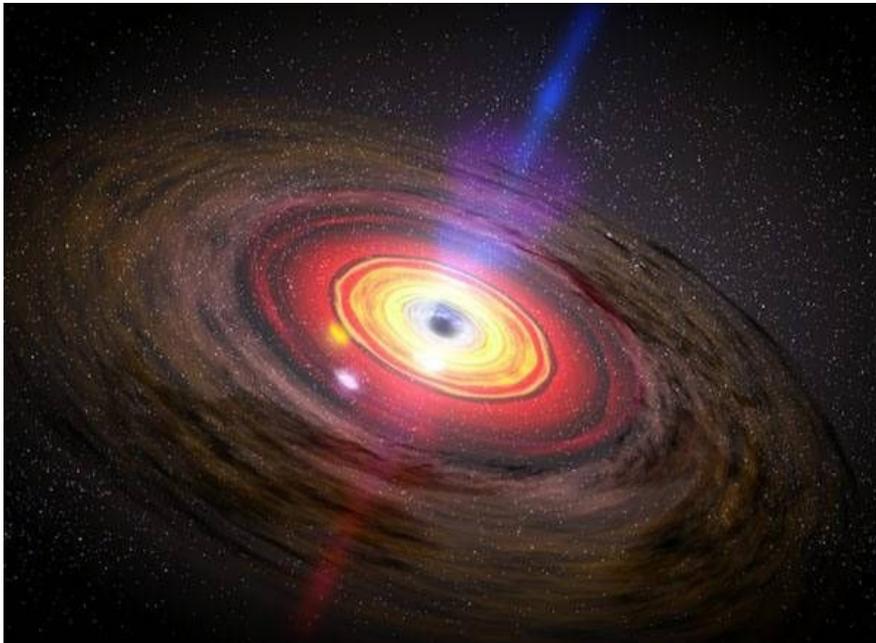


# UDA 2016

## La teoria dei buchi neri

### Che cos'è un buco nero

Secondo la relatività generale, si definisce buco nero, una regione dello spaziotempo con un campo gravitazionale così forte e intenso che nulla al suo interno può sfuggire all'esterno, nemmeno la luce. Da questa caratteristica, deriva l'aggettivo "nero", dal momento che un buco nero non può emettere luce. Dal fatto che nessuna particella può sfuggirgli (nemmeno i **fotoni**), una volta catturata, risulta invece appropriato il termine "buco". Un corpo celeste con questa proprietà risulterebbe, quindi, invisibile e la sua presenza potrebbe essere rilevata solo indirettamente, tramite gli effetti della materia che precipita nel suo intenso campo gravitazionale.



### Come si forma un buco nero

Verso la fine del proprio ciclo vitale, dopo aver consumato tramite fusione nucleare il 90% dell'idrogeno trasformandolo in elio, nel nucleo della stella si arrestano le reazioni nucleari. La forza gravitazionale, che prima era in equilibrio con la pressione generata dalle reazioni di fusione nucleare, prevale e comprime la massa della stella verso il suo centro. Quando la densità diventa sufficientemente elevata può innescarsi la fusione nucleare dell'elio, in seguito alla quale c'è la produzione di litio, azoto e altri elementi. Durante questa fase la stella si espande e si contrae violentemente più volte espellendo parte della propria massa. Le stelle più piccole si fermano ad un certo punto della catena e si spengono. Raffreddandosi e contraendosi lentamente, attraversano lo stadio di nana bianca e nel corso di molti milioni di anni diventano una sorta di gigantesco pianeta. Se invece il nucleo della

stella supera una massa critica, pari a 1,44 volte la massa solare, le reazioni possono arrivare fino alla sintesi del ferro. La reazione che sintetizza il ferro per la formazione di elementi più pesanti è endotermica, richiede energia invece che emetterne, quindi il nucleo della stella diventa una massa inerte di ferro e non presentando più reazioni nucleari non c'è più nulla in grado di opporsi al collasso gravitazionale. Durante l'esplosione, il rimanente della stella espelle gran parte della propria massa, che va a disperdersi nell'universo circostante. Quello che rimane è un nucleo estremamente denso e massiccio. Se la sua massa è abbastanza piccola da permettere alla pressione di degenerazione di contrastare la forza di gravità si arriva ad una situazione di equilibrio e si forma una stella di neutroni. Se la massa supera le tre masse solari non c'è più niente che possa contrastare la forza gravitazionale. Inoltre, secondo la Relatività generale, la pressione interna non viene più esercitata verso l'esterno (in modo da contrastare il campo gravitazionale), ma diventa essa stessa una sorgente del campo gravitazionale rendendo così inevitabile il collasso infinito formandosi così un vero e proprio buco nero.

