

I fisici e il GPS

Paolo Mastroserio



Lega Navale Italiana
Sez. di Napoli

Lega Navale Italiana – Sez. di Napoli



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Sezione di Napoli

Dipartimento di Fisica Ettore Pancini

Università di Napoli Federico II



Lancio su satellite artificiale esperimento Pamela

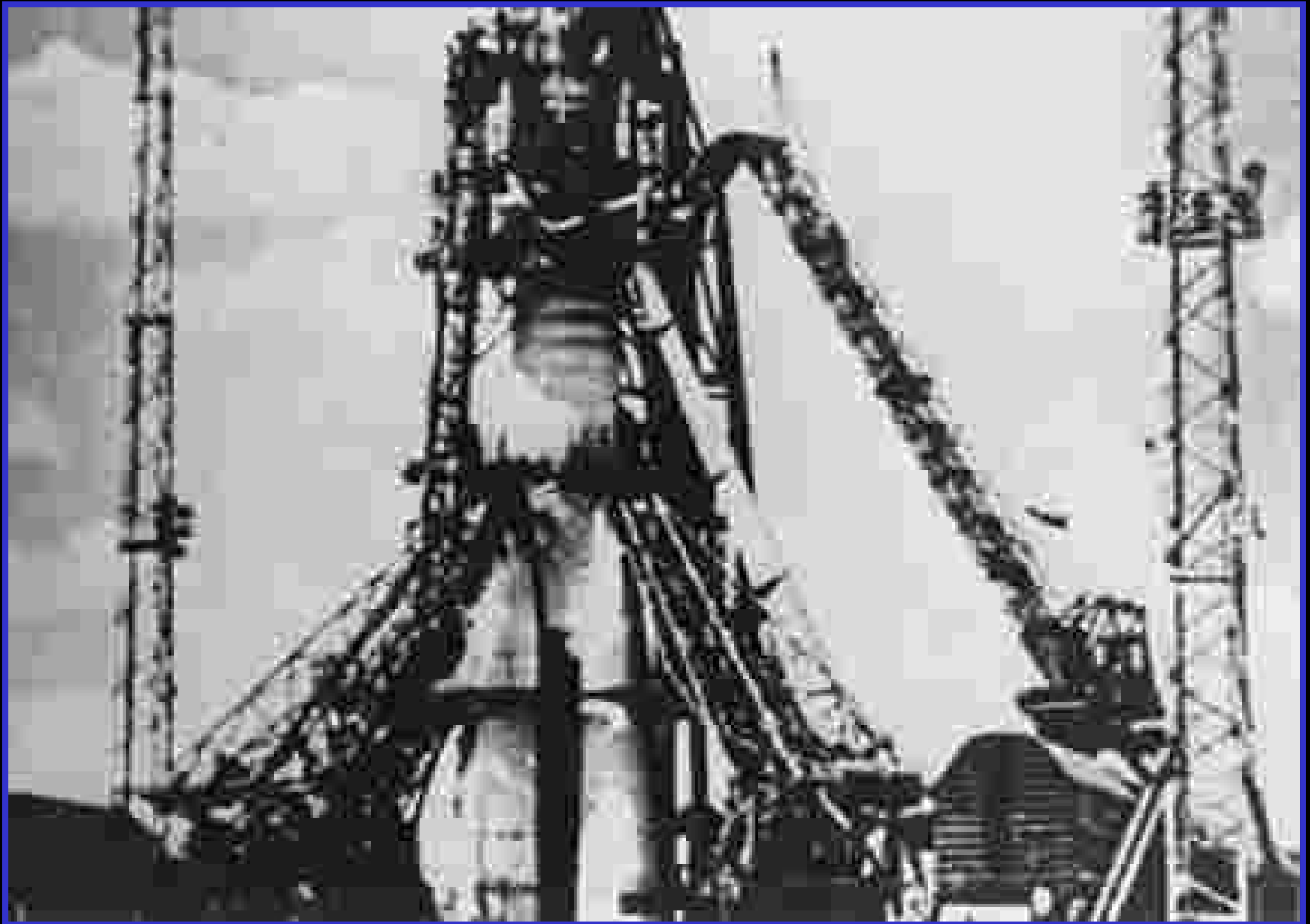


Quando è stato mandato in orbita il primo satellite artificiale ?

Il 4 ottobre 1957, in piena guerra fredda, l'Unione Sovietica effettua il lancio dello SPUTNIK, il primo satellite al mondo messo in orbita attorno alla terra; viaggiò a una quota media di 577 Km a una velocità di 8 Km/s.



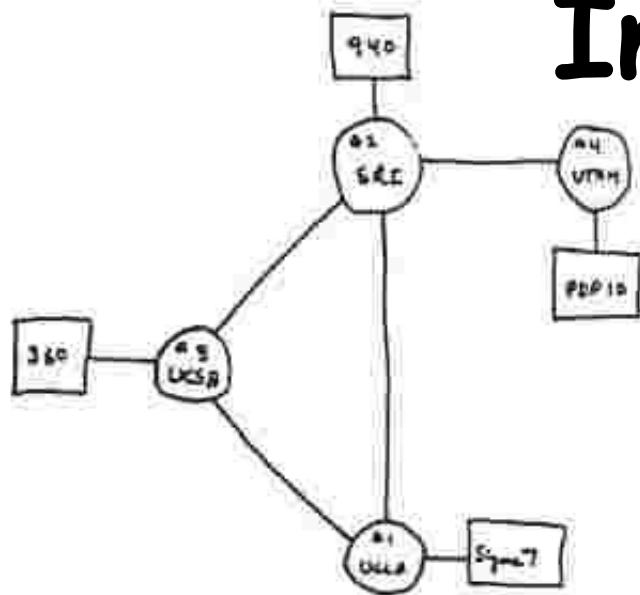
La rampa di lancio dello SPUTNIK



Le prime missioni spaziali



Internet



THE ARPA NETWORK

DEC 1969

4 NODES

FIGURE 6.2 Drawing of 4 Node Network.
(Courtesy of Alex McKenzie)

e i sistemi di posizionamento



Foto: ESA

hanno una comune origine:

le missioni spaziali



Transit

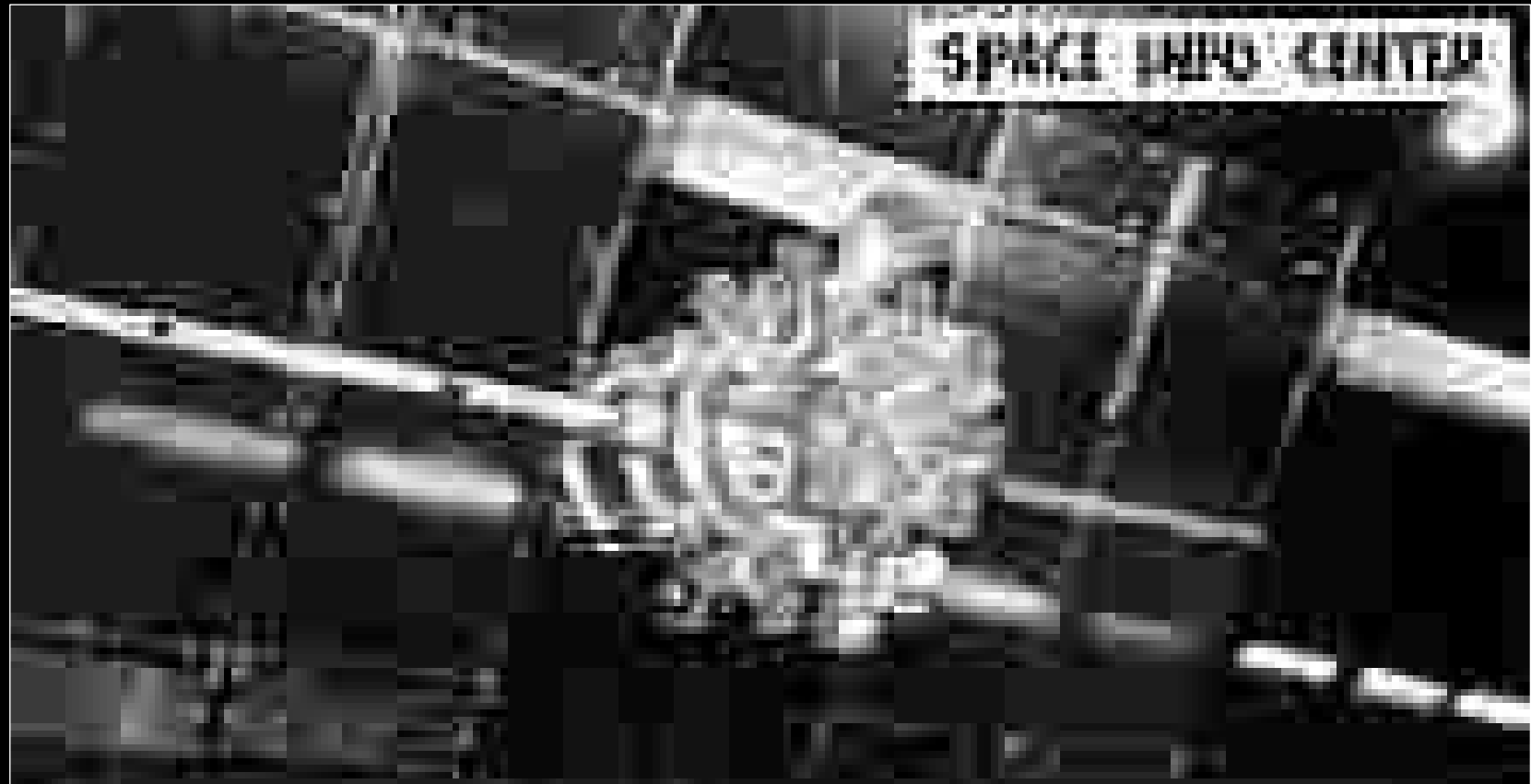
Flotta di satelliti statunitensi

Primo sistema nato per consentire a navi e a sommergibili di determinare la propria posizione in mare e in qualsiasi condizione meteorologica

- 1959, primo satellite, lancio fallito
- 1960, secondo satellite, lancio riuscito
- 1967, erano 6 satelliti e fu reso disponibile all'uso civile
- 1996, si chiuse il servizio



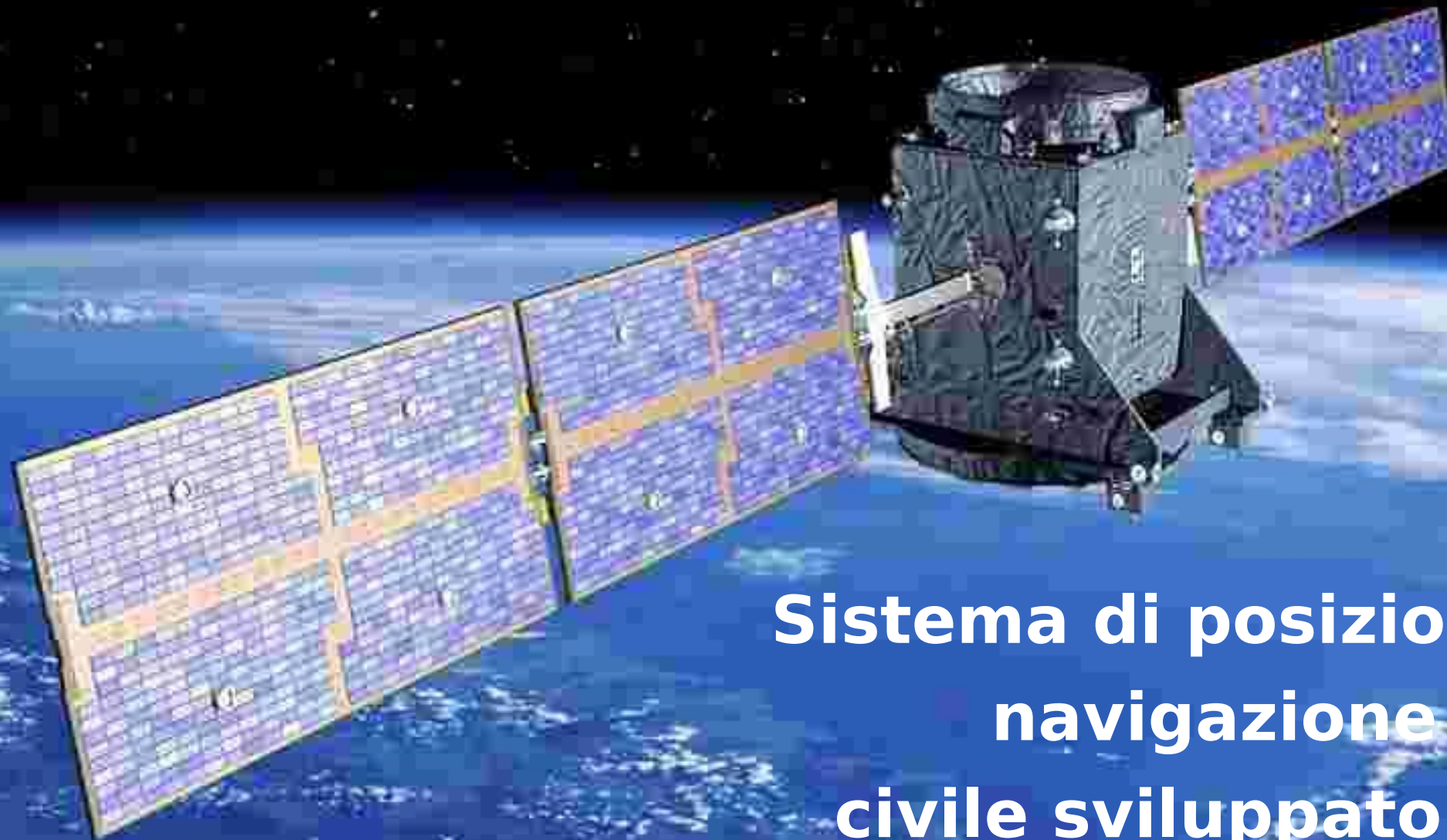
GLONASS



**Global'naja Navigacionnaja
Sputnikovaja Sistema**

**Sistema satellitare globale di
navigazione gestito dalle Forze
Spaziali Russe**

Galileo



**Sistema di posizionamento e
navigazione satellitare
civile sviluppato in Europa**

Foto: ESA

Il GPS

Global Positioning System



Sistema di posizionamento e navigazione satellitare sviluppato dagli USA a partire dal 1973 in sostituzione del Transit.

