

## Scintille di Scienza

### Incontro n.2

5 novembre 2020

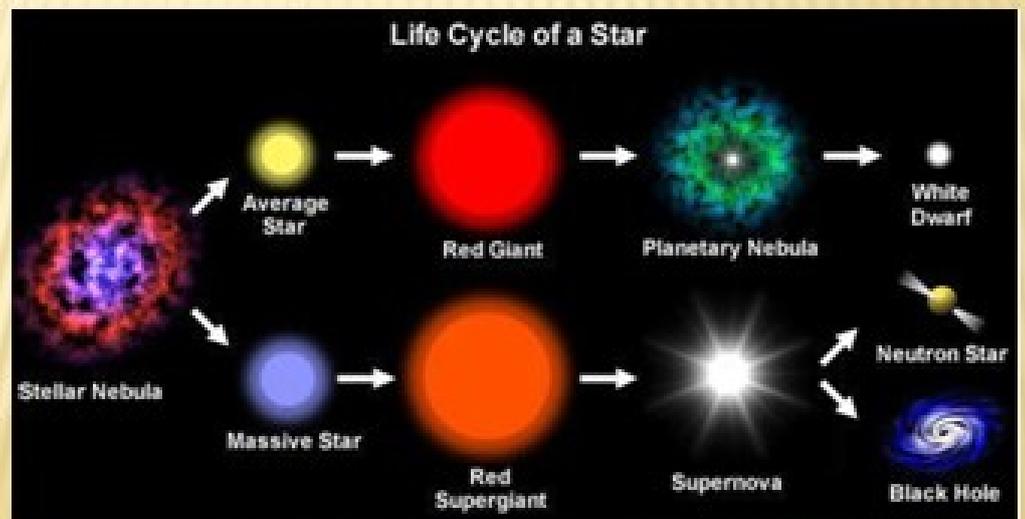
## I buchi neri e i buchi bianchi



### RICETTA

per ottenere un **Buco Nero** serve:

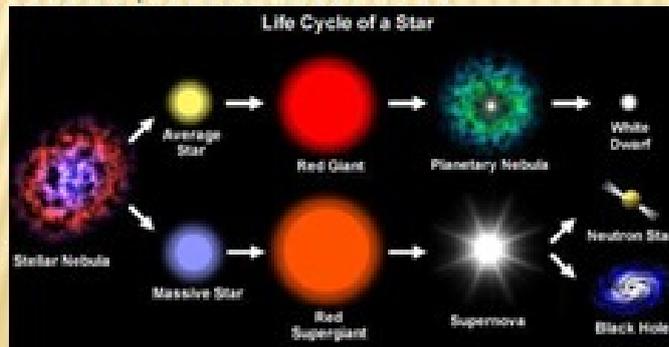
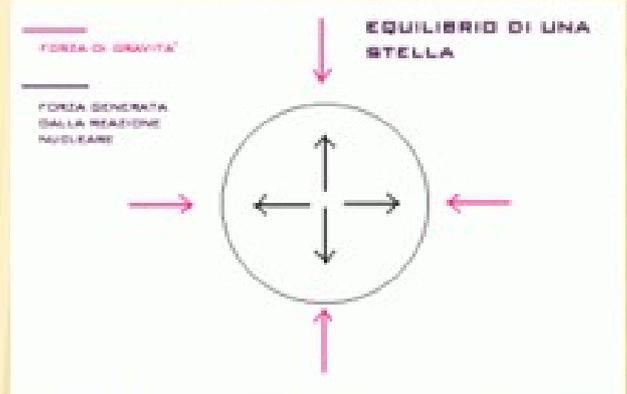
a) una stella massiccia (supergigante o ipergigante), che ha una massa tipicamente 20 volte o più la massa del Sole (quindi grande massa, come nell'immagine l'evoluzione in basso



## RICETTA

per ottenere un *Buco Nero* serve:

b) questa stella, alla fine della sua evoluzione, esaurisce il combustibile e implode, perché l'enorme forza di gravità (*freccette rosse verso l'interno*) non viene più controbilanciata dalla pressione di radiazione interna dovuta alle reazioni nucleari (*freccette nere verso l'esterno*)



27

## RICETTA

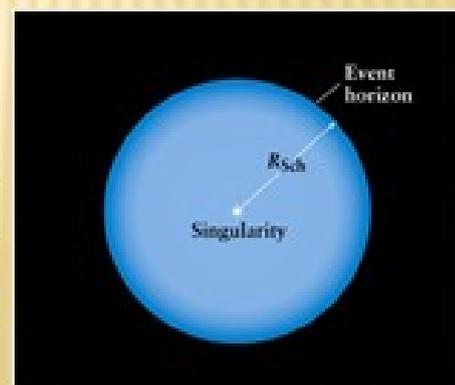
per ottenere un *Buco Nero* serve:

c) ultimo ingrediente, comprimere abbastanza massa, oppure la sua energia equivalente ( $E=mc^2$ ), in un piccola regione dello spazio:

a questo punto si ha il suo **collasso gravitazionale** che porta alla formazione di un *buco nero*.



