

# L'Universo in espansione: stima della costante di Hubble e del parametro di decelerazione da osservazioni di Supernovae

Stage Estivi a Fisica  
17 Giugno 2020  
Gruppo di Cosmologia

LA COSMOLOGIA E' LA  
DISCIPLINA CHE STUDIA  
L'UNIVERSO SU LARGA  
SCALA, TENTA DI  
COMPRENDERNE  
L'ORIGINE E L'EVOLUZIONE





# Qual e' il destino dell'Universo?



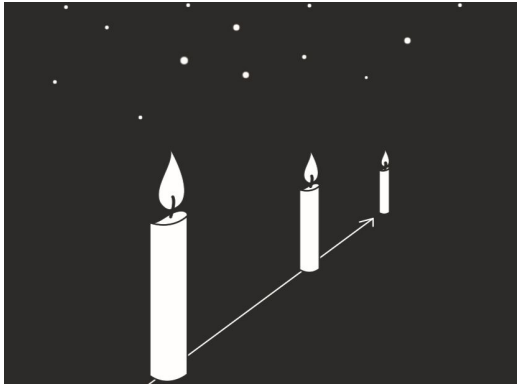
Viviamo in un Universo che sta rallentando la sua espansione e che eventualmente collassera' su se stesso?



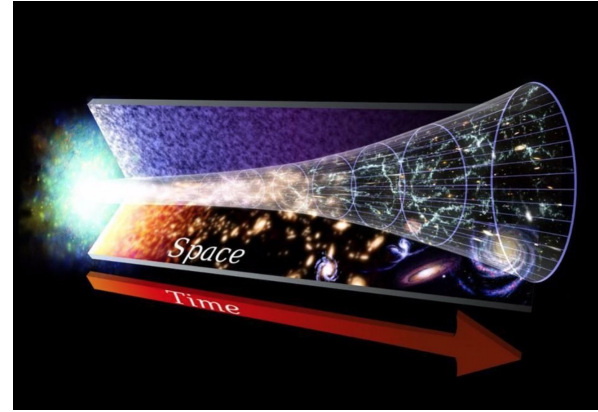
No! Misure ci dicono che viviamo in un Universo che non solo non sta rallentando, ma che anzi espande in modo accelerato!

# Un passo indietro...di circa un secolo

1915: A. Einstein pubblica la Teoria della Relativita' Generale, alla base della nostra attuale descrizione dell'Universo. Piccolo problema: secondo la RG, l'Universo non e' statico, ma deve o espandere o contrarsi.



anni 1920: si misura lo spostamento della lunghezza d'onda della luce emessa da 'nebulae a spirale' e osservata sulla Terra. Si scopre che si tratta di un **redshift**: la lunghezza d'onda osservata qui appare piu' lunga di quella effettivamente emessa.



1912: H. Leavitt scopre una relazione tra proprieta' osservate di un gruppo di stelle (Cefeidi) che consente di calcolare la loro distanza da noi. Altro problema: molte Cefeidi sono piu' distanti di quanto non sia grande la Via Lattea. **La nostra galassia non coincide con tutto l'Universo!**

$$z = (\lambda_o - \lambda_e) / \lambda_e$$

# Legge di Hubble: un pilastro della cosmologia moderna

1929: E. Hubble scopre che esiste una relazione di proporzionalità diretta tra redshift e distanza delle cefeidi osservate. Se si interpreta il redshift come una velocità (analogo dell'effetto Doppler), significa che **le nebulae si stanno allontanando da noi tanto più velocemente quanto più distanti sono da noi!**

