

LHC e la struttura dell'Universo

Luca Lista

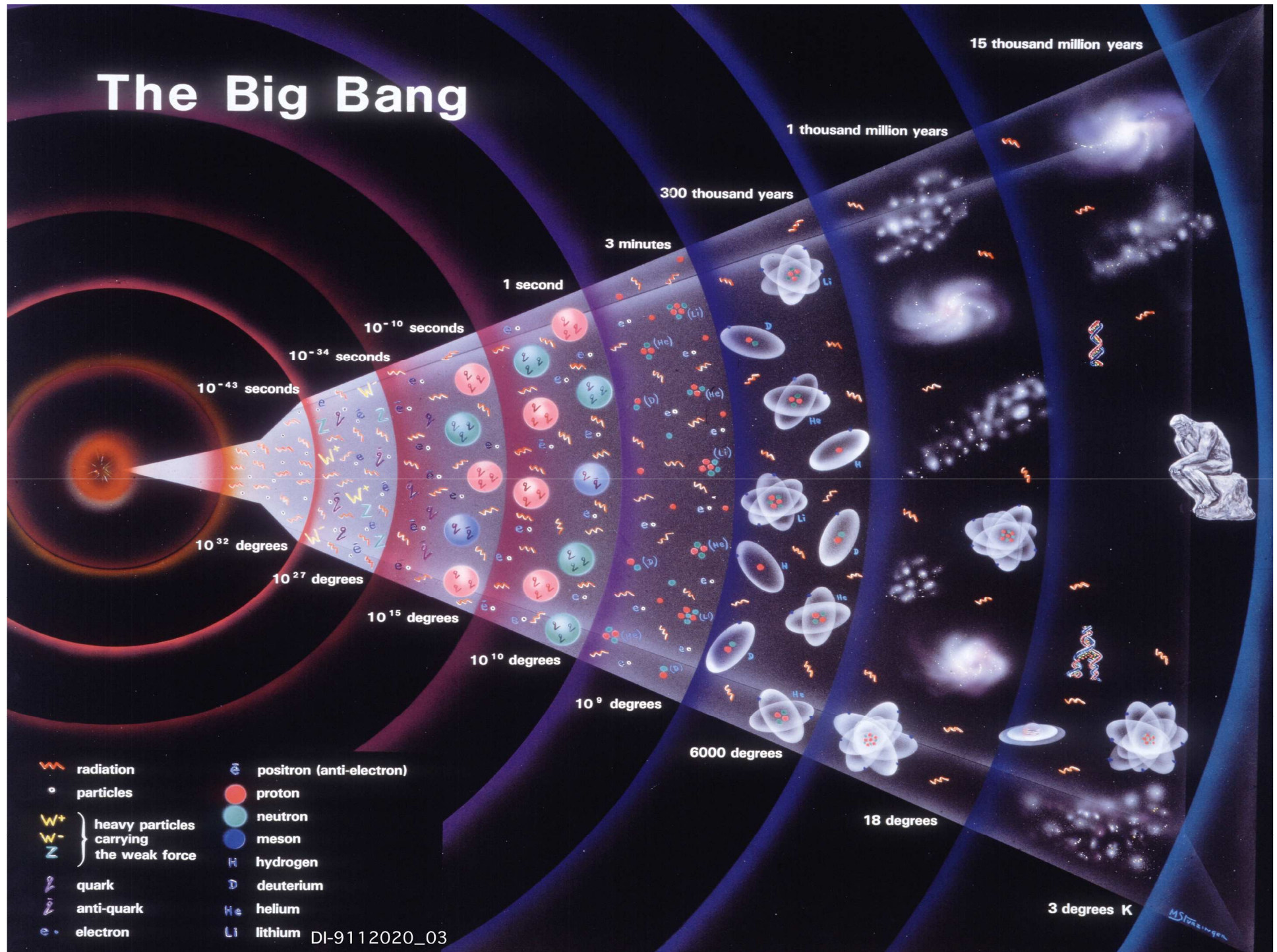
INFN

Dalle particelle elementari all'Universo

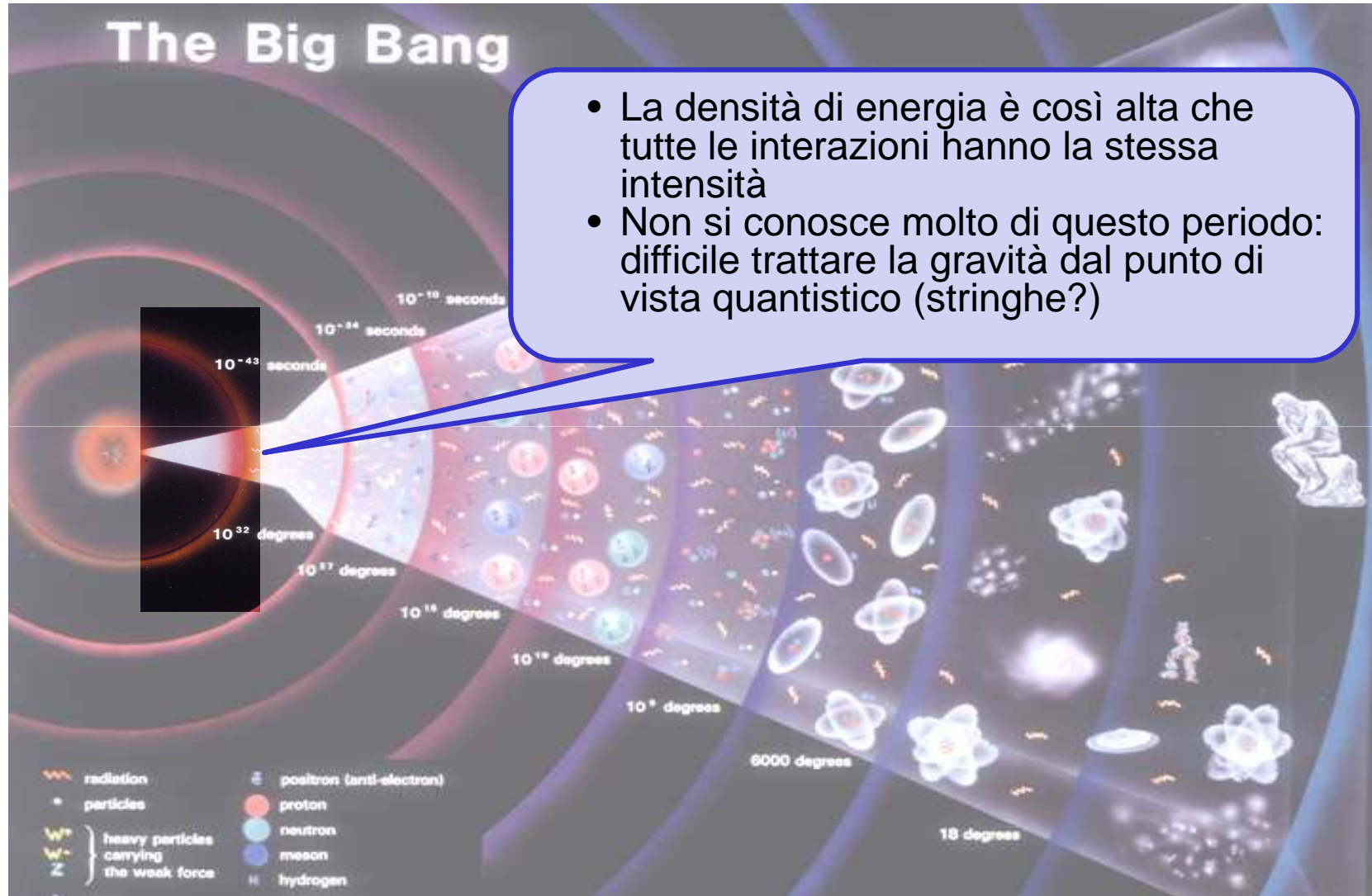


- Perché le **particelle elementari** sono importanti per capire la **struttura dell'Universo**?
- L'origine dell'Universo: cosa è avvenuto subito dopo il **big-bang**? Che ruolo hanno avuto le **particelle elementari** e le loro **interazioni fondamentali** nella sua evoluzione?
 - Perché l'estinzione dell'**antimateria** nell'Universo?
 - Origine della **massa** (bosone di Higgs?)
 - È possibile una **unificazione** delle interazioni
- **Materia oscura**: nuovi tipi di particelle?
- Struttura dello spazio-tempo: **nuove dimensioni**, **stringhe**: possono esserci indicazioni dalla fisica delle particelle ad LHC?

