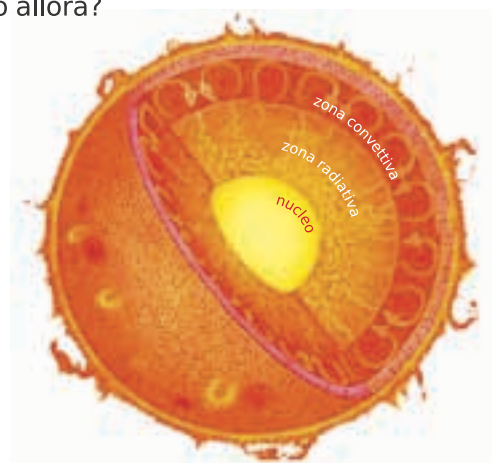


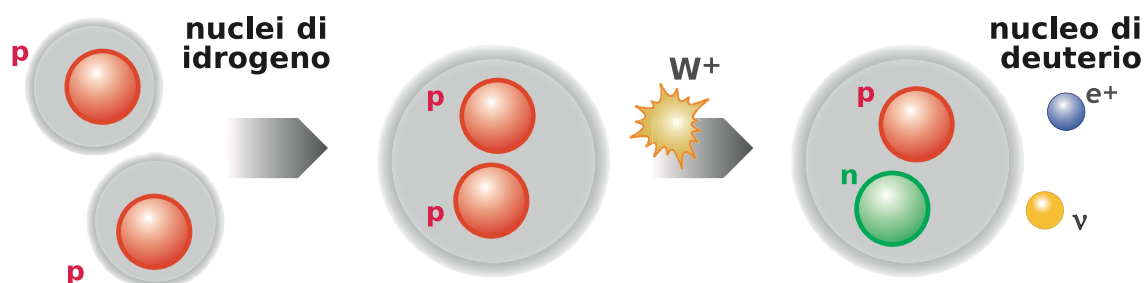
Ogni secondo, attraversano la punta di un nostro dito 60 miliardi di **neutrini**, le particelle più abbondanti dell'Universo! Hanno una massa piccolissima, almeno un milione di volte più piccola di quella degli elettroni e sono particelle fondamentali, come gli elettroni, o come i quark che compongono i neutroni e i protoni del nucleo (così si ritiene oggi). Tuttavia, a differenza di queste, i neutrini non sono costituenti degli atomi. Da dove vengono allora?

Non hanno carica elettrica, né carica di colore, quindi non risentono della forza elettromagnetica, né della forza forte. Sono le uniche particelle che hanno unicamente la carica debole e che per questo sono soggette solo alla forza debole (oltre alla forza gravitazionale che però è trascurabile nelle interazioni tra particelle). Date le poche possibilità che hanno di interagire, e la debolezza dell'unica forza a cui sono soggetti, i neutrini interagiscono molto raramente con la materia che attraversano: per questo sono le particelle più sfuggenti e più difficili da rivelare.

Grandi quantità di neutrini sono prodotte nel cuore delle stelle, nelle reazioni e trasformazioni che le alimentano e le tengono in "vita". Qui, dove la densità e la pressione sono enormi, due protoni (nuclei di idrogeno) possono avvicinarsi fino a fondersi in un unico nucleo. La **fusione termonucleare** che si innesca in questo modo avviene soprattutto per effetto dell'interazione forte, ma il nucleo ottenuto dalla fusione dei due protoni non è un nucleo stabile e decade in un nucleo differente. Un protone si trasforma così in neutrone formando un nucleo di deuterio (deutone), e questo avviene per effetto della forza debole. È il processo inverso rispetto al fenomeno della radioattività beta, ma nel caso della fusione non sono prodotti antineutrini, come nel decadimento beta, bensì neutrini!



**Le reazioni di fusione termonucleare che alimentano il Sole hanno luogo nella parte centrale della stella, il nucleo, dove la densità e la temperatura della materia sono tali da permetterne l'innesco.**



**La reazione primaria di fusione termonucleare nelle stelle: due nuclei di idrogeno (due protoni) si fondono a formare un deutone, un nucleo composto da un neutrone e un protone. Nella trasformazione, un protone si trasforma in neutrone e viene scambiato un bosone mediatore  $W^+$  che decade immediatamente in un positrone (un elettrone positivo) e un neutrino.**

L'interazione debole, poi, è così debole che le reazioni di fusione avvengono con grande "lentezza", alimentando l'esistenza delle stelle per miliardi di anni: sono tempi lunghissimi rispetto alla nostra scala temporale.

Moltissimi altri neutrini sono prodotti quando una stella di grande massa esaurisce il combustibile nucleare e collassa su se stessa. Nella fase finale, essa esplose emettendo un'enorme quantità di energia sotto forma di luce e di materia: è la *supernova*. Anche all'interno delle galassie ci sono sorgenti di neutrini, come i quasar e le pulsar e forse anche le zone vicine ai buchi neri.

Esistono poi i neutrini di tipo *fossile*, o primordiali, che si sono prodotti e diffusi in tutto l'Universo alcuni istanti dopo il Big Bang. Nello Spazio, essi viaggiano in tutte le direzioni: in ogni centimetro cubo se ne trovano circa 300, ma hanno energie bassissime, anche un miliardo di volte più piccole di quelle dei neutrini emessi dal Sole. È quasi impossibile poterne rivelare la presenza. Vi sono inoltre neutrini *atmosferici*, prodotti insieme a molte altre particelle quando raggi cosmici di elevatissima energia urtano con l'atmosfera del nostro pianeta, producendo pioni, kaoni e altre particelle che decadono in breve tempo originando muoni e neutrini. Interagendo molto debolmente con la materia essi si propagano poi indisturbati fino alla superficie terrestre e oltre, attraversando la Terra come se niente fosse...

### Interazioni" scariche"

I bosoni mediatori dell'interazione debole sono tre, non a caso. Ogni modifica indotta da questa forza, infatti, può portare con sé anche un cambiamento della carica elettrica, per questo esistono due bosoni mediatori  $W^+$  e  $W^-$  con cariche opposte. L'interazione debole, però, interviene anche quando i neutrini, attraversando la materia, collidono contro gli elettroni degli atomi oppure contro i quark dei nuclei atomici essendo così deviati dalla loro traiettoria iniziale. In questi processi la carica elettrica delle particelle resta immutata perché essi avvengono grazie allo scambio del bosone mediatore neutro  $Z^0$ . In questo caso non cambia la carica debole delle particelle che mantengono quindi la loro identità originaria.

### Neutrini parenti ...

I neutrini non sono tutti uguali. Anche loro, come i quark e i leptoni carichi, hanno un sapore: esistono infatti neutrini di tipo **elettronico**, **muonico** e di tipo **tau**. I neutrini di tipo elettronico, prodotti principalmente dentro le stelle, sono i più diffusi. Sono prodotti anche nell'atmosfera, ma i neutrini atmosferici sono soprattutto muonici e molto più energetici dei neutrini solari. I tre diversi tipi di neutrini possono trasformarsi gli uni negli altri, cioè possono cambiare il loro sapore: un fenomeno chiamato **oscillazione dei neutrini**. L'oscillazione di sapore, però, non sarebbe possibile se i neutrini fossero privi di massa: l'osservazione del fenomeno negli esperimenti è quindi una conferma del fatto che i neutrini hanno una massa, seppur piccolissima.

## APPROFONDIMENTO