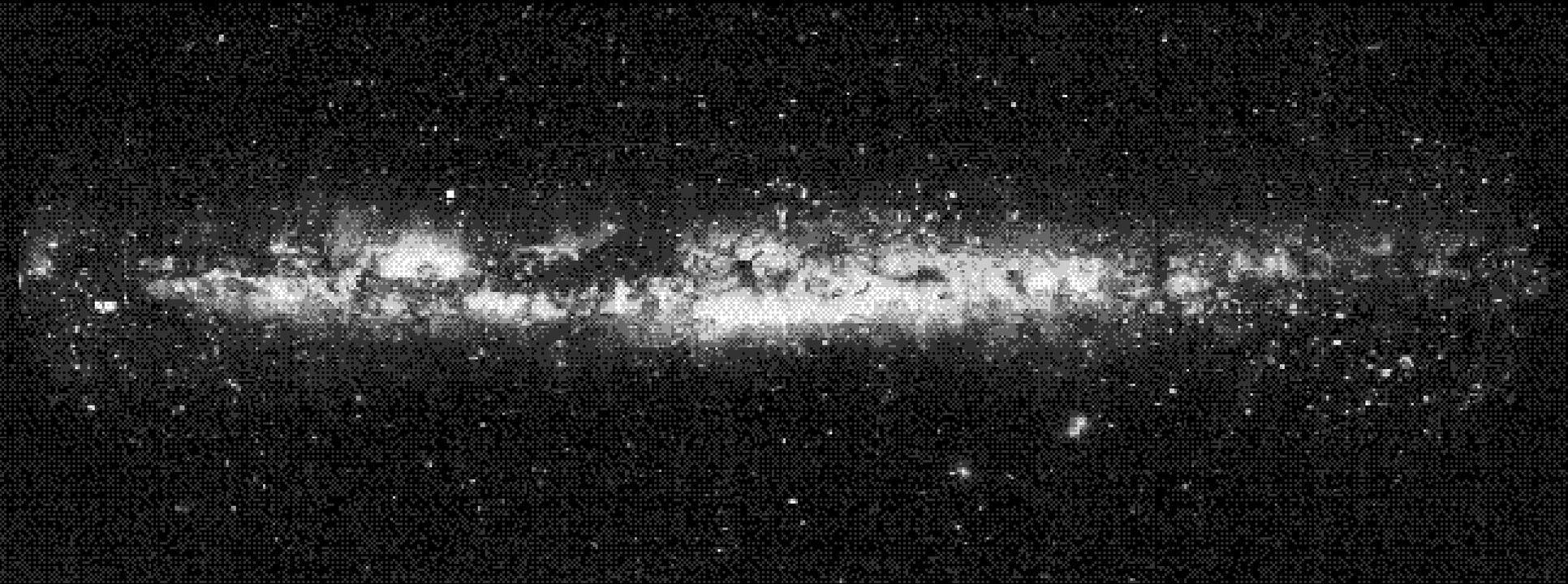


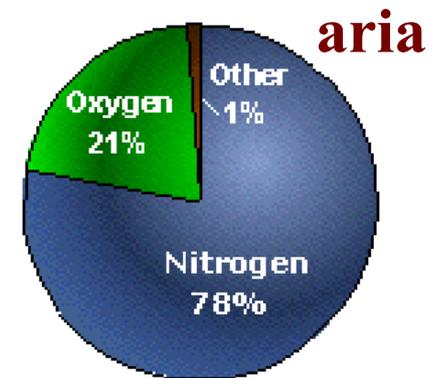
L'astronomia extragalattica dalle origini a oggi



Amata Mercurio

Abbondanza (percentuale) degli elementi

	Abbondanza 'universale'		Crosta terrestre		Batteri		Uomo	
1	H	70.70	O	46.60	O	68.00	O	64.00
2	He	27.40	Si	27.70	C	25.00	C	19.00
3	O	0.96	Al	8.13	H	10.20	H	9.00
4	C	0.30	Fe	5.00	N	4.20	N	5.00
5	Ne	0.17	Ca	3.63	P	0.83	Ca	1.50
6	Fe	0.13	Na	2.83	K	0.45	P	0.80
7	N	0.11	K	2.59	Na	0.40	S	0.60
8	Si	0.07	Mg	2.09	S	0.30	K	0.30
9	Mg	0.07	Ti	0.44	Ca	0.25	Na	0.15
10	S	0.04	H	0.14	Cl	0.12	Cl	0.15



Organizzazione della materia luminosa: le galassie

**stelle: 100 miliardi
(90% della massa)**

materia interstellare: 10%

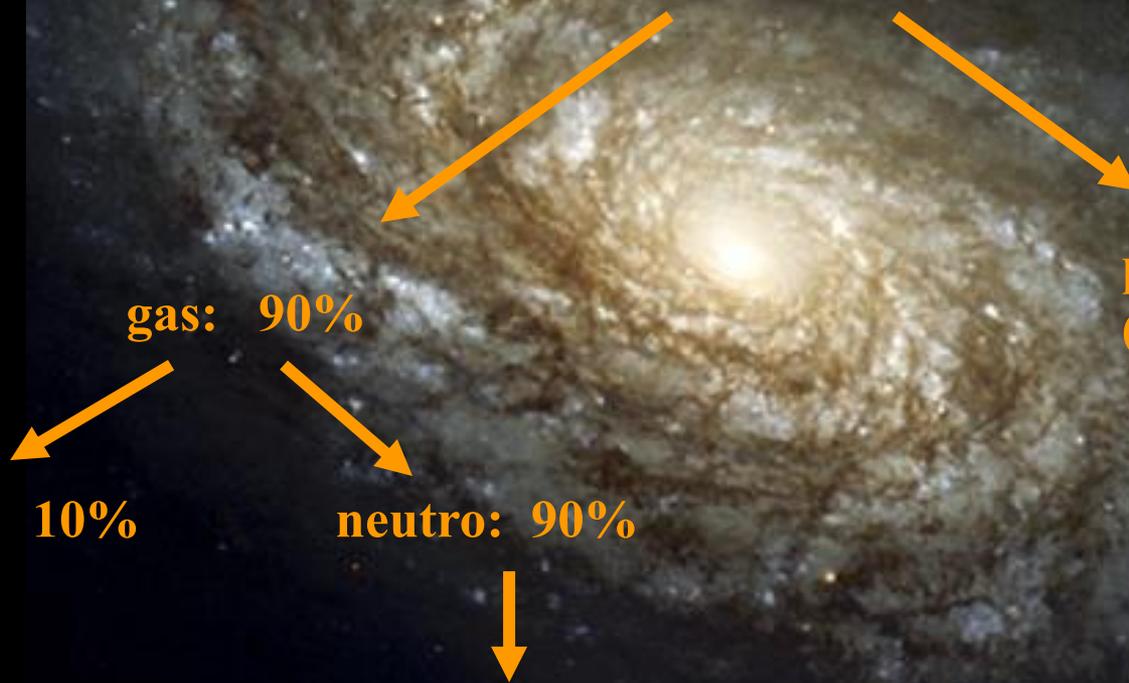
**polvere
(e corpi solidi): 10%**

gas: 90%

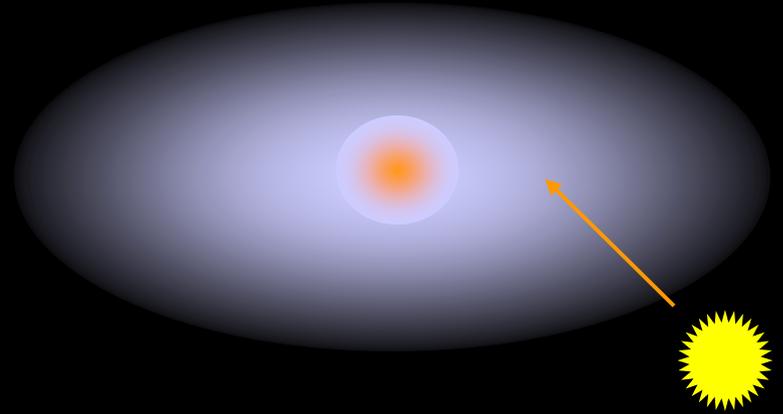
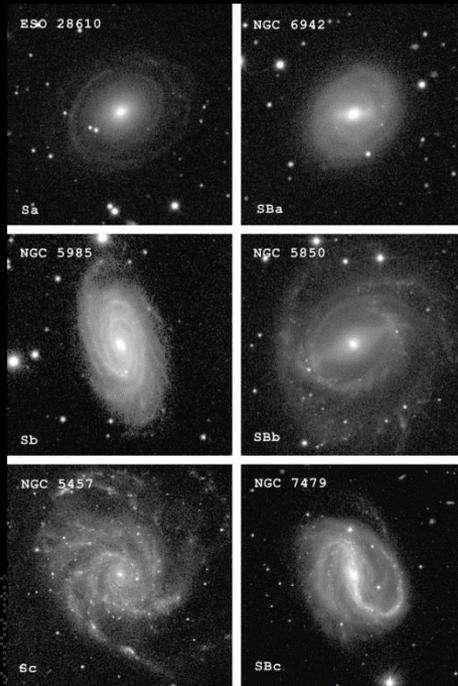
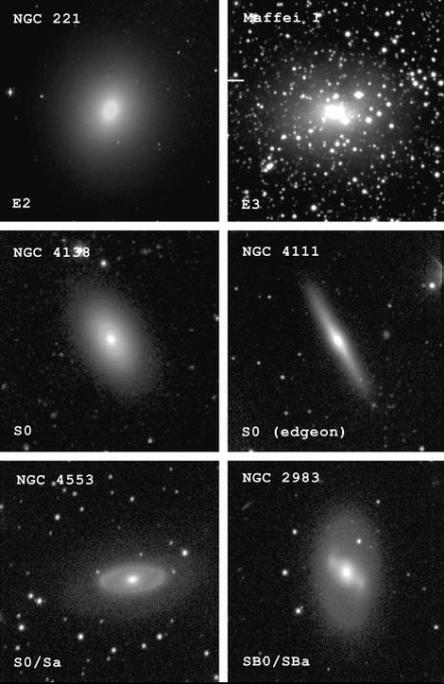
ionizzato: 10%

neutro: 90%

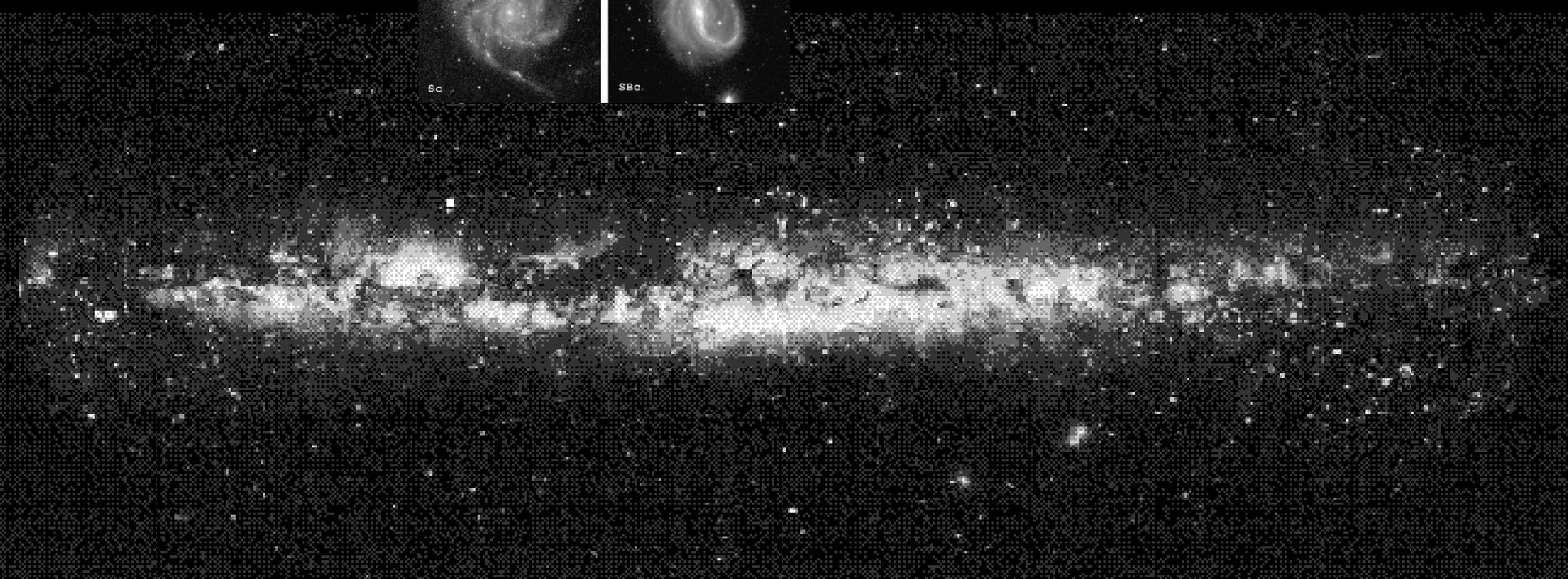
atomi e molecole



Galassie

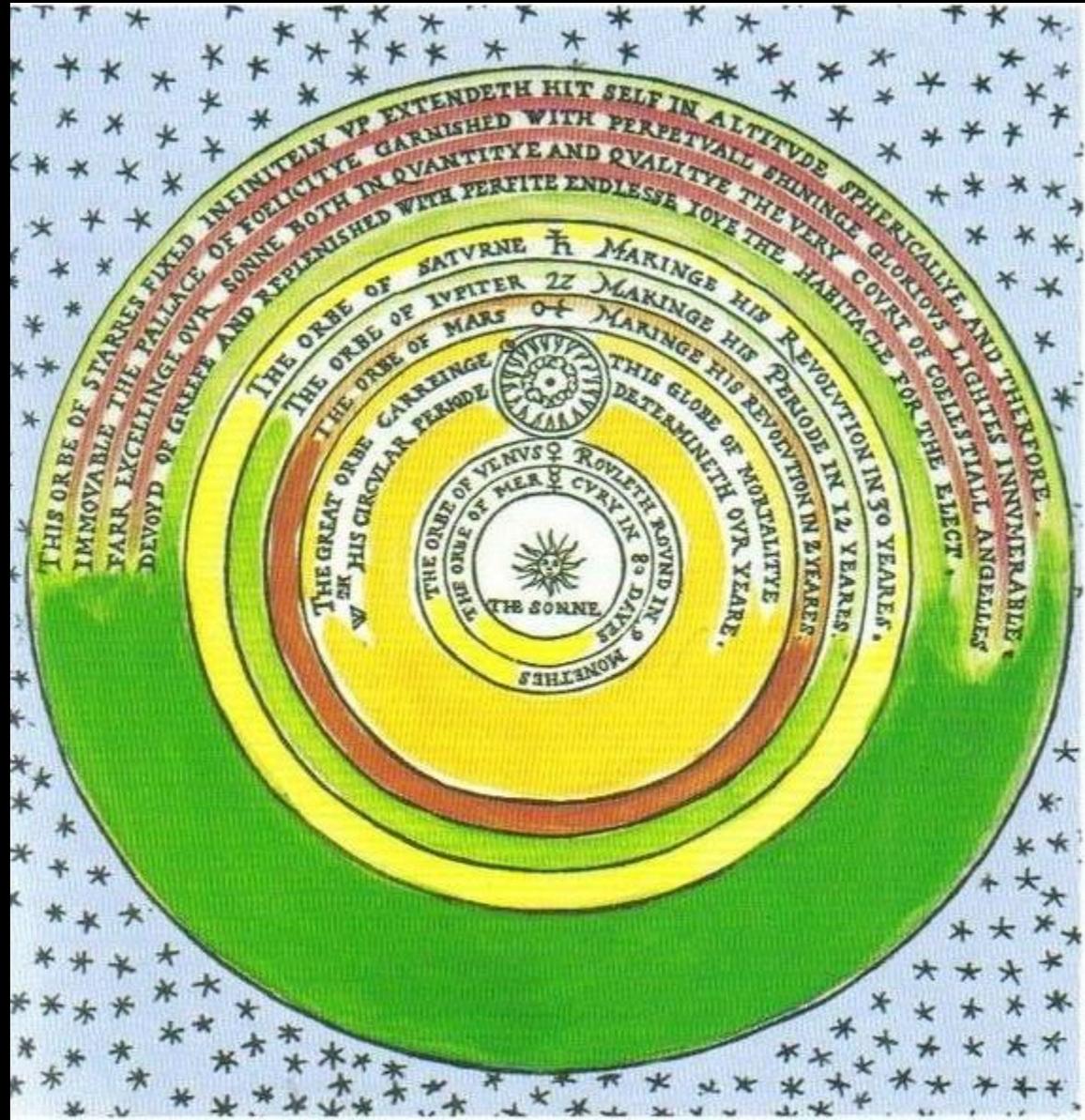


la nostra galassia:
la Via Lattea



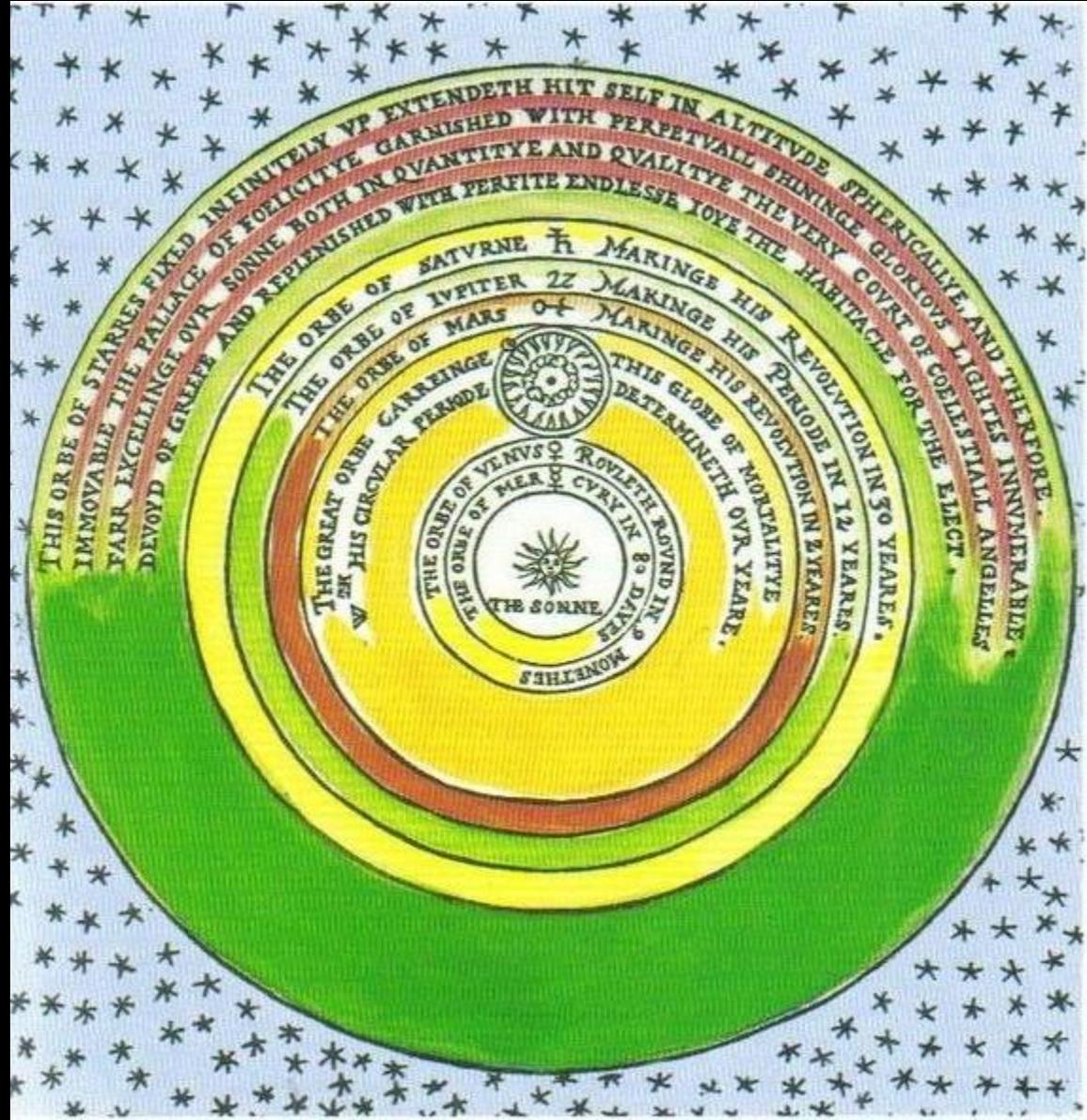
Nel passato ...

- (1546-1595) - T. Digges:
"le stelle non sono poste tutte alla stessa distanza ma sono uniformemente distribuite nello spazio"
⇒ l'universo non è contenuto nella sfera delle stelle fisse ma è uniformemente popolato di stelle.



Nel passato ...

- "This orb of stars fixed infinitely up extends itself in altitude spherically, and therefore immovable the palace of felicity garnished with perpetual shining glorious lights innumerable, far excelling over [the] sun both in quantity and quality the very court of celestial angels, devoid of grief and replenished with perfect endless joy, the habitacle for the elect."



Nel passato ...

- (1548-1600) - G. Bruno: **supera la concezione geocentrica, eliocentrica ed antropocentrica** ⇒ gli infiniti mondi di cui è costituito l'universo sono popolati tutti da essere viventi.

GIORDA-
NO BRVNO
Nolano.

De l' infinito vniuerso
et Mondi.

*Al' illustrissimo Signor di
Mauuisicco.*



Stampato in Venetia.
Anno. M. D. LXXVIII.

Nel passato ...

- (1584) - G. Bruno: pubblicata in Inghilterra, "La cena delle Ceneri" fa riferimento ad una cena, forse realmente avvenuta la sera delle Ceneri.

Il libro è composto da cinque dialoghi tra Teofilo (il discepolo che espone e sostiene le idee di Bruno), Smitho (uomo di buon senso e privo di pregiudizi), Prudenziò (che rappresenta il tipo pedante e attaccato alle tradizioni) e Frulla (uomo semplice e ignorante, ma dotato di grande ironia).

LA CENA DE *le Ceneri.*

DESCRITTA IN
CINQUE DIALOGI, PER
quattro interlocutori, Con tre con-
siderationi, Circa doi
suggettj.

Jordanij Brunij Nolarij

All' unico refugio de le Muse. l' Illustrissi. Michel
di Castelnou. Sig. di Mauuissier, Conressalto, et
di Ionuilla, Cavalier del ordine del Re Christianiss. et
Confeglier nel suo priuato confeglo. Capitano di
50. huomini d'arme, Gouvernator et Capitano di
S. Desiderio. et Ambasciator alla ser-
niss. Regina d' In-
ghilterra.

p. Balladins. p

L' vniuersale intentione e' dechia-
rata nel proemio.

1584.



Nel passato ...

"da l'apparenza de la quantità del corpo luminoso non possiamo inferire la verità de la sua grandezza né di sua distanza; perché, sì come non è medesima ragione d'un corpo men luminoso ed altro più luminoso e altro luminosissimo, acciò possiamo giudicare la grandezza o ver la distanza loro."

" Infatti una testa d'uomo non è visibile a due miglia di distanza mentre lo è una lucerna, che è più piccola, a sessanta miglia, "

LA CENA DE le Ceneri.

DESCRITTA IN
CINQUE DIALOGI, PER
quattro interlocutori, Con tre con-
siderationi, Circa doi
suggettj.

Jordanij Brunij Notarij

All' unico refugio de le Muse. l' Illustrissi. Michel
di Castelnovo. Sig. di Mauuissier, Conressalto, et
di Ionuilla, Cavalier del ordine del Re Christianiss. et
Consigliier nel suo priuato consiglio. Capitano di
50. huomini d'arme, Gouvernator et Capitano di
S. Desiderio. et Ambasciator alla ser-
niss. Regina d' In-
ghilterra.

p. Balladins. p.

L' vniuersale intentione e' dechia-
rata nel proemio.

1584.



Nel passato ...

"noi che veggiamo un corpo aereo, etereo, spirituale, liquido, capace loco di moto e di quiete, sino immenso e infinito, (..) sappiamo certo che, essendo effetto e principiato da una causa infinita e principio infinito, deve, secondo la capacità sua corporale e modo suo, essere infinitamente infinito".

LA CENA DE *le Ceneri.*

DESCRITTA IN
CINQUE DIALOGI, PER
quattro interlocutori, Con tre con-
siderationi, Circa doi
suggettj.

Jordanij Brunij Notarij

All' unico refugio de le Muse. l' Illustrissi. Michel
di Castelnou. Sig. di Mauuissier, Conressalto, et
di Ionuilla, Cavalier del ordine del Re Christianiss. et
Consigliier nel suo priuato consoglio. Capitano di
50. huomini d'arme, Gouvernator et Capitano di
S. Desiderio. et Ambasciator alla ser-
niss. Regina d' In-
ghilterra.

p. Balladins. p

L' vniuersale intentione e' dechia-
rata nel proemio.

1584.



Nel passato ...

"non è possibile giamai di trovar ragione semiprobabile per la quale sia margine di questo universo corporale; e per conseguenza ancora li astri che nel suo spacio si contengono, siino di numero finito; et oltre essere naturalmente determinato cento e mezzo di quello."

"la fede si richiede per l'istituzione di rozzi popoli che denno esser governati"

LA CENA DE *le Ceneri.*

DESCRITTA IN
CINQUE DIALOGI, PER
quattro interlocutori, Con tre con-
siderationi, Circa doi
suggettj.

Jordanij Brunij Notarij

All' unico refugio de le Muse. l' Illustrissi. Michel
di Castelnovo. Sig. di Mauuissier, Conressalto, et
di Ionuilla, Cavalier del ordine del Re Christianiss. et
Consigliier nel suo priuato consiglio. Capitano di
50. huomini d'arme, Gouvernator et Capitano di
S. Desiderio. et Ambasciator alla ser-
niss. Regina d' In-
ghilterra.

p. Balladinos. p

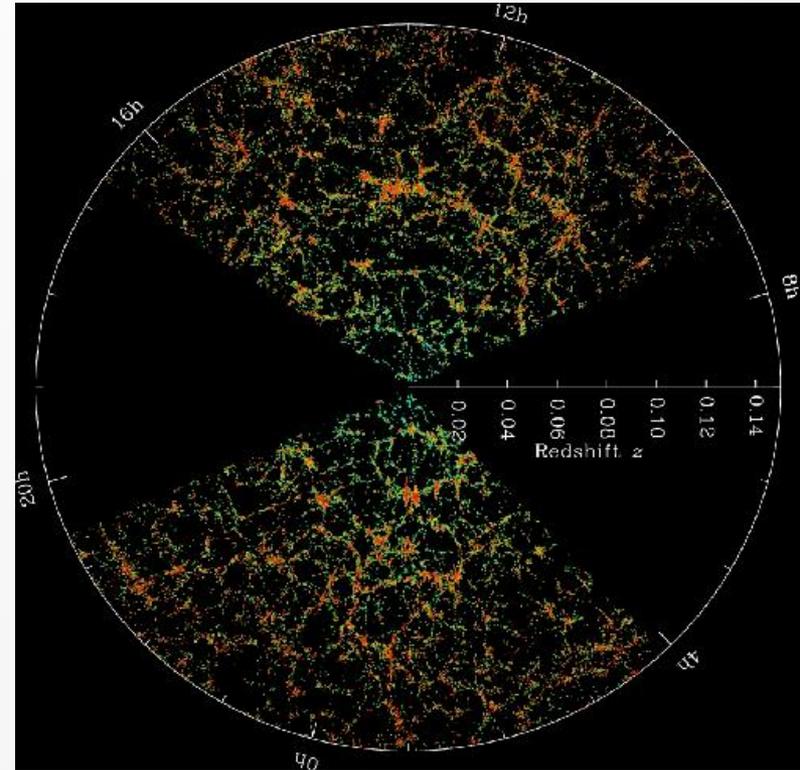
L' vniuersale intentione e' dechia-
rata nel proemio.

1584.



