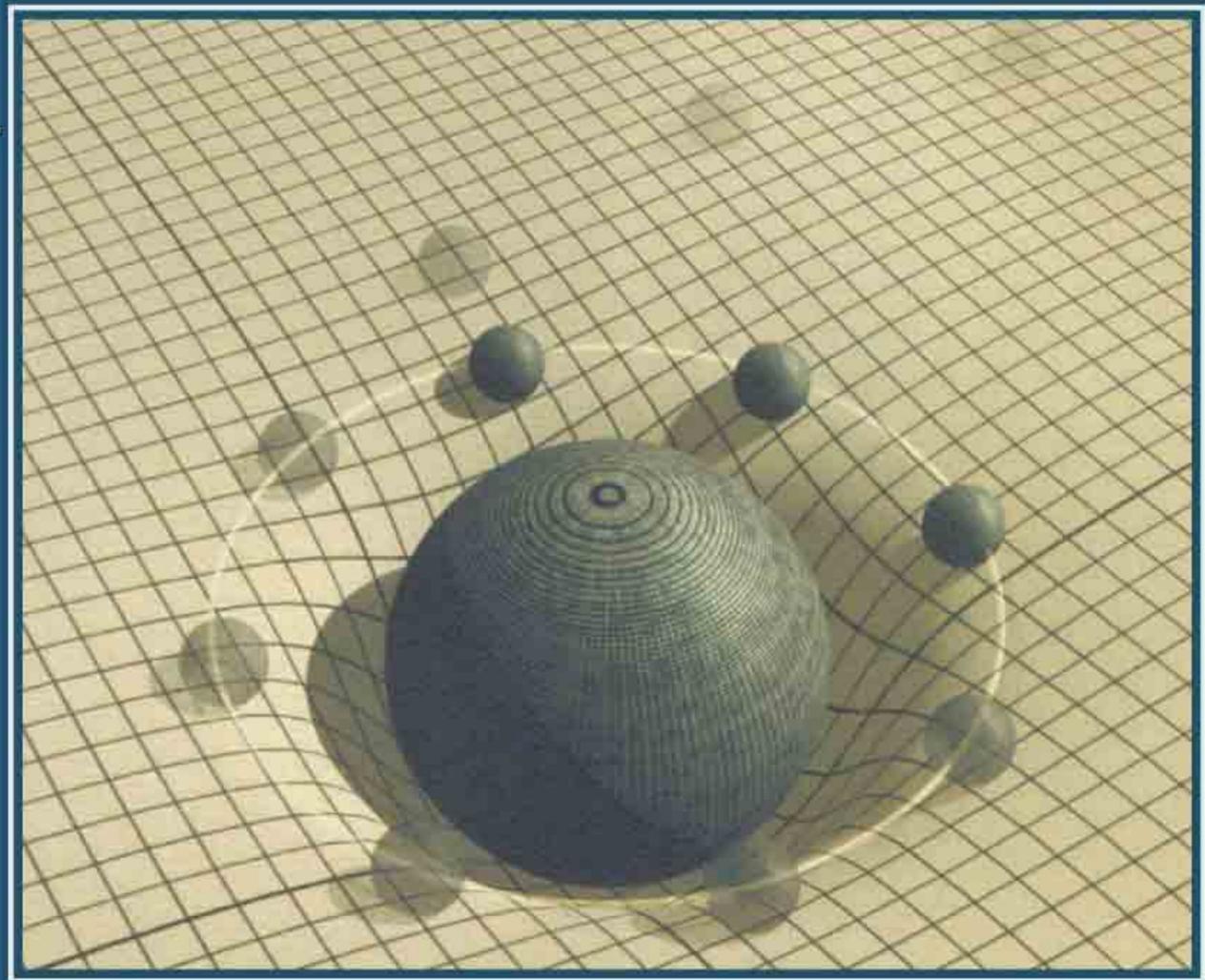


GRAVITÀ E GEOMETRIA

Stella che deforma lo spazio:
il corpo orbita intorno
alla stella a causa della
curvatura dello spazio.