Negli anni '90 fu aperto per gli usi civili

Vogliamo costruire un GPS?

Gli esperimenti si fanno sempre prima a terra e poi si portano nello spazio!

Occorrente:

- **tre antenne della Telecom sparse per Fuorigrotta**
- **un telefonino con a bordo il software del GPS**

Mappa di Fuorigrotta



**Antenna presso l'incrocio
via Terracina, via Agnano-Astroni.
Segnale partito alle ore 12.00**

**Antenna presso
l'Eremo dei Camaldoli.
Segnale partito alle ore 12.00**

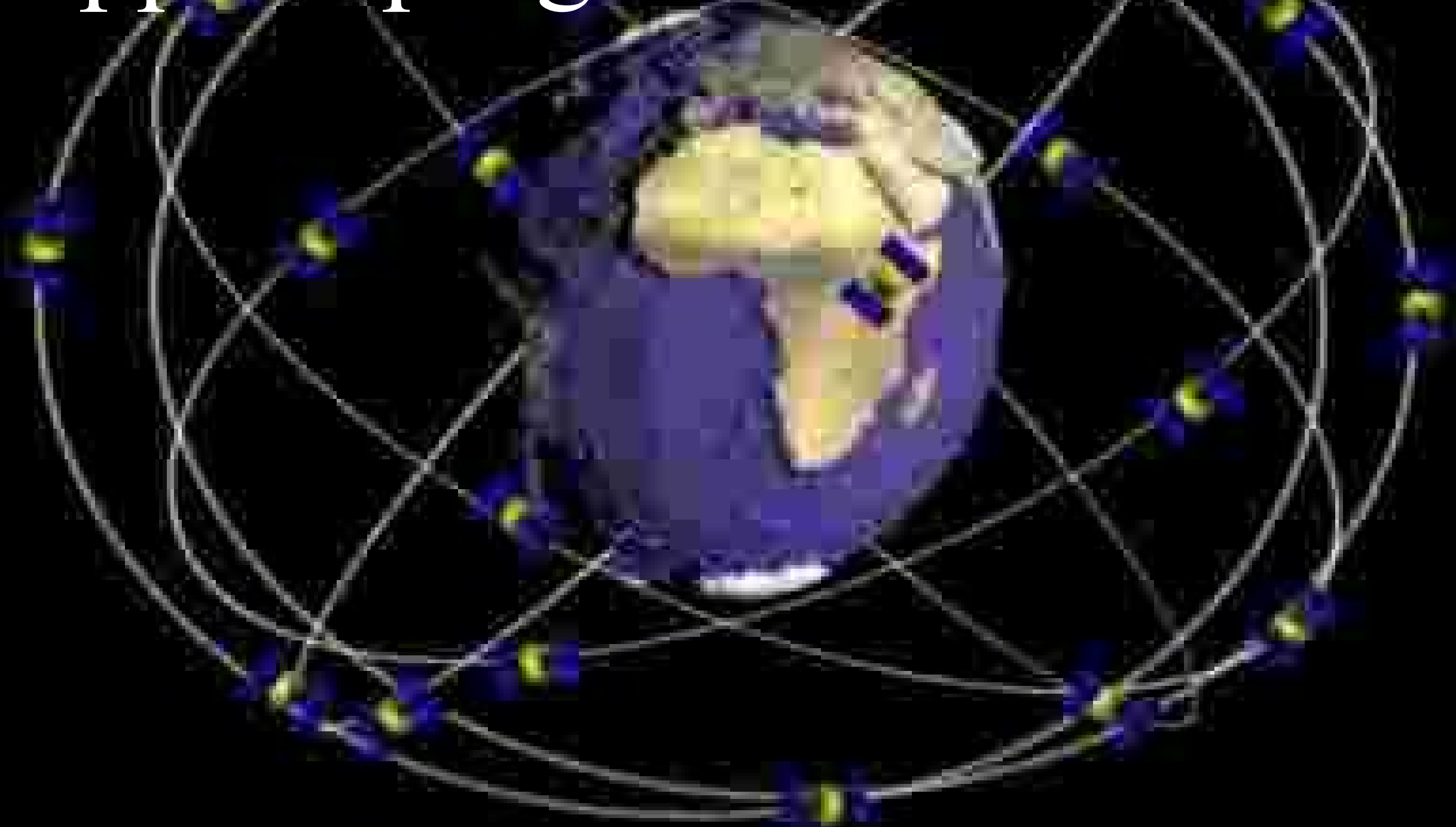


**Antenna
via Giustina
Segnale partito alle ore 12.00**

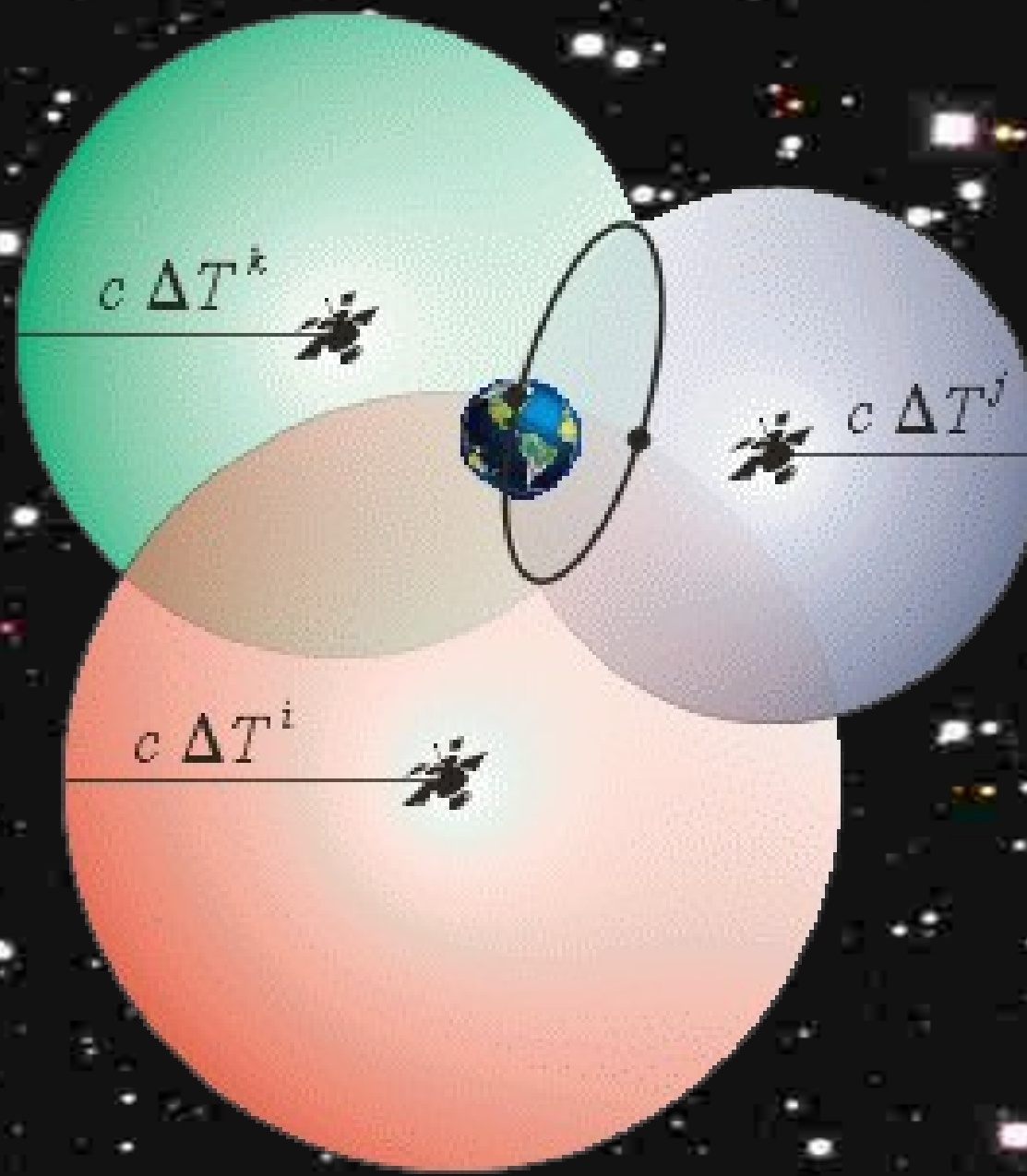
**Tu sei nel
Complesso
Universitario
di M.S.Angelo**

1,9 Km

Allora, mettiamo gli apparati appena progettati sui satelliti?



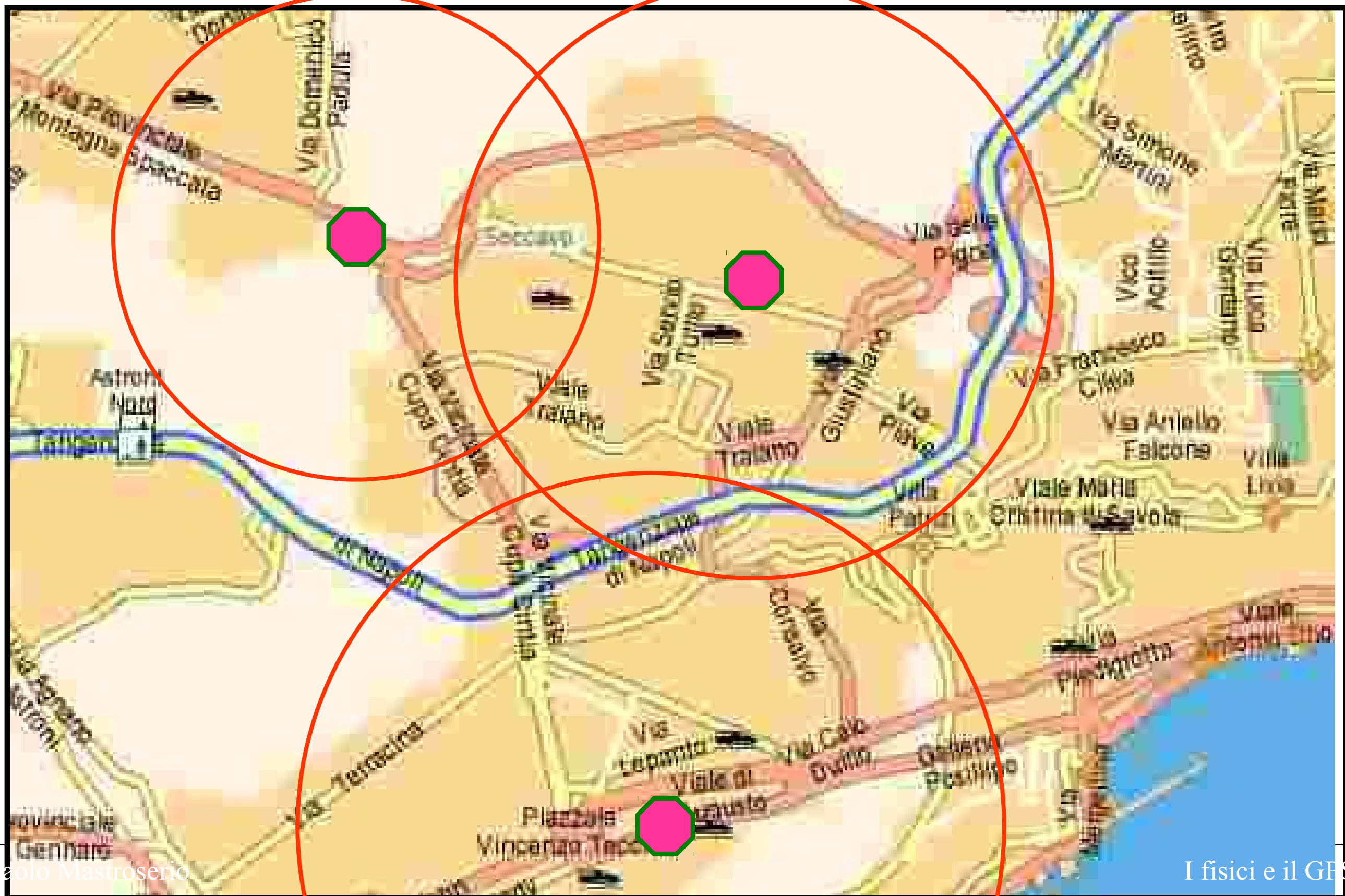
Sul satellite la tecnica è analoga,
si deve solo passare da 2D a 3D.





SORPRESA!!!

Il sistema GPS appena progettato, se montato sul satellite non funziona!



Con quale precisione abbiamo misurato il tempo?