Omogeneità: il Principio Cosmologico

- Le **survey di galassie** mostrano ammassi e superammassi fino a scale di 100 Mpc.
- Oltre i 100 Mpc, la distribuzione appare **omogenea**.
- Inoltre, non esistono direzioni privilegiate: la distribuzione appare **isotropa** dal nostro punto di osservazione.
- Il **Principio Cosmologico** afferma che il nostro punto di osservazione non ha nulla di speciale e, quindi, la distribuzione deve apparire isotropa da ogni punto dell'Universo.
- L'isotropia da ogni punto nello spazio implica l'omogeneità. Infatti, se vi fosse un punto in cui $\vec{\nabla}\rho(\vec{x}, t) \neq 0$, in quel punto l'osservatore vedrebbe più galassie lungo la direzione del gradiente e meno galassie nella direzione opposta.



Nel passato ...

- (1564-1642) - G. Galilei: grazie alle osservazioni col telescopio ⇒ non sono le singole stelle ma i sistemi di stelle come la Via Lattea a popolare uniformemente l'universo.

S I D E R E V S N V N C I V S

MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, praefertim verò

PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quae à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI

*Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in VN,Æ F. ACIE, FIXIS IN-
NUMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLISIS,*
Apprime verò in

QVATVOR PLANETIS
Circæ IOVIS Stellam disparibus intervallis, atque periodis, celesti-
tate mirabili circumuolutis; quos, nensini in hanc usque
diem cognitos, nouissime Author depre-
hendit primus, atque

MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.



VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M D C X.

Superiorum Permissu, & Privilegio.

Al. M. H. sig. Gabriel Piobvera.
Galileo Galilei

Nel passato ...

...Ma oltre alle stelle di sesta grandezza si vedrà col cannocchiale un così gran numero di altre, invisibili alla vista naturale, che appena è credibile: se ne possono vedere infatti più di quante ne comprendano le altre sei diverse grandezze...

S I D E R E V S N V N C I V S

MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, praefertim verò

PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quae à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO

Patavini Gymnasij Publico Mathematico

PERSPICILLI

Nuper à se reperti beneficio sunt observata in VN,Æ F. ACIE, FIXIS IN-
NUMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBULOSIS,
Apprime verò in

QVATVOR PLANETIS
Circæ IOVIS Stellam disparibus intervallis, atque periodis, celeri-
tate mirabili circumvolatis; quos, nensini in hanc usque
diem cognitos, nomenclaturæ Author depre-
hendit primus, atque

MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.



VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M D C X.

Superiorum Permissu, & Privilegio.

Al. M. G. sig. Gabriel Piobbera.
Galileo Galilei

Nel passato ...

... Quello che in terzo luogo osservammo, è l'essenza o materia della via Lattea, la quale attraverso il cannocchiale si può vedere così chiaramente che tutte le discussioni per tanti secoli cruccio dei filosofi, si dissipano con la certezza della sensata esperienza, e noi siamo liberati da sterili dispute. La Galassia infatti non è altro che un ammasso di innumerabili stelle disseminate a mucchi, che in qualunque parte di essa si diriga il cannocchiale, si offre subito alla vista un grandissimo numero di stelle, parecchie delle quali si vedono grandi e ben distinte, mentre la moltitudine delle piccole è affatto inesplorabile. ...

S I D E R E V S N V N C I V S

MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, praesertim verò

PHILOSOPHIS, atq; ASTRONOMIS, quae à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO

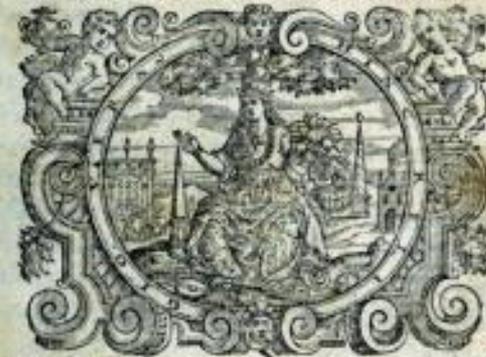
Patavini Gymnasij Publico Mathematico

PERSPICILLI

Nuper à se reperti beneficio sunt observata in IUNAE ACIE, FIXIS IN-
NUMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBULOSIS,
Apprime verò in

QVATVOR PLANETIS
Circæ IOVIS Stellam disparibus intervallis, atque periodis, celeri-
tate mirabili circumvolatis; quos, nensini in hanc usque
diem cognitos, nontimè Author depre-
herdit primus, atque

MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.



VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M D C X.

Superiorum Permissu, & Privilegio.

Al. M. 1610. sig. Gabriel Piobnera.
Galileo Galilei

Nel passato ...

- (1724-1804) - E. Kant: in "Storia generale della natura e teorie dei cieli" ⇒ introduce il termine di "universi-isola".



Nel passato ...

.....la sua ipotesi cosmogonica della nebulosa primitiva (che egli desunse da Buffon), ebbe molta fortuna e gli diede fama anche nel campo dell'astronomia. Essa fu fatta propria da Laplace che la rielaborò e la rilanciò nel 1796 in *Esposizione del sistema del mondo...*



Nel passato ...

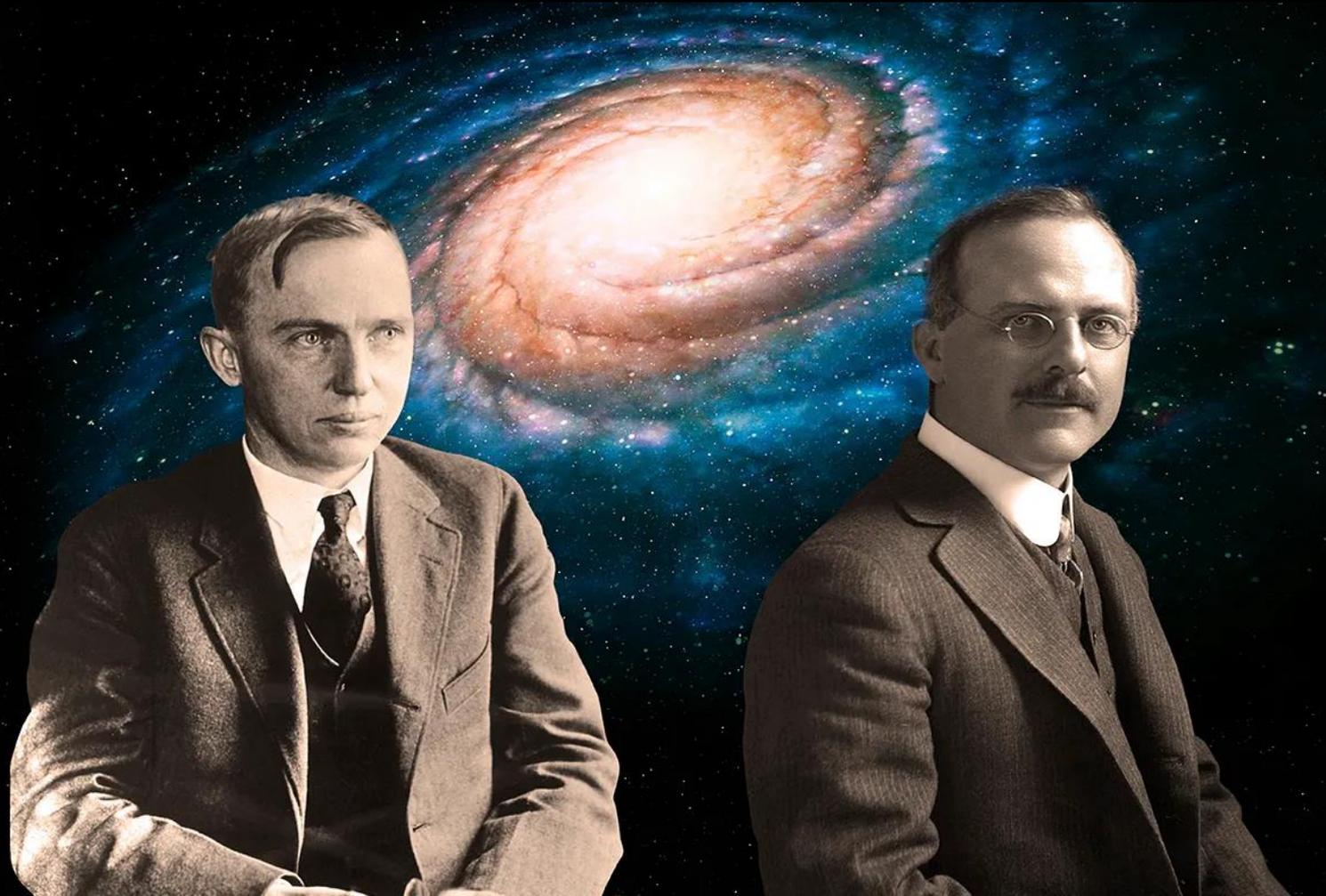
...alla base della cosmologia di Laplace, fondata sulla non-necessità di ricorrere all'ipotesi di un Dio che intervenga nel mondo, vi è una concezione rigidamente meccanicistica, secondo la quale ogni stato o evento dell'universo è conseguenza di stati ed eventi precedenti e, a sua volta, causa di quelli successivi; sicchè, se si conoscesse lo stato di materia nell'universo in un dato momento, si potrebbero ricostruire meccanicamente tutti i momenti successivi e precedenti della materia.



Natura extragalattica delle Nebulae?

Nel 1920 (26 Aprile), l'Accademia Nazionale delle Scienze ospita il Grande Dibattito sulla natura delle Nebulose.

La domanda è le Nebulae sono Universi Isola al di fuori della Via Lattea?



Storicamente

- **Kapteyn** (inizio 1900) conferma il modello di Hershel utilizzando una scala di distanza per il suo modello della Galassia

- **Kapteyn Universe**

- Sistema sferoidale schiacciato con **10kpc di diametro** e 2kpc di spessore con il **Sole a 800 pc** dal centro (quasi eliocentrico)

- Il sistema ha una densità stellare che diminuisce allontanandosi dal centro.

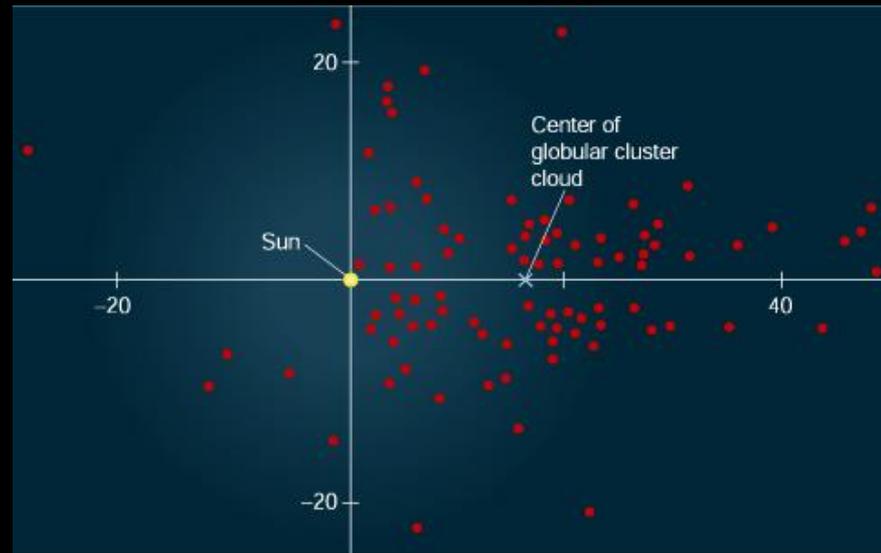
Kapteyn utilizza l'equazione per la distanza di una stella di cui si conosce la magnitudine assoluta: $d=10^{(m-M+5)/5}$.

Una volta assunto un valore per M, data la classe spettrale e la classe di luminosità della stella, misura m al telescopio. Note le coordinate delle stelle, ottiene la distribuzione 3D utilizza un approccio statistico, contando il numero di stelle in una regione (in più di 200 regioni) fino a una magnitudine limite e determinando la densità.

Storicamente

- **Shapley** (1919) ha stimato la distanza di 93 ammassi globulari utilizzando RR-lyrae e W Virginis.

Ha notato che gli *ammassi globulari* sono distribuiti in modo asimmetrico nel cielo e che se si assume che siano distribuiti attorno al centro della galassia, ciò implica che il Sole non è vicino al centro della Galassia.

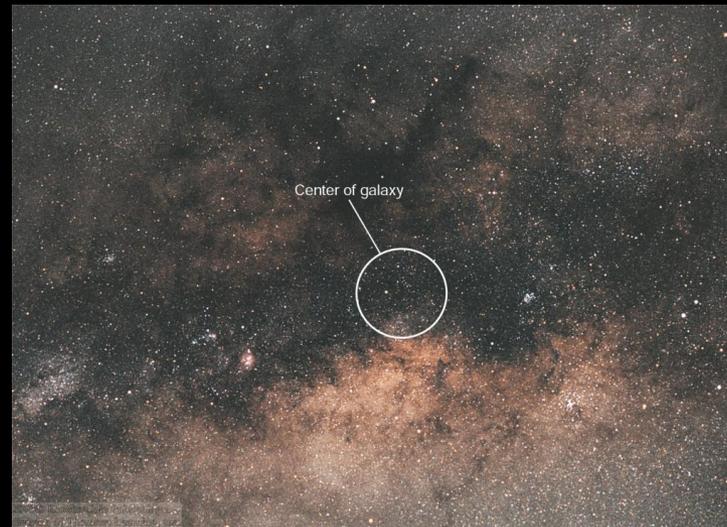


- Distanze stimate dagli ammassi globulari utilizzando stelle variabili e relazione P-M.
- In conclusione la dimensione trovata è **100kpc** con il **Sole a 15kpc** dal centro.

Storicamente

- **Shapley** (1919) ha stimato la distanza di 93 ammassi globulari utilizzando RR-lyrae e W Virginis.

Ha notato che gli *ammassi globulari* sono distribuiti in modo asimmetrico nel cielo e che se si assume che siano distribuiti attorno al centro della galassia, ciò implica che il Sole non è vicino al centro della Galassia.



- Distanze stimate dagli ammassi globulari utilizzando stelle variabili e relazione P-M.
- In conclusione la dimensione trovata è **100kpc** con il **Sole a 15kpc** dal centro.

Ancora sbagliato...non ha tenuto conto dell'assorbimento della polvere.

Origine del concetto di galassia:

Nel 1922-1924 Edwin Hubble risolse la controversia utilizzando il telescopio da 100 pollici a Mount Wilson, il più grande telescopio al mondo in quel momento.

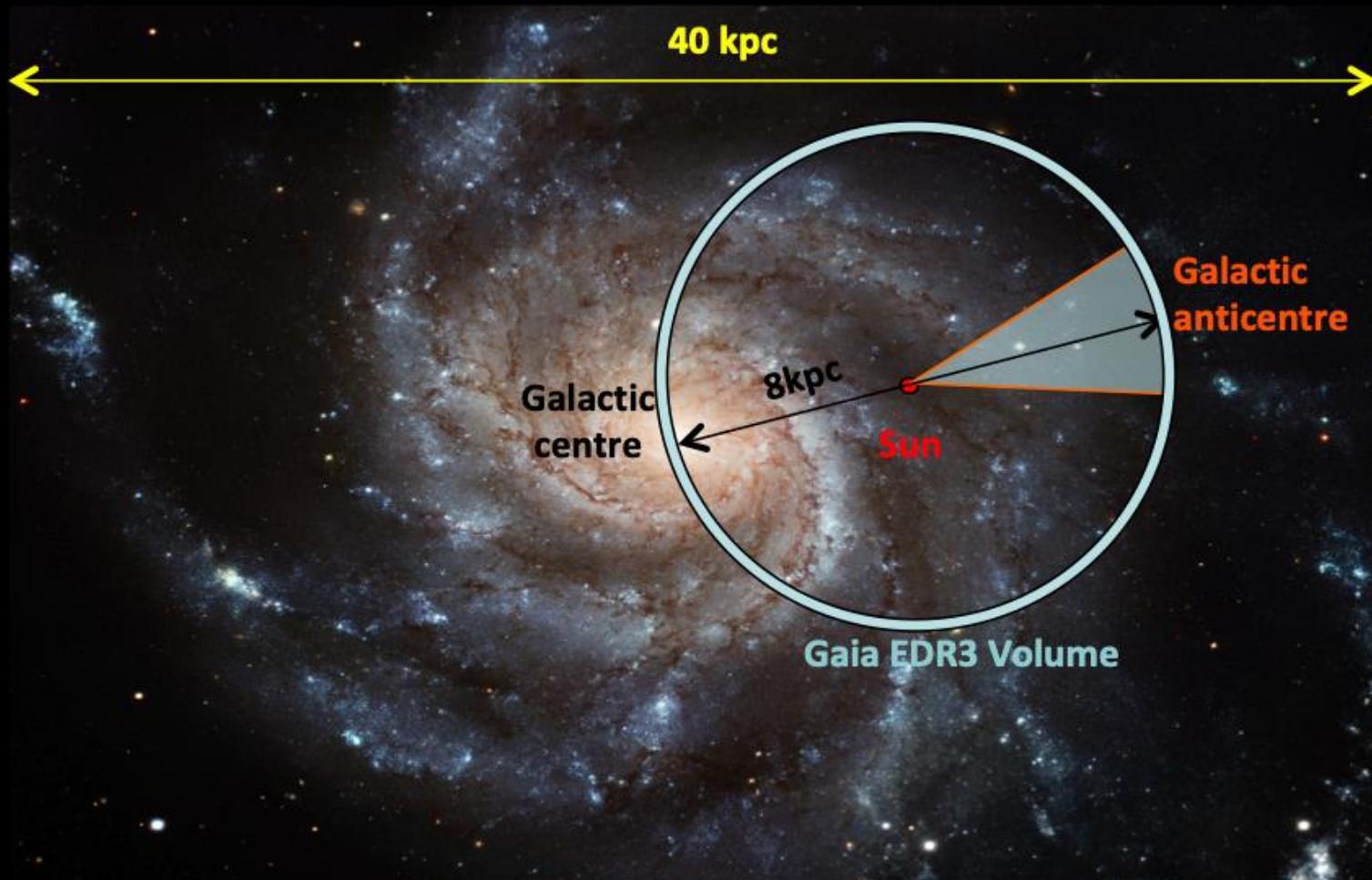
Egli osservò le variabili Cefeidi in Andromeda e, utilizzando la relazione P-M (metodo della distanza), determinò che la loro distanza era di 300 kpc, ben al di fuori del MW (questa distanza è comunque sbagliata di un fattore 2 a causa della scarsa calibrazione della relazione delle Cefeidi). Stabili, così, senza ombra di dubbio che gran parte delle nebulose, prima osservate con telescopi meno potenti, non facevano parte della nostra galassia come si credeva, ma erano esse stesse galassie, fuori dalla Via Lattea.

L'annuncio di questa scoperta fu dato il 30 dicembre 1924.



Oggi sappiamo che.....

La Via Lattea si estende per circa 100,000 anni luce (1,000,000,000,000,000,000 km → 1 anno luce diecimila miliardi di km). Il Sole si trova a 25,000 anni luce dal centro, in quello noto come il braccio di Orione.

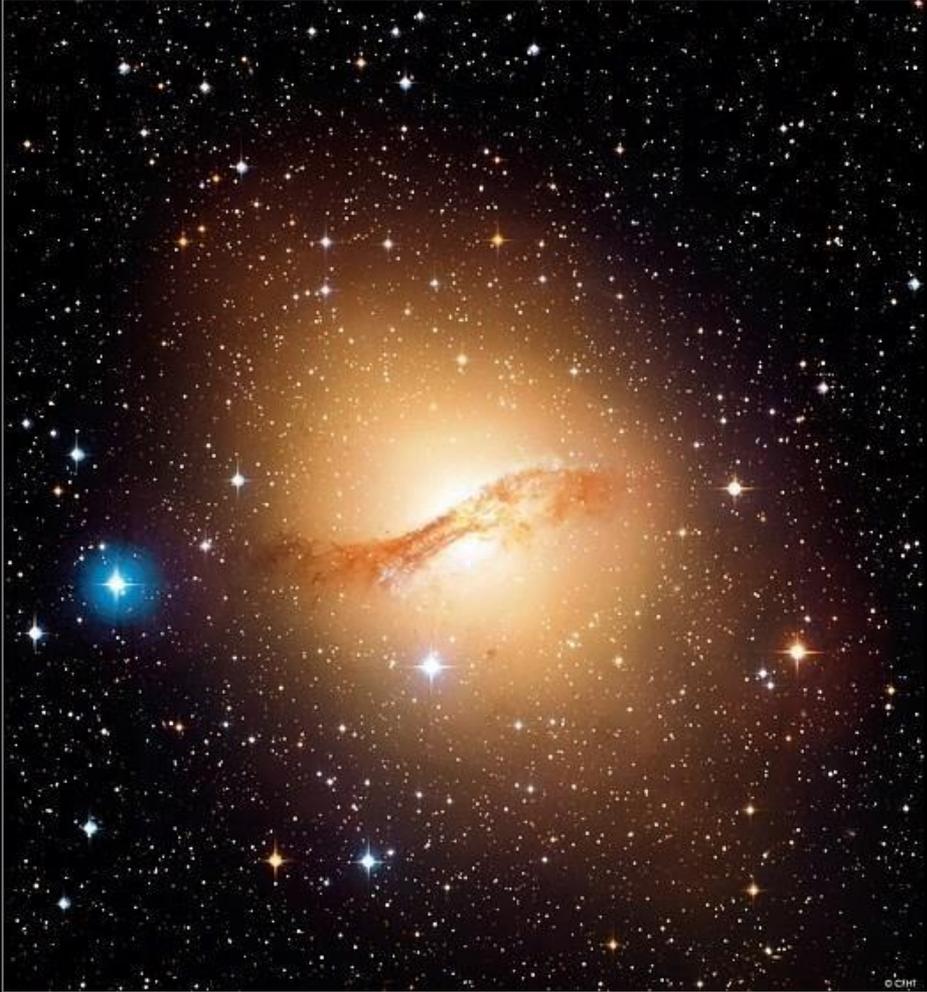


Oggi sappiamo che.....



Galassie

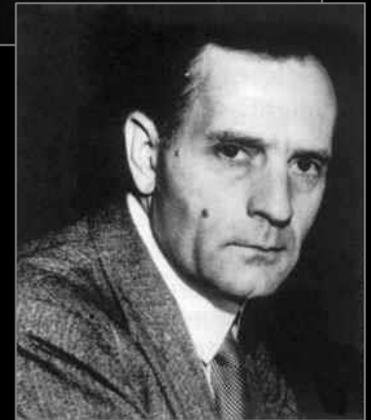
Sistemi tridimensionali formati da stelle, gas, polvere & XXX



La galassia ellittica (peculiare) NGC 5128 = Centaurus A

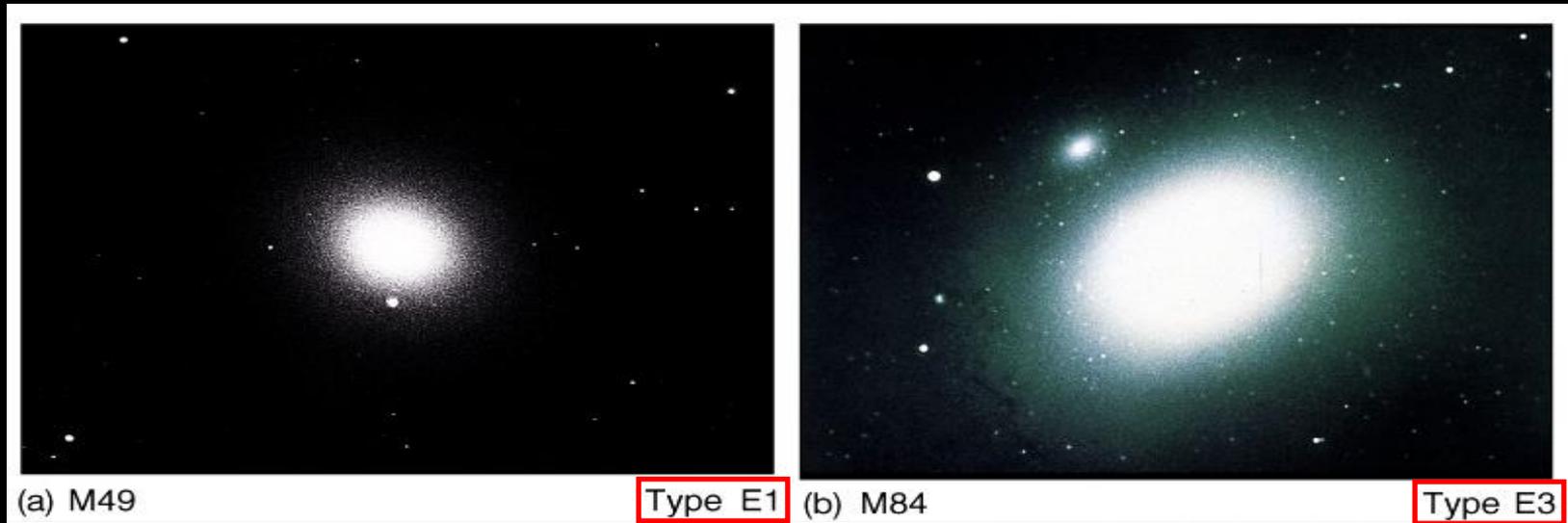


La galassia S0
NGC 3115



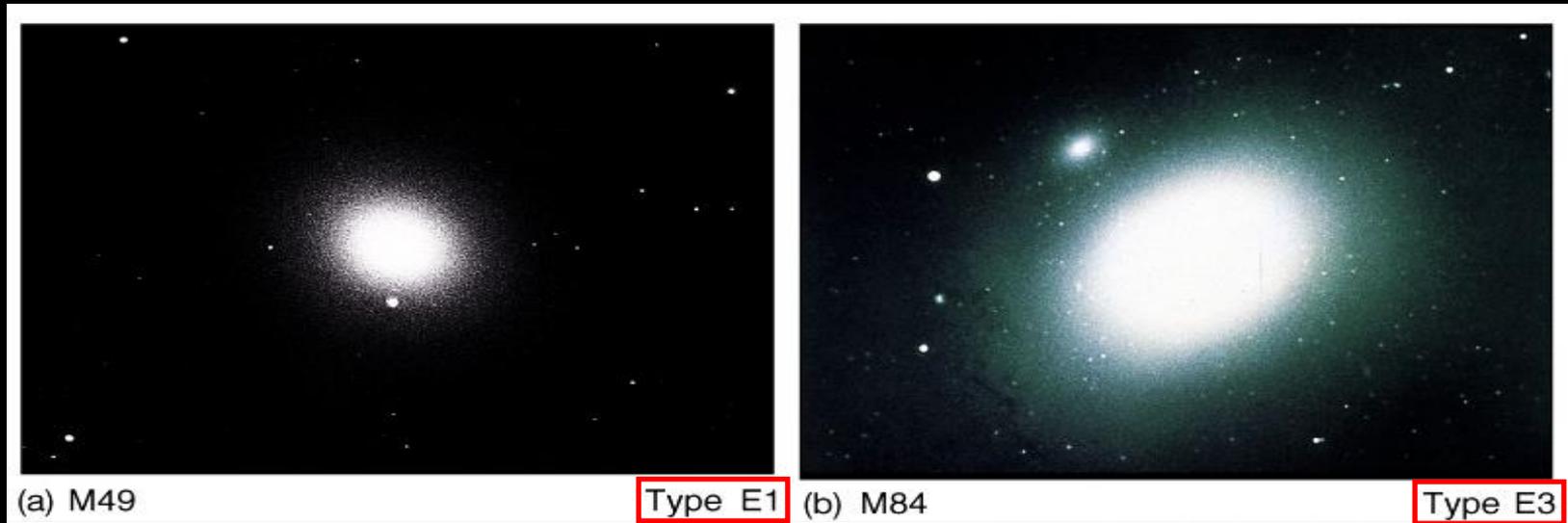
Edwin Powell Hubble
(1889–1953)