The Big Bang

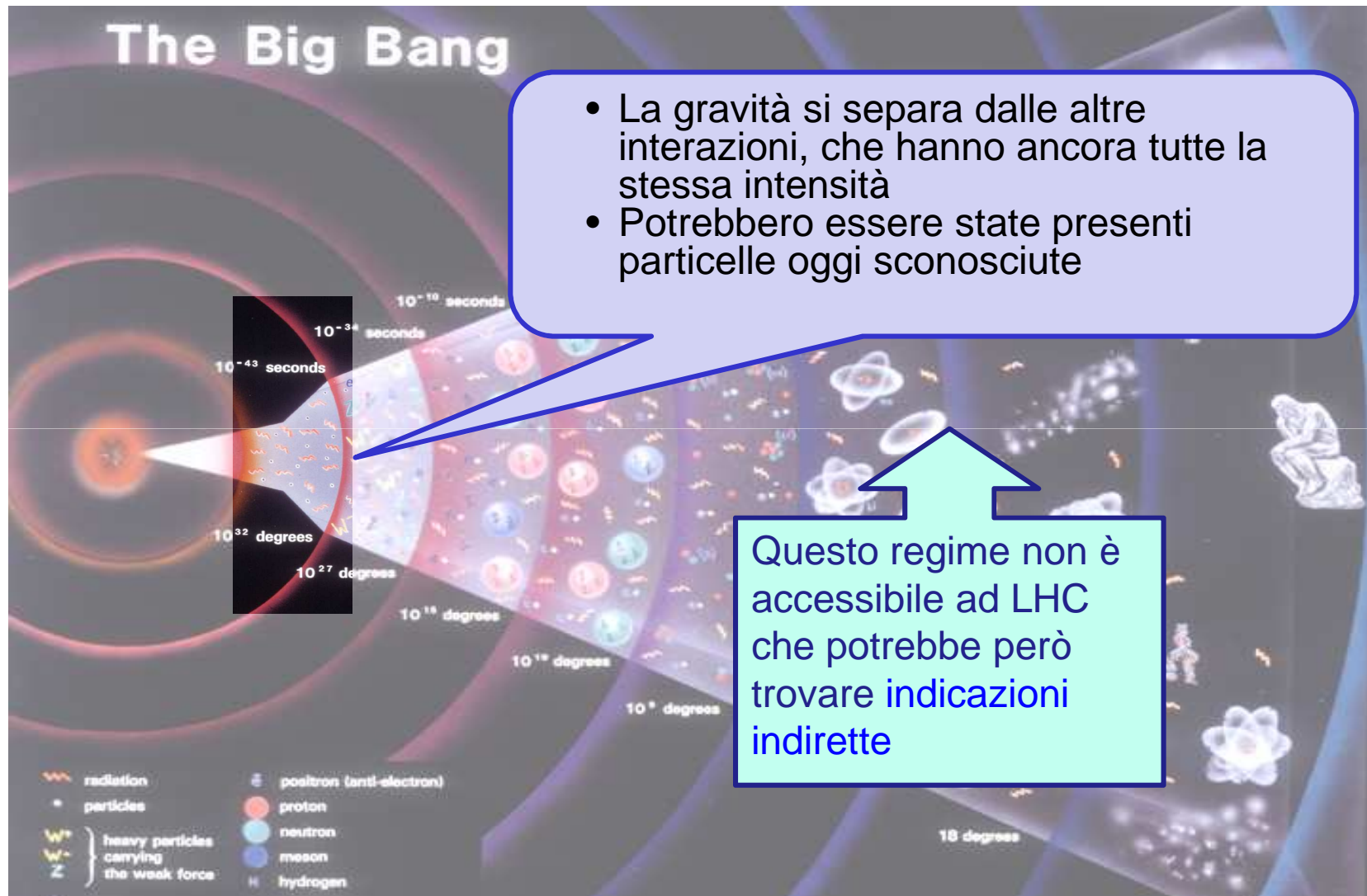


Epoca di Plank ($<10^{-43}$ s)



- La densità di energia è così alta che tutte le interazioni hanno la stessa intensità
- Non si conosce molto di questo periodo: difficile trattare la gravità dal punto di vista quantistico (stringhe?)

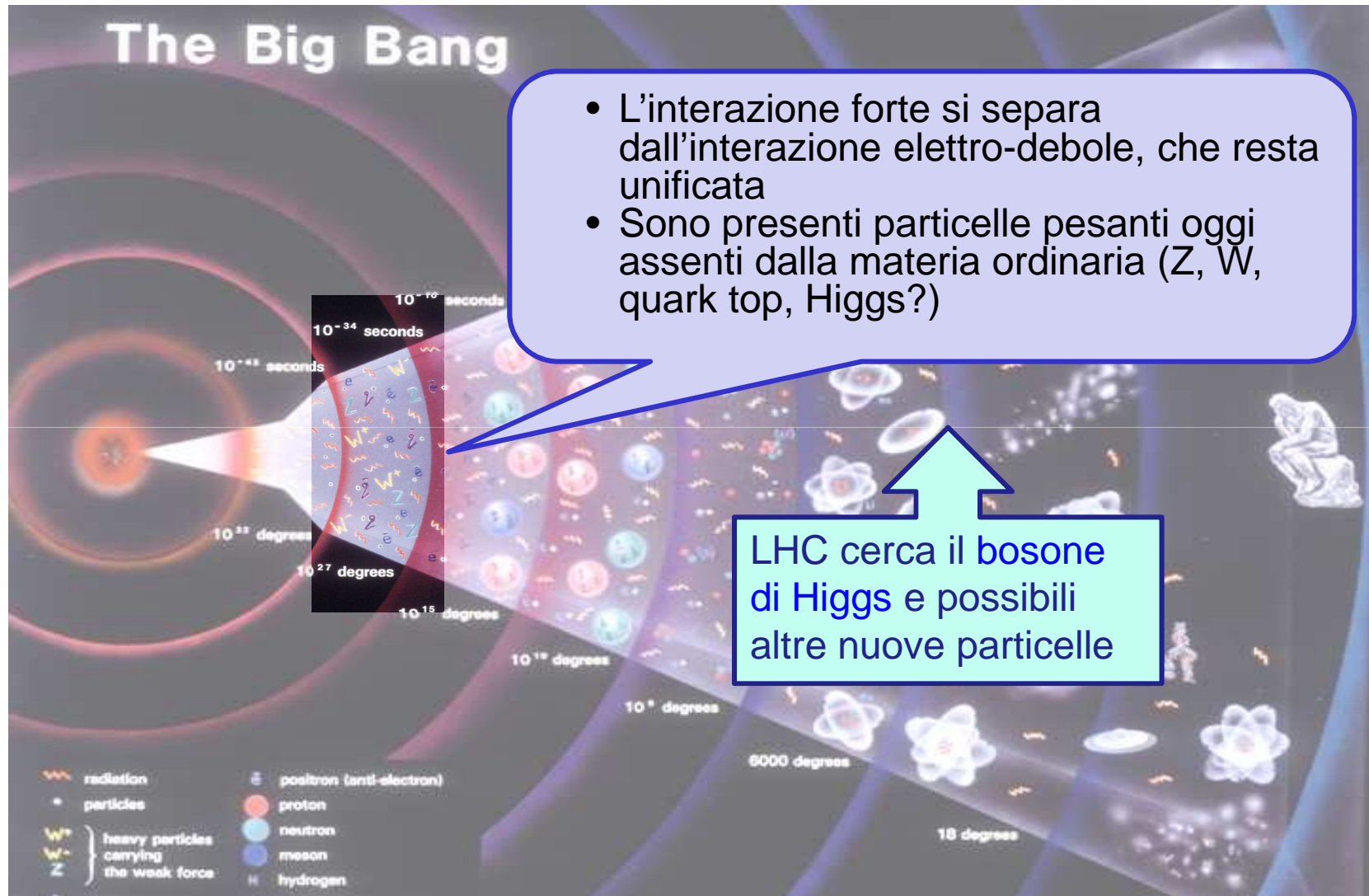
Grande unificazione ($<10^{-36}$ s)



