

# MATERIA OSCURA: SI VEDE O NON SI VEDE?

**Mauro Roncarelli**

**Università di Bologna - DIFA  
INAF - Osservatorio Astronomico di Bologna**

**(special thanks to Sandro Bardelli &  
Alberto Cappi)**

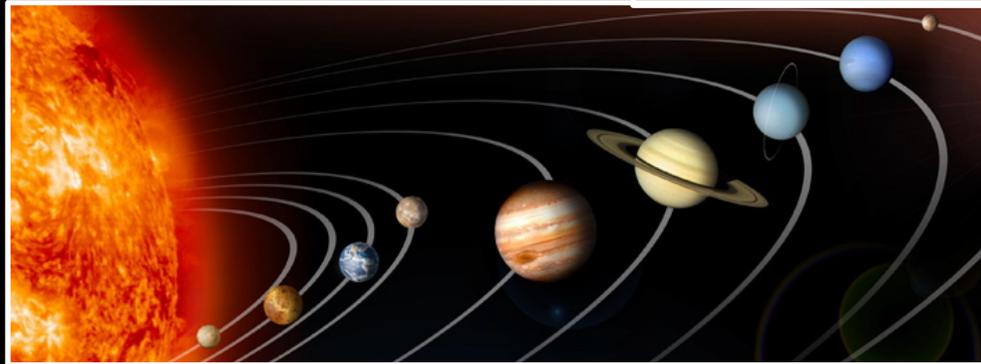
*Conferenze alla Specola, Bologna, 5 aprile 2018*



*“Ammasso Proiettile”  
 (“Bullet Cluster” NASA)*

# Premessa: vi parlerò di tre tipi di sistemi

Il Sistema Solare

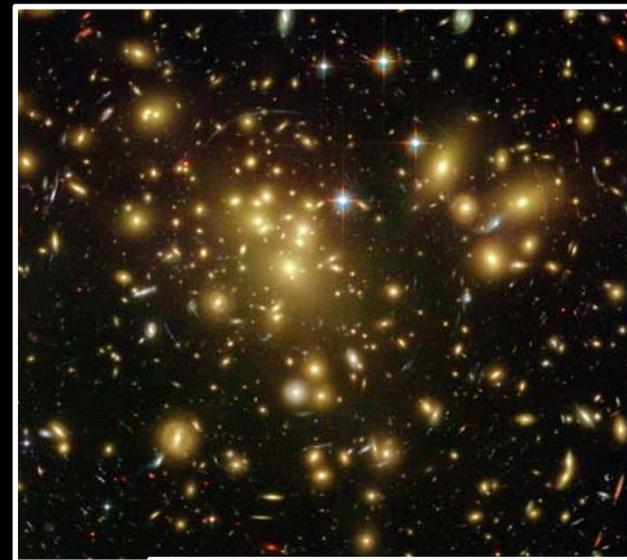


*4.5 miliardi di km  
4 ore-luce*



*50-100 mila anni-luce*

Le galassie



*1-10 milioni  
anni-luce*

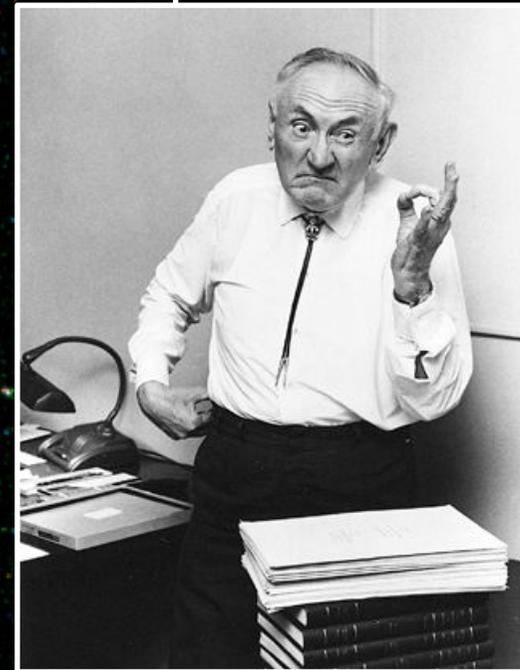
Gli ammassi di galassie

Il primo a parlare di “*dunkle Materie*” fu l’astronomo svizzero-bulgaro Fritz Zwicky, nel 1930

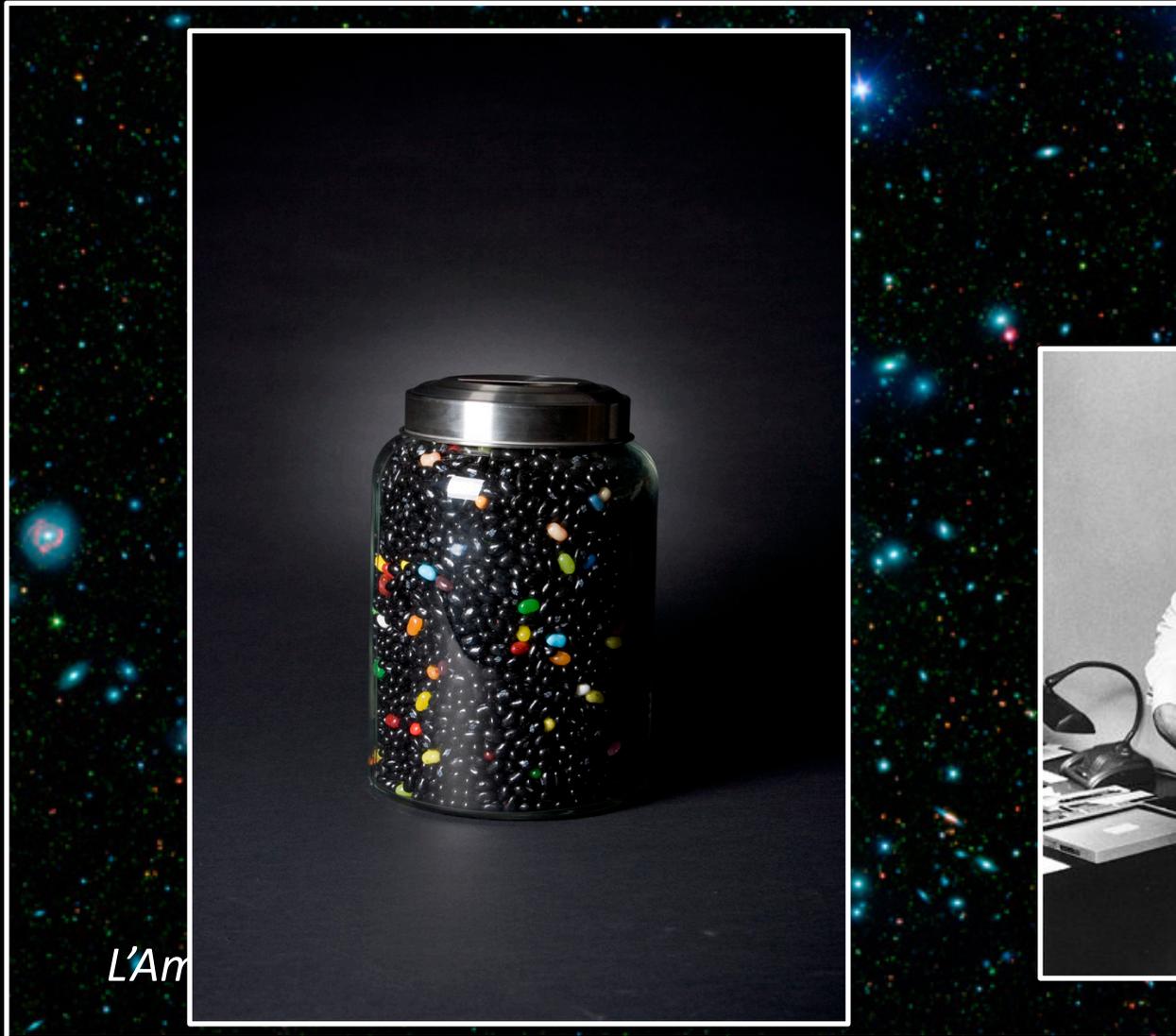


*L’Ammasso di galassie di Coma*

*“La maggior parte della sua massa non emette luce!!”*

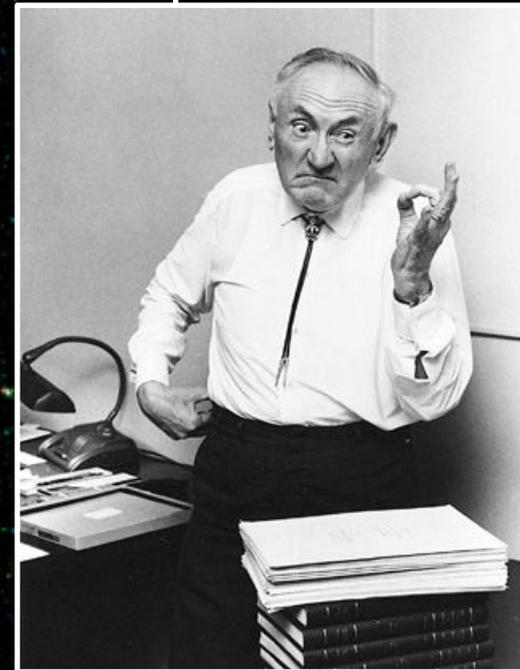


Il primo a parlare di “*dunkle Materie*” fu l’astronomo svizzero-bulgaro Fritz Zwicky, nel 1930



L'Am

*“La maggior parte della sua massa non emette luce!!”*



**Come si fa a pesare un oggetto? Chiediamolo a tre persone diverse...**

**Persona normale**

**Fisico**

**Astronomo**

Come si fa a pesare un oggetto? Chiediamolo a tre persone diverse...

**Persona normale**



**Fisico**

**Astronomo**

Come si fa a pesare un oggetto? Chiediamolo a tre persone diverse...

**Persona normale**



**Fisico**



**Astronomo**

Come si fa a pesare un oggetto? Chiediamolo a tre persone diverse...

**Persona normale**



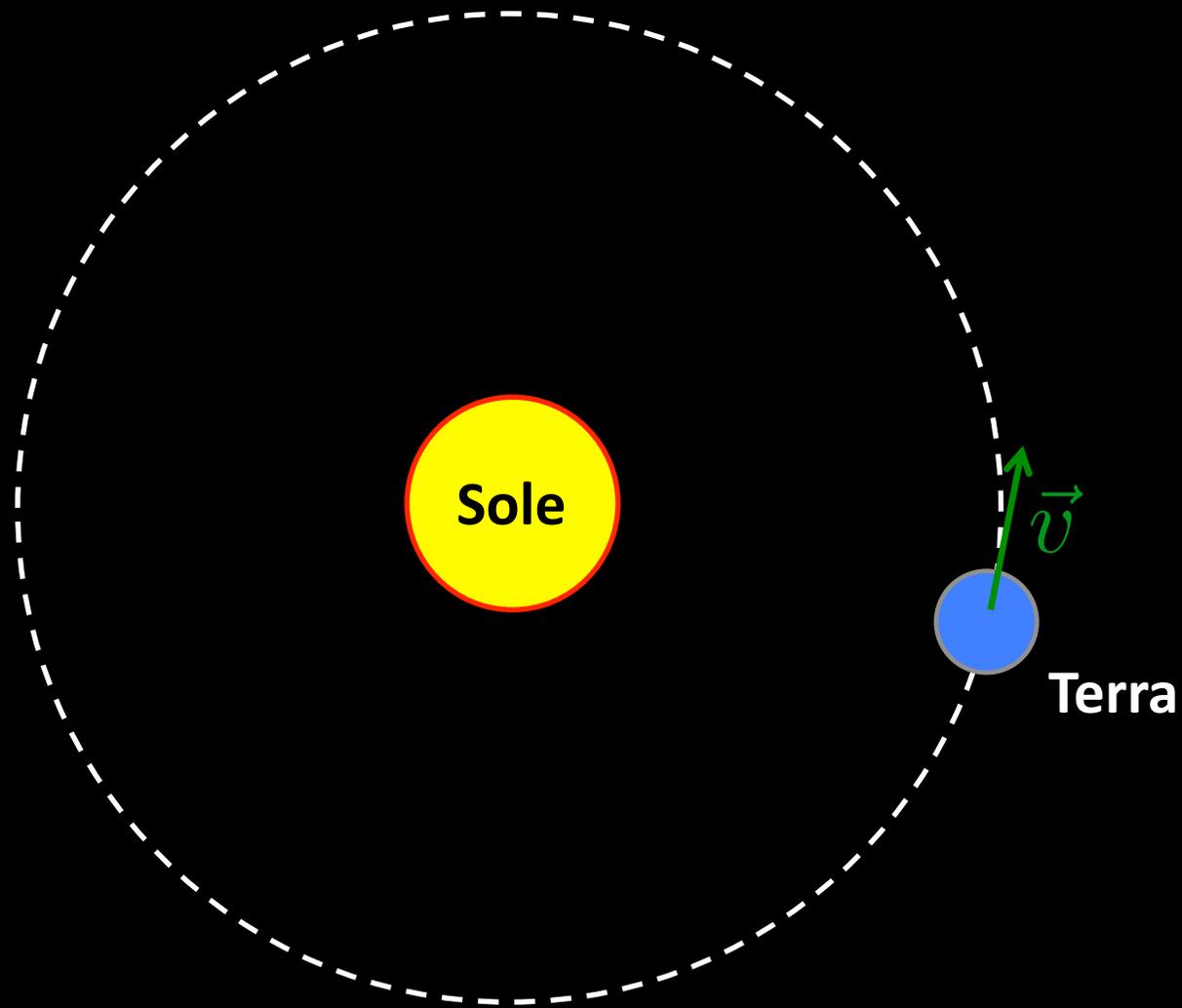
**Fisico**



**Astronomo**



L'astronomo pesa i corpi celesti osservando la loro dinamica e studiando la forza di gravità che li fa interagire



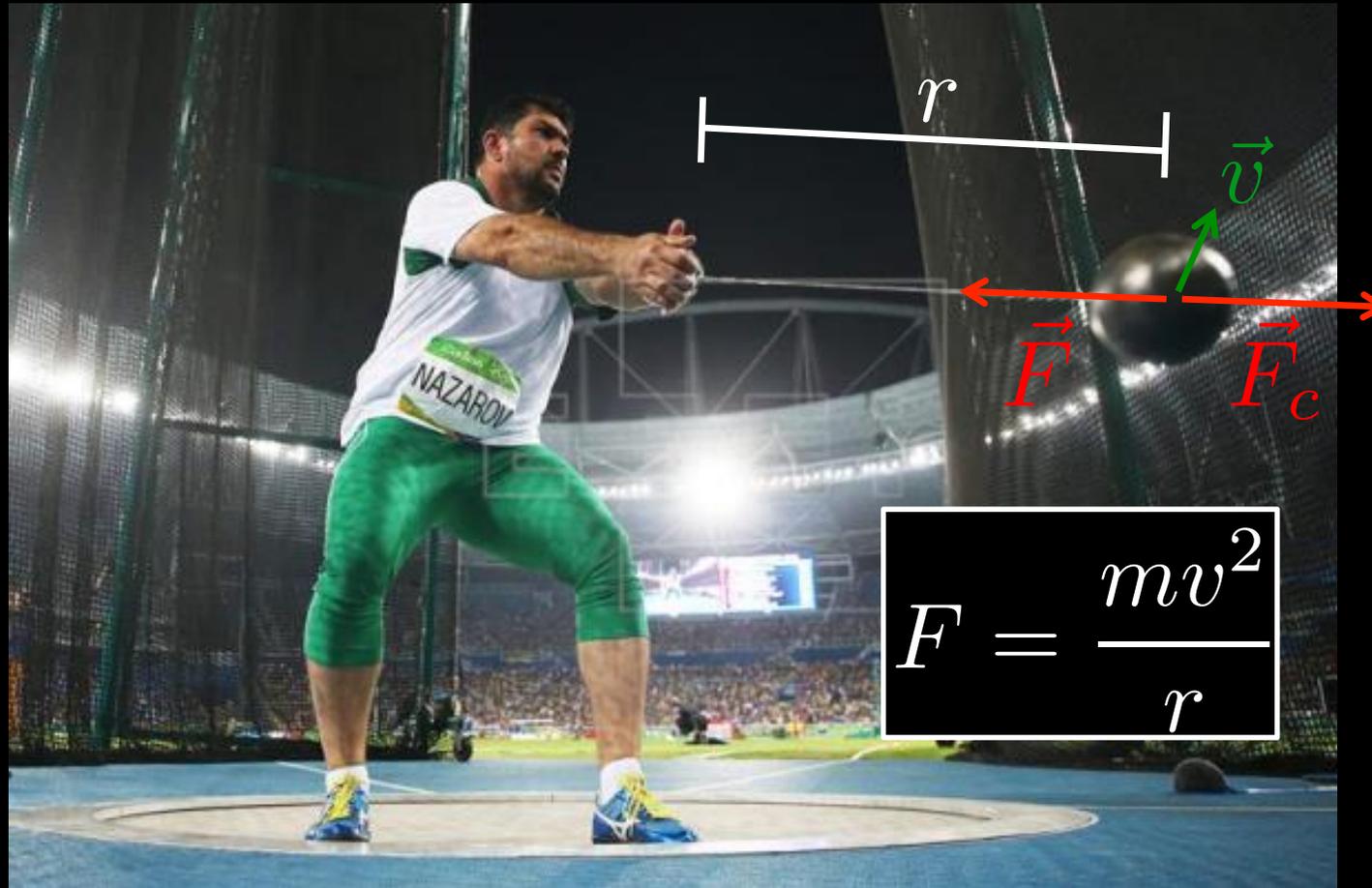
*Per esempio, vediamo come misurare la massa del Sole...*

L'astronomo pesa i corpi celesti osservando la loro dinamica e studiando la forza di gravità che li fa interagire



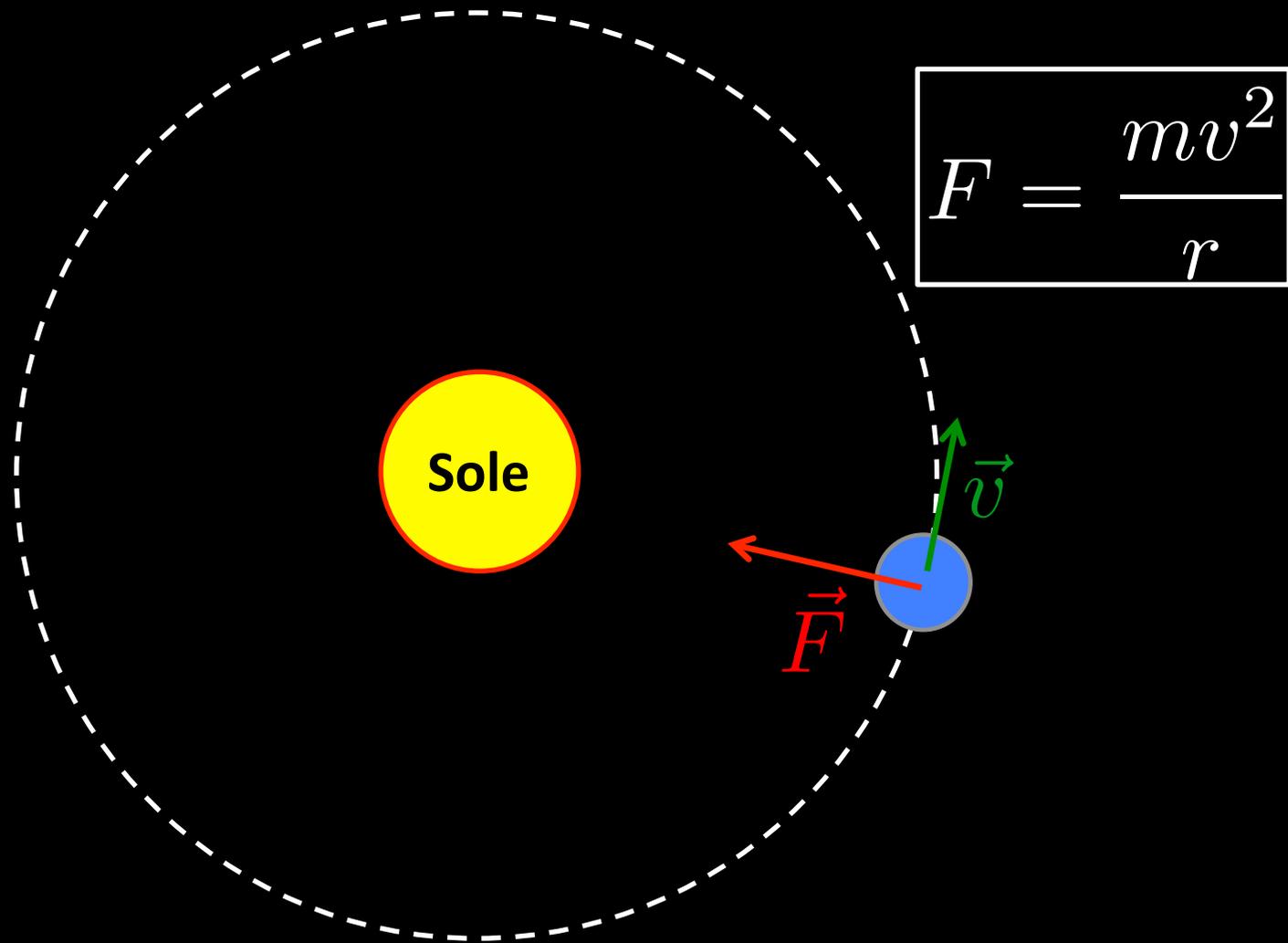
*Dilshod Nazarov, Campione Olimpico di lancio del martello (Rio 2016)*

L'astronomo pesa i corpi celesti osservando la loro dinamica e studiando la forza di gravità che li fa interagire



*Dilshod Nazarov, Campione Olimpico di lancio del martello (Rio 2016)*

L'astronomo pesa i corpi celesti osservando la loro dinamica e studiando la forza di gravità che li fa interagire

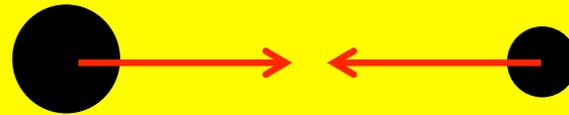
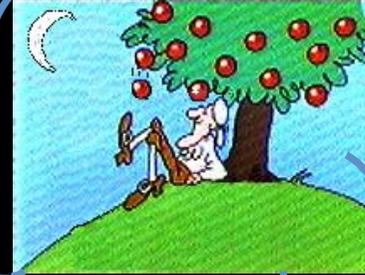


*Per esempio, vediamo come misurare la massa del Sole...*

Ma la forza con cui il Sole attira la Terra è la forza di gravità!