Galassie ellittiche



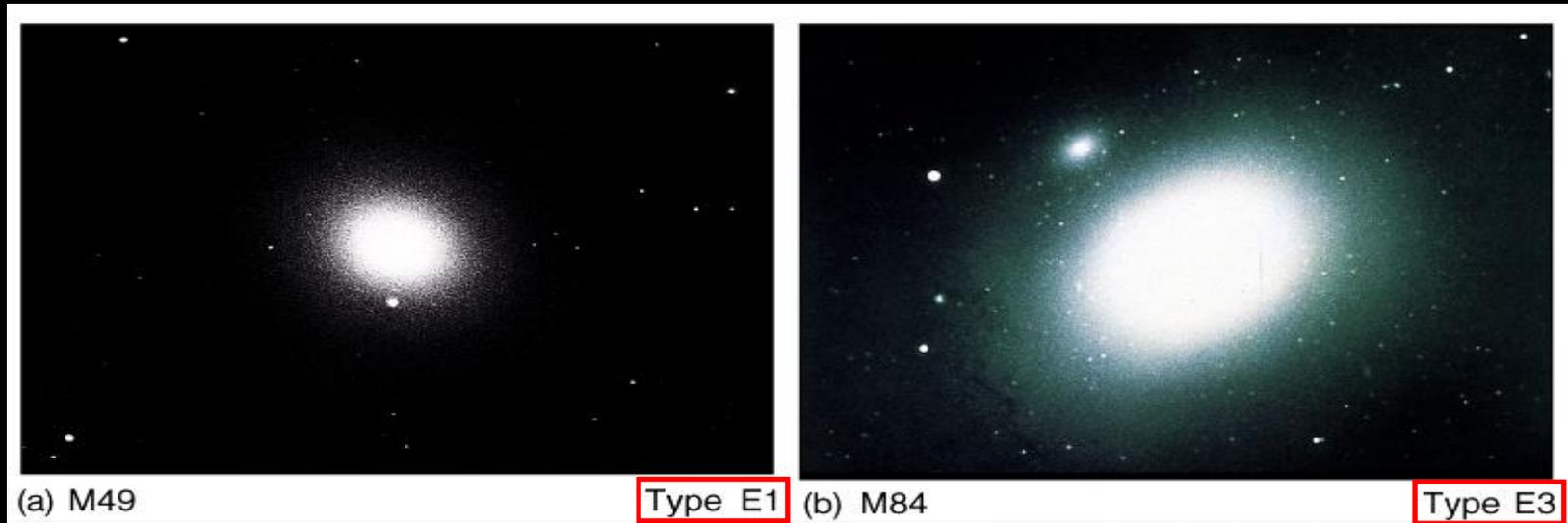
- massa compresa tra 10^5 e $10^{13} M_{\odot}$
- Luminosità compresa tra 3×10^5 e $10^{11} L_{\odot}$

Galassie ellittiche



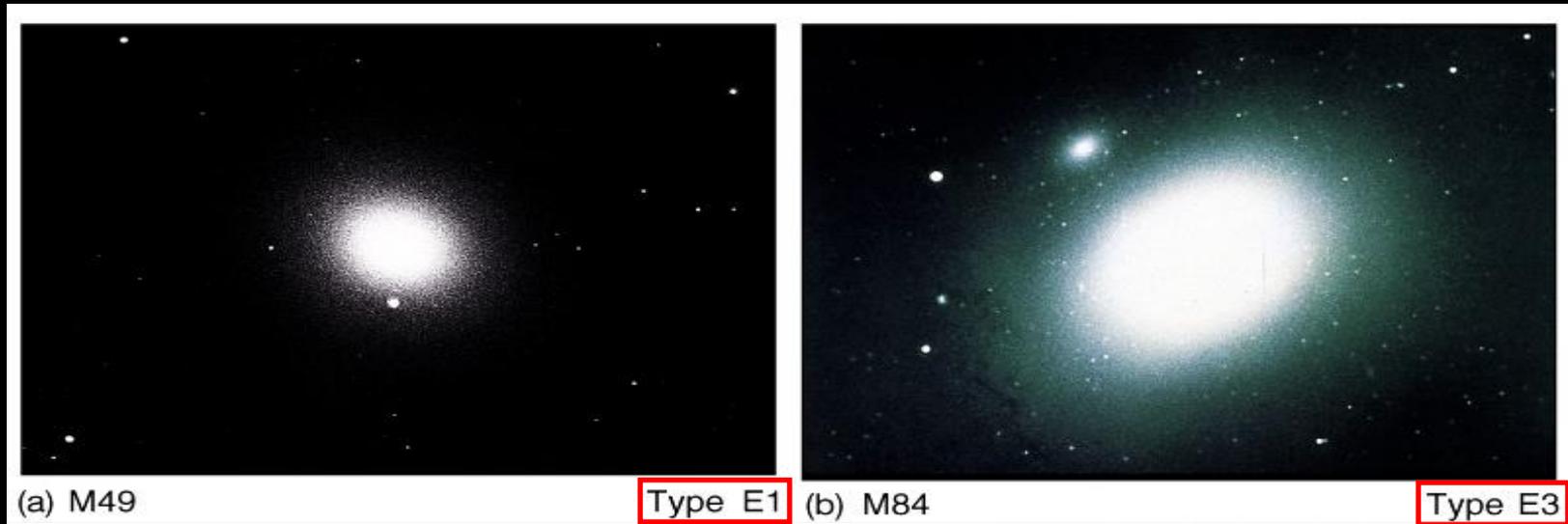
- rapporto $M/L \sim 100 M_{\odot}/L_{\odot}$
- diametro compreso tra 10 e 600.000 anni luce

Galassie ellittiche



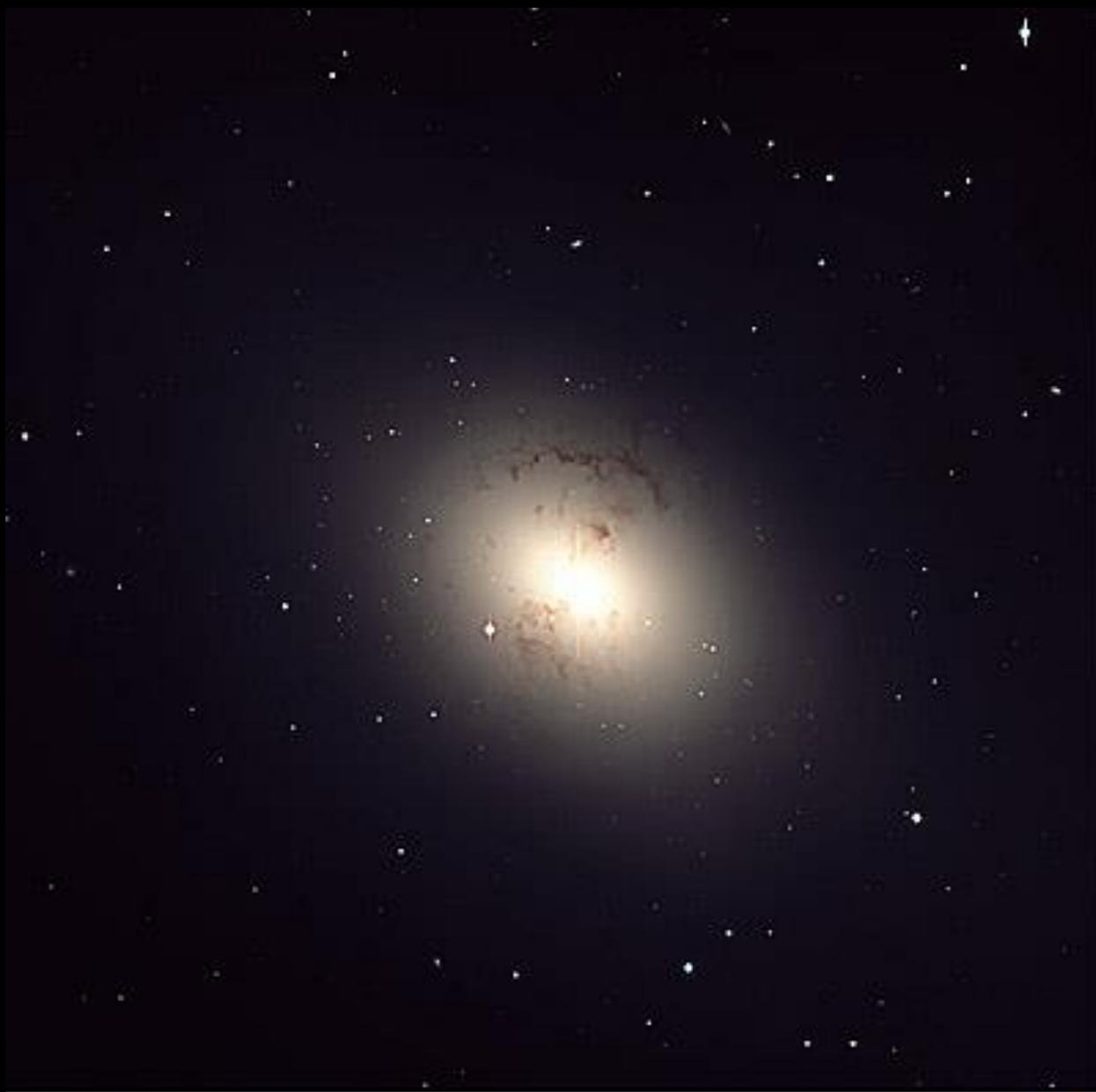
- popolazione stellare vecchia (II) e giovane "avanzata" (I)
- insieme alle galassie lenticolari costituiscono circa 1/3 dell'intera popolazione di galassie

Galassie ellittiche



- struttura regolare e simmetrica e contorni ellittici
- sotto-tipi da **E0** a **E7** definiti sulla base dello schiacciamento apparente (non 3-D): **E_n** con $n = 10 \times (1 - b/a)$ con **a** e **b** assi maggiore e minore apparenti.

Galassie Ellittiche



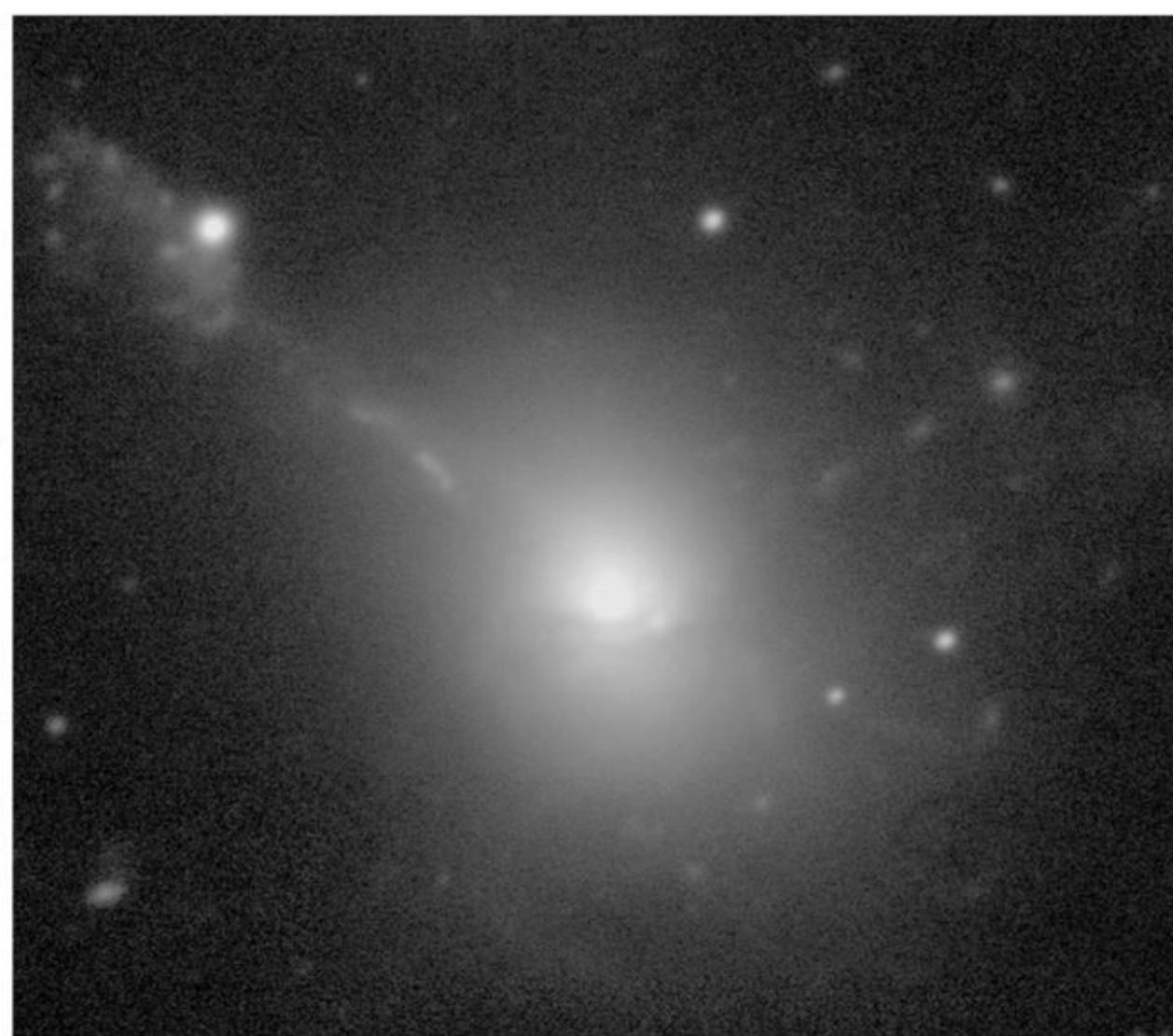
Giant Elliptical Galaxy NGC 1316 in Fornax Cluster (VLT/ANTU + FORS1)

ESO PR Photo 18a.00 (28 July 2000)

© European Southern Observatory



Galassie Ellittiche



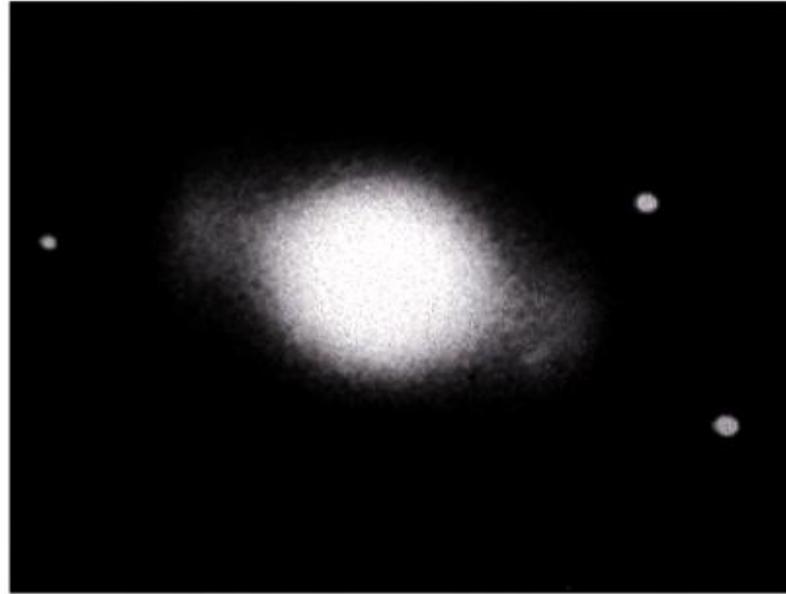
The VLT Records Faint Structures in IC 1182

Galassie lenticolari o S0



(a) NGC 1201

Type S0



(b) NGC 2859

Type SB0

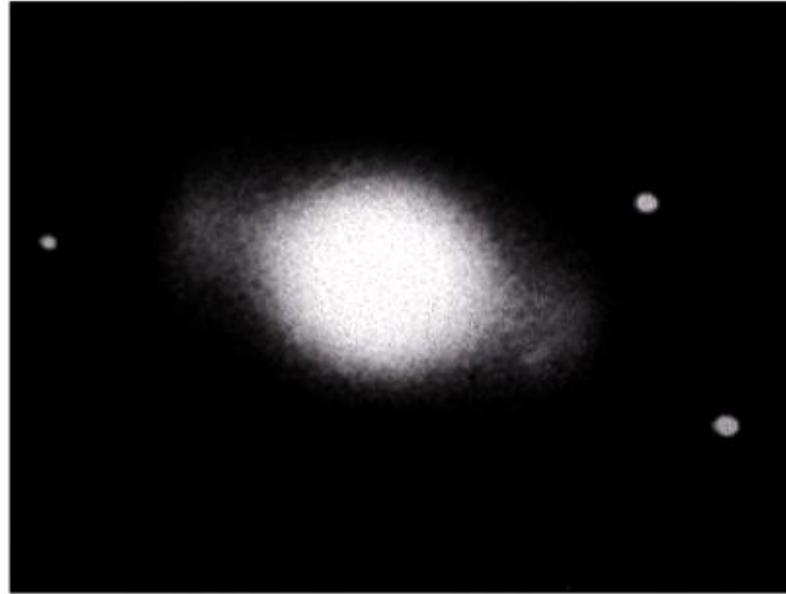
- regione centrale molto brillante e regolare ("bulge", simile ad una galassie ellittica), circondata da una regione estesa la cui brillantezza decresce meno rapidamente (simile ad un disco)

Galassie lenticolari o S0



(a) NGC 1201

Type S0



(b) NGC 2859

Type SB0

- non è visibile alcuna struttura, né bracci di spirale
- Inizialmente si credeva che fossero oggetti di transizioni tra le ellittiche e le spirali Sa. Questa ipotesi non sembra però probabile essendo una tipica galassia S0 più debole di 1-2 mag rispetto ad una tipica E o Sa.

Galassie

Sistemi tridimensionali formati da stelle, gas, polvere & XXX



Gérard Henry de Vaucouleurs
(1918–1995)

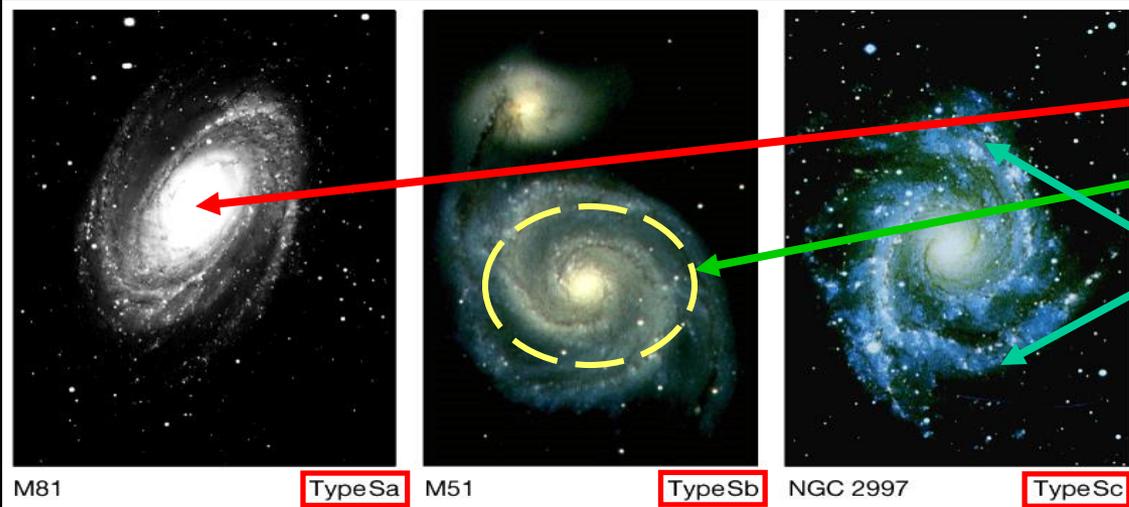


La galassia M81 in
Ursa Major



La galassia spirale barrata NGC 1300 in Eridanus

Galassie spirali



- sono costituite da:

- "bulge" +

- disco +

- bracci di spirale

- costituiscono circa il 77% dell'intera popolazione di galassie

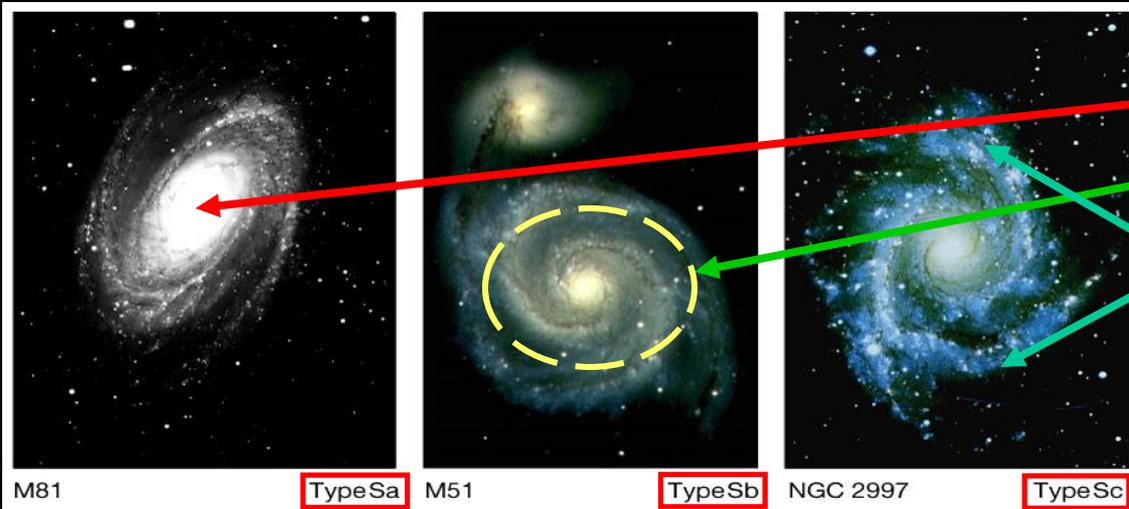
- i sotto-tipi **a**, **b**, **c** sono definiti sulla base di 3 criteri:

- 1) rapporto di luminosità B/D tra "bulge" (B) e disco (D): **Sa** \Rightarrow **B/D > 1**; **Sc** \Rightarrow **B/D < 0.2**

- 2) grado di apertura dei bracci di spirale: **Sa** \Rightarrow **molto stretti**; **Sc** \Rightarrow **molto aperti**

- 3) grado di risoluzione delle regioni di formazione stellare (HII)

Galassie spirali



- sono costituite da:
 - "bulge" +
 - disco +
 - bracci di spirale
- costituiscono circa i 2/3 dell'intera popolazione di galassie

- massa compresa tra 10^9 e $4 \times 10^{11} M_{\odot}$
- Luminosità compresa tra 10^8 e $2 \times 10^{10} L_{\odot}$
- rapporto $M/L \sim 10 M_{\odot}/L_{\odot}$
- diametro compreso tra 15 e 750000 anni luce
- popolazione stellare: giovani stelle di "popolazione I" nei bracci di spirale; stelle vecchie di "popolazione II" nel nucleo e nell'alone

Galassie a Spirale



Spiral Galaxy NGC 1232 - VLT UT 1 + FORS1

Galassie a Spirale



Spiral Galaxy ESO 269-57 (VLT Kueyen + TC)

Galassie a Spirale



Spiral Galaxy Messier 100
(VLT MELIPAL + VIMOS)

Galassie a Spirale



Spiral Galaxy NGC 300
(MPG/ESO 2.2-m + WFI)



Galassie a Spirale



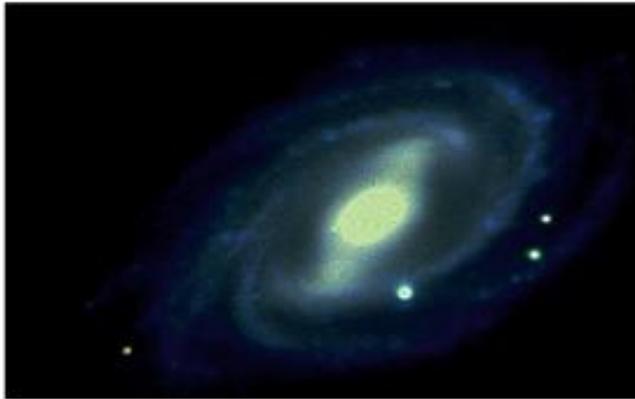
Spiral Galaxy NGC 4945
(MPG/ESO 2.2-m + WFI)

ESO PR Photo 18a/99 (26 March 1999)

© European Southern Observatory



Galassie spirali barrate



NGC 3992

Type SBa



NGC 1433

Type SBb



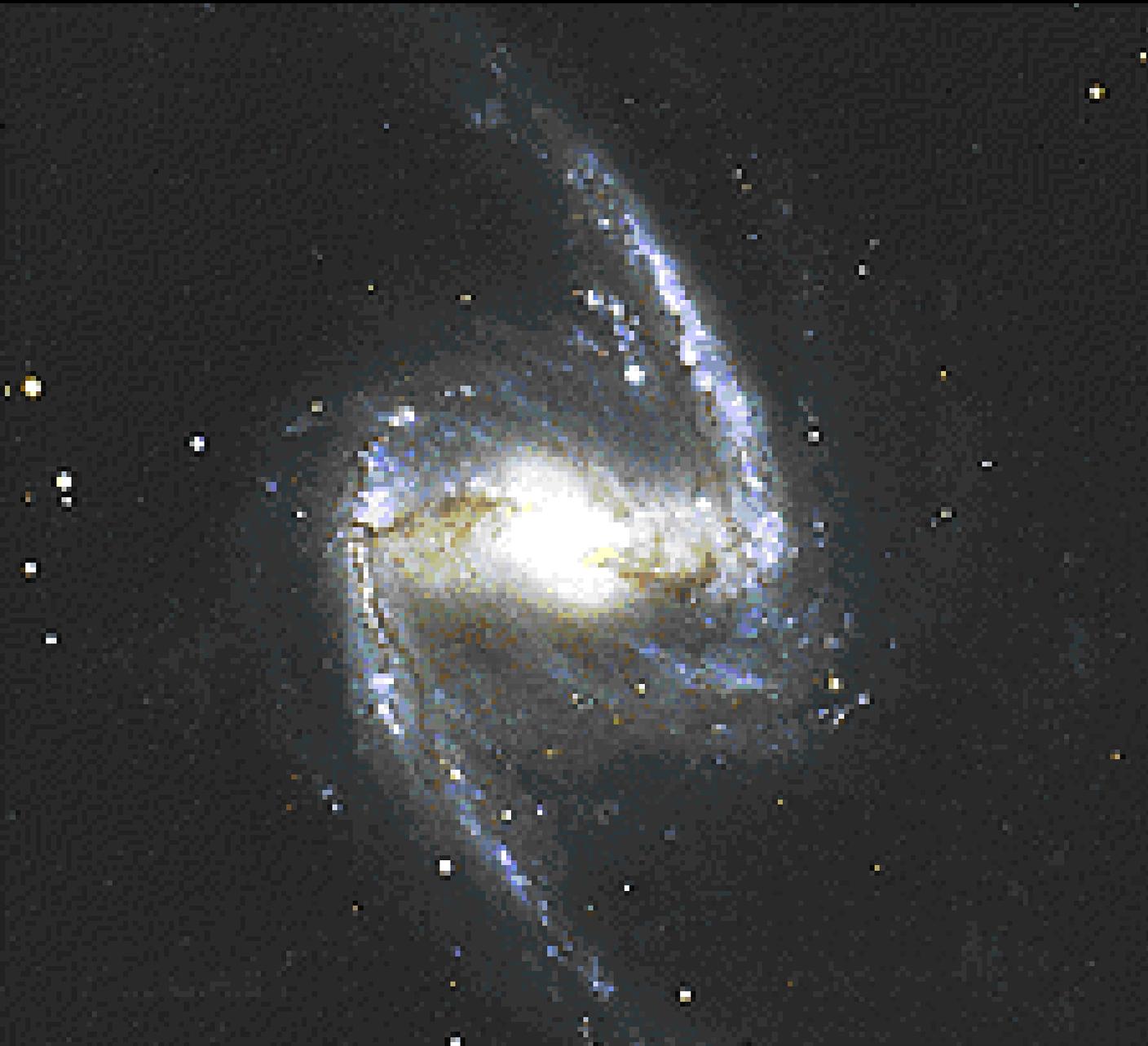
NGC 1300

Type SBc

- si differenziano dalle galassie a spirale normali per la presenza di una struttura longitudinale a forma di "barra" che attraversa la regione nucleare e dalle cui estremità partono i bracci di spirale
- la suddivisione nei sotto-tipi a, b, c avviene secondo gli stessi criteri adoperati per le galassie a spirale normali