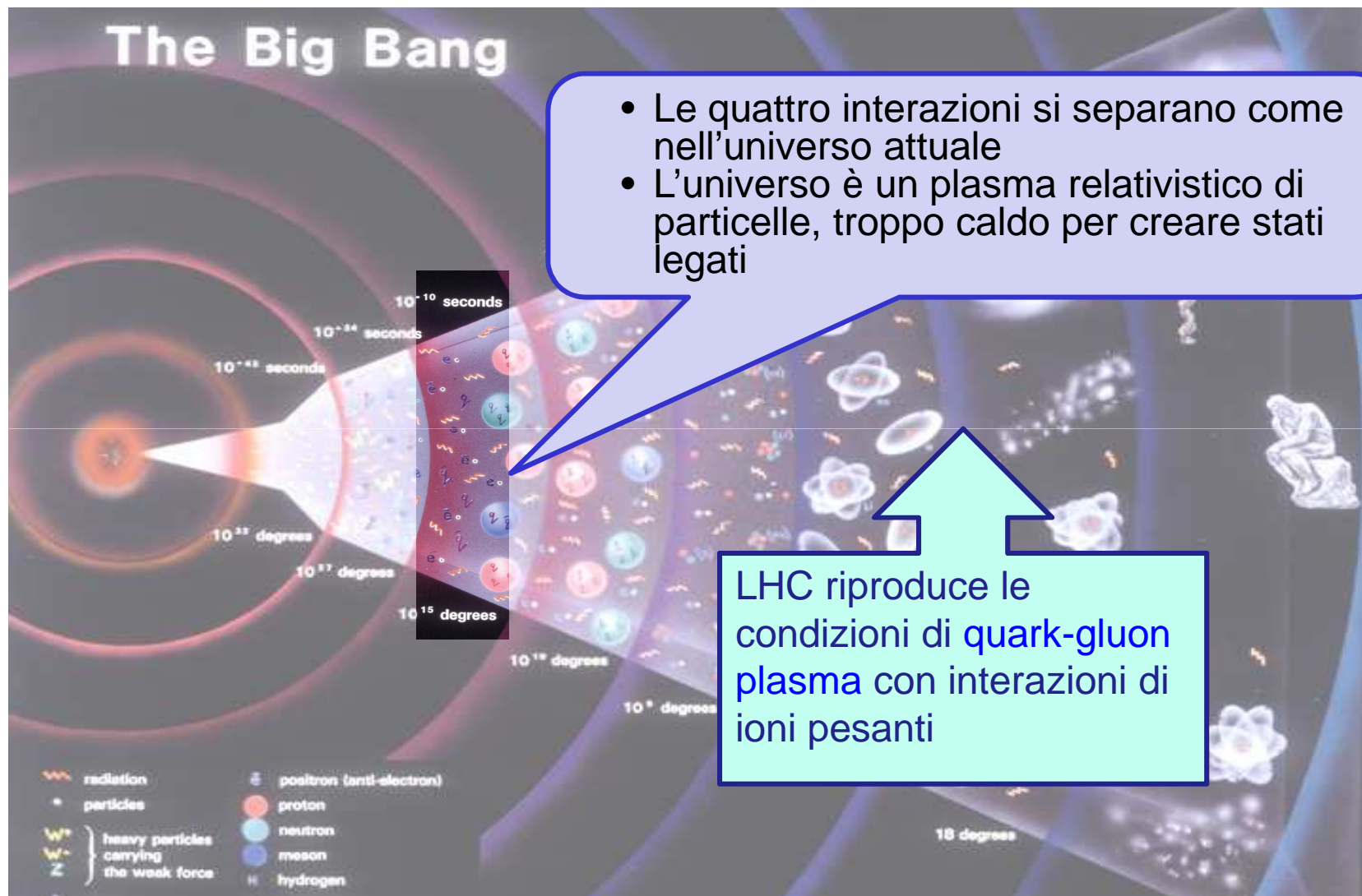
- La gravità si separa dalle altre interazioni, che hanno ancora tutte la stessa intensità
- Potrebbero essere state presenti particelle oggi sconosciute

Questo regime non è accessibile ad LHC che potrebbe però trovare indicazioni indirette

Epoca elettrodebole ($<10^{-12}$ s)



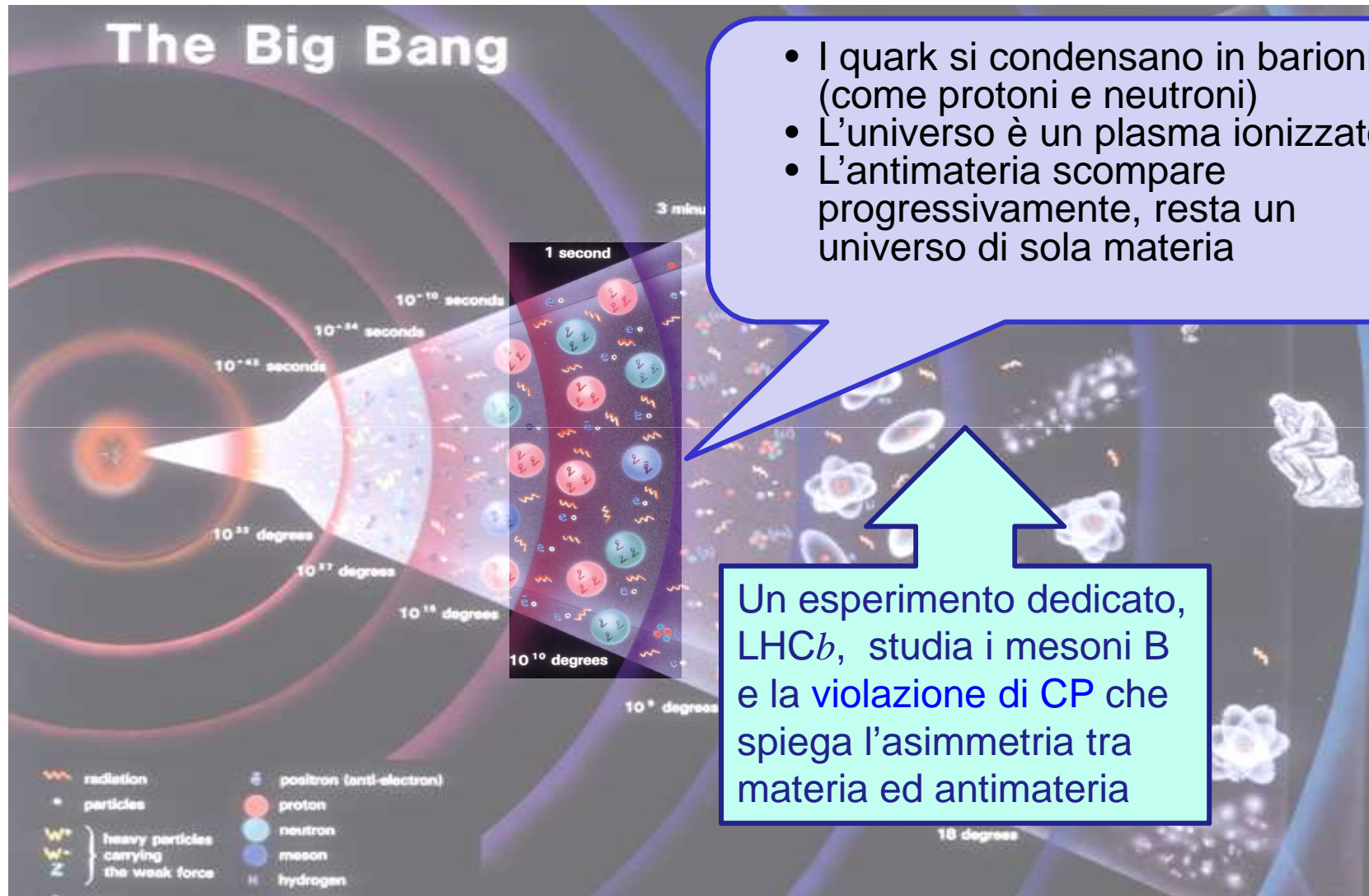
Quark-gluon plasma ($<10^{-6}$ s)



- Le quattro interazioni si separano come nell'universo attuale
- L'universo è un plasma relativistico di particelle, troppo caldo per creare stati legati

LHC riproduce le condizioni di quark-gluon plasma con interazioni di ioni pesanti

