

PESA DI PIÙ UN CHILO DI POLISTIROLO O UN CHILO DI FERRO?

In prima approssimazione, si può dire che la densità esprime il grado di *compressione* della materia in un volume. Immaginiamo di trovarci a Siena, in Piazza del Campo, dapprima in una tranquilla domenica di primavera, poi in un giorno in cui si corre il Palio: in quest'ultimo caso la densità (di popolazione) è più alta, e ce ne accorgiamo dal fatto di essere più *schiacciati*. Anche in natura la densità di un oggetto si misura in base al numero di componenti (gli atomi) che occupano un dato volume.

La densità (ρ) è il rapporto tra la massa e il volume di un corpo.

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

QUESTO BLOCCO DI POLISTIROLO E QUESTO PESO DI FERRO HANNO LA STESSA MASSA MA LA LORO DENSITÀ È NOTEVOLMENTE DIFFERENTE: 0,02 GR/CM³ PER IL POLISTIROLO, 7,87 GR/CM³ PER IL FERRO. PERCIÒ I DUE CORPI OCCUPANO VOLUMI DIFFERENTI.



In generale, poiché il concetto di densità coinvolge due grandezze distinte che possono variare indipendentemente l'una dall'altra (massa e volume), esso non è sempre di immediata percezione. Infatti, come abbiamo già visto, oggetti con la stessa massa possono avere densità differenti. Anche se talvolta non è facile dimostrarlo...



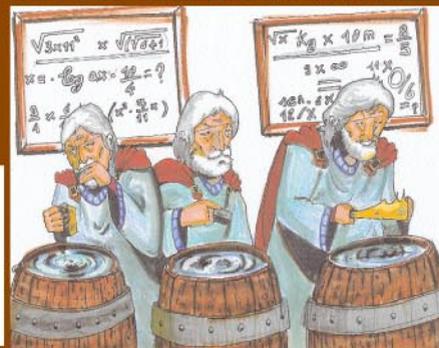
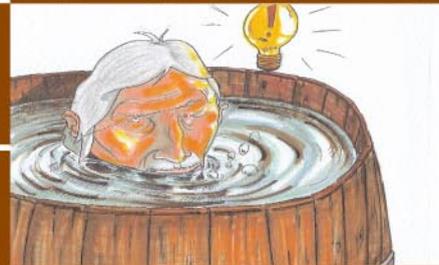
EUREKA! (NON È TUTTO ORO CIÒ CHE LUCCICA)

Gerone, divenuto tiranno di Siracusa, decise, a compimento di un voto fatto agli dei immortali, di fare esporre in un tempio della città una corona d'oro. Il re fu però indotto a sospettare che una parte dell'oro fosse stata sottratta e sostituita con argento durante la lavorazione della corona.

Gerone, convinto di essere stato ingannato, si rivolse ad Archimede per un consiglio. Un giorno quest'ultimo, meditando sul problema mentre stava facendo il bagno in una tinozza, notò che man mano che il suo corpo affondava il livello dell'acqua nella tinozza saliva.

La leggenda dice poi che Archimede prese due corpi dello stesso peso della corona, uno d'oro e l'altro d'argento, riempì d'acqua un grande secchio, indi vi immerse il corpo d'argento, facendo traboccare un volume d'acqua uguale a quello del corpo d'argento. Lo stesso esperimento fu poi ripetuto col corpo d'oro e si poté osservare che la quantità d'acqua che traboccava in questo caso era minore che nel caso dell'argento. Infine Archimede immerse nell'acqua la corona e poté notare che la quantità di acqua che usciva in questo caso dal secchio era maggiore che nel caso dell'oro puro, ma minore che nel caso dell'argento puro, prova inconfutabile che la corona conteneva sia oro che argento" (da Vitruvio, De architectura).

Analogamente, oggetti con lo stesso volume possono avere differenti densità. Una palla da bowling, per esempio, ha all'incirca la stessa grandezza di un pallone da calcio, ma nessuno si sognerebbe mai di colpirla di testa... La densità dipende infatti anche dalla composizione chimica dell'oggetto, in particolare dal peso atomico degli atomi che lo costituiscono.