Galassie a Spirale

barrate

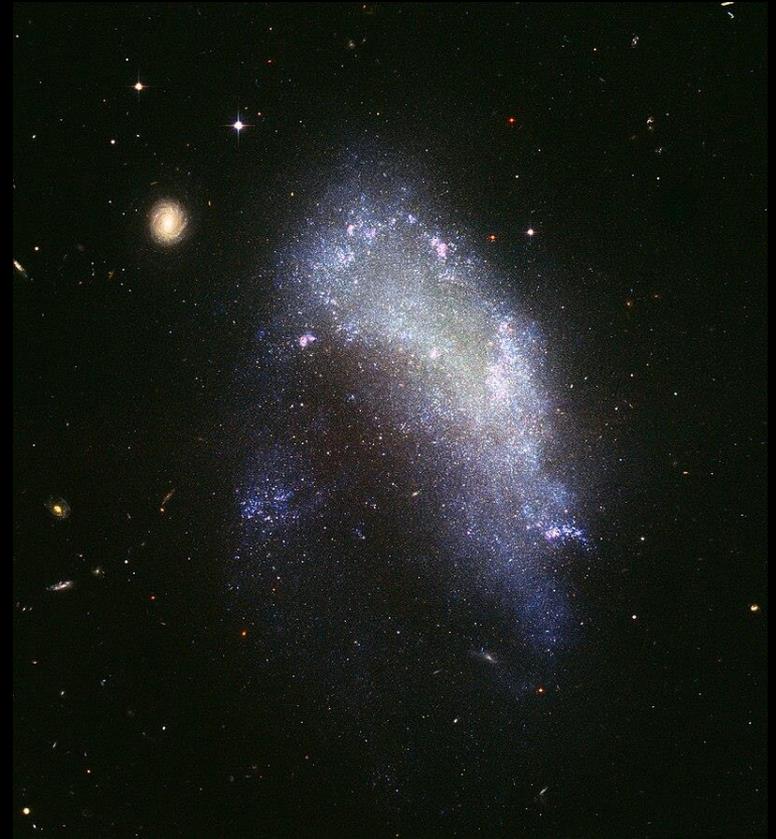


Galassie

Sistemi tridimensionali formati da stelle, gas, polvere & XXX



La galassia nana NGC 3738 nell'Orsa maggiore



La galassia irregolare NGC 1427A
nella Fornace

Galassie irregolari



- dal punto di vista morfologico, non presentano alcuna simmetria
- sono più piccole rispetto alle ellittiche ed alle spirali
- si suddividono in 2 sotto-tipi:
 - 1) Irregolari di tipo I: sono risolte in stelle, ma la struttura a spirale è molto disturbata
 - 2) Irregolari di tipo II: hanno una struttura regolare ma "caotica" (M82) con filamenti di gas

Galassie irregolari



- massa compresa tra 10^8 e $3 \times 10^{10} M_{\odot}$
- Luminosità compresa tra 10^7 e $10^9 L_{\odot}$
- rapporto $M/L \sim 10 M_{\odot}/L_{\odot}$
- diametro compreso tra 1 e 30.000 anni luce
- popolazione stellare di tipo I: molte stelle giovani (tipo B) e materia interstellare (gas e polvere)
- rappresentano pochi percento dell'intera popolazione di galassie

Galassie Irregolari

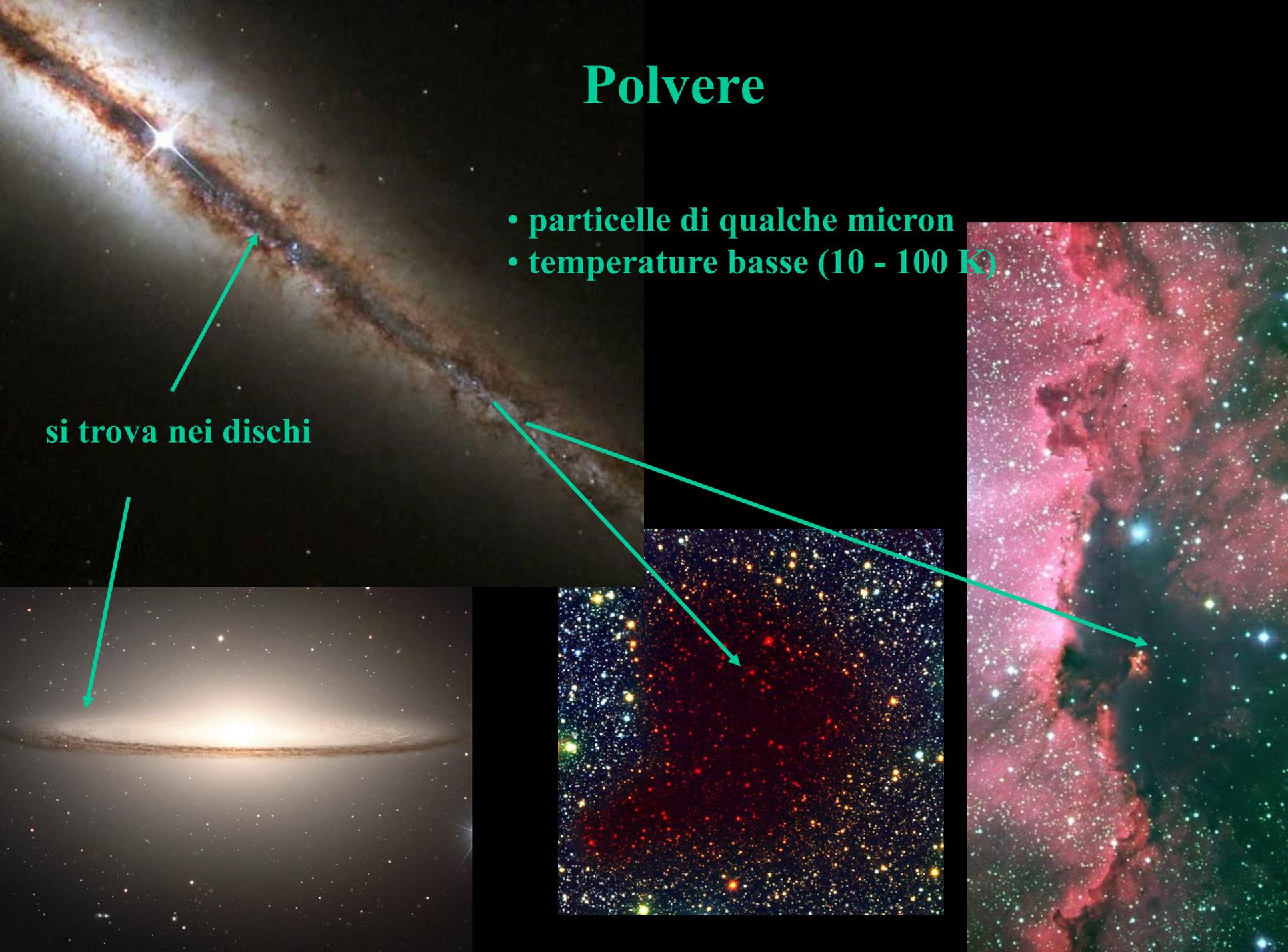


VIMOS Image of the Antennae Galaxies NGC 4038/39
(VLT MELIPAL + VIMOS)

Polvere

- particelle di qualche micron
- temperature basse (10 - 100 K)

si trova nei dischi



Galassie con polvere



Galaxy with Warped Dust Lane
(VLT ANTU + FORS1)

Galassie con polvere



Edge-on Galaxy with Dust Lane
(VLT ANTU + FORS1)

ESO PR Photo 24/04 (30 April 1999)

© European Southern Observatory



LE GALASSIE INTERAGENTI



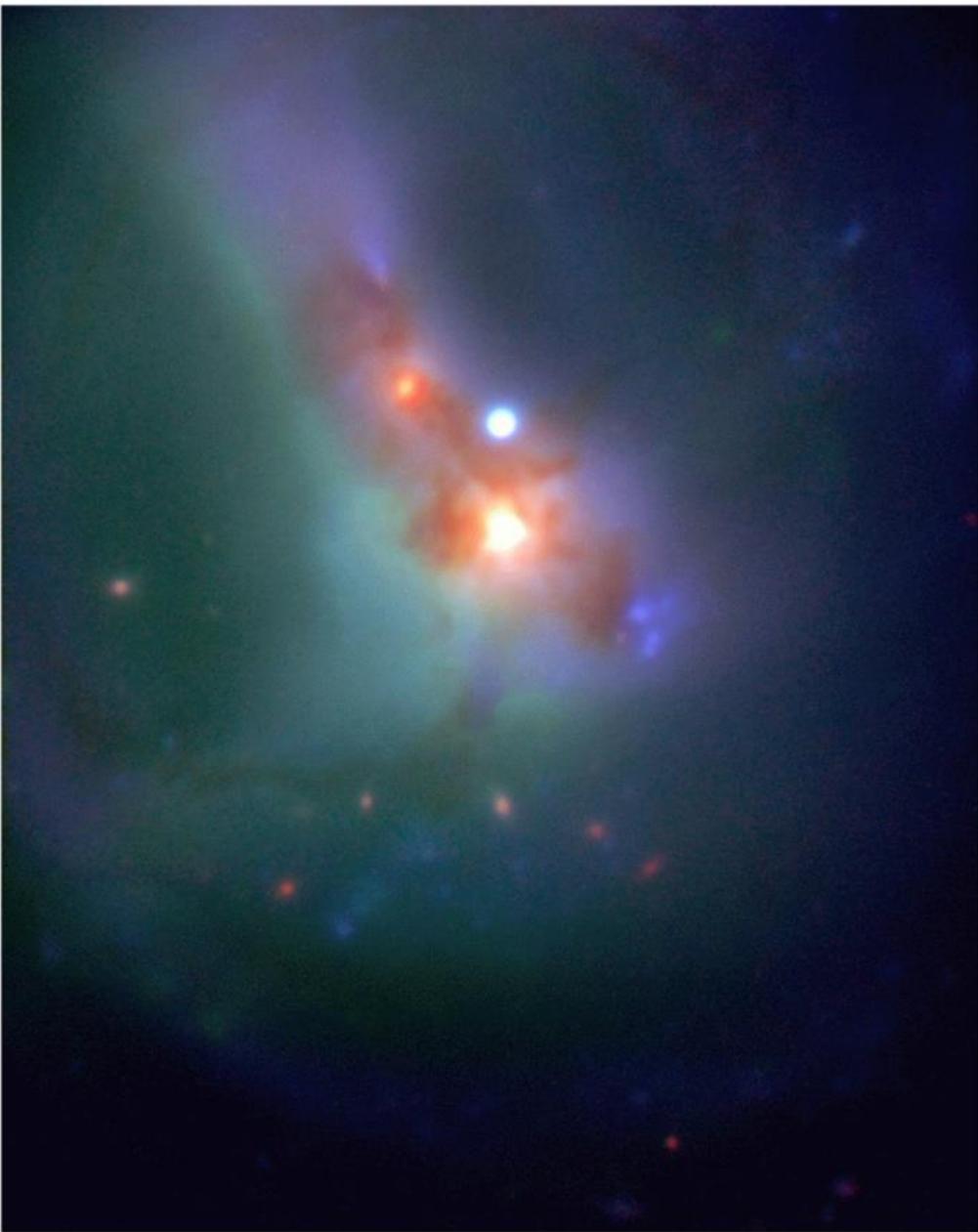
Galassie Interagenti



Giant Interacting Galaxies NGC 6872 / IC 4970
(VLT ANTU + FORS1)



Galassie Interagenti



IR/Optical Colour Composite of
Center of Merging Galaxy System ESO202-G23 (VLT UT1 + ISAAC)

ESO PR Photo 46e/98 (26 November 1998)

©European Southern Observatory

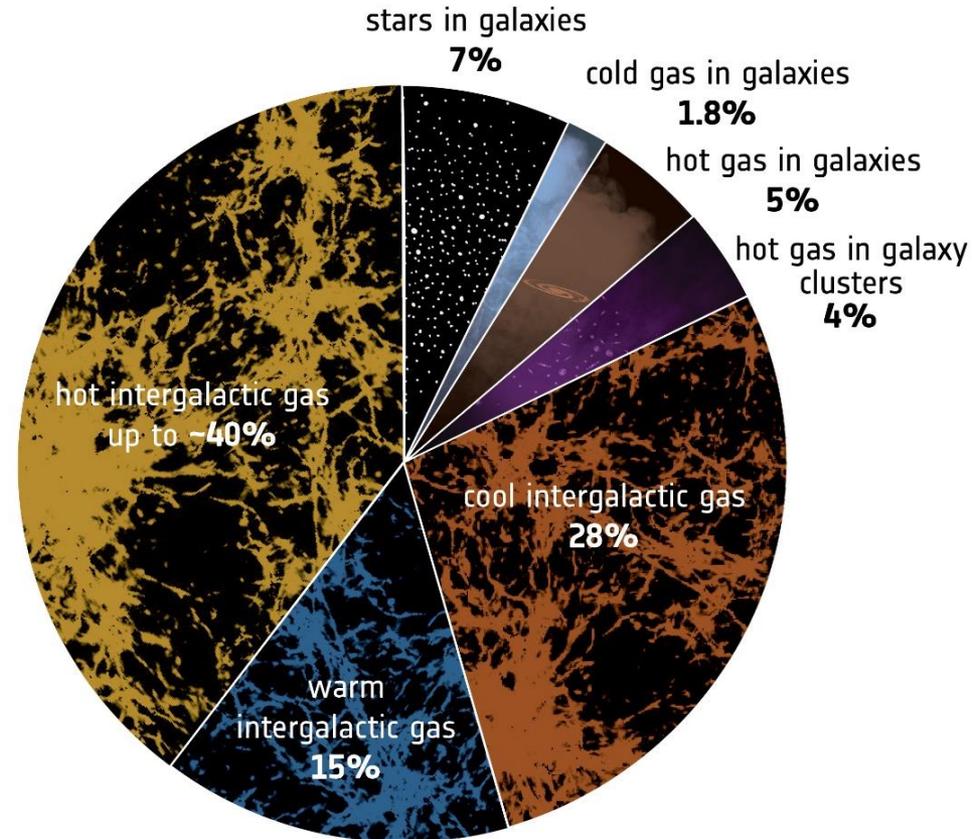
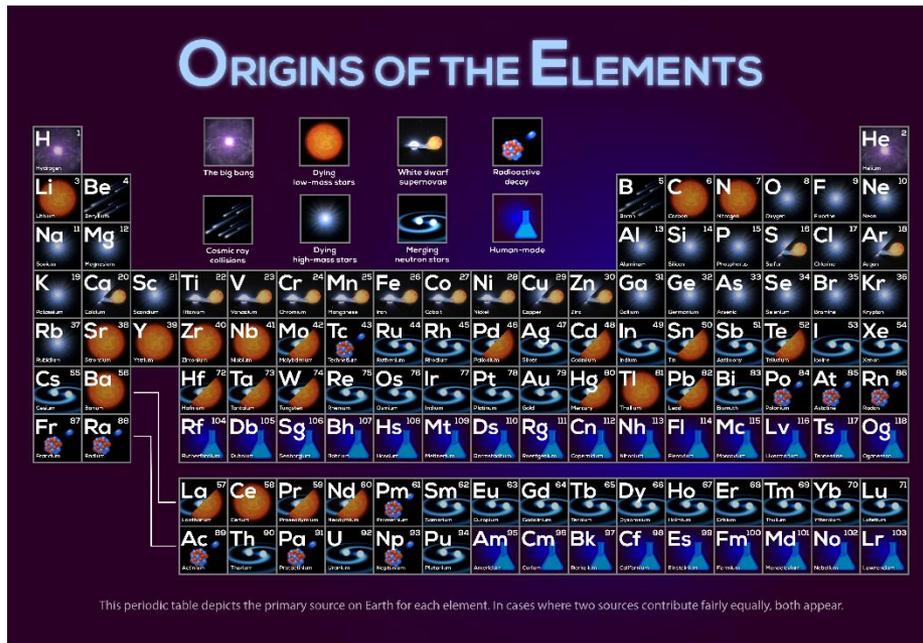


Galassia con polar ring



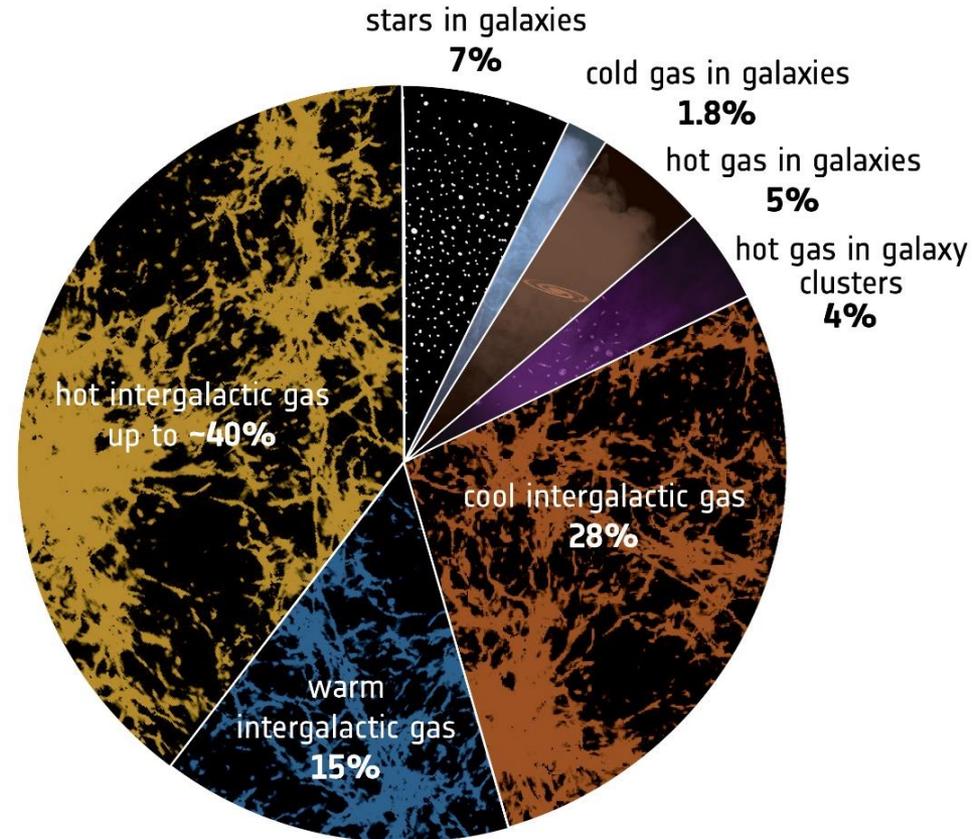
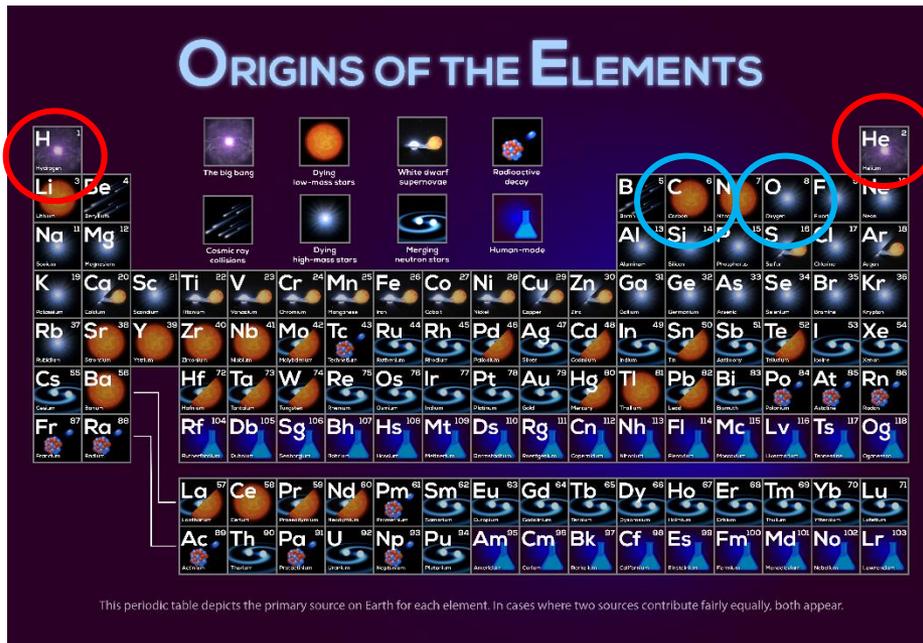
First VLT Colour Photo of Strange Galaxy

E non solo.....sino a 30 anni fa.....



Satellite: XMM-Newton
 Data: 20 Giugno 2018
 Copyright: ESA

E non solo.....sino a 30 anni fa.....

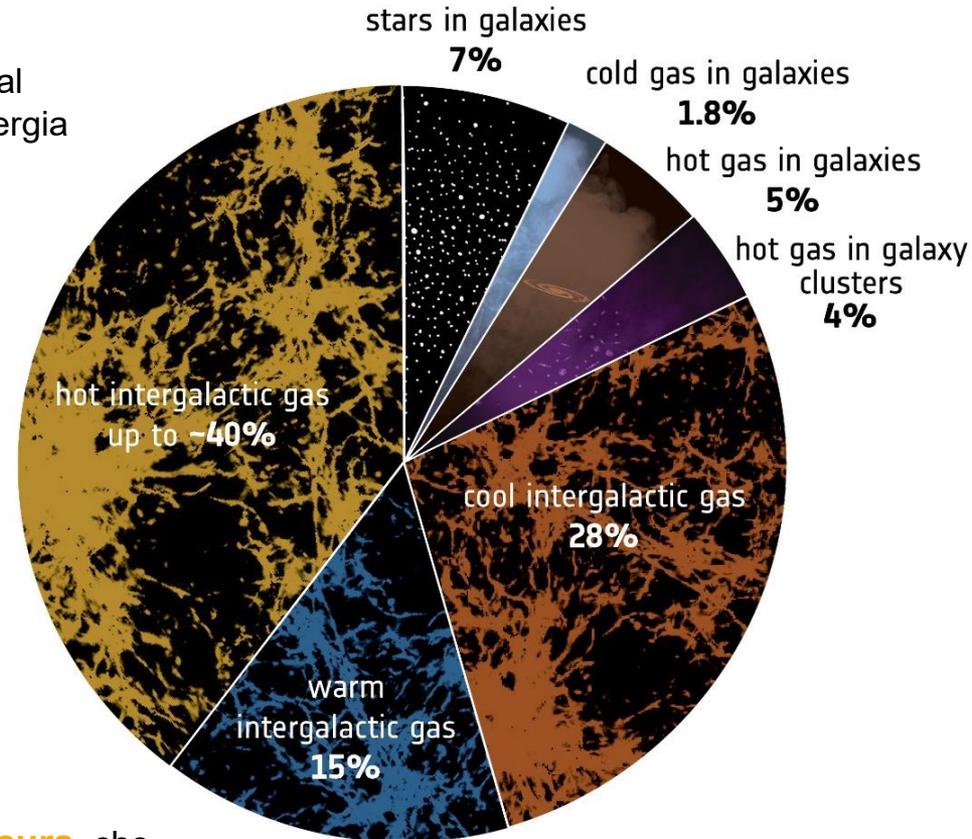
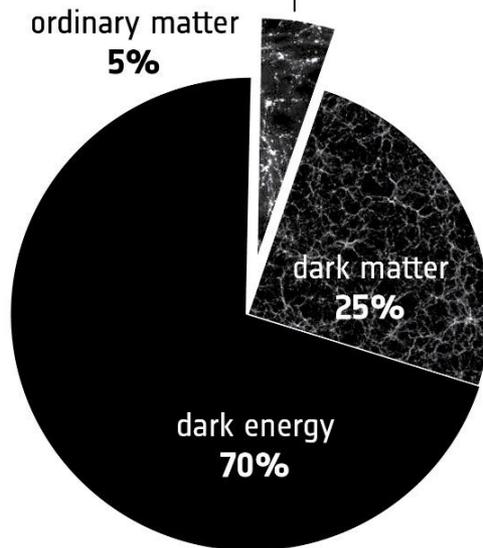


Satellite: XMM-Newton
 Data: 20 Giugno 2018
 Copyright: ESA

Mass/Energy Budget dell'Universo

La materia ordinaria

comprende stelle e galassie
contribuisce per circa il 5% al
totale del budget massa/energia
dell'Universo.



L'Energia oscura

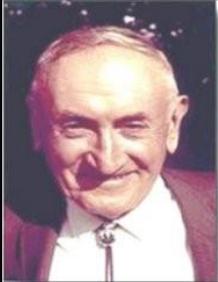
“forza repulsiva” (opposta alla gravità) distribuita uniformemente, legata all'energia del vuoto, ritenuta responsabile dell'accelerazione dell'espansione dell'Universo, rappresenta il restante 70%.

La materia oscura che viene rilevata indirettamente dalla sua influenza gravitazionale sulla materia vicina, rappresenta circa il 25%.

Satellite: XMM-Newton
Data: 20 Giugno 2018
Copyright: ESA

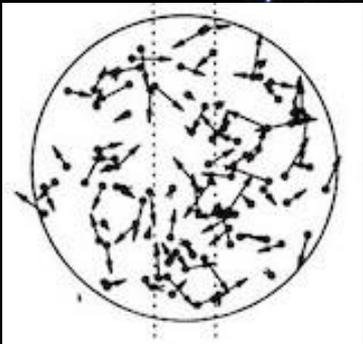
La prima evidenza osservativa dell'esistenza della Materia Oscura

1933 - Studio della dinamica delle galassie di ammasso



Fritz Zwicky
(1898-1974)

Coma Cluster



NASA/apod 2 Maggio 2010 - Credit & Copyright: Dean Rowe

Zwicky applicò il teorema del Viriale all'ammasso di Coma: $2T+U=0 \rightarrow \frac{GM}{R} \approx \sigma_v^2$

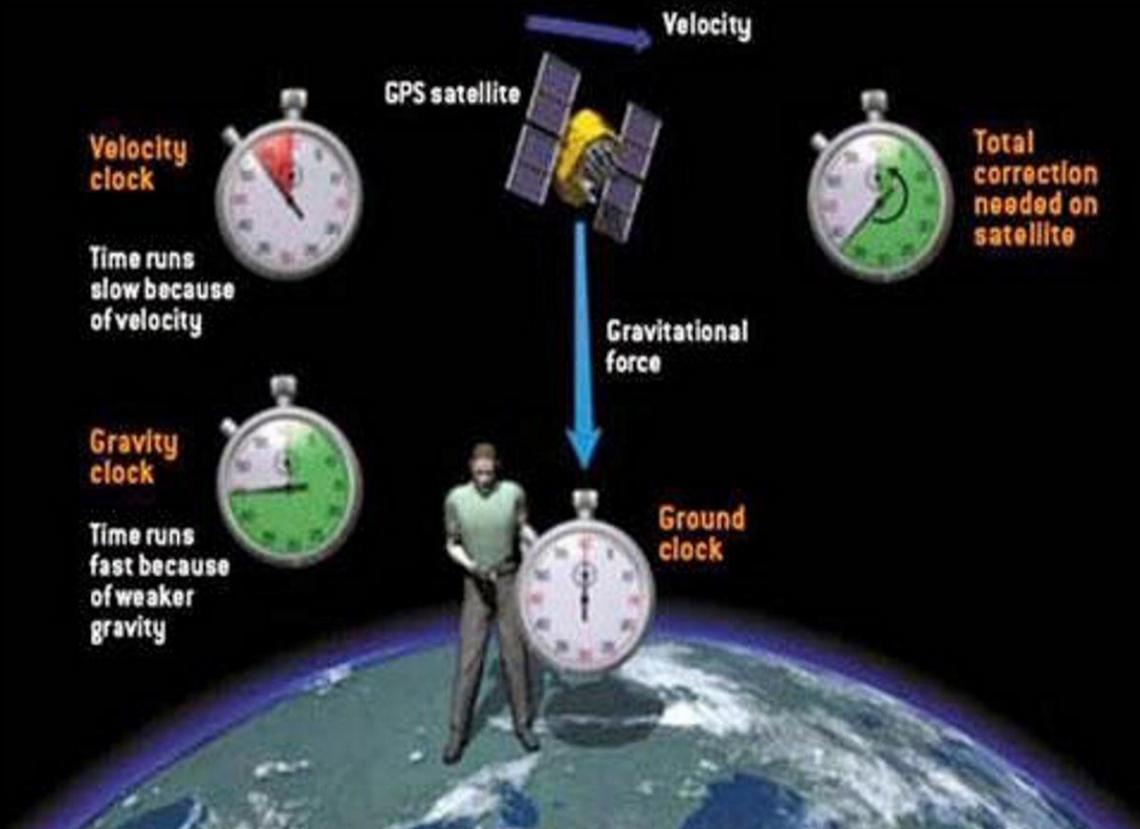
e trovò che $M_{\text{cluster}} > 10 \sum_i M_{\text{gal}}$

Ma come si è arrivati a tutto questo?

Ma come si è arrivati a tutto questo?