**Isaac Newton  
(1642 – 1727)**

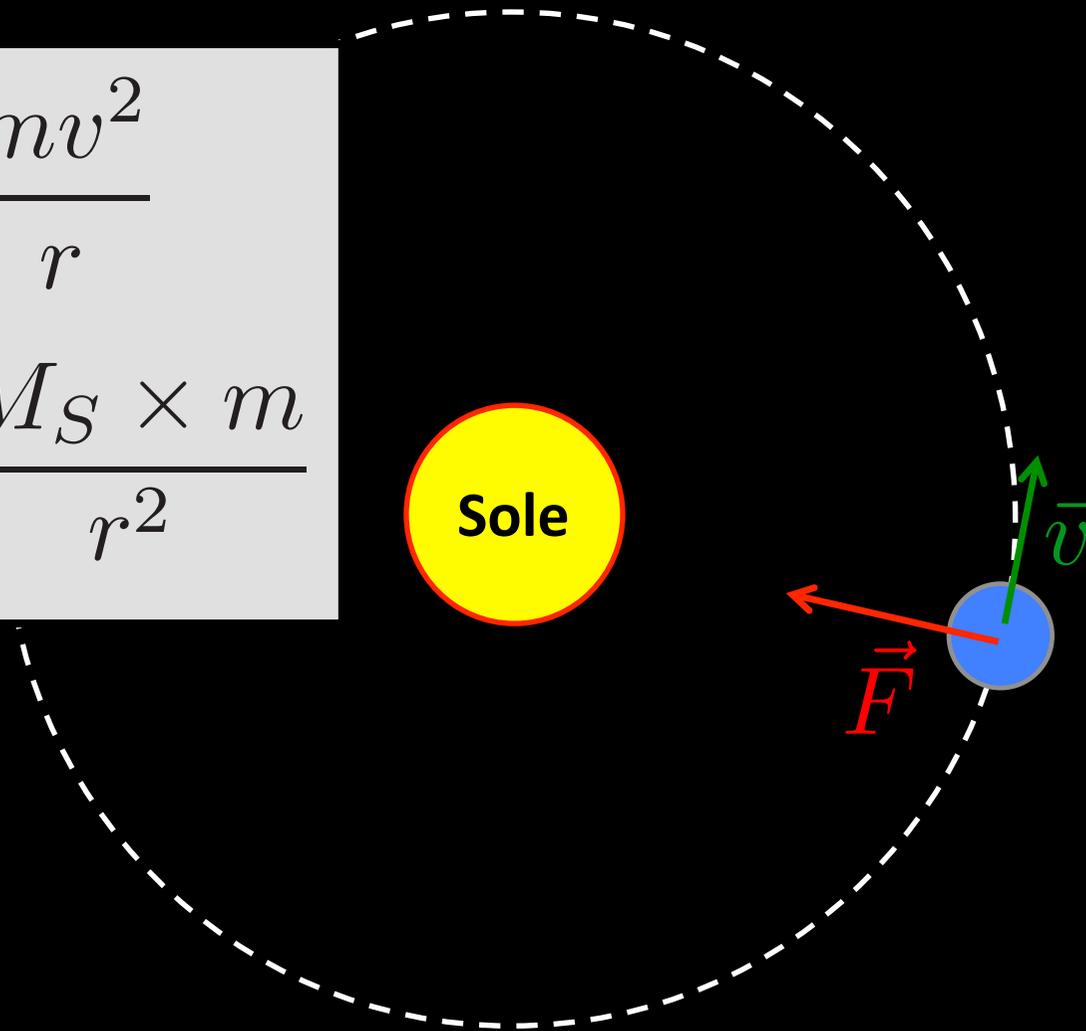


$$F = G \frac{M \times m}{r^2}$$

L'astronomo pesa i corpi celesti osservando la loro dinamica e studiando la forza di gravità che li fa interagire

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

$$F = G \frac{M_S \times m}{r^2}$$

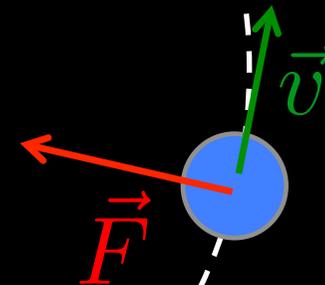


*Per esempio, vediamo come misurare la massa del Sole...*

L'astronomo pesa i corpi celesti osservando la loro dinamica e studiando la forza di gravità che li fa interagire

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

$$F = G \frac{M_S \times m}{r^2}$$

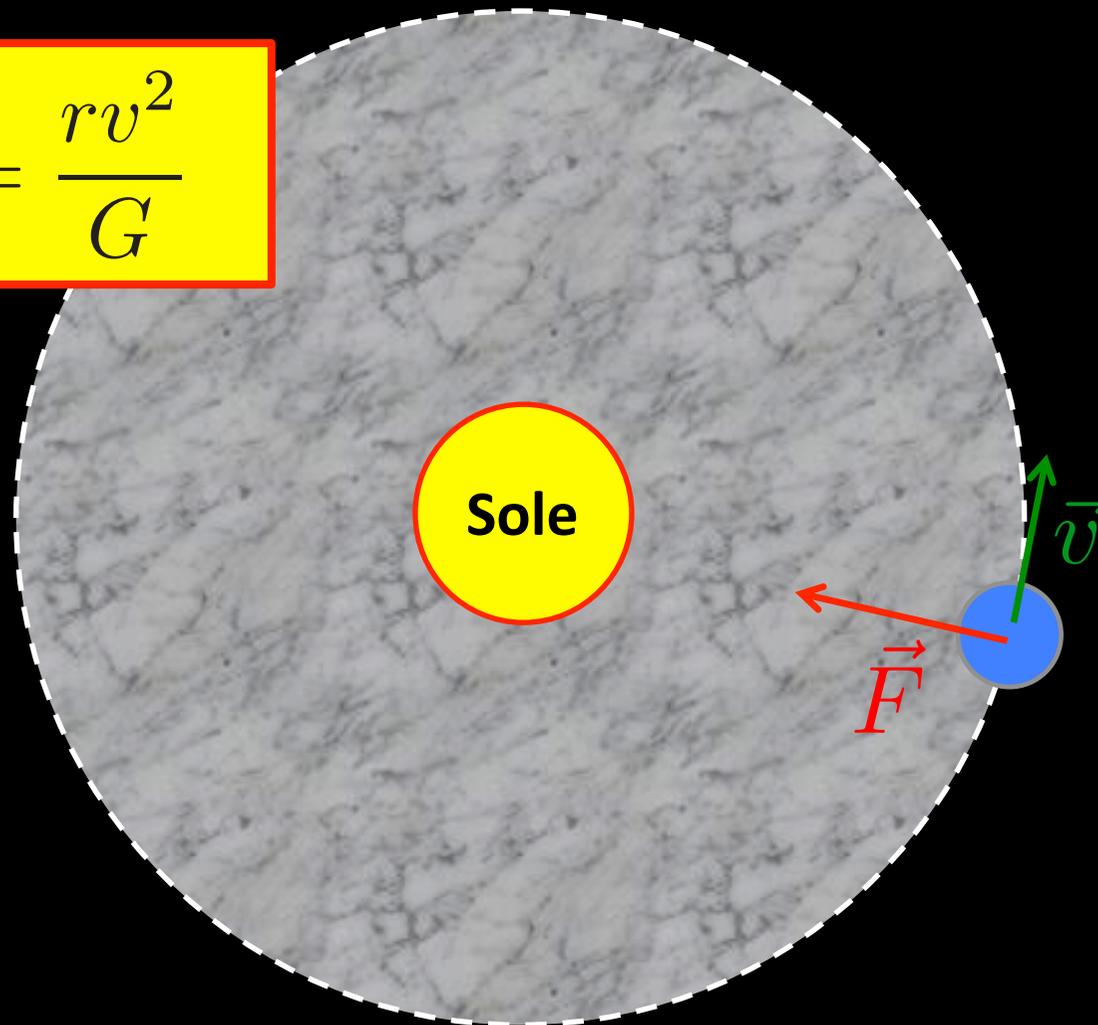


$$M_S = \frac{rv^2}{G}$$

*Per esempio, vediamo come misurare la massa del Sole...*

Abbiamo quindi misurato la massa del Sole studiando il moto di un corpo che gli orbita attorno

$$M_S = \frac{rv^2}{G}$$



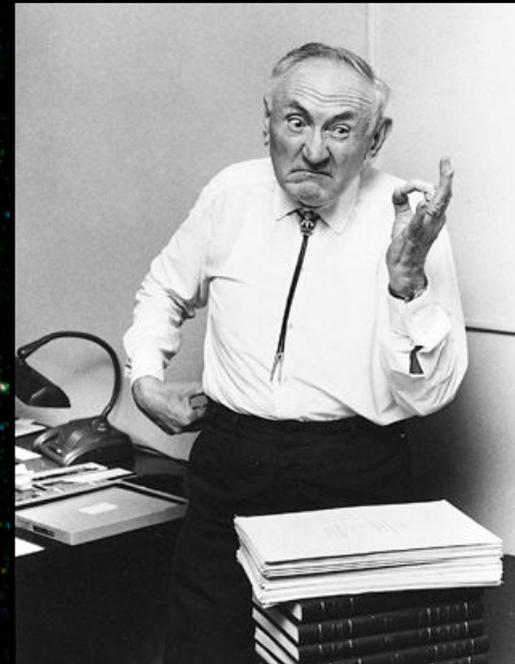
*Per la precisione, con questo metodo si ottiene la **massa di tutto ciò che è racchiuso nell'orbita**, ma in questo caso non cambia praticamente nulla*

Per Zwicky il conto fu un po' più difficile (applicò il Teorema del Viriale sull'ammasso di galassie), ma il principio è lo stesso



*L'Ammasso di galassie di Coma*

*“La maggior parte della sua massa non emette luce!!”*



**Quindi se la gravità funziona allo stesso modo in tutto l'Universo...**



**Quindi se la gravità funziona allo stesso modo in tutto l'Universo...**

$$M = \frac{rv^2}{G}$$



**Posso “pesare” un oggetto celeste misurando la velocità di ciò che gli ruota intorno.**

**Quindi se la gravità funziona allo stesso modo in tutto l'Universo...**

$$M = \frac{rv^2}{G}$$



$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

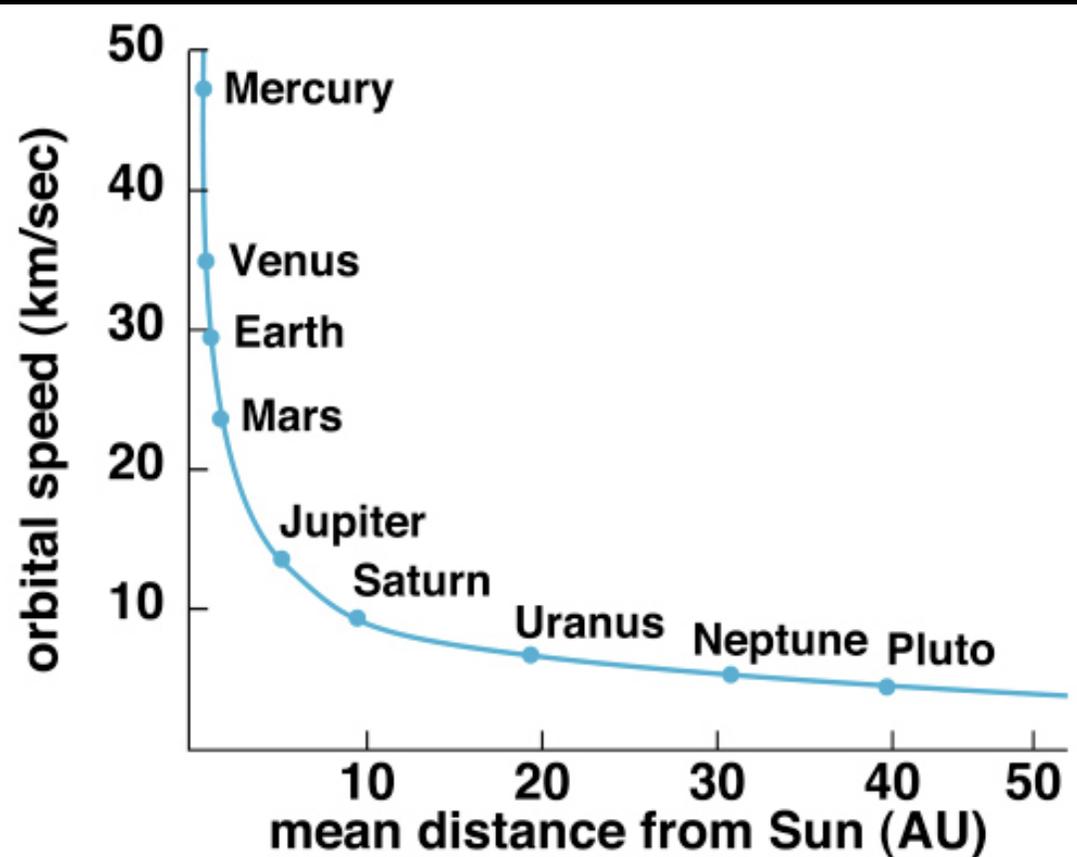
**Posso “pesare” un oggetto celeste misurando la velocità di ciò che gli ruota intorno.**

**Oppure, se ne conosco la massa, posso predire la velocità di rotazione attorno ad esso.**

# Nel Sistema Solare l'idea funziona molto bene

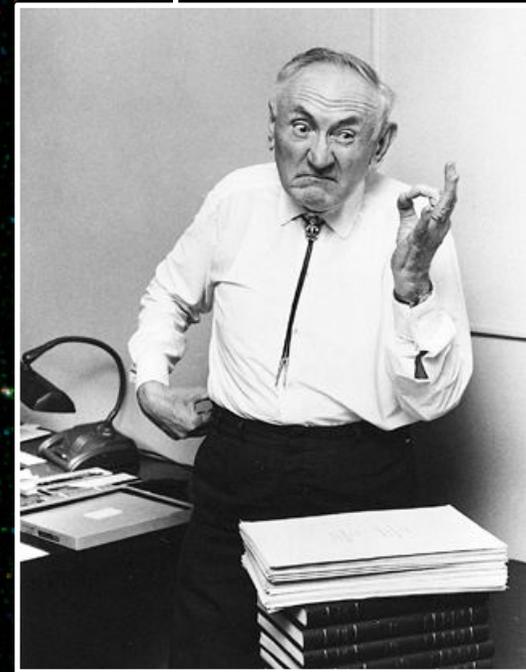
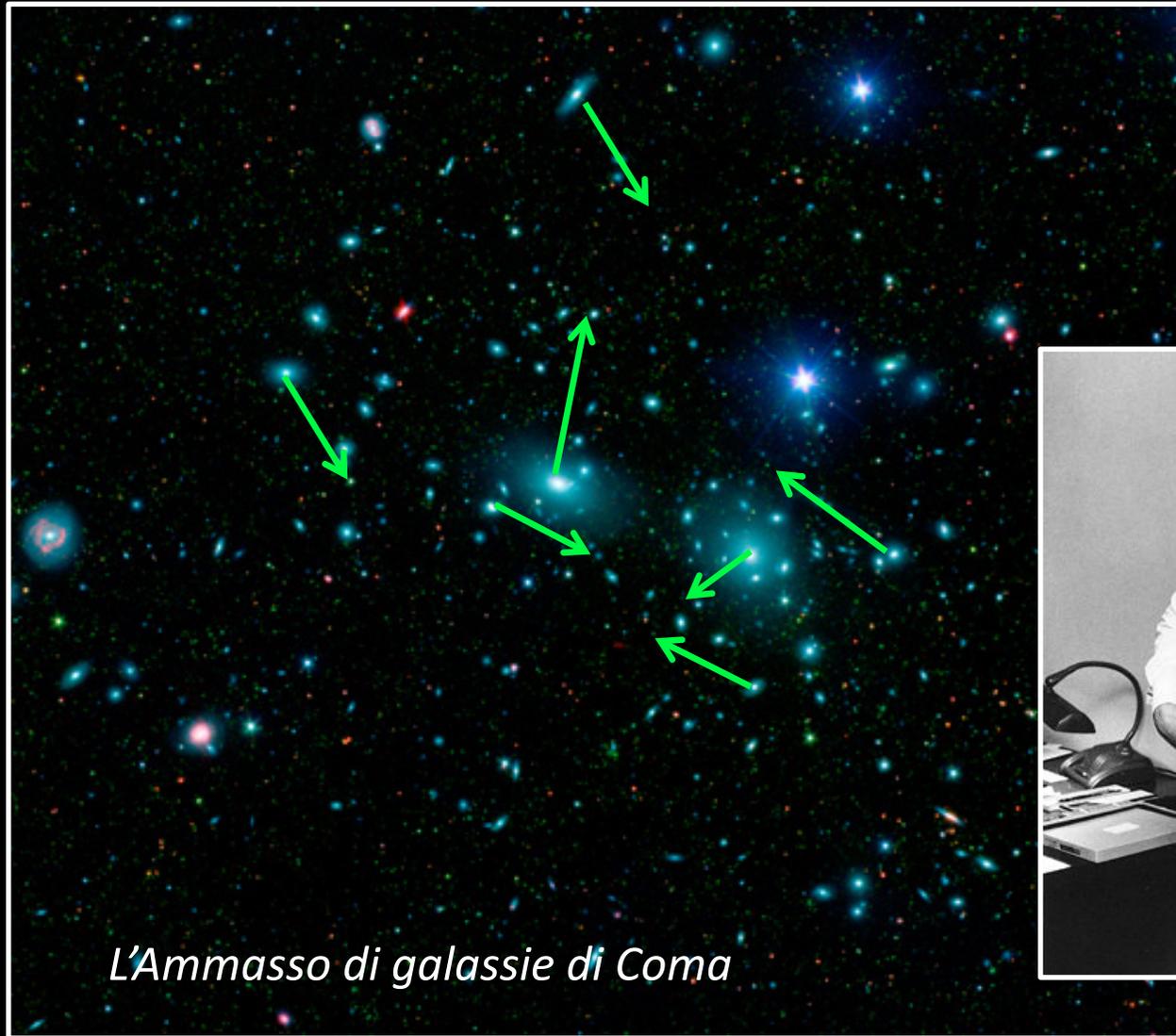


**Joannes Kepler  
(1571 – 1630)**



(b)  
Copyright © Addison Wesley

# E perché a Zwicky i conti non tornavano?



**La Galassia di Andromeda, ovvero i “vicini di casa” della nostra Galassia (Via Lattea)**



# La Galassia di Andromeda, ovvero i “vicini di casa” della nostra Galassia (Via Lattea)



La Galassia di Andromeda, ovvero i “vicini di casa” della nostra Galassia (Via Lattea)



