

CAPITOLO 1

La teoria generale della relatività, più brevemente chiamata “relatività generale” (RG) si avvicina ormai al secolo di vita: infatti la sua formulazione finale da parte di Einstein risale al 1916.

Va subito detto che il nome “teoria generale della relatività” è tre volte improprio:

- È improprio parlare di “teoria,” in quanto si tratta di un capitolo della fisica, che include ovviamente una parte teorica, ma anche fenomeni, esperimenti; né più né meno che la termodinamica o l'elettromagnetismo.
- L'aggettivo “generale” lascia pensare che si tratti di una generalizzazione della “teoria ristretta” o “speciale.” Questa era in effetti l'iniziale intenzione di Einstein: generalizzare l'equivalenza dei riferimenti inerziali a sistemi di riferimento in moto qualunque. Ma poi la RG divenne tutt'altro: la formulazione relativistica della gravitazione.
- Infine, è improprio lo stesso termine “relatività” (dovuto a Planck, non ad Einstein). Esso mette infatti l'accento sul carattere relativo (al sistema di riferimento) di alcune grandezze, e lascia in secondo piano il fatto che ci sono, e sono più importanti, gli *invarianti*.

D'altra parte nessuno osa ormai proporre un diverso nome, e non lo faremo qui...

Per molto tempo la RG è stata considerata una teoria molto astratta, con applicazioni scarse e abbastanza incerte; di fatto ristrette solo alle tre “classiche”:

- il redshift gravitazionale (verificato solo dopo il 1960)
- la deflessione della luce (di cui ci sono prove sicure da meno di 30 anni)
- la precessione del perielio di Mercurio (ancora discussa in tempi relativamente recenti: v. le ricerche di Dicke sul possibile schiacciamento del Sole).

Ma negli ultimi decenni ci sono stati grandi progressi teorici, sia nella comprensione della teoria, sia nelle applicazioni, oltre a molti nuovi dati sperimentali: nel sistema solare, sulle stelle, su scala cosmologica. Altri sviluppi certamente seguiranno.

La RG gode anche fama di essere una teoria difficile, e si attribuisce di solito la difficoltà all'uso di strumenti matematici sofisticati: quello che un tempo si chiamava il “calcolo tensoriale,” e oggi va piuttosto sotto il nome di “geometria differenziale delle varietà.” (Anche se in realtà non si tratta di una matematica più difficile per es. della teoria degli operatori sugli spazi di Hilbert ...).

Tuttavia esiste nella RG una difficoltà di altro genere: secondo il linguaggio di Kuhn, la RG impone un profondo *cambiamento di paradigma*. Per dirla in termini semplici, richiede di pensare a molti concetti base della fisica (spazio, tempo, gravità) in modo totalmente nuovo; anche rispetto alla relatività ristretta (RR), che da questo punto di vista ha già la sua parte di difficoltà.

È proprio per questo motivo che a mio giudizio si rende necessaria un'introduzione alla RG che non nasconda la vera difficoltà fisica sotto le apparenti difficoltà matematiche: è quello che cercheremo di fare in questo corso. Daremo un'introduzione elementare, di necessità assai incompleta: i limiti sono dovuti da una parte al tempo disponibile, dall'altra alle basi matematiche, che qui saranno fortemente limitate, anche per le ragioni appena dette. Corsi più avanzati e completi troveranno posto nelle lauree specialistiche.

Viceversa, mi preoccuperò di fornire una quantità adeguata d'indicazioni sperimentali, e di applicazioni e verifiche della teoria, per le quali c'è ormai solo l'imbarazzo della scelta.

Questo ci porta all'ovvia domanda: qual è lo stato attuale di una teoria così "vecchia"? Quanto sono solide ed estese le verifiche? Ci sono indicazioni che occorranò modificazioni o ripensamenti? Ci sono problemi aperti?

