

Un viaggio nell'universo

*Dalla Via Lattea
alle galassie più lontane*

piccola conferenza con
Francesca Matteucci

Francesca Matteucci



Laureata in Fisica presso l'Università di Roma "La Sapienza" nel 1976 (relatore Prof. F. Pacini), con la tesi Un modello numerico per l'evoluzione di un resto di supernova, ha ottenuto una borsa di studio post-laurea del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) sul tema Evoluzione chimica e dinamica delle galassie presso il Dipartimento di Astronomia dell'Università di Padova (relatore Prof. C. Chiosi).

Assistant Professor nel 1982 presso l'Istituto di Astrofisica Spaziale (CNR) di Frascati, dal 1983 al 1993 ha avuto incarichi di ricerca presso l'ESO (European Southern Observatory - Garching) ed è stata Visiting Astronomer presso il Max-Planck Institut fuer Astrophysik (Garching). Nel 1994 è diventata Professore Associato presso l'Università di Trieste e dal novembre 2000 è Professore Ordinario presso la stessa Università. Dal novembre 2003 è membro dell'Accademia Nazionale Italiana dei Lincei per il settore delle Scienze (Matematiche, Fisiche e Naturali). La sua attività scientifica si è sviluppata principalmente nel campo dell'evoluzione chimica delle galassie e dell'evoluzione stellare.

In particolare ha sviluppato modelli numerici per calcolare in dettaglio l'evoluzione delle abbondanze degli elementi chimici nel gas nelle galassie.

Ha collaborato attivamente con gruppi di ricerca in USA e Giappone. Autrice di numerosi articoli scientifici, è presente nei

maggiori congressi internazionali. Ha pubblicato per l'editore Kluwer Academic una monografia dal titolo L'evoluzione chimica della Galassia.

Dal novembre 2003 all'ottobre 2006 è stata Direttore del Dipartimento di Astronomia dell'Università di Trieste. Attualmente è vice direttore del Dipartimento di Fisica della stessa città.

Avvio

a cura di Daniele Dazzan

La professoressa Francesca Matteucci, astrofisica dell'Università di Trieste, ha accettato il nostro invito a farci da guida, oggi, in un viaggio attraverso l'universo.

Una delle scienze della natura più antiche, l'astronomia ha da sempre intrigato gli uomini e sollecitato la loro intelligenza. Non a caso Eratostene, grazie alle sue osservazioni astronomiche – quasi duemilatrecento anni fa – riuscì a fornire una misura della circonferenza terrestre incredibilmente vicina a quella reale: 40.000 chilometri contro i quarantamilanove effettivi!

Dapprima fonte di divinazioni, quindi di previsioni, l'Astronomia si slega finalmente dall'astrologia e diventa scienza: contribuisce alla formulazione dei calendari, è fondamentale per la conoscenza dei cicli stagionali e per lo sviluppo di un'agricoltura razionale, permette sempre più all'uomo di capire come sia regolato l'Universo, quanto esso sia "*kosmos*", ordine...

Tuttavia, nonostante le grandi conquiste della conoscenza scientifica, permane in tutti noi l'irresistibile tendenza a prefigurarci con l'immaginazione e la fantasia mondi lontani, viaggi interstellari o "ritorni al futuro": questo, del resto, sembrano averci suggerito ultimamente i giornali con la notizia dei neutrini che viaggiano oltre la velocità della

luce (senza parlare dei tunnel di settecento e cinquanta chilometri tra la Svizzera e il Gran Sasso che deve aver affascinato menti dotate di particolare potenza immaginativa).

Ma, proprio a questo proposito, dobbiamo ricordare che il regista Stanley Kubrick – sulla scia di innumerevoli predecessori - nel 1968 realizzò un film eccezionale: *2001: Odissea nello spazio*.

Eccezionale non tanto perché vinse l'Oscar, ma proprio per la fantastica capacità di prefigurare con la mente orizzonti futuri e, soprattutto, per la grande potenza di sintesi che attraverso il film ci dimostra: Kubrick riesce a condensare milioni di anni di vita nei primi venticinque minuti di cinema.

Lo spettatore che entra in sala per assistere alla proiezione si trova immerso nel buio totale per quasi un minuto, avvolto da una sorta di totale cuscino sonoro. Poi il silenzio, e poi ancora il grande “bang”.

A questo punto diciassette lunghi minuti raccontano l'alba dell'uomo: la colonna sonora sono i suoni di una natura che incomincia la sua storia. Una storia nella quale si stabiliscono progressivamente regole di rapporti e gerarchia tra gli esseri che si dividono il pianeta, finché un nostro progenitore non scopre che gli è possibile estendere a dismisura il suo potere attraverso l'uso di un osso: l'osso cessa di essere quello che è e diventa un'arma.

Qui per Kubrick inizia un altro capitolo della storia.

E con una sorprendente intuizione cinematografica, che riesce a riassumere nel breve momento di una dissolvenza incrociata le centinaia di migliaia di anni che ci separano da questo nostro antico progenitore, l'*osso/arma* lanciato in aria si trasforma in una navicella che si libra nello spazio.

Penso che dentro queste poche immagini di *2001: Odissea nello spazio* siano condensate almeno due idee importanti:

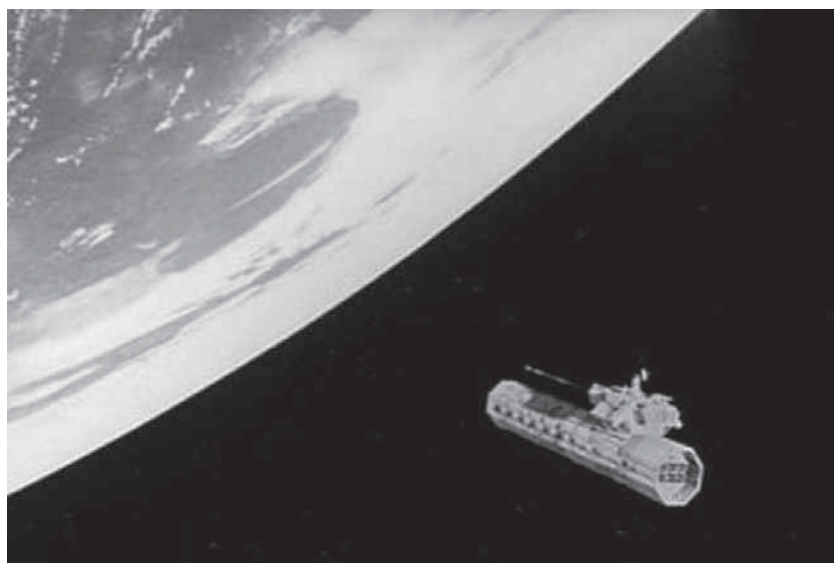
- la prima idea riguarda la capacità umana di immaginare cose che possono esistere anche solo nel suo pensiero:

l'uomo è capace di porsi delle domande e prefigurarsi delle risposte;

- la seconda è legata all'impressione che, quasi sempre, quelle domande e quelle risposte abbiano a che fare con la volontà di potenza dell'uomo, con il suo desiderio di possesso e la conseguente necessità di esercitare il controllo su quegli strumenti, sempre più sofisticati, che gli hanno permesso di estendere la sua posizione di dominio.

E lasciano aperta una domanda alla relatrice di questa piccola conferenza, alla professoressa Matteucci: quanta parte di desiderio di conoscenza pura e quanta parte di desiderio di dominio sono oggi impliciti nello studio dello spazio, dei pianeti e delle stelle, che hanno da sempre affascinato l'uomo? Dobbiamo rassegnarci al fatto che le due cose non possano essere separate?

Una scena tratta da *2001: Odissea nello spazio*



Un viaggio nell'universo

Dalla Via Lattea alle galassie più lontane

Da parte mia il saluto più cordiale a tutti, ragazzi e ragazze, insegnanti, pubblico presente in sala. E soprattutto grazie, per avermi invitata qui: è un onore e un'emozione per me essere davanti a questo pubblico così giovane, nel quale sicuramente vi saranno alcuni degli scienziati del futuro.

Quello che vi racconterò verrà fatto nel buio, perché ci tengo molto a parlarvi in compagnia di queste immagini molto belle: se volete potete anche dormire, ma spero di no, perché intendo portarvi in un viaggio attraverso la nostra galassia, cioè il sistema di stelle di cui il nostro sistema solare fa parte - sono cento miliardi, pensate - e inoltrarvi poi nell'universo più lontano, fino ad arrivare vicini al *big bang* (l'evento che pensiamo abbia dato origine all'universo stesso).

Non ci saranno formule, non ci saranno cose complicate, anche se cercherò di accennare in qualche modo a quelle che sono le ultime scoperte della scienza.

So che con le persone giovani si può parlare di tutto, non c'è mai un limite (difficilmente ci si trova bloccati da pensieri del tipo; "questo è troppo complesso...", "quest'altro ha bisogno di spiegazioni troppo lunghe..."): caso mai è con le persone più anziane che le cose si possono complicare.

Per cominciare dirò che attualmente sono professore di Astrofisica all'Università di Trieste, insegno alla laurea spe-

cialistica in Astrofisica e Cosmologia; se qualcuno fosse interessato, anche in futuro, a queste scienze, potrà cogliere l'occasione anche per cominciare a farsi un'idea del lavoro che facciamo.

Allora: che cos'è la Via Lattea?

La Via Lattea è la nostra galassia, dal greco *gala*, che vuol dire latte.

Se qualcuno di voi, anche se così giovane e nato in un'era altamente tecnologica e piena di luci, in una notte particolarmente buia e nitida, magari al mare o in montagna, riesce ancora a vedere una striscia biancastra che solca il cielo, deve sapere che quella è la Via Lattea. L'immagine che vedete è una fotografia della *Via Lattea* ripresa dall'Australia, cioè dall'emisfero Sud, che guarda un cielo completamente diverso dal nostro, molto più bello e ricco di stelle.



La Via Lattea vista dall'australia

Se Galileo avesse guardato col suo telescopio da laggiù, sarebbe stato molto più soddisfatto, probabilmente.

La Via Lattea è fatta di stelle: lo sappiamo grazie a Galileo, che nel 1610 riuscì a distinguerle. Ma prima era qual-

che altra cosa, o meglio: la gente credeva che fosse un'altra cosa. Le nubi scure che vedete sono proprio nebulose di polvere che assorbono la radiazione ottica e la riemettono in una radiazione che il nostro occhio non vede, e che è l'infrarosso.

Puntando verso la costellazione del Sagittario ci inoltriamo verso il centro della nostra galassia: un posto estremamente interessante, anche se è pieno di eventi violenti.

La Via Lattea prima di Galileo era tante cose: era il latte perso da Giunone mentre allattava Ercole, nell'antica Grecia; era la strada per Roma, per i primi Cristiani; o, ancora, il grano seminato da Iside, per gli Egiziani; oppure un grande fiume, per gli Arabi e, pensate, polvere di stelle fatta d'oro per gli Incas (questo è molto bello...); e tante altre cose.



Jacopo Tintoretto,
L'origine della Via Lattea,
cm. 148 x 165,
Londra, National Gallery.

In questa immagine vediamo raffigurato per esempio il mito greco di Giunone. Ve lo racconto in due parole: Giove aveva avuto Ercole da una ninfa, quindi non da sua moglie; però ebbe la sfacciataggine di portarlo a Giunone perché lo allattasse. Allora Giunone, giustamente, disse: "E chi lo vuole?!" Vedete: con la mano lo allontana da sé; ma facendo questo il latte esce dalla bocca e crea il firmamento.

Questo è un bel quadro di Tintoretto, che si trova alla *National Gallery* di Londra, ed è la rappresentazione dell'idea che si aveva della galassia fino al 1600.

Nel 1610 Galileo scoprì che la galassia era fatta di stelle e non di datteri e nel *Sidereus Nuncius* scrisse questa frase in latino che saprete certamente tradurre: “Nihil aliud quam innumerarum stellarum coecervatim consitarum congeries” che, facendo un riassunto, vuol dire “fatta da miliardi di stelle”.

Quindi con Galileo si è aperta un'era completamente diversa; è stato lì che l'astronomia si è distaccata dall'astrologia, anche se Galileo stesso era astrologo: fino ad allora, infatti, come ha detto il professor Dazzan, le due cose non erano distinte.

Poi abbiamo avuto due personaggi illustri, due filosofi come Wright e Kant, che ebbero un'intuizione incredibile, quella degli universi-isola: e questo avveniva nel 18° secolo.