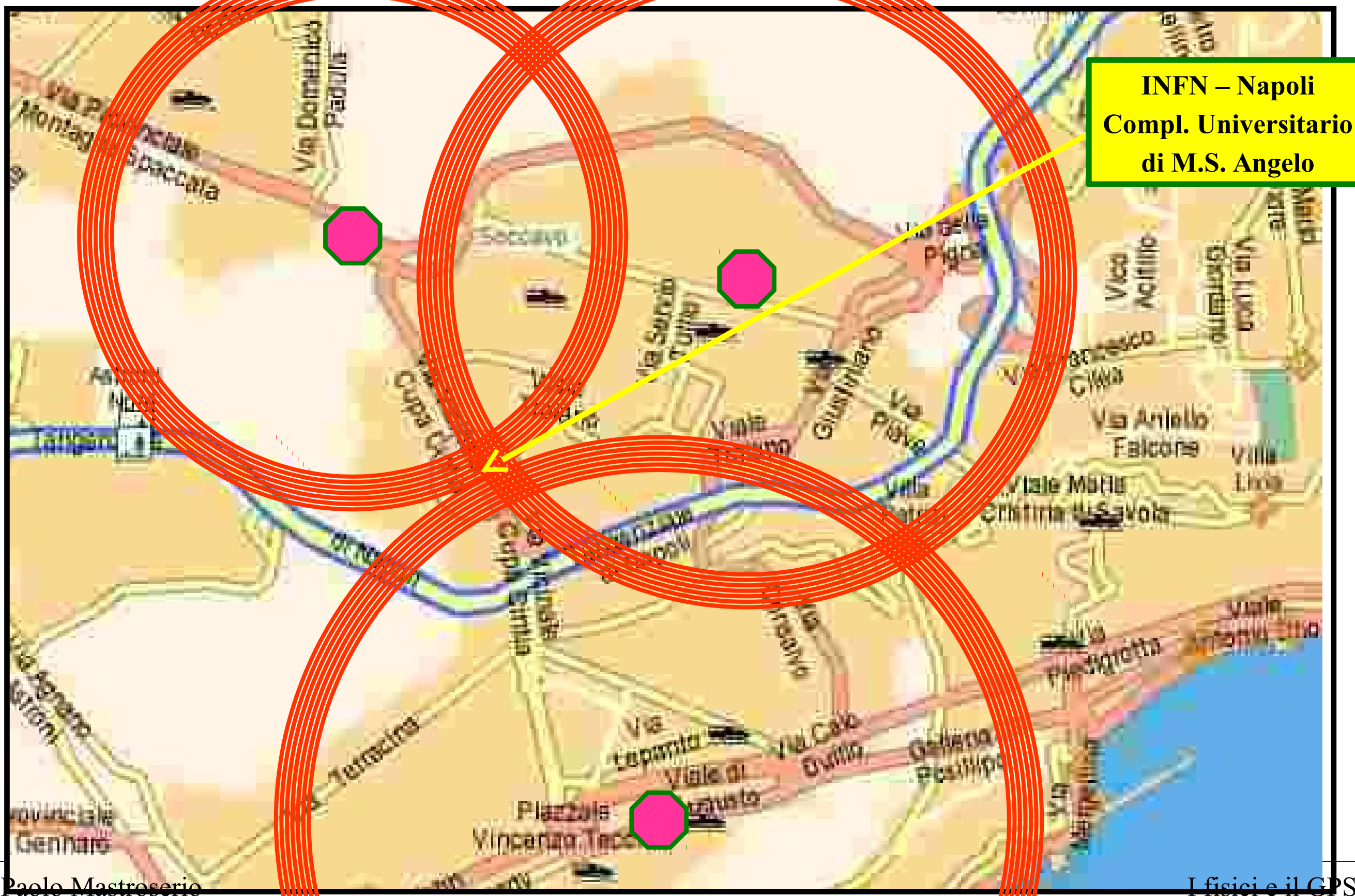
- I satelliti hanno a bordo sofisticati orologi **atomici al cesio** che sono:
 - molto costosi e
 - molto precisi!
- I telefonini hanno a bordo normali orologi al **quarzo** che sono
 - poco costosi ma
 - poco precisi!

Se tra gli orologi sul satellite
e quello a terra c'è una differenza pari a...
un centesimo di milionesimo di secondo ...

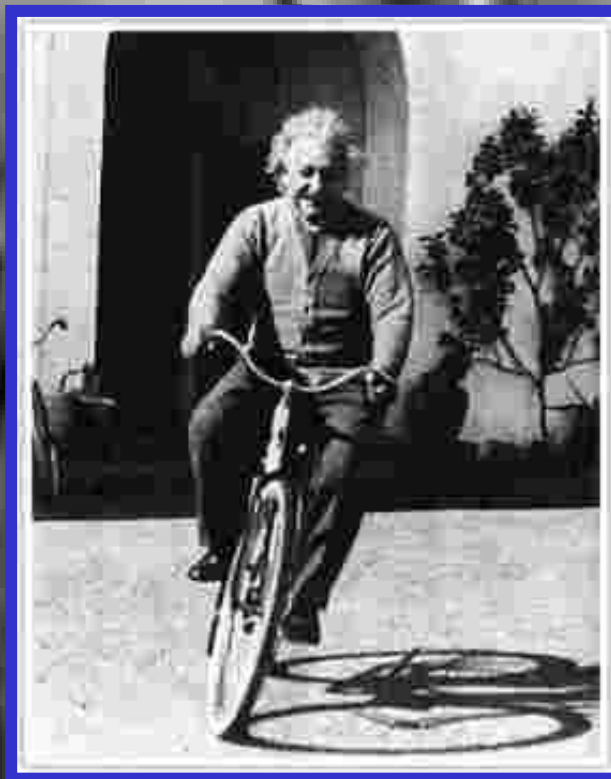
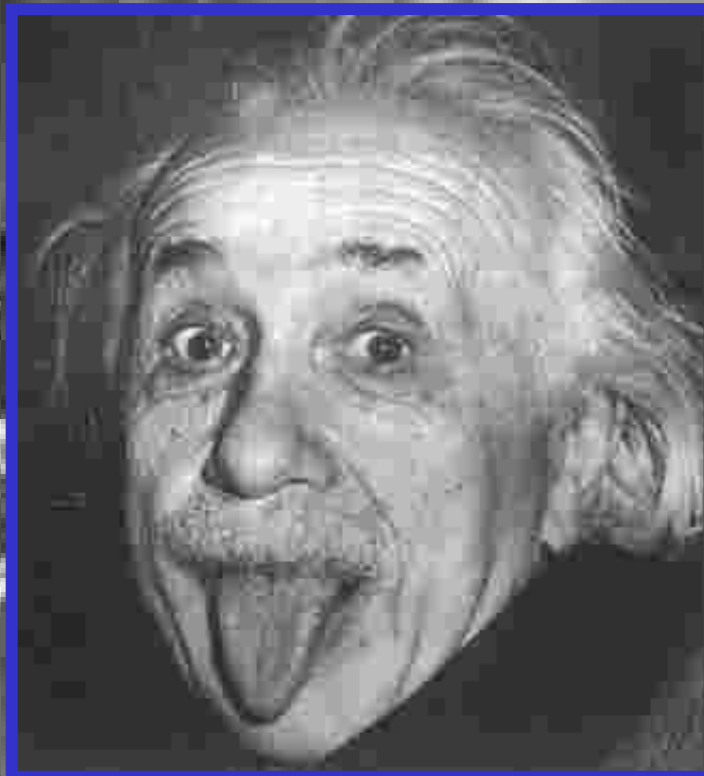
per ogni triangolazione
si commetterà un errore pari a ...

3 Km!!!

Correggendo l'orario degli orologi a terra, le lunghezze dei raggi precedentemente calcolati diventano...



Gli errori però non
sono finiti, alcuni li
abbiamo potuti
risolvere anche noi,
per altri c'è voluto
l'intervento di ...



Albert Einstein

Andiamo in una splendida città universitaria: Tubingen



E ora guardiamo e ascoltiamo questa animazione



La relatività speciale di Albert Einstein

Chi si mette a correre a velocità vicine a quelle della luce vedrà ...

lo spazio deformarsi e ...



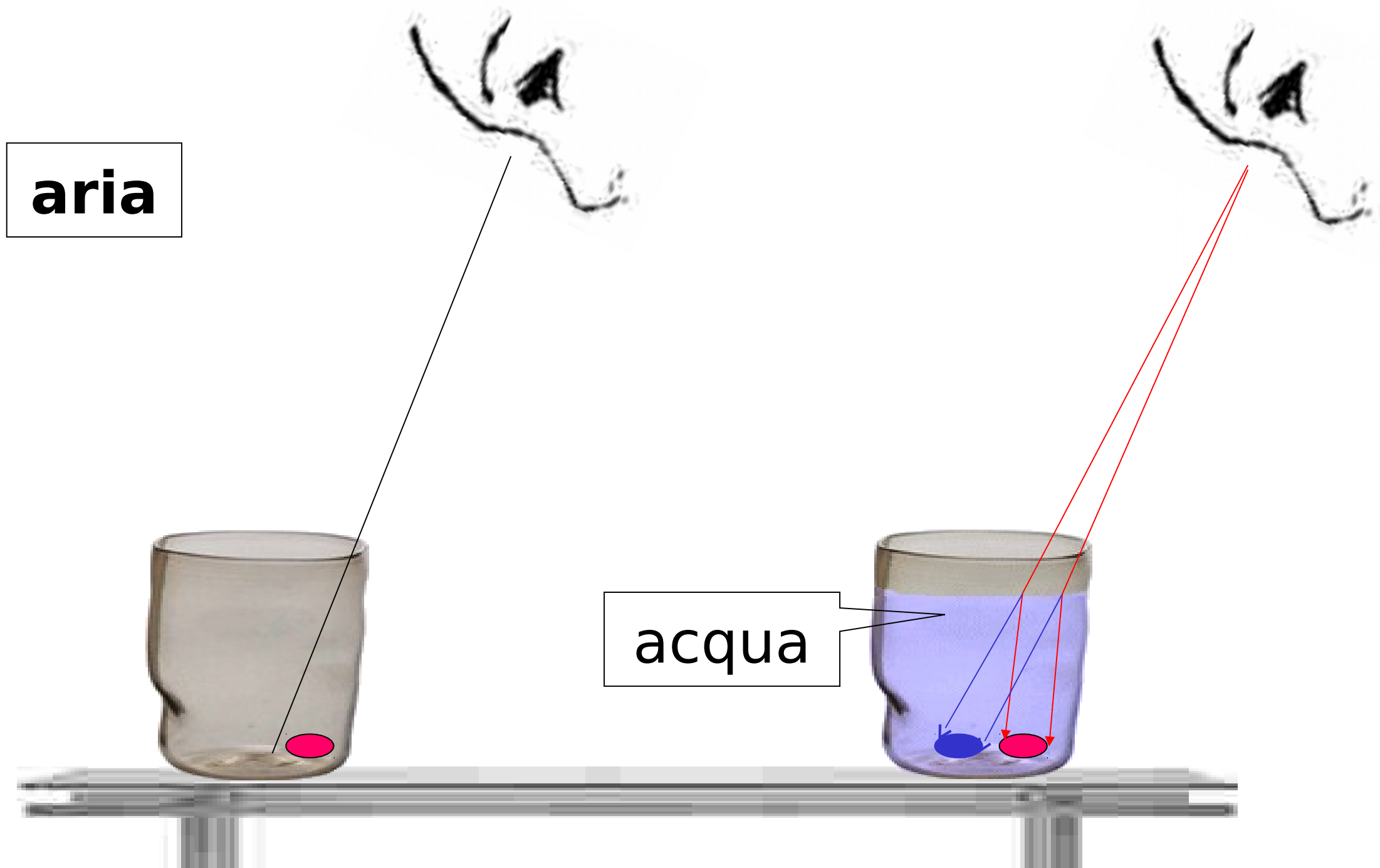
**... il tempo scorre più
lentamente rispetto a chi sta fermo!**

C'è ancora qualche
errore da
correggere!

Brocca



Il fenomeno della rifrazione



- La luce, nel passare da un mezzo ottico ad un altro (aria, acqua, vetro, ecc.) subisce una **deviazione**
- per la trattazione matematica si utilizzano strumenti matematici tradizionali quali la **geometria euclidea e la trigonometria**