Teoria della relatività di Einstein

1905: Relatività ristretta. Universalità della velocità della luce. Il tempo non è più assoluto, come sosteneva Newton. Spazio e tempo sono legati indissolubilmente.



(1879-1955)

1905: $E=mc^2$

Il contenuto energetico di un corpo a riposo è proporzionale alla sua massa.

Ma come si è arrivati a tutto questo?

Teoria della relatività di Einstein

1911-1915: **Relatività generale**. Teoria geometrica della gravità.



(1879-1955)

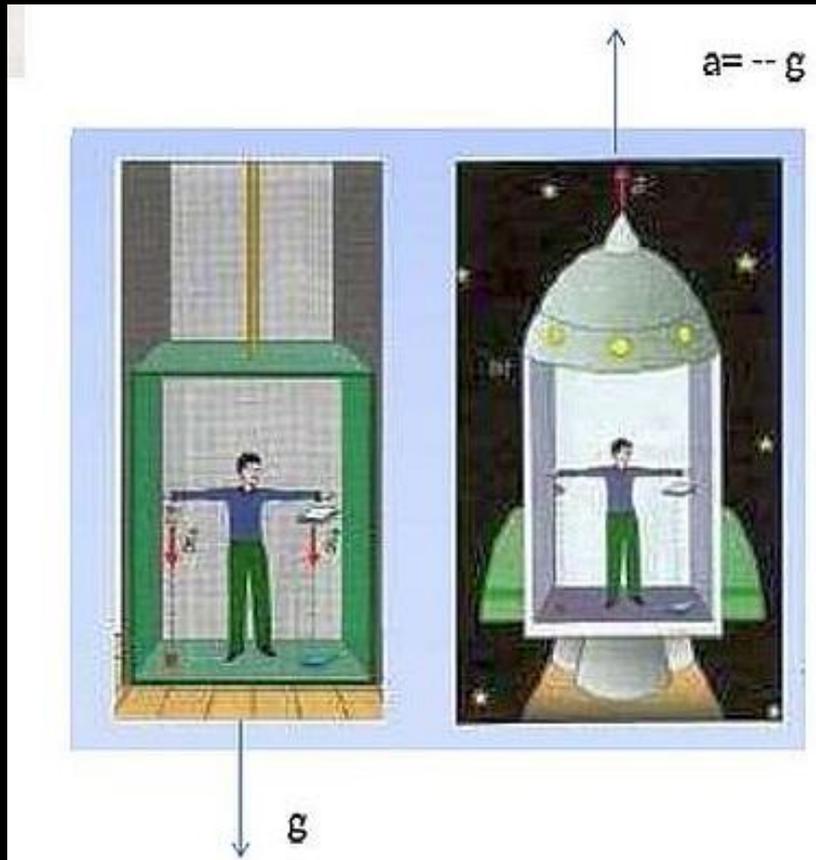
La gravità è la manifestazione della curvatura dello spazio tempo intorno a grandi masse.

Ma come si è arrivati a tutto questo?

Teoria della relatività di Einstein

Principio di equivalenza

Gli effetti della gravità sono localmente del tutto equivalenti a quelli di un sistema accelerato.



(1879-1955)

Si può sperimentare per pochi secondi l'assenza di gravità in un ascensore aperto, l'ascensore scende, in caduta libera.



Ma come si è arrivati a tutto questo?

Teoria della relatività di Einstein

Gravità come proprietà intrinseca dello spazio-tempo, ovvero legata alla sua forma (alla curvatura).



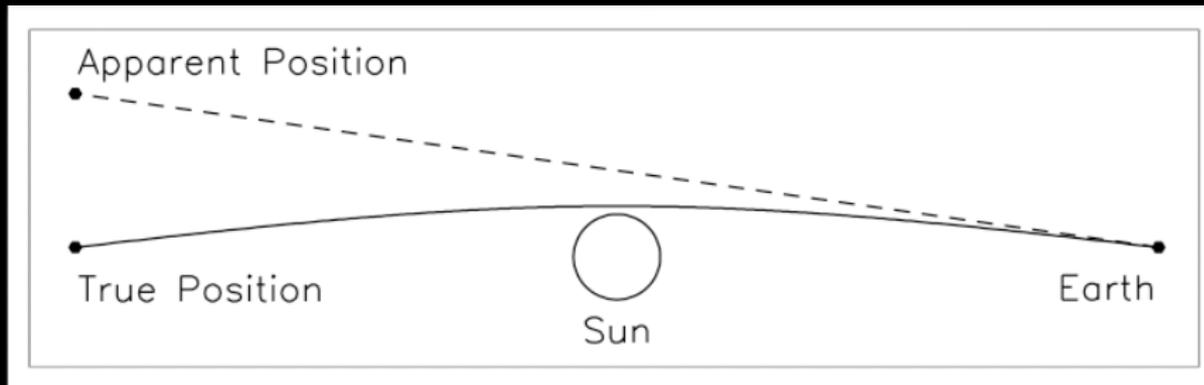
(1879-1955)

Le masse curvano lo spazio-tempo. I corpi e la luce seguono le traiettorie più brevi nello spazio-tempo curvo (geodetiche).

- L'ipotesi di deflessione della luce da parte della gravità newtoniana risale a Newton e Laplace, Soldner (1804) deriva la classica formula di deflessione

$$\alpha = \frac{2GM}{c^2} \frac{1}{r}$$

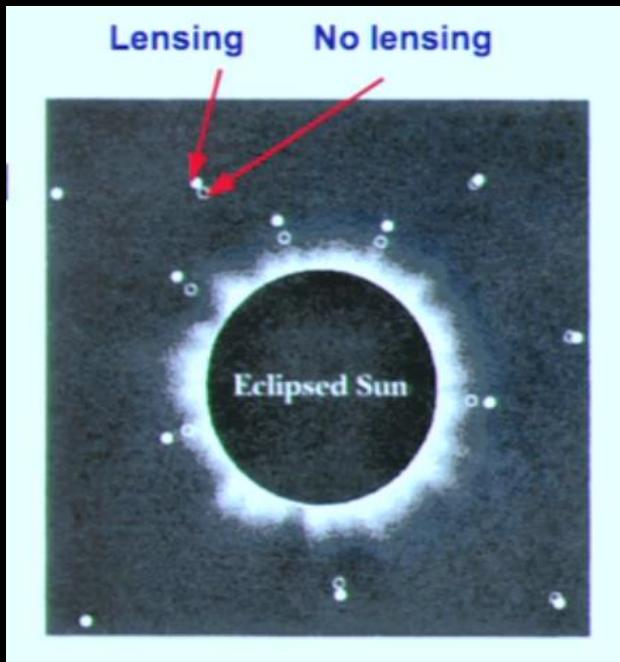
- Einstein (1915) usando le equazioni GR trova un angolo di deflessione con un fattore 2 superiore alla formula classica (1,74 "per il Sole)



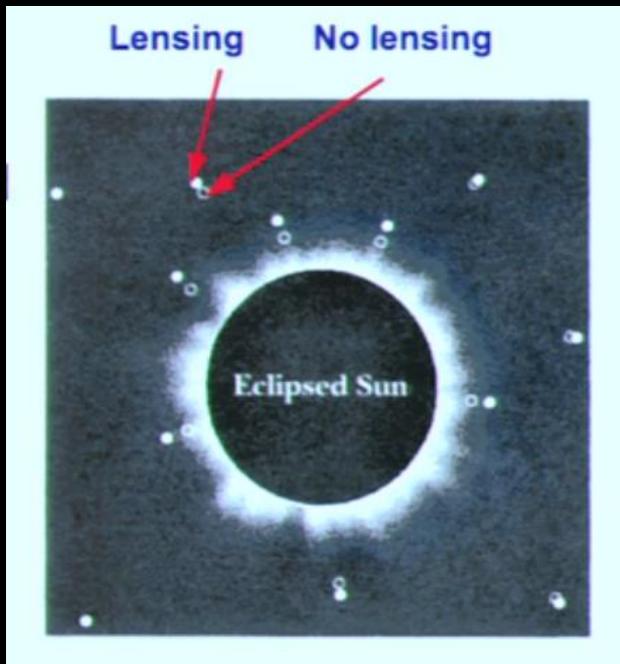
- L'ipotesi di deflessione della luce da parte della gravità newtoniana risale a Newton e Laplace, Soldner (1804) deriva la classica formula di deflessione

$$\alpha = \frac{2GM}{c^2} \frac{1}{r}$$

- Einstein (1915) usando le equazioni GR trova un angolo di deflessione con un fattore 2 superiore alla formula classica (1,74 "per il Sole)
- Eddington (1919) conferma la previsione della deflessione delle stelle vicino al lembo solare



- L'ipotesi di deflessione della luce da parte dell'attrazione gravitazionale di Laplace, Soldner (1804) deriva la classica formula $\delta = \frac{2GM}{rc^2}$
- Einstein (1915) usando le equazioni GR trova un fattore 2 superiore alla formula classica (1,75 volte)
- Eddington (1919) conferma la previsione della



LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

**Men of Science More or Less
Agog Over Results of Eclipse
Observations.**

EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

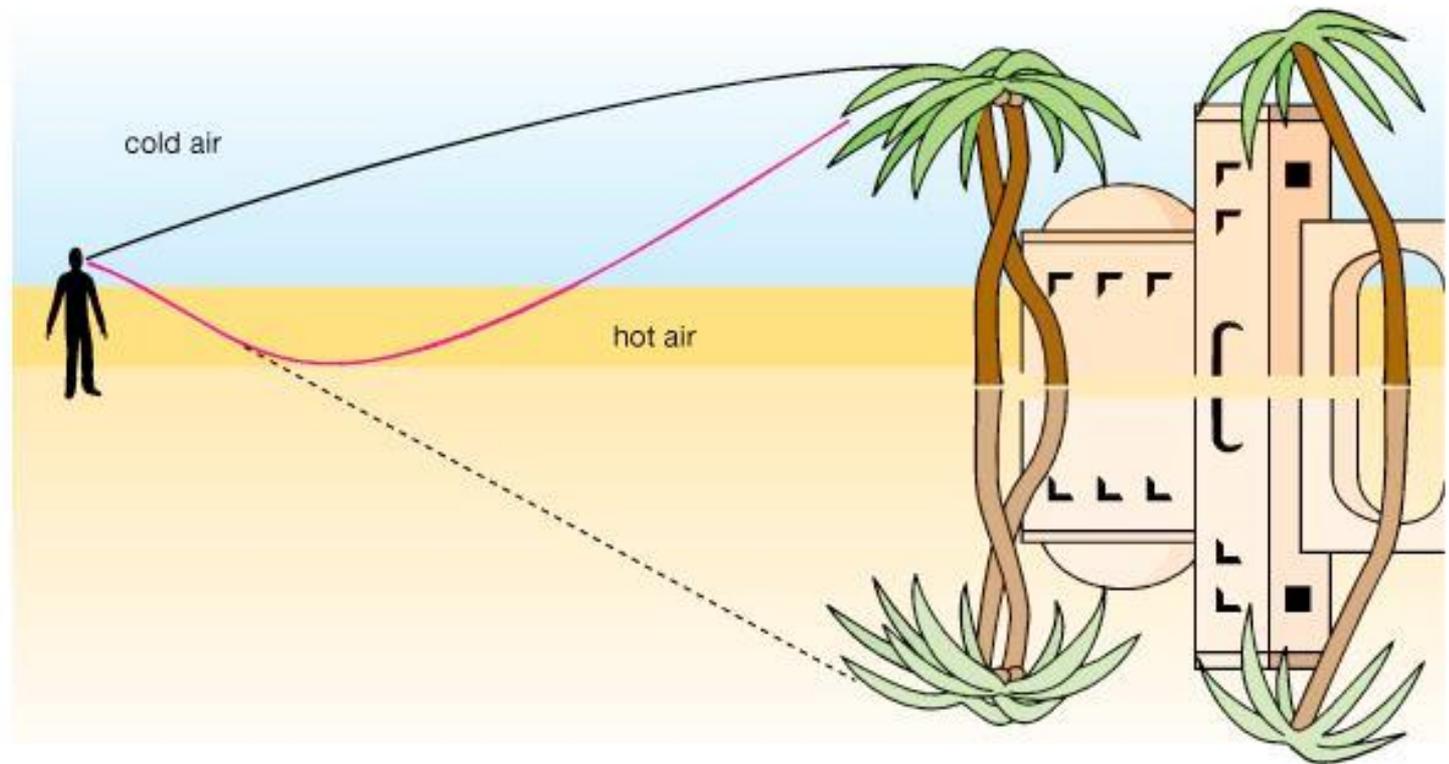
**Stars Not Where They Seemed
or Were Calculated to be,
but Nobody Need Worry.**

A BOOK FOR 12 WISE MEN

**No More in All the World Could
Comprehend It, Said Einstein When
His Daring Publishers Accepted It.**

Miraggio gravitazionale

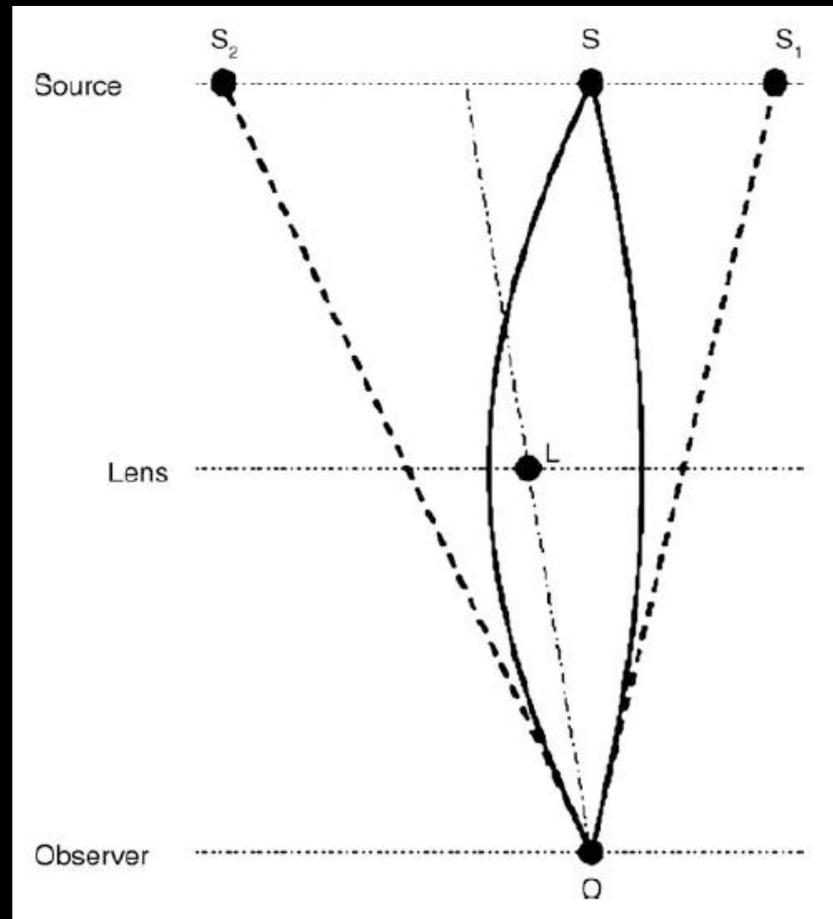
Formation of an inferior image



Ma la gravità del Sole non è sufficiente a creare i miraggi gravitazionali ad effetti speciali!!!!



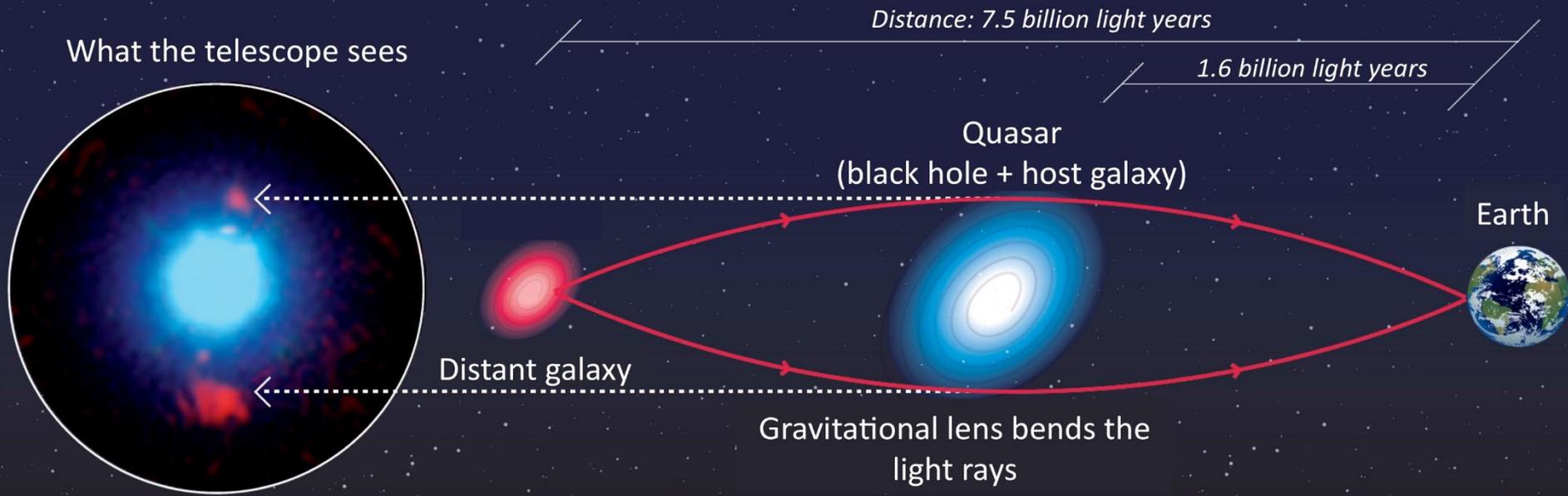
- Chwolson (1926) concepisce la possibilità di immagini multiple ("stelle fittizie") di stelle da stelle lente e persino anelli in geometria simmetrica.
- Einstein (1936) pubblica su Science: un calcolo "di modesto valore", su richiesta di un amatore Rudi Mandl, considera la stessa possibilità e conclude che non esiste possibilità di osservare l'effetto per lenti a massa stellare.



- Chwolson (1926) concepisce la possibilità di immagini multiple ("stelle fittizie") di stelle da stelle lente e persino anelli in geometria simmetrica.
- Einstein (1936) considera la stessa possibilità e conclude che non esiste possibilità di osservare l'effetto per lenti a massa stellare.
- Zwicky (1937) utilizzando le sue nuove stime di massa galattica ($\sim 4 \times 10^{11} M_{\odot}$) ha concluso:
 - L'ottimizzazione delle galassie può dividere le immagini in grandi angoli osservabili
 - Questo potrebbe essere usato per stimare le masse galattiche
 - l'ingrandimento può portare ad accedere a deboli galassie lontane!



Le lenti gravitazionali



<http://www.astro.caltech.edu/~george/qsolens/>

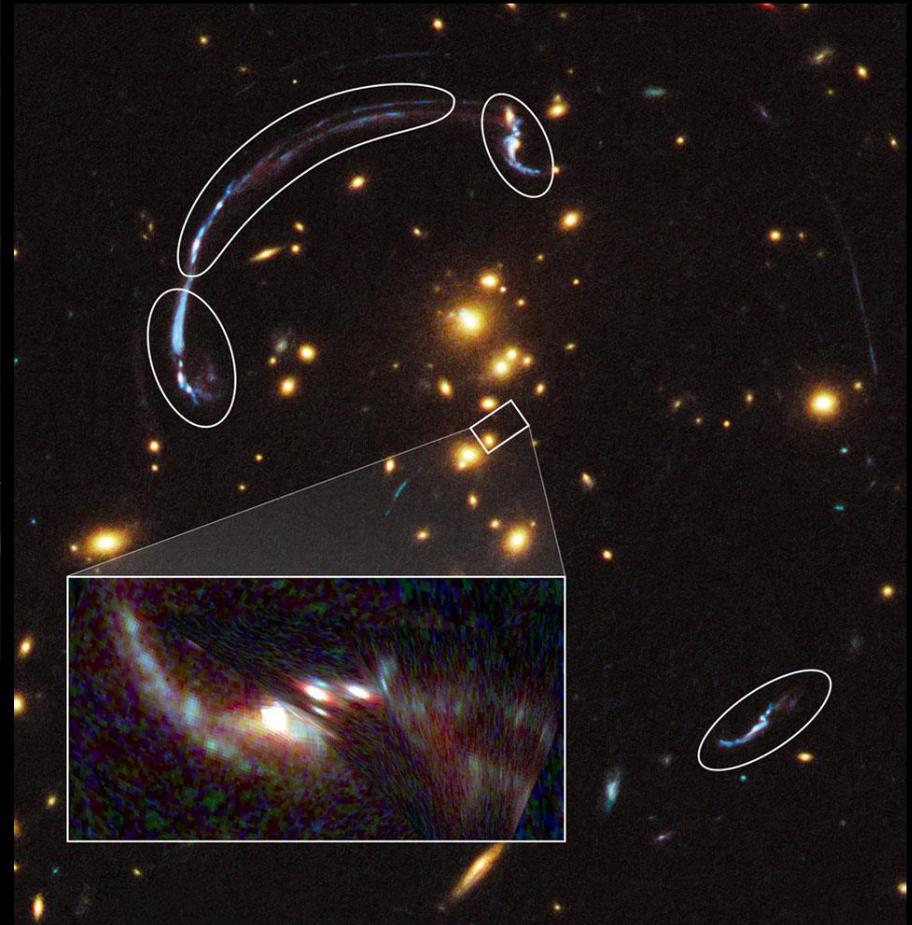
Moltiplicano – Ingrandiscono – Distorcono



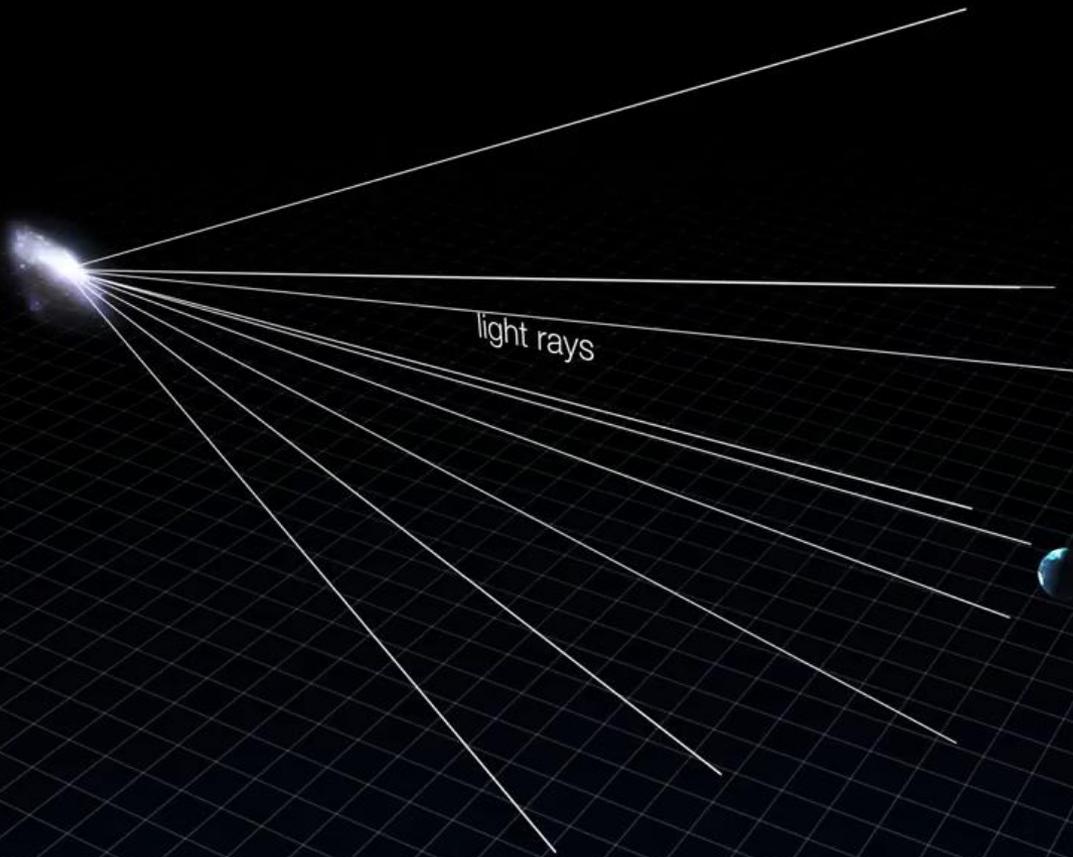
- Solo attraverso un modelli preciso della lente, possono essere ricostruite le proprietà della sorgente.