**Misuriamo la sua massa!!!**

# La massa delle galassie dalle curve di rotazione

Lowell Observatory (AZ, USA)  
1970 circa

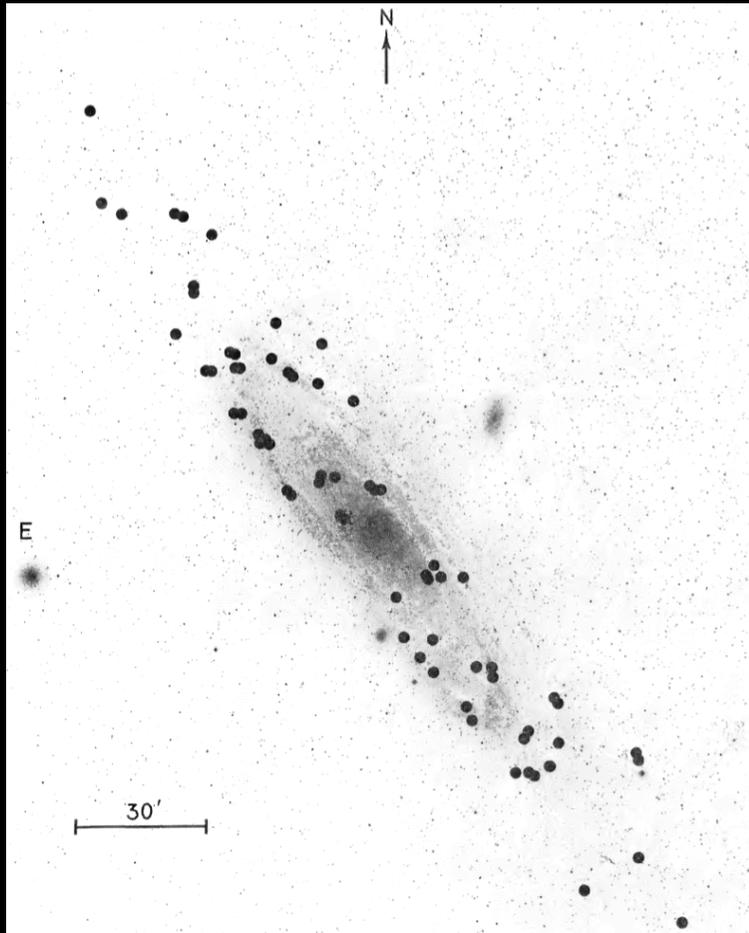


© Bob Rubin

**Vera Cooper Rubin (1928-2016)**  
**Kent Ford (1931)**

# La massa delle galassie dalle curve di rotazione

Andromeda in versione "vintage"



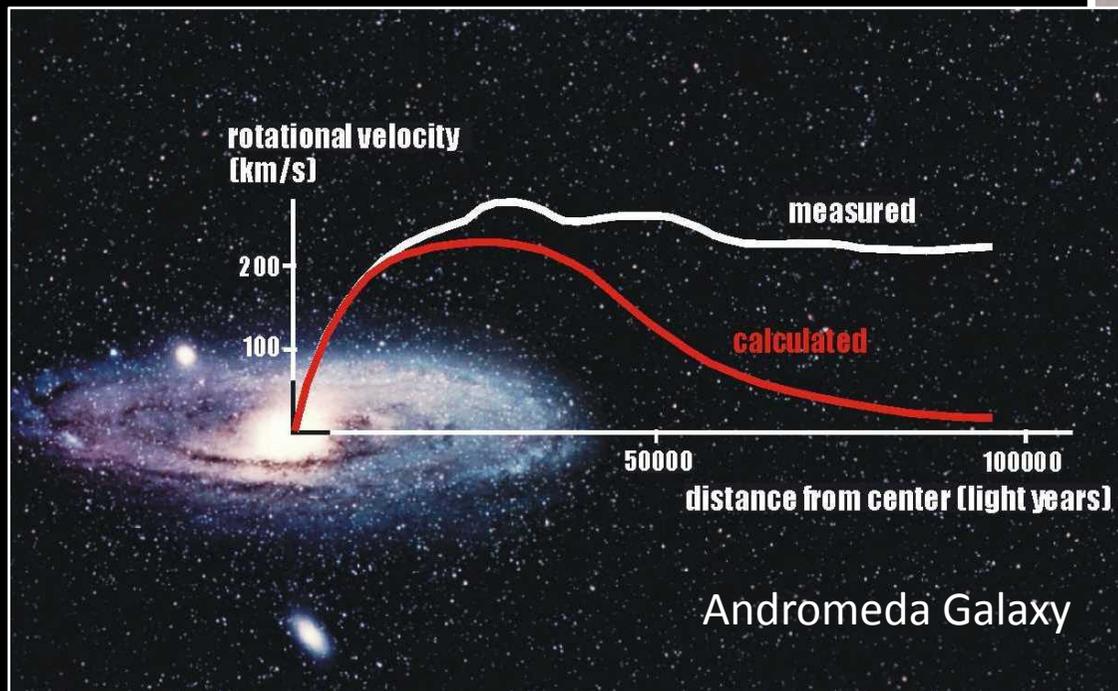
Lowell Observatory (AZ, USA)  
1970 circa



**Vera Cooper Rubin (1928-2016)**  
**Kent Ford (1931)**

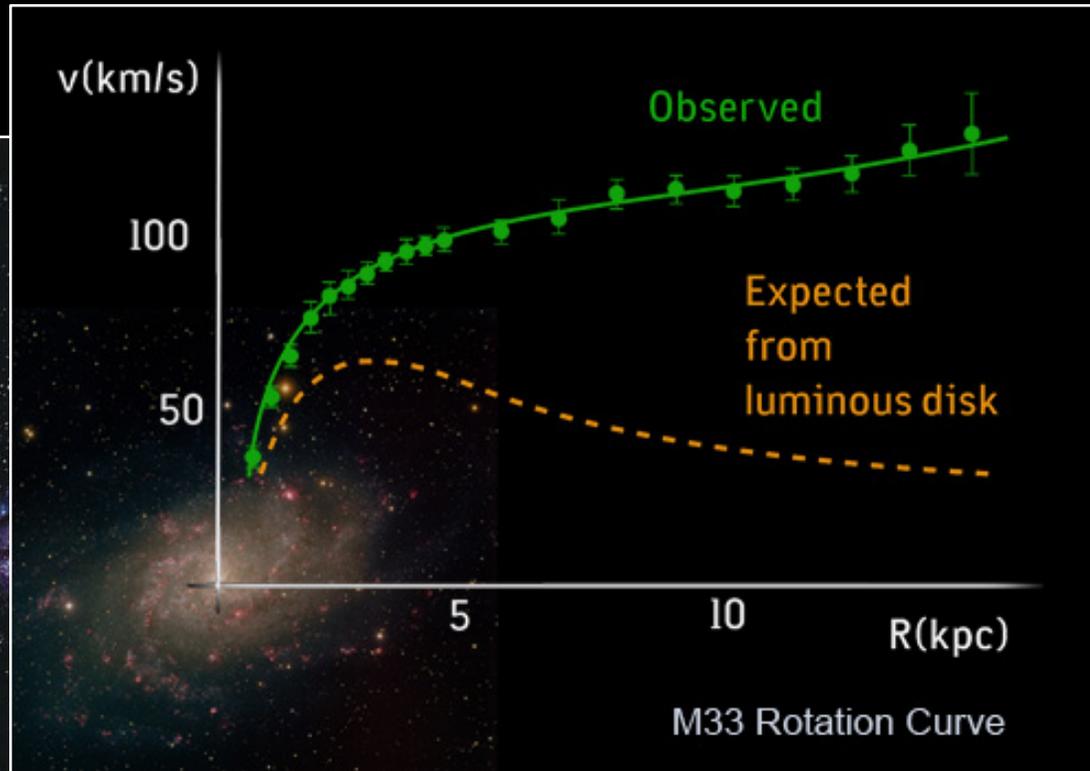
# La massa delle galassie dalle curve di rotazione

Lowell Observatory (AZ, USA)  
1970 circa



**Vera Cooper Rubin (1928-2016)**  
**Kent Ford (1931)**

# La massa delle galassie dalle curve di rotazione



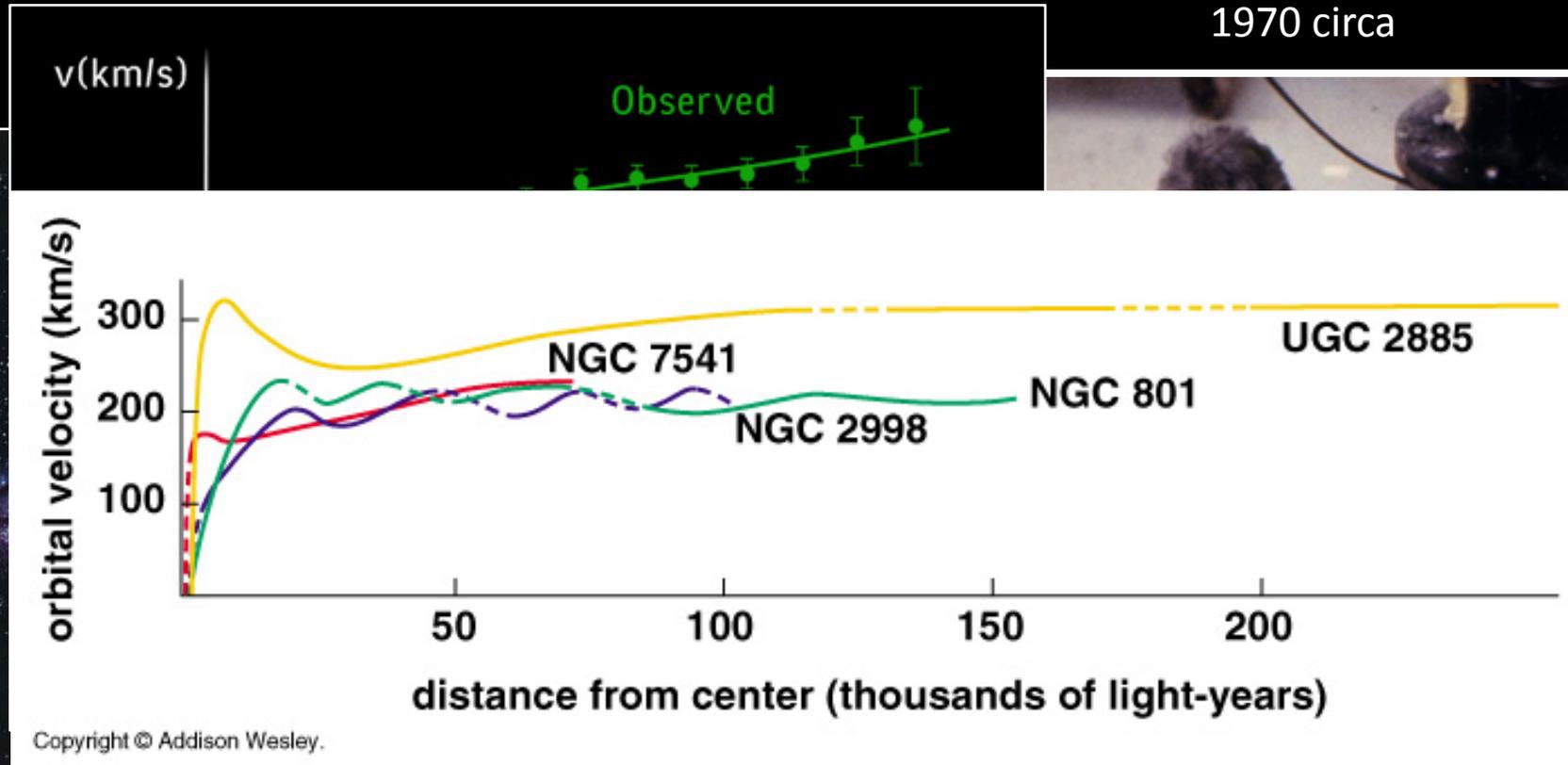
Lowell Observatory (AZ, USA)  
1970 circa



**Vera Cooper Rubin (1928-2016)**  
**Kent Ford (1931)**

# La massa delle galassie dalle curve di rotazione

Lowell Observatory (AZ, USA)  
1970 circa



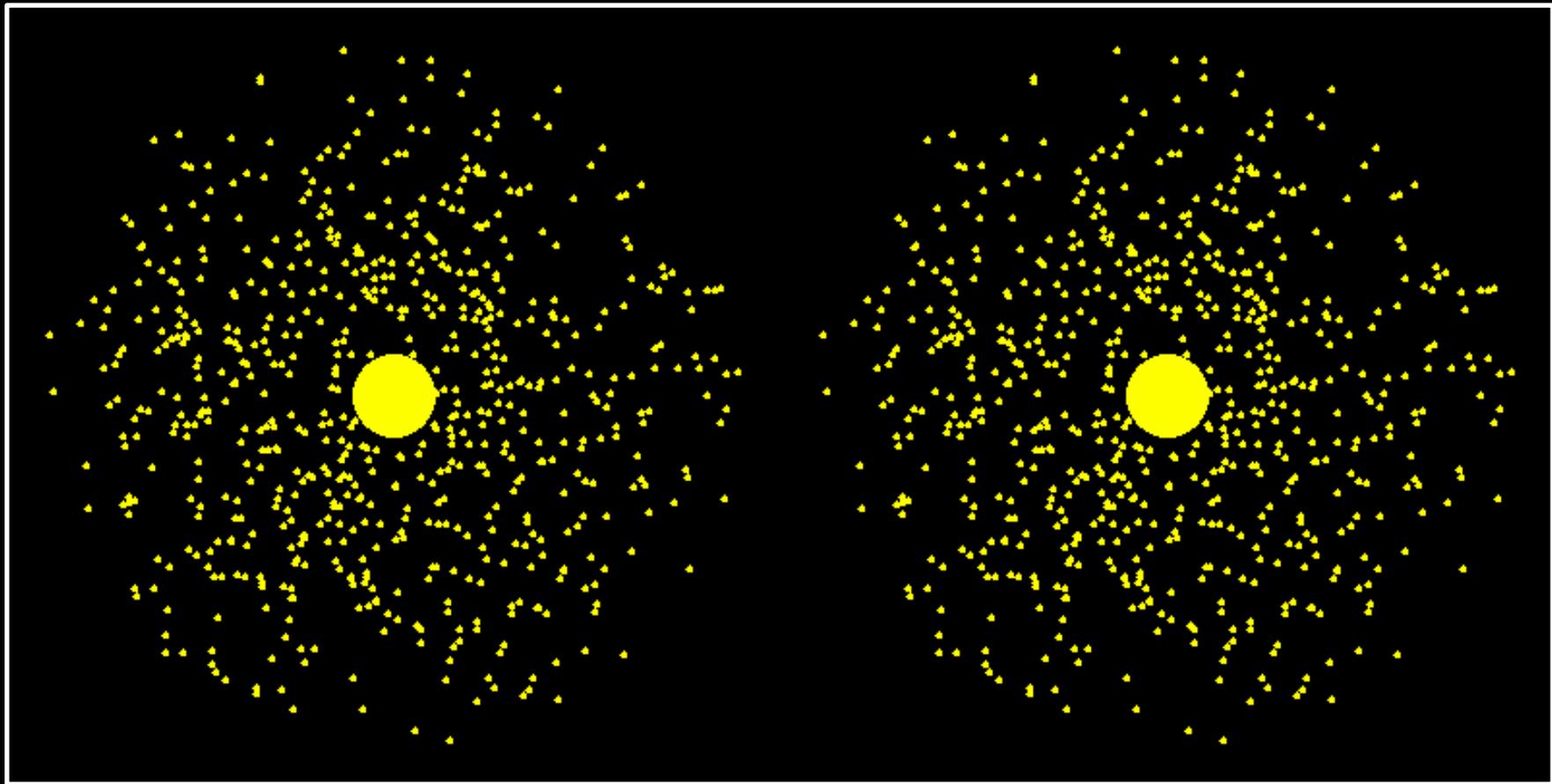
© Bob Rubin

**Vera Cooper Rubin (1928-2016)**  
**Kent Ford (1931)**

# Aspettative contro realtà dei fatti...

Rotazione prevista

Rotazione osservata



# Galassie a spirale

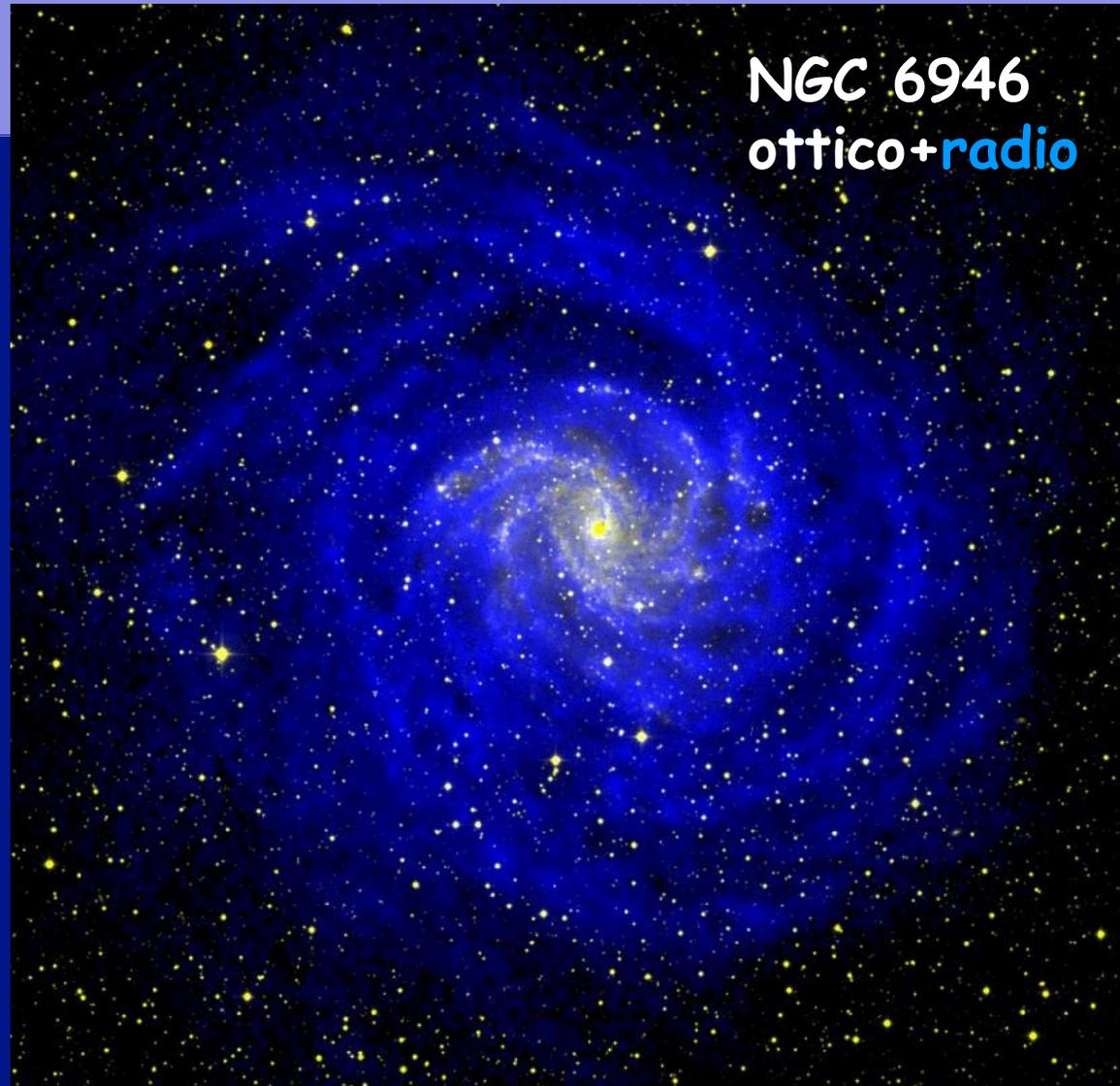
La radioastronomia:  
*non si vede ma c'è*

Ottico: Stelle

Radio: Idrogeno neutro  
(1.4 GHz)

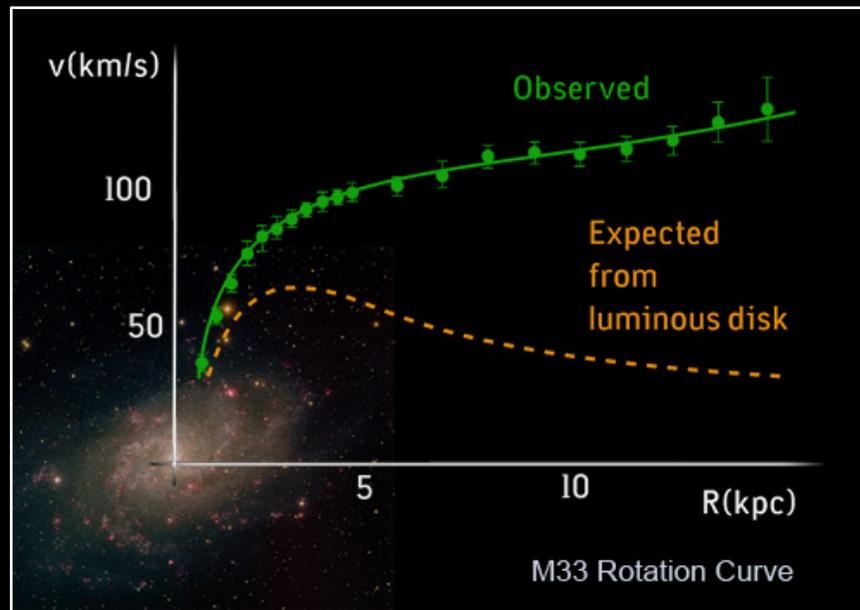
L'Idrogeno neutro è  
tipicamente molto più  
esteso delle stelle