LA DENSITÀ È UGUALE PER TUTTI?

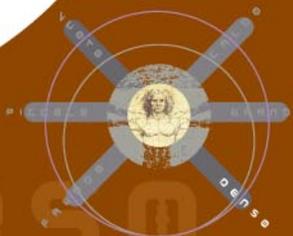
L'esperienza ci suggerisce che le densità degli oggetti con cui abbiamo a che fare variano su un ampio intervallo di valori possibili: dalla densità dei gas alle densità dei solidi, fino alle densità delle stelle, infatti, è immediato notare differenze notevoli. A uno sguardo più approfondito, però, ci si può accorgere che in realtà questo intervallo è minimo: a livello di densità, cioè, fra un insetto e un grattacielo c'è una differenza poco significativa. Questa affermazione, a prima vista in contrasto con la nostra esperienza, trova una spiegazione paragonando le massime densità che si possono trovare nell'Universo visibile con le densità dei corpi con cui abbiamo solitamente a che fare: la densità di ogni oggetto è infatti legata alla sua struttura microscopica, che a livello atomico è la stessa per tutti i corpi.

Lord Rutherford nel 1913 ha scoperto che gli atomi sono quasi completamente vuoti, e la loro massa è concentrata esclusivamente nella regione centrale dell'atomo, il nucleo (il numero di particelle che costituiscono il nucleo è detto peso atomico). La massa di un elettrone è circa 2000 volte minore di quella di un protone, e i "raggi" delle orbite elettroniche sono 2000 volte maggiori delle dimensioni nucleari. Se il nucleo avesse le dimensioni di un uomo e questo si trovasse a Roma, le orbite elettroniche passerebbero per Milano e Palermo.



La struttura microscopica della materia viene alterata solo se vengono superate le forze di repulsione (che derivano dal principio di esclusione di Pauli) che sono le vere e proprie "colonne" sulle quali si reggono la struttura atomica e nucleare. Nelle fasi finali della vita di stelle di massa molto grande, la gravità raggiunge valori così elevati da vincere le forze di repulsione atomiche, facendo aumentare enormemente il livello della densità: man mano che la densità aumenta, la gravità aumenta sempre più, e le strutture atomiche crollano, fino al punto che l'identità degli elementi di cui la materia è costituita viene persa.

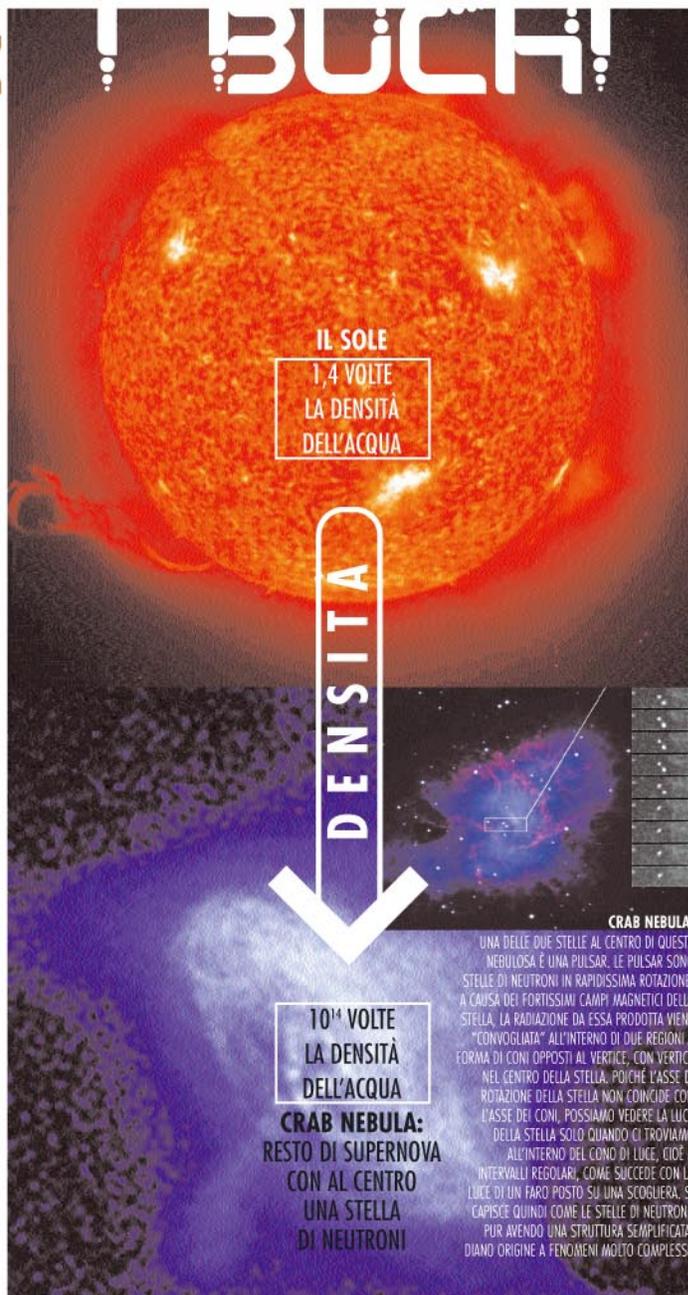
In alcuni film si ipotizza l'idea di rimpicciolire oggetti e persone eliminando il vuoto atomico. Tale ipotesi, molto suggestiva, non è però praticabile nella realtà: un corpo in cui fosse stato eliminato il vuoto atomico assomiglierebbe a un immenso nucleo atomico, e non esisterebbe più alcuna differenza fra i diversi elementi.