- Le lenti possono essere anche un gruppo o un ammasso di galassie

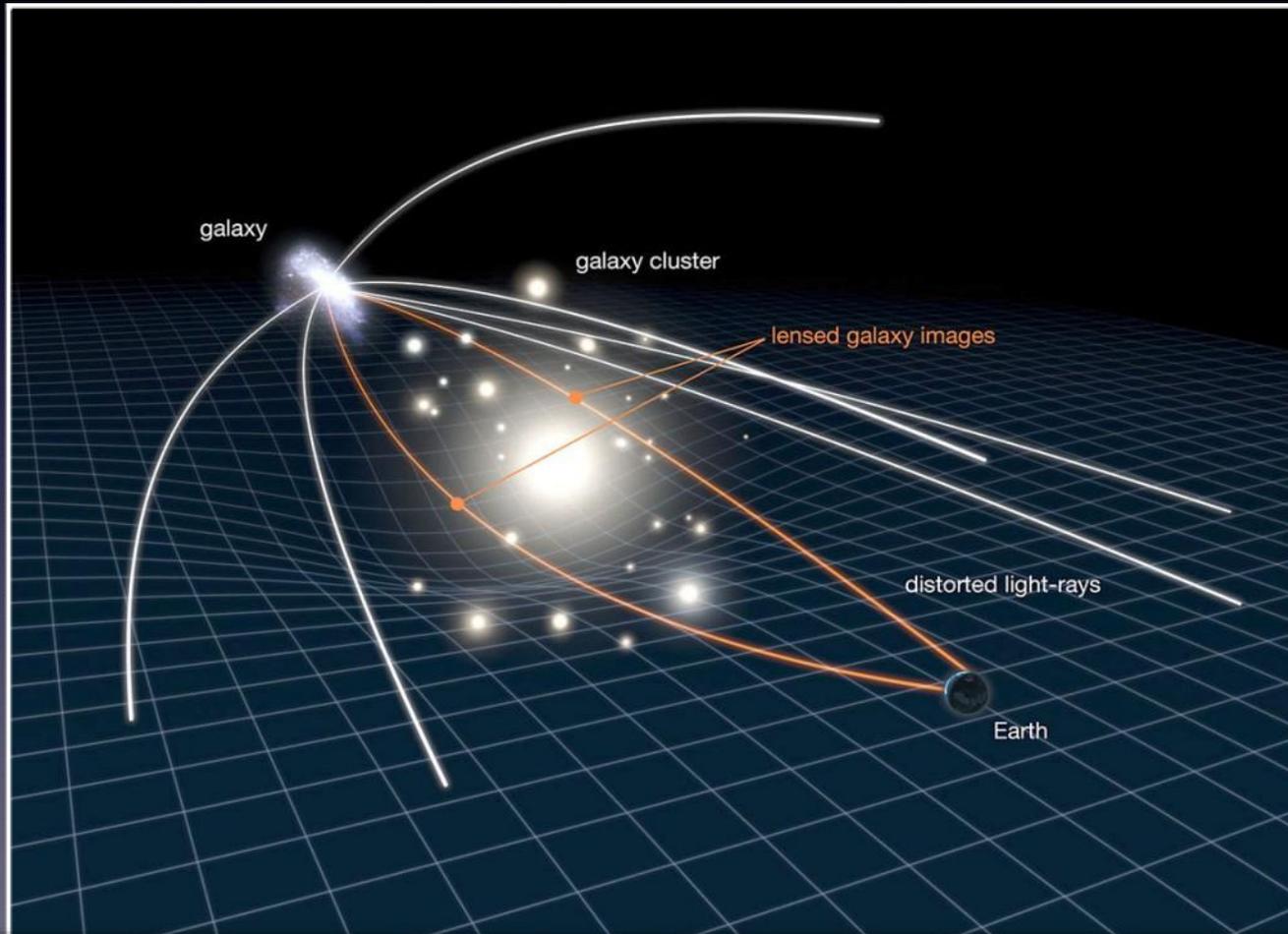
- Le sorgenti vengono distorte ed ingrandite



Supernova "Refsdal"

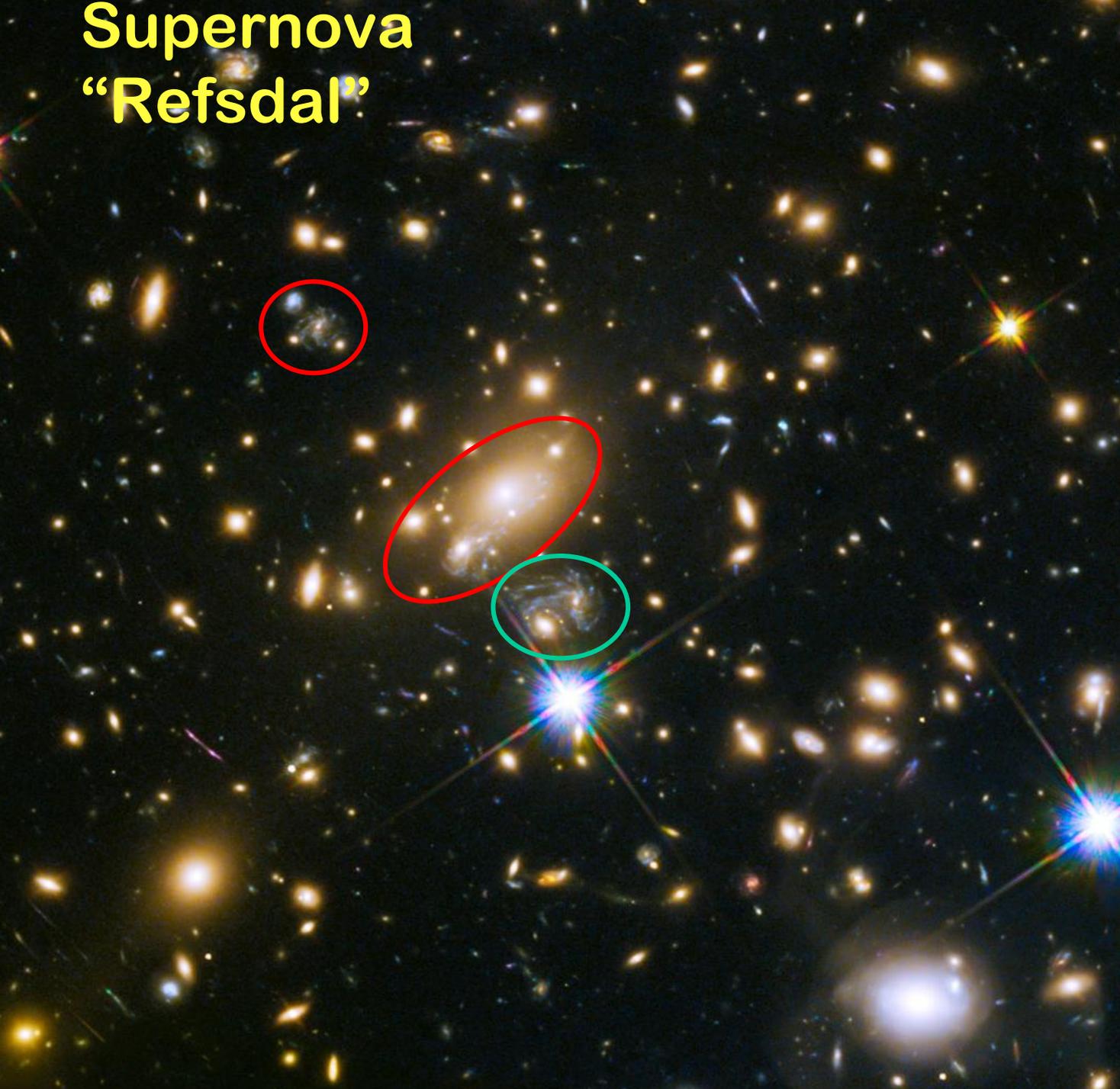


Lenti Gravitazionali...in gruppo!



L'immagine della sorgente è amplificata, moltiplicata e distorta!

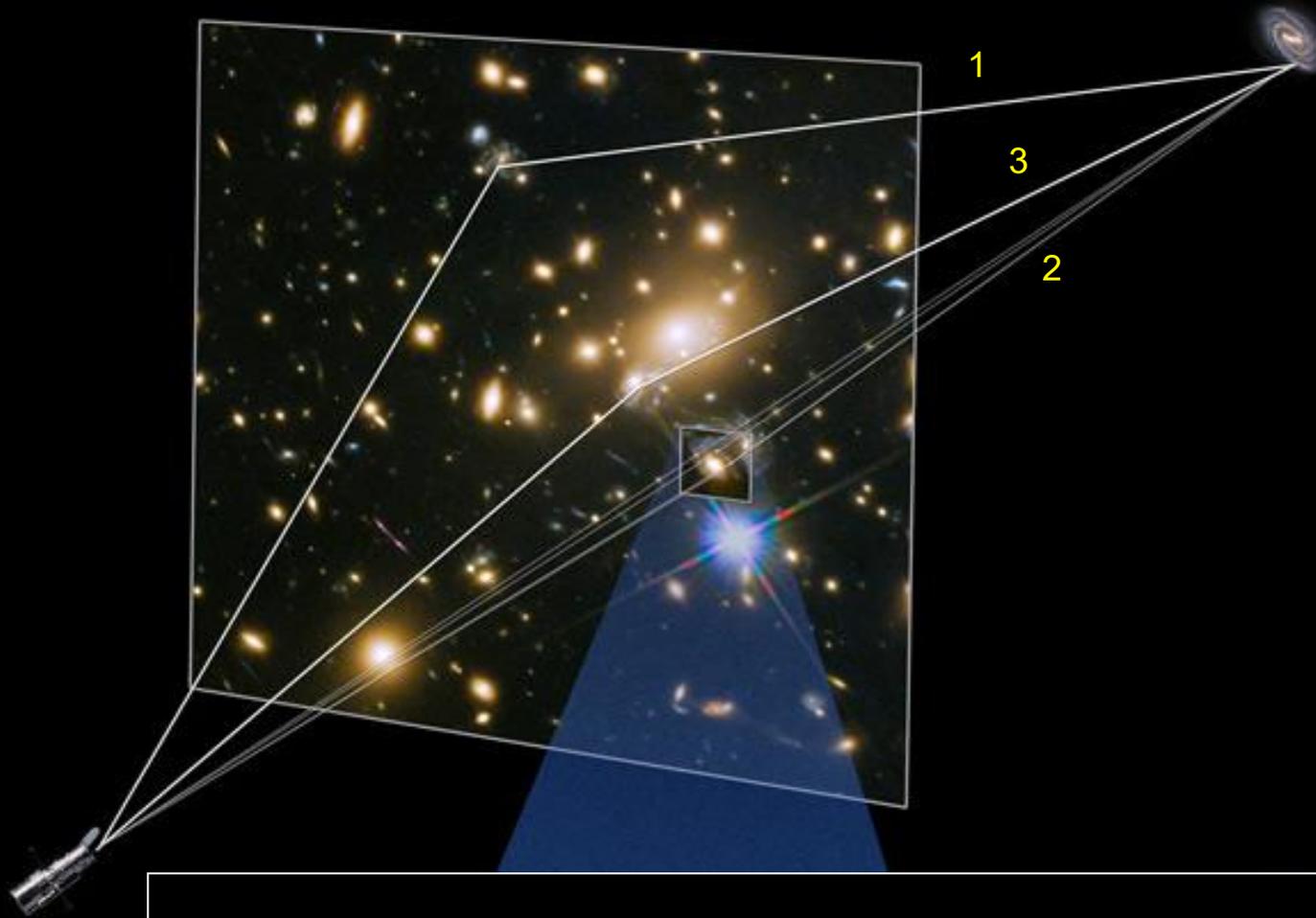
Supernova "Refsdal"



Un'opportunità
unica!

Ri-osservare la
stessa
esplosione 3
volte...

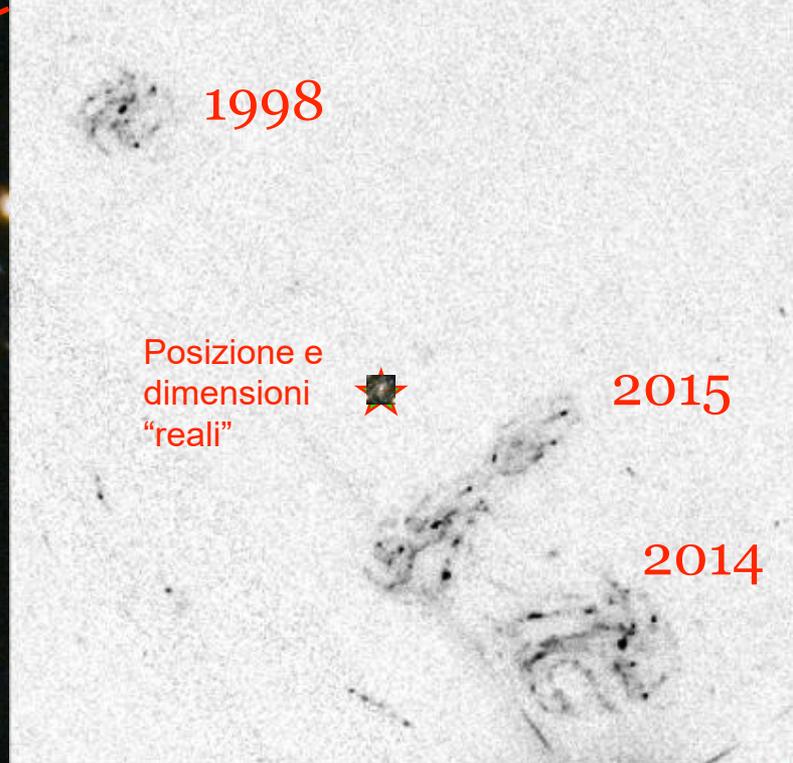
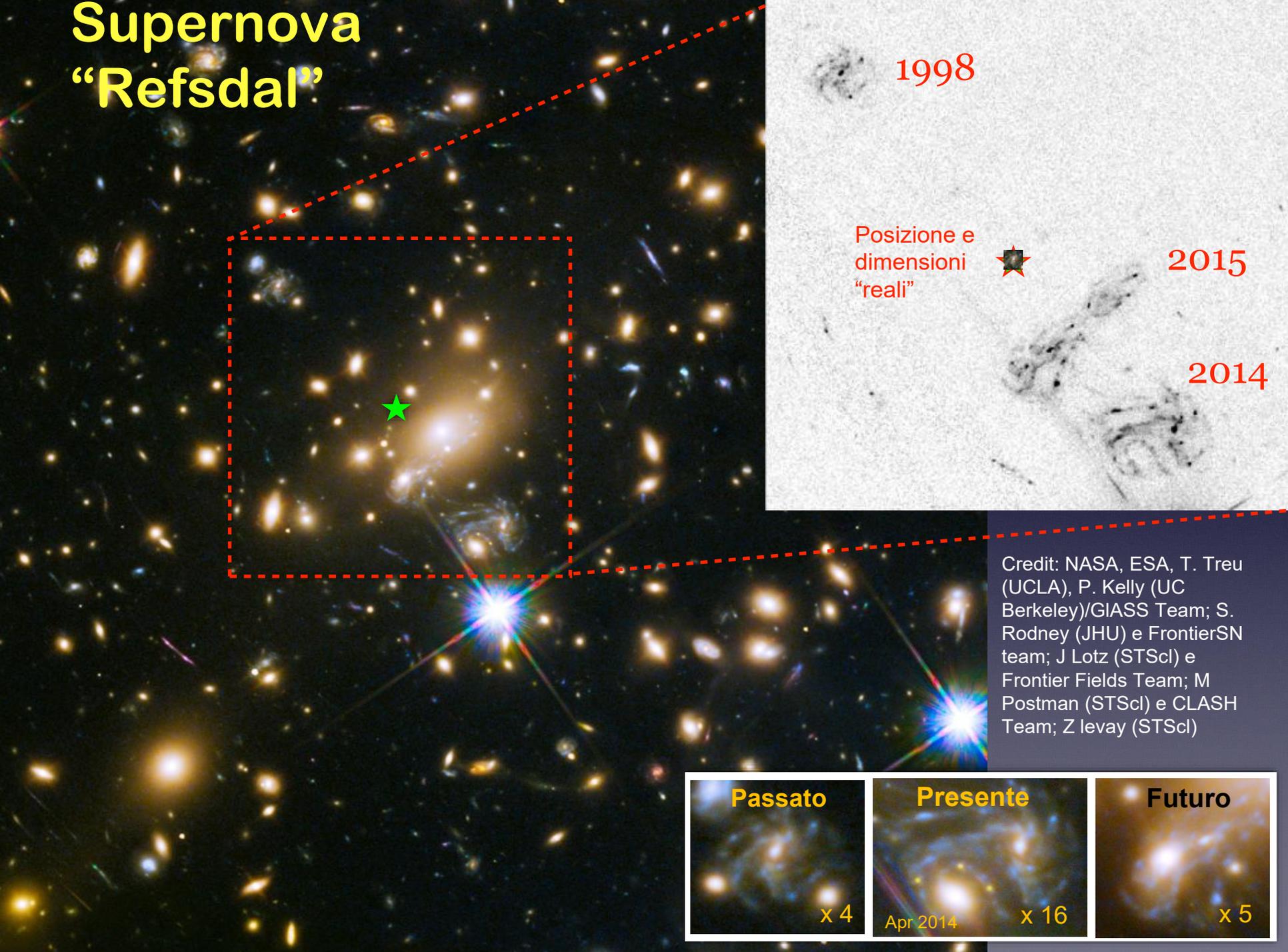
Hubble Sees Distant Supernova Multiply Imaged by Foreground Galaxy Cluster



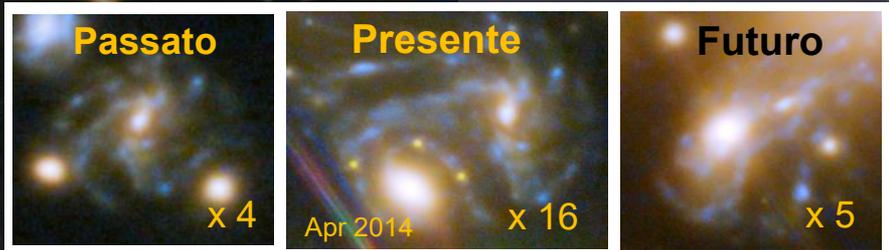
Perché è
possibile?

La luce delle tre immagini sebbene parta nello stesso istante, arriva in istanti diversi, perchè fa cammini diversi!

Supernova "Refsdal"



Credit: NASA, ESA, T. Treu (UCLA), P. Kelly (UC Berkeley)/GIASS Team; S. Rodney (JHU) e FrontierSN team; J Lotz (STScI) e Frontier Fields Team; M Postman (STScI) e CLASH Team; Z levay (STScI)





F125W + F160W (Dec 2015)

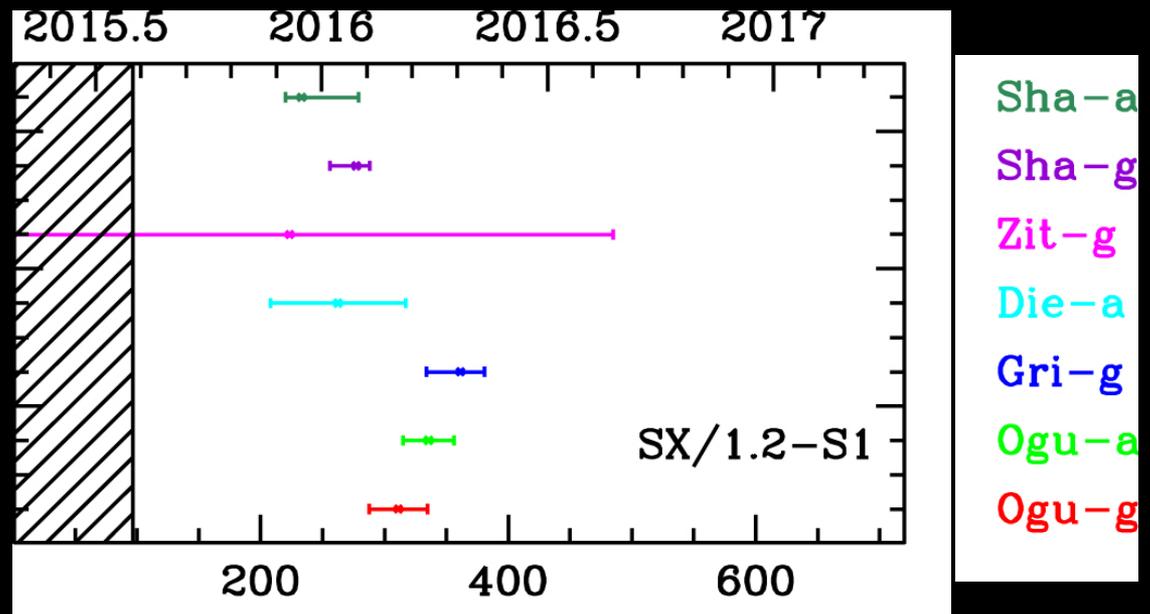
SX (New Image)

S1
S2
S3
S4

S1-S4 hanno ritardi da 1 a 25 giorni

2"

Kelly et al. 2015, Treu et al. 2016, Grillo et al. 2016





F125W + F160W (Dec 2015)

SX (New Image)

S1
S2
S3
S4

S1-S4 hanno ritardi
da 1 a 25 giorni

2"

Kelly et al. 2015, Treu et al. 2016, Grillo et al. 2016

La caccia alla riapparizione di "Refsdal" è durata un anno...



F125W + F160W (Dec 2015)

SX (New Image)

2"

S1
S2
S3
S4

S1-S4 hanno ritardi da 1 a 25 giorni

Grillo et al. 2016



...Il 16 dicembre 2015 è riapparsa esattamente dove e quando la teoria della gravità di Einstein aveva predetto!

Ma l'analisi della distribuzione di massa negli ammassi non è finita qui.....

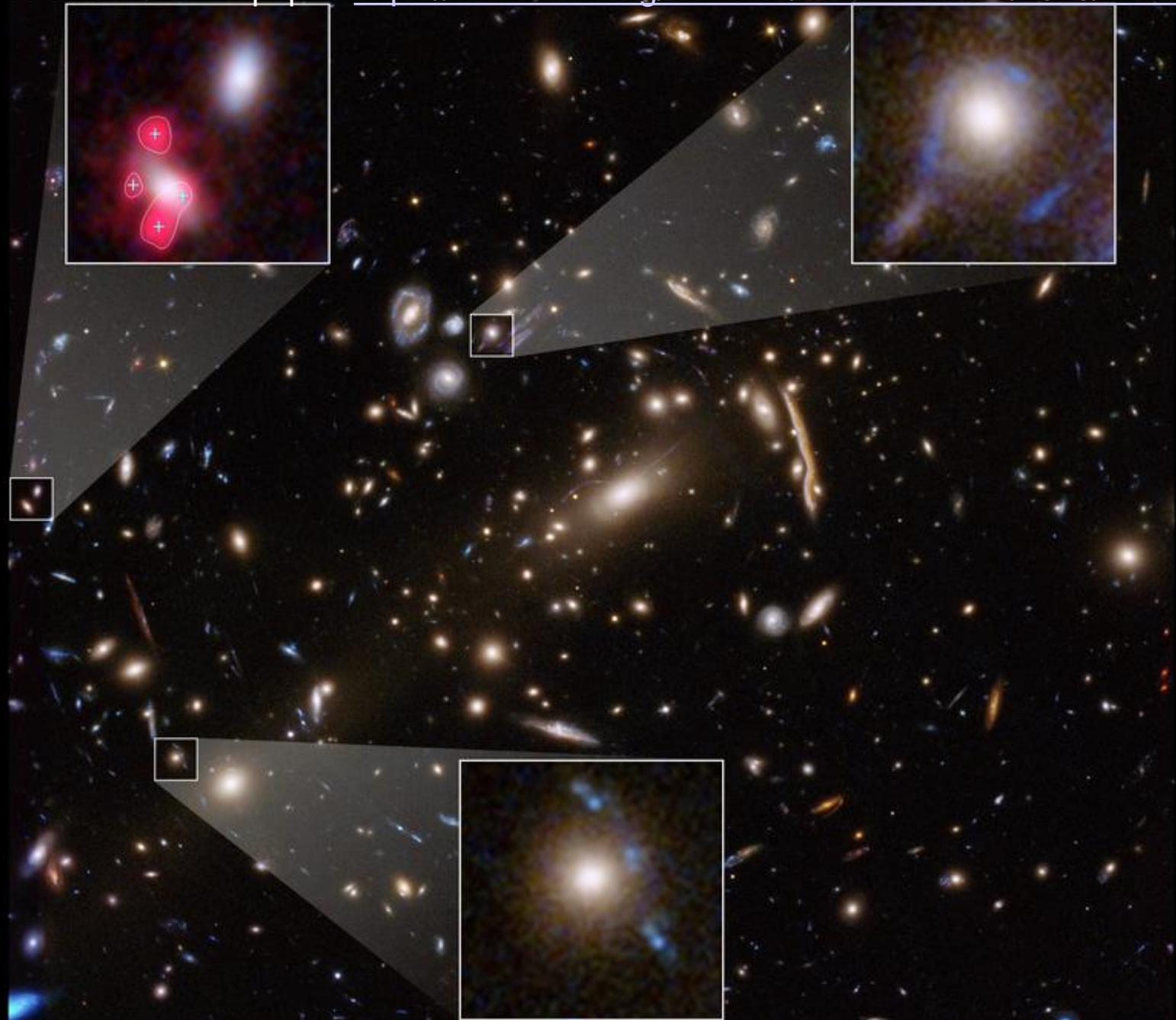
Science

An excess of small-scale gravitational lenses observed in galaxy clusters

MASSIMO MENEGHETTI , GUIDO DAVOLI , PIETRO BERGAMINI , PIERO ROSATI , PRIYAMVADA NATARAJAN , CARLO GIOCOLI , GABRIEL B. CAMINHA 
, R. BENTON METCALF , ELENA RASIA , STEFANO BORGANI , FRANCESCO CALURA , CLAUDIO GRILLO , AMATA MERCURIO , AND EROS VANZELLA 
 fewer [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE • 11 Sep 2020 • Vol 369, Issue 6509 • pp. 1347-1351 • DOI: 10.1126/science.aax5164

...Nel 2020 abbiamo pubblicato lo studio della distribuzione di massa in diversi ammassi reali e simulati.



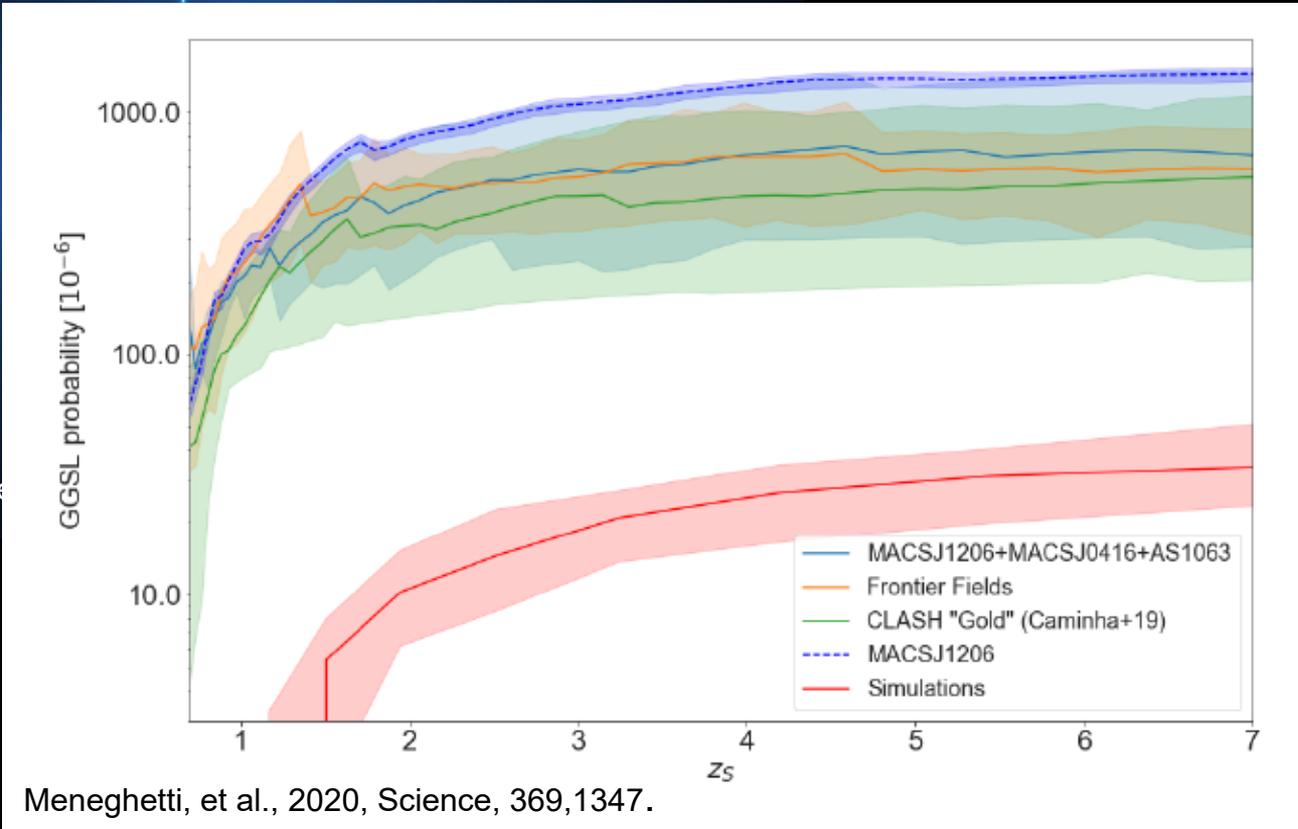


Credits: ESA/Hubble, M. Kornmesser.

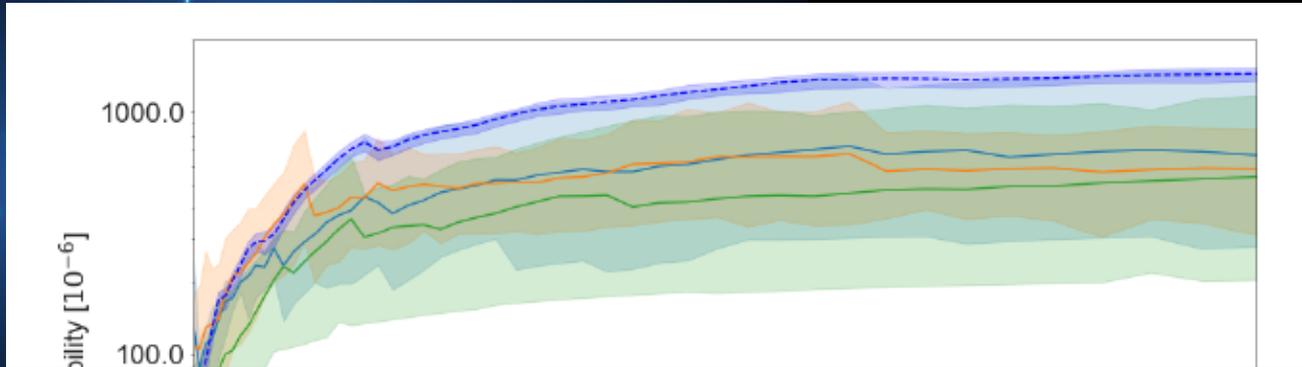


Credits: NASA, ESA, Caminha, Meneghetti, Natarajan, CLASH team & Kornmesser.