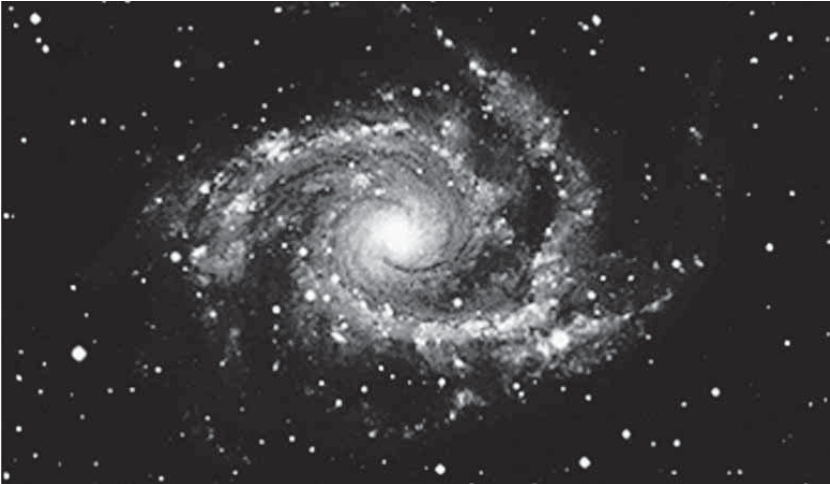
Alcuni oggetti che si vedevano nel cielo, delle nebulose, non si capiva se facessero parte del nostro sistema o meno.

Dovete pensare che uno dei problemi fondamentali in astronomia è la misura delle distanze. Se io non so a che distanza si trova un oggetto, non riesco a ricostruire la mappa: magari lo credo vicino perché è molto brillante, mentre in realtà è più lontano di un altro che invece è solo meno brillante.

Wright e Kant, dunque, pensarono che questi oggetti fossero Universi-isola, cioè quasi un'altra galassia: e infatti era vero, come vedremo. Poi Herschel, e poi Kaptyn, aprirono delle strade maestre perché osservando la Via Lattea capirono che noi ci troviamo in un disco di stelle e ne diedero anche le dimensioni. Solo che all'inizio credevano che il sistema solare stesse al centro di questo disco, perché l'uomo ha sempre avuto questa presunzione di essere al centro di tutto: della galassia, dell'universo... In realtà sappiamo che non siamo al centro di nulla! Per fortuna, anzi, siamo alla

periferia della nostra galassia, e se così non fosse saremmo distrutti istantaneamente dai fenomeni violenti che ci sono nelle parti centrali. Poi bisogna arrivare agli inizi del novecento, con Sharpley e Hubble (Hubble è lo scienziato che ha scoperto la legge per cui le galassie si allontanano e che ha dato origine alla teoria del *Big Bang*, come vedremo tra un attimo): all'inizio del ventesimo secolo, finalmente, con la misura corretta delle distanze delle stelle, si è capito che la nostra galassia era un sistema ben preciso, e che gli altri oggetti che si vedevano in cielo, come le nebulose, erano altre galassie.

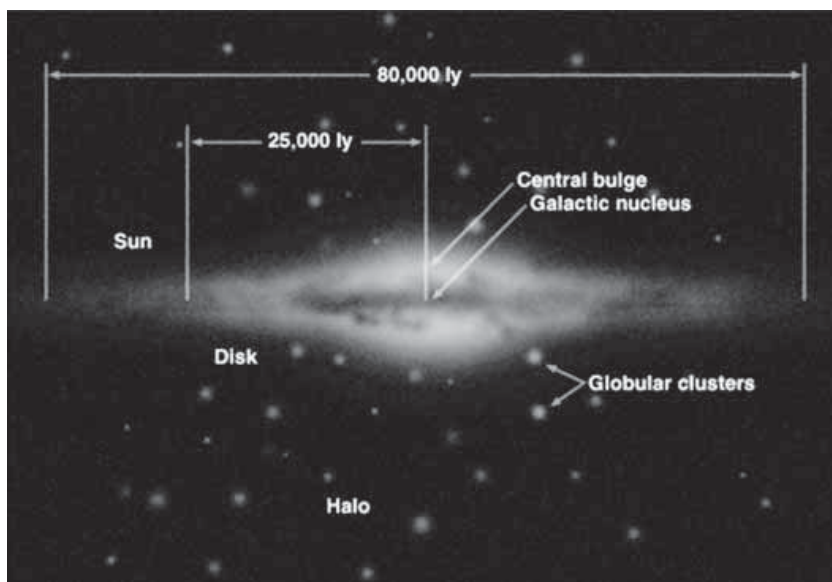
Se noi riuscissimo a vederla di faccia - cosa che non possiamo fare perché ci stiamo dentro -, la Via Lattea ci apparirebbe più o meno come questa (lo sappiamo perché l'abbiamo "ricostruita"):



Come vedete c'è un nucleo centrale, fatto di stelle dal colore bianco. Sapete che le stelle hanno temperature diverse nella loro atmosfera: a seconda della temperatura si passa dal bianco al blu, al giallo e al rosso, come un pezzo di ferro che venga scaldato. Quindi nel centro ci sono delle stelle particolari con quella luce, e ce ne sono tante! Poi

vedete che dal centro si dipartono delle braccia di spirale che si avvolgono intorno. Noi stiamo un po' in disparte..., e su queste braccia ci sono stelle giovani che danno luce blu, gas e polveri.

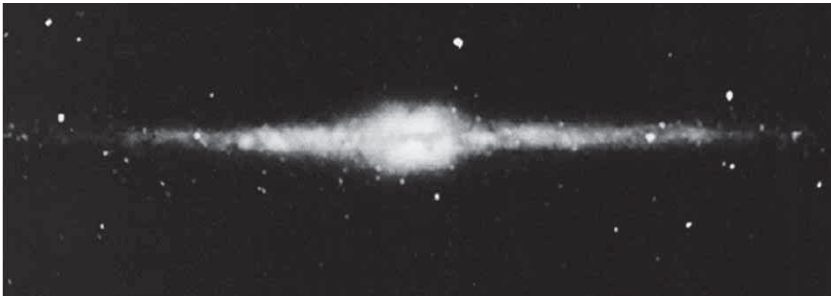
Ecco, la nostra galassia vista di taglio è come due cappelli da prete disposti l'uno sull'altro.



Il nostro sole è a venticinquemila anni luce dal centro. Un anno luce è lo spazio percorso dalla luce in un anno, la luce viaggia a trecentomila chilometri al secondo...: sono numeri con tantissimi zero, dietro. Pensate, un *parsec*¹ è 3×10^{16} metri. Vi parlo di anni luce perché è più semplice da immaginare: ma sono distanze incredibili per noi qui sulla terra.

¹ Il parsec (abbreviato in *pc*) è un'unità di lunghezza usata in astronomia. È definito come la distanza alla quale la parallasse annua è esattamente di un secondo d'arco, ed equivale a 3,26 anni luce. Misurando l'angolo della parallasse e la distanza tra i due punti di osservazione è possibile calcolare la distanza dell'oggetto per mezzo della trigonometria. Questo è un caso particolare della triangolazione, in cui dato un lato e due angoli oppure un angolo e due lati è possibile calcolare l'intero triangolo.

Noi stiamo alla periferia della *Via Lattea*, come si può ben vedere nell'immagine riportata nelle due pagine seguenti. Quella qui in basso è invece l'immagine vera della nostra galassia presa nelle microonde; noi a occhio nudo non la vediamo, ma nelle microonde è possibile ricavarne l'immagine. Quello centrale è il disco, il cosiddetto "*bulge*"², o "bulbo", in italiano (o nucleo): la distanza totale del disco, la larghezza, è ottantamila anni luce. Intorno a questo disco ci sono degli oggetti che fanno parte dell'alone: sono stelle molto molto vecchie, le prime che si sono formate, che stanno in ammassi chiamati *ammassi globulari*. Ci sono circa un milione di stelle, in ammassi globulari molto compatti: gli oggetti più vecchi della galassia (hanno l'età dell'universo: circa quattordici miliardi di anni).



² In astronomia, un *bulge* (rigonfiamento, detto anche *Core*) è un gruppo di notevoli dimensioni formato da un gran numero di stelle. Il termine comunemente si riferisce al gruppo centrale di stelle che si trova nella maggior parte delle galassie a spirale. Il *bulge* nelle galassie a spirale è solitamente composto da stelle di *Popolazione II*, piccole, rosse e vecchie che nacquero assieme alla galassia circa un miliardo di anni dopo il *Big Bang*. Si pensa che la maggior parte dei *bulge* ospiti al suo interno un buco nero supermassiccio. Tali buchi neri non sono mai stati osservati direttamente, ma esistono molte prove indirette, soprattutto dei loro effetti gravitazionali sulle stelle e sul gas interstellare, che permettono peraltro di stimarne la massa. Alcune galassie hanno *bulge* con stelle di *Popolazione I* (giovani stelle blu), o una combinazione delle due popolazioni. Anche se questo caso non è ancora chiaro, è solitamente portato come prova di interazioni con un'altra galassia (es.: fusione di galassie), che invia nuovo gas al centro e favorisce la formazione stellare. (fonte: Wikipedia)

Universe

approx. size: 10^{21} km

Local Supercluster

approx. size: 3×10^{16} km

Local Group

Earth

approx. size: 10^7 km

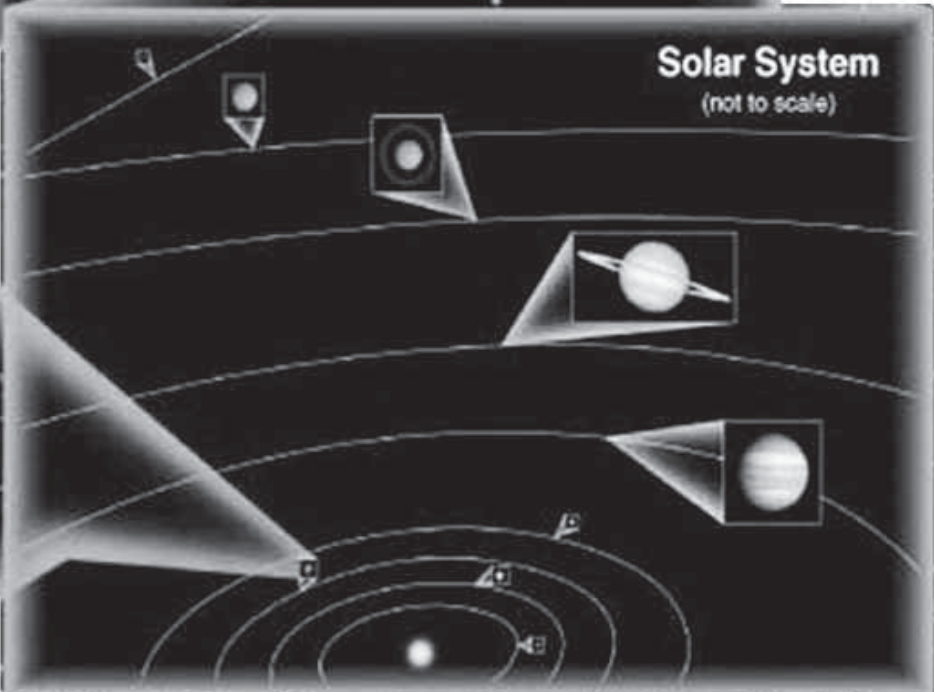
approx. size: 10^{16} km

Milky Way Galaxy



Solar System

(not to scale)



approx. size: 10^{17} km

Abbiamo potuto realizzare l'immagine della nostra galassia grazie al satellite *Cobe*, che è quello che ha misurato anche la variazione di fondo a microonde, il fossile del *Big Bang*. Questa radiazione sta qui con noi adesso, ci passa tra i capelli. Non ce ne accorgiamo, ma c'è! Essa è appunto il residuo della grande esplosione che ha dato origine all'universo. La si misura in questa banda delle microonde, nella quale la nostra galassia appare come nella riproduzione fotografica, dove vedete il bulbo centrale e il disco.

Dove siamo noi nell'universo? Lo possiamo agevolmente vedere nell'illustrazione della doppia pagina precedente. Noi ci troviamo sulla *Terra*, che a sua volta sta nel *sistema solare*, coi suoi pianeti: Giove, Saturno... Il sistema solare è nato quattro miliardi e mezzo di anni fa e noi, con il nostro sistema solare, stiamo dentro la galassia. La galassia, a sua volta, fa parte di un gruppo di circa cinquanta galassie, che si chiama *gruppo locale*; il *gruppo locale*, a sua volta, fa parte di un *ammasso di galassie*, un "super ammasso". Gli ammassi di galassie hanno molto più di cinquanta galassie, e i *super cluster*, come si dice in inglese, contengono più di un ammasso. Il nostro sistema solare è nato solo quattro miliardi e mezzo di anni fa, l'universo invece è nato quattordici miliardi di anni fa.