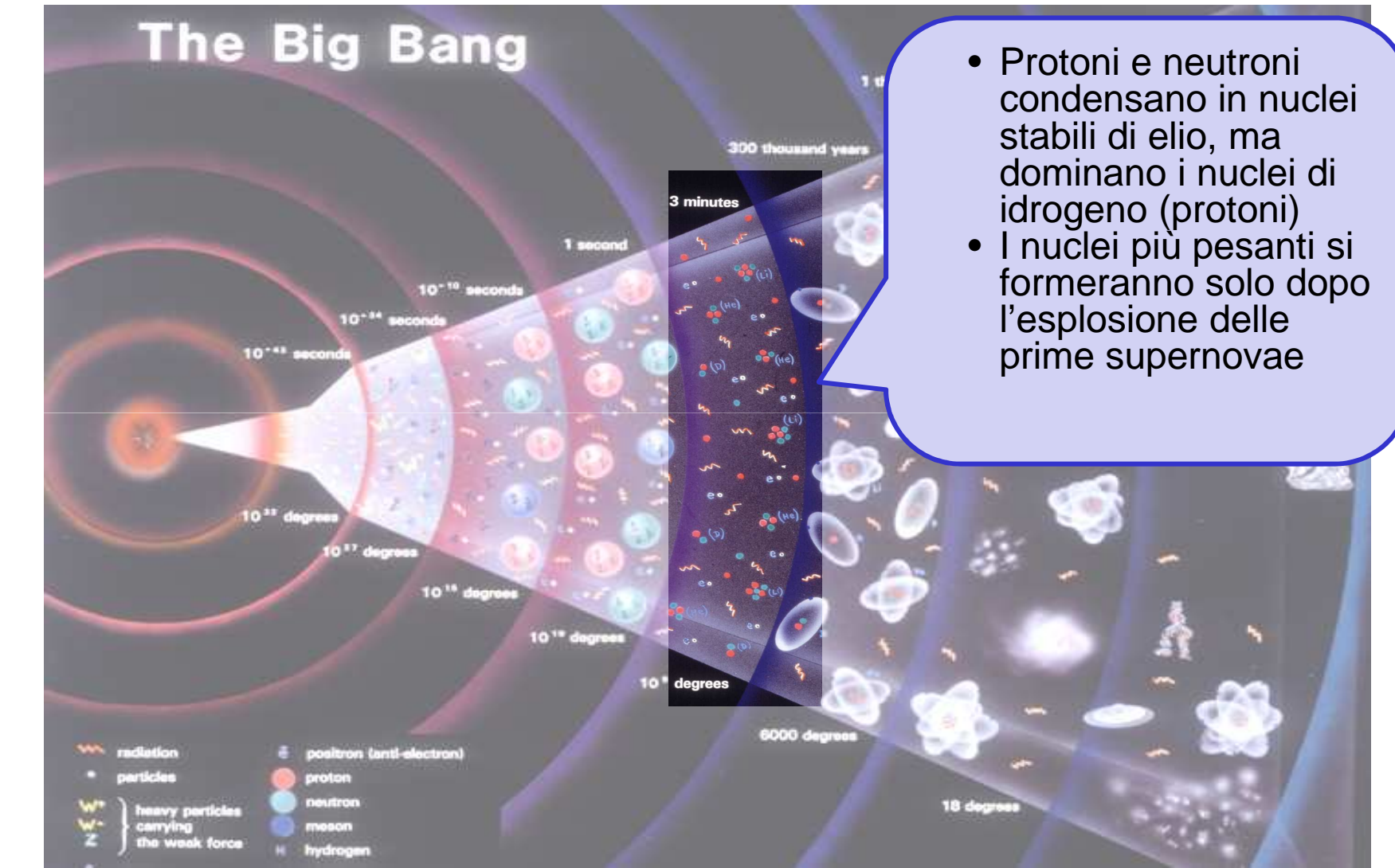
Bariogenesi (<1s)



- I quark si condensano in barioni (come protoni e neutroni)
- L'universo è un plasma ionizzato
- L'antimateria scompare progressivamente, resta un universo di sola materia

Un esperimento dedicato, LHCb, studia i mesoni B e la violazione di CP che spiega l'asimmetria tra materia ed antimateria

Nucleosintesi (3÷20 minuti)



- Protoni e neutroni condensano in nuclei stabili di elio, ma dominano i nuclei di idrogeno (protoni)
- I nuclei più pesanti si formeranno solo dopo l'esplosione delle prime supernovae

Gli atomi (240000÷300000 anni)



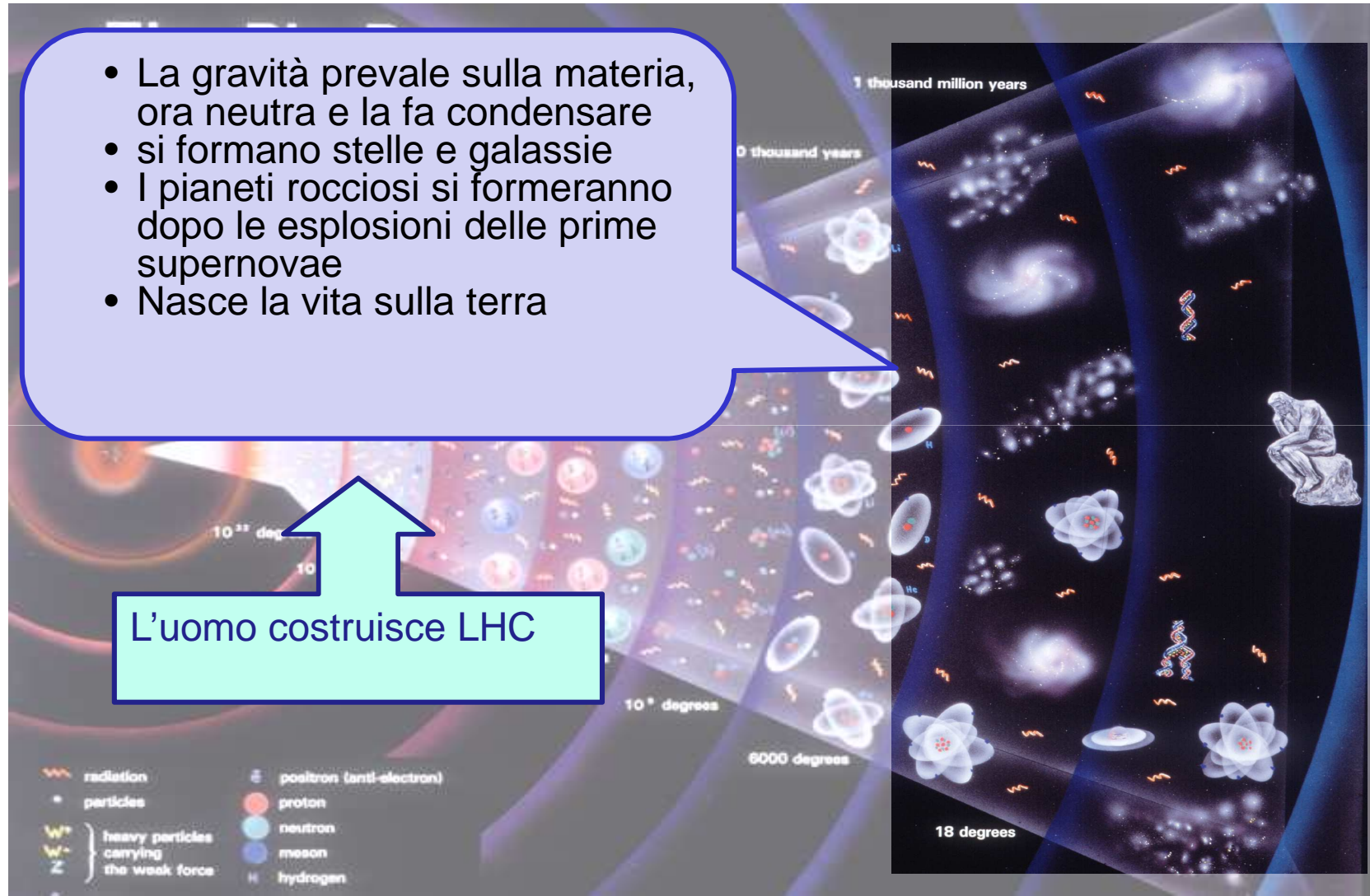
- Gli elettroni si combinano con i nuclei di idrogeno e di elio e per formare atomi neutri
- I fotoni si disaccoppiano dalla materia (radiazione di fondo), l'universo diventa trasparente