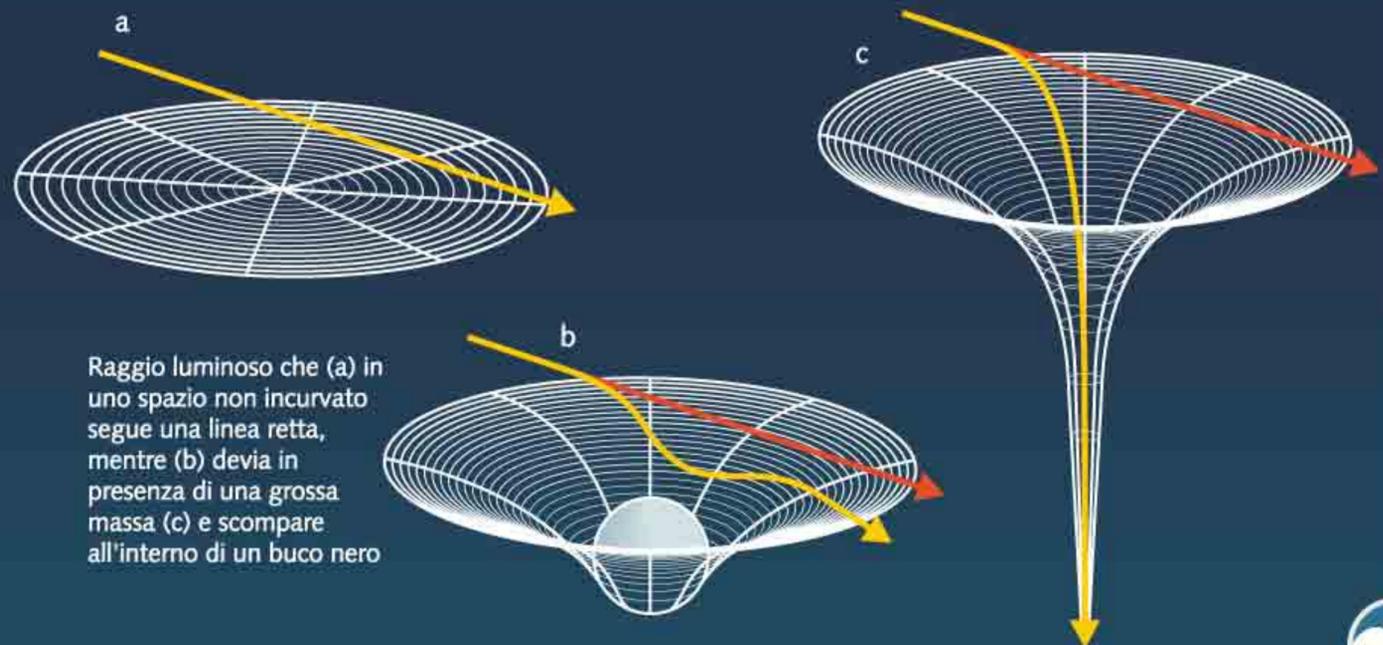


Il moto dei corpi nelle vicinanze di una massa si adatta alla curvatura dello spazio tempo, come accade a una biglia in moto su un tappeto elastico, sul quale sia stato posto un corpo pesante. Se il peso è eccessivo e concentrato, il tappeto si deforma irrimediabilmente come un pozzo senza fondo.

Un buco nero è ciò che resta di una stella con massa maggiore di 10 masse solari, dopo certe esplosioni di supernovae. Nessuna forza è in grado di contrastare il collasso di una tale massa e la gravità trionfa.

Newton giudicava incomprensibile che la gravità agisse attraverso lo spazio vuoto senza la presenza di mediatori. La relatività generale risolve il problema dell'azione a distanza: la presenza di una massa deforma lo spazio tempo "suggerendo" a un'altra massa su quali traiettorie muoversi. Anche la luce, onda elettromagnetica che trasporta energia, quando si propaga segue la struttura dello spazio-tempo in cui si trova.

Una massa gigantesca che collassa in un corpo a densità elevatissima può deformare lo spazio-tempo al punto che neppure la luce riesca ad allontanarsi da essa. Nel collasso gravitazionale la materia perde ogni peculiarità e ogni tipo di struttura, dando origine a una *singolarità*. Il punto di non ritorno della luce definisce il confine del buco nero, l'*orizzonte degli eventi*, dal quale nessuna informazione può emergere. L'esistenza dei buchi neri, per molto tempo solo ipotizzata, ha oggi molte conferme osservative. Buchi neri sono presenti anche nella nostra galassia.



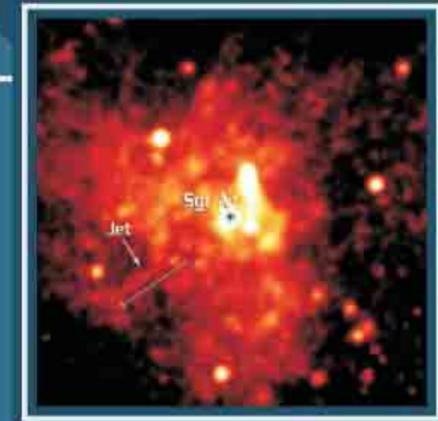
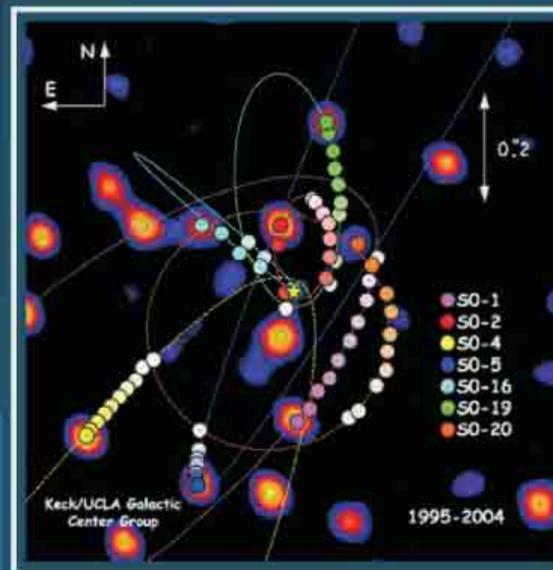
Raggio luminoso che (a) in uno spazio non incurvato segue una linea retta, mentre (b) devia in presenza di una grossa massa (c) e scompare all'interno di un buco nero



IL PERNO DELLA VIA LATTEA

UN GIGANTESCO BUCO NERO

Questa immagine mostra le orbite di sette stelle attorno a Sagittarius A* stimate in base alle loro posizioni, misurate in diversi anni di osservazioni. Ad ogni stella corrisponde un colore, mentre le diverse sfumature, dalla più chiara alla più scura, si riferiscono a osservazioni effettuate dal 1995 al 2004. Al centro dell'immagine è indicata, con una stellina gialla, la posizione dell'oggetto supermassivo, che determina le traiettorie.