Edwin Hubble, che si vede nella foto a lato al telescopio di Mount Wilson, in California, è stato l'uomo che ha aperto, diciamo, uno squarcio nelle nostre conoscenze: egli ha misurato le distanze di queste nebulose esterne degli *universi isola* attraverso delle stelle, che si chiamano *cefeidi*, variabili in luminosità. C'è infatti una precisa relazione fra la variazione di luminosità e distanza: è

in base a questo principio che negli anni trenta siamo riusciti a misurare le distanze tra le galassie. Hubble ha fatto una scoperta fondamentale e cioè che le galassie hanno velocità proporzionali alla loro distanza: più sono lontane e più sono veloci. Questa teoria è stata alla base della teoria del *Big Bang*, assieme a quella della radiazione di fondo di cui vi ho parlato prima. Il nostro universo ha avuto origine da questa esplosione, da questa singolarità - come diciamo in termini scientifici - che non è avvenuta in un punto preciso, ma ovunque: è in quel momento che si sono creati la materia e lo spazio, e da allora lo spazio si sta espandendo.

Ne sono passati di anni, da Galileo e da Hubble! Adesso abbiamo dei telescopi super moderni, stiamo vivendo il rinascimento dell'astronomia: è una fase incredibile, questa!

Nel deserto di Hatacama. è stato segato un cucuzzolo di montagna per collocarvi il telescopio più grande del mondo, il *VLT*, *Very Large Telescope*. Questo telescopio appartiene anche a noi italiani, lo paghiamo anche con le nostre tasse. Esso è stato costruito dall'*European Southern Observatory*, un'associazione di dodici Paesi europei che cooperano per poter disporre di telescopi nell'emisfero sud del pianeta: come v'ho detto, il cielo dell'emisfero sud è diverso da quello nord.



Ci sono quattro telescopi, con i nomi molto romantici delle divinità incas: *Antu* (il Sole), *Kueyen* (la Luna), *Melipal* (la Croce del Sud) e *Yepun* (Venere). I telescopi sono fatti da uno specchio (proprio uno specchio: ci si riflette, se ci si va vicino), e hanno un certo diametro: più grande è il diametro e maggiori sono i fotoni - la luce - che riusciamo ad accogliere e a mandare nel centro del telescopio (dove ci sono lo spettrografo, gli strumenti che fotografano, gli spettri e tutto il resto...). Questi specchi hanno ciascuno un diametro di otto metri: con essi siamo riusciti a vedere galassie che hanno undici, dodici, tredici miliardi di anni (ovvero: galassie la cui luce ha impiegato questo tempo per arrivare a noi). Se sono usati tutti insieme, come diciamo: “in interferometria”, corrispondono ad un unico telescopio con un diametro di 16 metri. Più il diametro è grande e più riusciamo a vedere indietro nel tempo.

Chi fa l'astronomo prima o poi va in Cile a fare osservazioni con questi telescopi. Sono telescopi ottici, ovviamente, a banda ottica. Devo dirvi, infatti, che l'atmosfera terrestre fa passare solo certe frequenze di luce, tra cui quella che noi appunto chiamiamo “ottica”, “visibile” (quella che vediamo). Altre frequenze, per fortuna nostra, come gran parte dell'ultravioletto, degli *x* e dei *gamma*, non passano: altrimenti saremmo morti. Per poter osservare nelle altre bande dobbiamo dunque uscire dall'atmosfera.

Qui vediamo il telescopio spaziale *Hubble*, che fa proprio questo: si vede la *Terra*, e si vede *Hubble* coi suoi pannelli solari. *Hubble* è stato lanciato nel 1990, non ricordo se dal *Challenger*, e sono stati ventun anni gloriosi, veramente gloriosi, perché le maggiori scoperte sono state fatte proprio con questo telescopio. Esso orbita a 550 km sopra di noi, compie il giro della Terra in 90 minuti, e ci permette di osservare cose spettacolari: con *Hubble* abbiamo superato l'immaginazione, perché vedere al di fuori dell'atmosfera vuol dire in un certo senso vedere oltre la nebbia. Tuttavia

ci si accorse subito che lo specchio del telescopio *Hubble*, che pur misurando solo 4 metri e mezzo riesce comunque a vedere lontanissimo poiché si colloca fuori dell'atmosfera, aveva un'aberrazione: come uno miope, vedeva le cose sfocate.



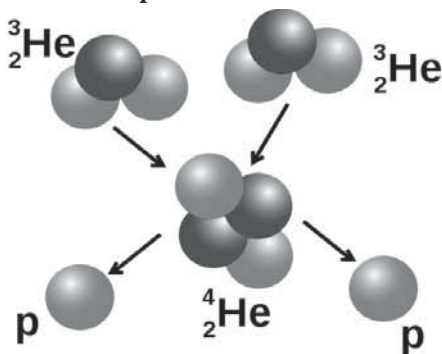
Pur permettendo di ottenere immagini molto più belle di quelle prese da terra, in un primo momento *Hubble* fu piuttosto deludente. Degli astronauti eorici, tra cui anche una donna, furono allora mandati a “mettere gli occhiali” ad *Hubble*. Gli “occhiali” sono lo strumento (si chiama *Costa*) che, una volta collocato, ha permesso ad *Hubble* di fornire immagini davvero spettacolari

Allora, cominciamo a dare qualche informazione: la nostra galassia, come tutte le galassie è fatta ovviamente di stelle: una stella è il nostro sole, e ce ne sono circa 100 miliardi. Le stelle sono come noi: nascono, vivono e muoiono. Durante la loro vita brillano perché innescano reazioni nucleari nel loro centro, in particolare reazioni di fusione: prima trasformano l'idrogeno in elio, poi l'elio in elementi più pesanti. Poiché durante il *Big Bang* si sono formati solo

elementi leggeri (come idrogeno e deuterio), tutti gli altri elementi, come vedremo tra un attimo, li hanno fatti le stelle.

Non so se voi avete delle nozioni di fisica, ma qualcosa penso sappiate: gli atomi sono fatti da un nucleo e una nuvola di elettroni; l'atomo che ha la massa più piccola di tutti è l'idrogeno, ed è fatto di un protone e di un elettrone, che si trovano nel nucleo.

Bene: gli elementi che si sono formati durante il *Big Bang*, la grande esplosione, sono solamente l'idrogeno, il deuterio (che ha un nucleo fatto da un protone e da un neutrone), l'elio (con nucleo fatto da due protoni e due neutroni) e un po' di litio. Il litio ha un nucleo un po' più massiccio, ma ne viene fatto molto molto poco.



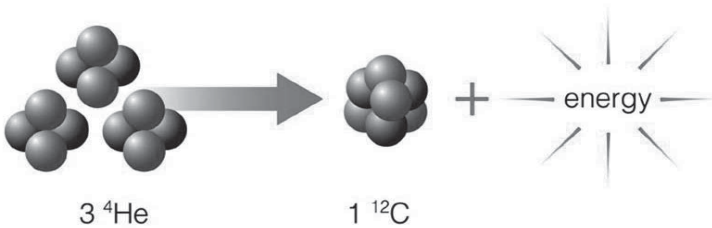
Tutti gli altri elementi, dal *carbonio 12* che ha dato origine alla vita fino agli *uranici* e ai *transuranici*, sono stati fatti dalle stelle, e noi stessi possiamo dunque stare qui a parlare proprio perché le stelle hanno originato questi elementi. Siamo proprio “figli delle stelle”: la vita è nata infatti dalla chimica del carbonio, e il carbonio si è costituito solo dentro le stelle quando, data la forte espansione dell’universo, le temperature hanno subito un forte calo, come le densità: le reazioni nucleari hanno bisogno invece di alta densità e di alta temperatura.

Quindi pensate: la concentrazione di elementi quali il carbonio, l’ossigeno e il ferro è aumentata di mille volte ne-

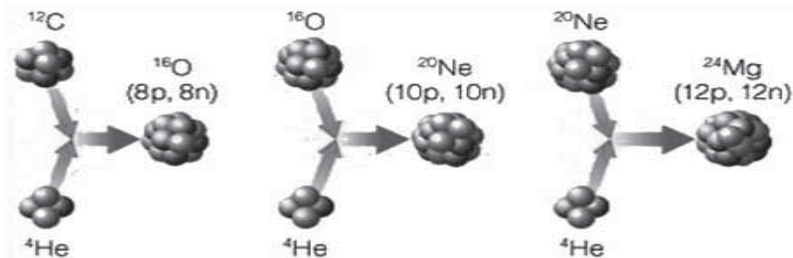
gli ultimi dodici miliardi di anni. Questo processo costituisce l'evoluzione chimica del cosmo e noi siamo come degli archeologi quando misuriamo gli spettri delle stelle e l'abbondanza di questi elementi: solo da questo ricostruiamo tutta la storia delle galassie e dell'universo.

Molto rapidamente, quando si parla di fusione dell'idrogeno ci si riferisce, in pratica, a questo: quattro protoni si devono unire per costituire un nucleo, due di essi si trasformano in neutroni e nasce il nucleo di *elio*.

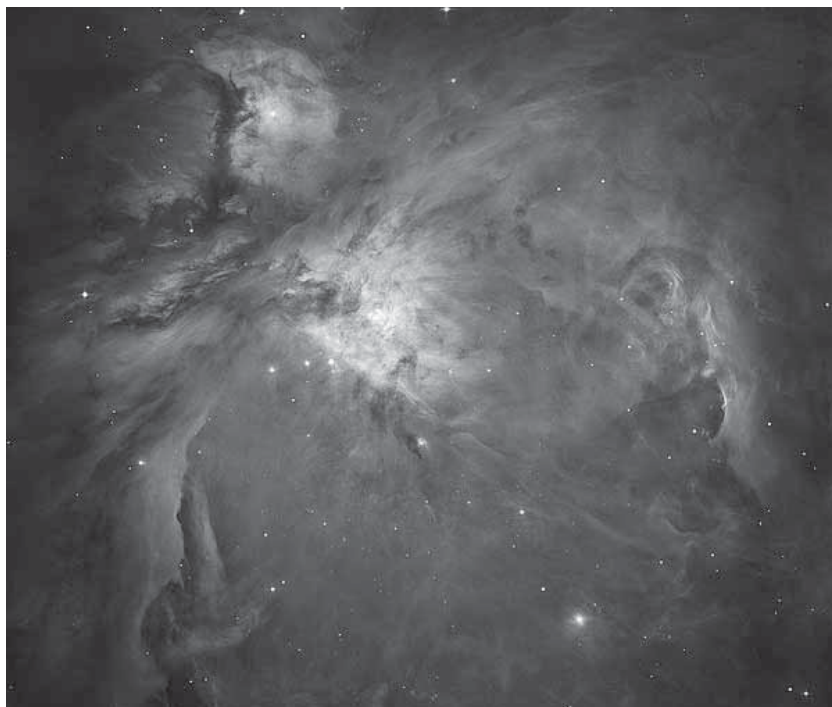
Poi dall'elio nasce il carbonio:



Tre particelle *alfa* (tre nuclei di elio, gli *elioni*) fanno un nucleo di carbonio, che ha dodici particelle ($3 \times 4 = 12$). Il tutto avviene sempre con emissione di energia, anche la fusione dell'Idrogeno: è questo che fa brillare le stelle; il nostro sole brilla perchè sta applicando quella reazione che ho fatto vedere prima. Quando le stelle sono molto massicce riescono ad innescare una serie di reazioni nucleari che portano anche ad elementi molto più pesanti: dal carbonio si arriva all'ossigeno, al neon e al magnesio, sempre per ulteriore cattura di particelle *alfa*, cioè di nuclei di elio.



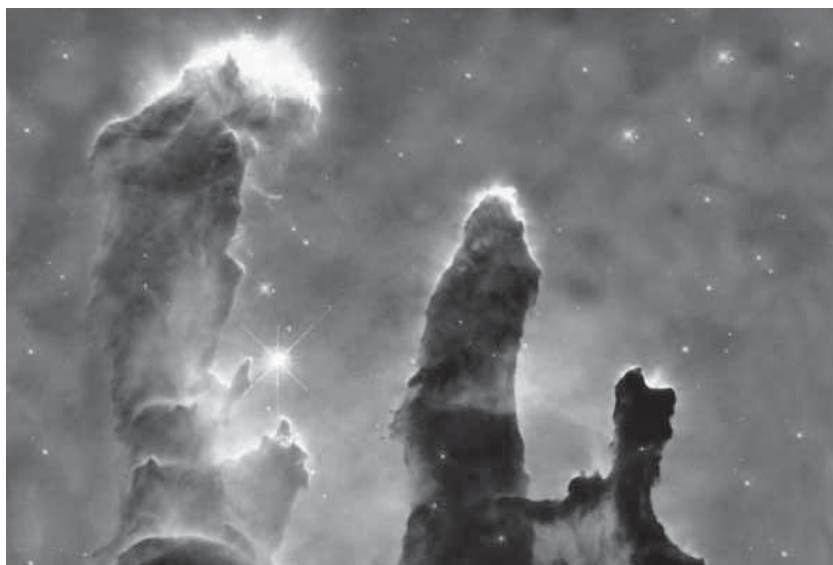
Ma vediamo ora dove nascono le stelle. Quella riportata nell'illustrazione seguente è la nebulosa di Orione:



La Nebulosa di Orione vista dal Telescopio Spaziale Hubble

È un'immagine di *Hubble*, guardate che meraviglia! I colori dell'originale sono un pochino falsati, ma le differenze e i colori rispecchiano la realtà. Diciamo che i vari colori sono dati dagli elementi chimici e dominano in alcune parti. Questa è una nebulosa di gas, che può essere neutro o molecolare. Generalmente le stelle nascono dal gas molecolare, molto freddo; si tratta di una *nursery* stellare...