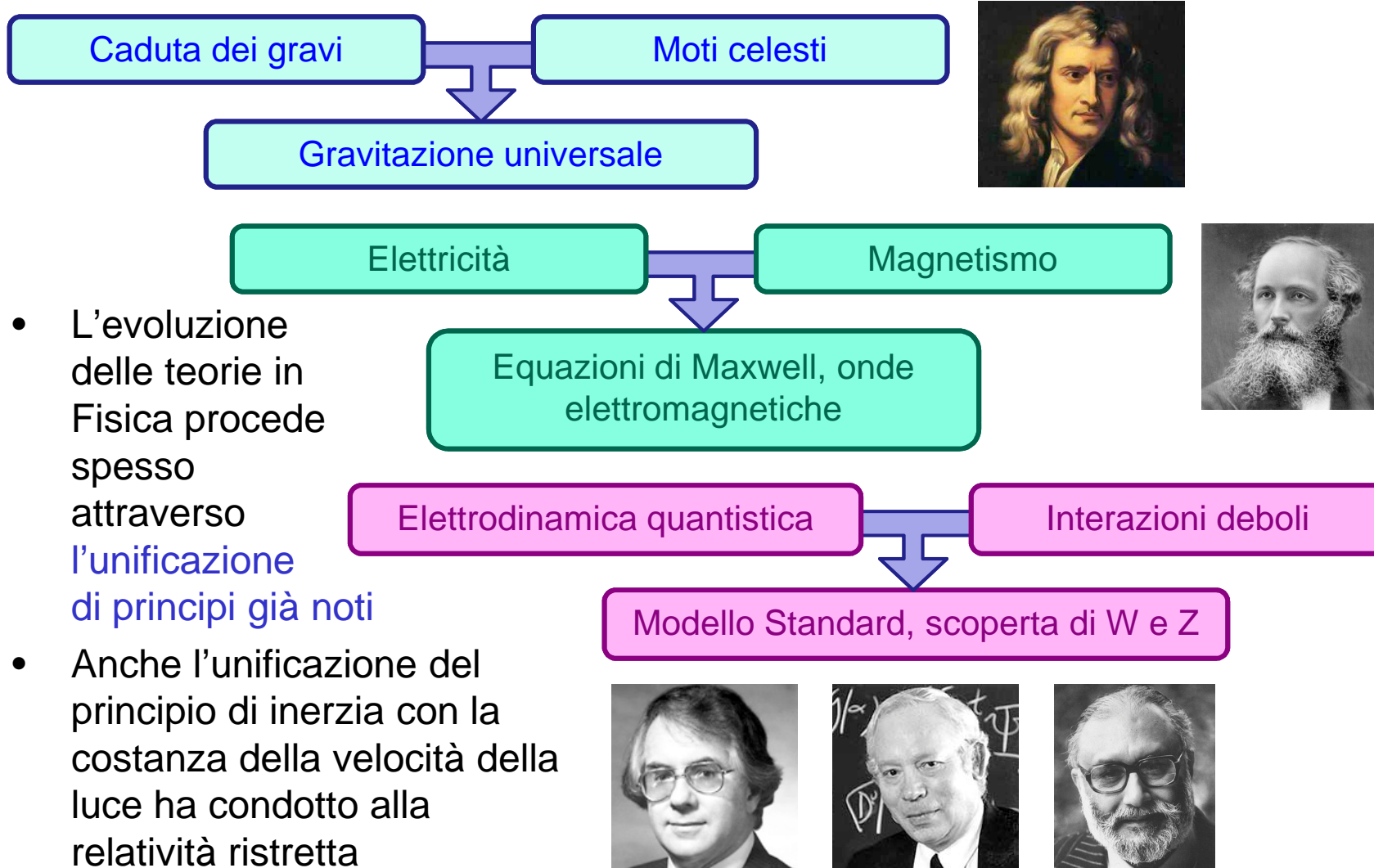
Galassie ($>10^6$ anni)

- La gravità prevale sulla materia, ora neutra e la fa condensare
- si formano stelle e galassie
- I pianeti rocciosi si formeranno dopo le esplosioni delle prime supernovae
- Nasce la vita sulla terra

L'uomo costruisce LHC



Unificazione delle interazioni

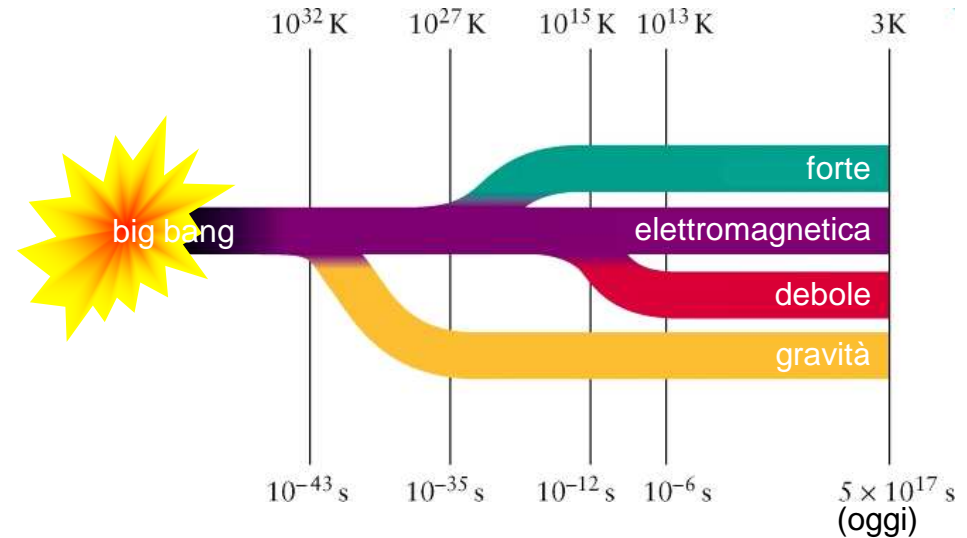
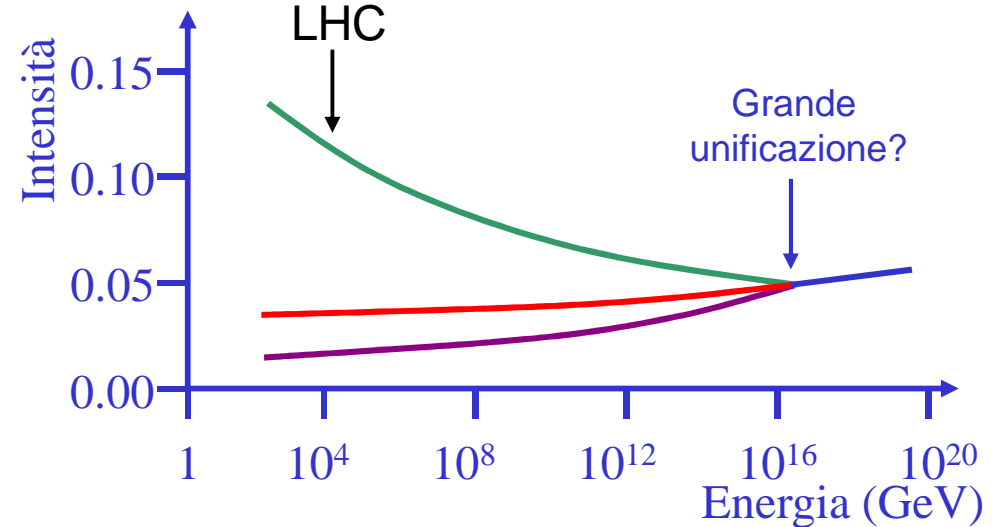
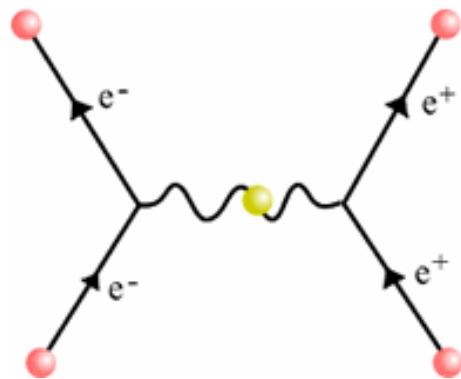


- L'evoluzione delle teorie in Fisica procede spesso attraverso l'unificazione di principi già noti
- Anche l'unificazione del principio di inerzia con la costanza della velocità della luce ha condotto alla relatività ristretta

La Grande Unificazione



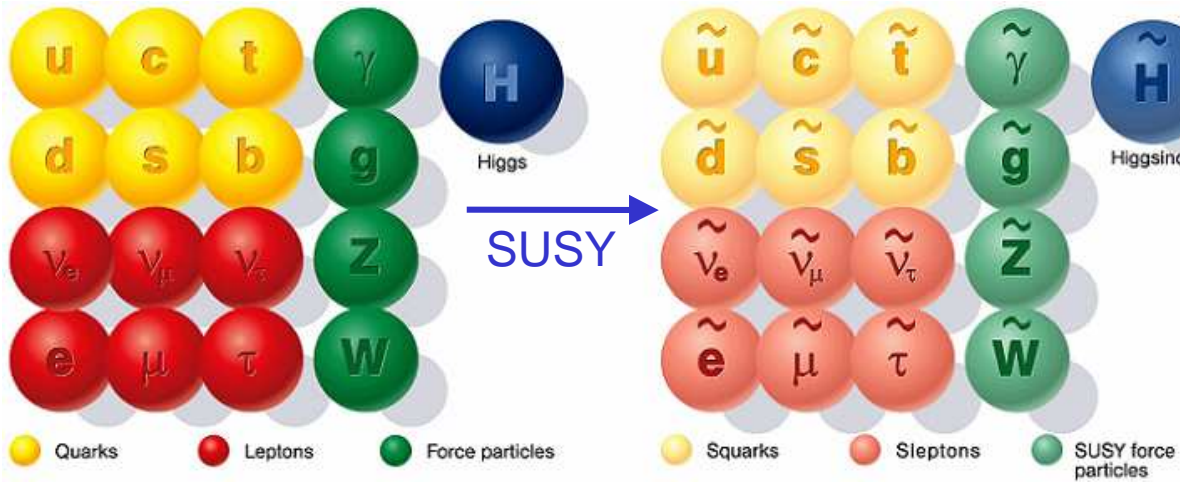
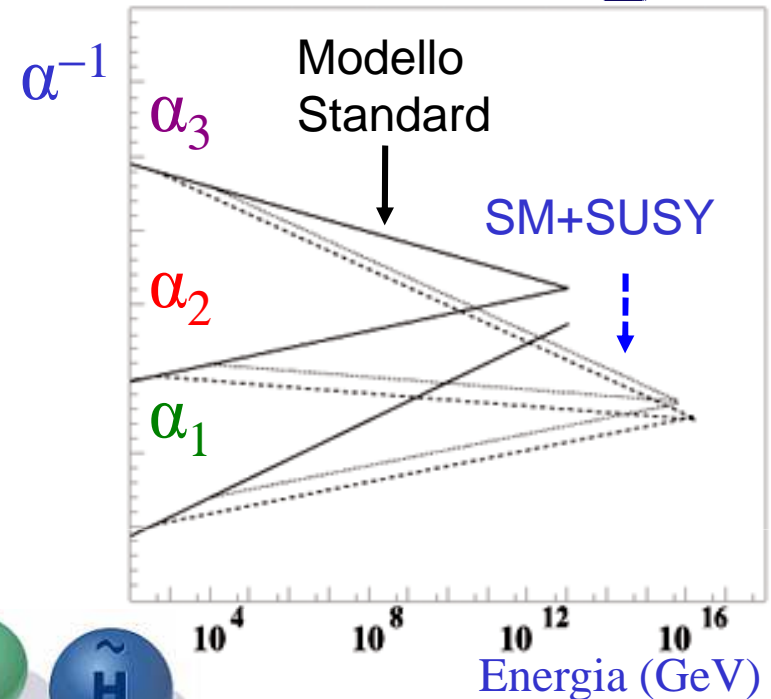
- Ognuna delle quattro interazioni fondamentali è mediata da una particella (bosone vettore)
- Il Modello Standard unifica le interazioni elettromagnetiche e nucleare debole
- È possibile che tutte le forze siano in realtà unificate in un'unica interazione fondamentale?



