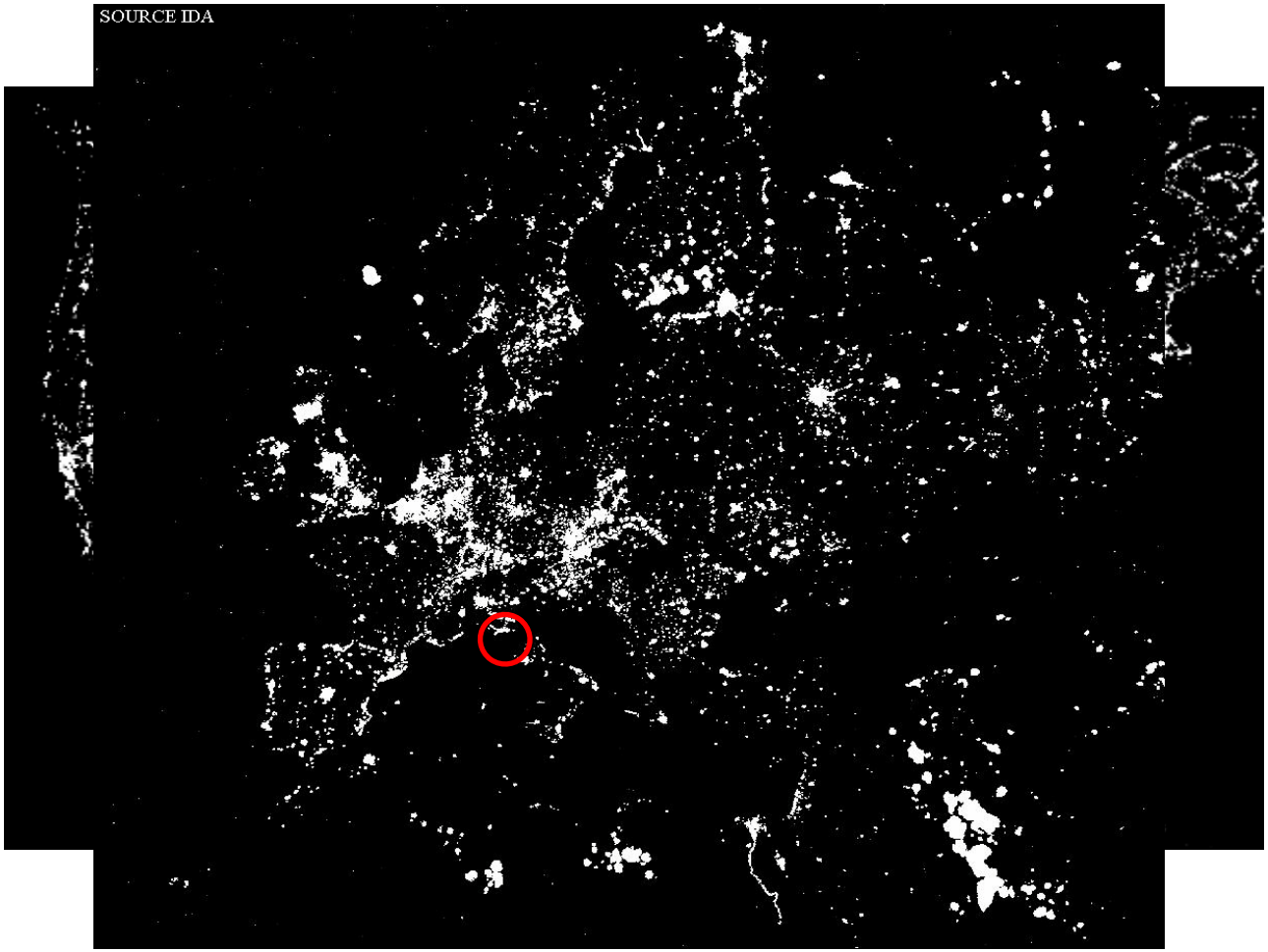
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità


Esempio di inquinamento luminoso dovuto all'uomo.