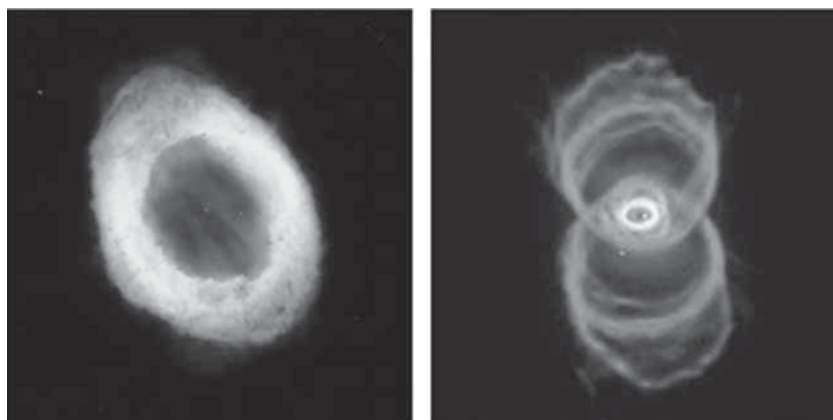
Come la prossima, la nebulosa dell'*Aquila* (l'avete mai vista questa immagine? E' famosissima). Vedete i cumuli di gas, quelle specie di torri? Le stelle si formano lì dentro. Ci sono anche alcune immagini in cui si vede addirittura la stella col proprio sistema planetario che si sta formando.



I "Pilastrici della creazione".

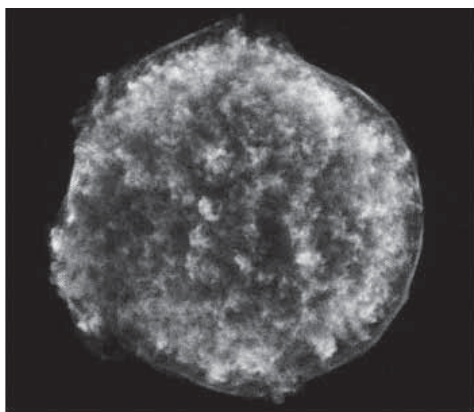
Una piccola zona della grande nebulosa dell'Aquila. È un'immagine del 1995, ottenuta dal telescopio spaziale Hubble, HST, che ha fatto epoca

La morte delle stelle è impressionante, se sono delle supernove; se sono stelle come il nostro sole, finiscono come nane bianche, che sono oggetti molto compatti. Ma prima di fare la nana bianca, espellono il loro mantello esterno, in una fase denominata *nebulosa planetaria*.



Nella prima delle due immagini appaiate della pagina precedente si può distinguere una stellina centrale piccola piccola, caldissima, tipo duecentomila gradi; l'altra, sembra che sia una specie un occhio... Ce ne sono di forme svariatissime: il nostro sole finirà così. Dopo questa fase la stella comincia a raffreddare, diventa estremamente compatta, la materia assume uno stato che non è quello normale, ma viene definito *degenere*: e si forma la nana bianca. La nana bianca è così densa che è come se avessimo nella dimensione di un fagiolo il peso di un camion.

L'immagine che segue mostra i resti della supernova di *Tycho*: l'esplosione finale di questa stella, a settemilacinquecento anni luce dalla Terra, fu studiata nel 1572 dall'astronomo danese Tycho Brahe. Questa immagine è stata ottenuta dal satellite a raggi X *Chandra* il 29 aprile 2003. Si tratta di gas a temperatura elevatissima espulsi dall'esplosione e circondati da una "conchiglia" di elettroni ad alta energia.



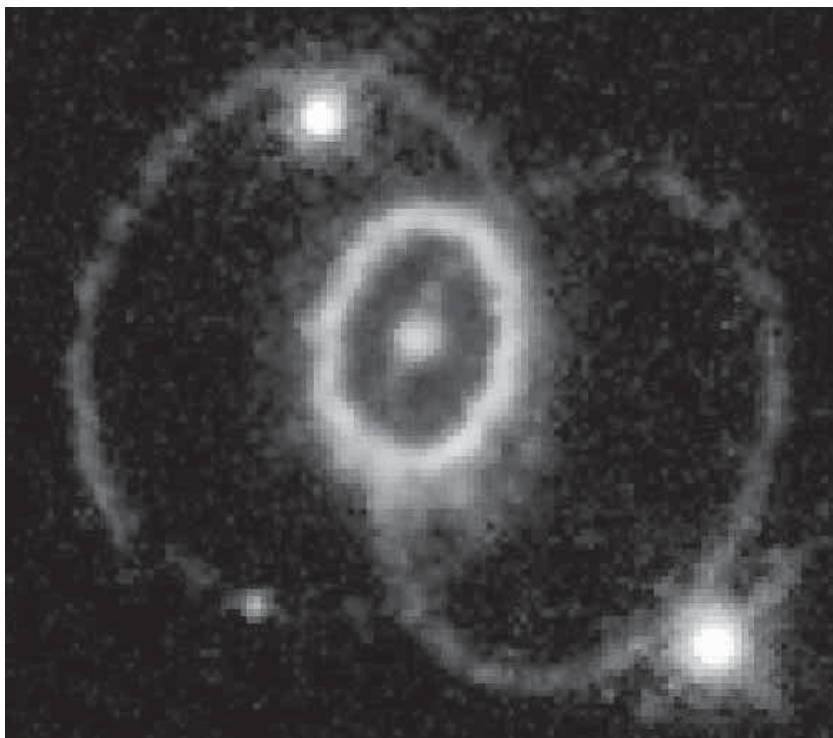
Se le stelle sono molto massicce e hanno più di dieci volte la massa del sole, esplodono. Quella che si vede nell'immagine che segue è la nebulosa del granchio, esplosa nella costellazione del Toro nel 1050, osservata anche dagli astronomi cinesi.



Immagine della Nebulosa Granchio ripresa dal telescopio spaziale Hubble. Nel centro esatto della nebulosa si trova una pulsar, una stella di neutroni che ruota alla velocità di 30 giri al secondo.

Quando la stella esplose butta fuori il suo mantello esterno; in questo caso lascia pure all'interno una cosa compat-tissima, in questo caso una *Pulsar*. La *Pulsar* è una stella di neutroni, ancora più compatta della nana bianca. Pensate: è paragonabile a una goccia di pioggia che contenga tutta la popolazione del mondo. Pensate quanto pesa una cosa di questo genere, e quanto è densa!

Questa qui che vedete, questa cosa strana con gli anelli, è esplosa recentemente, non eravate nati, era il 1987. Io me lo ricordo, quel 23 febbraio...



Supernova 1987/A nella "Grande nube di Magellano"; dista ca. 170.000 a.l.

Un astronomo, anzi un astrofilo canadese - ch  poi sono sempre gli astrofili che fanno le scoperte migliori, non gli scienziati (non si sa perch ...,   la fortuna) - stava guardando la grande nube di Magellano, (una galassia molto vicina a noi, "solo" centosettantamila anni luce). Ad un certo punto vede una patacca su questa lastra fotografica: era una cosa luminosissima! Esce a guardare - all'emisfero sud si vede la grande nube, qua no -: era brillante come Venere! Pensate, era una *supernova* (questo nome glielo hanno dato gli antichi, vuol dire nuovissima).

Quando una stella esplode, la sua luminosit  diventa centinaia, migliaia di volte maggiore di quella del sole! Per  l  per l  l'astrofilo non capiva di cosa si trattasse. Ha aspettato, il disgraziato, due giorni, prima di dare la notizia. Come

la notizia è partita, tutti i grandi telescopi del mondo si sono puntati istantaneamente lì, ed essendo la *supernova* esplosa in un oggetto di cui si conosce la distanza, siamo riusciti a misurare tutte la quantità fisiche, inclusi i neutrini, che ci aspettiamo escano fuori immediatamente prima dell'esplosione, quando si forma la stella di neutroni.

Gli scienziati non hanno ancora capito bene come si siano formati gli anelli che si vedono, e perché si siano formati esattamente in questo modo. Abbiamo però capito che si tratta di materia espulsa dalla stella (un oggetto pari a venti masse solari) durante la sua vita, prima di esplodere.

Ora voi mi chiederete: “c'è la *Pulsar* pure lì?” No, lì non è stata vista: forse si formerà più in là, perché è giovane, mentre nella *nebula del Granchio* c'è. In molti resti di *Supernova di tipo II* (quelle che vengono dalle stelle massicce) si trovano delle *Pulsar*, che sono come degli orologi cosmici, con stelle i cui neutroni ruotano molto rapidamente a causa di un fortissimo campo magnetico: sono oggetti molto peculiari.

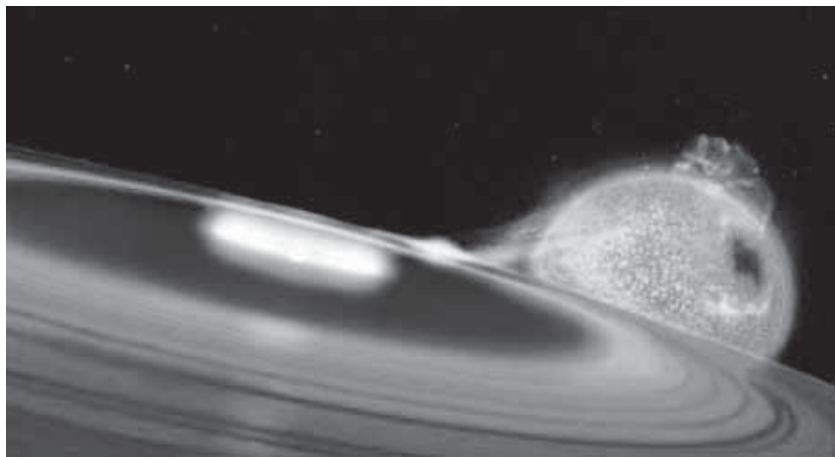
Questa è invece una *Supernova di tipo Ia*:



Le supernove di tipo Ia sono tra i fenomeni cosmici più luminosi e possono emettere un raggio di luce anche più intenso di quello di un'intera galassia.

Ci sono anche le *nane bianche*: se si trovano da sole, muoiono tranquillamente, si raffreddano e diventano materia oscura; ma se si trovano vicine ad un compagno più giovane, ringiovaniscono anch'esse perché, quando il compagno getta loro addosso della materia, queste possono esplodere, raggiungendo una massa limite oltre la quale non sono più stabili. Sono delle *supernove* potentissime, che distruggono tutto e non lasciano niente dentro. Quella che abbiamo visto così luminosa è una *supernova Ia* in una galassia.

L'immagine che segue, invece, è un disegno artistico di ciò che pensiamo succeda: c'è un un oggetto compatto, la *nana bianca*, la stella compagna, che quando diventa gigante (la fase in cui la stella diventa molto grande: interesserà anche il nostro sole,) getta materia sull'altra stella e crea un disco di accrescimento, la materia va a cadere sulla *nana bianca*, che esplode. Questi oggetti crediamo che siano quelli che producono nell'Universo la maggior parte del ferro:



La nostra galassia non è l'unica, ovviamente. E' una galassia normalissima, ce ne sono tantissime come la nostra: non siamo speciali per niente! Anche le altre galassie contengono da alcuni miliardi a centinaia di miliardi di stelle,

soprattutto stelle come il sole. Le stelle molto massicce sono poche e, come abbiamo visto, attraverso le stelle gli atomi sono diventati sempre più complessi: un fenomeno che vi ho descritto prima e che avviene non soltanto nella nostra galassia, ma anche nelle altre.