Rifrazione

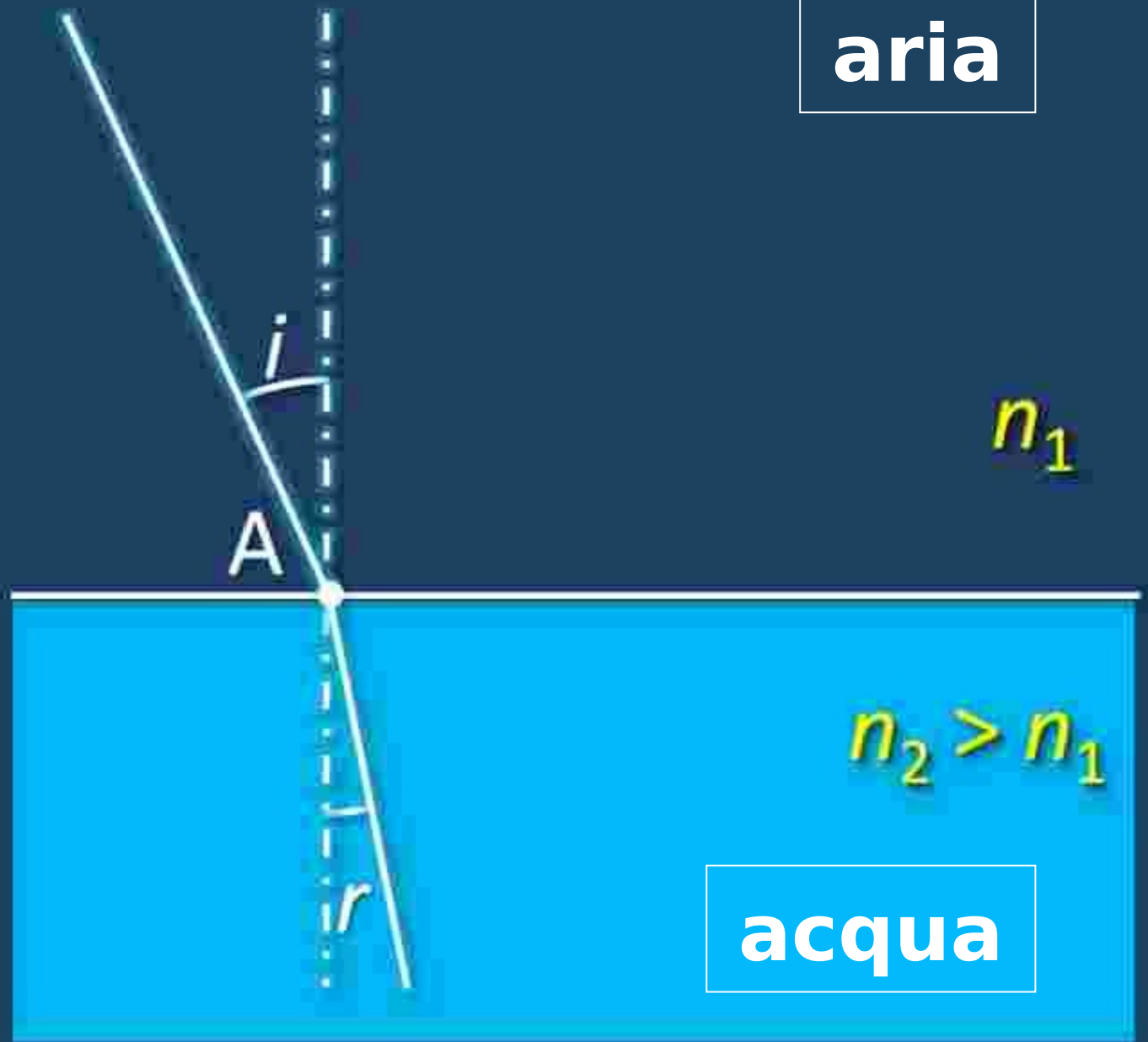
aria

n_1

A

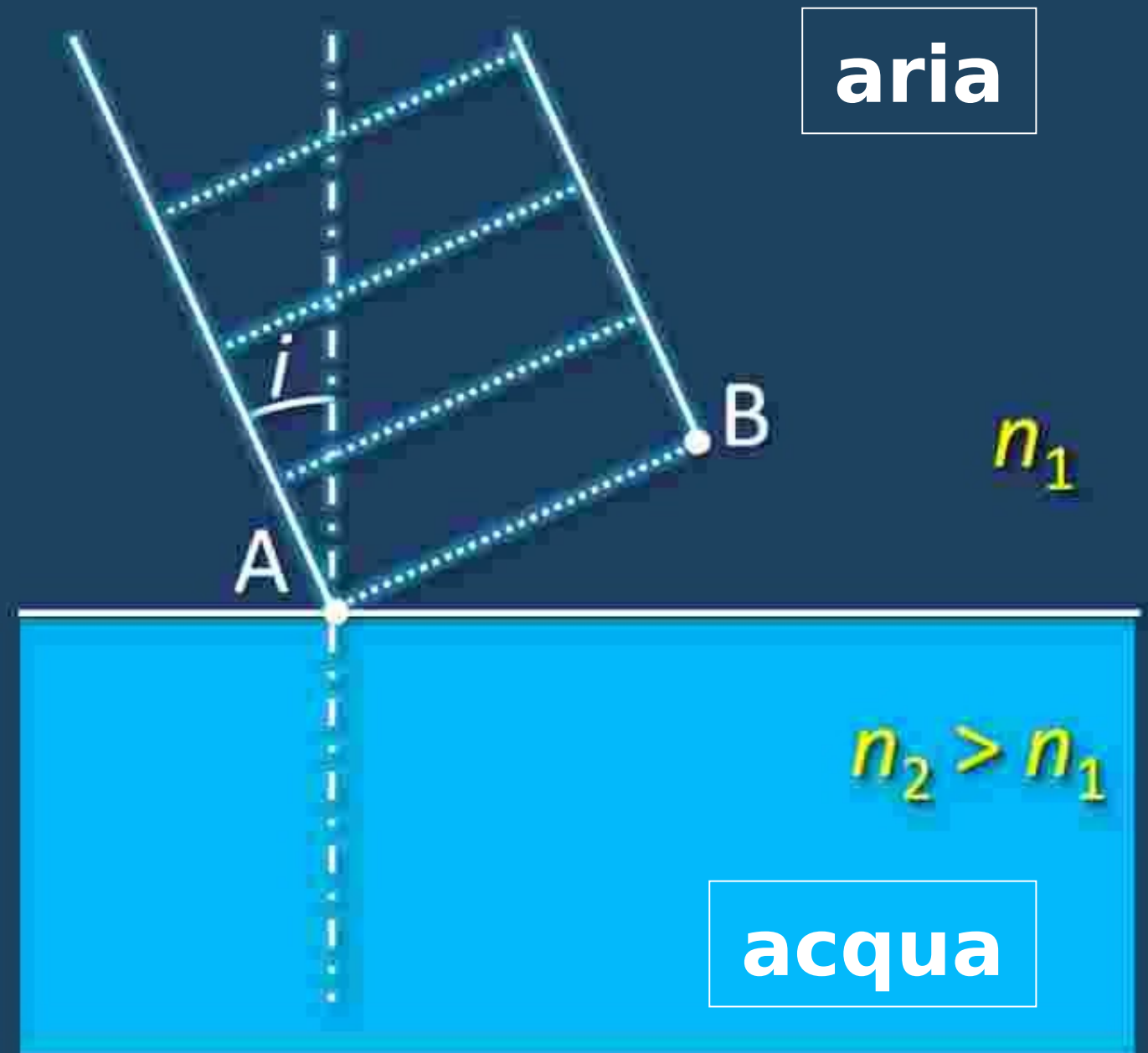
$n_2 > n_1$

acqua



Il raggio incidente viene deviato

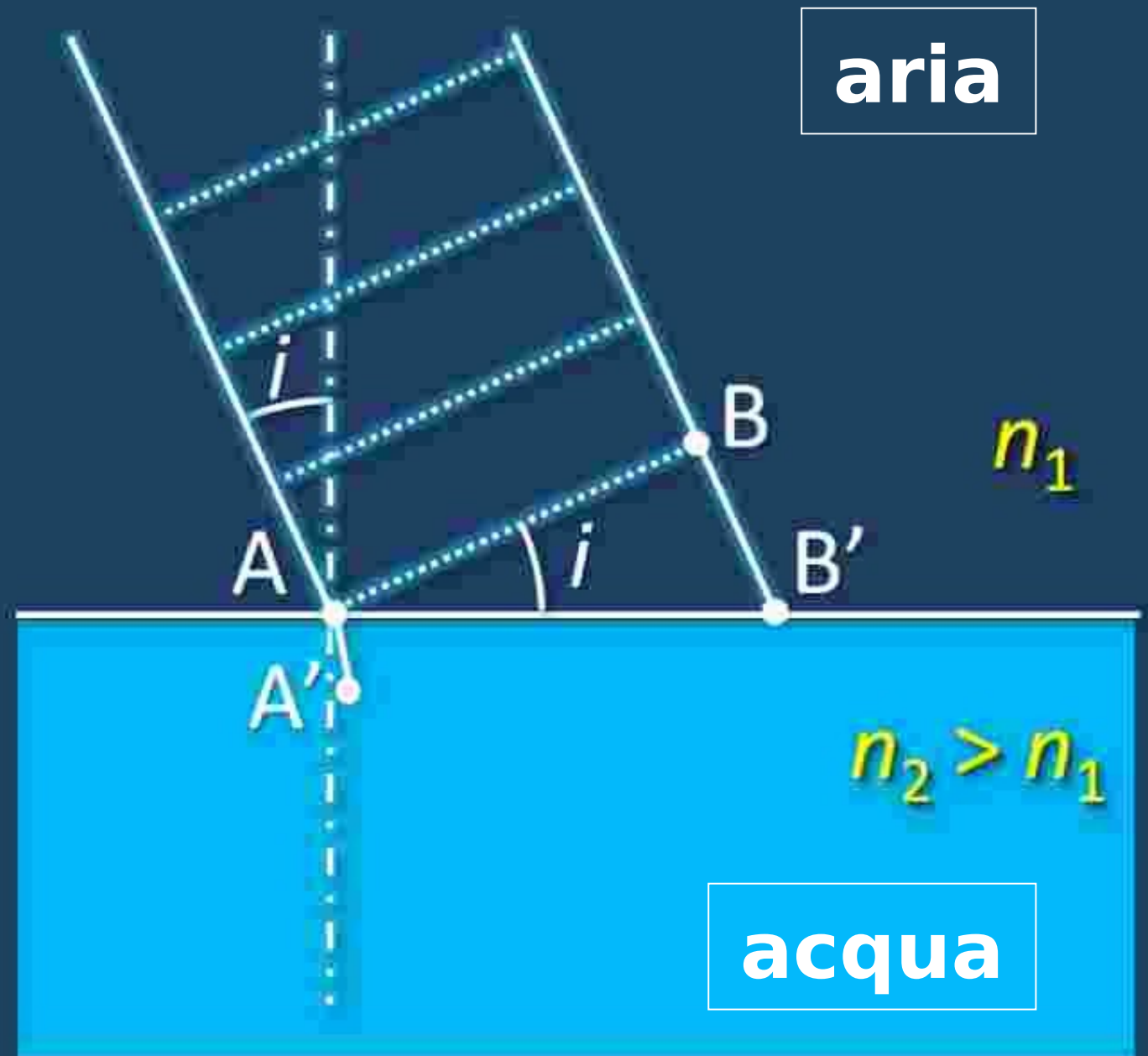
Rifrazione



Ora consideriamo il fronte d'onda AB

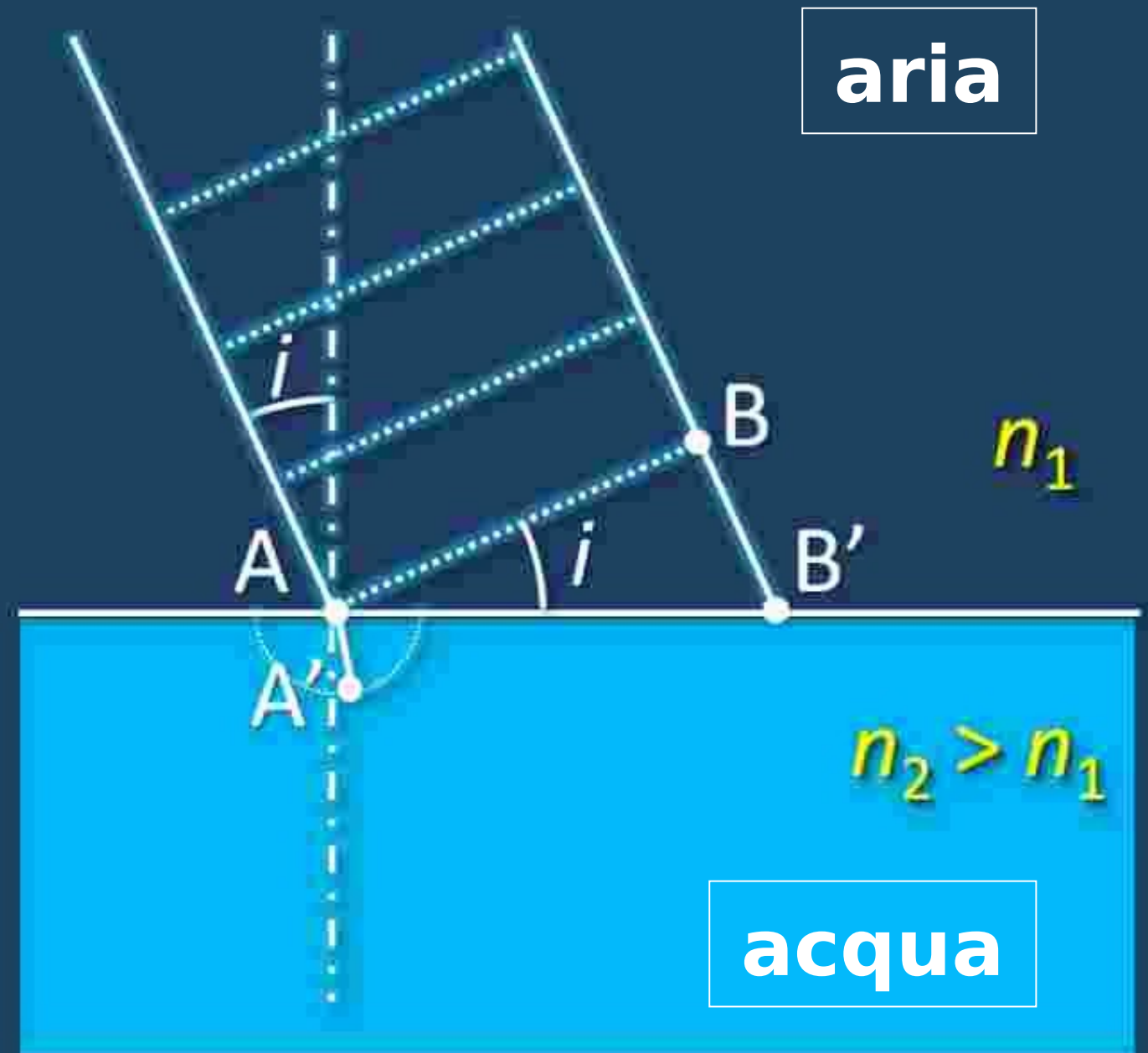
Rifrazione

Nell'acqua la velocità della luce rallenta



Rifrazione

Il principio di Huygens-Fresnel:

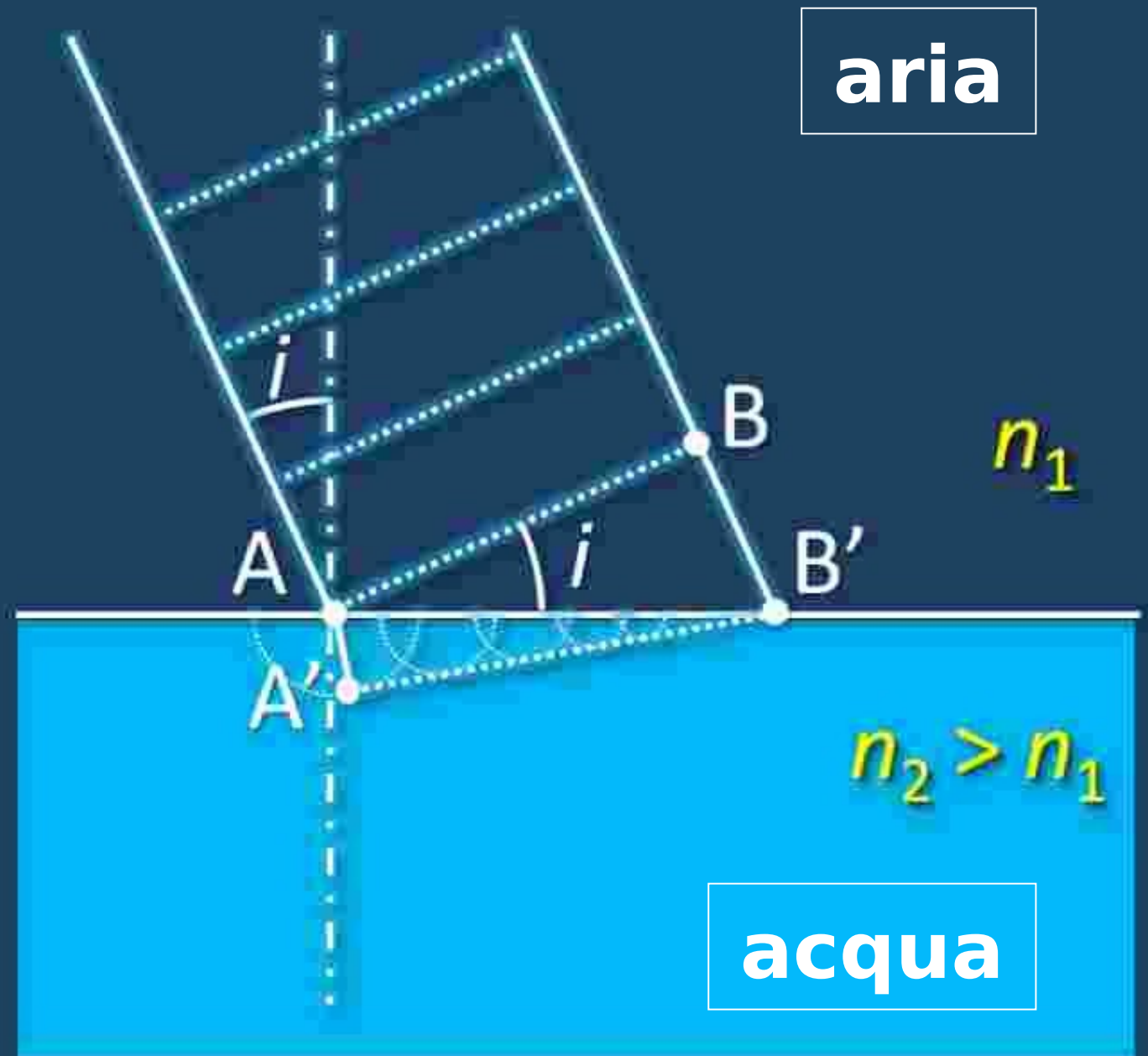


Rifrazione

Il principio di Huygens-Fresnel:

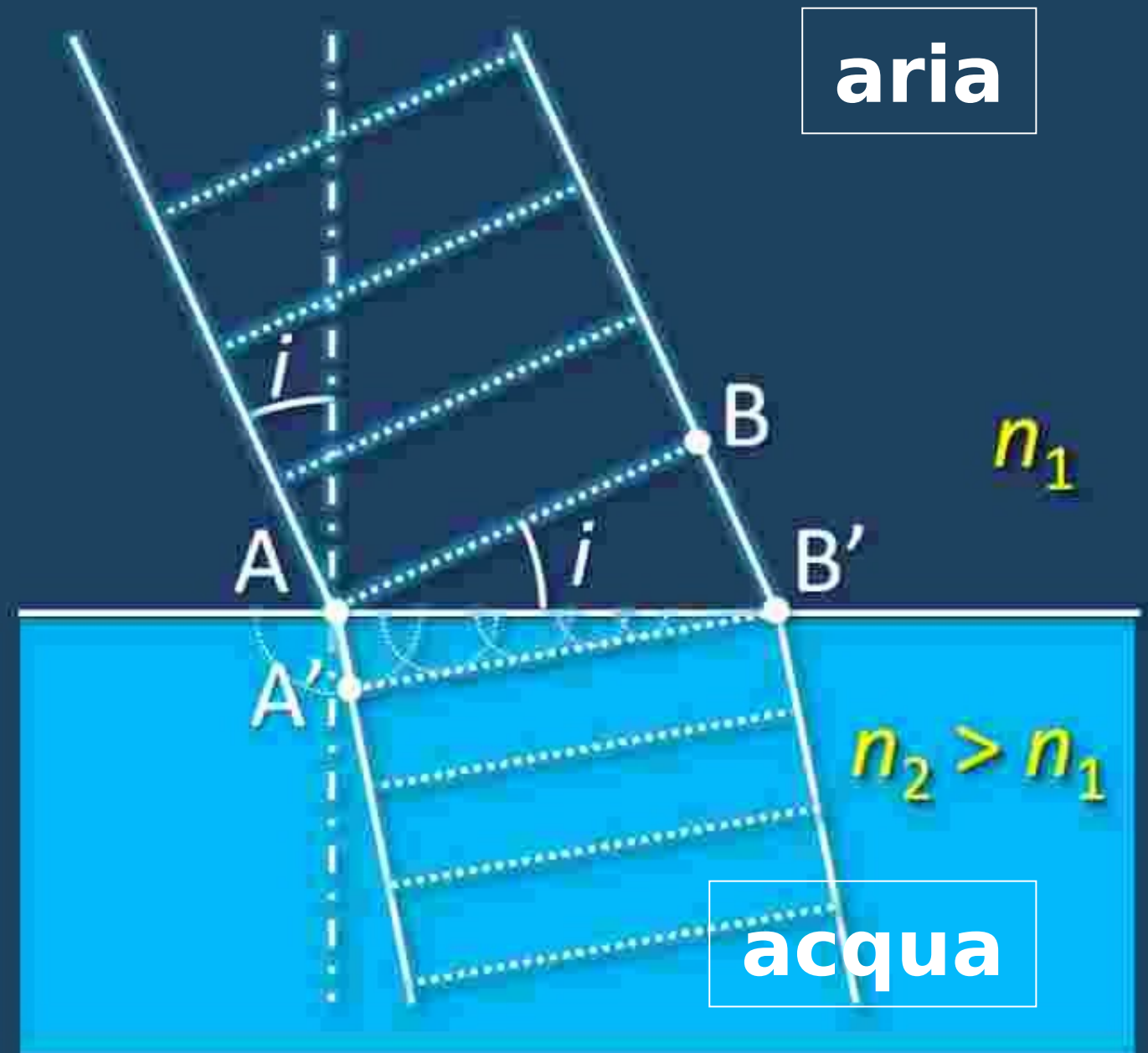
ogni elemento di un fronte d'onda lo si può considerare come una

sorgente secondaria di onde sferiche



Rifrazione

**Il fronte d'onda
prosegue
il suo cammino
nell'acqua con un
angolo diverso
da quello di incidenza**

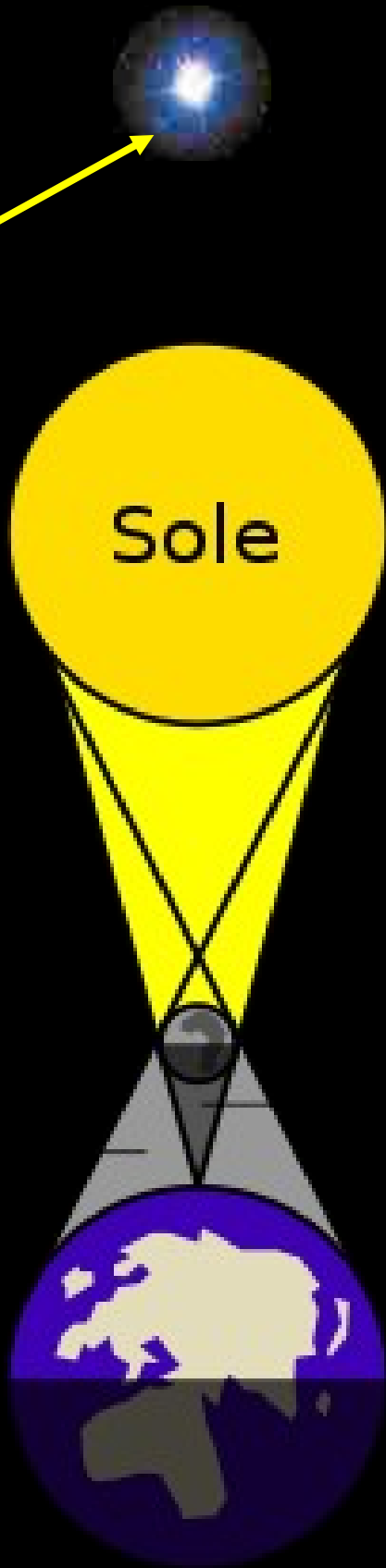


**Supponiamo di voler
osservare dalla terra
una stella che si trova
al di là del sole ...**



Ecclissi di sole

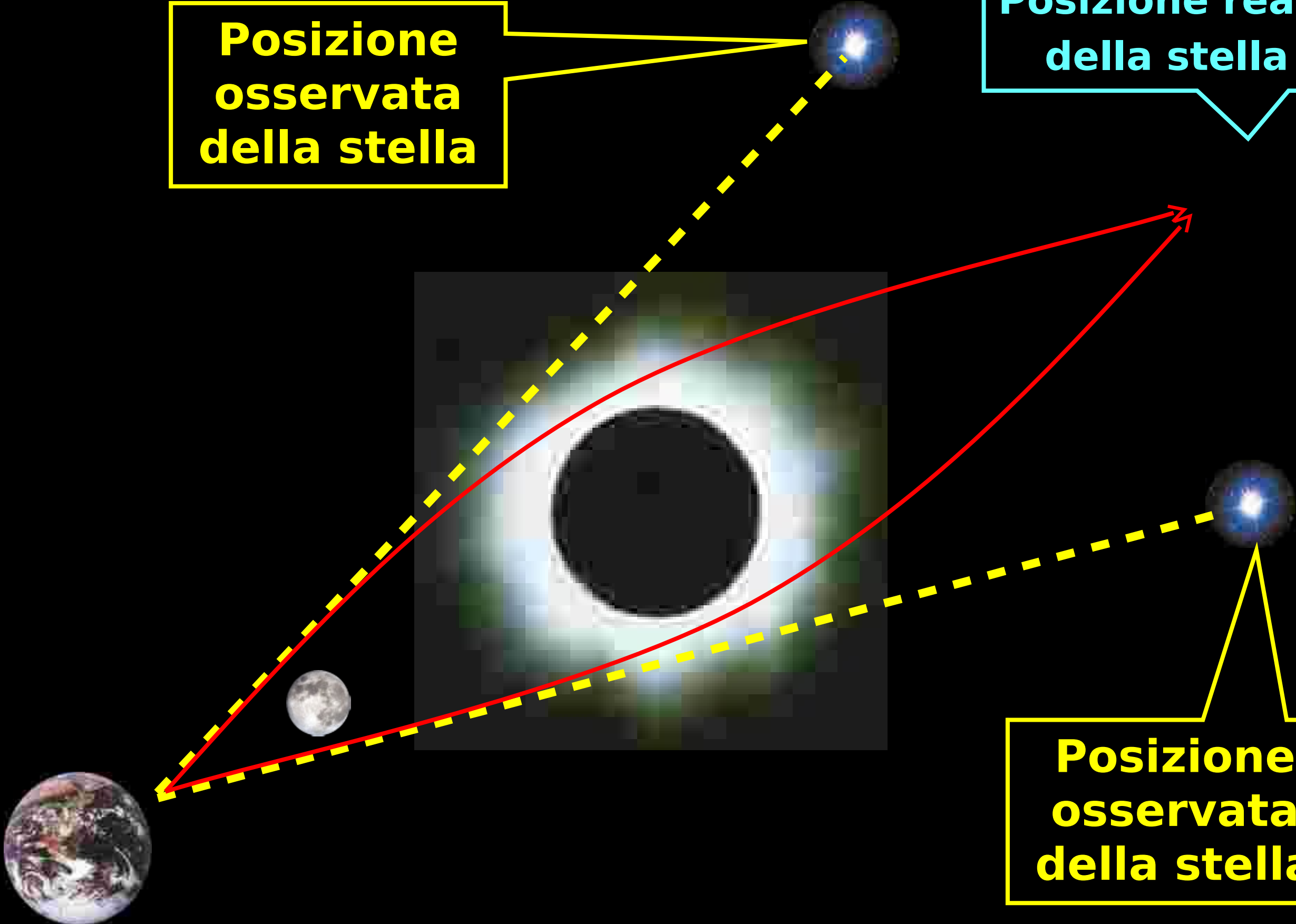
stella



Terra

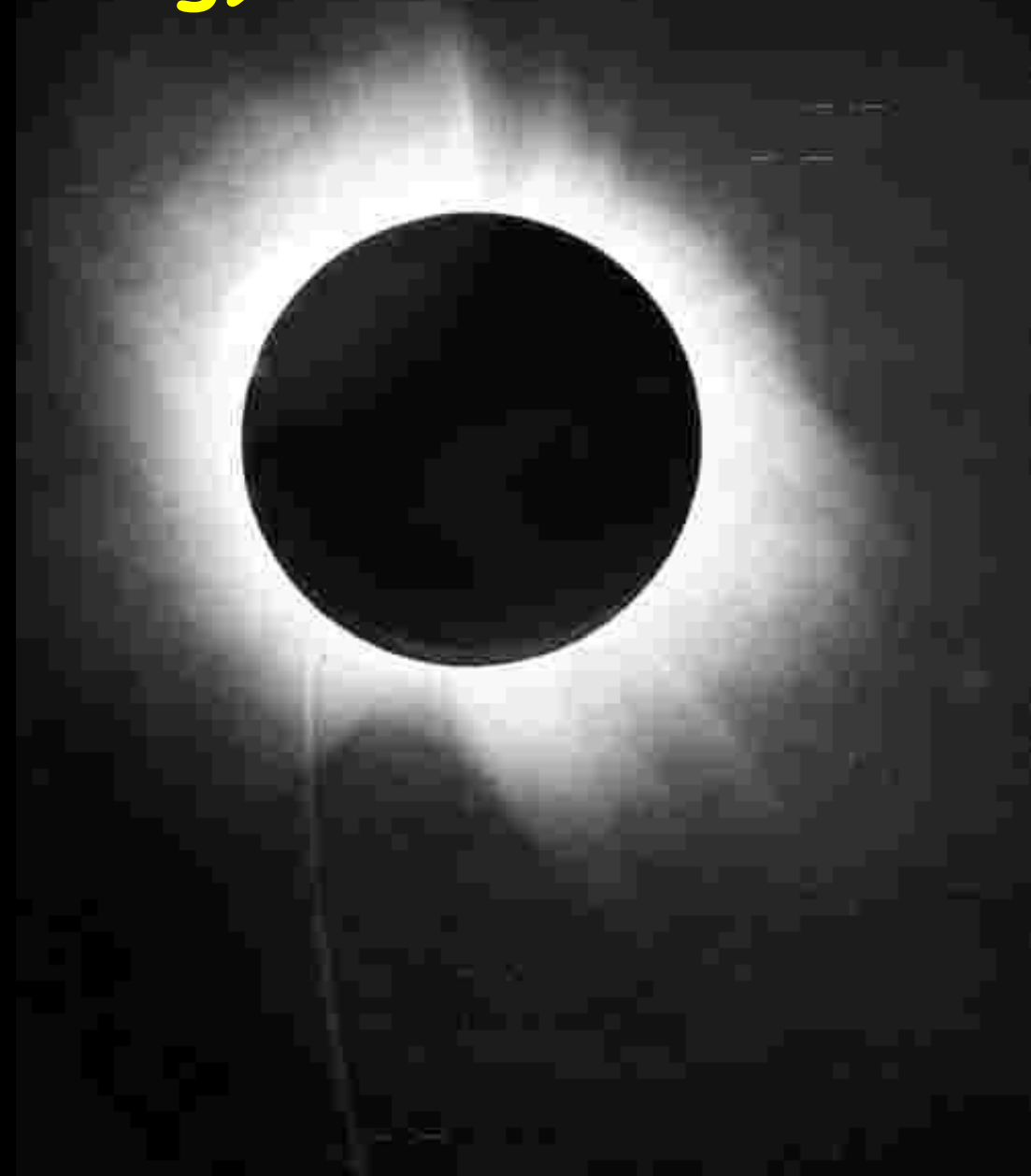
Posizione osservata della stella

Posizione reale della stella



Posizione osservata della stella

Questo effetto si chiama LENTE GRAVITAZIONALE (Gravitational Lensing)