La stella si fa sempre più piccola e densa. Quando il raggio diventa più piccolo del raggio di Schwarzschild, si forma l'Orizzonte degli Eventi (OeS) e la stella diventa un Buco Nero



28

### Da cosa è composto?

Secondo la Teoria di Relatività Generale la gravità è una manifestazione dello spazio-tempo curvato da una grande massa. Le leggi dello spazio-tempo sono più complesse vicino a un buco nero.

Secondo la Teoria di Relatività Generale la gravità è una manifestazione dello spazio-tempo curvato da una grande massa. Le leggi dello spazio-tempo sono più complesse vicino a un buco nero.



La materia è addensata tutta in un punto.

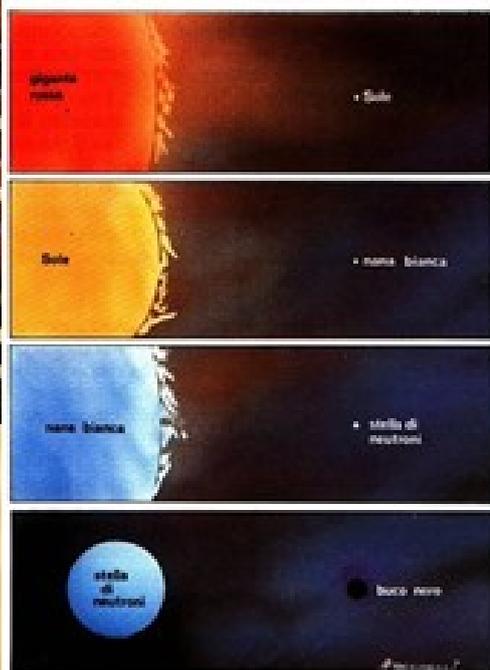
Secondo la Teoria di Relatività Generale la gravità è una manifestazione dello spazio-tempo curvato da una grande massa. Le leggi dello spazio-tempo sono più complesse vicino a un buco nero.

addirittura con altri Universi.

### Quanto può essere grande?

Esistono due modi per descrivere la grandezza di un corpo. Uno è la massa, l'altro lo spazio che occupa. Nel primo caso, in linea di principio non esistono limiti.

Un buco nero di massa pari a quella del Sole avrebbe un raggio di circa 3 km, sempre secondo la teoria di Schwarzschild, oppure 18,5 km (per buchi rotanti).



Un buco nero di massa pari a quella del Sole avrebbe un raggio compresso di circa 3 Km, sempre secondo la teoria di Schwarzschild, oppure 18,5 km (per buchi rotanti)

Un buco nero di massa pari a quella della Terra avrebbe un raggio compresso di 1 solo cm.

# Cosa succede se vi cado dentro?

## Come si possono formare buchi neri giganteschi?

Gli scienziati ipotizzano che esistano buchi neri di enormi dimensioni, che potrebbero essere stati generati, per esempio, dal collasso gravitazionale di una intera galassia. Il raggio di un buco nero di questo tipo potrebbe essere nell'ordine dei tre miliardi di chilometri.



40

# Cosa succede se vi cado dentro?

## L'intensità della caduta dipende dalle dimensioni del buco?

Si potrebbe credere che le forze che ci tirano verso il centro del buco nero siano tanto più intense quanto più grande è il buco nero: in realtà non è così. Paradossalmente, la nostra fine sarebbe un po' meno brutale se cadessimo in un buco nero grande. In prossimità di un buco nero piccolo, di massa pari a quella del Sole (solo tre chilometri di raggio), la forza di marea che si determina è talmente forte che il nostro corpo ne sarebbe subito dilaniato; se prudentemente ci limitassimo a

inviarvi un'astronave senza equipaggio, questa sarebbe immediatamente ridotta a un lunghissimo e sottilissimo spaghetti. Avvicinandoci invece di persona a un buco nero gigantesco (se ne ipotizzano alcuni del diametro di milioni di chilometri) la situazione almeno per un po' sarebbe più tranquilla. La forza di marea rispetto a una superficie così estesa è pari circa a un decimilionesimo di quella che si manifesta sulla Terra per l'azione di Sole e La-

na e quindi di fatto tanto debole che non la avvertiremmo. Ci ritroveremmo risucchiati dal buco senza neanche rendercene conto. Solo dopo aver raggiunto la singolarità del buco nero, il densissimo punto dalla forza gravitazionale che tende all'infinito e dove si concentra tutta la materia che precipita, avvertiremmo inesorabile e istantaneo l'effetto -stirante- della fortissima gravità. E finiremmo comunque dilaniati.