# Superare l'atmosfera


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

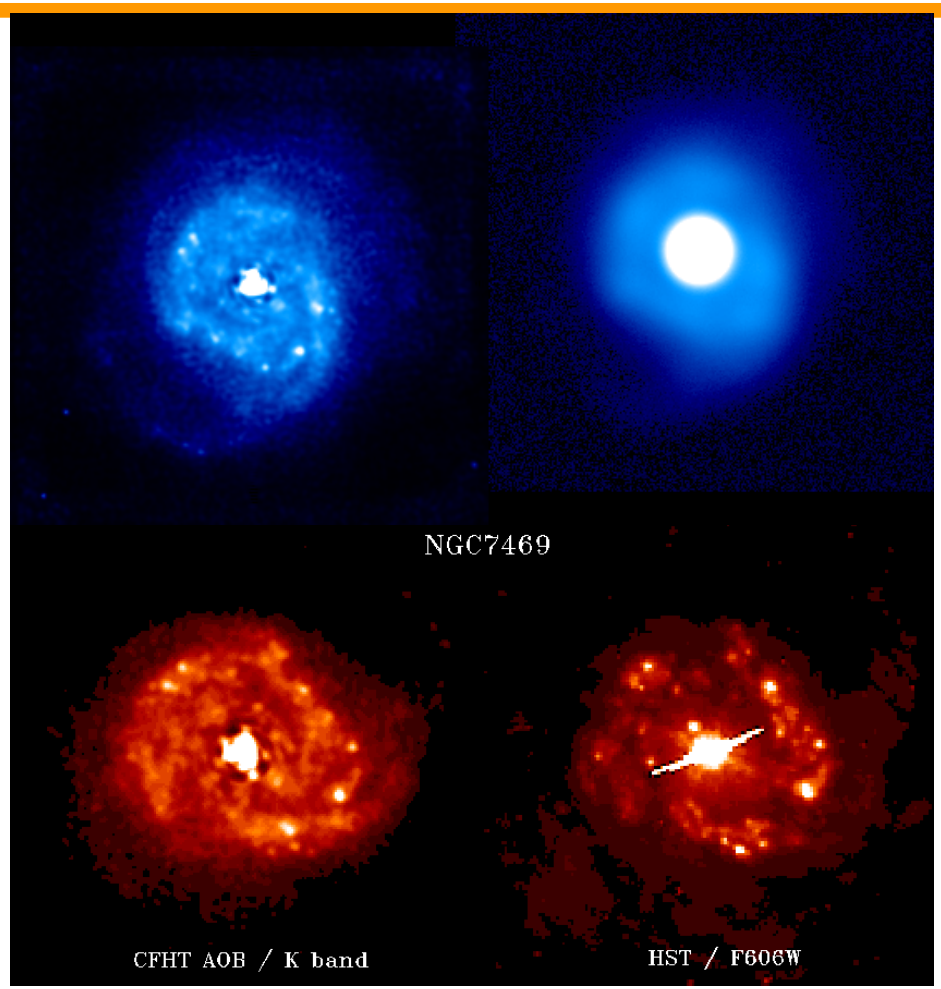
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità


La regione del nucleo della galassia NGC 7469, con (a sinistra in alto) e senza ottica adattiva (a destra in alto). Ancora la stessa galassia con ottica adattiva dal CFHT (a sinistra in basso) confrontata con un'immagine dell'Hubble Space Telescope (a destra in basso).

# Guardare con altri occhi…

**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

- Fino a metà del '900 l'osservazione dell'universo era effettuata attraverso immagini ottiche e spettroscopia nella banda del visibile.
- L'invio di sonde ed esperimenti al di sopra dell'atmosfera ha permesso un allargamento enorme delle conoscenze astrofisiche.
- Molte sorgenti nuove ed invisibili, fenomeni come la nascita di una stella, l'astrofisica delle alte energie sono state scoperte ed hanno preso avvio dopo la "conquista dello spazio".
- Sono nate così l'astronomia nelle bande IR, UV, X e gamma, oltre che l'osservazione diretta dei raggi cosmici primari, lo studio *in situ* delle regioni interplanetarie, l'esplorazione *in situ* dei pianeti del sistema solare, il consolidamento della Cosmologia come materia "scientifica".

# Il Sole


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

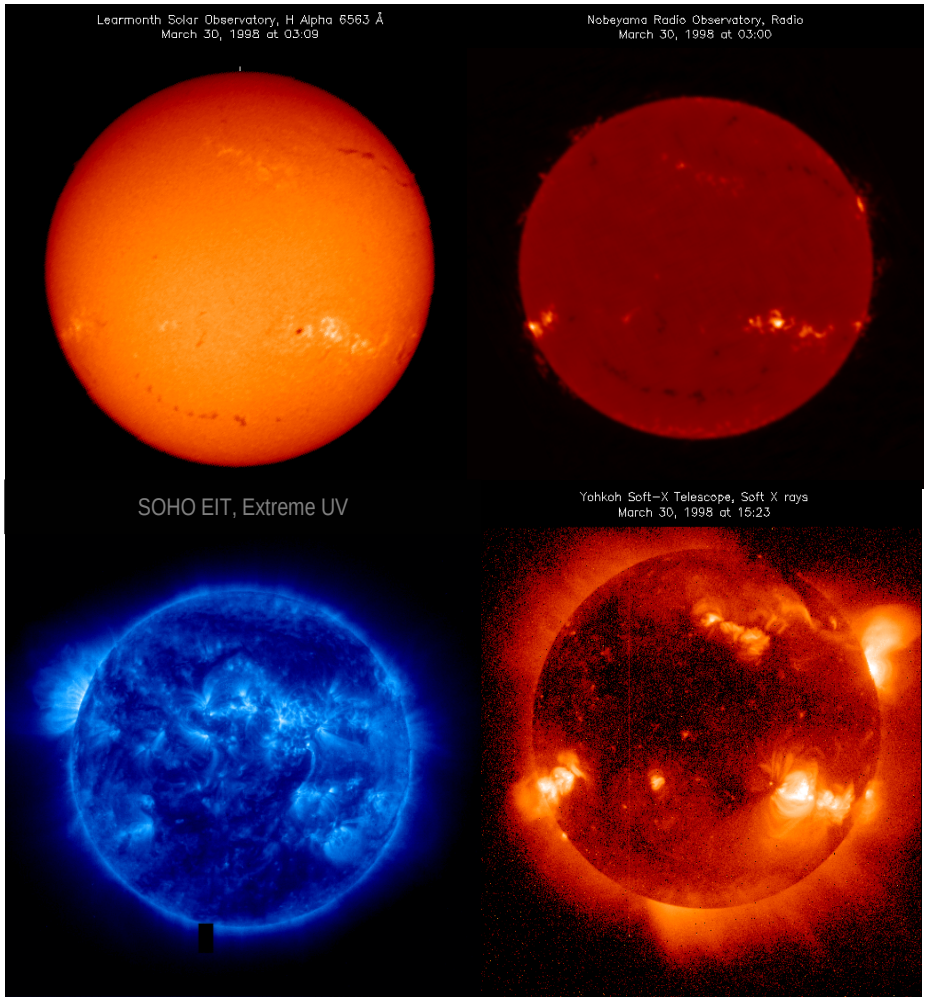
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità


Le immagini a lunghezze d'onda diverse mostrano regioni diverse del Sole (cromosfera, fotosfera e corona solare) e sono correlate a temperature diverse, da 6000 K della cromosfera a $10^8$ K della corona solare.

# Il Sole


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

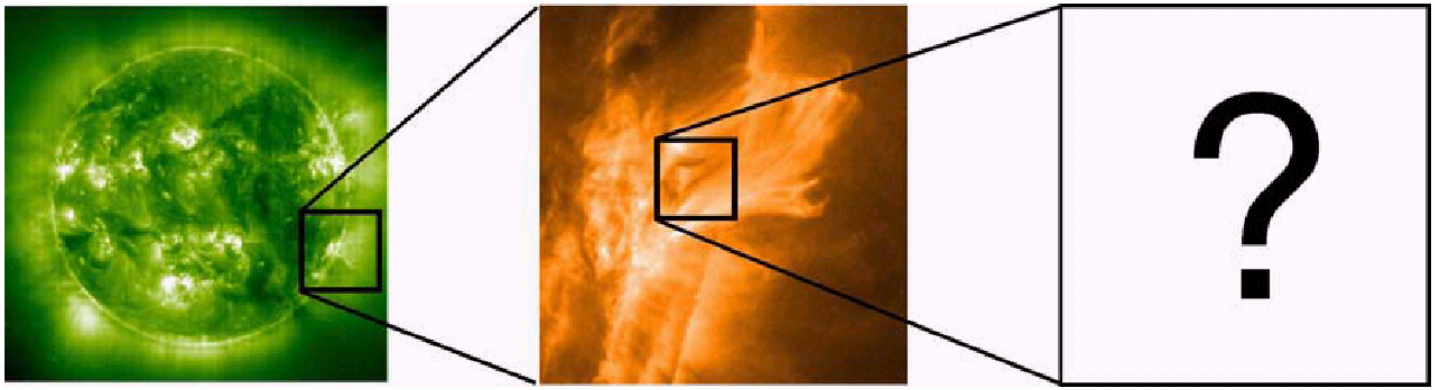
Esplorazione del Sistema Solare

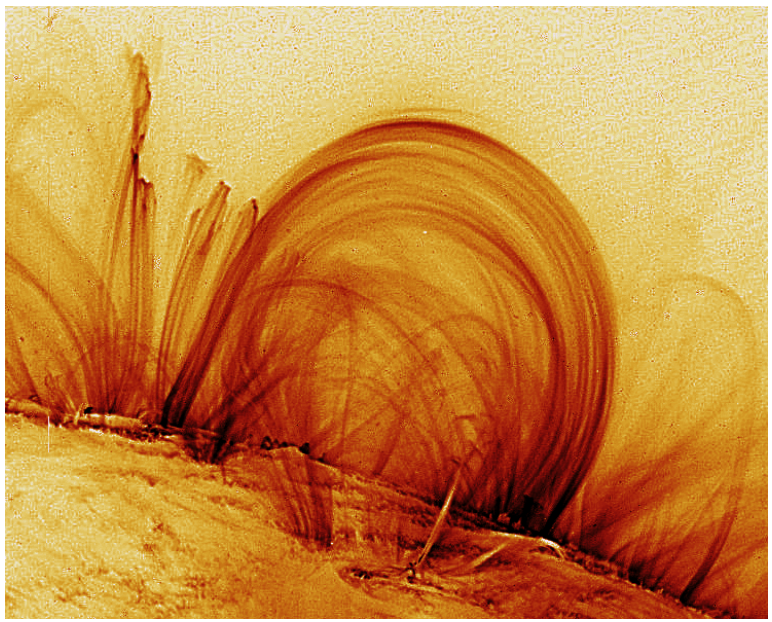
Osservazione dell'Universo