Ingrandimento della zona circostante il buco nero Sagittarius A*.

Esistono oggi evidenze osservative molto chiare della presenza di un buco nero di dimensioni enormi al centro della Via Lattea (*Buco Nero Supermassivo*).

- 1) Le traiettorie di alcune stelle in prossimità del centro della Via Lattea sono fortemente deviate. Dallo studio delle orbite si è stimato che esse sono influenzate da una massa circa 2,6 milioni di volte maggiore della massa del Sole localizzata in una regione molto piccola.
- 2) Dalla zona del centro galattico (Sagittarius A*) proviene una forte emissione nella banda dei raggi X. Polveri e gas attirati dal buco nero, prima di esserne inghiottiti e accrescerne la massa, vorticano attorno ad esso formando un *disco di accrescimento*. Per la forte viscosità interna, il gas si scalda per attrito fino a emettere raggi X. Inoltre, a causa dell'elevata pressione presente nelle vicinanze del buco nero, vengono emessi getti di particelle ad alta energia accompagnati dall'emissione di onde radio.

Oggi sappiamo che buchi neri giganteschi esistono anche al centro delle galassie esterne. La scoperta di correlazioni tra la massa del buco nero centrale e le proprietà delle galassie ospiti indica che questi oggetti hanno giocato un ruolo fondamentale nella formazione ed evoluzione delle galassie. Compreso la nostra.

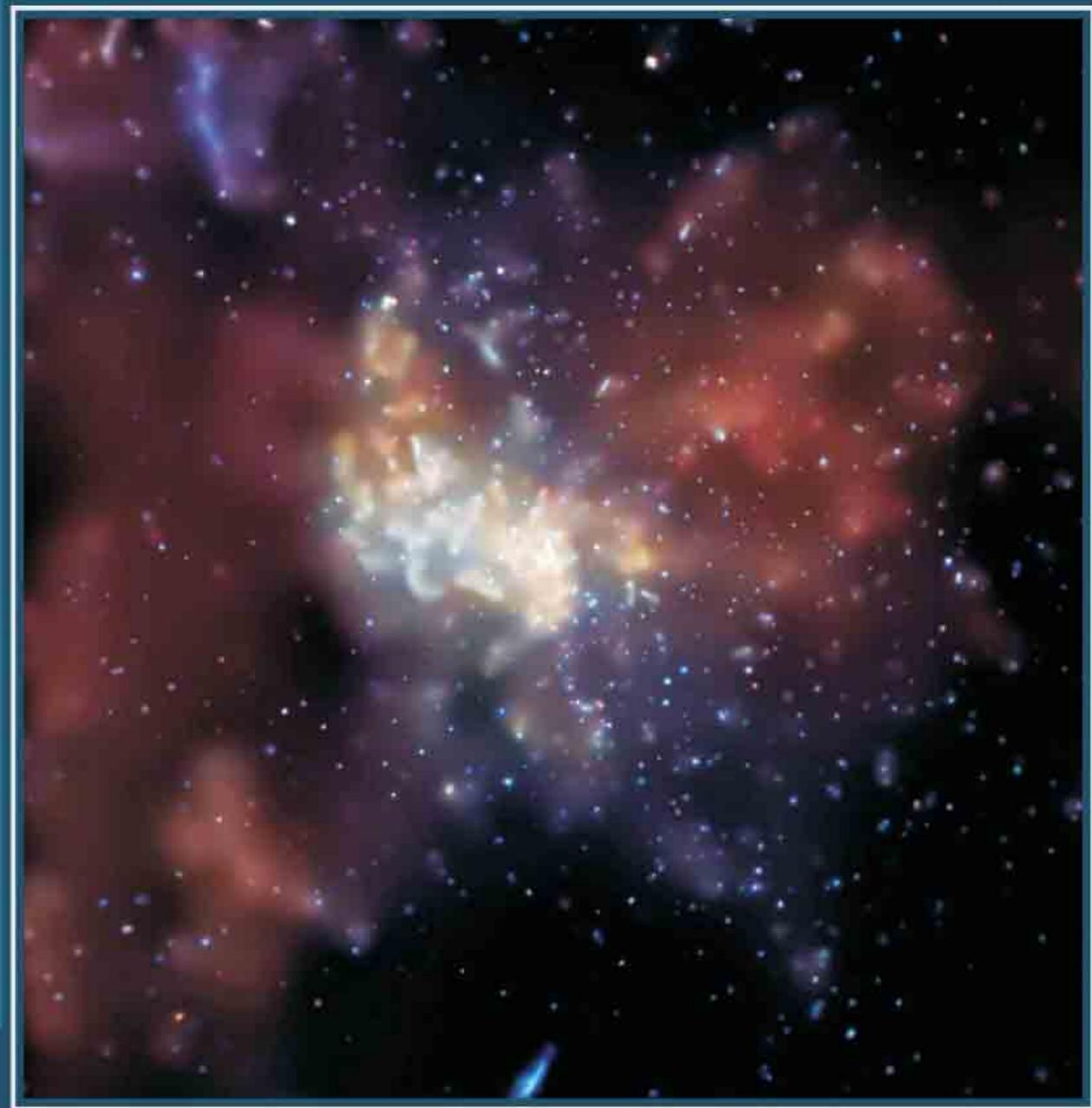


Immagine ai raggi X del centro della nostra galassia. Nelle zone più esterne è visibile un gas estremamente caldo (decine di milioni di gradi centigradi), qui colorato in rosso.