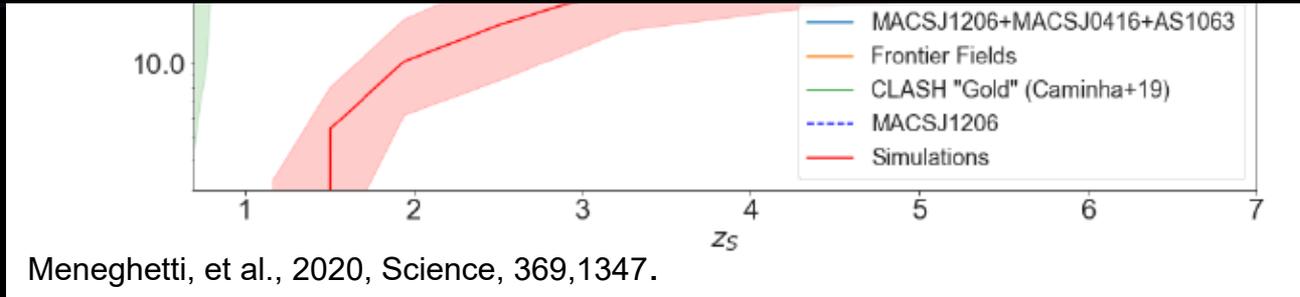
Credits: ESA/Hubble



Credits: NASA, ESA, Caminha, Meneghetti, Natarajan, CLASH team & Kornmesser.

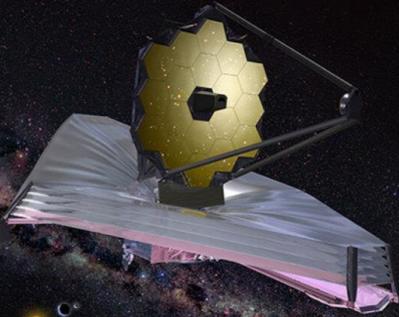


Che manchi qualche ingrediente fisico nei modelli cosmologici che descrivono la formazione delle strutture nell'Universo?

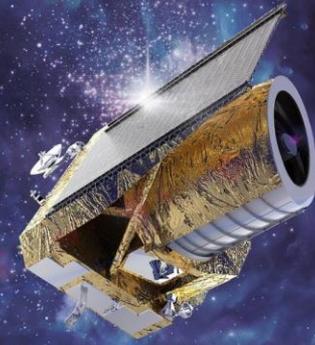


Meneghetti, et al., 2020, Science, 369,1347.

JWST – specchio primario 6.5 m



Euclid – specchio primario 1.2 m



I Grandi telescopi del presente e del prossimo futuro



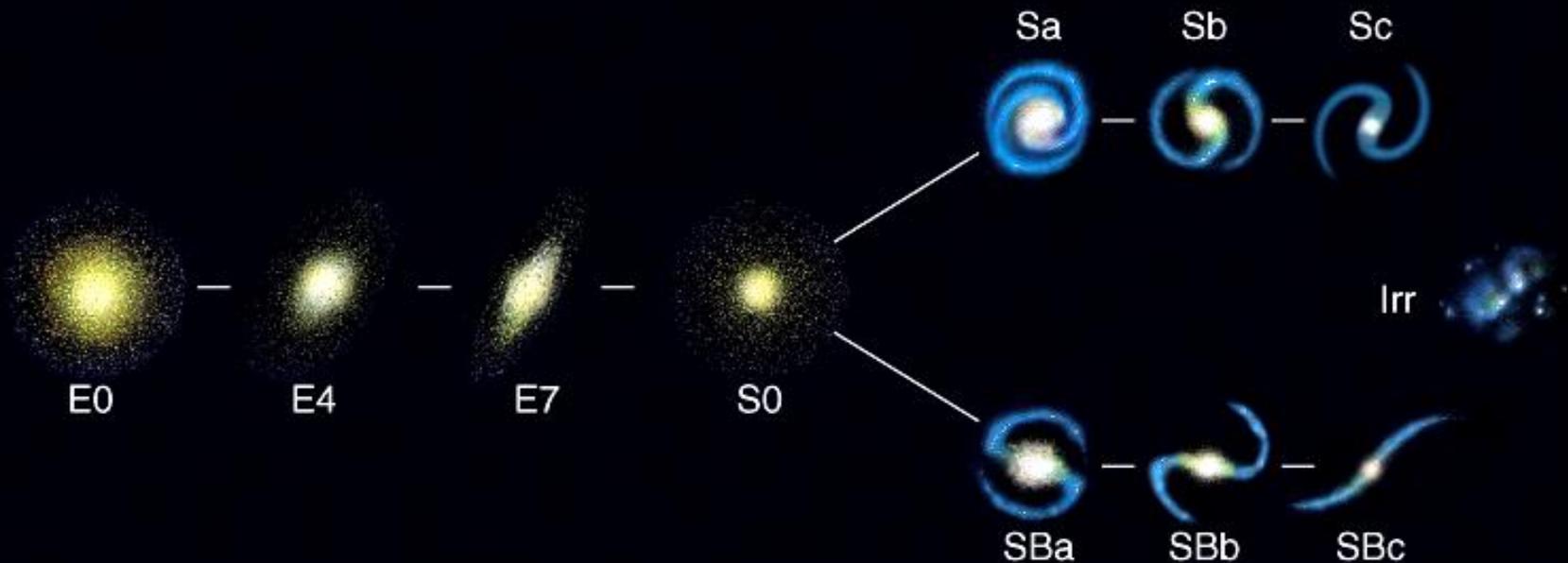
V. Rubin – specchio primario 8.4 m



ELT – specchio primario 39.3 m

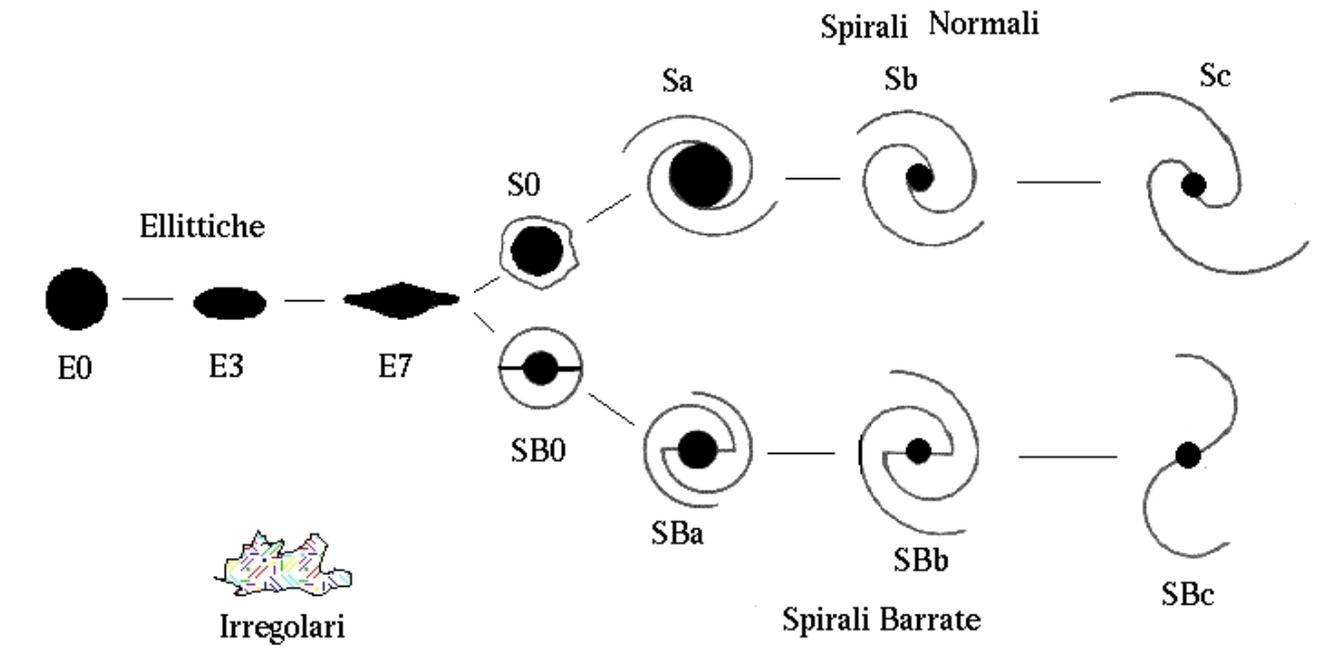
Grazie!

Schema di classificazione di Hubble (Hubble 1936)



- Ellittiche (E)
- Lenticolari (S0)
- Spirali (S) e spirali barrate (SB)
- Irregolari (Ir)

Andamento generale all'interno della sequenza di Hubble, da E a Sc:

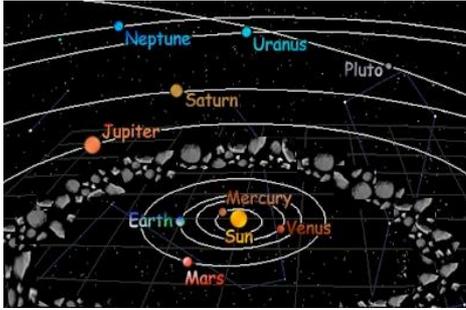


- diminuisce il rapporto Bulge/Disco
- diminuisce l'età delle stelle
- aumenta il contenuto di gas
- aumenta la formazione stellare

Alcune limitazioni dello schema di classificazione di Hubble:

- include solo le galassie più massicce (esclude le ellittiche nane, le irregolari nane e le giovani galassie compatte nane)
- l'uso di tre soli parametri, per giunta tra di loro non correlati, non è sufficiente per una classificazione adeguata delle galassie a spirale

Struttura dell'universo:dalla piccola alla grande scala

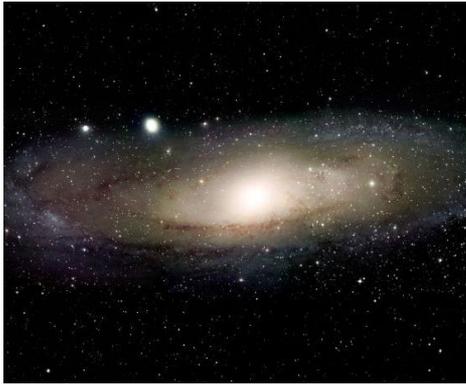


Sistema solare:

- **diametro:** ~ 10 ore luce
- **massa:** ~ $1 M_{\odot}$

Galassia:

- **diametro:** ~ 10^5 anni luce
- **massa:** ~ $10^{12} M_{\odot}$
- **componenti:** stelle, gas, polvere, materia oscura



Galassie esterne:

- **morfologia:** varia (ellittiche, spirali, irregolari)
- **massa:** ~ $10^8 \div 10^{12} M_{\odot}$
- **componenti:** dipende dal tipo morfologico - in generale, come per la Galassia





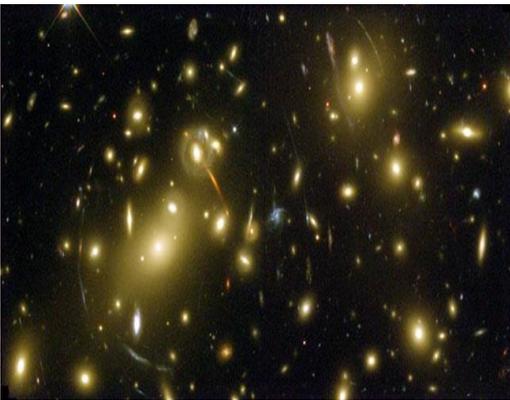
Gruppi di galassie:

- numero di galassie: < 50
- esempio: Gruppo locale (Via Lattea, Andromeda, Nubi di Magellano, ecc.)



Ammassi di galassie:

- numero di galassie: $10^2 \div 10^3$
- massa: $10^{13} \div 10^{15} M_{\odot}$
- diametro: $10^6 \div 4 \times 10^7$ anni luce (0.3 - 12 Mpc)
- struttura: a) irregolare (Vergine); b) regolare (Coma)



Super-ammassi di galassie:

- struttura: aggregati irregolari di ammassi e gruppi
- massa: $10^{15} \div 10^{16} M_{\odot}$
- dimensioni: $\sim 1.5 \times 10^8$ anni luce (~ 50 Mpc)
- esempio: Super-ammasso locale (dimensioni: ~ 20 Mpc; massa: $10^{15} M_{\odot}$; solo il 5% del volume occupato da galassie)

Ammassi di galassie

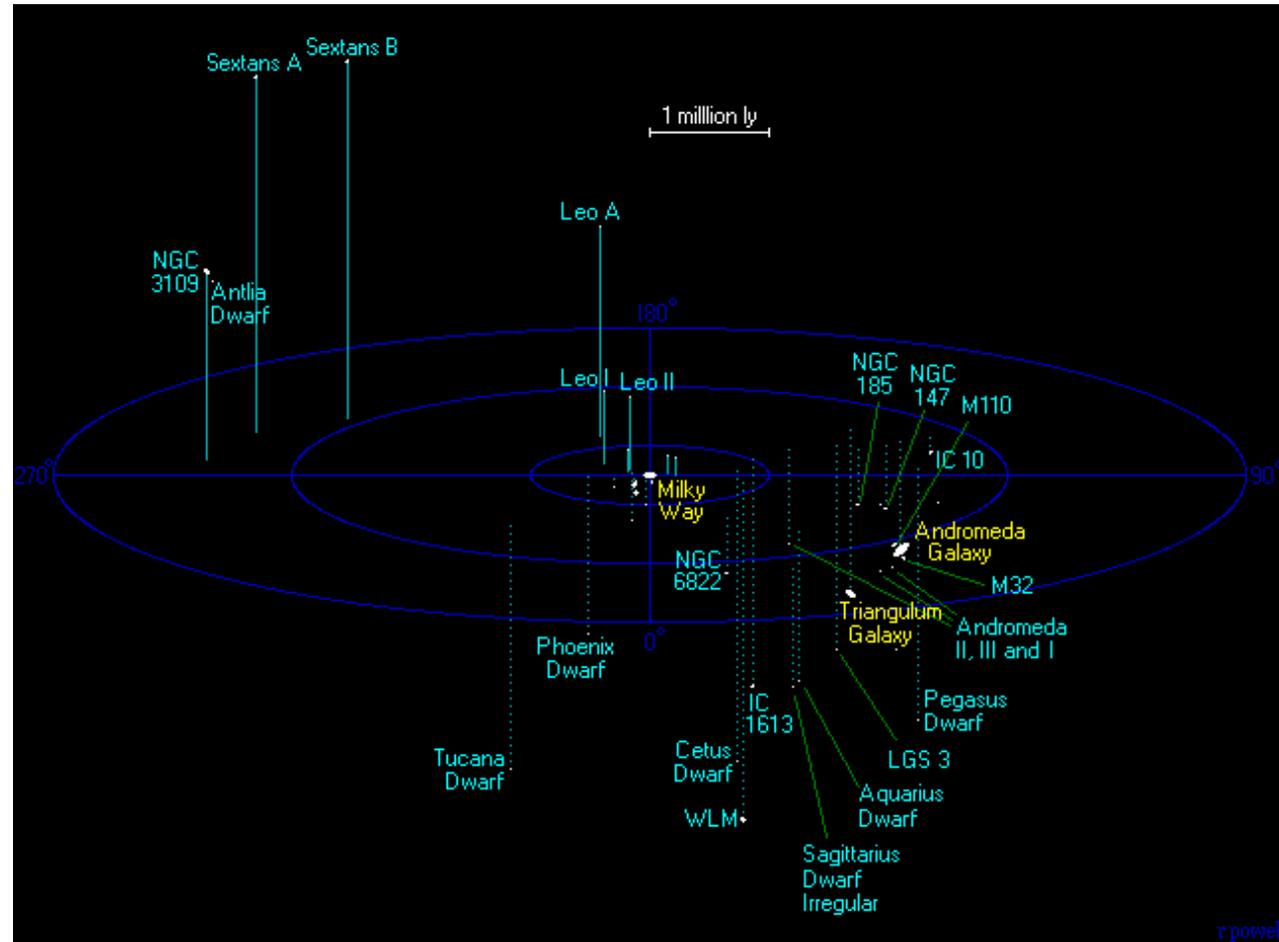
piccoli gruppi (N=10)
di galassie interagenti

grandi insiemi di più di 1000 galassie



Gruppo locale:

- dimensioni ~ 1 Mpc
- 39 galassie, incluse la Via Lattea ed Andromeda
- 5 galassie brillanti (M31, MW, M33, LMC, IC10)
- 3 spirali (M31, MW, M33)
- 22 ellittiche (18 dW e 2 piccole E)
- 14 irregolari di varie dimensioni
- Massa totale ~ $5 \times 10^{12} M_{\odot}$

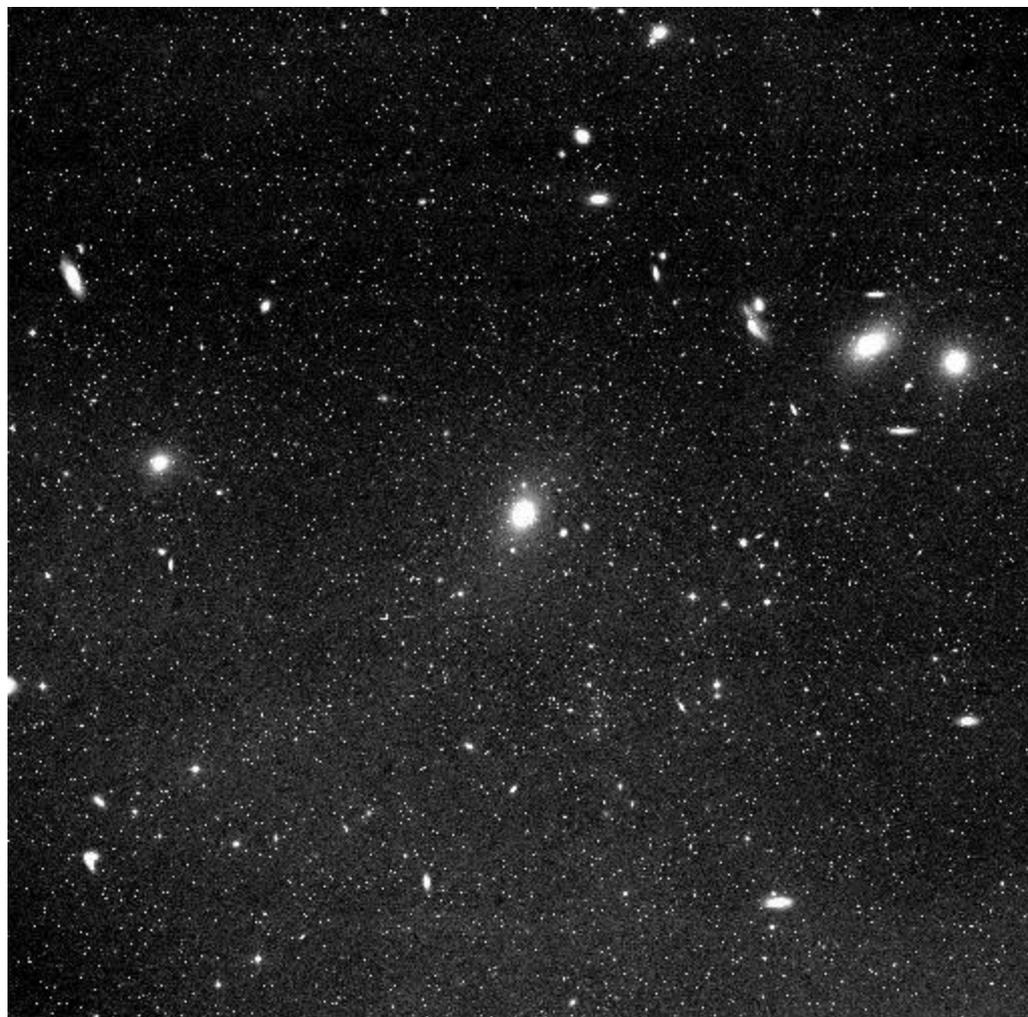


- Andromeda dista dalla Via Lattea 2.2 milioni di anni luce
- Le Nubi di Magellano distano dalla Via Lattea 200.000 anni luce

Ammasso della Vergine:

- distanza: ~ 18 Mpc (~ 60 milioni di anni luce)
- dimensioni: ~ 2 Mpc
- ~ 2500 galassie (la maggior parte nane)
- Massa totale ~ $10^{14} M_{\odot}$

L'ammasso della Vergine è l'ammasso di galassie più vicino a noi. Al centro troviamo la galassia ellittica gigante M87. Tra le galassie più brillanti troviamo M84 e M86 (entrambe S0, in alto a destra).



Ammassi ricchi:

- dimensioni: ~ 5-10 Mpc
- sono costituiti da migliaia di galassie
- Massa totale: fino a ~ $10^{15} M_{\odot}$
- al centro si trova sempre una (o più) galassia ellittica gigante
- le galassie ellittiche sono concentrate nella regione centrale dell'ammasso
- le galassie a spirale si trovano nelle regioni esterne dell'ammasso
- le galassie sono immerse in un gas caldo (10^{7-8} K) che costituisce il 10-20% dell'intera massa dell'ammasso ed emette intensamente nel dominio X.

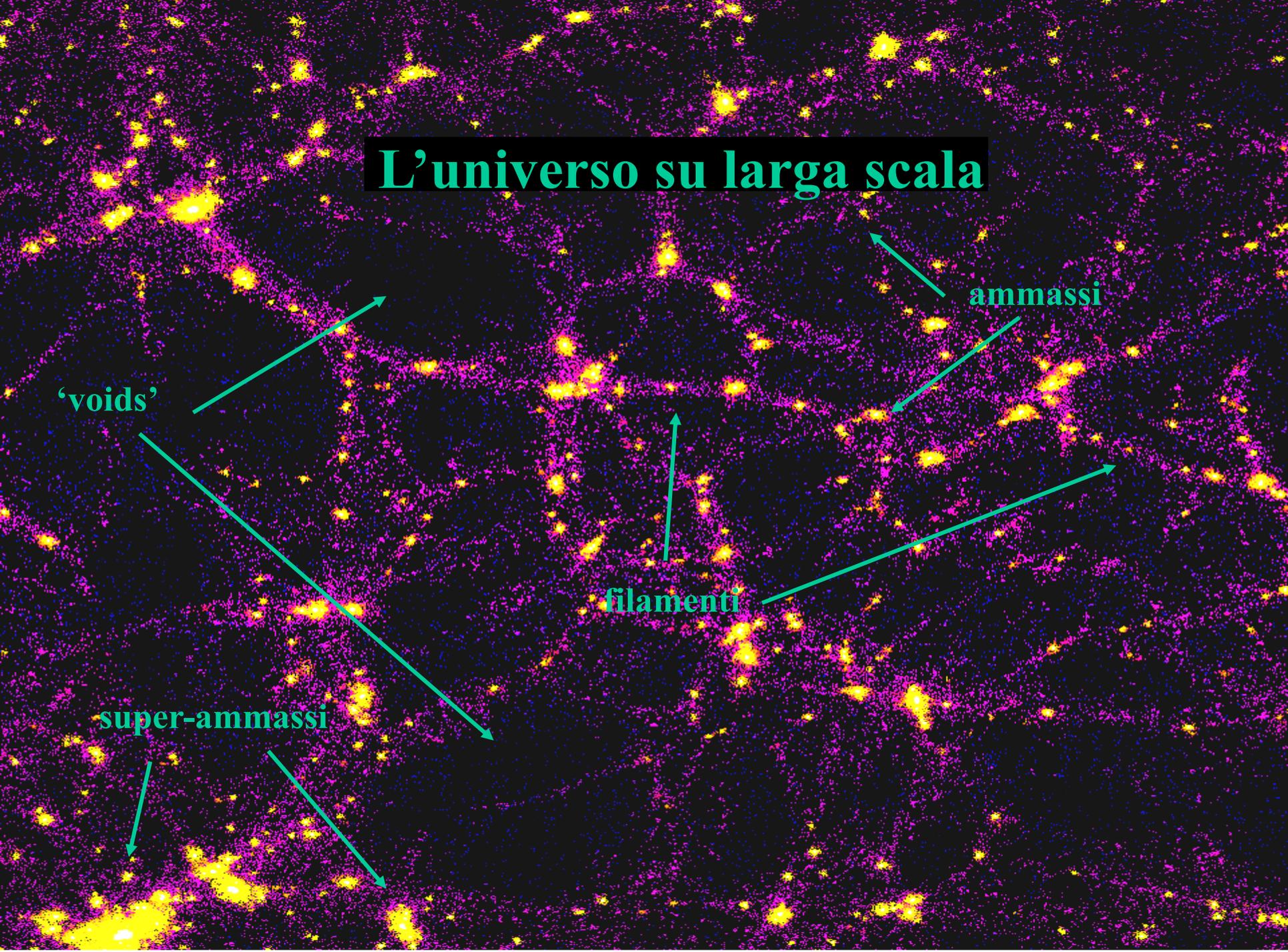


L'ammasso di Coma (distante 90 Mpc; ~ 300 milioni di anni luce) è un esempio di ammasso ricco

Strutture filiformi e "Voids"

- I super-ammassi di galassie tendono a distribuirsi secondo strutture filiformi (~ 10% dell'Universo)
- I "Voids" hanno dimensioni di ~ 25-50 Mpc ed una densità di galassie inferiore di un fattore ~ 5-10 rispetto a quella del super-ammasso.
- L'universo è omogeneo ed isotropo su scale di 1 miliardo di anni luce

L'universo su larga scala



'voids'