Unificazione e supersimmetria?



- Il Modello Standard non è compatibile, da solo con la grande unificazione
- Potrebbe essere necessario un ulteriore “ingrediente”: la supersimmetria?

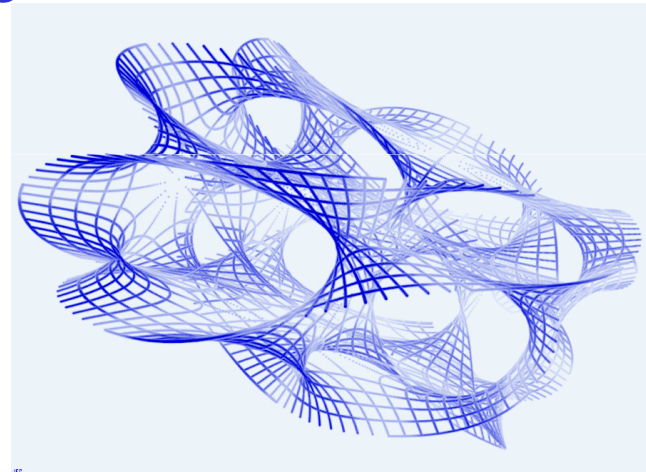
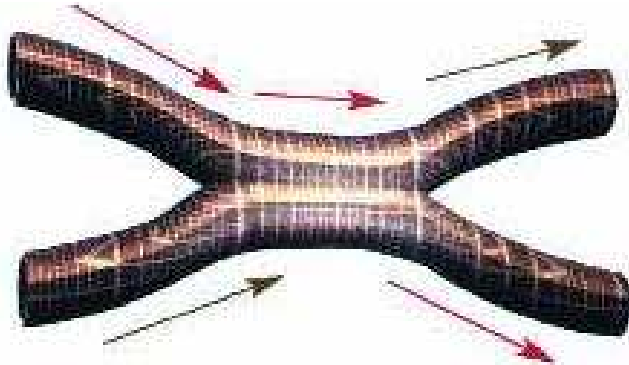


Lo spettro di particelle potrebbe moltiplicarsi con possibili osservazioni di nuove particelle ad LHC

Unificare anche la gravità?



- Unificare anche la gravità richiede sormontare difficoltà teoriche per la sua trattazione quantistica
- Una teoria in studio tratta le particelle come oggetti non puntiformi, ma come **stringhe**

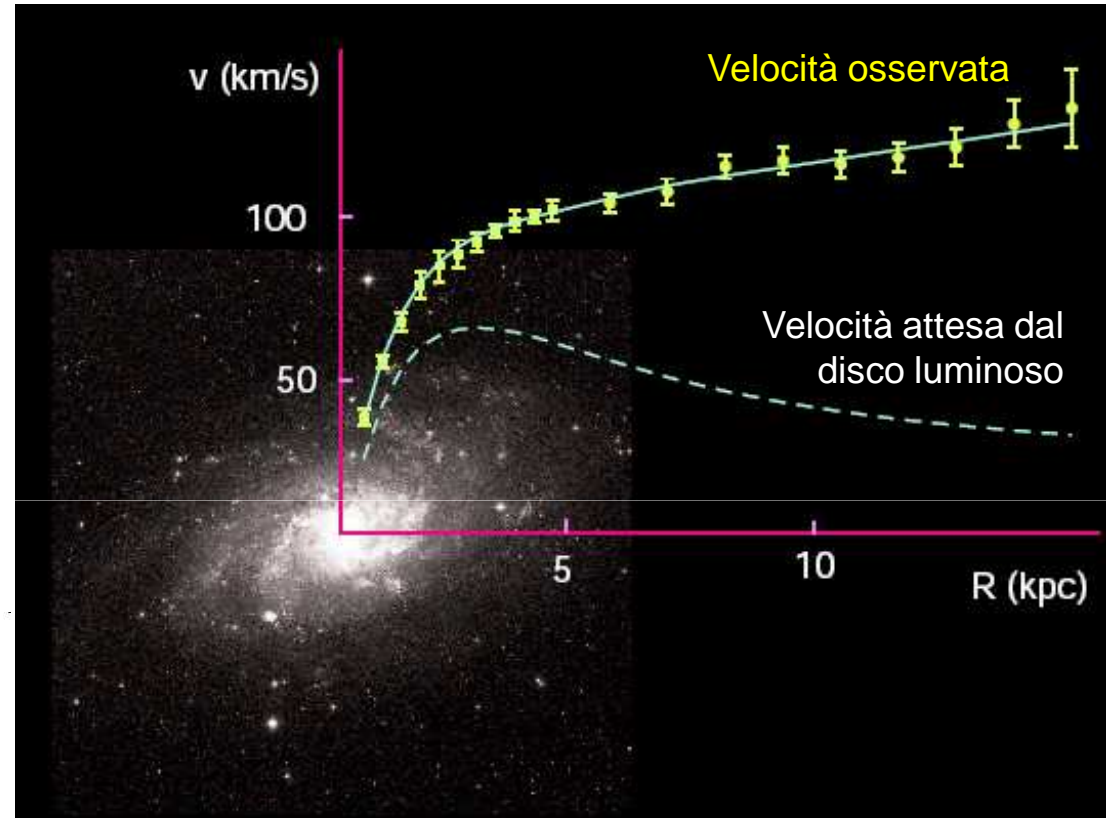
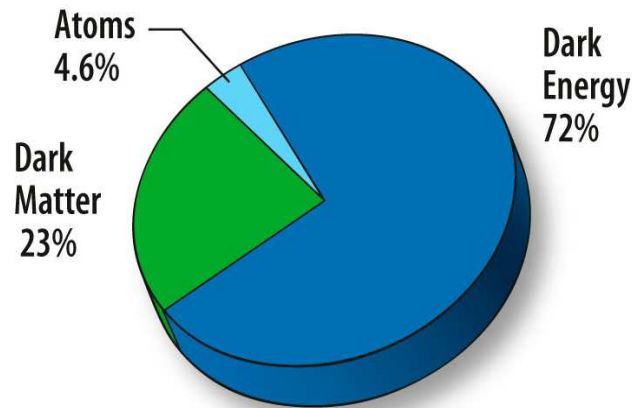


- Questi modelli richiedono la presenza di **nuove dimensioni spazio-temporali**, e non sono ad oggi sufficientemente predittivi