La risposta verrà naturalmente da tutto il corso. Anticipiamo qui che le verifiche, che all'inizio erano scarse e imprecise, sono andate continuamente aumentando di numero e di precisione. Un intero campo della fisica, la cosmologia, non esisterebbe senza la RG. Delle molte prove sperimentali che sono state escogitate negli anni (alcune assai sensibili) nessuna ha finora mostrato deviazioni dalle previsioni della RG. Anche le previsioni più sconcertanti, come onde gravitazionali e buchi neri, si possono oggi dare per acquisite (specialmente le prime).

Nel tempo sono anche state concepite diverse teorie alternative, che differivano più o meno profondamente dalla formulazione originaria di Einstein. In tutti i confronti che sono stati possibili, la teoria di Einstein è sempre risultata in accordo coi dati sperimentali, mentre le altre teorie sono state più o meno gravemente smentite dai fatti.

Siamo dunque in presenza di una teoria assai solidamente fondata sui fatti sperimentali. Va però detto che proprio nella cosmologia sorgono oggi degli indizi di qualcosa che potrebbe forse (sottolineo "forse") richiedere una modifica della teoria.

C'è poi il grande problema aperto: la conciliazione della RG con la meccanica quantistica. La RG nasce prima della fondazione della m.q., ed è in questo senso una teoria "classica"; è chiaro in linea di principio che in condizioni estreme ci si dovrebbe aspettare che effetti quantistici diventino importanti (ne riparleremo). Ma a tutt'oggi nessuno sa come il raccordo fra le due teorie debba essere fatto, e neppure se esso non richieda una rifondazione completa di entrambe.

È comunque bene sottolineare che al momento *non esiste alcuna indicazione sperimentale* a questo proposito: le condizioni in cui la RG dovrebbe mostrare effetti quantistici sono per molti ordini di grandezza al di là di ciò che oggi è possibile osservare o sperimentare.

Per dirla con Will (2001):

“Abbiamo visto che la RG ha resistito a un’ampia indagine sperimentale. Sorge quindi la domanda: Perché preoccuparsi ancora di metterla alla prova? Una ragione è che la gravità è un’interazione fondamentale della natura, e come tale richiede il sostegno più robusto che ci sia possibile. Un’altra ragione è che tutti i tentativi di quantizzare la gravità e di unificarla con le altre forze suggeriscono che la classica RG di Einstein probabilmente non sarà l’ultima parola. Inoltre le previsioni della RG sono inalterabili: la teoria non contiene costanti aggiustabili, per cui niente può essere cambiato. Quindi ogni verifica della teoria o è per essa potenzialmente mortale, o costituisce un possibile sondaggio verso una fisica nuova. Sebbene sia notevole che questa teoria, nata 80 anni fa quasi dal puro pensiero, sia riuscita a sopravvivere a ogni prova, la possibilità di trovare un giorno una qualche discrepanza continuerà a stimolare esperimenti per gli anni a venire.”

Ad ogni modo, anche se possiamo essere certi che prima o poi una modifica all’opera di Einstein si renderà necessaria, credo che un’adeguata conoscenza della RG ne sarà un prerequisito necessario, e anche per questo ne è opportuna una più ampia conoscenza tra i fisici.

Il corso seguirà, nella presentazione della RG, la linea tracciata dal testo ormai classico di Misner, Thorne, Wheeler: *Gravitation* (MTW). Si tratta di un testo che si stacca per molti versi dai tanti che sono stati scritti sull’argomento, e che nei 30 anni trascorsi dalla sua comparsa ha fatto scuola, ma non è stato superato. È un libro assai ampio (oltre 1200 pagine!) e in più punti di lettura non semplice, per cui non può essere consigliato come testo di studio. Tuttavia si può seguire nel libro un percorso abbreviato, la “Track 1,” che è molto più semplice e fornisce le idee essenziali.

Come già detto, lo seguiremo da vicino, anche se dovremo tener conto che negli anni la comprensione della teoria e la conoscenza dei fatti si sono ancora arricchite.