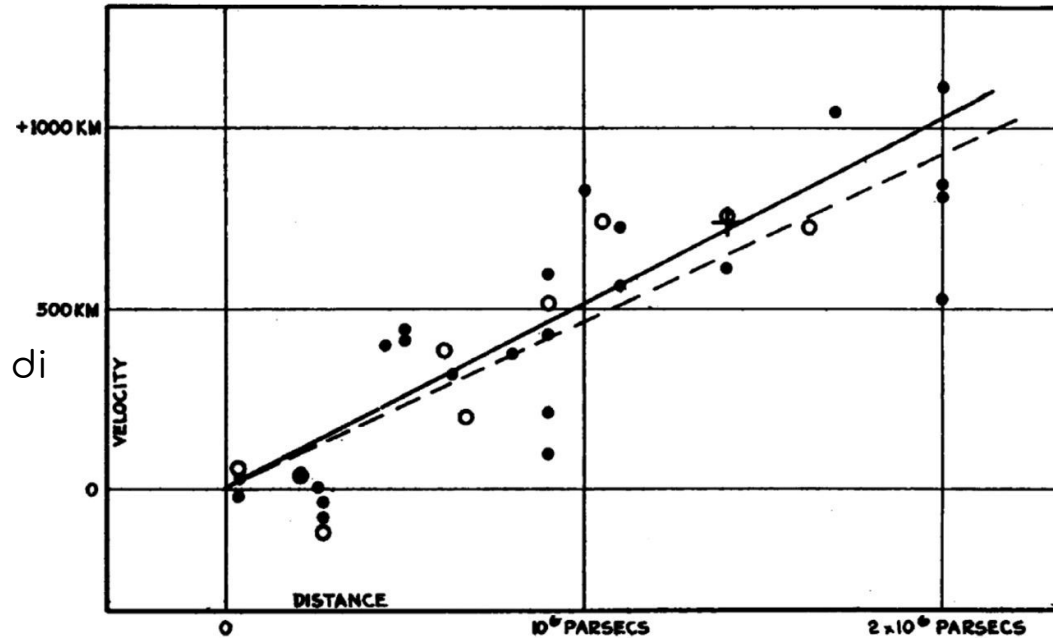
$$z \approx v = H_0 d$$



$H_0$  è la costante di Hubble  
ci dice quanto velocemente (in km/s)  
si sta allontanando un oggetto  
posto a 1Mpc (circa 10 milioni di miliardi di m)  
da noi

il suo valore si ricava dalla pendenza  
della retta che meglio descrive  
l'andamento dei punti nel grafico

Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.



## Balzo in avanti...fino agli anni '90


Due gruppi di ricerca indipendenti osservarono 'candele standard' sempre piu' lontane da noi, per due motivi: 1) migliorare la misura di  $H_0$ ; 2) determinare le proprieta' dell'espansione dell'Universo.

I gruppi si aspettavano di dimostrare che l'espansione fosse decelerata. Infatti, sappiamo che l'Universo e' pieno di materia. Dalla RG, sappiamo che un Universo pieno di materia puo' o espandere per sempre o collassare su stesso (a seconda della quantita' di materia). In ogni caso, la teoria prevede che la fase di espansione avvenga in maniera decelerata.