(by Daria Guidetti)



# L'Astrofisica ha quindi scoperto una domanda!

Questa domanda potrebbe essere formulata così:  
*“Perché le galassie ruotano così velocemente?”*

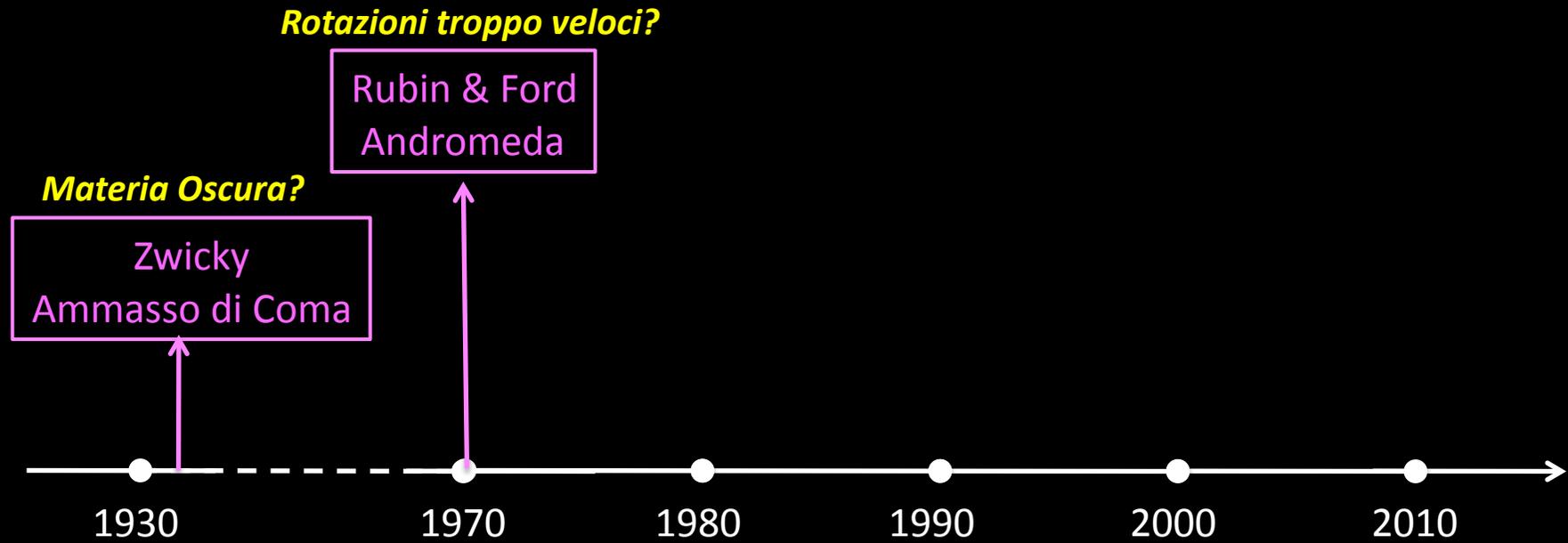


- 1) *L'Universo è dominato da una forma di materia ignota?*
- 2) *Che caratteristiche ha?*
- 3) *Che conseguenze ha questo sulla Fisica delle Particelle?*

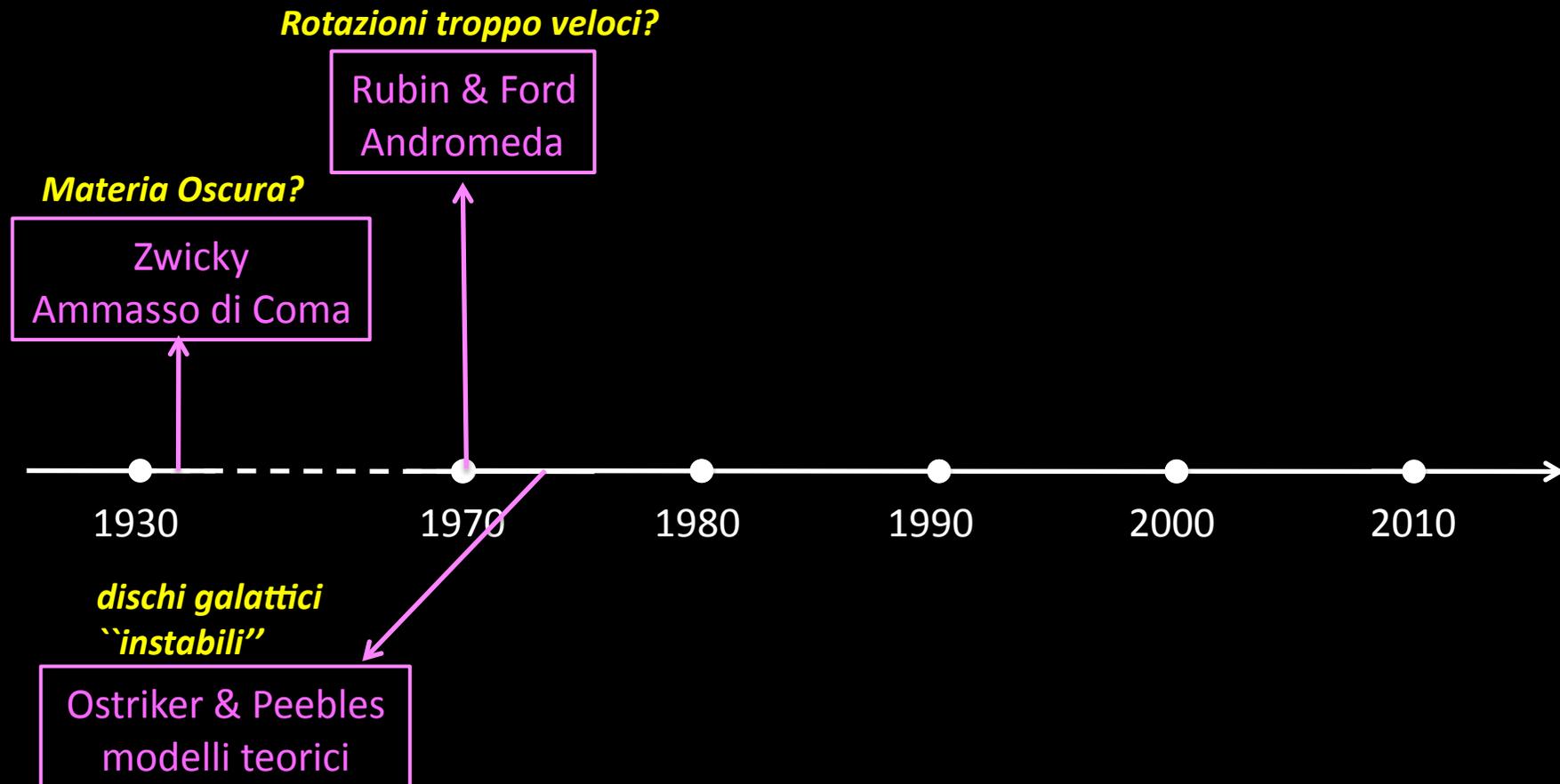
# Quando avviene esattamente la “scoperta”?



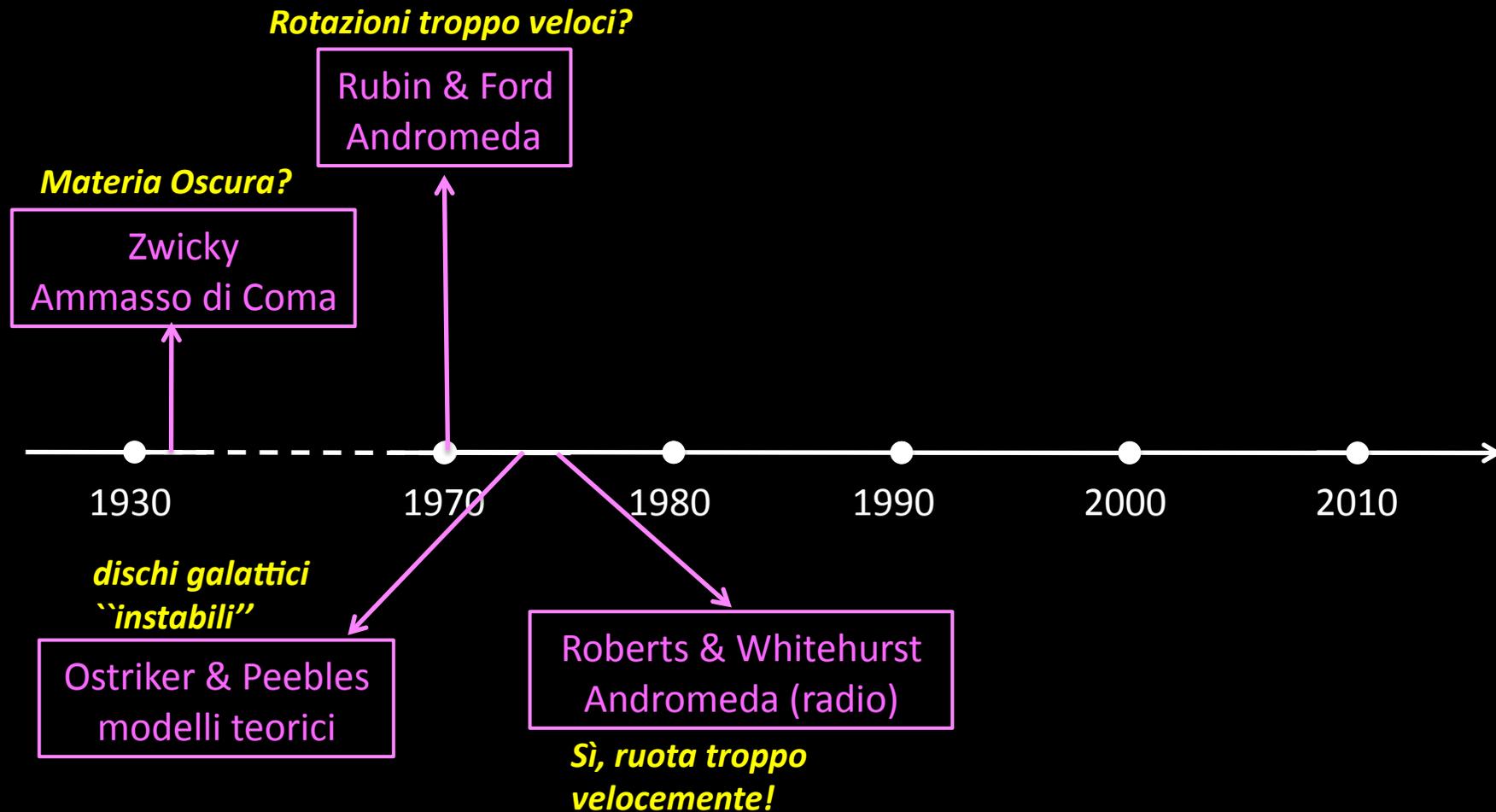
# Quando avviene esattamente la “scoperta”?



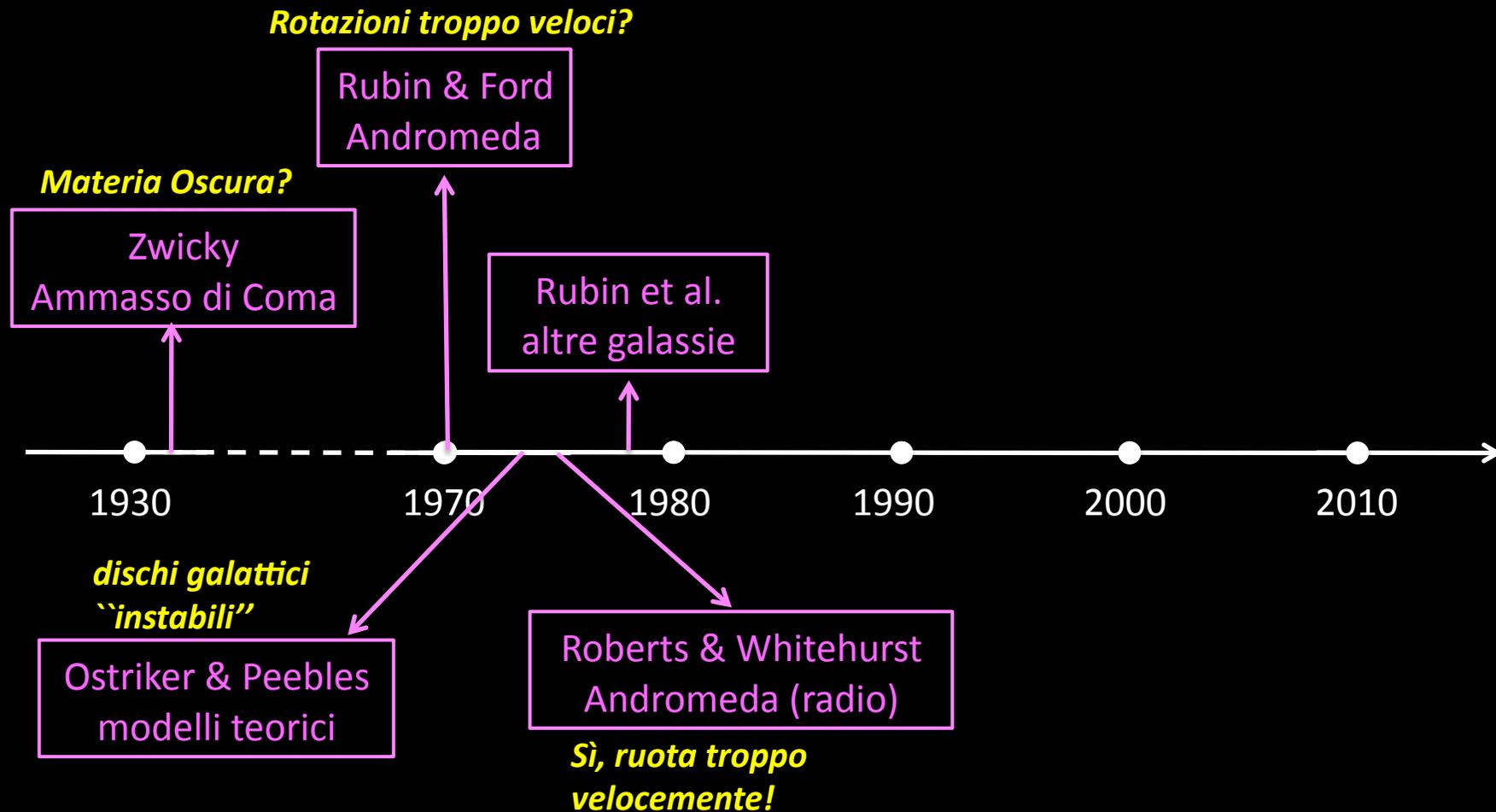
# Quando avviene esattamente la “scoperta”?



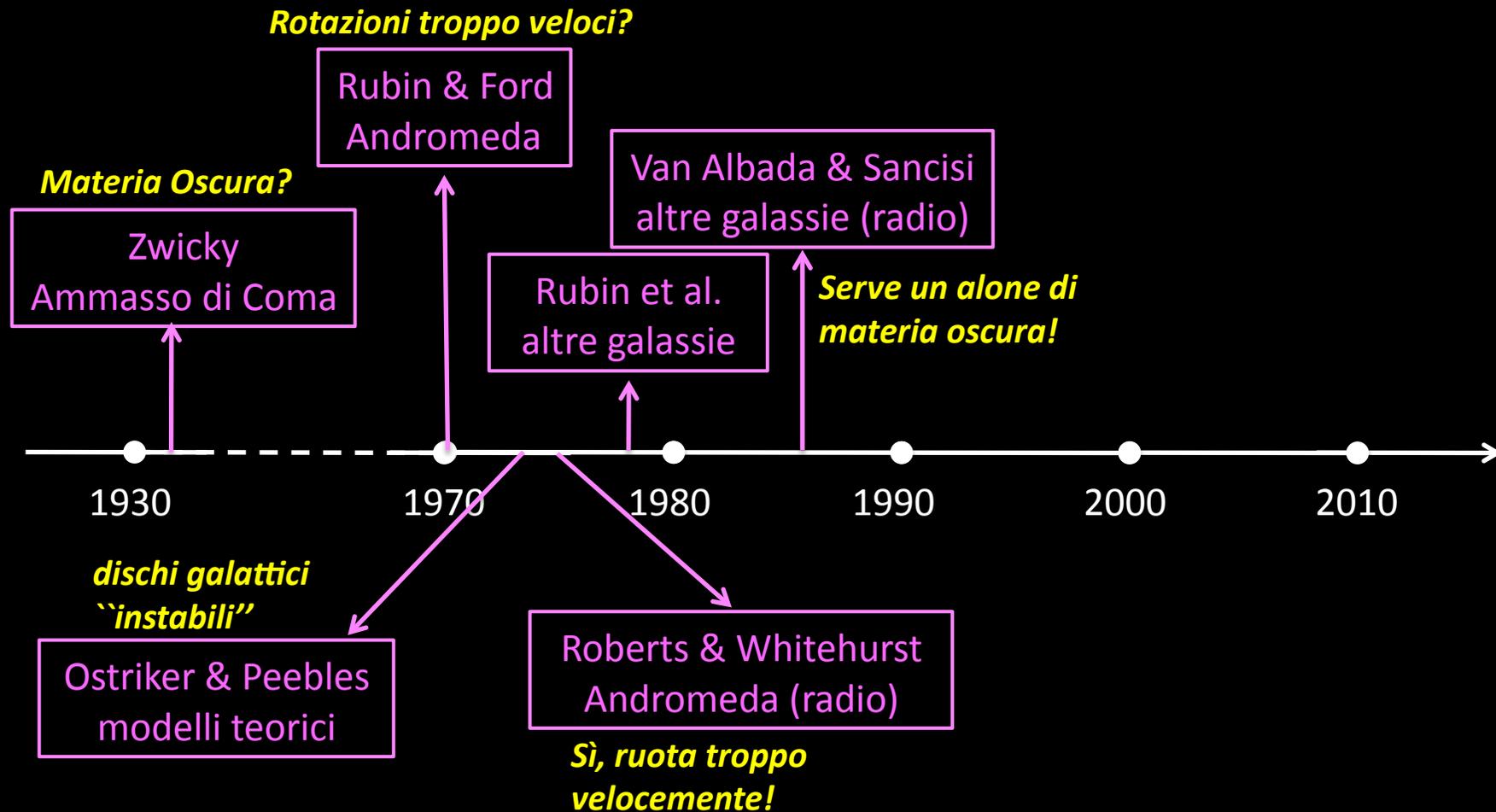
# Quando avviene esattamente la “scoperta”?