Abbiamo visto le galassie a spirale, come la nostra. Questa invece è M87, la galassia centrale dell'ammasso della Vergine, (è l'ammasso di galassie più vicino al nostro gruppo). Essa è molto diversa: è uno sferoide, fatto di stelle tutte bianche, e ciò significa che è costituita di stelle vecchie, senza più gas: non c'è formazione stellare recente.



Questi oggetti sono molto massicci e, soprattutto, si trovano dentro gli ammassi di galassie, infatti le galassie possono trovarsi sia in ammassi, sia sparpagiate nel cosiddetto *field* ("campo").

Poi esistono le galassie irregolari: Hubble le ha catalogate tutte, e questa è la grande nube di Magellano, dove è esplosa la *supernova* del 1987, che da noi è arrivata il 23 febbraio, ma la cui luce era partita centosettantamila anni prima. Capite già dal nome che non hanno una forma precisa, non hanno bracci di spirale, né sono sferoidi: sono irregolari e sono costituite da tanto gas e da stelle giovani. Questo ci dice molto su come evolvono le galassie. Non ve lo sto a dire oggi, ma misurando appunto la quantità di gas, - la composizione chimica - e costruendo dei modelli, riusciamo a capire facendo un percorso a ritroso: come gli archeologi, andiamo indietro nel tempo e ricostruiamo la storia di questi oggetti.



Sebbene sia piccola e irregolare, la Grande Nube è piena di oggetti interessanti tra cui nebulose diffuse (specialmente la nebulosa Tarantola, NGC 2070, una regione gigante H II), ammassi globulari e aperti, nebulose planetarie e altro. Il 24 Febbraio 1987 si verificò una supernova, la più vicina osservata dai tempi di Keplero, prima dell'invenzione del telescopio. Questa Supernova 1987A, particolare e di tipo II, è stata uno dei più interessanti oggetti degli anni ottanta e c'è chi dice di tutto il secolo.

Le galassie poi si uniscono in ammassi. La foto che segue è stata scattata dal telescopio di Hubble e fa vedere, appunto, un ammasso di galassie; si possono distinguere spirali, nuclei, spiruline, ellittiche...Ve ne sono tante, in un ammasso: cento, duecento galassie legate in qualche modo gravitazionalmente tra di loro.



Noi sappiamo che gli ammassi di galassie sono circondati da una grande quantità di materia oscura. Questo lo capiamo perché quando misuriamo la loro gravità e la confrontiamo con quella delle singole galassie, scopriamo che ce n'è molta di più: ciò vuol dire che questa gravità è dovuta ad una materia che noi non vediamo. La cosa avviene anche nella nostra galassia. Tutte le galassie sono circondate da aloni di materia oscura. E non sappiamo di cosa sia fatta questa materia oscura: in parte sono “cadaveri” di stelle (abbiamo visto la *nana bianca*, la stella di neutroni); poi c'è anche il buco nero. Se una stella è molto molto massiccia,

quando esplode, invece di lasciare la *nana bianca* al centro come *supernova*, lascia un buco nero. Però questi “cadaveri” non sono sufficienti, questi a spiegare la gravità che vi misuriamo. Ci deve essere quindi una materia oscura, che noi chiamiamo *non-barionica*³, e che deve esser fatta di qualche altra cosa che ancora non sappiamo.

Com'è composto l'Universo?

Dalla *legge di Hubble*, che afferma che le galassie si espandono con una velocità proporzionale alla distanza, e dallo studio di tutte le caratteristiche della radiazione di fondo a microonde, che è il relitto del *Big Bang*⁴, attraverso confronti con modelli cosmologici, si è stabilito che l'Universo non è tanto dominato dalla materia, ma soprattutto da un'energia. Voi mi prenderete per matta, un po', ma in realtà è così: l'universo è composto per la maggior parte da quell'energia che noi abbiamo chiamato “*dark energy*” (“energia oscura”, sembra proprio di stare in *2001: Odissea nello spazio*). Essa costituisce il 70% dell'Universo; l'altro 30% è fatto di materia, che per la maggior parte è però anch'essa materia oscura, della quale cioè non conosciamo la natura. Ciò che vediamo è una frazione piccolissima di quanto esiste nella realtà.

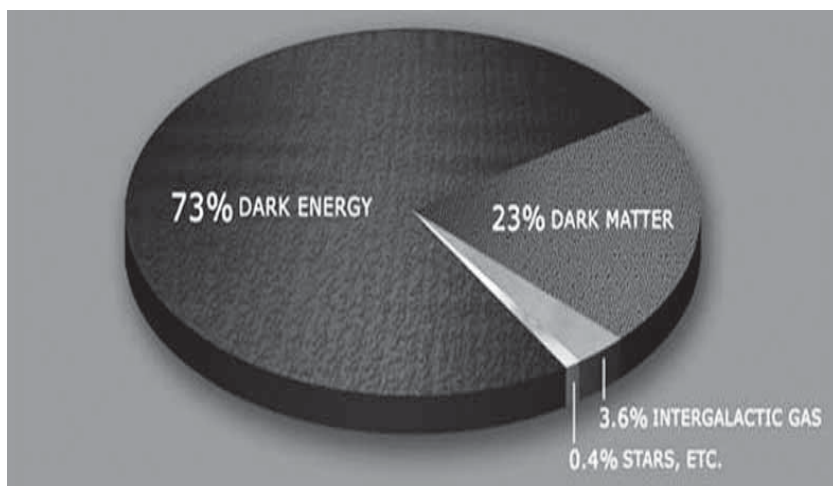
Questo lascia spazio alla fantasia, come diceva all'inizio il professor Dazzan. Voi andrete a casa e direte: “oggi una matta ci ha parlato di energia oscura...!”. In realtà i nostri studi, gli studi di tutti gli scienziati del mondo, fatti con grande dettaglio⁵ confermano l'ignoranza rispetto

³ Cioè: non costituita da protoni e neutroni, che vengono chiamati *barioni* (dal greco, che vuol dire “[materia] pesante”).

⁴ La radiazione di fondo è quello che resta dell'energia del *Big Bang*, della luce prodotta dal *Big Bang*, che si è raffreddata passando - pensate - da 10^{13} gradi Kelvin a 2 gradi e 7, vicino allo zero assoluto.

⁵ Qualche giorno fa è stato dato il Nobel a tre astrofisici che hanno derivato, appunto, l'energia oscura tenendo conto della legge di Hubble misurata con le *Supernove Ia*: si tratta di Perlmutter, Riess e Schmidt.

alla materia della quale è fatta la gran parte dell'Universo. Anche le percentuali non sono state stabilite con esattezza. Tuttavia si può affermare che l'intera torta sia fatta per almeno per il 73% di energia oscura e per il 23% di materia oscura: il resto è quello che conosciamo, che vediamo e che abitiamo.

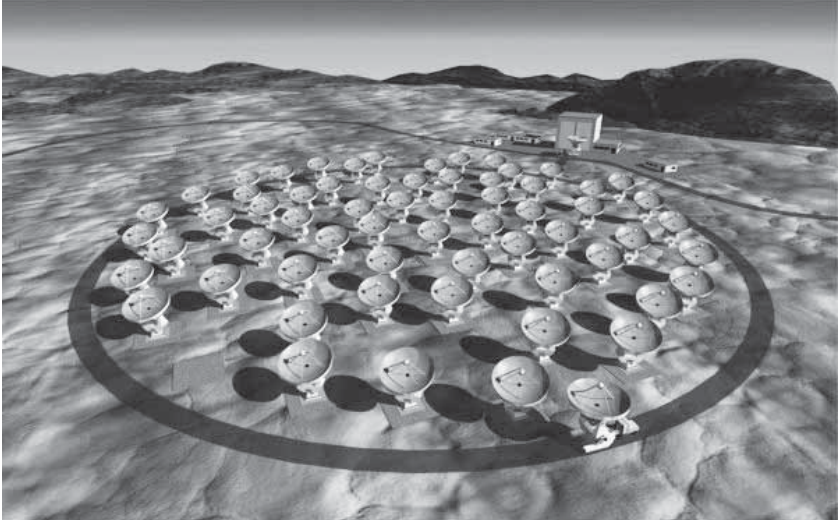


Questo ci dà anche la misura di quanto siamo piccoli in questo Universo, e di quanto ci sia ancora da scoprire!

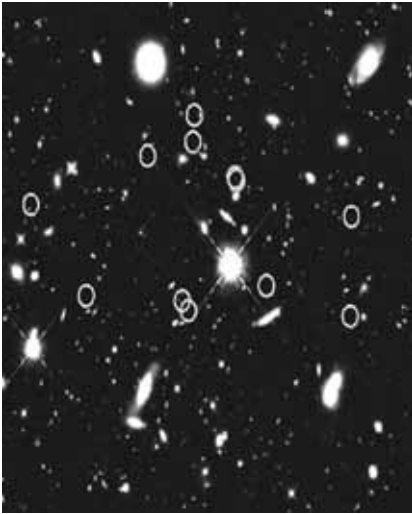
Proprio per questo stiamo progettando grandissimi telescopi, li ho chiamati “mastodonti del futuro”: essi ci permetteranno di capire sempre di più e meglio, e di osservare sempre più indietro nel tempo. Uno di questi telescopi è l'*ALMA Array*⁶ (*Atacama Large Millimeter Array*).

Si tratta di un progetto europeo, americano e giapponese che partirà l'anno prossimo e consiste di sessantasei radio telescopi che misurano la luce radio, ognuno con un diametro di dodici metri, e cattureranno le informazioni sulle stelle e sulle galassie fin dai primissimi tempi dopo il *Big Bang*.

⁶ Con il suo costo stimato in 1,3 miliardi di dollari USA, è attualmente il più costoso progetto astronomico basato a terra.

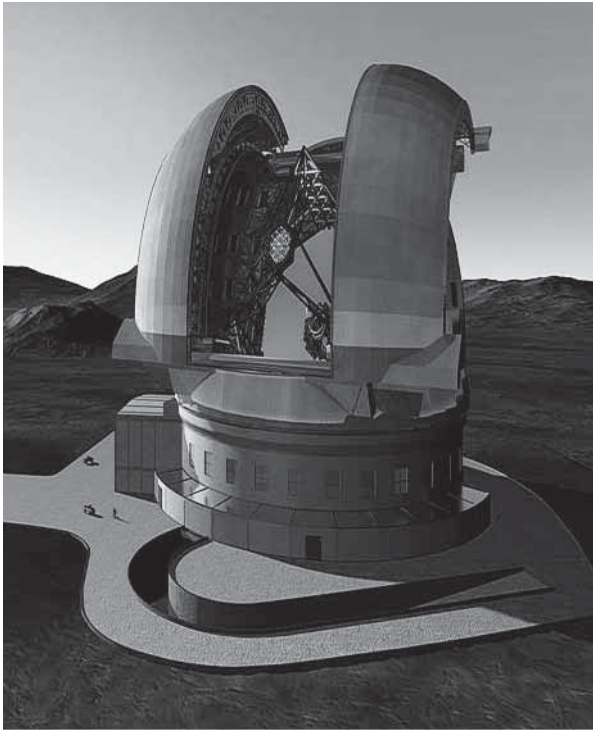


Le galassie più lontane sono state già viste dallo *Hubble Space Telescope* e si trovano a tredici miliardi di anni luce, ovvero sono nate seicento-settecento milioni di anni dopo il *Big Bang* e hanno viaggiato (la loro luce ha viaggiato...) per tredici miliardi di anni. Qui nella figura sono indicate dai cerchietti: vedete, sono debolissime, però sono galassie, probabilmente le prime che si sono formate.



Le galassie più lontane si trovano a 13 miliardi di anni luce e sono state osservate da HST: sono nate 600-700 milioni di anni dopo il Big Bang (sono quelle indicate dai cerchietti nell'immagine).

Il mastodonte più mastodonte di tutti è *E-ELT* (*European Extremely Large Telescope*), è stato progettato da un mio compagno di Università che lavora all'*Eso* (originariamente aveva progettato uno specchio da cento metri, dai costi proibitivi): questo è un telescopio che va messo a terra, ovviamente; ci si è risolti a realizzare uno specchio da 42 metri di diametro. Vi ho spiegato che più grande è il diametro, più indietro nel tempo possiamo andare: qui andremo veramente a catturare la luce dei primi istanti, di quando si sono formate le galassie. Meglio dell'*Hubble Space Telescope*, che pure viaggia al di fuori dell'atmosfera.



Detto questo, voglio finire la mia carrellata facendovi vedere un bellissimo “film”, che avrebbe bisogno di una colonna sonora, ma che purtroppo non ho: si tratta di un viaggio che parte dal sistema solare, dentro la galassia, per

proseguire oltre la galassia stessa, nel *Gruppo Locale*, fino all'*Ammasso della Vergine*⁷.