Una delle foto scattate nel **1919** da
Sir Arthur Stanley Eddington
durante l'esperimento effettuato a São Tomé in Africa

Altri ... scherzi delle lenti gravitazionali

Guardiamo alcune immagini

ottenute con potenti telescopi

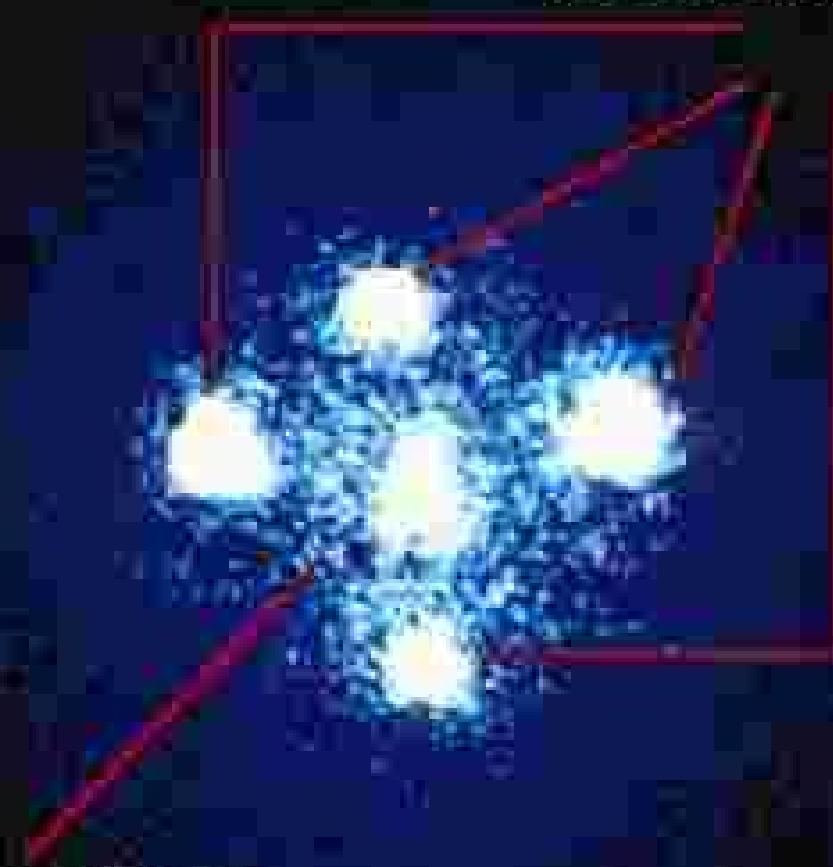
quattro immagini virtuali

La croce di Einstein



Galassia distante
400 ml di anni luce
dalla terra rende
visibile in 4 immagini
un quasar (galassia
molto luminosa)
distante
8 miliardi di anni luce

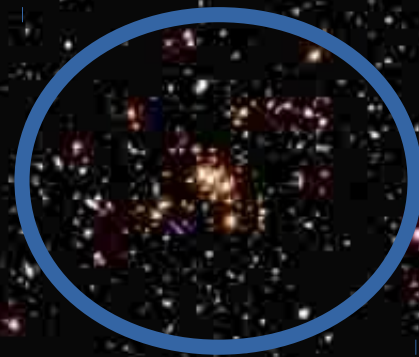
Quattro immagini apparenti
di un unico quasar



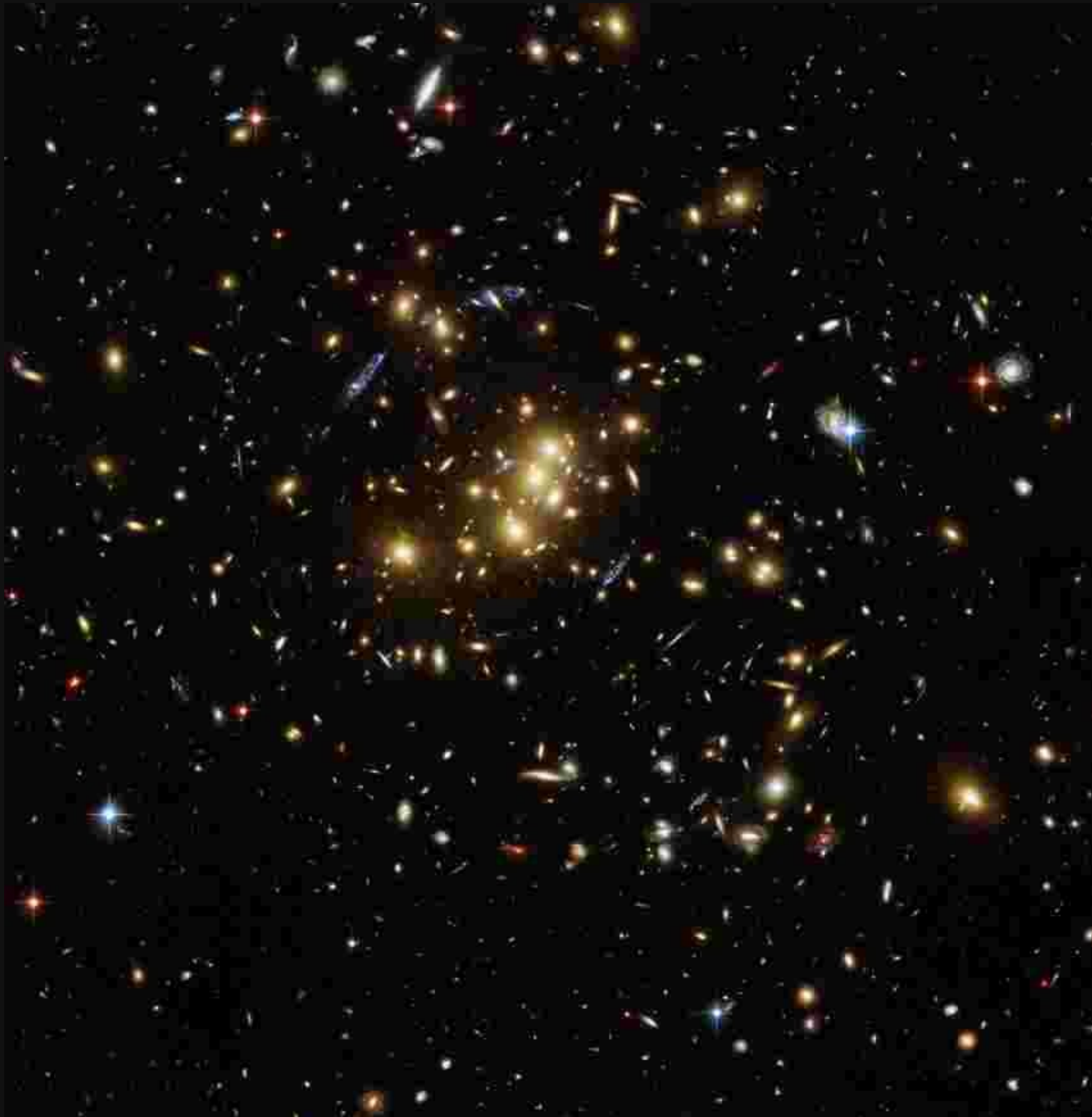
Lente gravitazionale
(una galassia)