I LUOGHI PIÙ INOSPITALI DELL'UNIVERSO



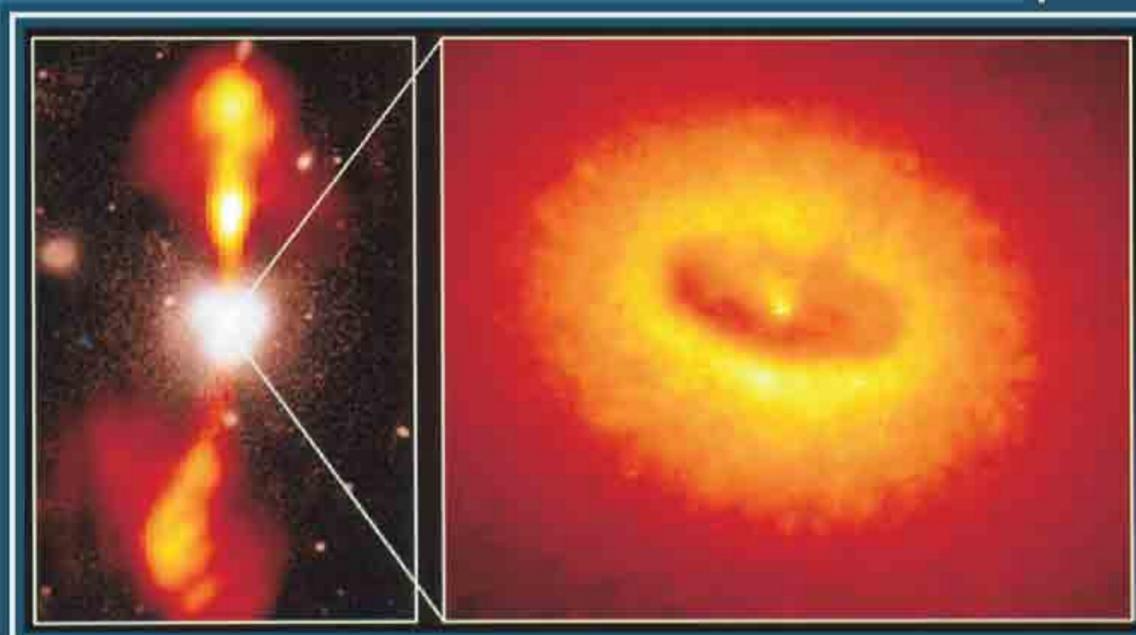
Rappresentazione grafica di un disco di accrescimento di un buco nero

La galassia attiva Centaurus A, visibile nell'emisfero Australe, in una sovrapposizione di immagini in ottico e radio. Nell'immagine in radio si osserva la presenza di getti di materia provenienti dal nucleo centrale della galassia.



Circa il 10% delle galassie (specialmente quelle più distanti, quindi più giovani) ospita al suo interno un **nucleo galattico attivo** caratterizzato da emissioni di radiazioni di grande potenza, in alcuni casi 100 mila miliardi di volte superiore a quella del Sole. Queste galassie vengono chiamate "Galassie Attive".

Il nucleo della nostra galassia, a differenza di quelli presenti in altri sistemi galattici, è "quiescente", ossia la radiazione, che da esso proviene, è estremamente debole, tanto da non aver ostacolato lo sviluppo della vita sul nostro pianeta.



Nella figura di sinistra si osserva la galassia attiva NGC 4261 in ottico e radio. A destra è visibile, grazie a un ingrandimento della regione centrale della galassia, un disco di gas caldo rotante attorno a un buco nero supermassivo.



VEDERE L'INVISIBILE



Il disco della Galassia ESO 510-G13 presenta un'ondulazione ai bordi che prende il nome di "WARP". La teoria più accreditata per spiegare questo fenomeno prevede la presenza di un alone di materia oscura in cui essa è immersa e ruota. L'effetto risultante è simile allo sventolio di una bandiera (disco) che si muove nell'aria (alone di materia oscura).

La materia presente nell'Universo è solo quella che emette luce o altre radiazioni elettromagnetiche? Si è scoperto che tale materia (quella "ordinaria", formata principalmente da protoni e neutroni) non è che una piccola parte di tutta quella esistente. Circa l'80% della materia infatti è costituito da particelle che risultano invisibili a qualsiasi strumento a nostra disposizione. Per tale motivo questa forma di materia prende il nome di Materia Oscura. Riusciamo però a rilevarne l'esistenza in base agli effetti gravitazionali che produce sulla materia visibile.