La materia oscura

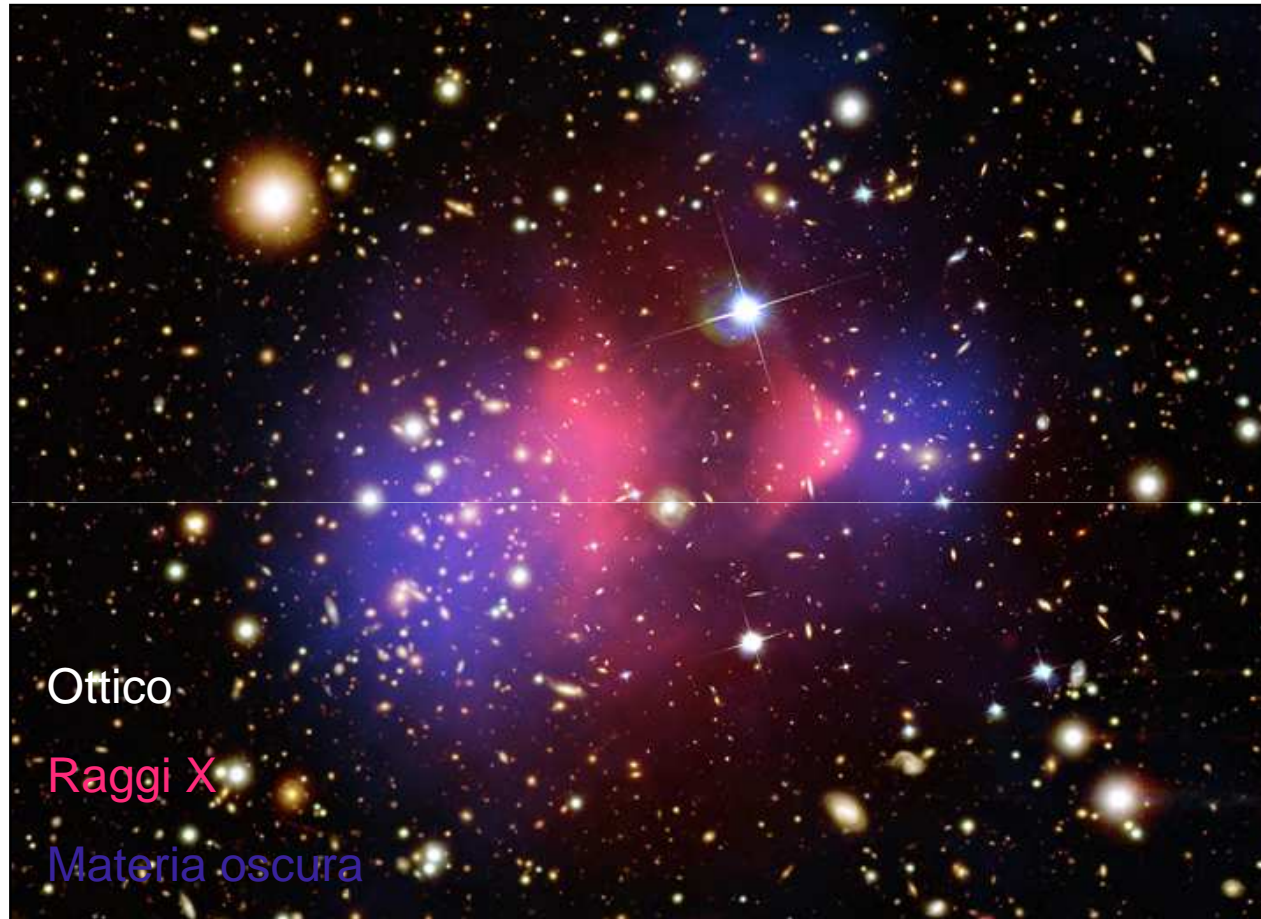


- Stelle e pianeti costituiscono solo il 5% circa della massa e dell'energia dell'universo
- La restante massa non è visibile direttamente, ma solo attraverso i suoi effetti gravitazionali sul moto delle stelle nelle galassie



Curva di rotazione della galassia M33

Una “foto” della materia oscura



Ottico

Raggi X

Materia oscura

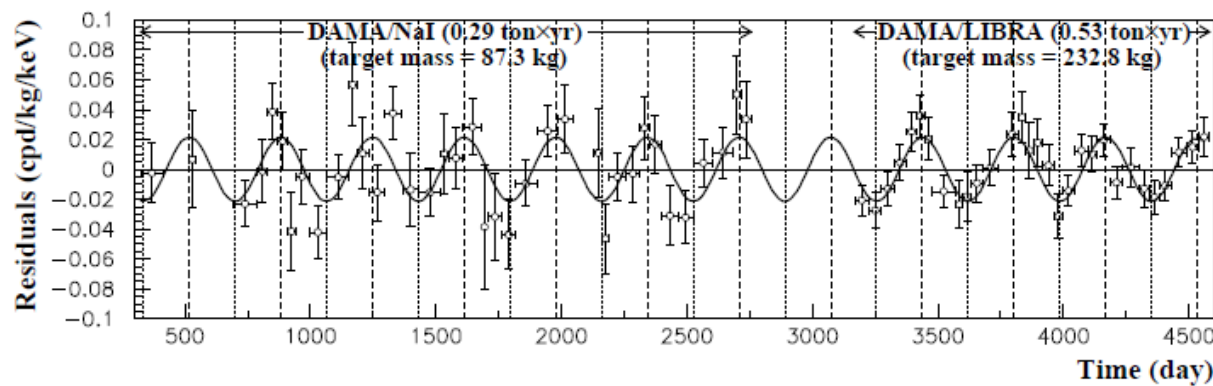
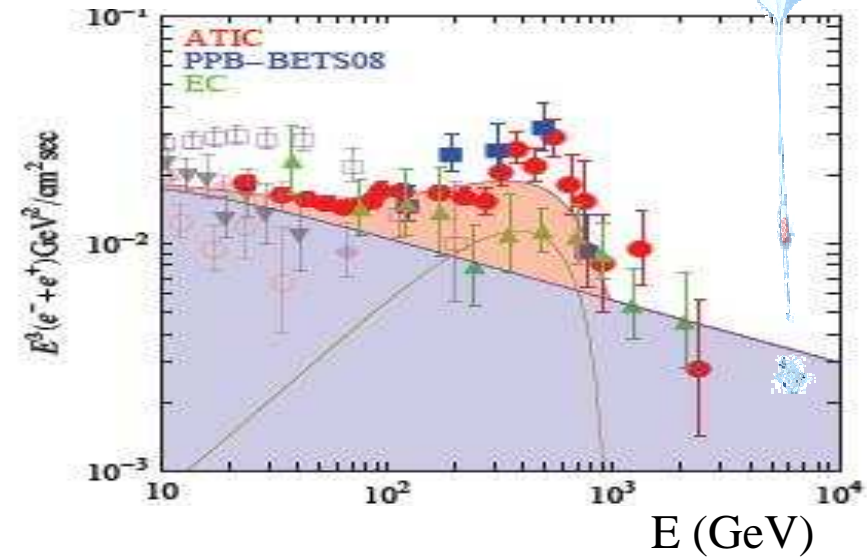
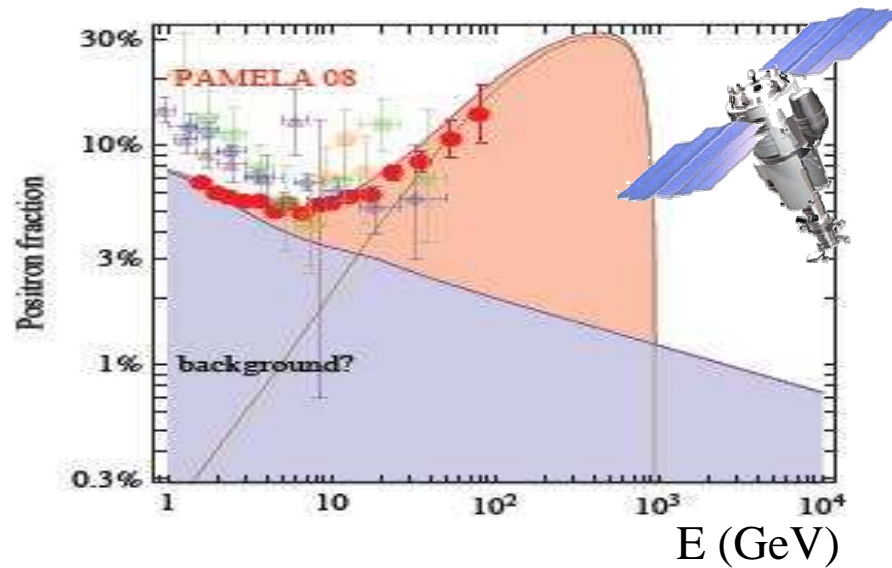
*CHANDRA, X-ray galaxy cluster
1E 0657-56, bullet cluster*

Due immagini: ai raggi X e guardando
l'effetto di lente gravitazionale

Evidenza di materia oscura?



