

## **Buchi Neri ed Impulsi Gamma**

Il concetto di buco nero é in qualche modo preesistente alla Relatività Generale. Già Laplace e prima di lui l'astronomo inglese Mitchell si erano chiesti se esistessero regioni di spazio in cui il campo gravitazionale fosse così forte che nemmeno i raggi luminosi potessero sfuggire alla sua inesorabile attrazione. Tuttavia fu soltanto con l'avvento delle equazioni di Einstein (1915) e con la scoperta immediatamente successiva della loro soluzione a simmetria sferica (Schwarzschild 1916) che tale fantasioso concetto ricevette una solida formulazione fisica e matematica. L'ufficiale tedesco Schwarzschild morì pochi mesi dopo la sua fondamentale scoperta a seguito di un'infezione contratta sul fronte della Prussia orientale, ma la soluzione che porta il suo nome è stata oggetto di studio e riflessione concettuale per i successivi ottant'anni. Oltre a fornire lo strumento per calcolare gli effetti relativistici più noti e costituenti i classici tests della Relatività Generale (avanzamento del periastro nelle orbite dei pianeti, deflessione gravitazionale dei raggi luminosi) la soluzione di Schwarzschild costituisce il modello matematico preciso di un buco nero non ruotante. Al meglio delle nostre conoscenze scientifiche, oggi sappiamo che la fantasiosa ipotesi di Laplace e Mitchell è in realtà una situazione molto comune nel nostro universo: tutte le stelle la cui massa è maggiore di tre masse solari sono destinate a trasformarsi in buchi neri. Esaurito il combustibile nucleare che le fa risplendere e che fornisce la pressione in grado di contrastare l'attrazione gravitazionale, esse collassano inesorabilmente. Tutta la loro massa si concentra in un punto dello spazio nascosto alla vista esterna da un orizzonte degli eventi. Per definizione l'orizzonte é una superficie dalla quale nessun segnale può sfuggire, nemmeno i raggi di luce. Nei passati vent'anni, grazie alle possibilità fornite dalla strumentazione a bordo dei satelliti artificiali, gli astrofisici hanno fatto grandi progressi nella caccia ai buchi neri di massa stellare e possono affermare di avere identificato una dozzina di candidati per i quali l'evidenza si traduce in ragionevole certezza. Altri giganteschi buchi neri di centinaia di migliaia o milioni di masse solari si ritiene siano al centro delle galassie (inclusa la nostra Via Lattea) e ne costituiscono i cosiddetti nuclei attivi. Attorno a questi giganti vi é un vorticoso susseguirsi di cataclismi dovuto all'affollamento di materia che precipita nel buco nero a velocità prossime a quella della luce ed irraggia energia sotto molteplici forme. Tuttavia é proprio questa alta densità a rendere l'interno del nucleo galattico opaco e per ora poco accessibile alle nostre osservazioni. I buchi neri sono oggetti dotati di straordinarie proprietà e costituiscono una situazione estrema in cui la consistenza logica e l'unificazione tra le leggi fondamentali della fisica vengono messe a prova severa. È in particolare la relazione tra la meccanica dei quanti, responsabile per la spiegazione dei fenomeni su scala atomica e subatomica e la teoria del campo gravitazionale ad assumere preminenza nelle vicinanze di un orizzonte degli eventi. La conseguenza più spettacolare del tenere in conto la fisica dei quanti fu derivata circa venticinque anni fa dal famoso fisico inglese Stephen Hawking il quale mostrò che un buco nero non é totalmente spento, bensì irradia una debolissima radiazione termica ad una temperatura che é inversamente proporzionale alla sua massa. In altre parole esso evapora lentamente e mentre evapora si riscalda. Il processo si autoaccelera e nei suoi ultimi istanti di vita un buco nero diventa luminosissimo. Se però calcoliamo il tempo necessario all'evaporazione totale di un buco nero di massa stellare troviamo un numero pari a circa 10 alla sessantacinque anni, cioè milioni volte l'età dell'universo che è di 14-20 miliardi di anni. Dunque vi è poca speranza di osservare direttamente l'evaporazione dei buchi neri a meno che, come molti scenari prevedono, non vi siano dei mini buchi neri prodotti all'inizio dei tempi durante il Big Bang che ha dato origine al nostro Universo. In ogni caso il fatto che i buchi neri abbiano una temperatura ed irraggino una radiazione termica implica che essi abbiano un'entropia come un qualunque altro sistema termodinamico. All'inizio degli anni settanta Bekenstein mostrò che detta entropia é un quarto dell'area dell'orizzonte degli eventi. Dopo questi classici lavori fu chiaro che esiste una termodinamica dei buchi neri con un primo, un secondo ed un terzo principio assolutamente analoga alla termodinamica ordinaria. Tuttavia la nostra comprensione