### **Proprietà fisiche e strutturali di un buco nero**

In astrofisica, il teorema dell'essenzialità, postula che tutte le soluzioni del buco nero nelle equazioni di Einstein-Maxwell sulla gravitazione e l'elettromagnetismo nella relatività generale possano essere completamente caratterizzate soltanto da tre parametri classici esternamente osservabili: massa, carica elettrica, e momento angolare. Tutte le altre informazioni riguardanti la materia di cui è formato un buco nero o sulla materia che vi sta cadendo dentro "spariscono" dietro il suo orizzonte degli eventi e sono dunque permanentemente inaccessibili agli osservatori esterni. Due buchi neri che condividono queste stesse proprietà, o parametri, sono indistinguibili secondo la meccanica classica. Queste proprietà sono speciali perché sono visibili dall'esterno di un buco nero. Ad esempio, un buco nero carico respinge un altro con la stessa carica, proprio come qualsiasi altro oggetto carico. Allo stesso modo, la massa totale all'interno di una sfera contenente un buco nero può essere trovata utilizzando l'analogo gravitazionale della legge di Gauss.



### **L'orizzonte degli eventi**

La caratteristica distintiva di un buco nero è la comparsa di un orizzonte degli eventi, un confine spazio-temporale attraverso il quale la materia e la luce possono passare solo verso l'interno del buco nero. Nulla, nemmeno la luce, può sfuggire dall'orizzonte degli eventi. L'orizzonte degli eventi è indicato come tale, perché se un evento si verifica entro i suoi confini, le informazioni da tale evento non possono raggiungere un osservatore esterno, rendendo impossibile determinare se si sia effettivamente verificato. Come predetto dalla relatività generale, la presenza di una massa deforma lo spazio-tempo in modo tale che i percorsi seguiti dalle particelle piegano verso la massa del buco. All'orizzonte degli eventi di un buco nero, questa deformazione diventa così forte che non esistono percorsi per sfuggire al buco nero. Per un osservatore distante, un orologio vicino a un buco nero sembra ticchettare più lentamente rispetto a quelli più lontani dal buco nero. A causa di questo effetto, noto come dilatazione temporale gravitazionale, un oggetto che cade in un buco nero sembra rallentare come si avvicina l'orizzonte degli eventi, impiegando un tempo infinito per raggiungerlo. Infine, in prossimità dell'orizzonte degli eventi, l'oggetto in caduta emette così poca luce che non può più essere visto. D'altra parte, un osservatore in caduta in un buco nero non nota nessuno di questi effetti mentre attraversa l'orizzonte degli eventi. Secondo il suo personale orologio, attraversa l'orizzonte degli eventi dopo un tempo finito senza notare alcun comportamento singolare. In particolare, non è in grado di determinare esattamente quando lo attraversa, come è impossibile determinare la posizione dell'orizzonte degli eventi da osservazioni locali.

## **La singolarità**

Al centro di un buco nero si trova una singolarità gravitazionale, una regione in cui la curvatura dello spazio diventa infinita. Per un buco nero non rotante, questa regione prende la forma di un unico punto, mentre per un buco nero rotante si viene a creare una singolarità ad anello giacente nel piano di rotazione. In entrambi i casi, la regione singolare ha volume pari a zero. Tramite l'applicazione di determinate formule matematiche si può dimostrare che la regione singolare contiene tutta la massa del buco nero. La regione singolare può quindi essere pensata come avente densità infinita. Dei corpi che cadono in un buco nero non rotante e non carico, non possono evitare di essere trasportati nella singolarità, una volta che attraversano l'orizzonte degli eventi. Quando raggiungono la singolarità, i corpi vengono compressi a densità infinita e la loro massa viene aggiunta alla massa totale del buco nero. Prima che ciò accada, essi sono comunque stati fatti a pezzi dalle crescenti forze in un processo a volte indicato come spaghetizzazione o "effetto pasta". Nel caso di un buco nero rotante o carico, è possibile evitare la singolarità.

Estendendo queste soluzioni per quanto possibile, si rivela la possibilità ipotetica di uscire dal buco nero verso una dimensione spazio-temporale differente, con il buco che funge da tunnel spaziale. La possibilità di viaggiare verso un altro universo è però solo teorica, poiché una qualsiasi perturbazione può distruggere questa possibilità. Sembra inoltre che sia possibile seguire le curve spaziotemporali chiuse di tipo tempo (tornando al proprio passato) che portano a problemi di causalità, come il paradosso del nonno. Si prevede che nessuno di questi effetti particolari possano verificarsi in un corretto trattamento quantico di buchi neri rotanti e carichi.