- Esistono possibili segnali di materia oscura



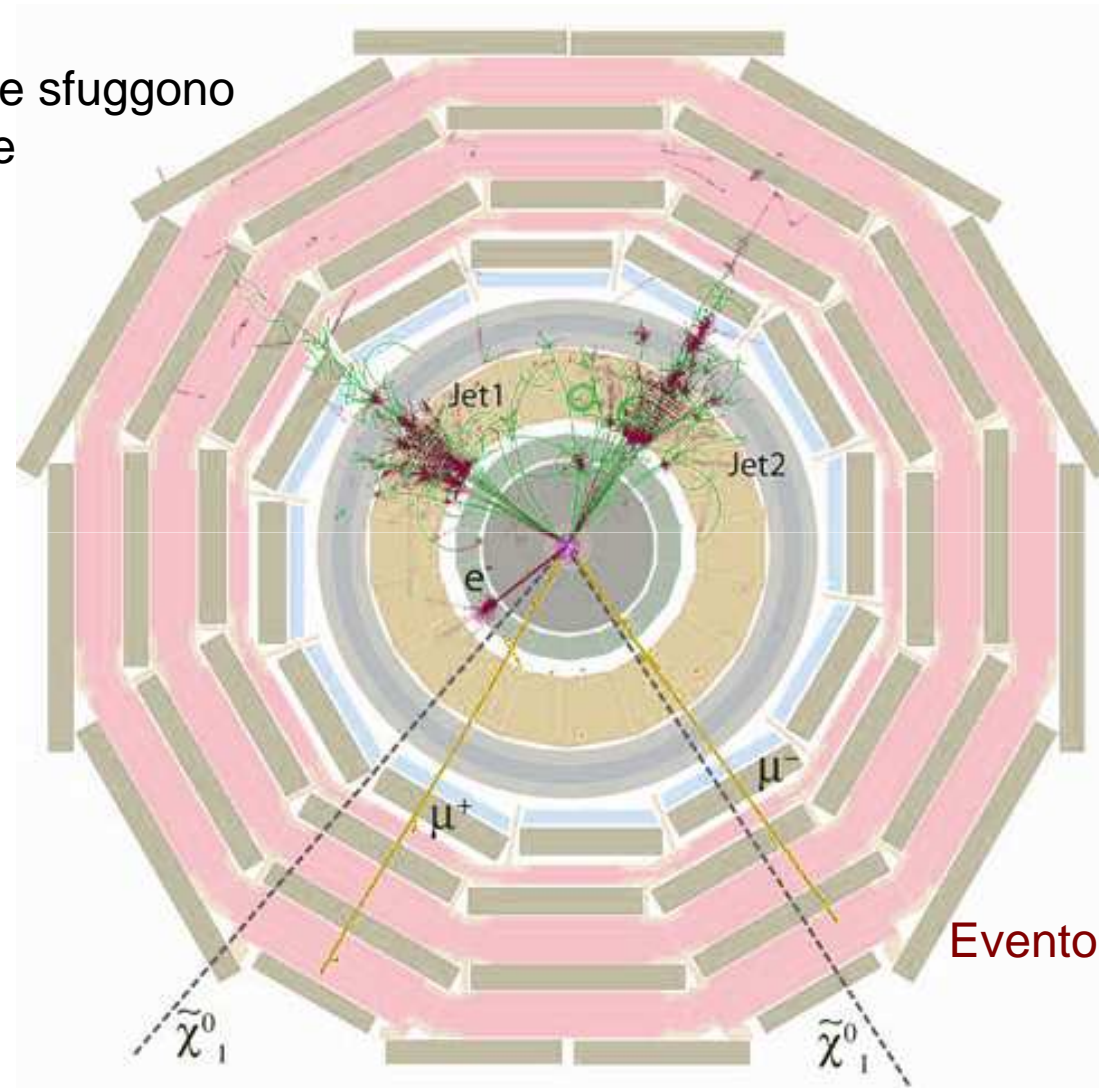
Materia oscura ad LHC



- Esistono diversi possibili particelle candidate della materia oscura
 - **Supersimmetria**: neutralino ('LSP')
 - Extra dimensioni, ...
- LHC potrebbe produrre particelle costituenti la materia oscura e studiarne la natura
- Come si 'rivela' la materia oscura?
 - Le particelle di materia oscura sfuggono senza interagire con il rivelatore
 - Sarebbero identificabili per l'energia mancante (conservazione del quadri-impulso)

Un evento SUSY ad LHC

- Le particelle che sfuggono all'osservazione producono una energia mancante
- L'energia mancante si ricostruisce indirettamente dal bilancio di energia e momento



Struttura dello spazio-tempo



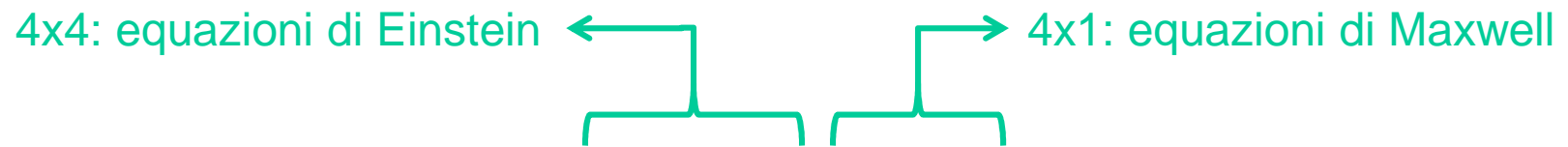
- Diverse teorie prevedono l'esistenza di **nuove dimensioni spaziali**
- Le nuove dimensioni non sono accessibili nella nostra esperienza perché “**compattificate**”, con raggi di curvatura molto piccoli
- La presenza di nuove dimensioni si può manifestare con uno spettro di **nuove particelle** rivelabili ad LHC



Il modello di Kaluza-Klein



- Negli anni '20 fu proposto un modello per **unificare gravità ed elettromagnetismo** aggiungendo una quinta dimensione



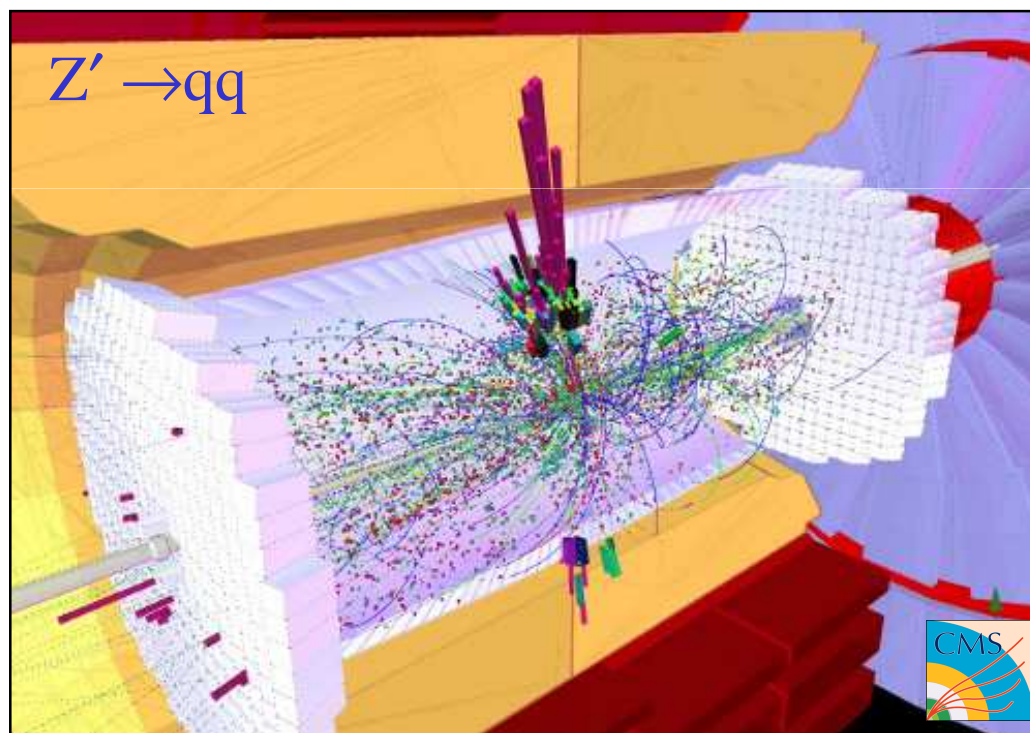
- Se la quinta dimensione è 'compattificata', non sarebbe visibile
- In più, la compattificazione fornisce la **quantizzazione della carica elettrica**
- Il modello fu abbandonato per difficoltà nella trattazione quantistica, ora è stata riconsiderata nell'ambito di modelli più complessi

Particelle da extra dimensioni



- Ogni tipo di particella corrisponderebbe, nello spazio a 4 dimensioni, ad uno spettro di particelle, eccitate nella quinta dimensione

- Il partner del fotone ($n=1$) potrebbe essere un candidato per la materia oscura
- Nuove particelle potrebbero essere prodotte direttamente ad LHC (es.: Z')



Conclusioni



- LHC permette di riprodurre in laboratorio condizioni simili a pochi istanti dopo l'origine dell'Universo
- LHC ha la possibilità di esplorare nuovi aspetti della fisica delle particelle e delle interazioni fondamentali
- Questi fenomeni sono strettamente legati alla struttura dell'Universo e alla sua origine ed evoluzione