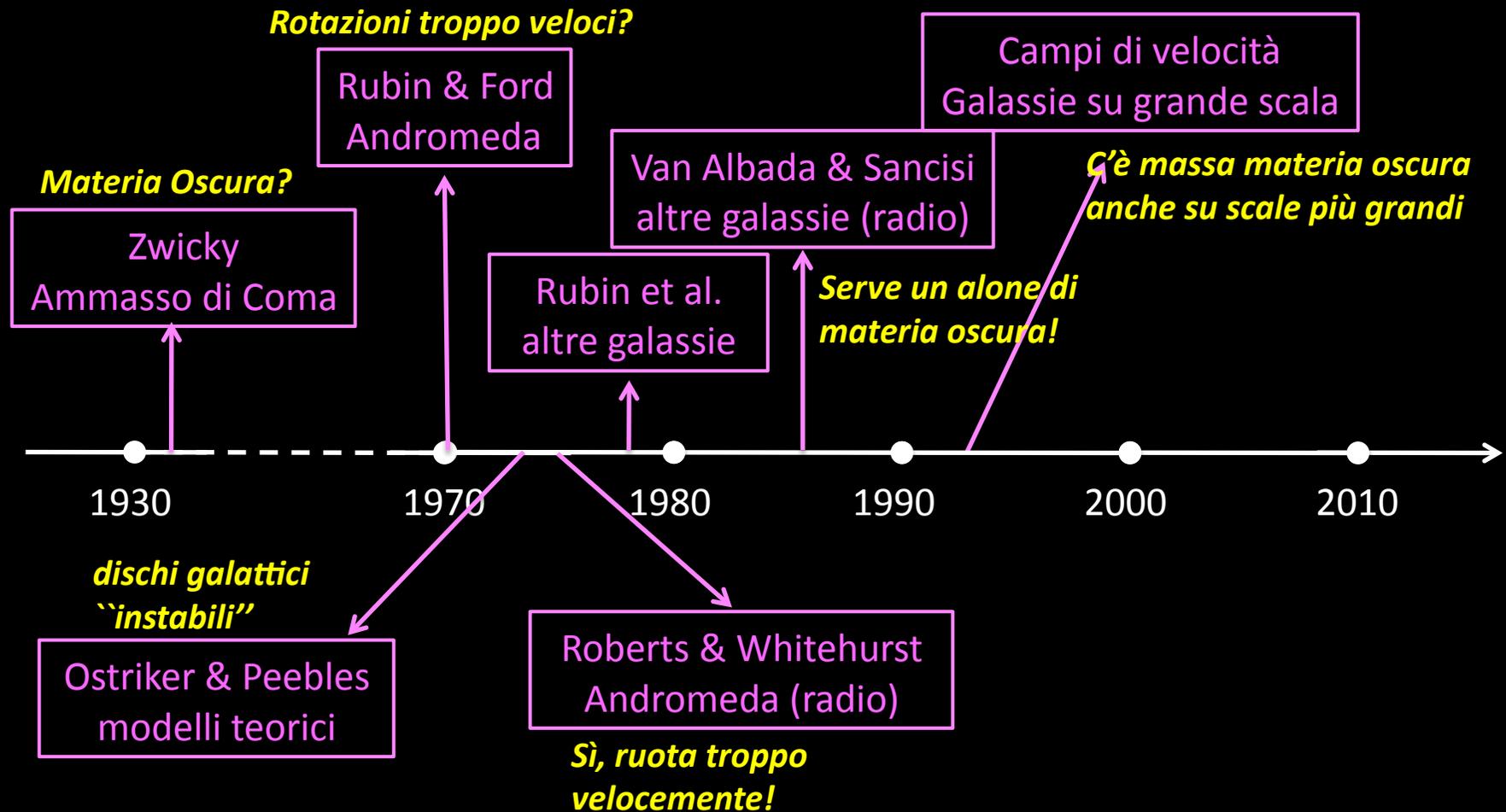
# Quando avviene esattamente la “scoperta”?



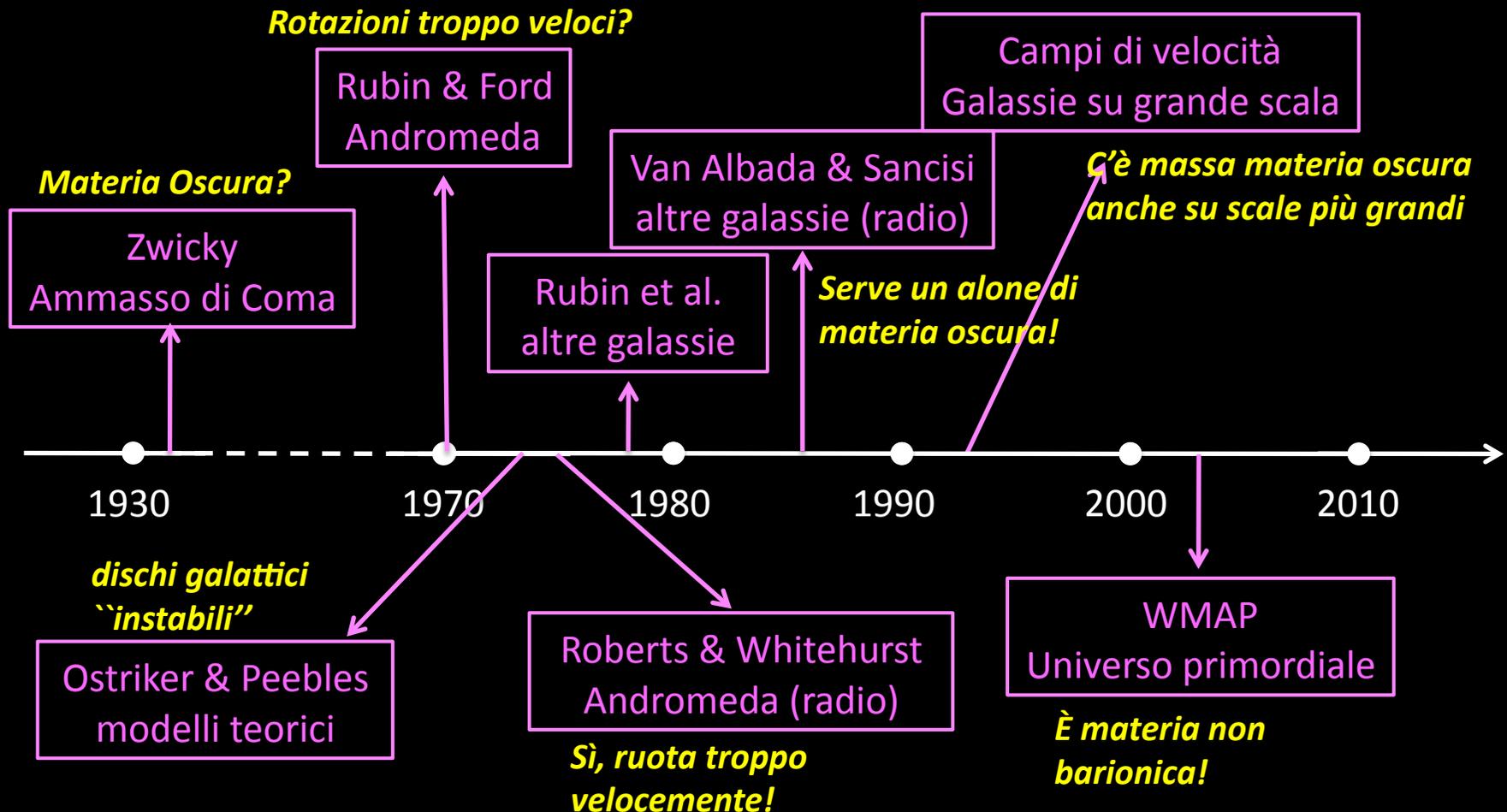
# Quando avviene esattamente la “scoperta”?



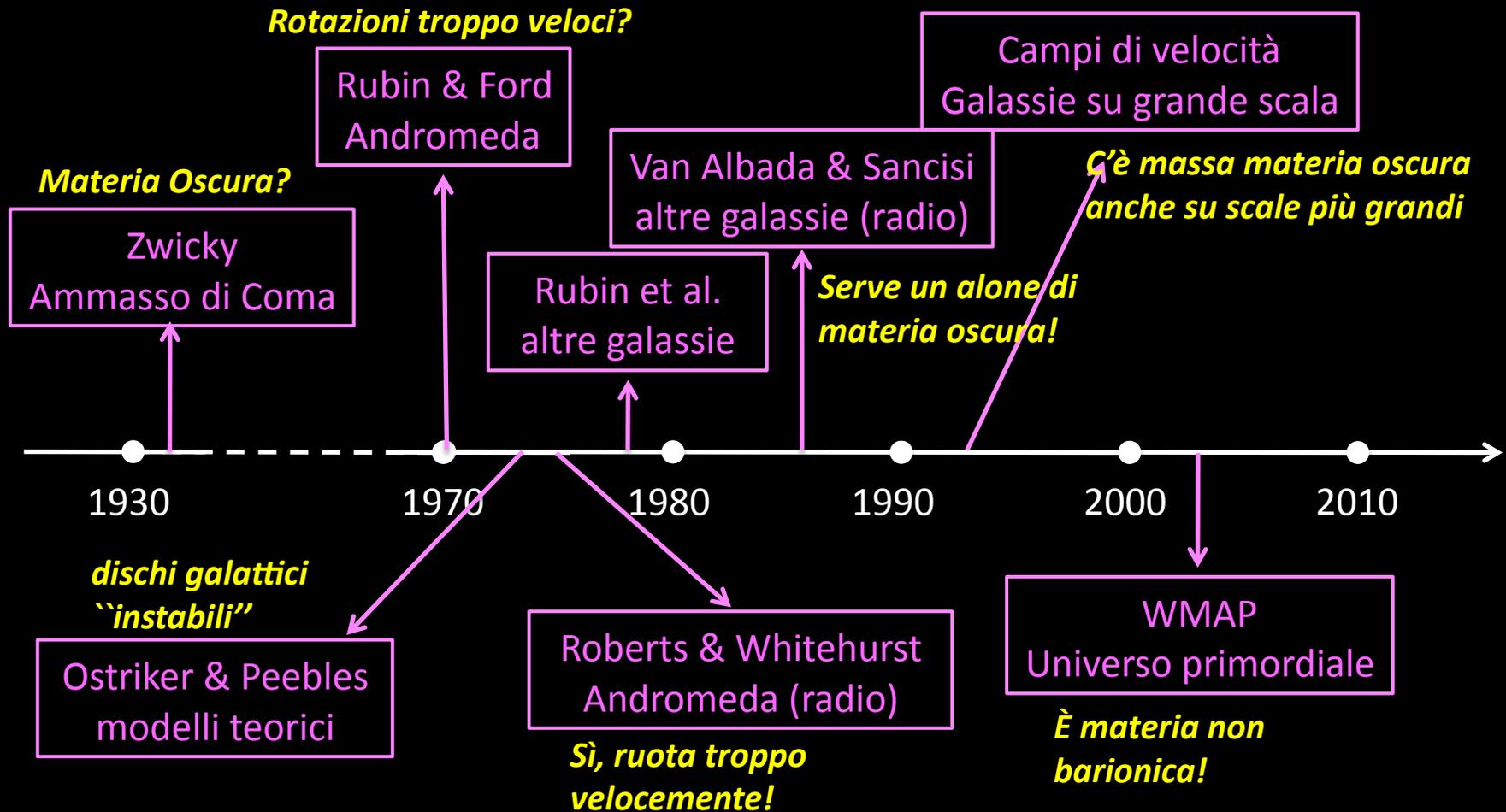
# Quando avviene esattamente la “scoperta”?



# Quando avviene esattamente la “scoperta”?



# Quando avviene esattamente la "scoperta"?



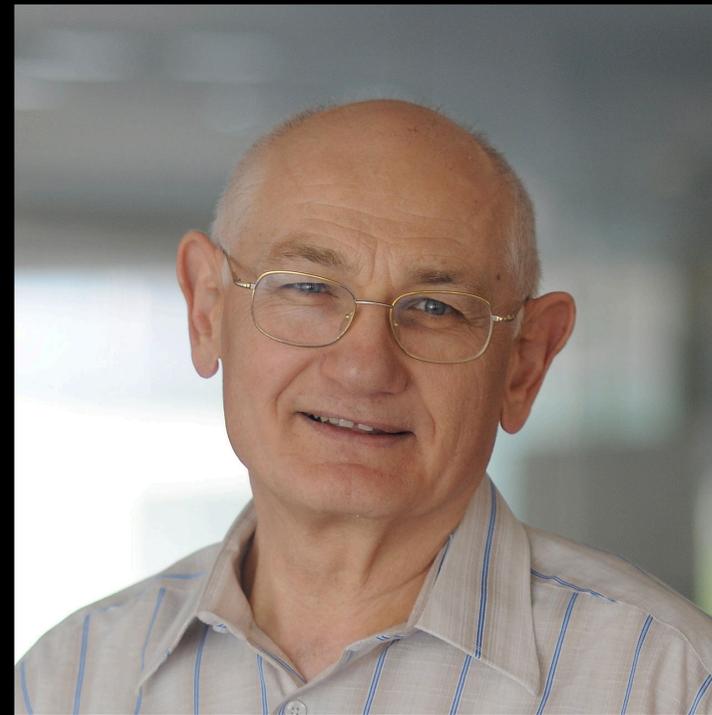
Non è possibile definire un momento preciso. Una "scoperta" è tale solo quando quell'idea incontra il **CONSENSO SCIENTIFICO**

## C'è chi ha provato a dare una spiegazione diversa: la Modified Newtonian Dynamics (MO.N.D. theory)

*“La legge di Newton non è valida per basse accelerazioni. Non serve ipotizzare una forma di materia oscura: bisogna cambiare la legge di Newton.”*



$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



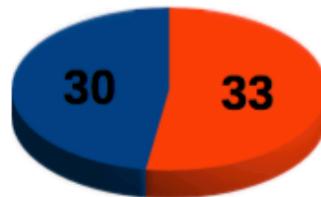
**Mordehai “Motti” Milgrom (1946)**

**Occorre molto tempo affinché un lavoro scientifico venga valorizzato. La scienza di oggi è capace di tenerne conto?**

## Occorre molto tempo affinché un lavoro scientifico venga valorizzato. La scienza di oggi è capace di tenerne conto?

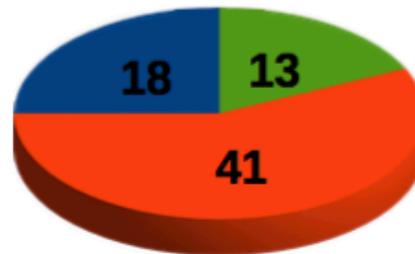
Articoli scientifici (2013-15) per condizione contrattuale del primo autore nell'astronomia "bolognese"

Osservatorio  
Astronomico



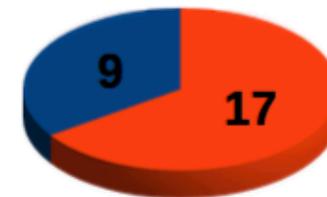
■ Staff  
■ Precari

Università



■ Staff ■ Precari  
■ PhD

Istituto di  
Radioastronomia



■ Staff  
■ Precari

Il problema è presente ovunque, in tutta Italia, in tutto il mondo.  
La comunità scientifica dovrebbe interrogarsi.

**Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta?  
Che caratteristiche ha?**

# Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta? Che caratteristiche ha?

**THE PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS**

1 IA 1A																	18 VIIIA 8A						
1 H Hydrogen 1.008																	2 He Helium 4.003						
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012																	5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180
11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8		9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 IIIA 3A	14 IIIA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 Ar Argon 39.948					
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 51.996	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.833	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.61	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.972	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80						
37 Rb Rubidium 84.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.95	43 Tc Technetium 98.907	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.906	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.904	54 Xe Xenon 131.29						
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.948	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.967	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.980	84 Po Polonium [208.982]	85 At Astatine 209.987	86 Rn Radon 222.018						
87 Fr Francium 223.020	88 Ra Radium 226.025	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [261]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [271]	112 Cn Copernicium [277]	113 Uut Ununtrium unknown	114 Fl Flerovium [289]	115 Uup Ununpentium unknown	116 Lv Livermorium [293]	117 Uus Ununseptium unknown	118 Uuo Ununoctium unknown						
		57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium [144.913]	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.966	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.934	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967							
		89 Ac Actinium 227.028	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.095	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.101	103 Lr Lawrencium [262]							
		Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetal	Nonmetal	Halogen	Noble Gas	Lanthanide	Actinide												



Proton



Neutron



Electron

# Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta? Che caratteristiche ha?



THE PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

1 IA 1A	2 IIA 2A	3	4	5	6	7 VIIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A
1 H Hydrogen 1.008	2 He Helium 4.003	3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012	5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.007	8 O Oxygen 15.999	9 F Fluorine 18.998	10 Ne Neon 20.180	11 Na Sodium 22.990	12 Mg Magnesium 24.305	13 Al Aluminum 26.982	14 Si Silicon 28.086	15 S Sulfur 32.066	16 Cl Chlorine 35.453	17 Ar Argon 39.948	18 Kr Krypton 83.801
19 K Potassium 39.098	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.956	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.942	24 Cr Chromium 52.00	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.845	27 Co Cobalt 58.933	28 Ni Nickel 58.693	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.63	33 As Arsenic 74.922	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.801
37 Rb Rubidium 85.468	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.906	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.906	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.906	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.905	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.868	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.757	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.905	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.905	56 Ba Barium 137.327	57 La Lanthanum 138.905	58 Ce Cerium 140.12	59 Pr Praseodymium 140.908	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium 144.913	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.925	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.930	68 Er Erbium 167.257	69 Tm Thulium 168.930	70 Yb Ytterbium 173.054	71 Lu Lutetium 174.967	72 Hf Hafnium 178.49
87 Fr Francium 223.020	88 Ra Radium 226.025	89 Ac Actinium 227.037	90 Th Thorium 232.038	91 Pa Protactinium 231.036	92 U Uranium 238.029	93 Np Neptunium 237.048	94 Pu Plutonium 244.064	95 Am Americium 243.061	96 Cm Curium 247.070	97 Bk Berkelium 247.070	98 Cf Californium 251.080	99 Es Einsteinium 252.083	100 Fm Fermium 257.103	101 Md Mendelevium 258.108	102 No Nobelium 259.108	103 Lr Lawrencium 262.109	104 Rf Rutherfordium 261.102
105 Db Dubnium 262.109	106 Sg Seaborgium 263.109	107 Bh Bohrium 264.109	108 Hs Hassium 265.109	109 Mt Meitnerium 266.109	110 Ds Darmstadtium 267.109	111 Rg Roentgenium 268.109	112 Cn Copernicium 269.109	113 Uut Ununtrium 270.109	114 Fl Flerovium 271.109	115 Uuq Ununquadium 272.109	116 Uuq Ununhexium 273.109	117 Uuh Ununheptium 274.109	118 Uuo Ununoctium 276.109	119 Uuq Ununseptium 277.109	120 Uuq Ununseptium 278.109	121 Uuq Ununseptium 279.109	122 Uuq Ununseptium 280.109

Alkaline Earth    Transition Metal    Basic Metal    Semimetal    Nonmetal



Proton



Neutron



Electron

**Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta?  
Che caratteristiche ha?**

***1) Non interagisce col campo elettromagnetico***

**Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta?  
Che caratteristiche ha?**

***1) Non interagisce col campo elettromagnetico***

***- Non emette né assorbe luce: più che "oscura" è "trasparente"***

**Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta?  
Che caratteristiche ha?**

***1) Non interagisce col campo elettromagnetico***

***- Non emette né assorbe luce: più che "oscura" è "trasparente"***

***2) Non crea legami chimici di nessun tipo***

# Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta? Che caratteristiche ha?

***1) Non interagisce col campo elettromagnetico***

*- Non emette né assorbe luce: più che "oscura" è "trasparente"*

***2) Non crea legami chimici di nessun tipo***

*- Rimane in uno stato simile a quello gassoso*

# Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta? Che caratteristiche ha?

**1) Non interagisce col campo elettromagnetico**

- *Non emette né assorbe luce: più che "oscura" è "trasparente"*

**2) Non crea legami chimici di nessun tipo**

- *Rimane in uno stato simile a quello gassoso*

**3) Non perde energia per emissione di luce**

# Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta? Che caratteristiche ha?

## **1) Non interagisce col campo elettromagnetico**

- *Non emette né assorbe luce: più che "oscura" è "trasparente"*

## **2) Non crea legami chimici di nessun tipo**

- *Rimane in uno stato simile a quello gassoso*

## **3) Non perde energia per emissione di luce**

- *Non può "addensarsi": resta diffusa in aloni di grandezza uguale o maggiore di quelli di una galassia*

# Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta? Che caratteristiche ha?

**1) Non interagisce col campo elettromagnetico**

- Non emette né assorbe luce: più che "oscura" è "trasparente"

**2) Non crea legami chimici di nessun tipo**

- Rimane in uno stato simile a quello gassoso

**3) Non perde energia per emissione di luce**

- Non può "addensarsi": resta diffusa in aloni di grandezza uguale o maggiore di quelli di una galassia

**4) Ha una sezione d'urto molto piccola (non-collisionale)**

# Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta? Che caratteristiche ha?