Eccoci qua: il filmato è stato fatto da alcuni astrofisici, alle Hawaii, e le posizioni sono tutte quelle vere. Vedremo la *Via Lattea*, dietro il disco della nostra galassia; ci alzeremo dal sistema solare e incontreremo *Orione*, che vi ho fatto vedere prima, dove nascono le stelle; quindi la *Testa di Cavallo*, e *Rosetta*... Naturalmente si viaggerà a velocità molto maggiore della luce!

Quindi ci solleveremo dal piano della galassia e incontreremo la luce abbagliante del centro del “*bulge*”. Ad un certo punto ci staccheremo dalla nostra galassia e imboccheremo lo spazio siderale, quasi vuoto. Sarà la volta di *Andromeda*, una delle galassie più vicine, e della grande *nube di Magellano*. Ci muoveremo dentro il *Gruppo Locale*: enormi spazi incredibilmente vuoti, con piccole galassie che ci verranno incontro, e galassie a spirale... Quindi ci sposteremo verso l'ammasso di galassie più vicino alla nostra, quello della *Virgo*, la “*Vergine*”, fino a quella galassia ellittica che già abbiamo visto, l'*M87*...

Qui il nostro viaggio avrà termine..., e io vi ringrazio fin d'ora per l'attenzione e l'interesse che avete manifestato.

Francesca Matteucci

Portogruaro, 19 ottobre 2011

⁷ Un altro viaggio nell'universo è proposto in *you tube*, all'indirizzo <http://www.youtube.com/watch?v=JAXz3x-nqTU>

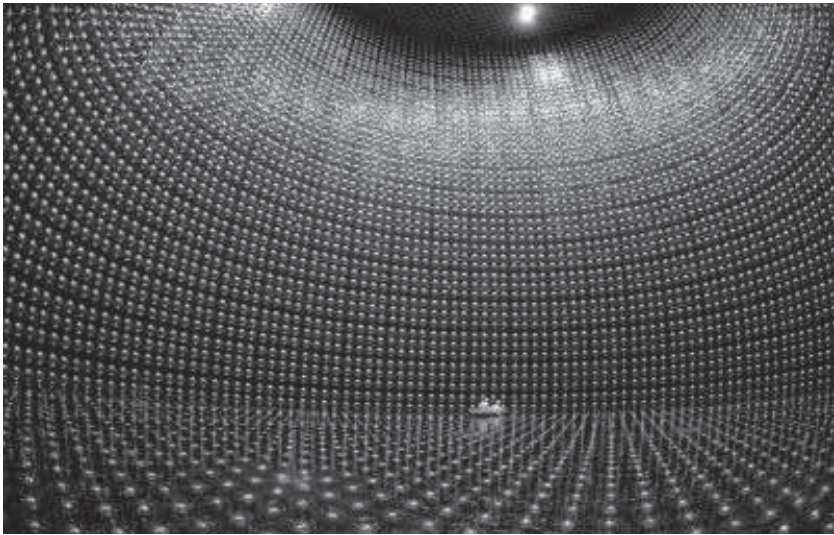


DOMANDE

Buongiorno a tutti, complimenti alla dottoressa perché, effettivamente, oggi abbiamo sognato; volevo chiedere una cosa, una curiosità più che altro personale, anche se di uscita recente: ho letto da qualche parte che viene messo in discussione Einstein e la sua teoria della relatività. Se questo fosse vero, cosa cambierebbe nell'astrofisica?

Bella domanda... Lei l'ha letto perché effettivamente è stato dato l'annuncio che la velocità dei neutrini sarebbe superiore a quella della luce...

Ora, noi scienziati veniamo addestrati, fin da piccoli, ad essere molto cauti: quindi questa cosa deve essere verificata. Prima di dire che la cosa è vera, o che la teoria di Einstein non funziona, devono passare tantissimi test.



L'intercettore di neutrini dell'osservatorio Super-Kamiokande, costruito in una ex miniera a Kamioka (Giappone), a 1.000 metri di profondità. Il rivelatore è composto da oltre 3.000 cilindri (dei quali nella foto si vede la base) contenenti complessivamente circa 50.000 tonnellate d'acqua

Io non mi sento di dire se sia vera o no, però le posso

dire che se fosse vera comporterebbe delle grosse modifiche. Per esempio, io e mio marito (fa anche lui l'astronomo) abbiamo fatto un calcolo: se i neutrini emessi un istante prima (come riteniamo) dell'esplosione della *supernova* 1987a -misurati anche dal Gran Sasso- viaggiassero alla velocità che dicono loro, sarebbero stati in realtà emessi ben quattro mesi e mezzo dopo l'esplosione. Le posso dire sinceramente che con le teorie che abbiamo adesso, la cosa risulta inspiegabile. Quindi, chiaramente, se questo fosse vero, dovremmo rivedere moltissime cose, come per esempio il marchingegno con cui le *supernove* esplodono.

Tuttavia io vorrei ricordare a tutti una cosa: che le scoperte ci sono, ce ne sono state tantissime in questi ultimi quattrocento anni, ma nessuna scoperta ha mai negato le scoperte precedenti; Einstein non ha negato Newton, lo ha inglobato... E questo sarà ancora. Se i neutrini fossero *superluminali* (già qualcuno sta mettendo a punto delle teorie che tengono conto di questo) la teoria di Einstein diventerebbe un caso particolare... Però aspetterei ancora prima di dire che questo è effettivamente vero.

Infine, per rispondere chiaramente alla sua domanda: sì, cambierebbero molte cose nell'Astrofisica.

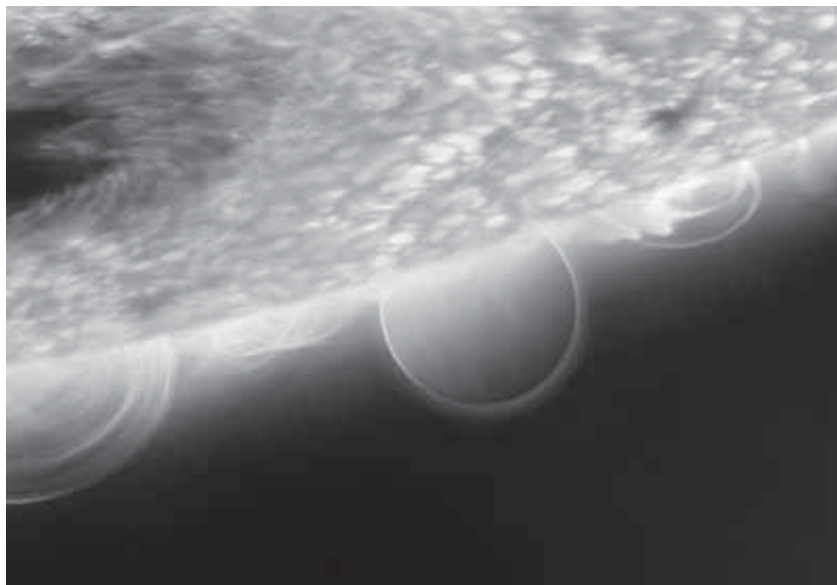
Beatrice

Secondo lei esistono altri universi dove magari ci sono altre forme di vita complesse?

Bravissima, grazie della domanda, perché avrei voluto anche dirlo nel corso della piccola conferenza.

Sì. Diciamo che noi abbiamo scoperto finora qualcosa come sette-ottocento sistemi solari al di fuori del nostro, che le stelle come il sole sono comunissime e che ci sono anche sistemi con pianeti. I grandi telescopi che vi ho mostrato sono stati progettati e costruiti proprio per vedere questi si-

stemi oltre il nostro, e anche al di fuori della nostra galassia, e per studiarli in dettaglio. Quello che si sta cercando sono pianeti simili alla terra, perché noi abbiamo poca fantasia e cerchiamo tipi di vita come la nostra.



Il pianeta HD 189733b

Parlando di probabilità, c'è una probabilità altissima che ci siano altri mondi popolati da altri esseri. Come ho detto, infatti, ogni galassia possiede cento miliardi di stelle, e ci sono un centinaio di miliardi di galassie nell'universo, quindi fatevi il conto...

Il punto è che le distanze sono così grandi che per comunicare con eventuali altre civiltà ci metteremmo come minimo mille - duemila anni a mandare un segnale e altri mille - duemila a riceverne di eventuali: sono dei tempi enormi per le scale temporali di noi umani. Ma sicuramente ci sarà qualche altra cosa...; perlomeno diciamo che l'aspettativa c'è: non vedo perché dobbiamo essere gli unici! Persiste l'idea, forse anche suggerita dalla chiesa, che l'uomo sia unico... Ma possiamo mantenere ugualmente l'unicità

nel nostro modo di essere: ciò non implica che non ci siano altre forme di vita. Questo concetto è stato sempre molto osteggiato, come il darwinismo...

Noi astrofisici, basandoci su quel che vediamo, riteniamo che ci sia un'altissima probabilità di altre forme di vita¹.

Eleonora

Ma se la teoria del *Big Crunch* è vera, può essere che l'Universo sia già esistito più volte?

No. Abbiamo provato che la teoria del *Big Crunch* non è valida: l'Universo si espande per sempre: dalla legge di Hubble misurata con le *supernove* e dalla reazione di fondo a microonde, l'Universo che viene fuori è un universo fatto in quel modo che ho detto, e in espansione eterna. Quindi il *Big Crunch* è eliminato, se abbiamo ragione. Altrimenti sì, se fosse vera la teoria il *Big Crunch* si dovrebbe prevedere un altro probabile *Big Bang*. Andiamo un po' sulla fantascienza, però! Ecco, con queste cose che sembrano fantascienza, in realtà... poi c'è gente che ci ha preso il Nobel!

Speriamo di non sbagliarci...

¹ Sul pianeta chiamato HD 189733b, la temperatura molto elevata non rende possibile nessuna forma di vita. Tuttavia, il pianeta si presta ad essere osservato in quanto scompare dietro la propria stella ogni 2,2 giorni e, studiando i regolari cambiamenti della luce che raggiunge la Terra, gli scienziati sono in grado di analizzare l'atmosfera del pianeta. Sono già stati trovati vapore acqueo e metano. Le nuove osservazioni di Hubble dimostrano che la chimica di base necessaria per lo sviluppo della vita può essere misurata anche su pianeti in orbita attorno ad altre stelle.

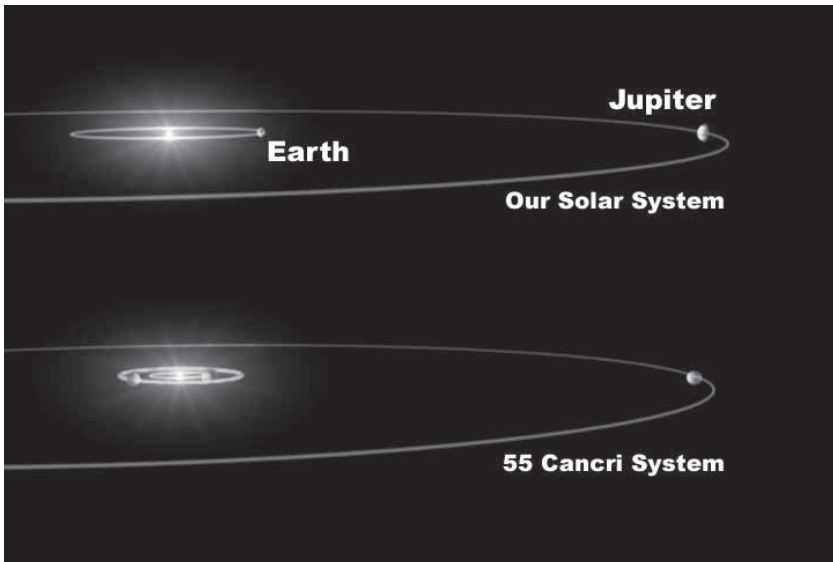
Giorgia

Come hanno fatto a scoprire il pianeta Gliss, se è così lontano dalla terra?

Beh, scusa, ti ho detto che abbiamo scoperto delle galassie a tredici miliardi di anni luce! Il pianeta non sta certo a tredici miliardi di anni luce! La potenza dei telescopi è tale che viene catturata la luce anche di oggetti molto flebili. C'è un telescopio in orbita, che si chiama *Kepler*, che serve proprio per scoprire se ci sono altri pianeti: e li scopre guardando i sistemi binari e vedendo se c'è una variazione di luminosità nelle stelle... (se c'è vuol dire che può essere prodotta da un pianeta).

E' chiaro che non possiamo vedere un pianeta a tredici miliardi di anni: possiamo tuttavia vedere l'intera nostra galassia, che è enorme, e di cui noi occupiamo un microscopico posto in periferia.