della fisica dei buchi neri era a questo punto paragonabile alla comprensione ottocentesca della termodinamica classica prima dell'interpretazione statistica di Boltzmann. In assenza di una teoria quantistica della gravitazione mancava la possibilità di spiegare l'entropia del buco nero come conteggio del numero di microstati quantistici racchiusi all'interno dell'orizzonte. Notevoli progressi nella teoria delle stringhe occorsi negli ultimi tre-quattro anni hanno cambiato questa situazione. Ora esistono esempi di configurazioni di tipo buco nero dove l'interpretazione statistica dell'entropia di Bekenstein--Hawking (un quarto dell'area dell'orizzonte) è accessibile. Pertanto l'interesse per i buchi neri, già alto in passato, si è enormemente allargato nei tempi recentissimi ed ha coinvolto comunità scientifiche diverse in un arco che si estende dall'astrofisica, alla matematica, alla teoria dei campi e delle stringhe. Sull'onda di questo interesse la Società Italiana di Relatività Generale, in collaborazione con l'Università di Milano, sede di Como ha organizzato un corso intensivo sulla fisica di questi misteriosi oggetti, destinato agli studenti di Dottorato di Ricerca sia in Fisica che in Matematica, sia italiani che stranieri. Il corso si è tenuto nella stupenda cornice di Villa Olmo sul lago di Como e vi hanno partecipato una cinquantina di studenti provenienti da vari paesi europei, nonchè dagli Stati Uniti. Sono stati toccati tutti gli aspetti della teoria e dell'osservazione, ma certamente la novità più interessante di cui, a chiusura della scuola, ha parlato il prof. Aldo Treves sono gli impulsi di raggi gamma la cui rivelazione è iniziata in maniera sistematica da metà dello scorso anno ad opera di un satellite italo--olandese, il BeppoSax. Si tratta di segnali improvvisi costituiti da pacchetti di raggi gamma (la radiazione elettromagnetica emessa nelle transizioni nucleari) che provengono uniformemente da tutti gli angoli dell'universo e con una frequenza di circa uno al giorno. I dati sono recentissimi ed oggetto di studio corrente, ma la loro interpretazione più probabile è che si tratti della radiazione emessa quando due stelle di neutroni (oggetti provvisti di una massa solare, ma così densi da avere un raggio di solo qualche chilometro) o quando due buchi neri di massa stellare si avvicinano così tanto da coalescere in un unico buco nero. Tale fenomeno è molto raro e si può stimare che ve ne sia uno per galassia ogni trecentomila anni: ma le galassie sono tante e la frequenza totale è appunto di circa uno al giorno per tutto l'universo. Se gli studi successivi potranno convalidare questa interpretazione siamo di fronte ad un dato estremamente incoraggiante. Queste coalescenze sono infatti potenti sorgenti di onde gravitazionali che dovrebbero poter essere rivelate quando i due interferometri, Virgo costruito presso Pisa da una collaborazione italo--francese e Ligo costruito negli Stati Uniti diventeranno operativi, cioe' nei primi anni del prossimo millennio. Nelle speranze dei fisici di tutto il mondo essi costituiranno un nuovo straordinario telescopio che ci permetterà, forse, di vedere che cosa accade all'interno dei nuclei galattici e di studiare lo stupefacente fenomeno della coalescenza dei buchi neri.