## **1) Non interagisce col campo elettromagnetico**

- Non emette né assorbe luce: più che "oscura" è "trasparente"

## **2) Non crea legami chimici di nessun tipo**

- Rimane in uno stato simile a quello gassoso

## **3) Non perde energia per emissione di luce**

- Non può "addensarsi": resta diffusa in aloni di grandezza uguale o maggiore di quelli di una galassia

## **4) Ha una sezione d'urto molto piccola (non-collisionale)**

- Non interagisce: "passa attraverso" la materia senza toccarla

# Ma cos'è questa materia oscura? Com'è fatta? Che caratteristiche ha?

**1) Non interagisce con la luce e il campo elettromagnetico**

- Non emette né assorbe luce. La materia oscura è "oscura" e "trasparente"

**2) Non crea legami chimici e non è di tipo baryonico**

- Rimane in uno stato di movimento casuale

**3) Non perde energia e non si riscalda**

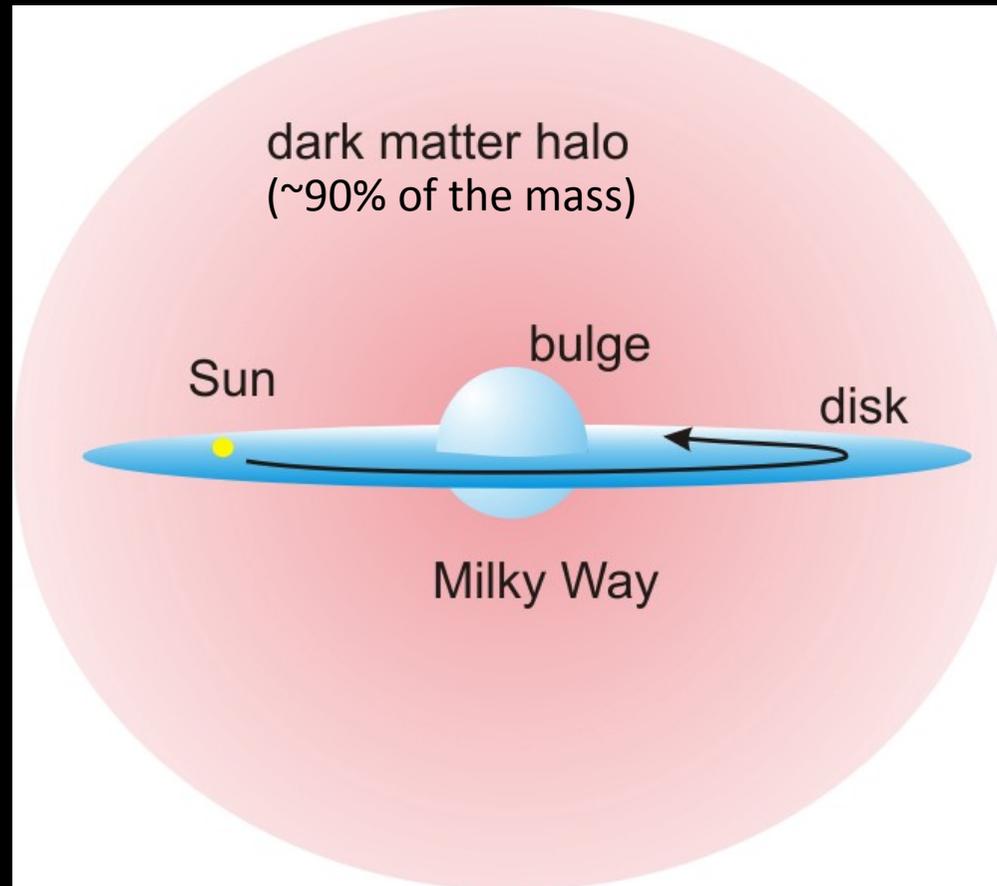
- Non può "condensarsi" in strutture di grande massa  
uguale a quella della materia ordinaria

**4) Ha una densità costante (non si comprime)**

- Non interagisce: "passa attraverso" la materia senza toccarla

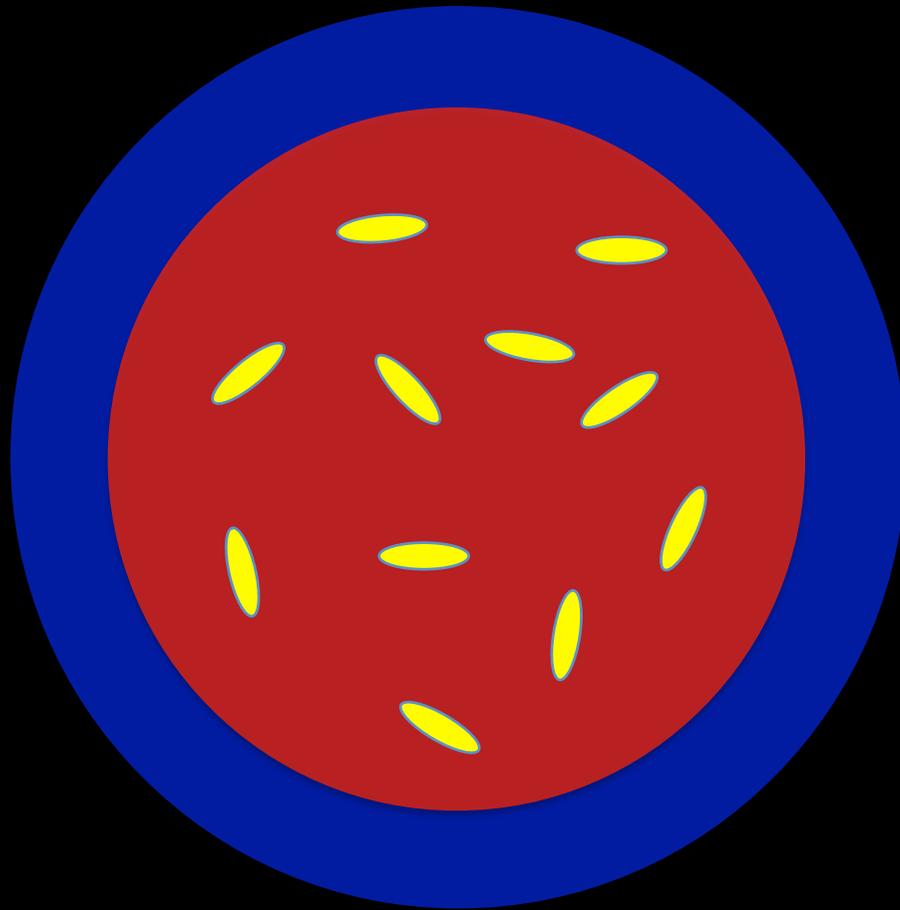


# La materia oscura nelle galassie

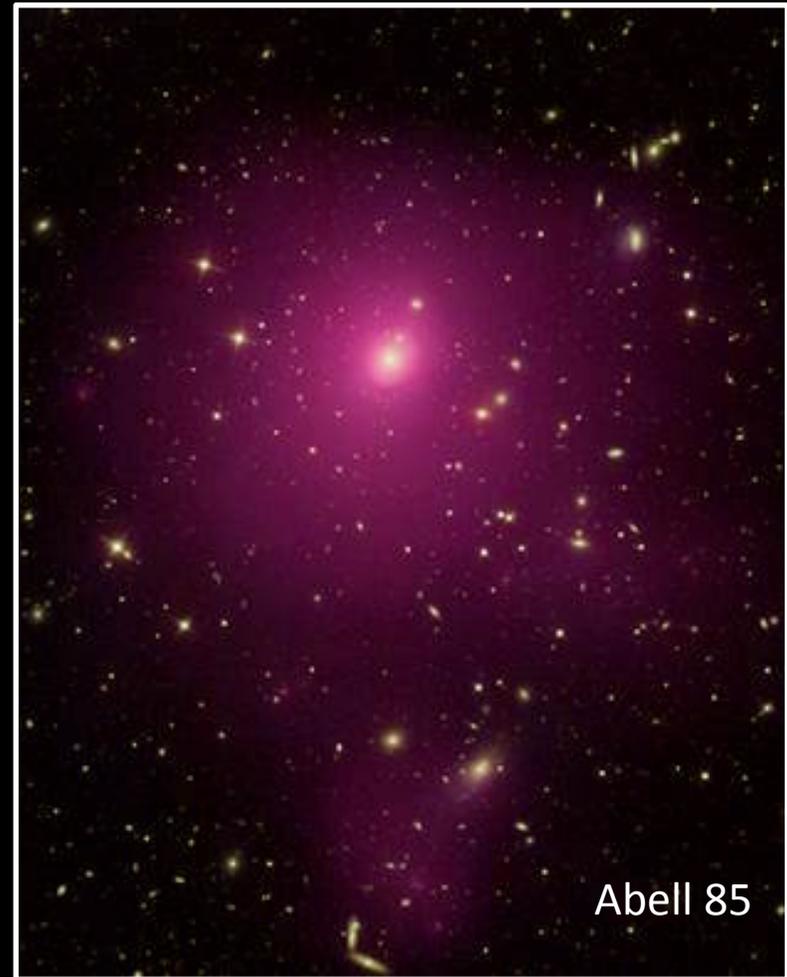


Uno schema per capire com'è fatta la nostra Galassia (Via Lattea)

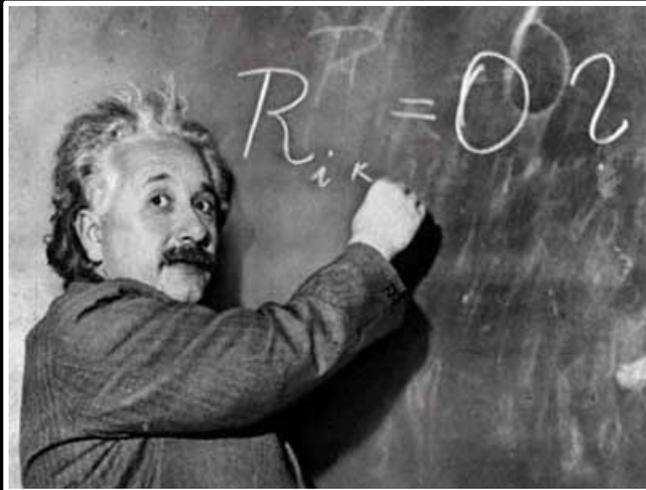
# La materia oscura negli ammassi di galassie



Materia oscura 90%  
Gas caldo (visibile) 9%  
Galassie 1%

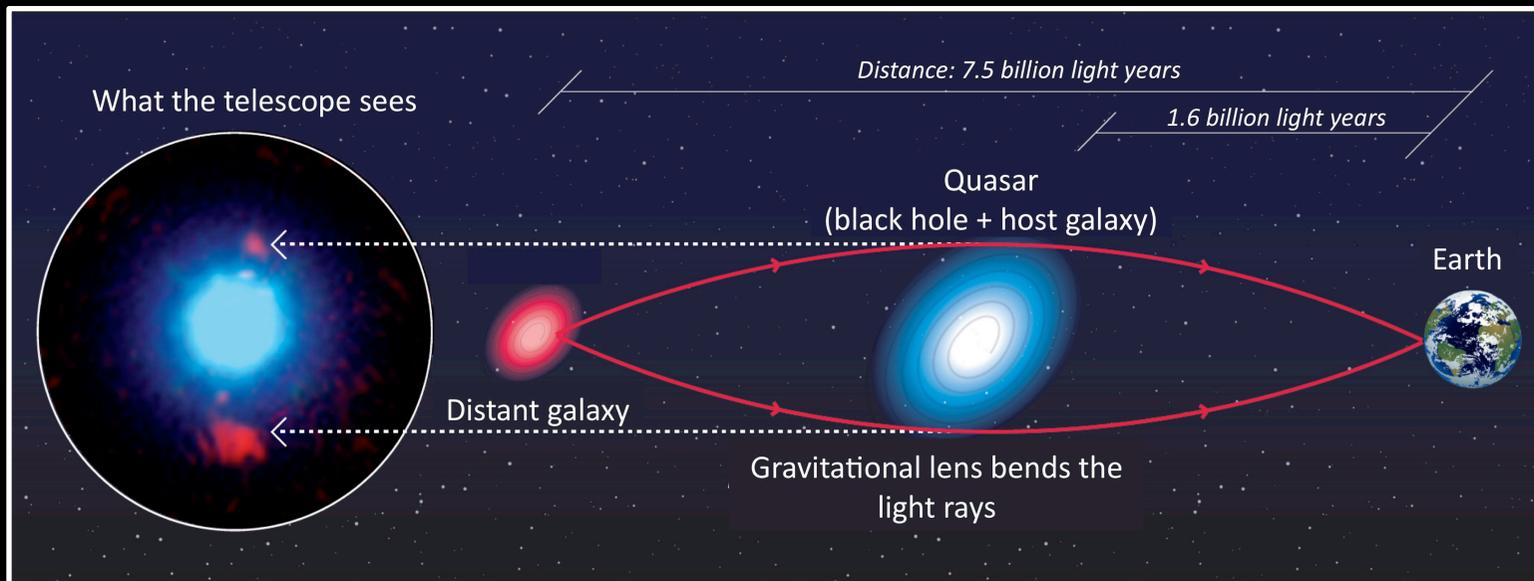


# Le lenti gravitazionali



*“La gravità deforma lo spazitempo. Quindi deflette la luce e può creare delle lenti gravitazionali”*

**Albert Einstein (1879-1955)**



# Il lensing gravitazionale forte



# Il lensing gravitazionale forte

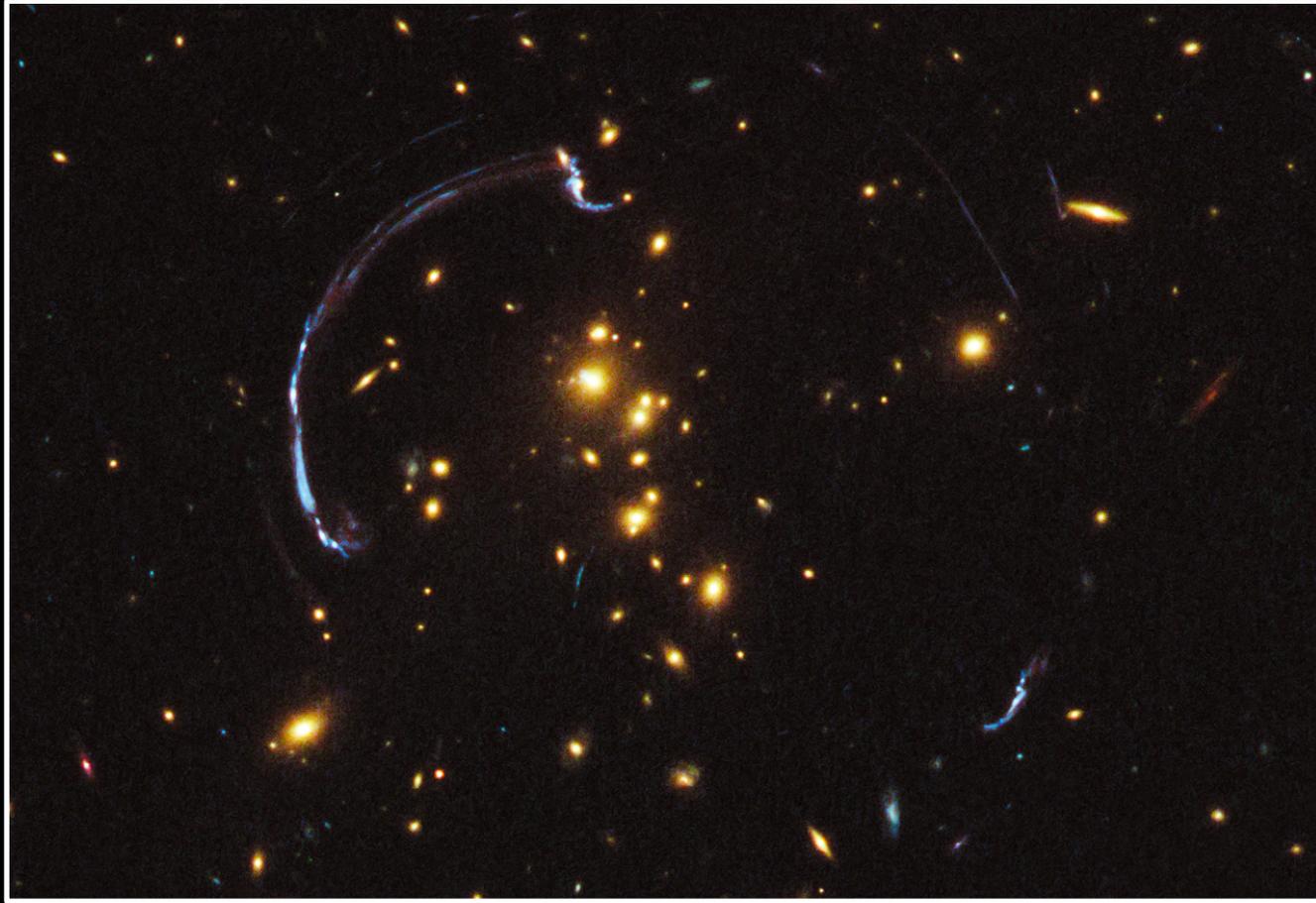


## Il lensing gravitazionale forte



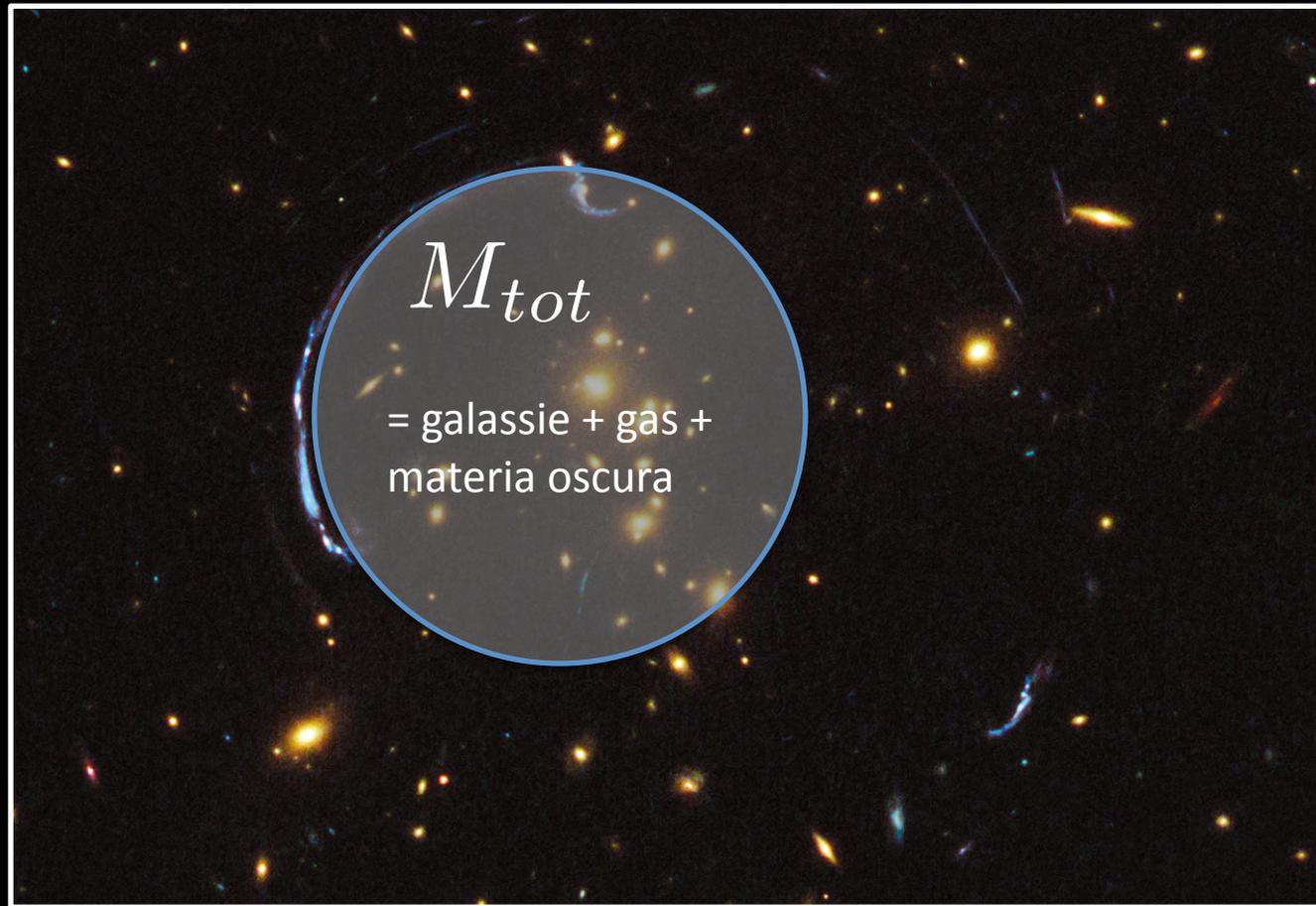
*L'immagine della galassia posta dietro l'ammasso viene deformata creando un arco*

## Il lensing gravitazionale forte



*L'immagine della galassia posta dietro l'ammasso viene deformata creando un arco*

# Il lensing gravitazionale forte



*Lo studio di questi archi consente di misurare la massa racchiusa nel cerchio. Essendo un effetto della gravità, vale anche per la massa della materia oscura*