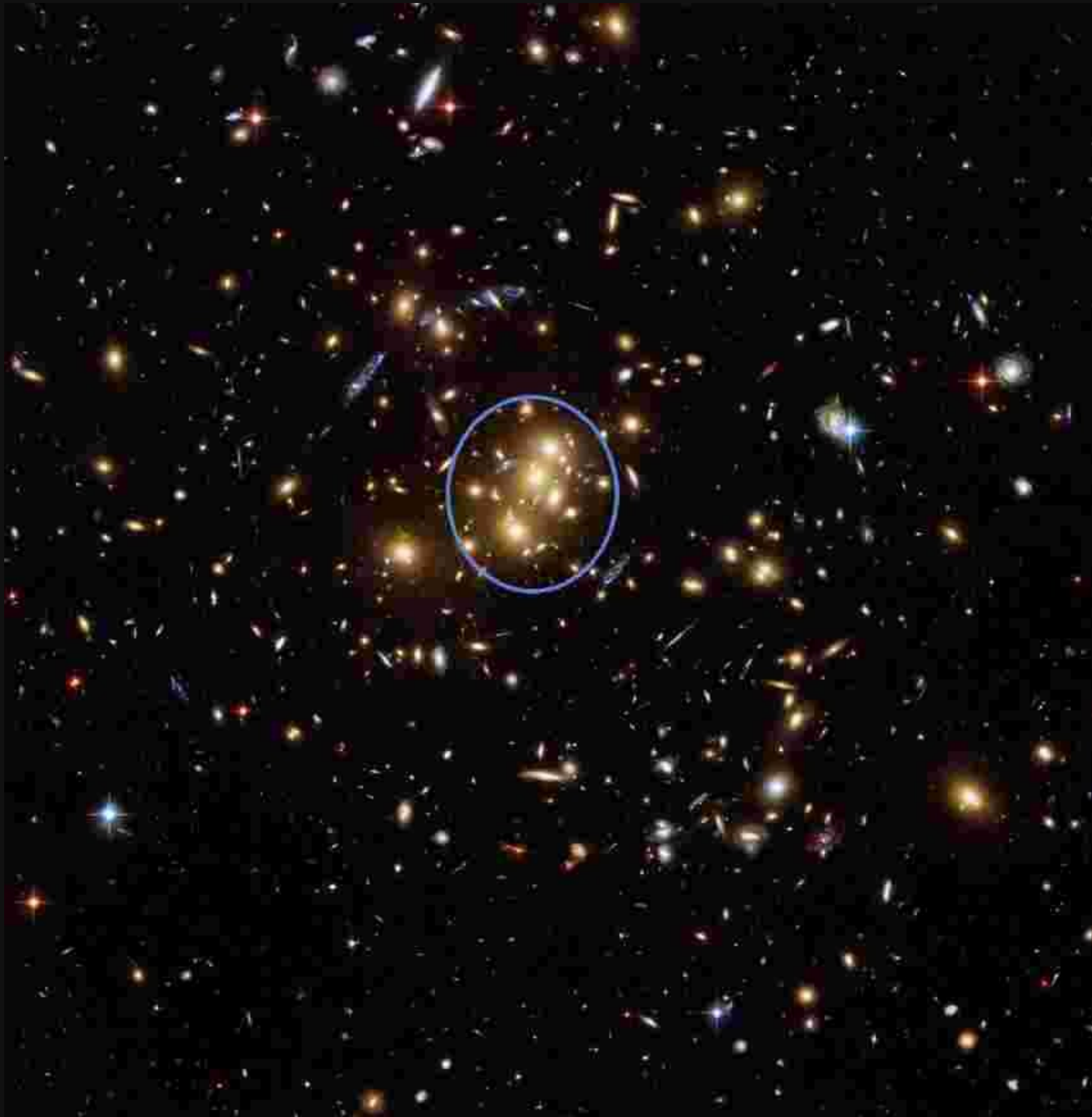
sei immagini virtuali

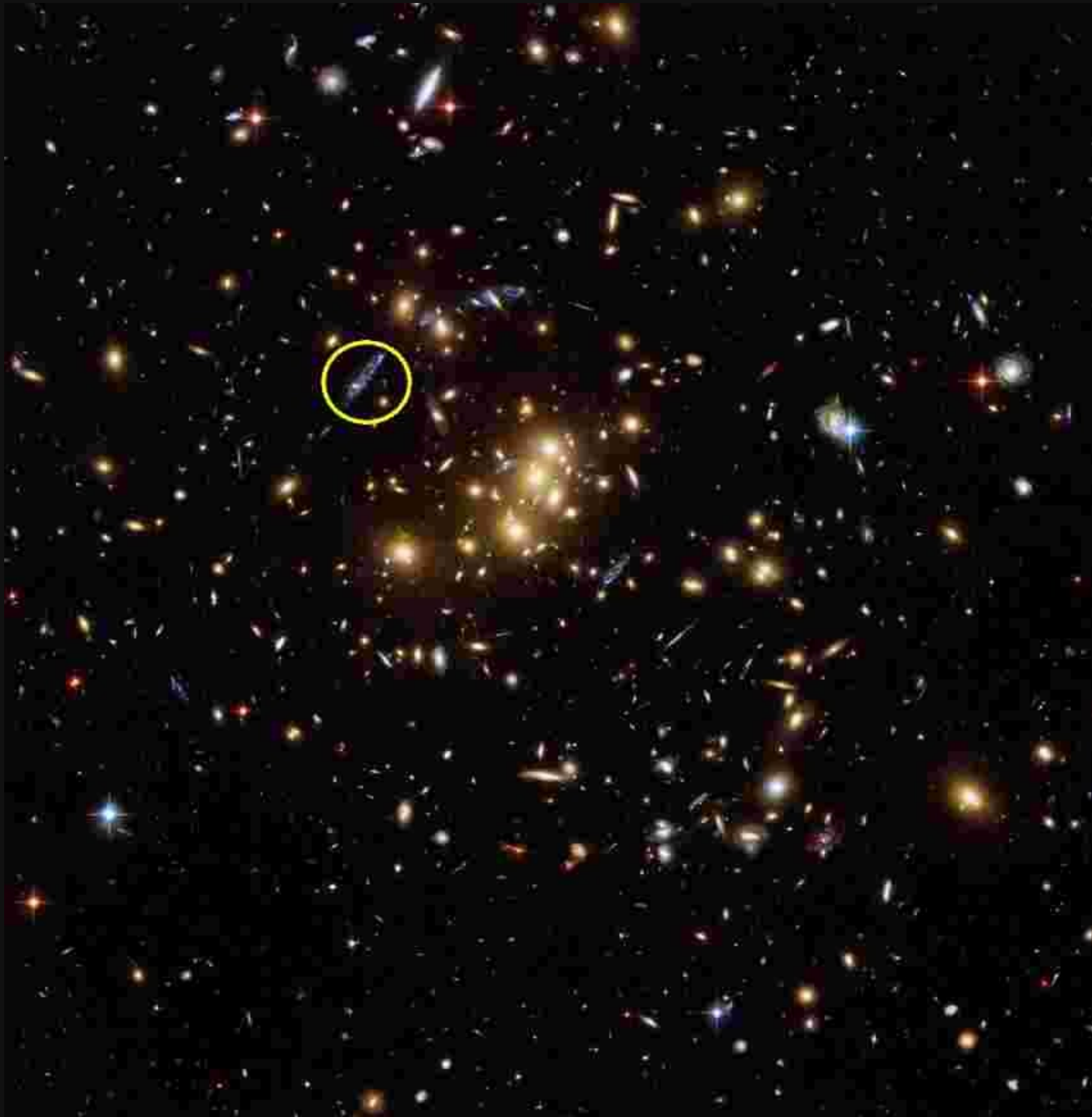
cluster CL0024+1654

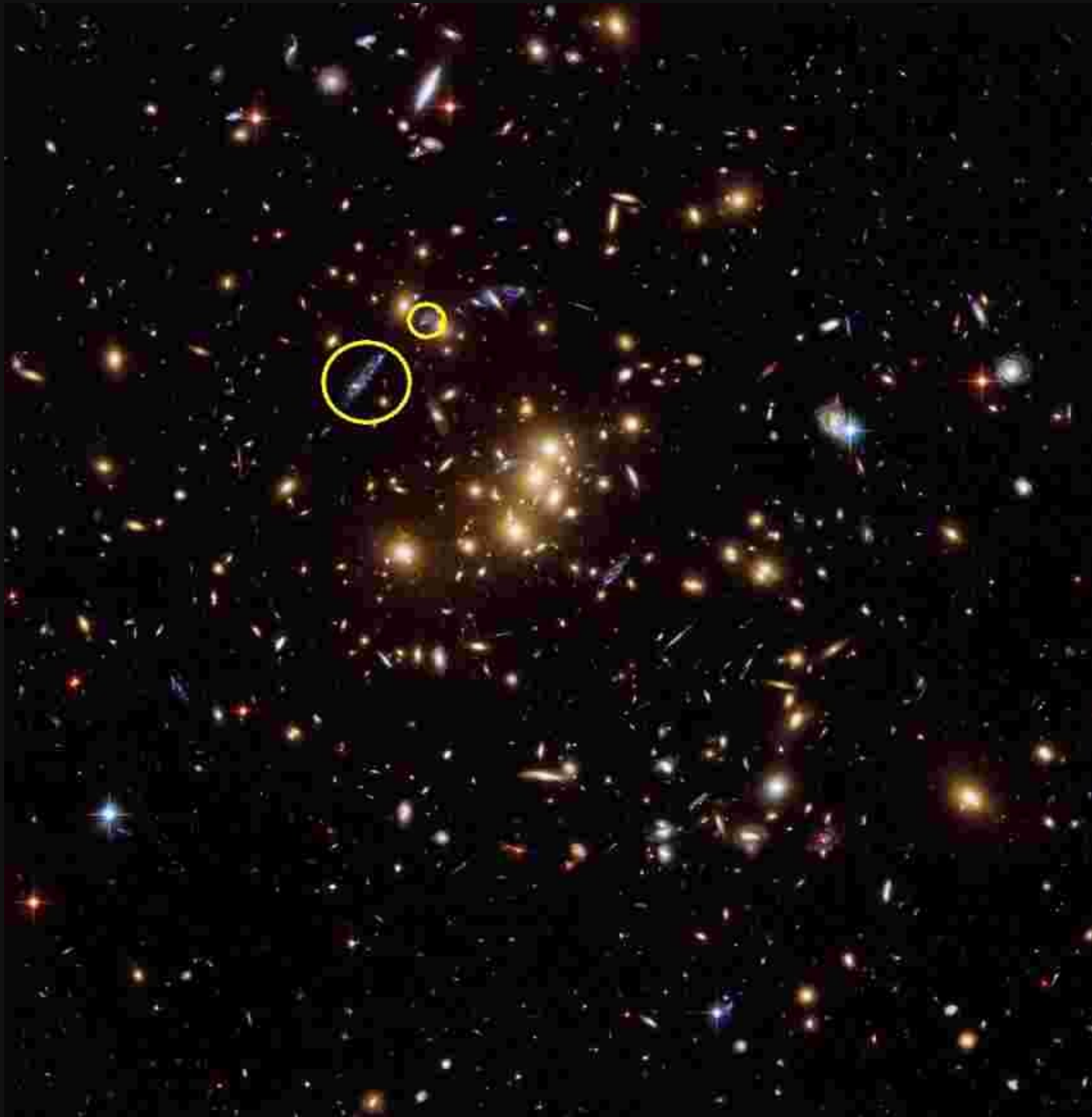


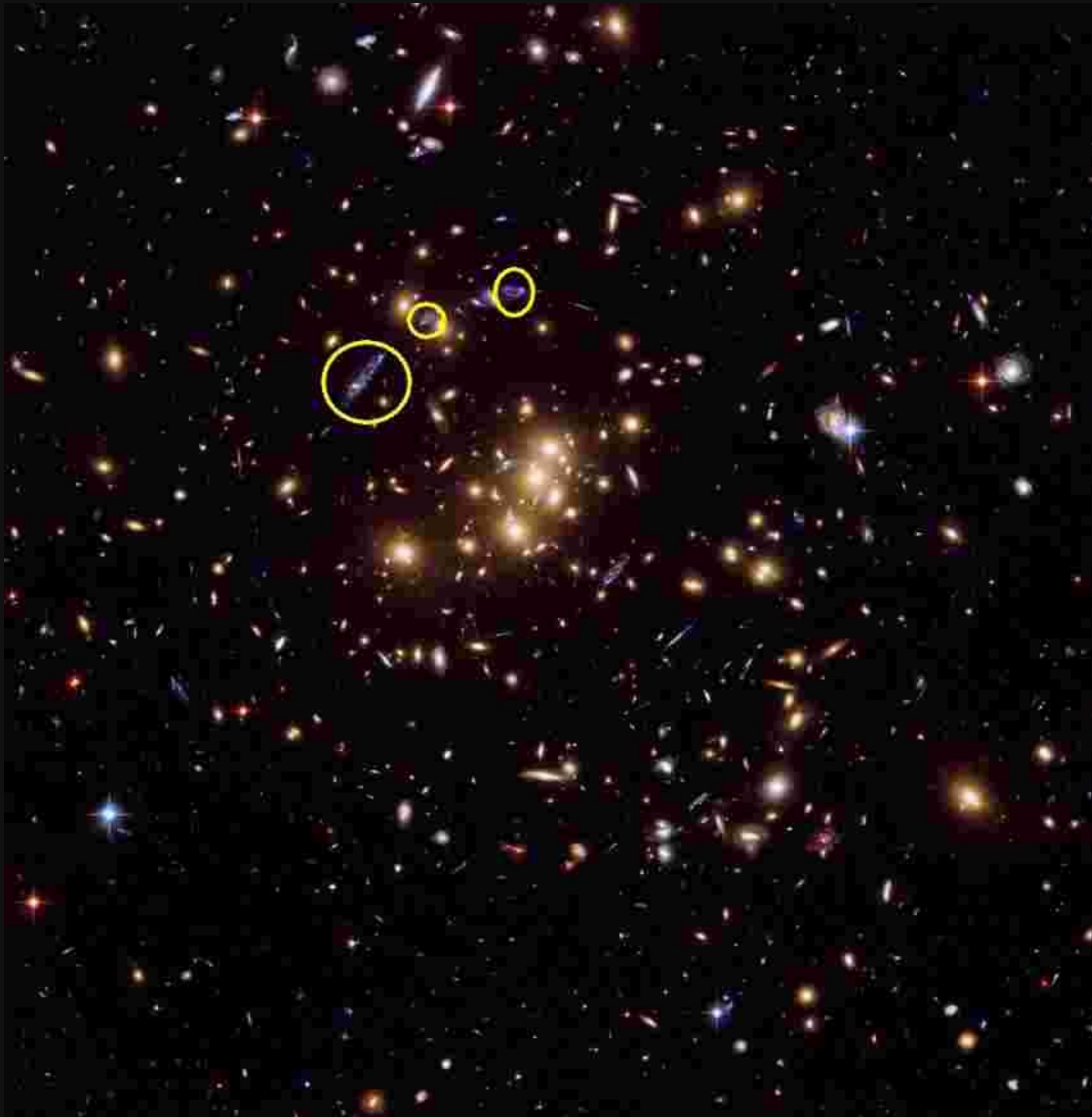
Ingrandiamo questa
zona dello spazio

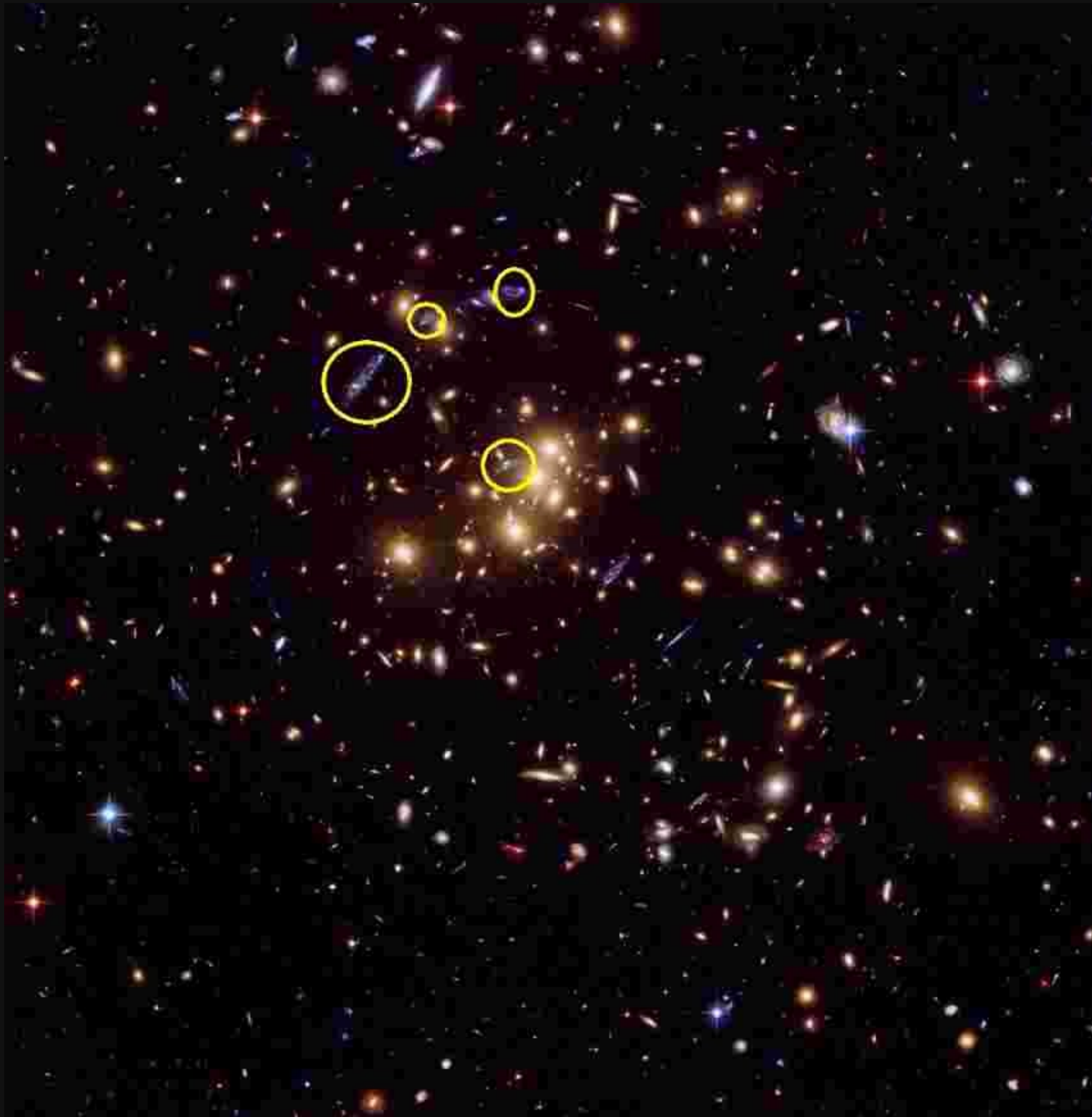


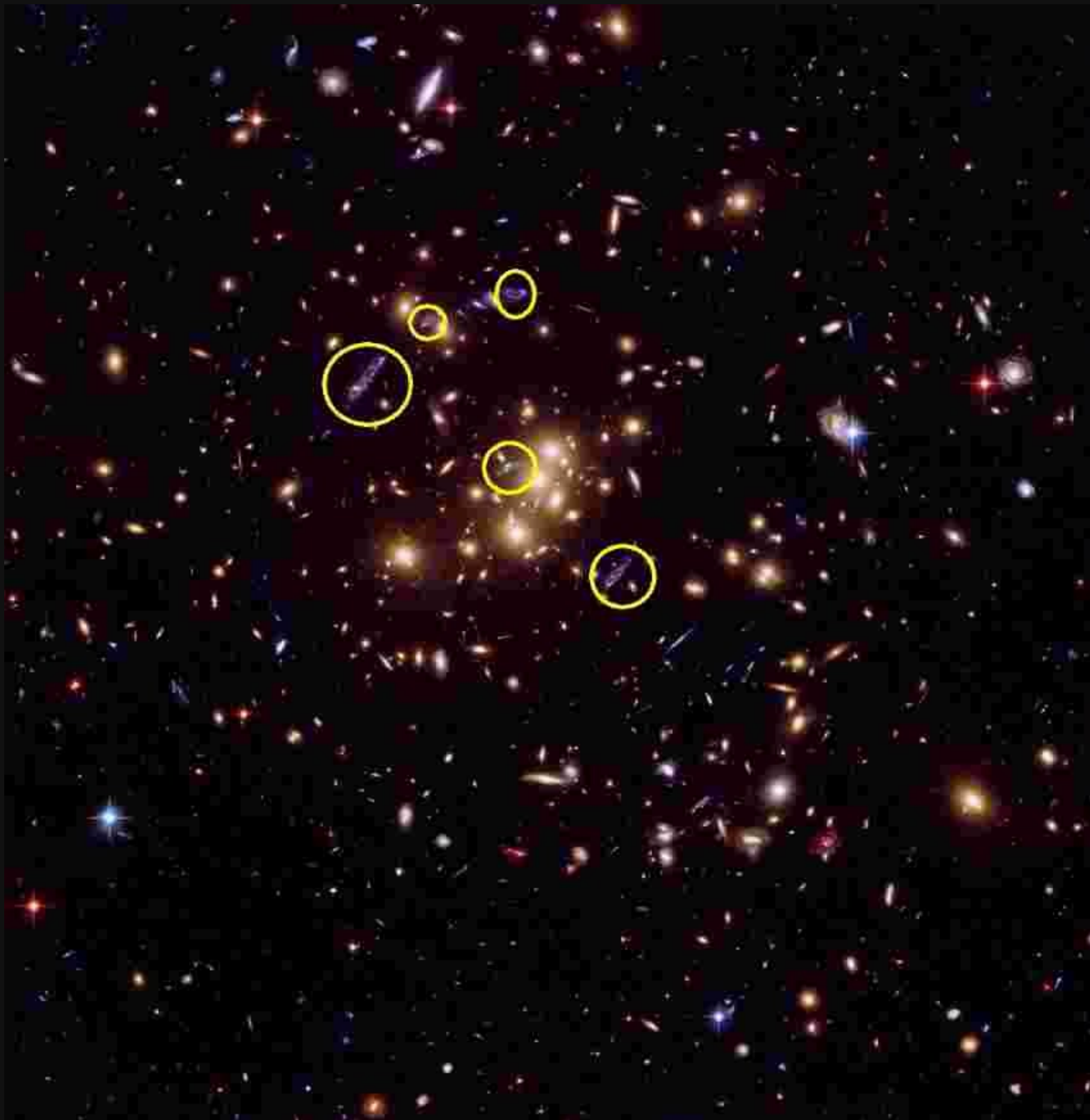


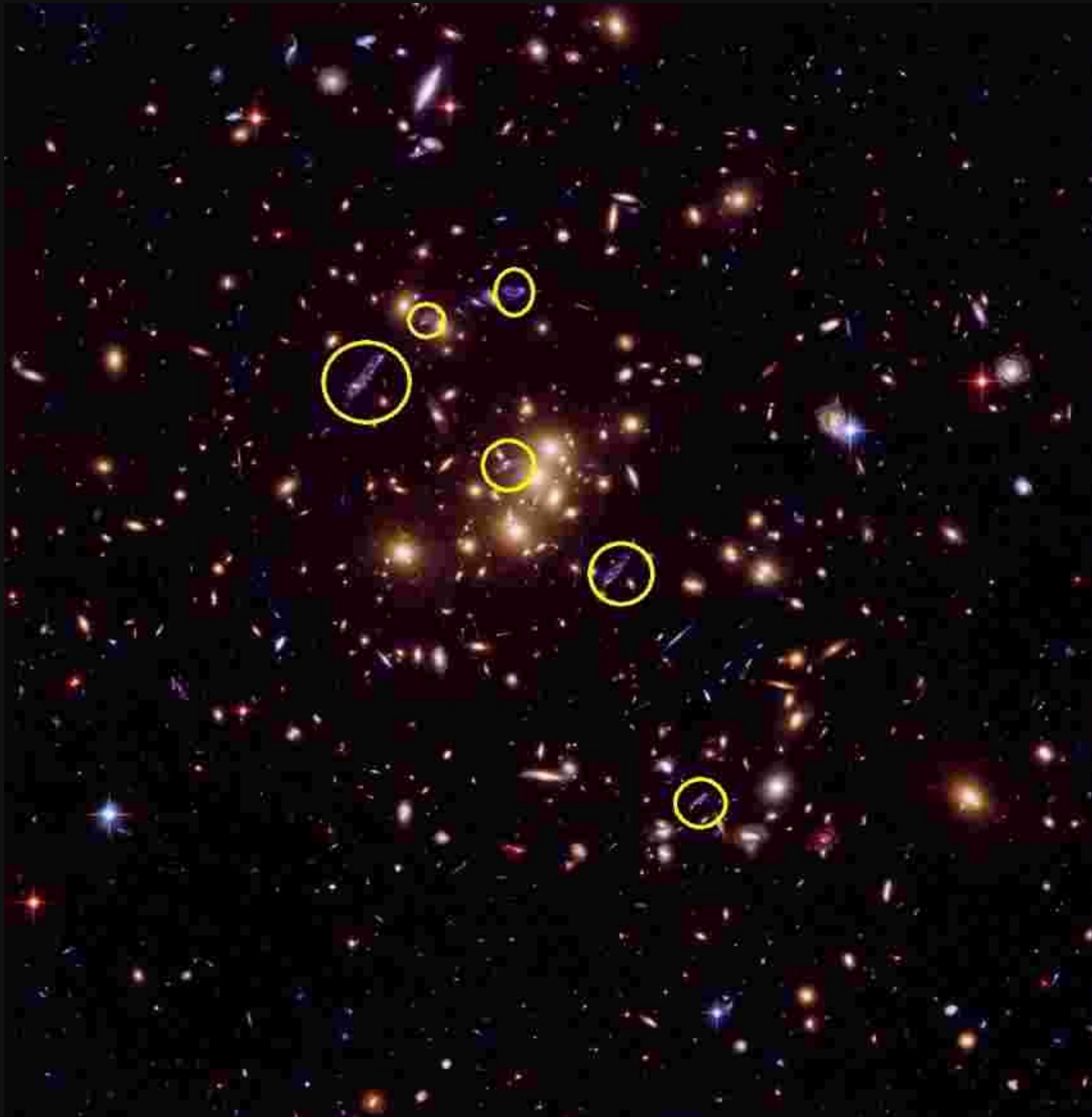













Gli scherzi delle lenti



Altri effetti delle lenti
gravitazionali:

sottili archi luminosi

Lenti gravitazionali nell'ammasso di
galassie Abell 1689;
gli effetti della lente sono dei sottili archi luminosi

Gravitational Lens in Galaxy Cluster Abell 1689  HUBBLESITE.org

Lo stregatto ...









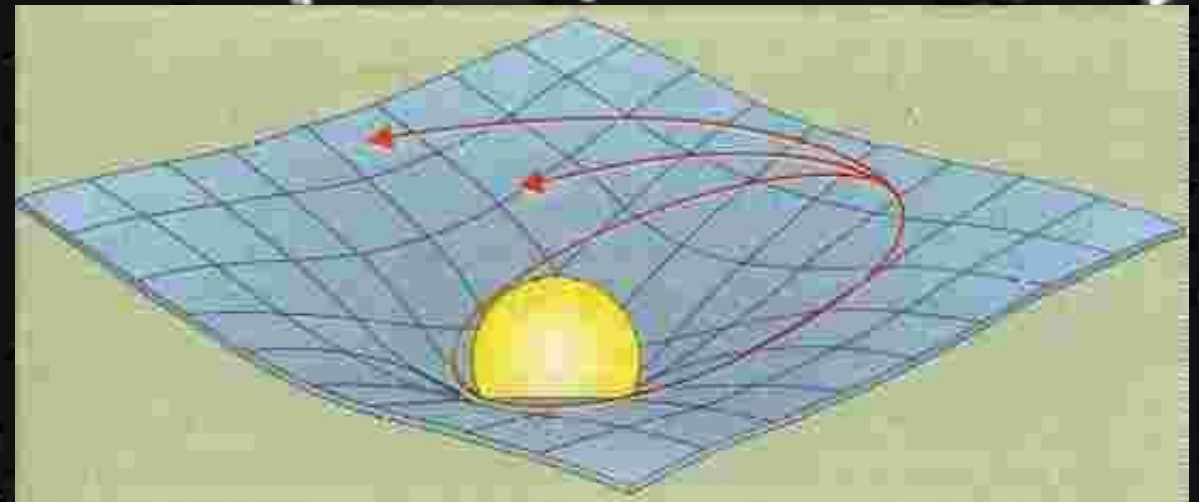




La relatività generale di Albert Einstein

In presenza di una grande massa (Sole, Terra, ecc.):

lo spazio si incurva.



Il tempo scorre a velocità diverse se ci si allontana o se ci si avvicina a una grande massa



Riassumiamo le correzioni da apportare agli orologi