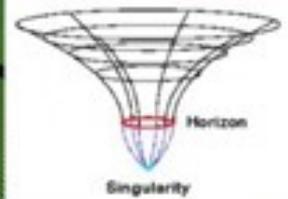
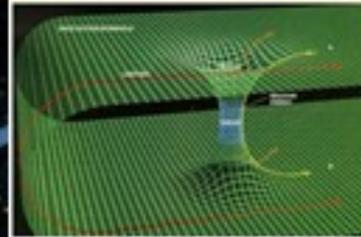
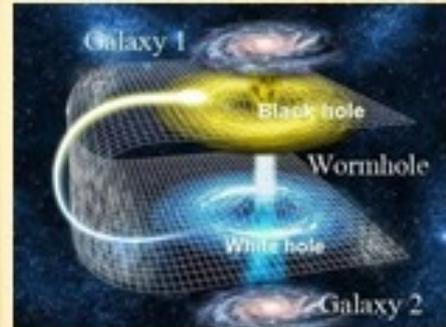
41

## Che fine fa la materia inghiottita?

**S** secondo la teoria classica dei buchi neri, quella descritta nel 1916 dall'astronomo tedesco Karl Schwarzschild, tutti gli oggetti risucchiati procedono verso la singolarità, considerata come un punto di massa infinita.

Secondo altre teorie, come quella elaborata nel 1963 dal matematico neozelandese Roy Patrick Kerr, la singolarità ha la forma di una sorta di anello modellato dall'azione della forza centrifuga che si crea al centro di buchi neri rotanti. In quest'ultimo tipo di buchi neri i corpi risucchiati possono anche sfuggire alla singolarità. Ma a quel punto dove vanno?

## I WORMHOLES



42

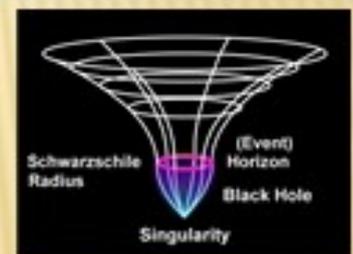
## Che fine fa la materia inghiottita?



## Come nascono i cunicoli?

no? Una delle risposte è connessa all'esistenza di una sorta di cunicoli o addirittura «ponti» spazio-temporali, come li battezzarono Einstein e il suo assistente Nathan Rosen nel 1935: Questi, detti «wormhole», collegano fra loro in modo quasi istantaneo due buchi neri di uno stesso universo o di universi diversi.

La loro esistenza potrebbe risalire addirittura alle prime fasi di vita del nostro universo. Alcuni studiosi, infatti, sostengono che siano il residuo delle connessioni che congiungevano il nostro universo con gli altri, durante la fase dell'improvvisa inflazione che si scatenò dopo il Big Bang [vedi



43



Potremmo attraversarli?

L'idea che i -wormhole- siano una strada per viaggiare istantaneamente da un luogo all'altro dell'universo, e addirittura una catapulta verso dimensioni spazio-temporali diverse dalle nostre ha sempre affascinato gli studiosi. Nel 1985 l'astronomo Carl Sagan stava scrivendo il romanzo di fantascienza *Contact*, poi portato sullo schermo da Robert Zemeckis nel 1997. In cerca di un espediente plausibile per far viaggiare i suoi personaggi nell'iperspazio, chiese aiuto al fisico statunitense Kip Thorne del California Institute of Technology. Thorne mobilitò una squadra di ricercatori per analizzare in dettaglio le caratteristiche di questi cunicoli. Da ciò sono venute fuori nuove teorie su ciò che ci accadrebbe attraversando

un cunicolo spazio-temporale. I matematici relativisti li descrivono come luoghi altamente instabili, attraversati da onde gravitazionali, le cui perturbazioni, anche minime, hanno l'effetto di renderli ancora più tempestosi. La presenza di queste onde fa sì che il cunicolo resti aperto per brevissime frazioni di secondo. Pur riuscendo a entrarvi, un viaggiatore verrebbe accelerato oltre la velocità della luce, scatenando perturbazioni gravitazionali talmente violente da sigillare nuovamente il cunicolo nelle invalicabili singolarità dei buchi neri che esso congiunge.