La velocità di rotazione della galassia dipende dalla quantità di materia: se la materia fosse solo quella che vediamo, la velocità decrescerebbe con la distanza dal centro. Ma le misure svelano altro....

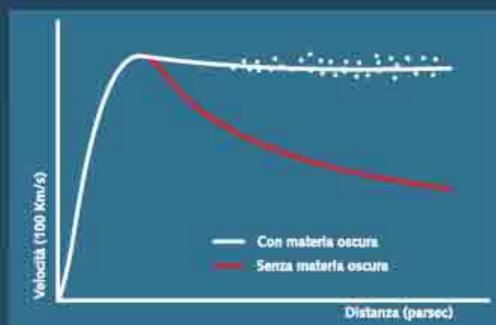
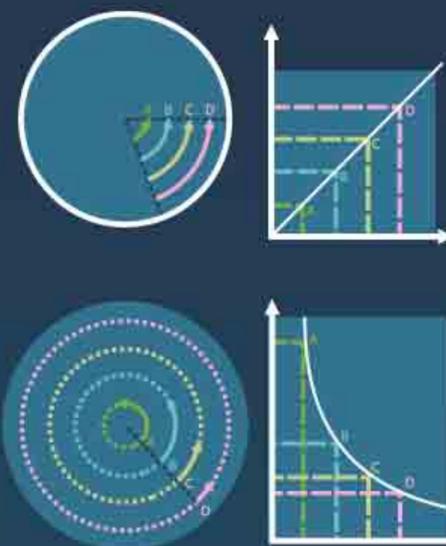
COSA CI ASPETTIAMO IN BASE ALLA TEORIA....

1. Moto di rotazione di un corpo rigido

La velocità di rotazione è direttamente proporzionale alla distanza dal centro; se la distanza raddoppia anche la velocità raddoppia.

2. Moto Kepleriano dei pianeti

La velocità di rotazione diminuisce all'aumentare della distanza dal centro; se la distanza aumenta di un fattore 4 allora la velocità diventa 1/2.



Curva di rotazione di una galassia a spirale

... E COSA VEDIAMO

3. Osservazioni astronomiche

I dati sulla rotazione delle galassie mostrano che a grandi distanze la velocità non decresce all'aumentare della distanza, come ci si aspetterebbe se la massa fosse concentrata nelle regioni centrali, ma rimane all'incirca costante. Assumendo invece l'esistenza di un alone sferico di materia oscura che circonda la galassia, riusciamo a giustificare questo andamento.



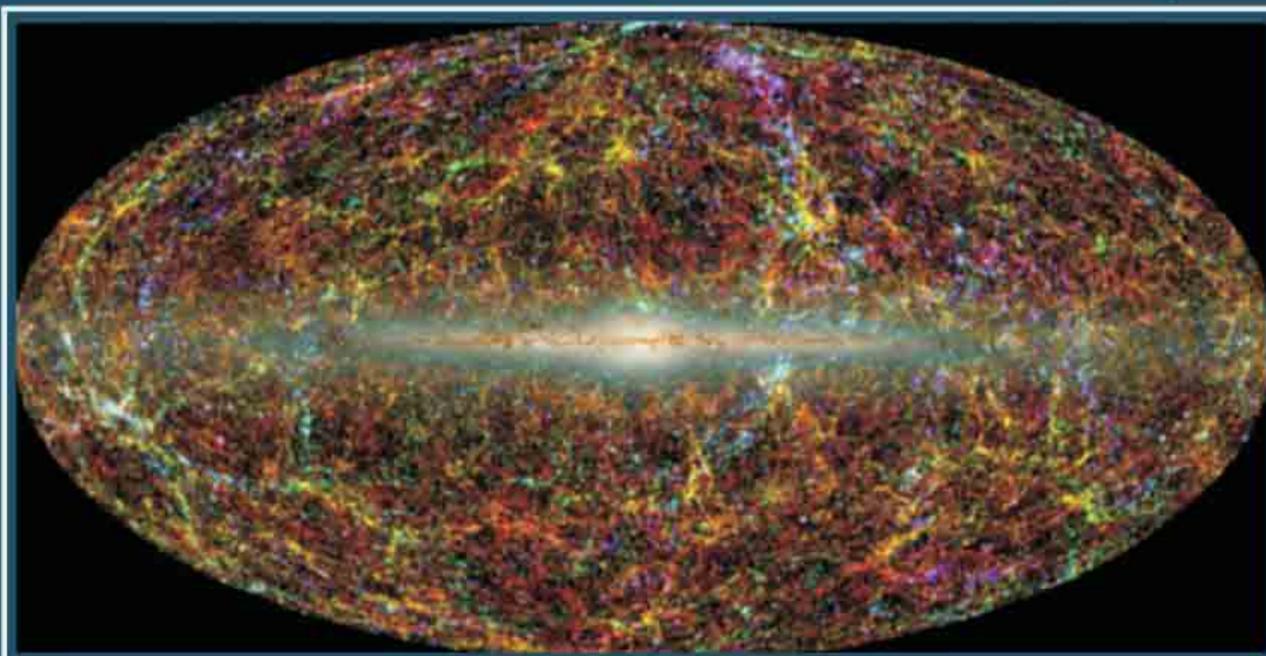
ALL'INIZIO... UN GIOCO "OSCURO"

La materia oscura gioca un ruolo da protagonista non solo per quanto riguarda la struttura delle galassie ma anche per l'evoluzione dell'Universo nel suo insieme. La natura della materia oscura è tale che essa risente solo dell'interazione gravitazionale, al contrario della materia visibile, sensibile anche all'interazione elettromagnetica. Nell'Universo primordiale la materia ordinaria era ionizzata, e risentiva fortemente dell'interazione elettromagnetica, mentre la materia oscura era dominata dagli effetti gravitazionali.