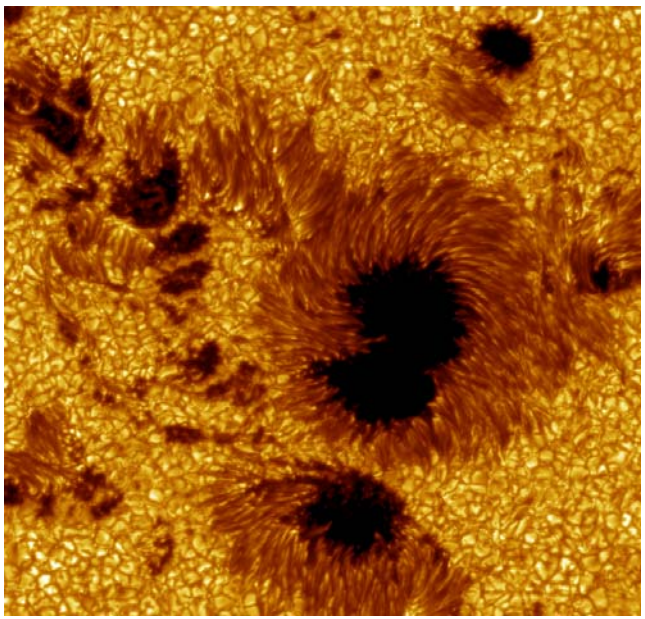
Osservazione della Terra

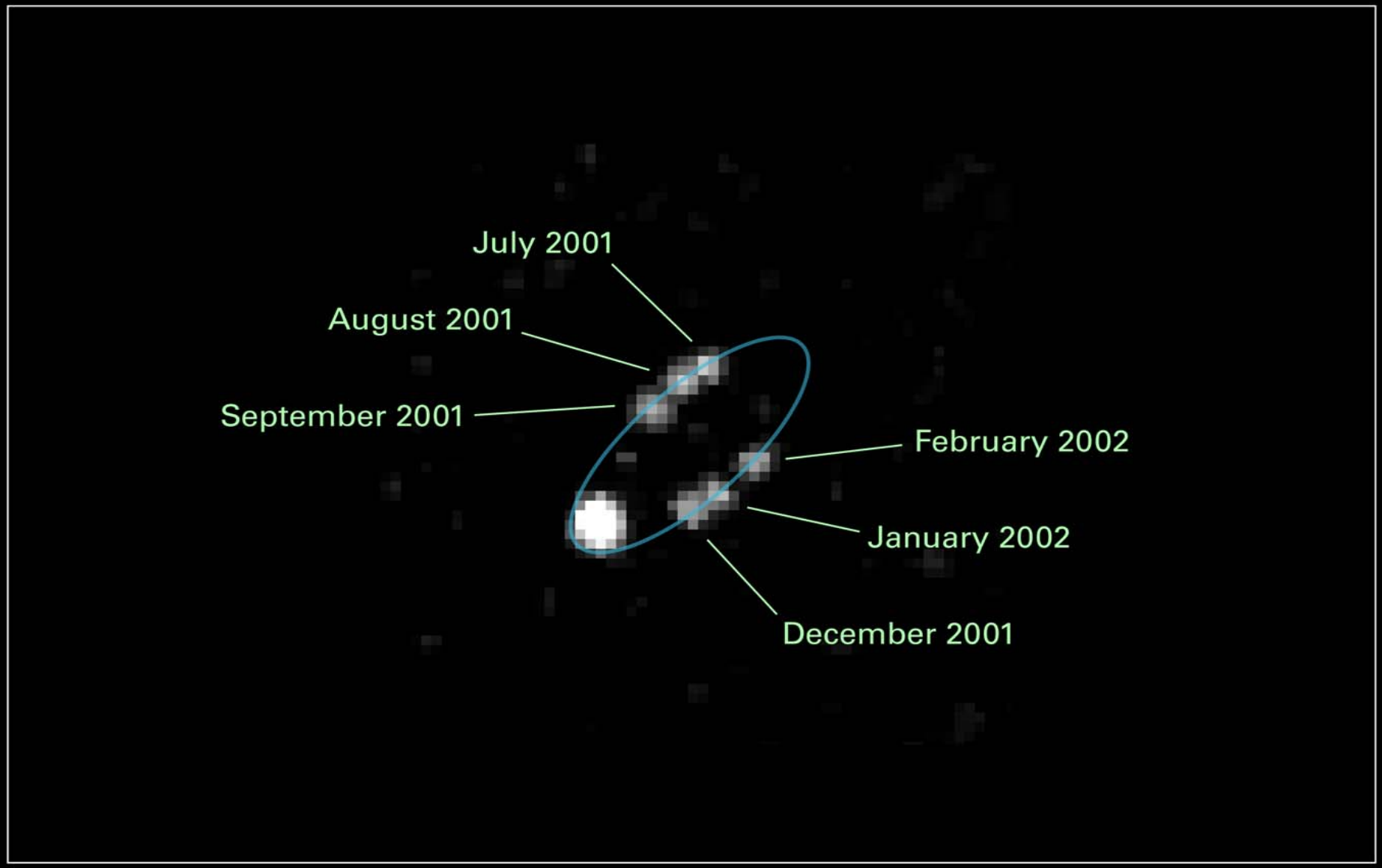
Grandi distanze

Microgravità






**Kuiper Belt Object 1998 WW31**
**Hubble Space Telescope** • WFPC2

NASA and C. Veillet (Canada-France-Hawaii Telescope) • STScI-PRC02-04a

# Osservazione dell'universo


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

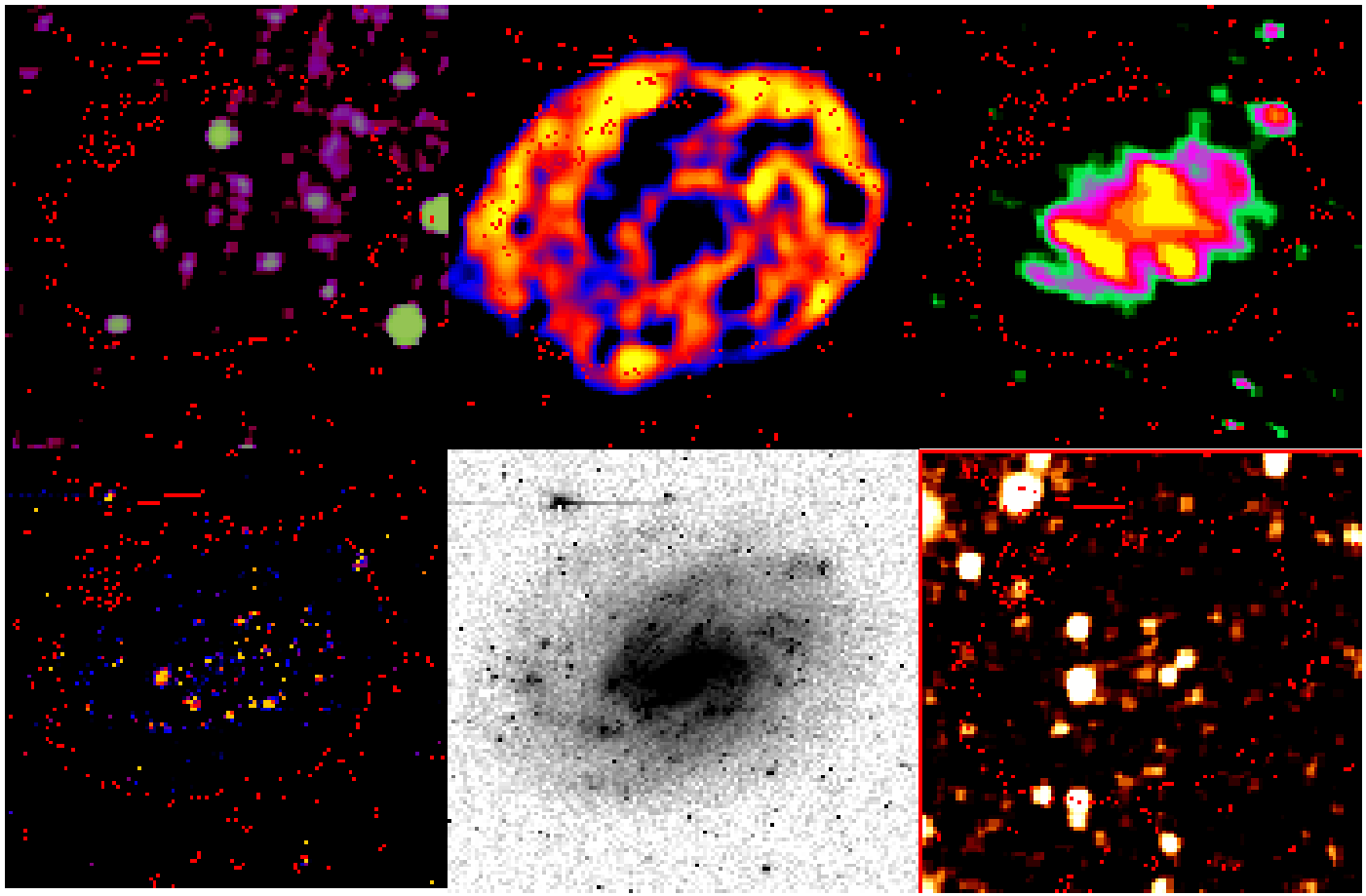
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