Relatività ristretta – un orologio a bordo di un satellite che corre a 8 Km/s, registrerà una differenza di orario rispetto a uno che sta fermo di:

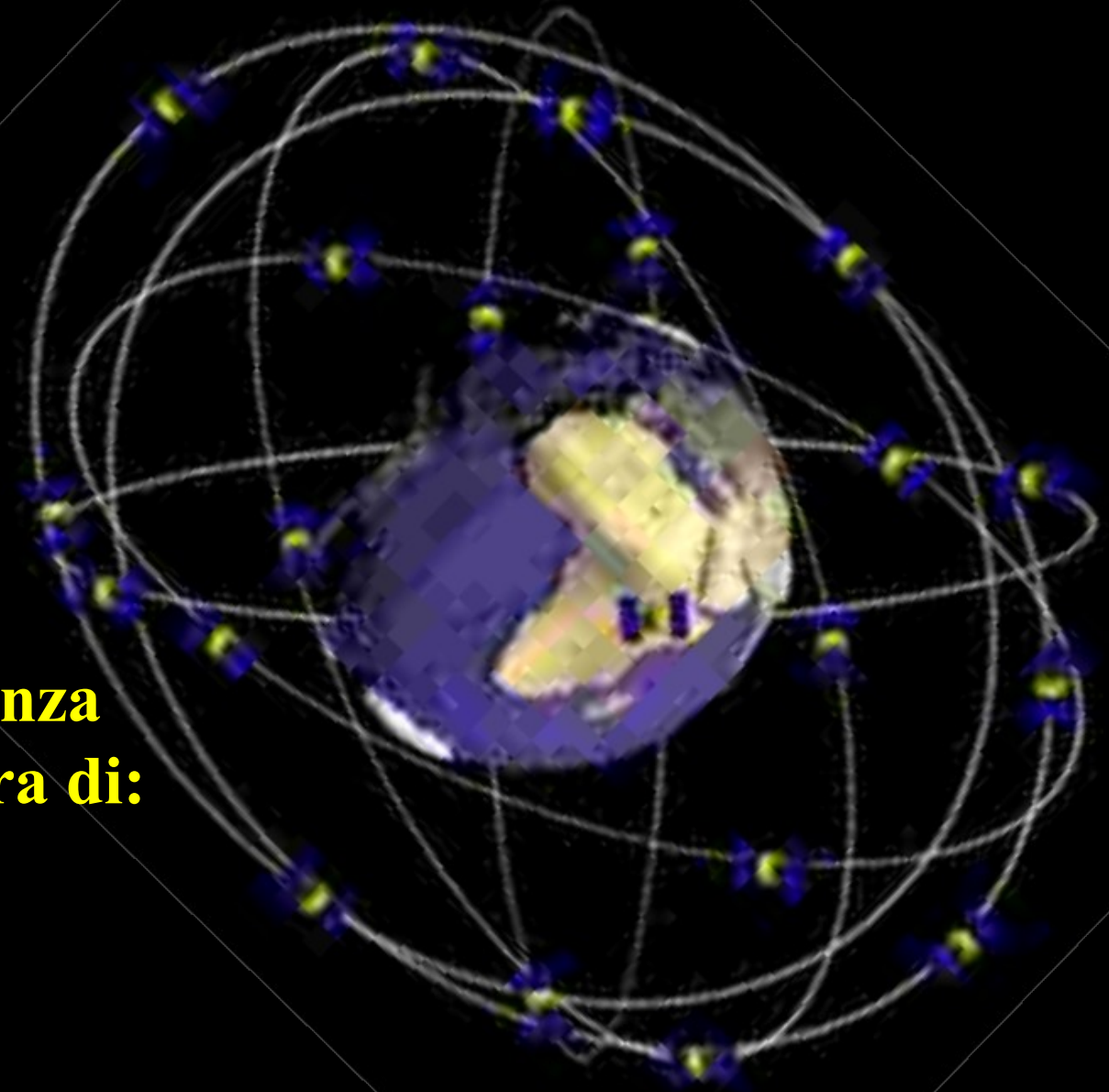
-7 μs al giorno

Relatività generale – un orologio a bordo di un satellite che si trova a 22000 Km dalla Terra registrerà una differenza di orario rispetto a un orologio che sta a terra di:

45 μs al giorno

Differenza netta: il tempo sul satellite accelera di circa

38 μs al giorno



**In realtà ci sarebbero altre
correzioni da fare, ma ...**

... fermiamoci qui.

**Ci avviciniamo alla
conclusione ...**

La trottola





Wolfgang Pauli (1900-1958)
premio Nobel per la fisica
nel 1945

Niels Bohr (1885-1962)
premio Nobel per la fisica
nel 1922

I fisici e il GPS

Paolo Mastroserio

Domande?



Lega Navale Italiana
Sez. di Napoli

Lega Navale Italiana – Sez. di Napoli



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Sezione di Napoli

Dipartimento di Fisica Ettore Pancini

Università di Napoli Federico II