TRA LE STELLE E I BUCHI NERI!

In natura esistono oggetti privi di vuoto atomico: si tratta delle stelle di neutroni, che corrispondono alla fase finale della vita di alcune stelle. Quando il combustibile per le reazioni nucleari che avvengono nella stella si esaurisce, il gas non ha più l'energia sufficiente per opporsi all'enorme forza di gravità. La stella comincia quindi a collassare e la sua densità aumenta rapidamente. Nei casi in cui la massa che collassa è superiore a una volta e mezzo quella del Sole, la forza di gravità è talmente alta da rompere completamente gli atomi e anche i nuclei. I protoni e gli elettroni possono stare così vicini da fondersi tra di loro, producendo neutroni. Questo collasso continua fino a produrre una minuscola stella formata soltanto da neutroni, vicini tra loro esattamente come in un gigantesco nucleo atomico, senza spazi vuoti. A questo punto il collasso si ferma. Le dimensioni di questo oggetto sono piccolissime (con raggio di qualche chilometro), ma le masse sono molto grandi (in media il doppio di quella del Sole). Ci troviamo di fronte a oggetti di densità elevatissima: circa 10^{14} volte la densità dell'acqua. Un cucchiaino da caffè di questo materiale peserebbe 500 milioni di tonnellate, cioè quanto il monte Bianco!!!!

La loro struttura è estremamente semplice: un gas composto da un solo tipo di particelle, i neutroni. Nel 1967 una giovane astronoma inglese, Jocelyn Bell, rilevò emissione radio proveniente da oggetti celesti molto piccoli, con raggio di qualche decina di chilometri. Questi oggetti vennero chiamati "pulsars" (pulsating radio stars). Ben presto fu chiaro che i responsabili di questa emissione potevano essere solo le stelle di neutroni, la cui presenza era stata già predetta teoricamente.



COME IL PRINCIPIO DI ESCLUSIONE IMPEDISCE IL COLLASSO DELLA STELLA DI NEUTRONI?