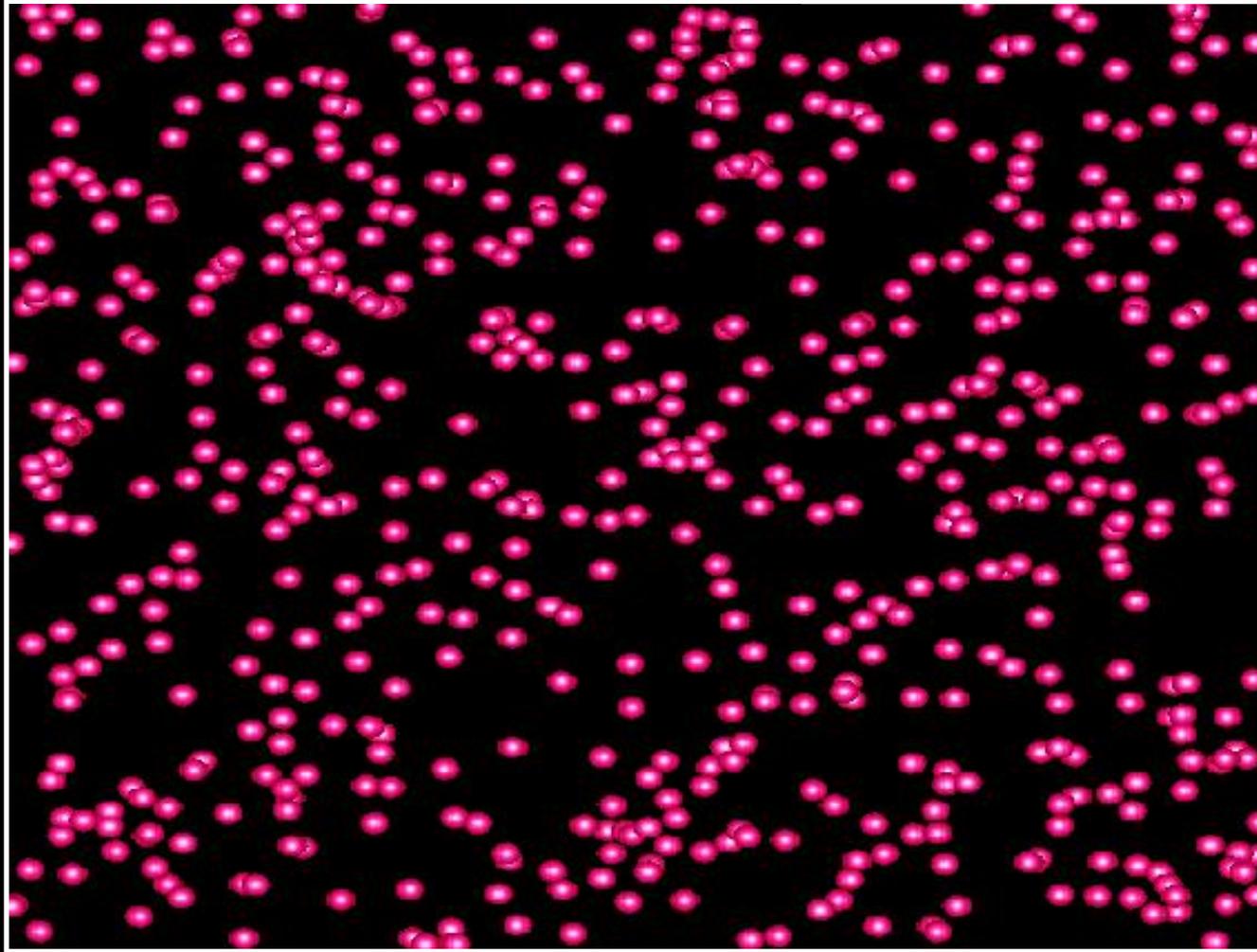
# Il lensing gravitazionale debole



*L'acqua deflette la luce e l'immagine dei sassi ci arriva deformata*

# Il lensing gravitazionale debole

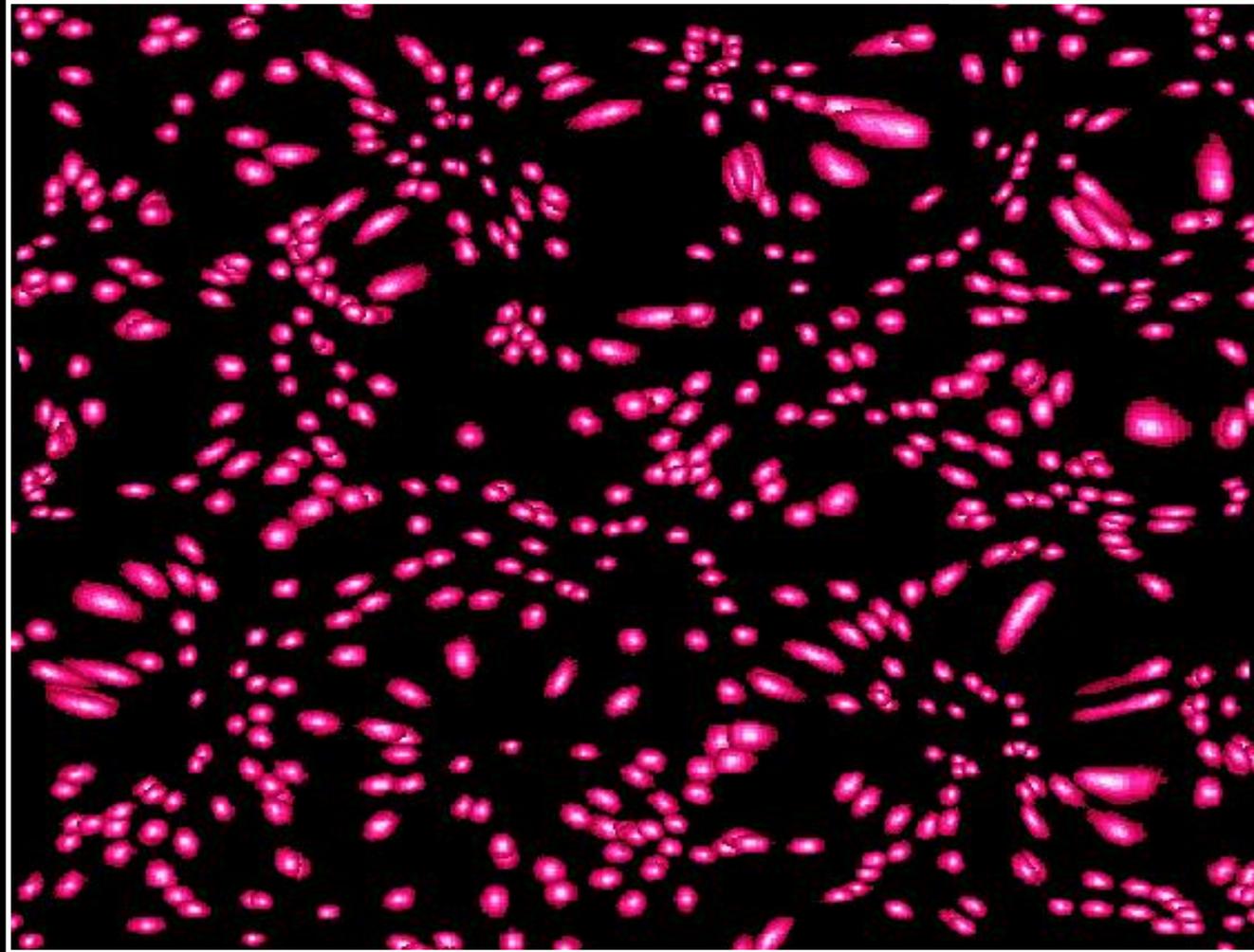
Come dovrebbe essere



*Allo stesso modo la massa deforma l'immagine delle galassie dietro l'ammasso.  
Calcolare quanto l'immagine è deformata ci consente di misurare la massa.*

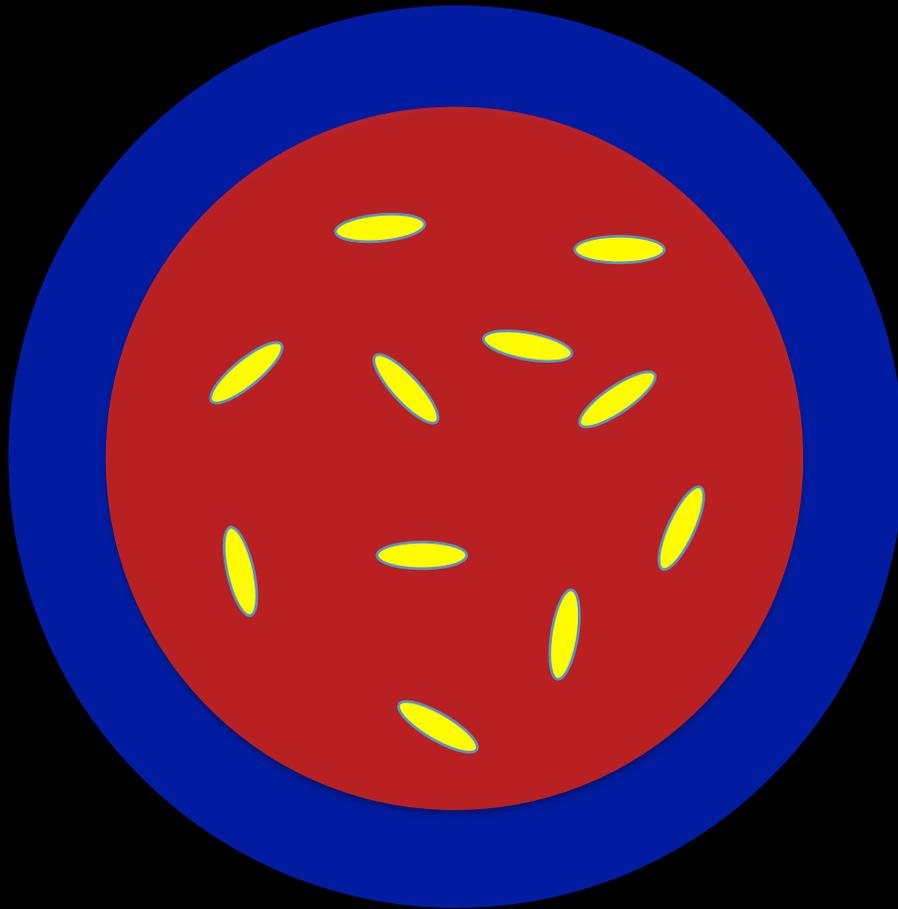
# Il lensing gravitazionale debole

Com'è davvero



*Allo stesso modo la massa deforma l'immagine delle galassie dietro l'ammasso.  
Calcolare quanto l'immagine è deformata ci consente di misurare la massa.*

# È possibile vedere la materia oscura da sola? La possiamo trovare “isolata”?

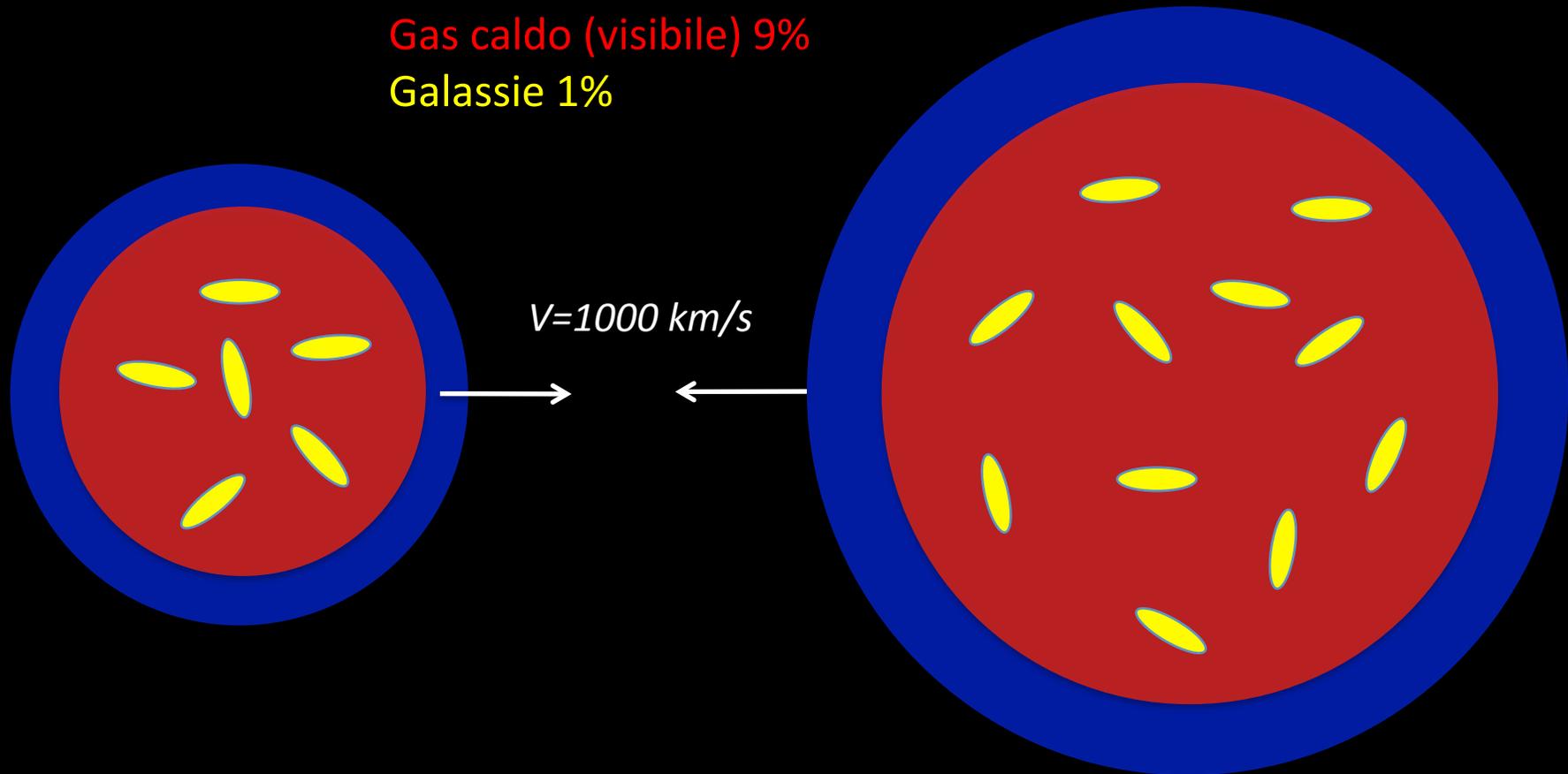


Materia oscura 90%  
Gas caldo (visibile) 9%  
Galassie 1%

*Negli ammassi di galassie la  
materia oscura è sempre  
“mescolata” al gas, che è  
composto di materia  
“normale” (idrogeno ed elio)*

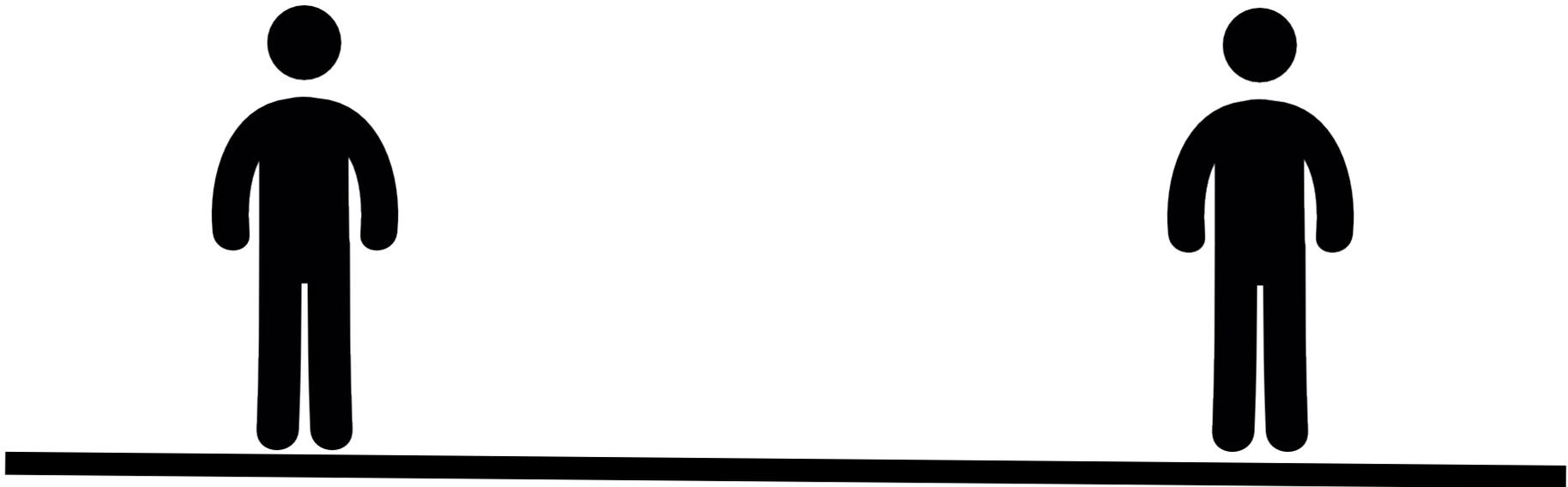
# In un caso fisico molto particolare sì!!!

Materia oscura 90%  
Gas caldo (visibile) 9%  
Galassie 1%



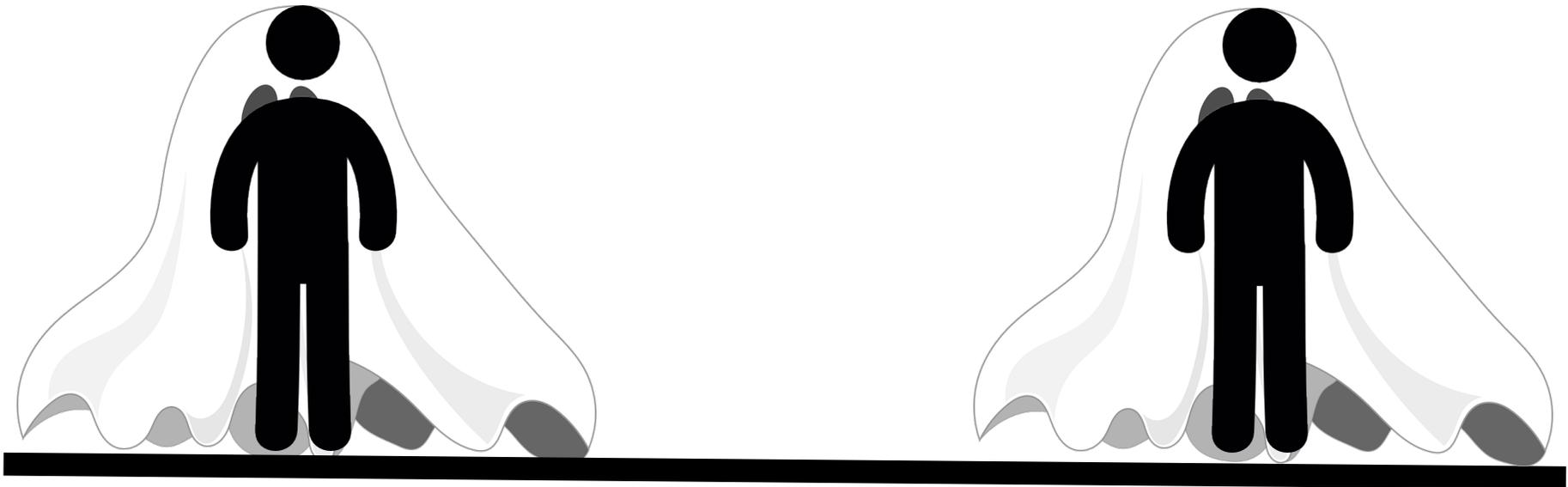
*A volte gli ammassi di galassie si scontrano e finiscono per fondersi (merging)*

Usiamo un po' di immaginazione...



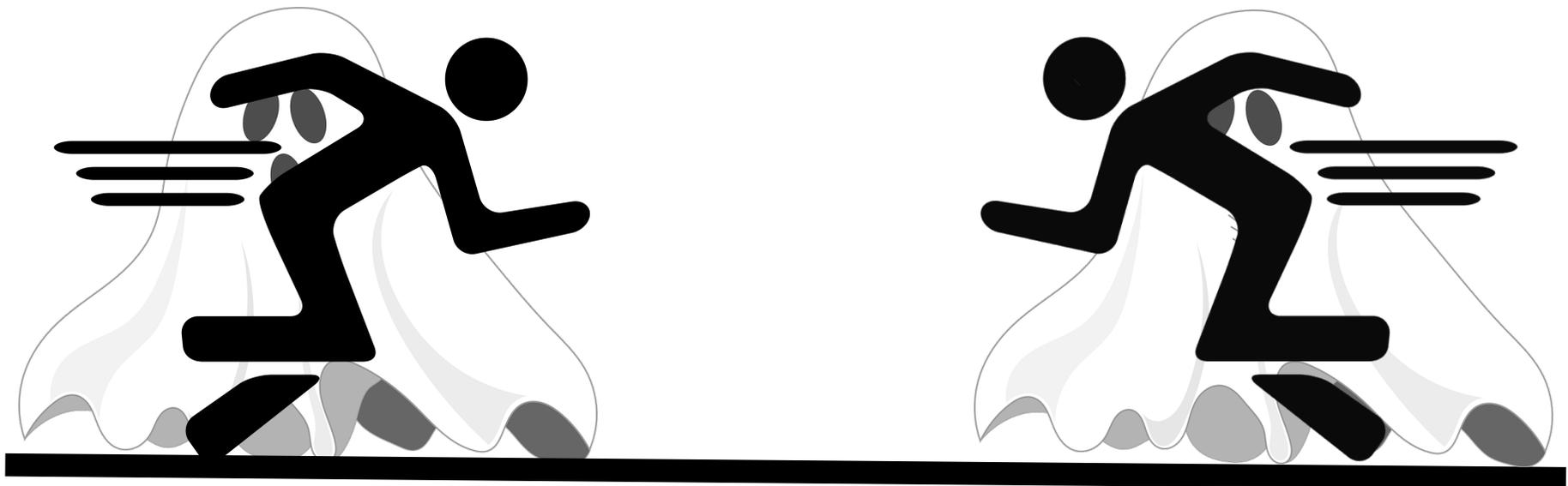
C'erano una volta due uomini...