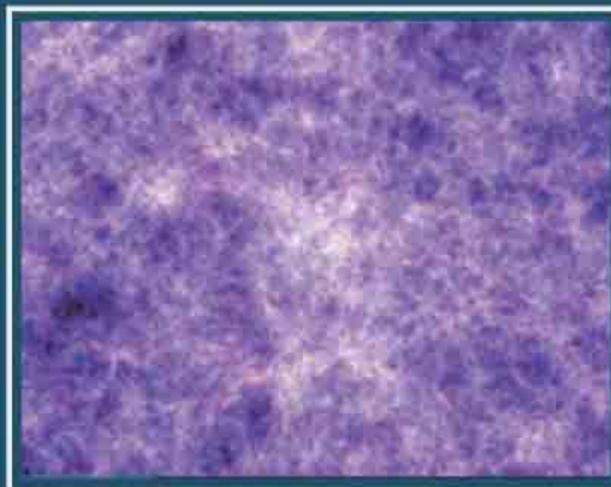
L'Universo era sostanzialmente omogeneo, ma presentava regioni con piccole fluttuazioni di densità (1 parte su 100.000). In prossimità di queste regioni, si è inizialmente concentrata la materia oscura, con conseguente aumento progressivo della densità: questi sono i "semi" da cui si sono poi formate le strutture che oggi osserviamo (galassie, ammassi di galassie). Con l'espansione dell'Universo la temperatura diminuisce. L'interazione gravitazionale ha preso il sopravvento su quella elettromagnetica, e la materia ordinaria si addensa sempre più attorno ai centri di gravità forniti dalla materia oscura.

Senza l'azione della materia oscura la formazione delle strutture galattiche sarebbe stata fortemente inibita e l'Universo (forse anche la vita) avrebbe avuto un'altra storia: abbiamo quindi un valido motivo per essere grati alla materia oscura.

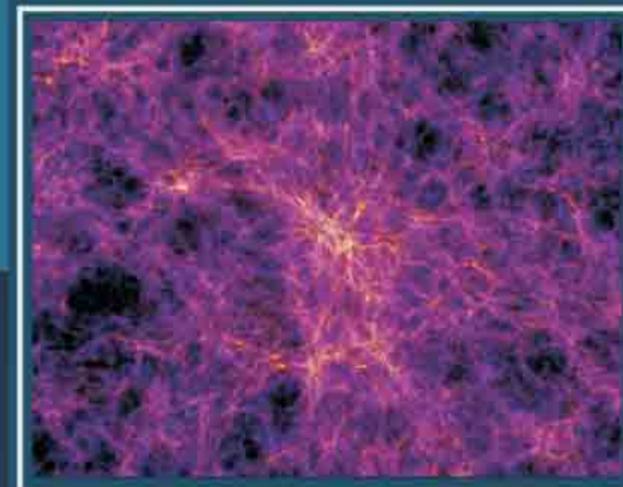
Grazie allo sviluppo vertiginoso delle capacità di calcolo dei moderni computer, è oggi possibile ricostruire passo passo questa storia.



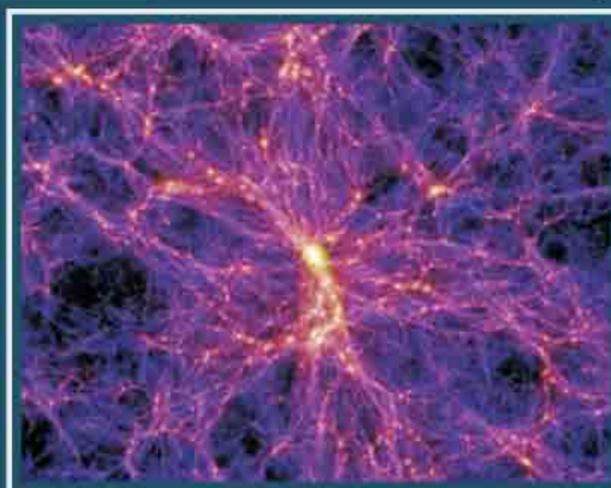
Ricostruzione della struttura su larga scala dell'Universo secondo la Survey 2MASS (2 Micron All Sky Survey)