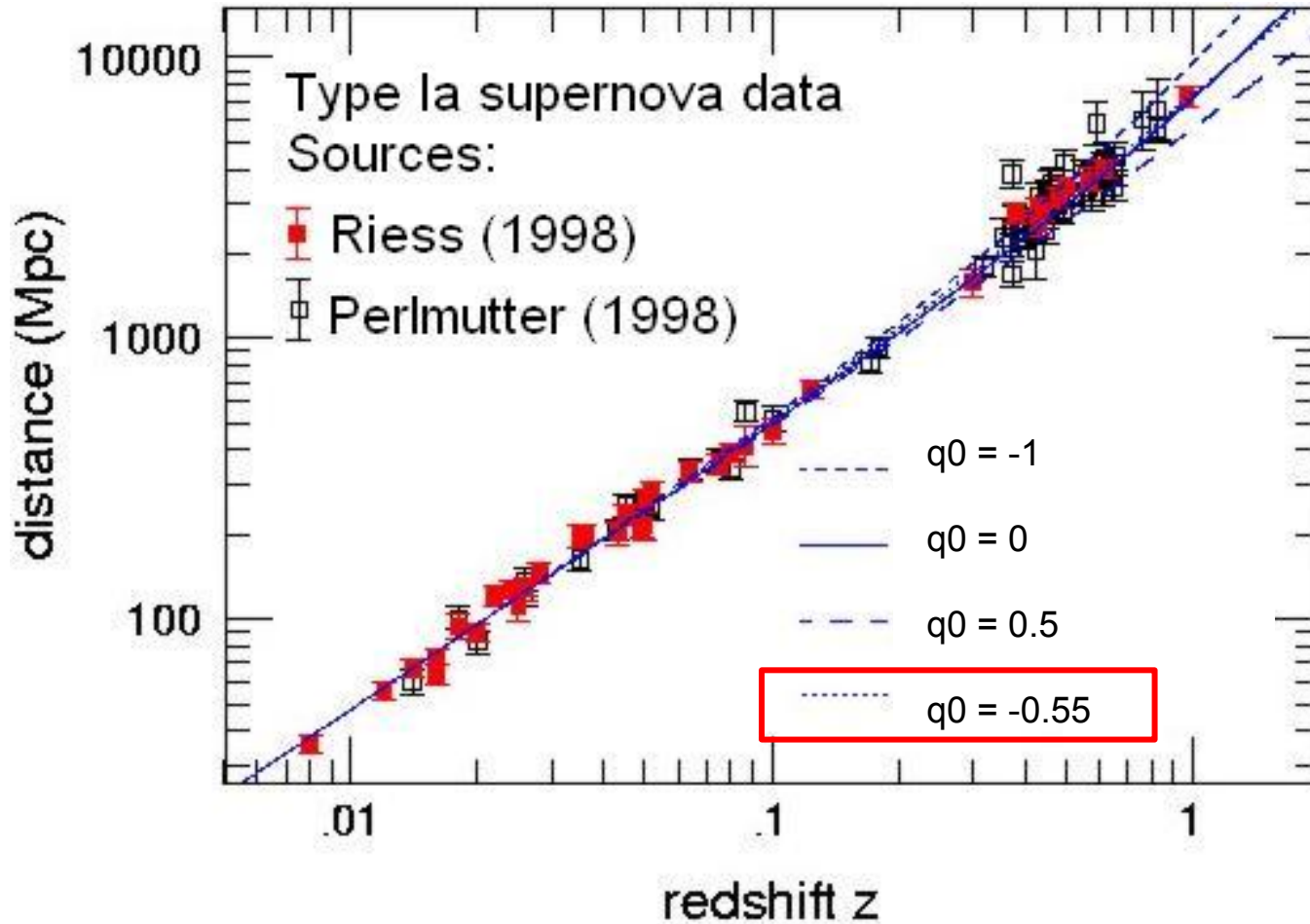
L'effetto della decelerazione e' visibile solo se si osservano oggetti molto distanti ( $z > 0.1$ ). A queste distanze, le Cefeidi diventano troppo deboli per essere viste. I due gruppi usarono quindi le Supernovae.

I due gruppi riportarono in un grafico, come Hubble, la distanza delle SN e il loro redshift. Per oggetti molto distanti, la curva che meglio descrive l'andamento dei punti nel piano non e' piu' una retta. La legge di Hubble va modificata:

$q_0$  e' il parametro di decelerazione. In un Universo che decelera,  $q$  e' un numero positivo. La distanza tra galassie cresce, ma in maniera sempre piu' lenta


$$d = c/H_0 \left( z + \frac{1}{2} (1-q_0) z^2 \right)$$

# Una sorpresa...da premio Nobel!





# Quante cose ci sono nell'Universo?

Le equazioni che descrivono l'evoluzione dell'Universo permettono di scrivere  $q_0$  in funzione di cosa si trova nell'Universo. Per un Universo contenente una certa quantità di materia  $\Omega_m$ ,  $q_0 = \Omega_m/2$ . Visto che  $\Omega_m$  è un numero sempre positivo, **un Universo contenente solo materia ha  $q_0 > 0$** . Questo è il motivo per cui i due gruppi di ricerca si aspettavano un  $q_0$  positivo (e quindi un Universo in espansione decelerata).

Se invece ammettiamo che esista anche una certa quantità  $\Omega_\Lambda$  di componente di energia oscura, allora abbiamo che  $q_0 = \Omega_m/2 - \Omega_\Lambda$ . Un valore negativo di  $q_0$  implica che la quantità di energia oscura è dominante rispetto alla frazione di materia! Se interpretate in questo modo, le misure di SN provano che non solo esiste una componente di energia oscura, ma che **l'Universo è oggi dominato dalla presenza di energia oscura!**

