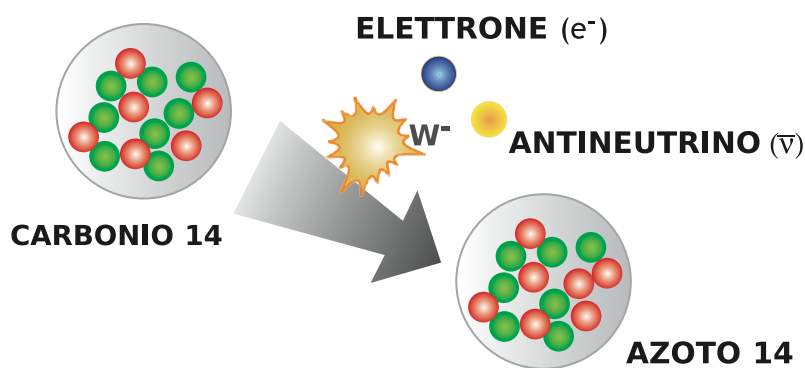


Neutroni e protoni si spartiscono lo spazio all'interno del nucleo rispettando precisi accordi che regolano la loro movimentata convivenza. Come inquilini di uno stesso appartamento, infatti, hanno buoni motivi per rimanere uniti, ma talvolta hanno anche buone ragioni per fare del loro spazio un luogo davvero "instabile". Una regola fondamentale, ad esempio, è che ci sia un certo equilibrio tra il numero dei protoni e quello dei neutroni. Non è necessario che siano uguali: come avviene nei nuclei più pesanti, i neutroni possono essere anche in numero doppio per compensare, con l'interazione forte tra loro e con i protoni, la repulsione elettrica tra i protoni carichi. La loro massa, però, è maggiore di quella dei protoni e quando il loro numero supera un certo limite diventa più conveniente che un neutrone "decada" in un meno "ingombrante" protone. Il nuovo nucleo sarà più leggero e più stabile e nella maggior parte dei casi avrà anche un nome diverso: sarà un nuovo elemento... Il fenomeno è quello della **radioattività beta**.

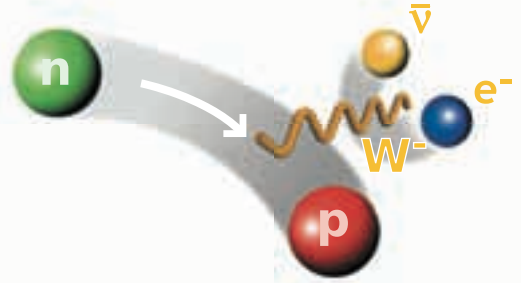


**Decadimento beta del carbonio:**  
il carbonio 14 (formato da 6 protoni e 8 neutroni) nel trasformarsi in un nucleo di azoto 14 (formato da 7 protoni e 7 neutroni) emette un elettrone e un antineutrino.

Normalmente, però, i neutroni dei nuclei atomici non decadono, altrimenti tutta la materia sarebbe instabile: la trasformazione avviene solo in queste condizioni di particolare "sovraffollamento".

Al contrario, il neutrone decade sempre quando è libero, fuori dal nucleo, ma impiega ben 14 minuti, un tempo lunghissimo rispetto ai decadimenti dovuti alle interazioni elettromagnetica e forte. È stata proprio la lentezza di questo processo a far pensare che esso fosse dovuto a una nuova forza, molto più debole delle altre due: l'**interazione debole**. Essa è responsabile della radioattività beta che è sempre accompagnata dalla "creazione" di due nuove particelle: un elettrone (anche detto particella beta) e una seconda particella chiamata anti-neutrino, l'antiparticella del **neutrino**.

Delle quattro interazioni, l'interazione debole sembra dunque la più singolare. Essa non si manifesta mai come una forza che "tiene assieme" le particelle, piuttosto le "trasforma" in particelle diverse e talvolta le "devia" semplicemente. Ci sono due buone ragioni, poi, se come accade per la forza forte non percepiamo l'azione dell'interazione debole: come conferma il suo nome è



**Decadimento di un neutrone in un protone: il bosone mediatore  $W^-$  emesso nel processo decade in breve tempo in un antineutrino (giallo) e un elettrone (blu).**

molto debole, circa centomila volte meno intensa della forza nucleare forte, e agisce a distanze per noi inimmaginabili: il suo raggio d'azione è inferiore alle dimensioni di un nucleo atomico. Come le altre interazioni, anche la debole può essere interpretata come uno scambio di particelle “messaggere” e in questo caso ce ne sono ben tre: sono i **bosoni mediatori  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$** .



**Il decadimento del neutrone visto dal suo interno: un quark down (arancione) del neutrone interagisce mediante l'interazione debole e si trasforma in un quark up (bianco), emettendo il bosone mediatore  $W^-$  che decade in un antineutrino (giallo) e un elettrone (blu).**

## La carica è debole

Sono soggette alla forza debole le particelle dotate di **carica debole**, una proprietà che ha per la forza debole lo stesso ruolo che hanno la carica elettrica per la forza elettromagnetica e la carica di colore per la forza forte. Ne sono caratterizzate tutte le particelle elementari con la sola esclusione dei gluoni e dei fotoni.

L'interazione nucleare debole, quindi, agisce sui **quark** dei neutroni e dei protoni, ma interagiscono mediante la forza debole anche i **leptoni**, la famiglia di particelle che insieme ai quark completa il quadro delle particelle elementari. Essa comprende gli elettroni, i muoni, le particelle “tau” e infine i neutrini. Ogni volta che sono scambiati i bosoni mediatori carichi,  **$W^+$**  e  **$W^-$**  l'interazione debole comporta una mutazione del **sapore** delle particelle, come accade ai quark nel decadimento del neutrone, o come avviene ai leptoni nel decadimento del muone e nei processi di cattura dei neutrini.

## Pesanti mediatori ...

Le particelle che sono scambiate nell'interazione debole, i **bosoni mediatori  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$**  sono particelle relativamente pesanti, quasi 100 volte più pesanti di un protone! Proprio a causa della grande massa è stato difficile scoprirne sperimentalmente l'esistenza. Per produrre in un acceleratore una particella con una grande massa, infatti, occorre moltissima energia e questo richiede acceleratori molto potenti e tecnologicamente sofisticati. Per questo si è dovuto aspettare fino all'avvento degli acceleratori moderni perché i ricercatori potessero confermare l'effettiva esistenza dei mediatori della forza debole. L'esperimento che ha permesso ai fisici di “vedere” i “pesanti mediatori della forza debole si è svolto al Cern di Ginevra nel 1983 ed è valso il premio Nobel per la fisica all'italiano Carlo Rubbia, nel 1984.

## APPROFONDIMENTO