Il nostro Sistema Solare confrontato con quello di 55 Cancri



Jacopo

Se è vero che l'universo era concentrato in un attimo primordiale, è possibile che intorno all'attimo primordiale ci fosse qualcosa di corrispondente allo spazio e al tempo?

No, la teoria dice che...

Non sappiamo cosa c'era prima: c'è la teoria delle stringhe che cerca di dirlo, ma non è provata. Quello che pensiamo è che l'universo sia nato insieme allo spazio e al tempo, cioè che il *Big Bang* abbia creato lo spazio e il tempo e la materia... Nei primissimi istanti vi era quello che definiamo il *brodo primordiale*, *primordial soup*: un misto di particelle elementari, perché ogni protone e neutrone è fatto da particelle più piccole; le temperature erano enormi (10^{13} gradi Kelvin). Poi, mano a mano, questa temperatura è calata contestualmente all'espansione dell'universo. Quando è arrivata a un miliardo di gradi si sono cominciati a formare gli elementi leggeri (ovvero non c'erano più solo particelle elementari), ma questi si sono uniti per formare nuclei: però la materia era ancora allo stato ionizzato, cioè gli elettroni non erano attaccati ai nuclei. Poi son dovute passare alcune altre centinaia di milioni di anni prima di avere la cosiddetta *ricombinazione* (quando gli atomi diventano neutri, cioè si "acchiappano" i loro elettroni) e quindi la formazione della materia che conosciamo.

Valentina

E' vero che l'Universo ha un'eco? Un suono di fondo: l'eco fossile...

Beh, penso che tu intenda proprio la radiazione di fondo a microonde; se riesci a trasformarla in un suono, probabilmente è quello!

Agnese

Come hanno calcolato la velocità della luce?

Ci sono stati degli esperimenti fondamentali, fatti da Michelson e Morley, che trovate sui libri di fisica... Ci sono un sacco di esperimenti che l'hanno misurata, e la teoria di Einstein è stata verificata, soprattutto quella della relatività generale, al millesimo: per esempio lo spostamento del perielio di Mercurio era stato previsto da Einstein nella sua teoria, e le misure l'hanno esattamente confermato, e così la velocità della luce.

Poi ti indirizzerò alla lettura di qualche libro, perché occorrono parecchi dettagli per spiegare gli esperimenti che hanno portato a misurare la velocità della luce. Comunque ci sono degli esperimenti fondamentali (vai sul web: *Michelson and Morley*) in cui è stato verificato che la luce si muove a quella velocità. La teoria della relatività speciale dice che nulla può andare al di sopra della luce. Però, come spesso abbiamo visto nella storia secolare della fisica, affermazioni apodittiche di solito vengono poi contestate e quindi, ritornando alla domanda precedente, può anche essere che la velocità della luce sia superabile...

Tuttavia, per entrare nel dettaglio dovrei spendere troppo tempo: il dettaglio richiede anche conoscenze di meccanica quantistica...

Mattia

Che cosa c'era prima della materia?

Niente... non lo so, non lo sappiamo...

Noi possiamo dirti quello che c'era dal momento in cui la materia si è formata. Questa è una domanda fondamentale: ce la facciamo tutti, me la facevo anch'io quand'ero bambina: "ma oltre il mondo che c'è?" Questa cosa ce la

chiediamo come uomini, come tutto...

Dal punto di vista scientifico la teoria del *Big Bang* ti dice che c'è stato un istante in cui l'Universo si è formato e si è creata istantaneamente la materia, e lo spazio insieme; è la materia che ha creato lo spazio, in qualche modo; prima... non lo so. Ci sono anche della teorie che cercano di spiegare cosa c'era prima, ma sono teorie non ancora provate.

Caterina

- La Terra potrà essere un giorno risucchiata da un buco nero?

La terra, fra cinque miliardi di anni sarà inglobata nel sole, perché quando il sole diventerà una *gigante rossa* aumenterà il suo raggio di cinquanta volte e la Terra verrà inglobata insieme a tutti i pianeti fino a Giove, quindi distrutta... Ma tu non ci sarai, perché... tra cinque miliardi di anni...

Jasmina

I buchi neri equilibrano la posizione di tutte le costellazioni o no?

No, anche perché le costellazioni sono una nomenclatura che è stata data dagli antichi a stelle che sembrano stare insieme, ma che in realtà insieme non stanno per niente e magari sono situate a grande distanza l'una dall'altra.

Di *buchi neri* nella nostra galassia ne sono stati "visti" un paio. In realtà non si vedono, ma se ne deduce l'esistenza dal fatto che ci sono dei sistemi di stelle che mostrano che c'è un compagno invisibile (il *sistema binario*) con una grande gravità, e che nella realtà può essere un buco nero. Buchi neri, appunto, ne abbiamo identificati un paio nella nostra

galassia e uno nella nube di Magellano: chiaramente hanno un effetto devastante sulle stelle che stanno loro vicine. Ma per fortuna noi nel sistema solare non ne abbiamo nessuno vicino; poi i buchi neri esistono anche nel centro delle galassie: sono di grandi masse, perché prodotti dall'accumulo di tanti buchi neri più piccoli. Proprio per questo non sarebbe entusiasmante vivere nel centro della galassia: saremmo mangiati dal buco nero rapidissimamente; il buco nero ingloba qualunque cosa gli passi vicino. È come un grande immondezzaio cosmico!

Riccardo

Cosa si trova al centro di un buco nero?

Fate delle domande difficilissime!

Qualcuno dice che si passi in un altro universo!

[Persona del pubblico]

Volevo chiederle, visto che la nostra vita di uomini è breve, se per gli astrofisici non sia frustrante avere così poco tempo per studiare delle cose che esistono da... non mi ricordo neanche più da quanto?

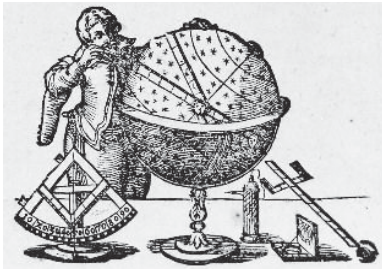
Da quattordici miliardi di anni.

Sì, diciamo che la brevità della vita è un problema un po' per tutti gli umani. Chi ama questo mestiere cerca di lasciare un piccolo ricordo di sé nel campo della ricerca scientifica: almeno che il proprio nome possa venir ricordato per aver portato un piccolo apporto alla conoscenza. Chiaramente a tutti noi piacerebbe vivere in eterno, per poter scoprire sempre di più. La sua è una domanda molto bella, sicuramente la frustrazione di non avere tempo a sufficienza è una sensazione, un sentimento che molti di noi hanno; per

esempio io non so se avrò tempo a sufficienza per vedere ciò che l'*Extreme Large Telescope* produrrà, perché ci vorranno anni ed anni, ed io sarò una vecchia bacucca quando verrà fuori qualcosa.

[Persona del pubblico]

Ma come si conciliano teorie come quella del Big Bang con gli insegnamenti della religione?



Questo è un altro discorso. Credere in Dio è un fatto personale, è un fatto di fede. La fede e la scienza non vanno mescolate, chi le mescola sbaglia. Io posso essere scienziato e credere anche in Dio, come posso anche non crederci. Le due cose non vanno unite: quel ragazzo mi ha chiesto prima cosa c'era prima del *Big Bang*, se lei crede può anche pensare che il *Big Bang* l'abbia acceso il Padreterno... Però queste sono due cose, due dimensioni completamente diverse. Noi fisici spieghiamo come sono successi i fatti, non i loro primi perché. I perché li chiediamo alla religione, alla filosofia, non è compito nostro.

Comunque molti scienziati non credono, ha ragione, e quindi non hanno una grande aspettativa su quello che sarà l'aldilà. Probabilmente è un problema molto comune...

Marco

Quanto grande deve essere un asteroide per distruggere la terra?

Più o meno come la terra, suppongo.

Francesca

Nella foresta di Tungusta, in Siberia, l'asteroide come ha fatto a entrarci?

Beh, l'asteroide è caduto, semplicemente! Ha attraversato l'atmosfera ed è caduto. Quando le fasce di asteroidi orbitano intorno alla terra, qualcuno entra nell'atmosfera, e quando entra nell'atmosfera, a causa dello sfregamento e dell'impatto, lo vedi come una stella. Come quando si vedono le "stelle cadenti": in realtà non sono stelle ma meteoriti che, entrando nell'atmosfera, per la frizione si vedono luminosi.

Purtroppo, il rischio che ogni tanto ci caschi in testa qualcosa ce l'abbiamo, ma non è un rischio molto alto...

Mattia

Quali sono le prove dell'espansione dell'Universo?

Le due prove principali sono la legge di Hubble e la radiazione di fondo a microonde. Questi sono i due pilastri della teoria del *Big Bang*. Il primo perché è come la storia solita del palloncino: se immaginate il palloncino con dei puntini disegnati, oppure il panettone con l'uvetta, quando il panettone lievita le uvette più lontane si allontanano più velocemente di quelle più vicine. E questo a prova che lo spazio si sta espandendo: non sono le galassie che si allontanano, ma lo spazio che si espande. La radiazione di fondo inoltre, che è isotropa (cioè ci arriva uguale dappertutto), permea tutto: la spiegazione più logica è che questa sia il relitto della radiazione del *Big Bang*, che da temperature mostruose, ha raggiunto quasi lo zero assoluto.

Questi sono i due pilastri di base sui quali poggia tutta la cosmologia del *Big Bang*.

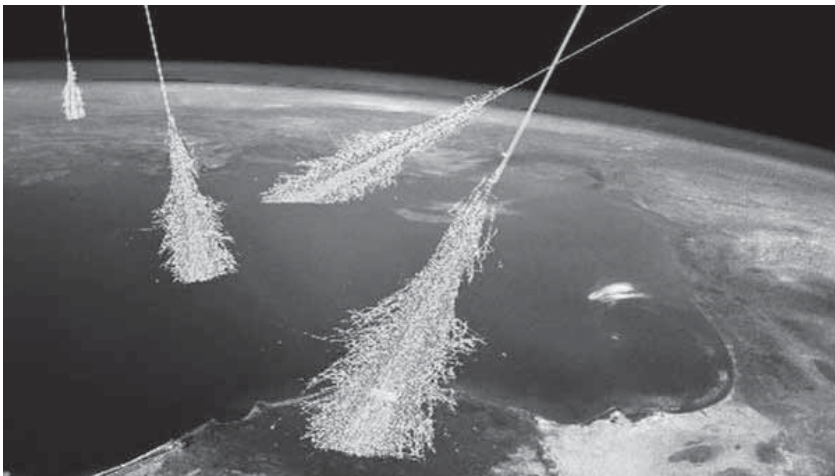
Alen

Mi piacerebbe sapere cos'è l'antimateria...

L'antimateria esiste, ce n'è una quantità molto piccola perché durante il *Big Bang* si è distrutta, ma esiste. Essa è praticamente l'opposto della materia dal punto di vista delle cariche: così come nella materia c'è il protone, nell'antimateria c'è l'anti-protone: se il protone è positivo l'anti-protone è negativo; poi c'è l'elettrone: l'elettrone è negativo, il positrone positivo... Gli atomi sono fatti con delle cariche elettriche opposte, per cui se la materia e l'antimateria si incontrano sono destinate ad annichilarsi. Noi non abbiamo ancora capito benissimo perché, durante il *Big Bang*, la materia abbia largamente predominato sull'antimateria, però è così.

L'antimateria esiste, la troviamo nei raggi cosmici, ed è fatta di particelle ad altissima velocità che vengono espulse durante le radiazioni di *supernova*. Sono raggi molto fastidiosi per i piloti d'aerei.

Docce di raggi cosmici. Rappresentazione artistica dell'arrivo di particelle ad alta energia sulla Terra (Credits: Simon Swordy -U. Chicago-, NASA)



Umberto

Plutone è considerato un pianeta?

Plutone? Ma non lo so! Ci sono alcune cose che vengono decise dall' *Unione Astronomica Internazionale*, e sono cose decise a tavolino! Plutone è certamente un oggetto planetario: non mi ricordo se abbiano deciso che è un pianeta o che non lo è, probabilmente no...

Io non so tutto, perciò abbiate pietà!

Ludovica

Possono esistere altri stati della materia, oltre a quelli solido, liquido e gassoso, in altre galassie?

Non credo. Non lo so. Noi non li abbiamo certamente notati. La materia barionica, quella che vi ho fatto vedere nello spicchetto riportato a pagina 41, è quella che conosciamo. Altri stati, oltre a questi tre, non ne conosciamo. Tuttavia c'è un altro tipo di materia, diversa di cui abbiamo parlato, ed è appunto l'antimateria, che non sappiamo di cosa sia fatta!

Amira

Perché Venere ruota in senso orario e altri pianeti ruotano in senso anti- orario?