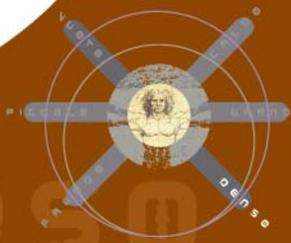
Immaginiamo il parcheggio di un centro commerciale: ogni piazzola può essere occupata da una sola vettura. Gli automobilisti tendono a parcheggiare la macchina nei posti più vicini all'entrata, ma il sabato pomeriggio tutti i posti, anche i più lontani, risultano occupati. Nella stella di neutroni ogni piazzola corrisponde a un possibile stato quantico e il principio di esclusione di Pauli afferma che ogni stato può essere occupato da una sola particella. La materia estremamente densa è come un parcheggio affollato: le particelle vanno a occupare tutti gli stati energetici disponibili, a partire da quelli a energia minima. Essendoci molte particelle, i neutroni sono costretti a sistemarsi anche negli stati a energia più alta (i posti più lontani dall'entrata). Tali particelle, avendo un'elevata energia, forniscono la pressione sufficiente a contrastare il collasso della stella. Nelle stelle a neutroni è sempre sabato pomeriggio!



CRAB NEBULA:

UNA DELLE DUE STELLE AL CENTRO DI QUESTA NEBULOSA È UNA PULSAR. LE PULSAR SONO STELLE DI NEUTRONI IN RAPIDISSIMA ROTAZIONE. A CAUSA DEI FORTISSIMI CAMPI MAGNETICI DELLA STELLA, LA RADIAZIONE DA ESSA PRODOTTA VIENE "CONVOLGATA" ALL'INTERNO DI DUE REGIONI A FORMA DI CONI OPPOSTI AL VERTICE, CON VERTICE NEL CENTRO DELLA STELLA, POICHÉ L'ASSE DI ROTAZIONE DELLA STELLA NON COINCIDE CON L'ASSE DEI CONI. POSSIAMO VEDERE LA LUCE DELLA STELLA SOLO QUANDO CI TROVIAMO ALL'INTERNO DEL CONO DI LUCE, CIOÈ A INTERVALLI REGOLARI, COME SUCCEDEREBBE CON LA LUCE DI UN FARO POSTO SU UNA SCOGHERA. SI CAPISCE QUINDI COME LE STELLE DI NEUTRONI, PUR AVENDO UNA STRUTTURA SEMPLIFICATA, DIANO ORIGINE A FENOMENI MOLTO COMPLESSI.

Sembra impossibile comprimere la materia ulteriormente: non possiamo infatti costringere due particelle a stare più vicine tra loro di quanto lo siano in un nucleo atomico, a meno di non sovrapporre le particelle stesse! Eppure stelle con massa superiore a tre volte la massa del Sole terminano la loro vita in misteriosi oggetti, con densità ancora più elevate di quelle delle stelle di neutroni: i buchi neri.

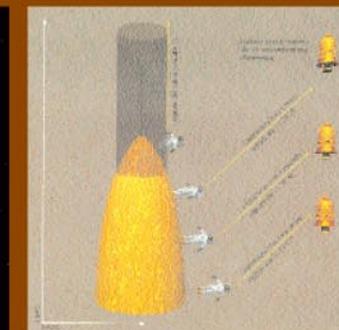


BLACK HOLES

OGGETTI AL LIMITE DELLA DENSITÀ

I buchi neri sono la fase finale della vita di una stella di massa originaria pari o superiore a 3 masse solari. La forza di gravità che esercitano è così intensa che anche la luce (i fotoni) che passa in loro vicinanza viene deviata, fino a esserne inghiottita. Da un buco nero non possono quindi provenire raggi luminosi: questo è il motivo del nome inventato da J. Weehler negli anni '60. La superficie di un buco nero - detta *Orizzonte degli Eventi* - è individuata dalla *distanza di non ritorno* per qualunque corpo o radiazione. L'esistenza di tali oggetti venne ipotizzata per la prima volta nel 1784 da John Michell e poi confermata in modo rigoroso e coerente da Einstein grazie alla *Teoria della Relatività Generale*.

I buchi neri sono oggetti realmente ai limiti della nostra comprensione. Chandrasekhar intuì per primo che oggetti più massicci delle stelle di neutroni sarebbero collassati fino a diventare punti di densità infinita. Eddington, il suo maestro, non accettò mai questa intuizione: "Vari fenomeni possono intervenire per salvare la stella, ma io voglio una protezione maggiore di questa. Io credo che ci debba essere una legge di natura che impedisca alla stella di comportarsi in questa assurda maniera." La Relatività prevede che, per un osservatore esterno, il tempo all'interno di un buco nero sia fermo e che intorno al suo centro le leggi della fisica cessino di valere. La materia che cade oltre l'Orizzonte degli Eventi perde ogni tipo di struttura: anche il concetto di densità perde significato. Nei buchi neri non esistono più atomi né particelle: non è più possibile sapere di cosa sia composta la materia che li costituisce.