Immagini della galassia NGC300 in differenti bande spettrali *(dall'alto verso il basso):* continuo radio (1.49 GHz), radio (21 cm), lontano infrarosso (60 μm), riga Hα (656.1 nm), ottico (filtro B), raggi X (0.1-2.4 keV).

# Osservazione dell'universo


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

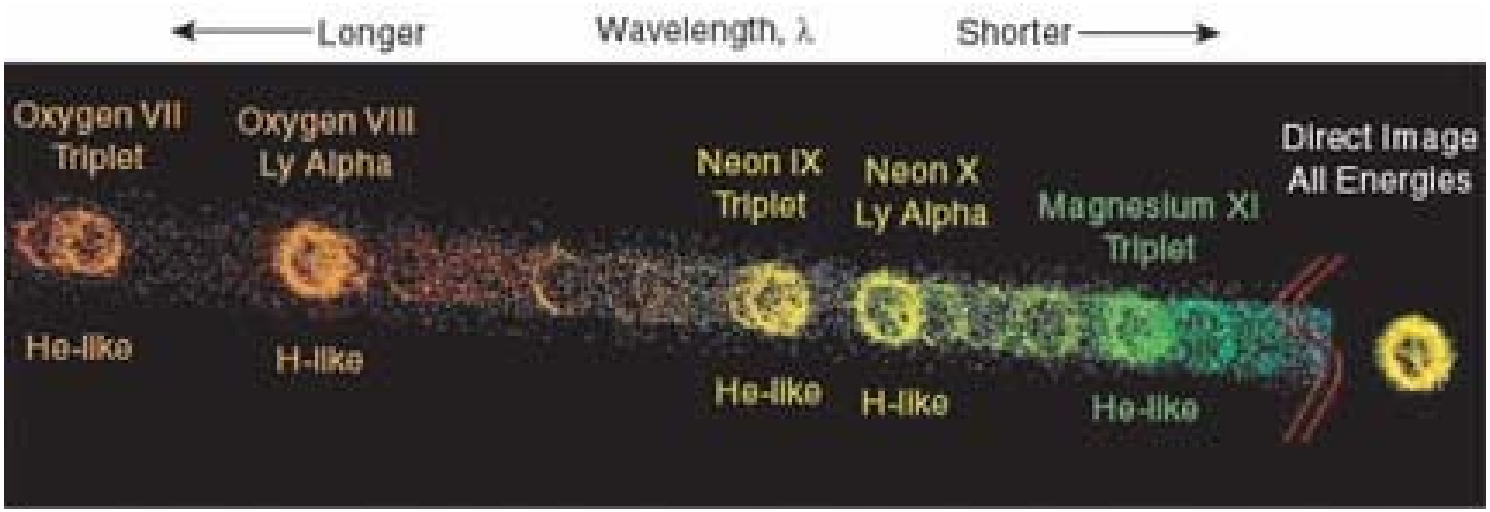
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità


Spettro ad immagini nei raggi X della supernova E0102-72 osservata da Chandra

Nucleo della galassia NGC 4261

# Mappe del cielo in EUV


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

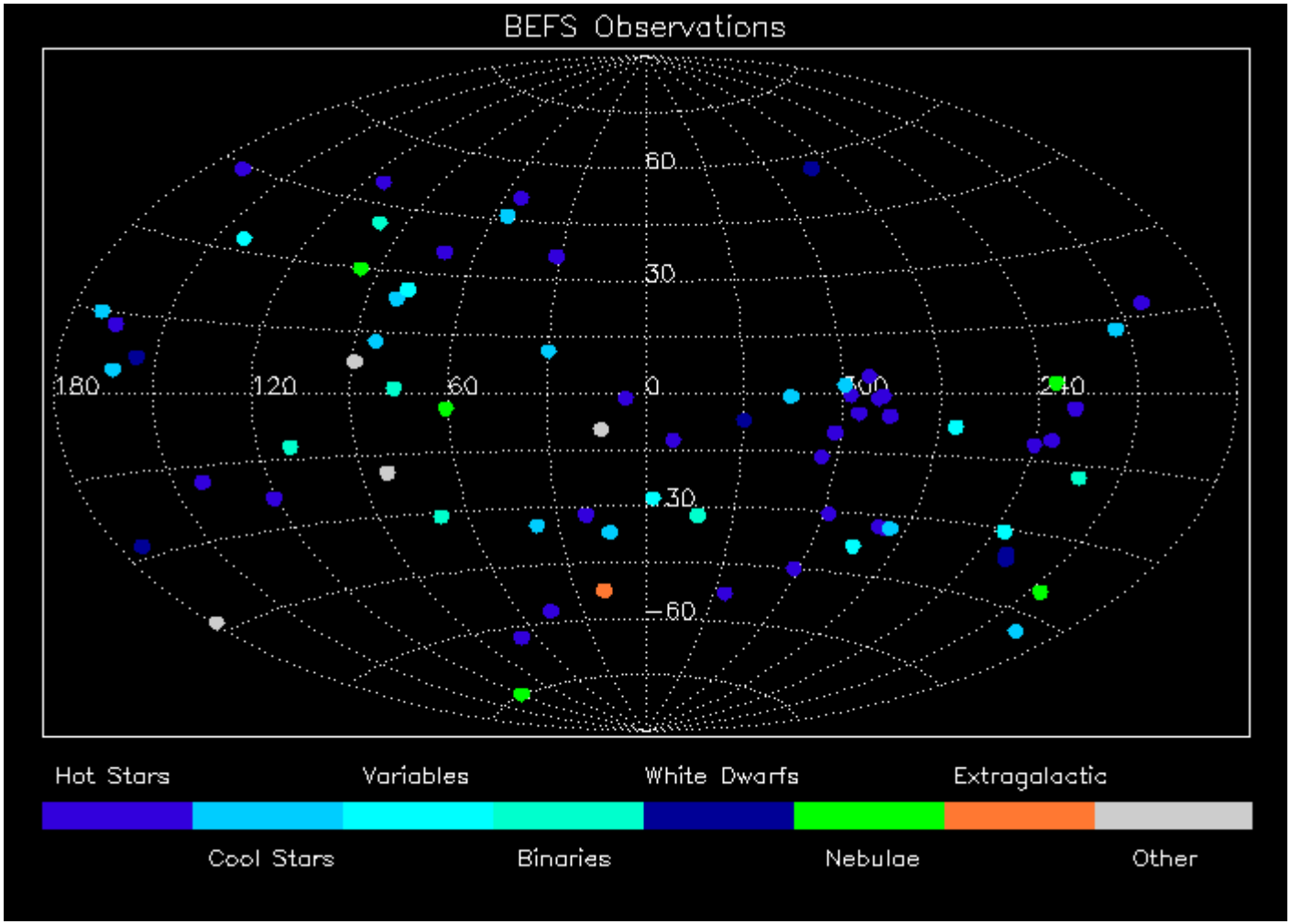
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità


Osservazioni del canale spettroscopico di Berkeley su ORFEUS

# Osservazione della Terra


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

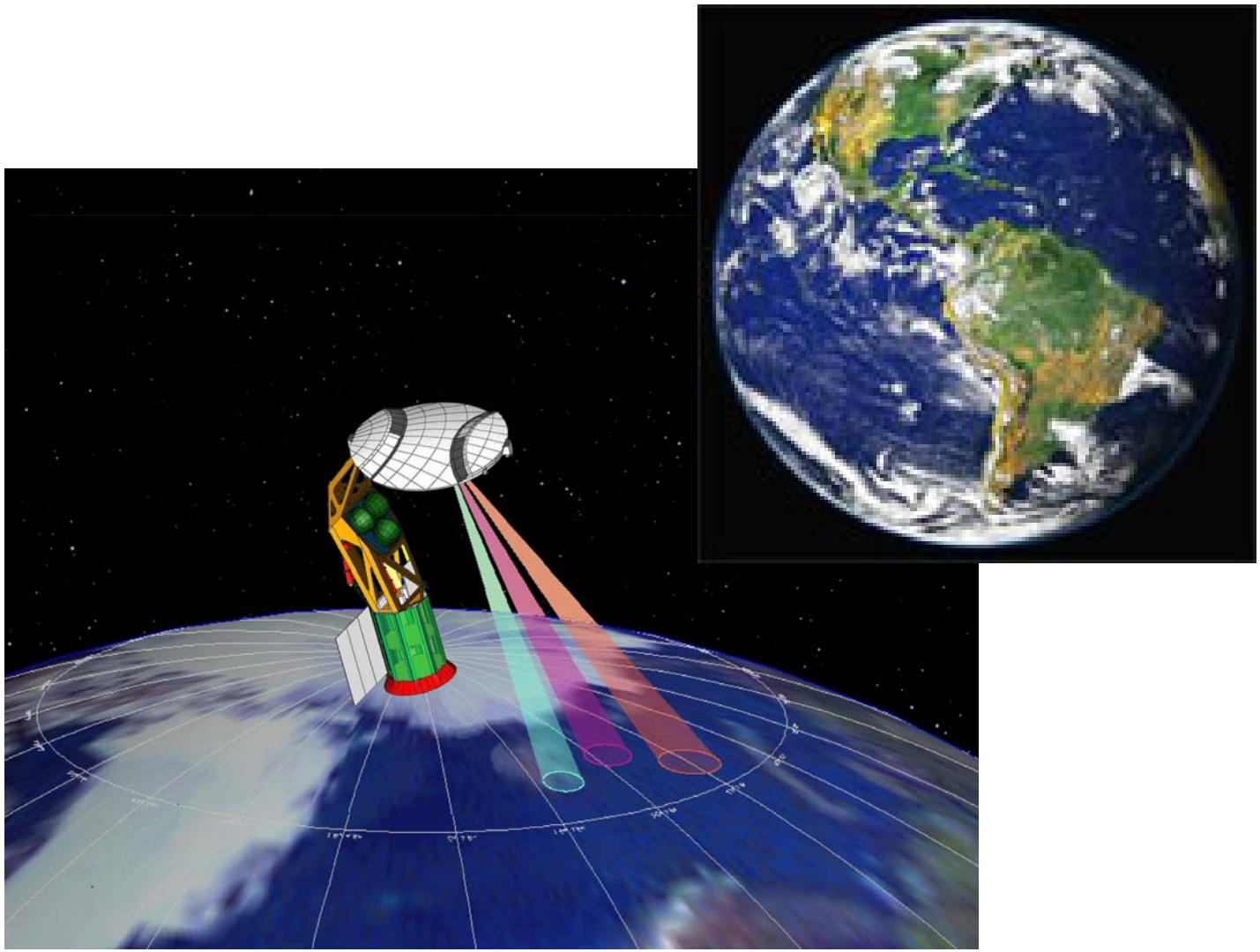
Esplorazione del Sistema Solare

Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

# Grandi distanze


**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

Esplorazione del Sistema Solare

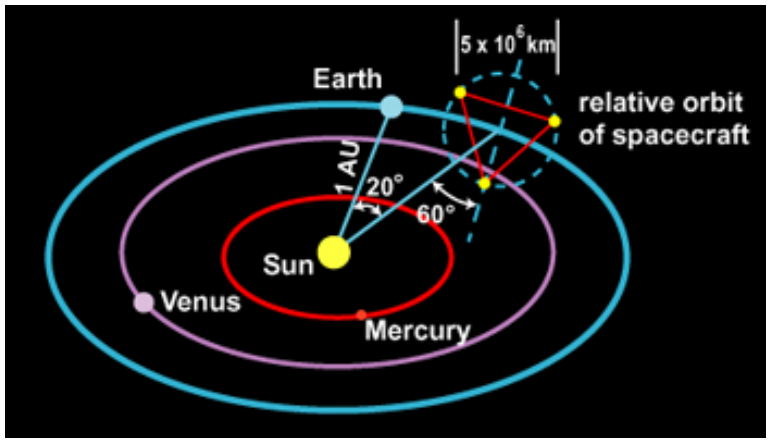
Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