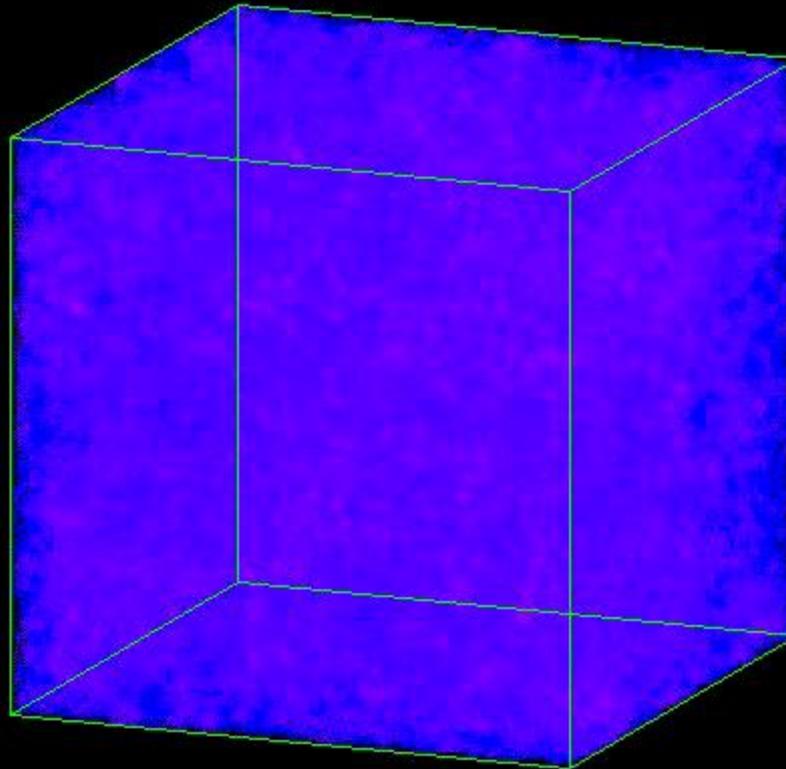
ammassi

filamenti

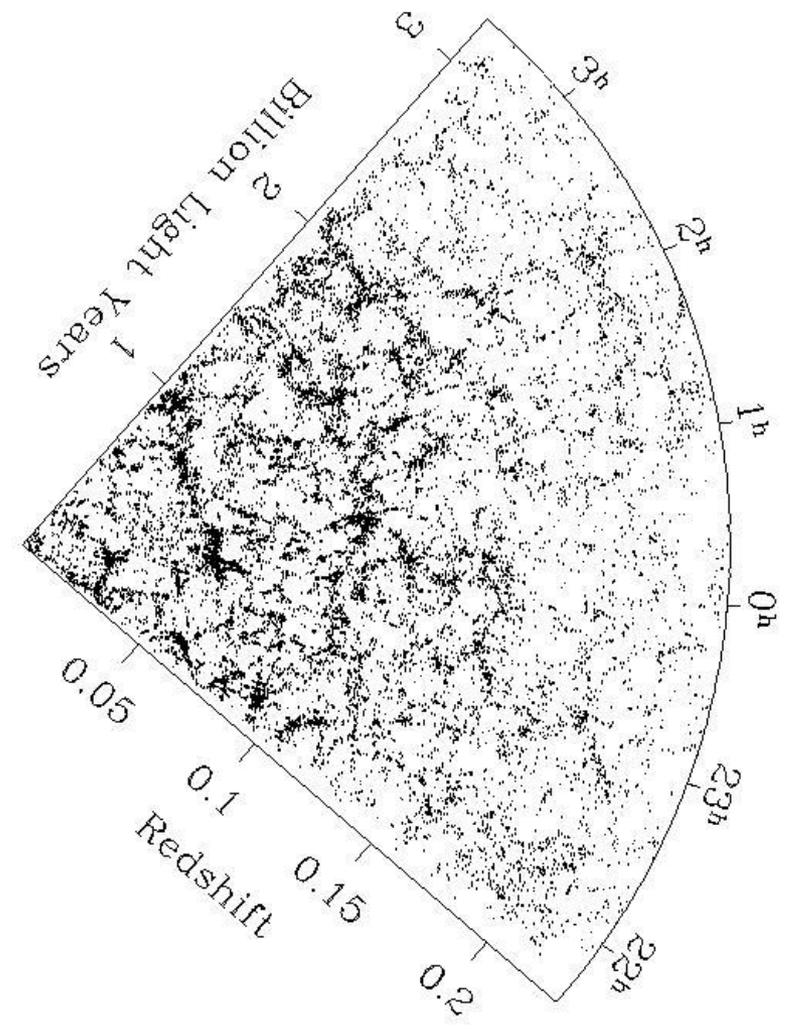
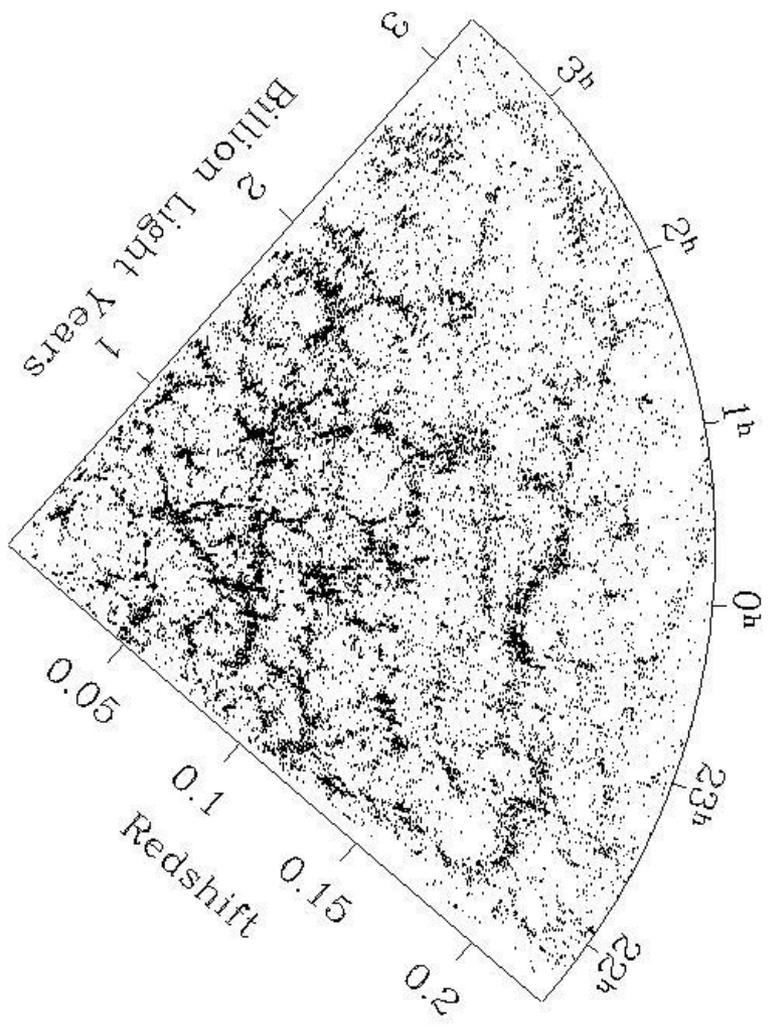
super-ammassi

Teorie e modelli

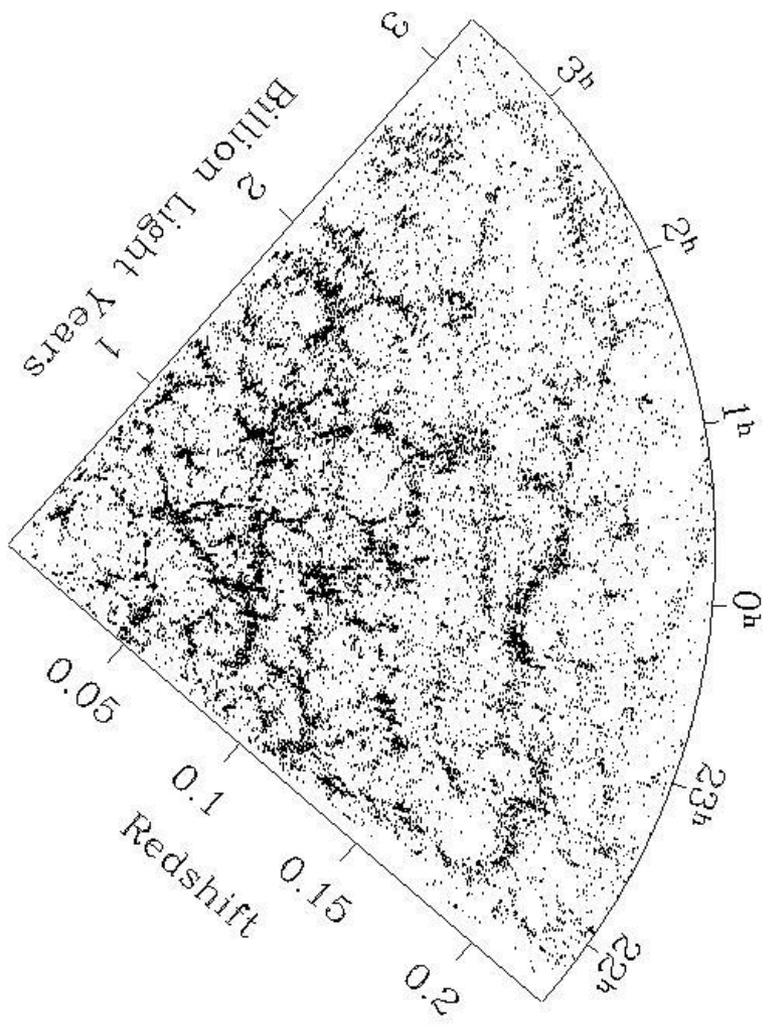
15.67



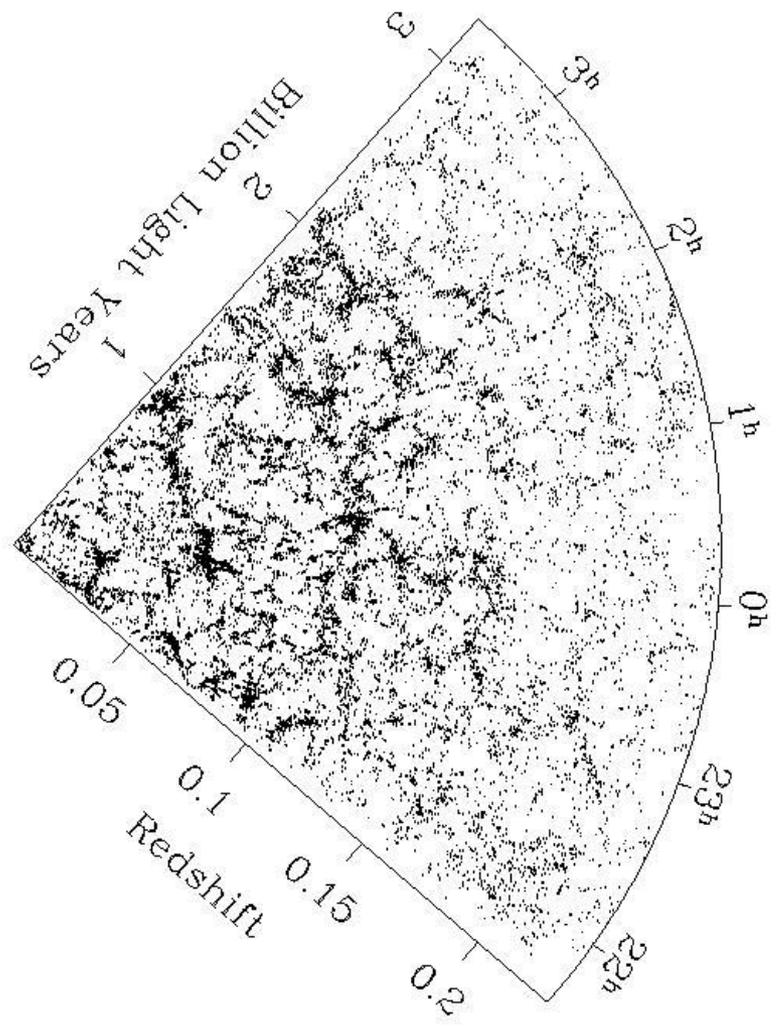
Distribuzione delle galassie nell'universo



Distribuzione delle galassie nell'universo

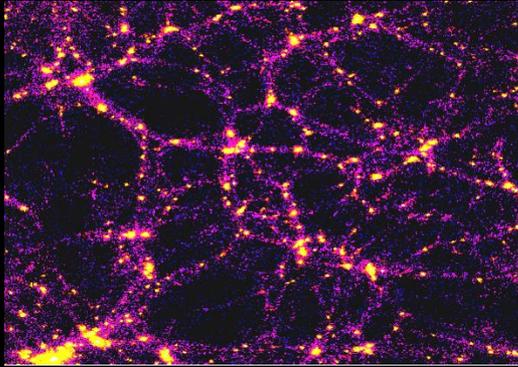


osservata



teorica

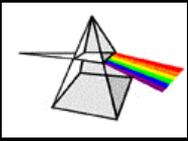
Strutture filiformi e "Voids"



Conclusioni:

- L'universo presenta una struttura cellulare di dimensioni di **50 milioni di anni luce**, con alternanza di vuoti e zone densamente popolate di ammassi e super-ammassi di galassie
- Su scale molto grandi (**1 miliardo di anni luce**) l'universo è **omogeneo** ed **isotropo** \Rightarrow se si vogliono determinare grandezze medie dell'universo si deve considerarle entro volumi di quest'ordine di grandezza
- Su ogni ordine di scala c'è evidenza della presenza di materia oscura (\sim 10 volte la materia luminosa)

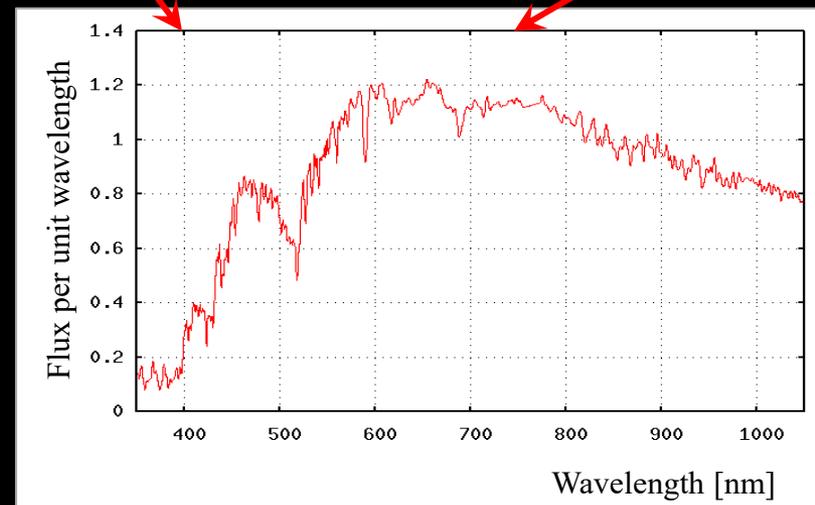
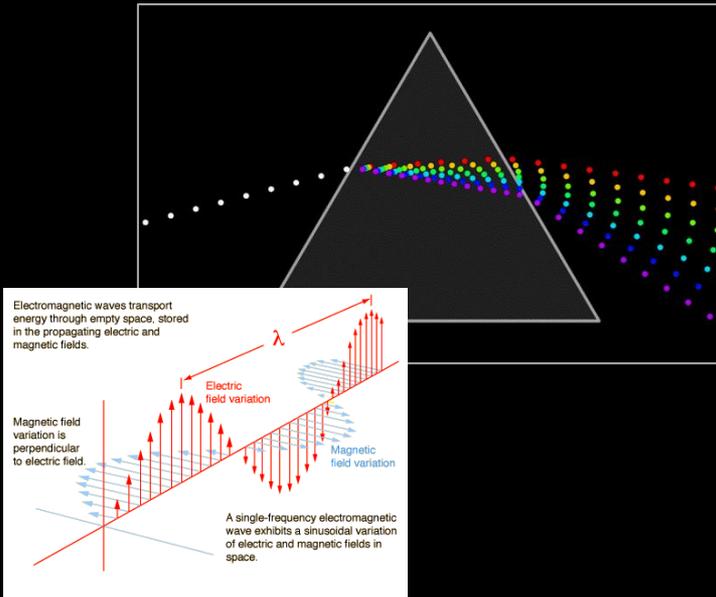
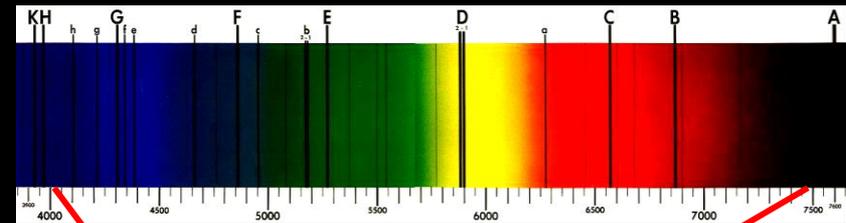
FINE

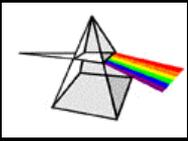


Lo spettro elettromagnetico

Lo **spettro elettromagnetico** (o semplicemente **spettro**) di una sorgente è la **distribuzione di energia** della radiazione elettromagnetica in funzione della **lunghezza d'onda λ** o della **frequenza ν** , dove $\lambda\nu=c$ (velocità della luce).

Un elemento dispersore produce uno spettro

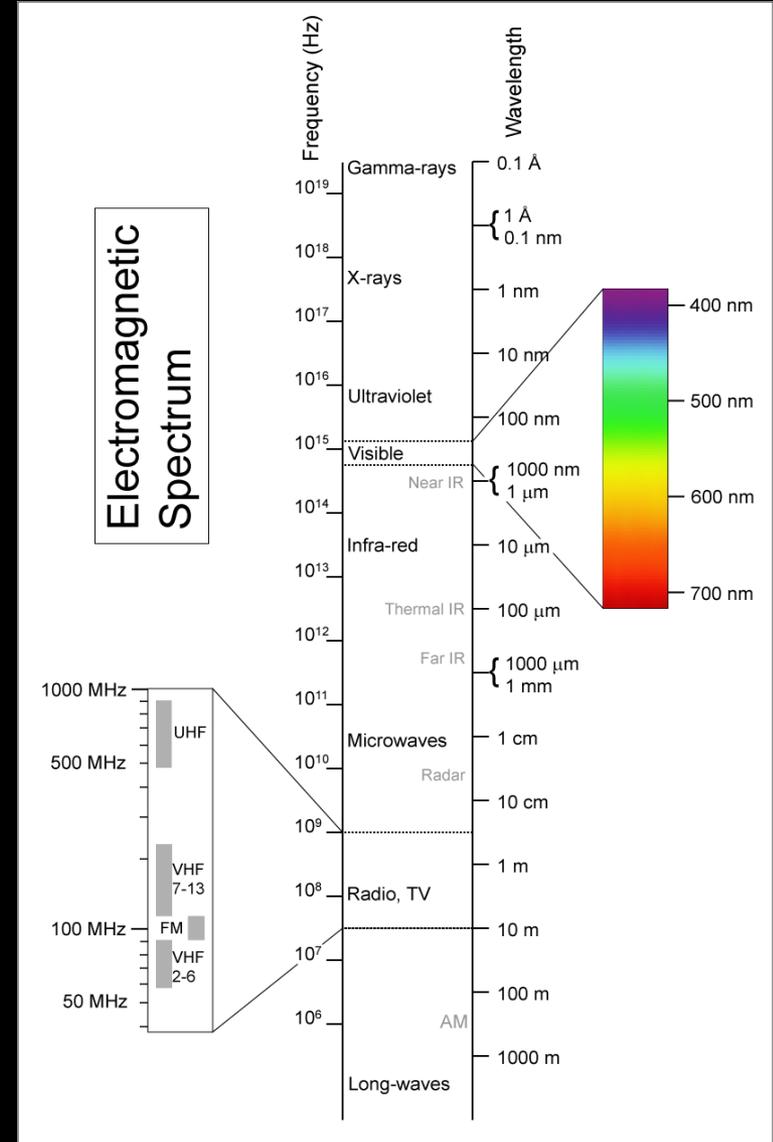
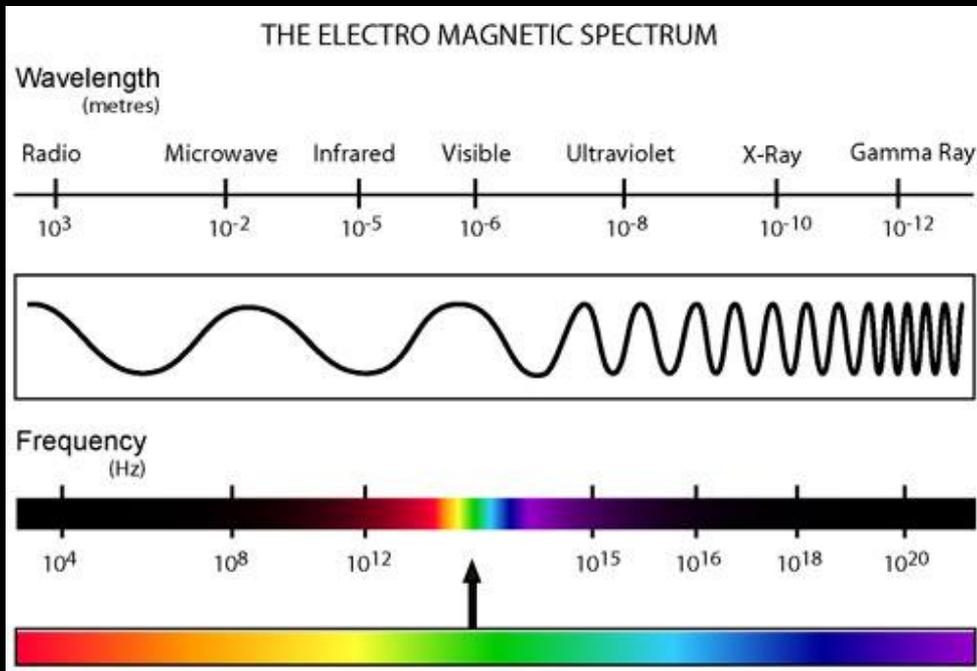




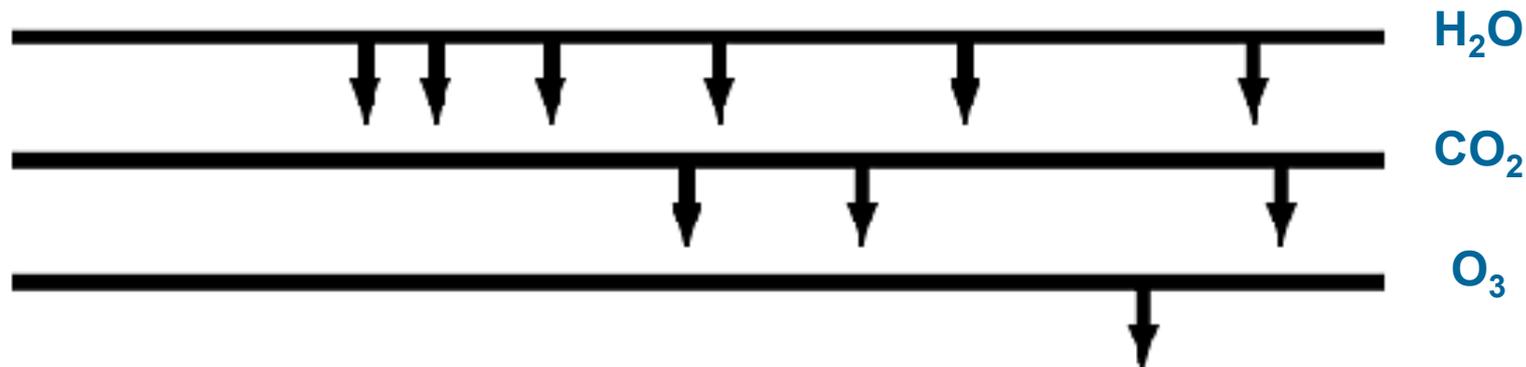
Lo spettro elettromagnetico

Esiste una molteplicità di interazioni della radiazione elettromagnetica con la materia, ciascuna delle quali interessa una parte diversa dello spettro.

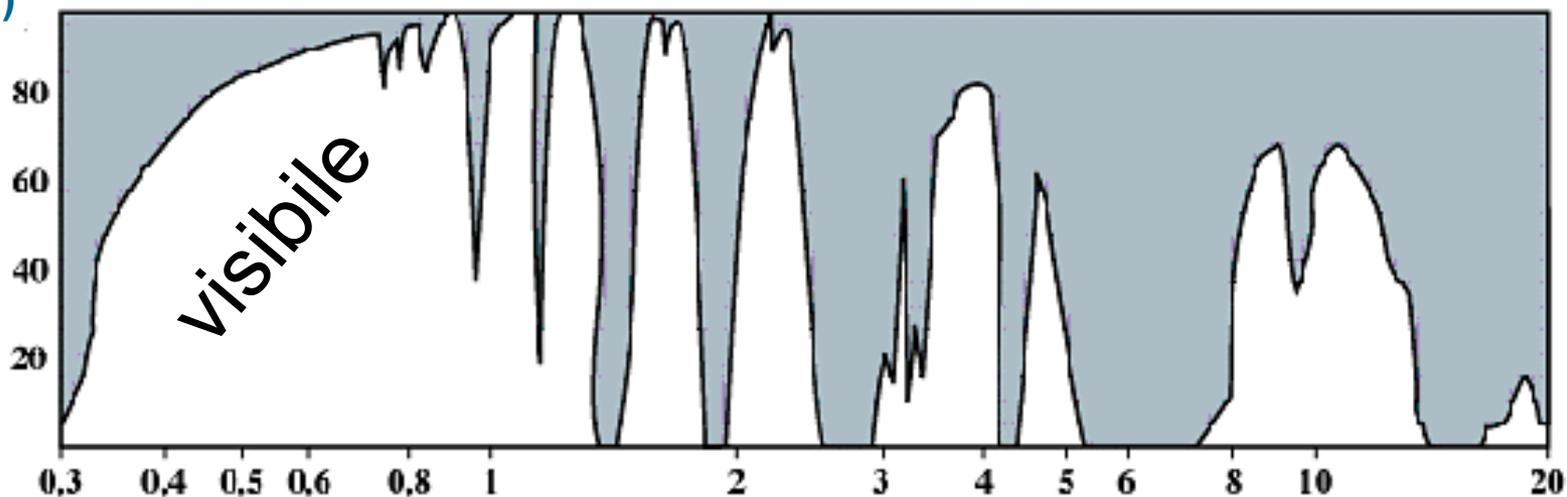
Sembra quindi appropriato fare riferimento a diversi tipi di intervalli di radiazione:



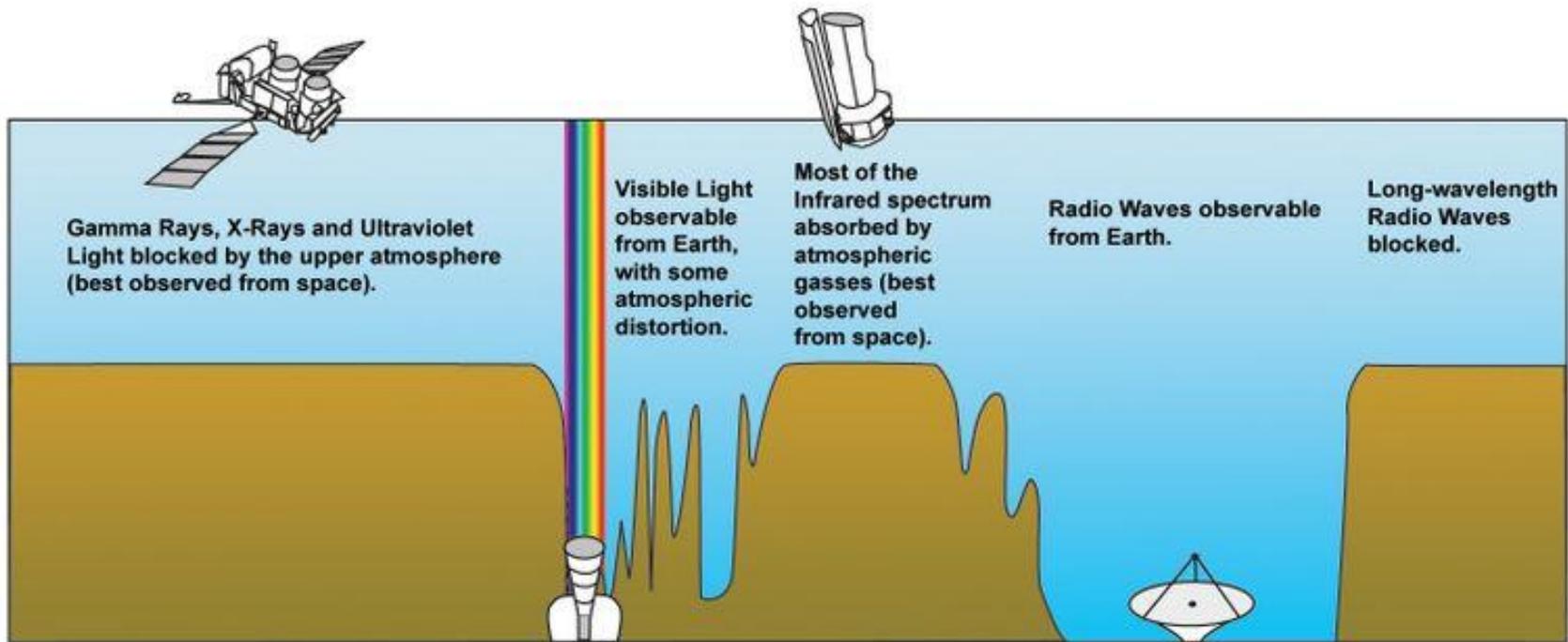
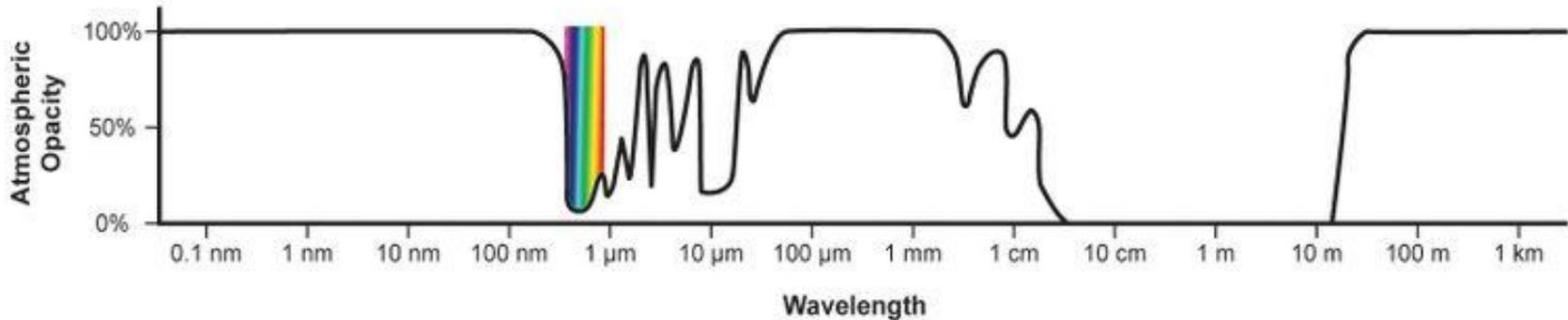
Picchi principali di assorbimento dell'atmosfera terrestre nel visibile e vicino IR



Trasparenza
(in %)



Lunghezza
d'onda in μm



Finestre attraverso l'atmosfera della Terra