IMMAGINIAMO DI MANDARE UN ASTRONAUTA SULLA SUPERFICIE DI UNA STELLA CHE STA PER COLLASSARE E DIVENTARE UN BUCO NERO. IPOTIZZIAMO INOLTRE CHE L'ASTRONAUTA MANDI ALLA SUA ASTRONAVE UN SEGNALE OGNI SECONDO. QUANDO LA STELLA COLLASSA E SI STA PER FORMARE L'ORIZZONTE DEGLI EVENTI, L'ASTRONAVE RICEVERÀ L'ULTIMO SEGNALE DELL'ASTRONAUTA SOLO DOPO UN INTERVALLO DI TEMPO INFINITAMENTE LUNGO: PER L'ASTRONAVE È COME SE IL TEMPO DELL'ASTRONAUTA SI FOSSE FERMATO!

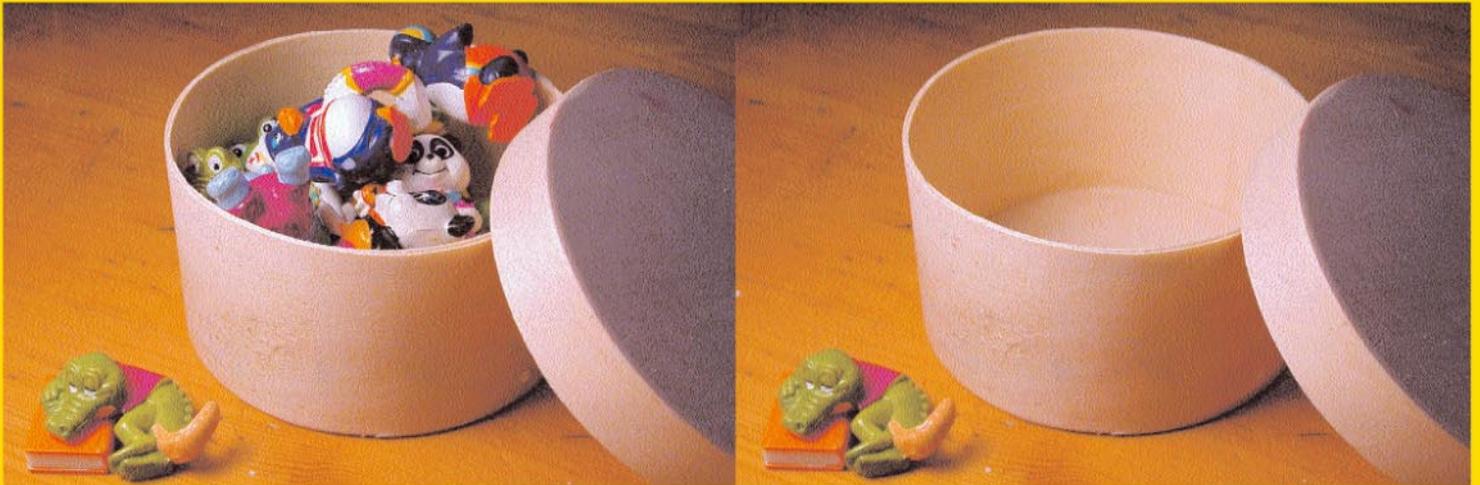
CIGNUS X-1

I BUCHI NERI, NON EMETTENDO LUCE, NON POSSONO ESSERE OSSERVATI DIRETTAMENTE: È COME SE SI NASCONDESSERO. SI PUÒ DEDURNE L'ESISTENZA DAGLI EFFETTI CHE LA LORO PRESENZA PRODUCE NELLE ZONE CIRCOSTANTI. IL SISTEMA CIGNUS X-1 È STATO IL PRIMO IN CUI STORICAMENTE SI SIA PENSATO DI POTER TROVARE UN BUCO NERO: IN ESSO SI OSSERVA UNA STELLA DALLA QUALE VIENE STRAPPATO IL GAS DI CUI È FATTA, IL QUALE SPIRALEGGIA INTORNO AD UN PUNTO IN UNA ZONA VICINA, FORMANDO UN DISCO IN ROTAZIONE SU SE STESSO. AL CENTRO DI QUESTO DISCO IL GAS VIENE LETTERALMENTE INGHIOTTITO, SCOMPARENDO: SI PENSA CHE CIÒ SIA DOVUTO ALLA PRESENZA DI UN BUCO NERO.

UN BUCO NERO DELLA MASSA DELLA TERRA AVREBBE DIMENSIONI DI UNA BIGLIA: UN CORPO A UNA DISTANZA DI CIRCA 6000 KM DA ESSO SUBIREBBE LA STESSA ATTRAZIONE DI GRAVITÀ CHE SUBISCE SULLA SUPERFICIE TERRESTRE.



VUOTO O NIENTE?



Comunemente il vuoto è inteso come assenza di materia. L'immagine che ci viene in mente pensando al vuoto è molto semplice e intuitiva: una scatola dapprima piena, quindi svuotata del suo contenuto.

Non resta più niente?

Niente, eccetto la scatola stessa. Vuota appunto.

Questa idea di vuoto è proprio quella che si aveva fino alla fine del 1800, all'epoca del più alto sviluppo della Fisica Classica. Uno dei massimi esponenti del pensiero scientifico di quel tempo, James Clerk Maxwell (1831-1879), definì il vuoto nel seguente modo:



JAMES CLERK MAXWELL

"Il vuoto è ciò che rimane in un recipiente dopo che tutto ciò che si può rimuovere è stato rimosso" James Clerk Maxwell

Maxwell non fu certo il primo ad avere un tale concetto di vuoto. È una vera e propria eredità del passato, che pone le proprie radici nei primi filosofi della storia. È esemplare la definizione di vuoto di Aristotele:

L'uomo si accorge di ciò che c'è e non di ciò che non c'è.

MA POSSIAMO FARE ESPERIENZA DEL VUOTO?

Consideriamo per esempio l'Universo da noi osservabile. Gli astrofisici sono riusciti a stimare sia le sue dimensioni, sia la quantità di materia in esso contenuta. Si è così scoperto che dovrebbero esserci, in media, circa 4 atomi di idrogeno per metro cubo.

L'Universo quindi è praticamente vuoto.

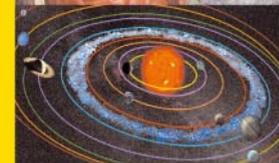
Se ci spingiamo nella direzione opposta, verso l'infinitamente piccolo, ci accorgiamo che anche a livello atomico, in realtà, gran parte dello spazio è vuoto. Se paragoniamo il nucleo a una capocchia di spillo posta in una delle due porte di un campo da calcio, dobbiamo cercare l'elettrone, grande come un granello di polvere, nell'altra porta.

Questa "assenza di materia" sembra essere ciò che più è presente in tutto l'Universo, sia nell'infinitamente grande sia nell'infinitamente piccolo. Come mai allora noi non ce ne siamo praticamente mai accorti? Perché ci sembra che le cose siano fatte di qualcosa piuttosto che di niente?

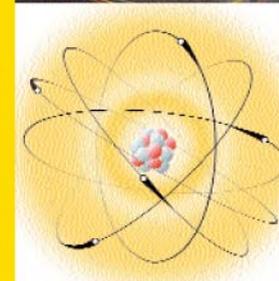
La scienza contemporanea ci porta a rivedere profondamente l'idea di vuoto.



LA SCUOLA D'ATENE (RAFFAELLO SANZIO)
PLATONE E ARISTOTELE



SISTEMA SOLARE



MODELLO PLANETARIO
DELLA STRUTTURA ATOMICA