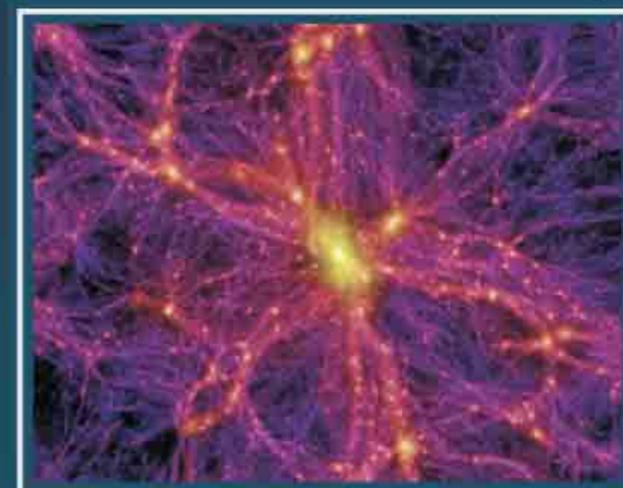
T = 0.21 Gyr



T = 1.0 Gyr



T = 4.7 Gyr



T = 13.6 Gyr

Millennium simulation - In queste quattro immagini è mostrata l'evoluzione della materia oscura a diverse epoche cosmiche. Con l'andare del tempo, la gravità gioca la sua partita andando ad accrescere le regioni più dense. Queste regioni vedranno il formarsi di ammassi di galassie. Tali simulazioni sono in buon accordo con recenti osservazioni della distribuzione delle galassie nell'Universo.



I corpi celesti emettono energia sotto forma soprattutto di **onde elettromagnetiche** che si propagano nello spazio alla velocità della luce:

$c = 300.000 \text{ km/s}$. Una caratteristica che distingue le onde elettromagnetiche è la lunghezza d'onda che è maggiore nelle radioonde e diminuisce passando ai raggi infrarossi, alla luce visibile, agli ultravioletti, ai raggi X e ai raggi gamma. L'insieme di tutti questi tipi di onde costituisce lo **spettro elettromagnetico**.

La parte visibile dello spettro, quella a cui sono sensibili i nostri occhi, è una piccola parte del totale, con lunghezze d'onda da 0,4 a 0,7 millesimi di millimetro.

Il tipo e la quantità di radiazione emessa da un corpo celeste dipendono soprattutto dalla sua temperatura: per esempio, una stella in cui alcune zone raggiungono una temperatura dell'ordine del milione di gradi, emetterà anche radiazioni gamma, cioè quelle più energetiche; invece una stella in formazione, dove il gas è rarefatto, emetterà soprattutto a bassa energia cioè nelle parti infrarossa dello spettro. La misura di come la radiazione emessa è distribuita nello spettro ci permette di capire come è fatta la stella.

Un limite imposto dal fatto di compiere osservazioni dalla superficie terrestre è che la radiazione dei corpi celesti viene assorbita o distorta dall'atmosfera: esistono solo alcune **"finestre"** dove l'atmosfera è trasparente o quasi trasparente (nella banda visibile, in parte nell'infrarosso e nella banda radio). È come se, per suonare un pianoforte, potessimo utilizzare solo un paio di tasti anziché tutta la tastiera. Quindi i telescopi da terra vengono progettati per osservare in quelle "finestre". Per rilevare le altre lunghezze d'onda bisogna "uscire" dall'atmosfera.

Radiotelescopio Parkes

Realizzazione e gestione: Australia Telescope National Facility, ANTF
Lungo di installazione: Parkes, Australia
Caratteristiche: montatura alto-azimutale
 diametro riflettore 64 m
Sensibilità: da 10 megahertz (lunghezza d'onda 30 m) a 1.000 megahertz (lunghezza d'onda 30 cm)