E cosa ci accadrebbe?

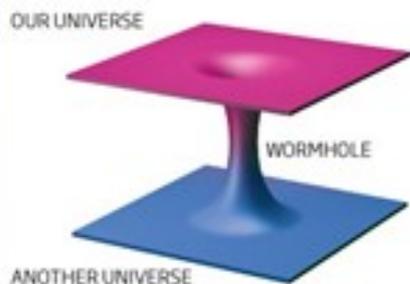
Anche ammettendo che i cunicoli siano stabili, attraversarli non sarebbe una piacevole esperienza. La radiazione che vi piove dentro dalle stelle vicine subirebbe una compressione di frequenza, spostandosi sempre più verso l'alto dello spettro elettromagnetico, regione dei raggi X e gamma. E il viaggiatore che attraversasse il cunicolo verrebbe letteralmente fritto da queste gigantesche dosi di radiazioni letali.

A tale of two wormholes

In general relativity, wormholes permit travel between different places in our universe, but they require matter with negative energy



A minor modification to general relativity allows wormholes between our universe and another to exist without the need for exotic matter



## Cosa sono i buchi bianchi?

### E cosa ci accadrebbe?

La materia risucchiata da un buco nero, dopo aver percorso il cunicolo spazio-temporale, ha anche un'altra possibilità: sbucare in un buco bianco. Si tratta di corpi, fino a oggi esistenti solo nelle formule matematiche, con proprietà opposte e simmetriche a quelle dei buchi neri. Anche i buchi bianchi si sviluppano su un piano spazio-temporale a senso unico, che va però esclusivamente dall'interno verso l'esterno, senza alcuna possibilità di accesso. Il buco bianco ha anch'esso un centro detto singolarità, ma a differen-

za di quello dei buchi neri, questo è un punto che espelle qualsiasi tipo di materia, perfino la luce. Gli studiosi sono propensi a riconoscere i buchi bianchi come una delle conseguenze teoriche della simmetria che caratterizza le equazioni della Teoria di Relatività Generale. Partendo da un qualsiasi risultato di un'equazione, è possibile ripercorrere «a marcia indietro» il calcolo che lo ha prodotto. I buchi bianchi sarebbero quindi un risultato perfettamente valido dal punto di vista matematico, ma ciò non vuol dire che esistano davvero.

## A tale of two wormholes

In general relativity, wormholes permit travel between different places in our universe, but they require matter with negative energy

OUR UNIVERSE

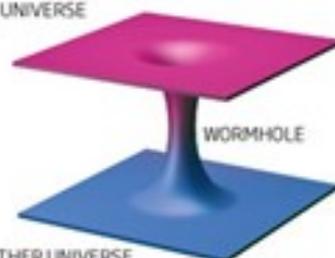
©NewScientist



WORMHOLE

A minor modification to general relativity allows wormholes between our universe and another to exist without the need for exotic matter

OUR UNIVERSE



ANOTHER UNIVERSE

## lo potrei diventare un buco nero?

**t**eoricamente sì. Dato un corpo (che immaginiamo sferico) di una certa massa, si può calcolare un raggio, detto «critico», al di sotto del quale la materia collassa in uno stato infinitamente denso chiamato singolarità. In teoria, quindi, qualsiasi corpo, anche uno di noi, un biscotto e qualsiasi altro oggetto dotato di massa può trasformarsi in un buco nero, purché possa essere compresso fino a una densità sufficiente.

## Cosa sono i mini-buchi neri?

Visto che qualunque corpo può diventare un buco nero, ecco allora entrare in scena i mini-buchi neri, cioè buchi neri minuscoli, grandi quanto le particelle subatomiche. Affinché si possano produrre buchi neri così piccoli, è necessario immaginare condizioni di densità tanto elevata che potevano esistere solo appena dopo il Big Bang. Il fisico inglese Stephen Hawking ha ipotizzato che questi livelli di densità siano stati raggiunti circa  $10^{-44}$  secondi dopo la gigantesca esplosione, a causa dell'onda d'urto dovuta al fortissimo rinculo che ebbe la materia cosmica dopo il Big Bang. Tali straordinarie condizioni avrebbero permesso la formazione di mini-buchi neri, alcuni dei quali sopravviverebbero ancora oggi. Essi concentrerebbero una massa di un miliardo di tonnellate in un raggio di un decimillesimo di miliardesimo di centimetro.