Usiamo un po' di immaginazione...



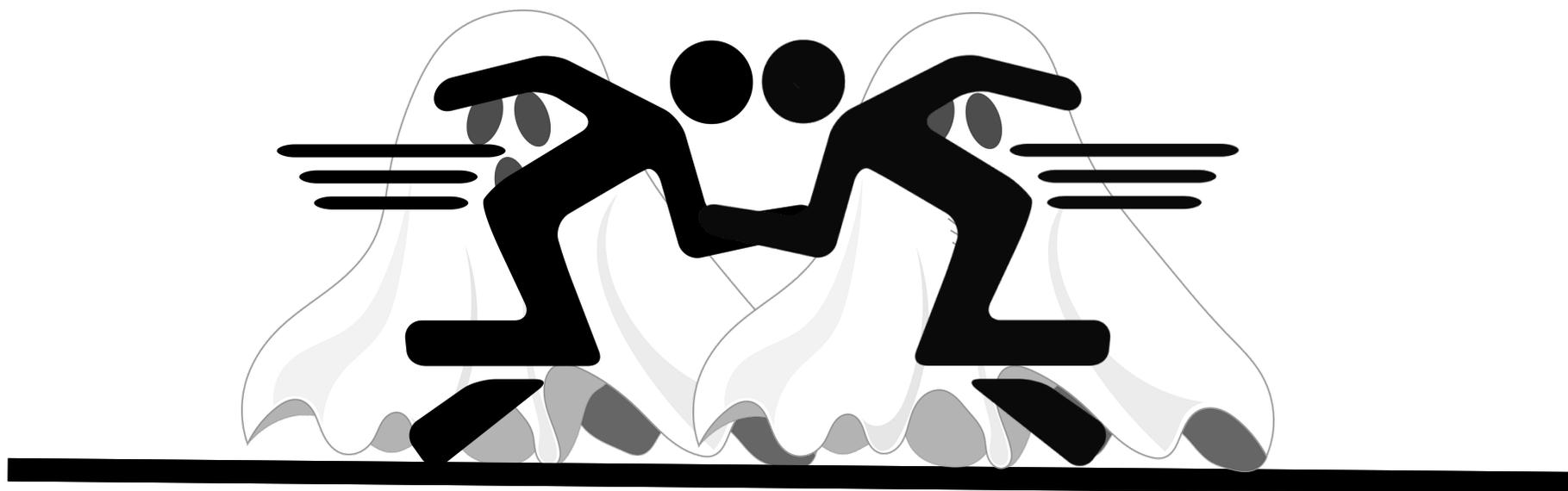
C'erano una volta due uomini... posseduti da due fantasmi!!

Usiamo un po' di immaginazione...



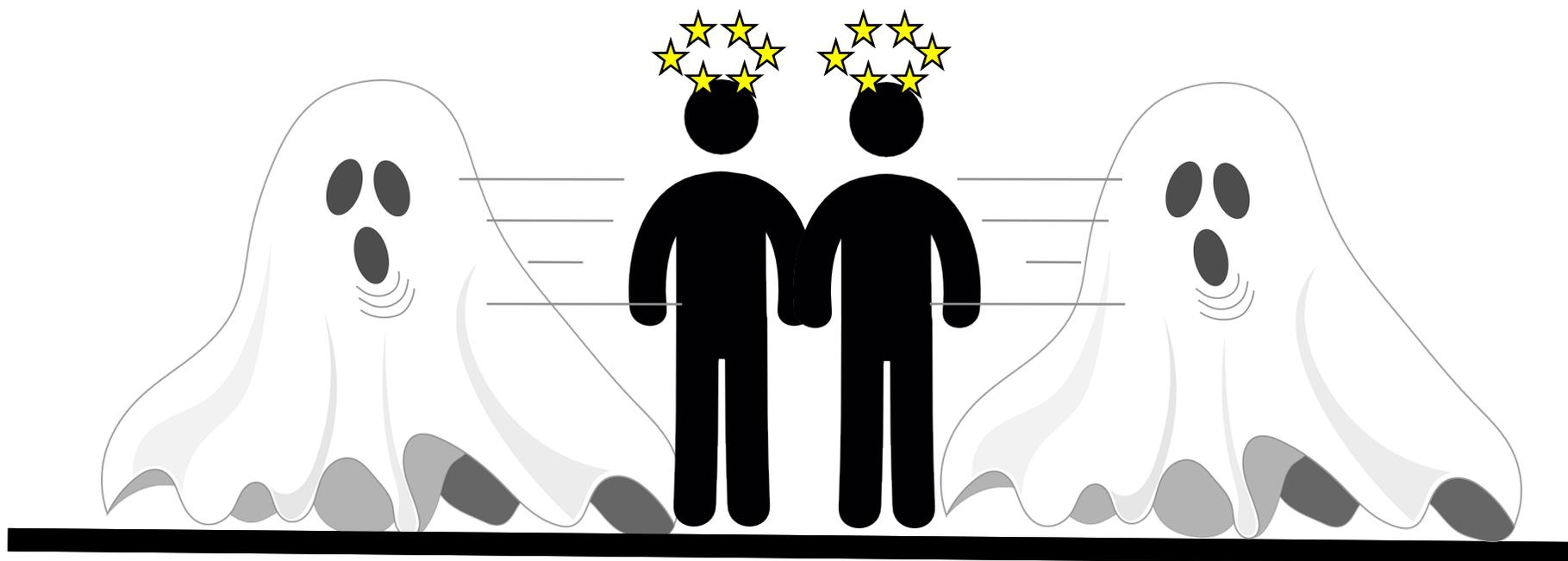
Per liberarsi decisero di correre l'uno contro l'altro a tutta velocità!

Usiamo un po' di immaginazione...



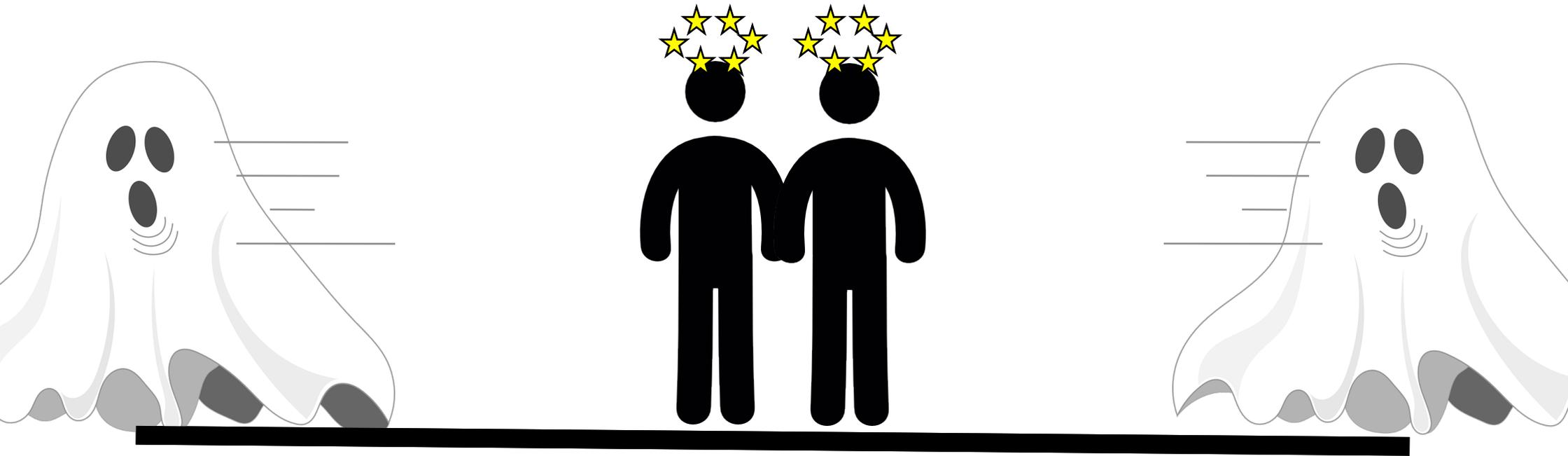
Per liberarsi decisero di correre l'uno contro l'altro a tutta velocità!

Usiamo un po' di immaginazione...



Lo schianto fu terribile ma i due fantasmi passarono attraverso i corpi e si separarono da loro

Usiamo un po' di immaginazione...

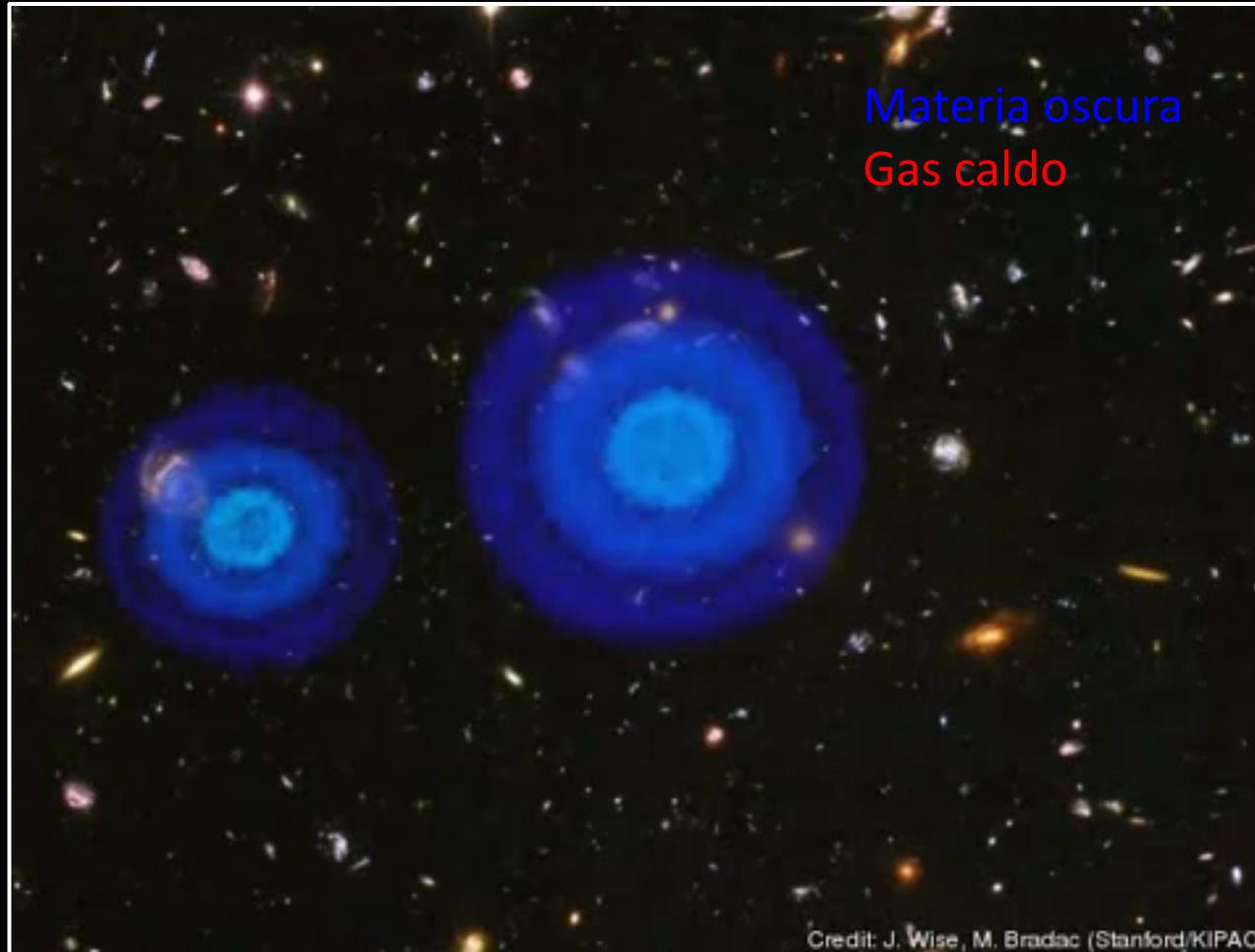


Lo schianto fu terribile ma i due fantasmi passarono attraverso i corpi e si separarono da loro

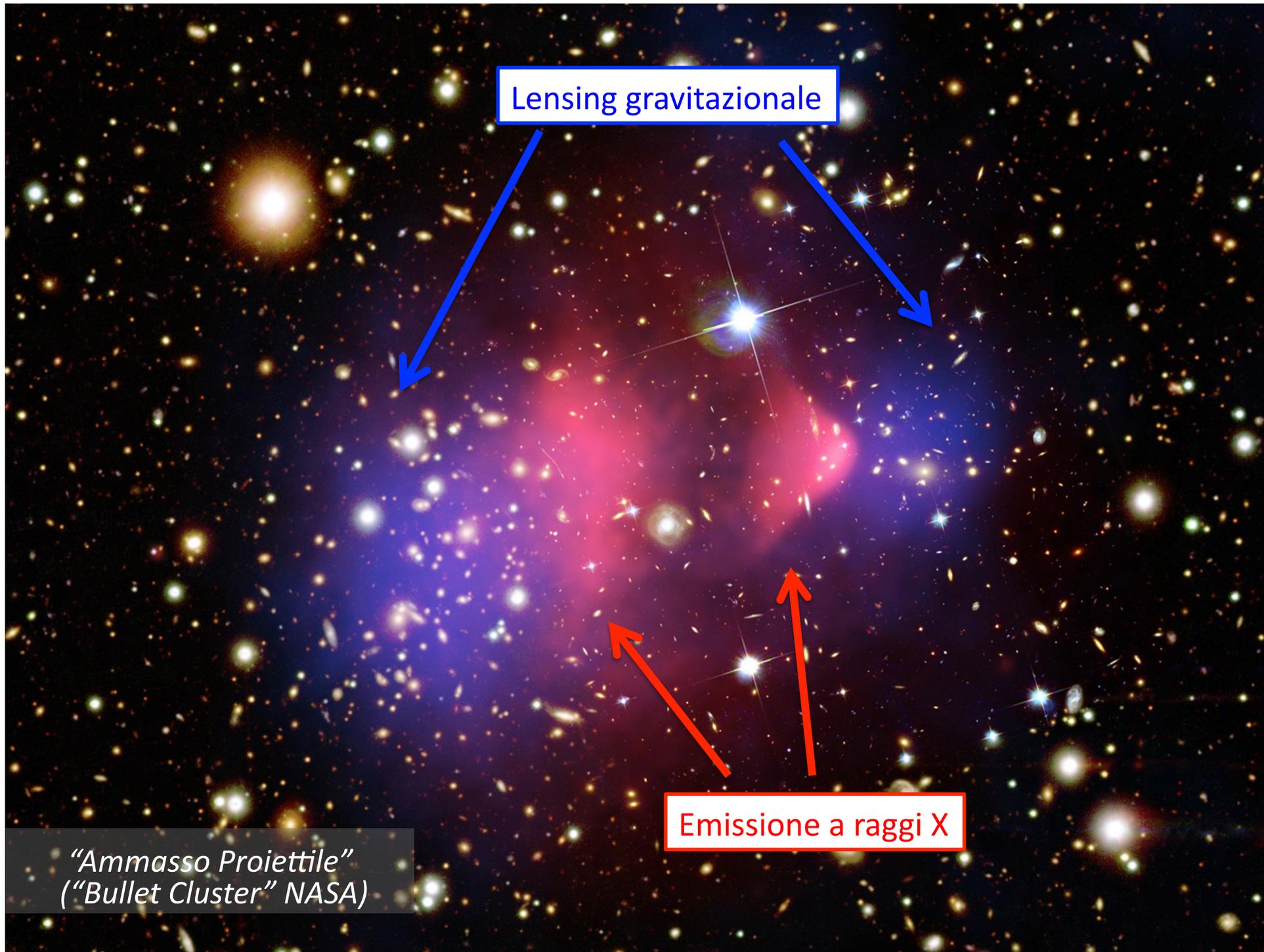


*"Ammasso Proiettile"  
("Bullet Cluster" NASA)*

# La materia oscura negli ammassi di galassie



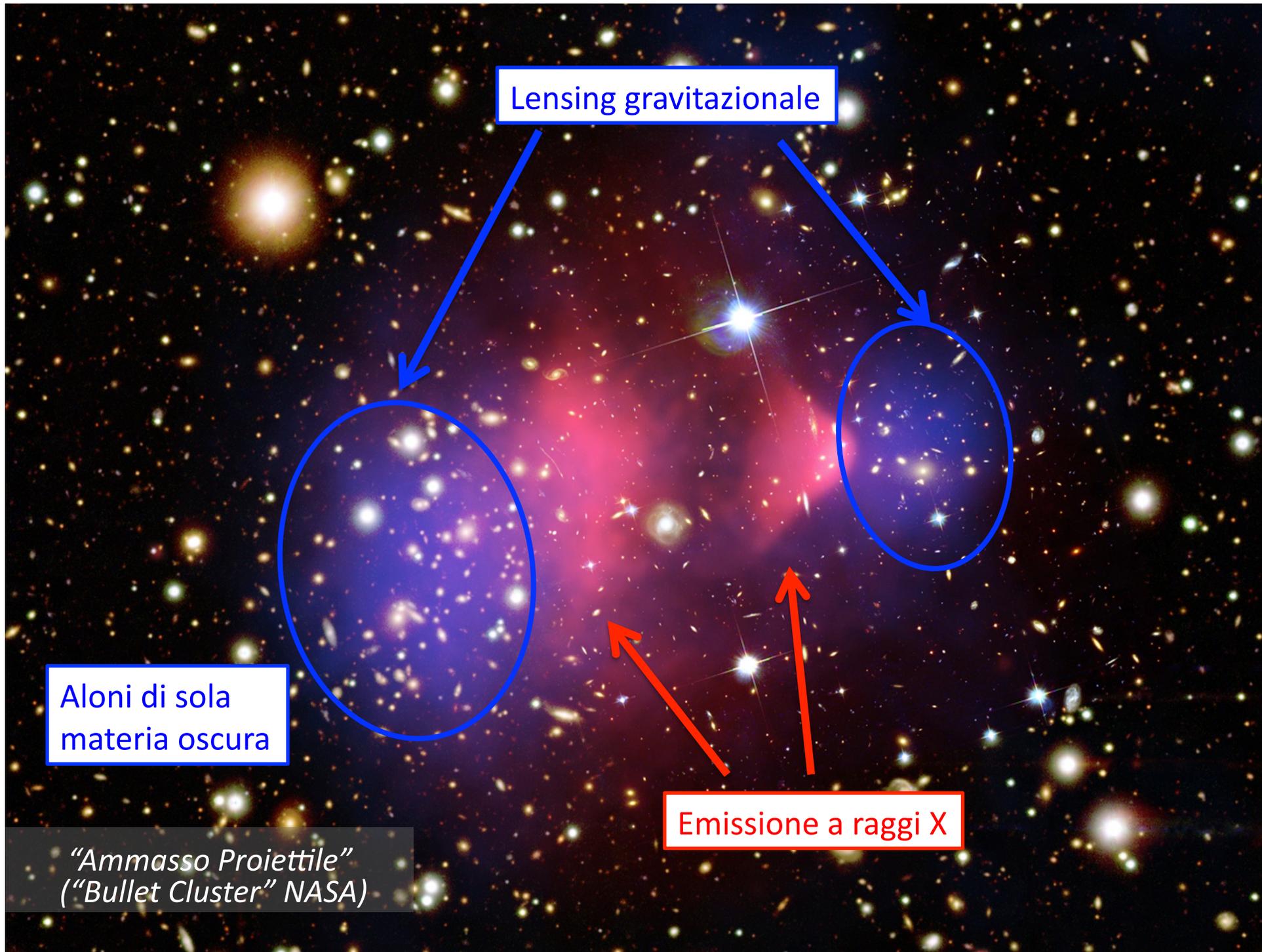
*Simulazione dello "scontro" (merging) tra i due ammassi del Bullet Cluster*



Lensing gravitazionale

Emissione a raggi X

*"Ammasso Proiettile"*  
*("Bullet Cluster" NASA)*



Lensing gravitazionale

Aloni di sola  
materia oscura

Emissione a raggi X

*"Ammasso Proiettile"*  
*("Bullet Cluster" NASA)*

*GRAZIE!*