Dipende dalla dinamica del sistema planetario, da come si è formato: alcuni ruotano in un senso, altri in un altro. C'è tutta una modellistica, sotto, che consente di spiegare queste realtà. Ed è così anche per le galassie. Per poter rispondere a queste domande nel dettaglio bisogna avere a disposizione tutta una serie di informazioni, di modelli: in generale possiamo affermare che il moto del pianeta dipende dalle condizioni iniziali in cui si è formato il sistema.

Beatrice

Potrebbero esistere forme di vita fatte di materia oscura?

Forme di vita composte di materia oscura? E chi lo sa? Non lo so! La vita che conosciamo noi è fatta dalla chimica del carbonio. La materia oscura non barionica non ha il carbonio, quindi io non posso riuscire a immaginare se ci possa essere una forma di vita in una forma di materia che non conosco. Purtroppo però noi conosciamo solo ciò che abbiamo intorno. Quello che stiamo cercando nello spazio è una forma di vita simile alla nostra: uno si può immaginare quello che vuole, ma bisogna partire da cose concrete...

Leonardo

Mi ricordo che la settimana scorsa, il sabato 9, sono cadute tante stelle cadenti. Come mai?

Erano asteroidi. Quelle che chiamiamo “stelle cadenti”, sono sempre asteroidi. Il fatto che le vedete luccicare è perché quando entrano in atmosfera sfregano, l’impatto crea questo (luccichio); sembrano stelle ma non lo sono.



Astronomo

Astronomo, in J. Hevelius, Selenographia sive lunae descriptio, Gedani, sec. XVII, fig. F

Marcello

Cosa succede se una galassia esplose?

“Esplose” è una parola particolare, che vuol dire qualcosa di particolare. Una galassia è fatta da tante stelle e le stelle fra di loro sono lontanissime, quindi per *esplosione* di una galassia si può intendere l'incontro tra galassie, lo sfaldamento che ne consegue e lo sparpagliamento di tutte le stelle contenute.

Gli incontri tra galassie ci sono, e li vediamo: sono degli scontri molto violenti che a volte comportano fenomeni dinamici altrettanto violenti. La galassia di *Andromeda* si sta avvicinando alla nostra più o meno a 200 km al secondo e prima o poi ci verrà addosso: ecco, in questo senso vedo l'esplosione. Ma che una galassia esploda di per sé, questo no: le stelle sono molto distanti l'una dall'altra e sono legate gravitazionalmente, quindi ci vuole un evento esterno per poter creare dello scompiglio.

Ciascuna galassia si evolve per conto suo. L'evoluzione di una galassia dipende da come evolvono le stelle che la compongono. Alla fine, al limite, quando tutte le stelle saranno morte, la galassia potrebbe anch'essa migrare nella materia oscura...

Le stelle fino a quando c'è gas continuano a formarsi, quando tutto il gas sarà consumato ci si possono immaginare diversi scenari...

Caterina

Perché il cielo è azzurro se l'Universo è nero?

L'azzurro del cielo è dovuto all'atmosfera, alla luce che filtra nell'atmosfera: avvengono fenomeni di interazione tra la luce e la materia che determinano questo colore. Fuori è buio perché gli spazi tra le stelle e fra le galassie sono così

enormi e vuoti... Ricordàtelo: non c'è atmosfera, per cui c'è il buio più assoluto. E' l'atmosfera che, diffondendo la luce, crea questo colore.

Elisa

Quando è nato in lei questo interesse per l'astrofisica?

Credo che sia nato durante il tempo in cui facevo fisica... Io sono partita con l'idea di fare fisica, poi l'astrofisica mi sembrava la fisica del futuro, perché della Terra abbiamo studiato parecchio e sappiamo molte cose... Quello che mi stimolava era scoprire l'Universo, scoprire quello che c'era fuori di noi. Era una cosa che mi affascinava anche da bambina, quando mi chiedevo, come il vostro compagno, cosa ci fosse prima del *Big Bang*, o cosa ci fosse oltre il mondo... Domande così...

E durante gli anni dell'Università ho deciso che proprio questo avrei fatto: cercare risposte a queste domande!

Tommaso

Dopo che il nostro sole sarà morto, ce ne sarà un altro?

No, no. Lì dov'è lui, no. Diventerà una *nana bianca*, cioè un oggetto molto compatto (come un fagiolo che pesa quanto un camion) che continuerà per un miliardo d'anni ad essere luminoso, raffreddandosi progressivamente. Una volta che si sarà raffreddato la luminosità cesserà completamente e diventerà materia oscura barionica, cioè quella che conosciamo. In quel punto lì probabilmente non nascerà un altro sole, ma potrebbe darsi che un altro si formi po' più in là, in ogni caso parecchio distante da noi.

Nel momento in cui il sole diventerà una nana bianca noi non ci saremo più da un bel pezzo, perché saremo morti già

molto prima, quando il sole passa la fase di gigante rossa. Poiché le stelle si formano dove c'è gas, e noi ci troviamo in una zona del braccio della spirale galattica dove c'è anche gas, lì vicino (vicino per modo di dire, perché si tratta di distanze... astronomiche!) altre stelle si formeranno dopo il sole. Ma in posti diversi, non necessariamente in prossimità di dove siamo noi ora.

Valentina

I buchi neri esplodono?

No. I buchi neri non esplodono.

Il buco nero è un oggetto che ha una densità ancora maggiore della stella di neutroni. In esso la gravità è così forte che non lascia uscire neanche i fotoni di luce: quindi il buco nero non è una cosa che esplode, ma è ciò che rimane dell'esplosione di una stella molto, molto grande.

Non so se avete mai sentito parlare dei *lampi gamma* (ce n'è uno al giorno nell'universo): sono delle emissioni enormi di raggi gamma che avvengono dappertutto, e che si pensa siano in collegamento con l'esplosione di una stella molto, molto massiccia che lascia un buco nero al suo interno. Se questo è vero, ognuno di questi raggi gamma ci dice che si sta formando un buco nero...

Comunque il buco nero non esplode: è quello che resta dell'esplosione.

Sig.ra Di Dario

Due brevissime domande, anche se non chiedo di una risposta esaustiva, ma breve per entrambe. La prima riguarda i cerchi, i cerchi nel grano scoperti in America Latina. Gli scienziati, i ragazzi, i giovani, gli adulti, che si occupano degli Ufo, hanno mai chiesto aiuto agli

astrofisici, ai cosmologi, per verificare se questi disegni rappresentano un'immagine di qualche galassia?

La seconda domanda si riallaccia invece all'introduzione formulata dal prof. Dazzan, alla nascita di questa disciplina, molto "romanticamente" legata anche alla mitologia greca, ma anche ai racconti dei nostri nonni, e poi alle questioni del clima, alla misurazione della superficie terrestre, all'avvicendamento delle stagioni... Quanto la climatologia italiana o internazionale si preoccupa di entrare in contatto con la comunità degli astrofisici per verificare quali possono essere le modificazioni legate al clima?

Per la prima domanda: no! cosmologi e ufologi sono comunità completamente opposte. Noi astrofisici non abbiamo mai visto degli Ufo: e saremmo stati i primi, con tutti i telescopi che abbiamo...

Ciò non Significa ovviamente che non ci possano essere stati prima, non so... Ma riguardo a questa particolare cosa dei cerchi sul grano non sono stati chiesti suggerimenti, che io sappia: gli scienziati sono a volte piuttosto saccenti e dicono: "non esiste niente di tutto questo!"; gli altri invece sono fermamente convinti del contrario...

Quindi che io sappia...

Che i cerchi abbiano poi la forma di qualche galassia... non so, è una domanda interessante, bisognerebbe vedere...

Per quanto riguarda invece la seconda questione, noi astrofisici studiamo tutto ciò che è al di fuori della Terra. Ci sono dei fisici che studiano proprio il clima e la Terra: sono i *geofisici*. Certamente vi sono dei legami fra la climatologia e l'astrofisica, e ci sono gruppi di studiosi che collaborano su questo, anche se la climatologia è oramai una scienza a sé.

Per esempio c'è l'influenza delle macchie solari sul clima, o per lo meno sembra che ci sia una correlazione tra

le due cose: quindi sicuramente c'è gente che studia questi problemi in collaborazione.

Prof. Dazzan

Gentilissima professoressa, a conclusione del nostro viaggio le vorrei riproporre la domanda iniziale: quanto di ricerca pura e di pura sete di conoscenza e quanto di interesse economico e politico c'è oggi nella ricerca astronomica, astrofisica o cosmica?

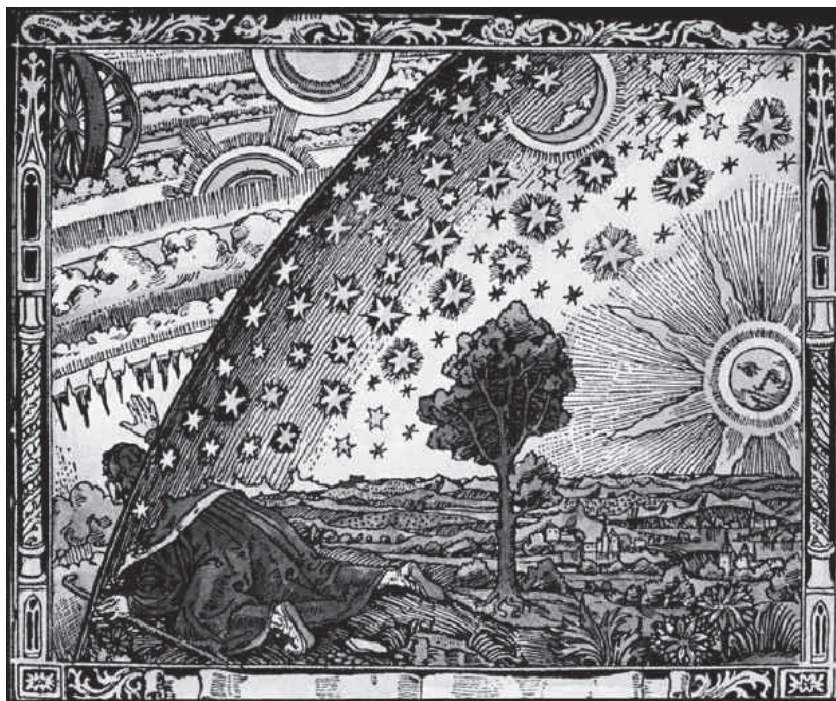
Mah, io direi che l'astrofisica è proprio una di quelle cose in cui l'interesse politico è piuttosto scarso: per questo ce la finanziano male! Non è un settore di ricerca che possa servire a costruire armi o cose di questo genere, oppure essere immediatamente applicabile all'industria. Si tratta di qualche cosa che essenzialmente ci porta a valori conoscitivi.

Di cose che studiamo nel cosmo, e che potremmo "portare" sulla terra, mi viene in mente solo la fusione nucleare, che avviene dentro le stelle. Hanno provato a riprodurla in laboratorio, ma le condizioni di plasma stellare sono difficilissime da mantenere, ed ha costi enormi, quindi chiaramente...

L'astrofisica può dare lavoro alle industrie dei satelliti o a chi costruisce i telescopi: qualcosa di politico c'è sempre, ovviamente. Ma fra tutte le branche della fisica è forse una di quelle meno compromessa in questo. Chiaramente ci vuole una decisione politica, da parte degli stati, per investire in queste cose o meno. Purtroppo in Italia, come saprete tutti, l'investimento nella scienza, non solo nell'astrofisica, è minore che in tutto il resto d' Europa e in parecchie altre parti del mondo. Anche in America adesso sono un po' in crisi, infatti l'*Hubble Space Telescope* sta per morire: ha fatto 21 anni gloriosi e dovrebbe essere sostituito con suo figlio, *James Webb Space Telescope*, ma pare che Obama abbia

comunicato alla Nasa che forse non si fa, e sarebbe una gravissima cosa per la scienza.

Questa è certamente una scelta politica!



Per concludere

Bene, direi che a questo punto non ci resta che ringraziare la professoressa Matteucci per averci accompagnati in questo viaggio affascinante attraverso gli spazi interstellari, ma volevo ringraziare anche Carrefour e Centro Commerciale Adriatico, nella persona del dottor Di Dario qui presente, che ci permettono di offrire ai ragazzi della scuola questo stimolo alla curiosità e alla conoscenza.

Daniele Dazzan

Io invece ringrazio innanzitutto per l'invito, perché credo e continuo a sostenere che questa sia un'opportunità per tutti, persone adulte e studenti.

Ringrazio naturalmente anche la professoressa Matteucci, che è stata davvero brillante: non ci ha fatto per nulla appisolare... e questo non mi pare poco.

Fernando Di Dario