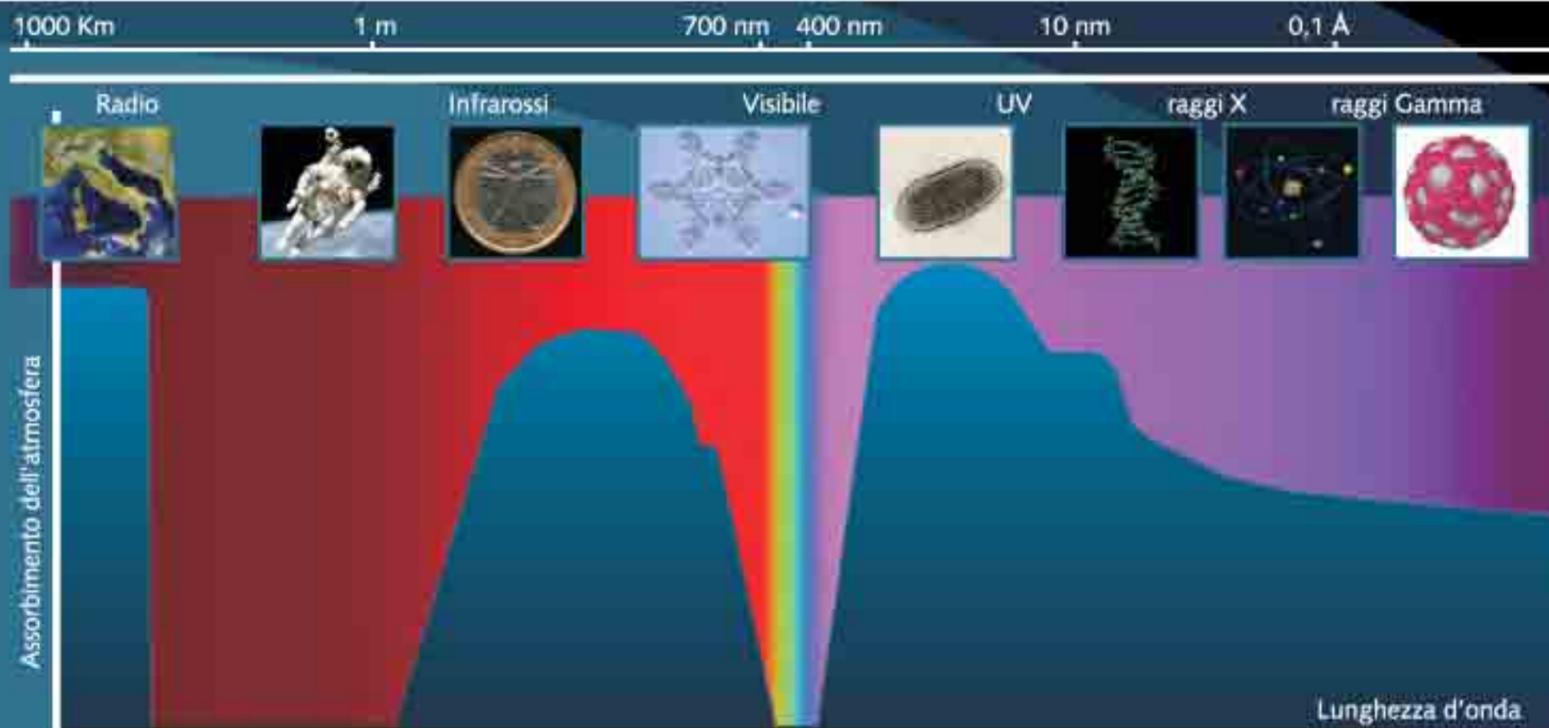
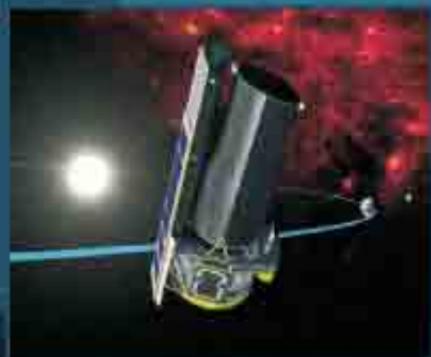
Radiotelescopio di Arecibo

Realizzazione: National Astronomy and Ionosphere Center (NAIC), Cornell University
Installazione: Portorico
Caratteristiche: riflettore fisso diametro 305 m profondità 50 m area 7 km²
 40.000 pannelli di alluminio forato
 ricevitore mobile entro ± 20 gradi
 da 50 MHz (lunghezza d'onda 6 m) a 10000 MHz (lunghezza d'onda 3 cm).
Operatività dal 1963



Space InfraRed Telescope Facility (SIRTF) – Spitzer satellite

Realizzazione e gestione: NASA – Jet Propulsion Laboratory – Pasadena
Caratteristiche: telescopio con diametro di 85 cm
 4 strumenti a bordo per rivelazione e analisi dell'emissione infrarossa con lunghezza d'onda tra 3 e 180 micron raffreddati alla temperatura di 5 gradi Kelvin
Lancio: 25 agosto 2003 con vettore Delta
Operatività: prevista fino al 2006
Peso: 950 kg
Orbita: eliocentrica si allontana dalla terra di 15 milioni di chilometri all'anno



Very Large Telescope (VLT)

Realizzazione: European Southern Observatory (ESO) Monaco di Baviera
Installazione: Cerr o Paranal (2632 m slm) - Deserto di Atacama - Cile
Caratteristiche: 4 telescopi uguali montatura alto-azimutale
 specchio primario diametro 8,2 metri spessore 175 mm con controllo attivo della forma (diametro equivalente dei 4 telescopi=16 m, area=210 m² quadrati)
 a telescopi indipendenti (fino a 12 strumenti utilizzabili) in modo combinato
 in modo interferometrico
Operatività: primo telescopio dal 1998
 4 telescopi dal 2001
Sensibilità: vicino UltraVioletto – Visibile – InfraRosso fino a 25 micron



X-Ray Multi Mirror (XMM) – Newton satellite

Realizzazione: ESA (European Space Agency)
Caratteristiche: 3 strumenti a bordo per rivelazione e analisi dei raggi X tra 0,1 keV e 12 keV
 Focalizzazione dei raggi X con 3 telescopi formati ciascuno da 58 specchi con lunghezza focale di 7,5 m
Lancio: 10 dicembre 1999 con vettore Ariane 5
Operatività: prevista fino al 2010
Peso: 3800 kg
Orbita: ellittica: perigeo 7000 km apogeo 114000 km periodo di rivoluzione 48 ore



Advanced X-ray Astronomical Facility (AXAF) - Chandra satellite

Realizzazione: NASA
Caratteristiche: 4 strumenti a bordo per rivelazione e analisi dei raggi X tra 0,1 keV e 10 keV
 Focalizzazione dei raggi X con un telescopio formato da 4 coppie di specchi con lunghezza focale di 10 m
Lancio: 23 luglio 1999 con Space Shuttle Columbia
Operatività: prevista fino al 2006
Peso: 5800 kg
Orbita: ellittica: perigeo 3700 km apogeo 140000 km periodo di rivoluzione 64 ore