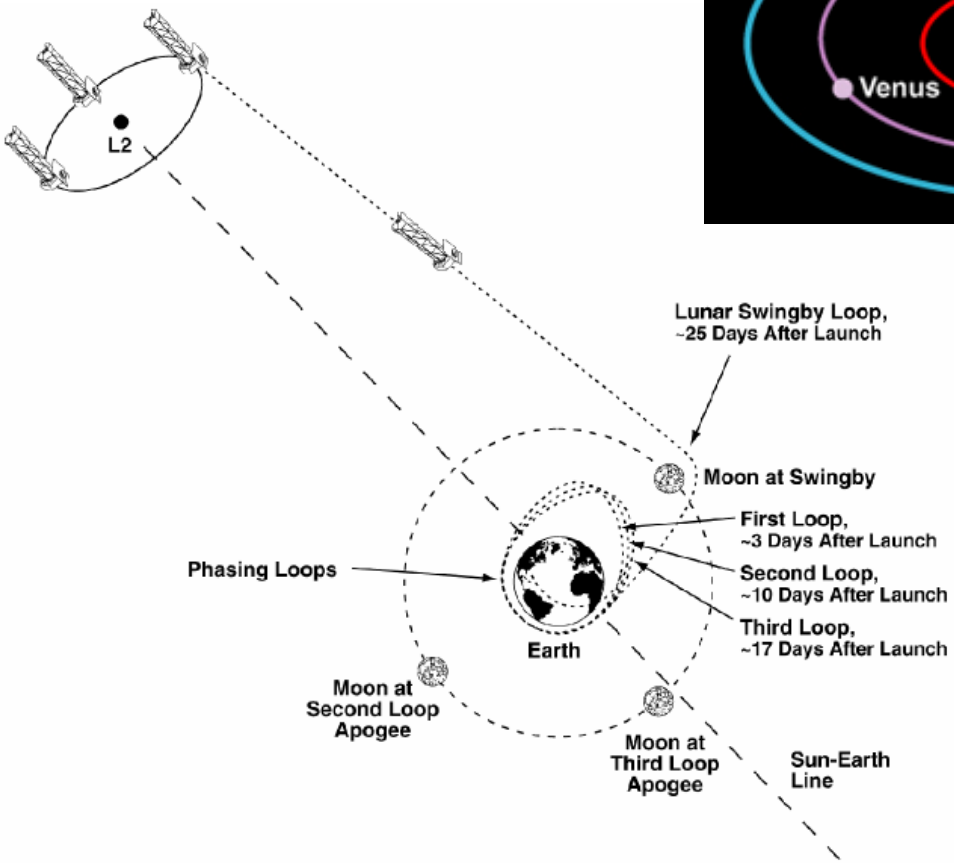
Grandi distanze

Microgravità


LISA




Constellation – X




- Rivelazione di onde gravitazionali
- Altissima risoluzione spaziale
- Immagini ad alto throughput
- Interferometria
- Stereo-imaging

# Microgravità

**Sommario**

Perché lo spazio?

L'atmosfera

Assorbimento atmosferico

Seeing

Luminescenza diffusa

Oltre l'atmosfera…

Esplorazione del Sistema Solare

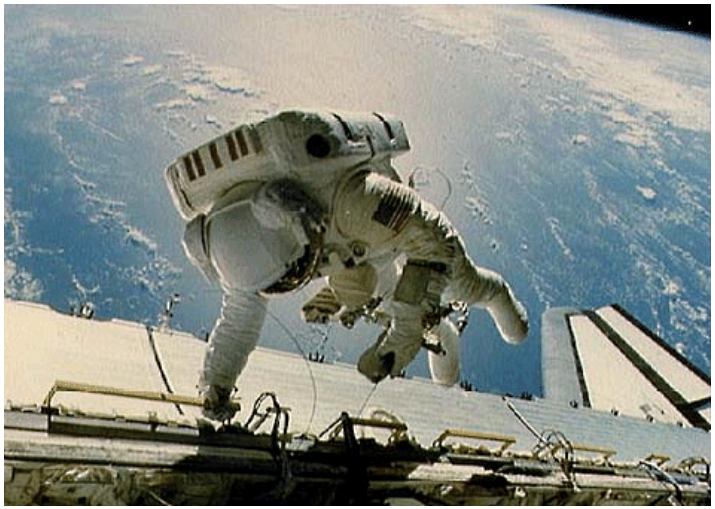
Osservazione dell'Universo

Osservazione della Terra

Grandi distanze

Microgravità

- Molta gente erroneamente pensa che non ci sia gravità al di fuori dell'atmosfera terrestre, perché sembra che non ci sia la gravità a bordo delle stazioni orbitanti. Le altezze tipiche dei voli spaziali variano tra 192 e 576 km al di sopra della superficie terrestre. Il campo gravitazionale è ancora piuttosto intenso in queste regioni, perché ci si trova a solo l'1.8% circa della distanza dalla Luna. Il campo gravitazionale terrestre, a circa 400 km di altezza, ha un'intensità pari all'88.8% di quella alla superficie.
- L'obiettivo degli esperimenti di microgravità è comprendere meglio il ruolo della gravità in un ampio intervallo di processi fisici, come ad esempio la scienza dei materiali, l'alimentazione elettrica, la propulsione, la combustione, la fisica dei fluidi, la fisica dei plasmi, etc.



Esperimenti in microgravità

- Fisica dei fluidi
- Fisica dei plasmi
- Fisica fondamentale
- Combustione
- Biotecnologie
- Materiali
- Propulsione
- Fisiologia umana