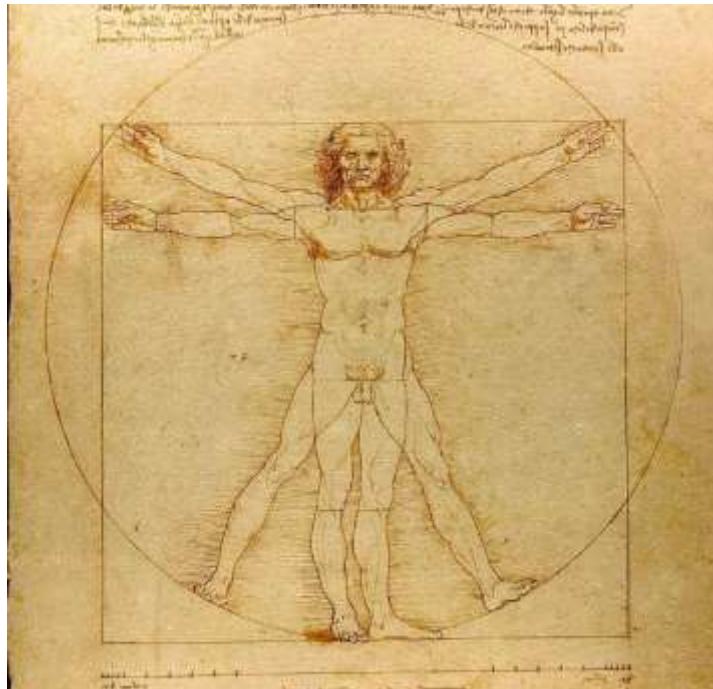


Carmine Vona



# Il Perche' delle Cose



Leonardo da Vinci – L’Uomo Vitruviano - Fonte: en.wikipedia.org

Saggio 2

## Il Corpo Umano

Parte I e II

Una raccolta di saggi di natura scientifica presentati in forma semplice per i non “addetti ai lavori”

Con il Patrocinio del Comune di Moschiano



E del Forum dei Giovani di Moschiano

2025



## Compendio

*Non è un mistero che moltissime volte tutti noi siamo intimoriti quando ci troviamo di fronte a trattati o semplici pubblicazioni scientifiche soprattutto perché spessissimo i loro autori fanno ricorso a formule astruse e/o linguaggi difficili da comprendere e che spesso ottengono l'effetto opposto e ci allontanano invece che avvicinarci alla materia trattata. Fortunatamente di tanto in tanto c'è qualcuno che, soprattutto in base alla propria esperienza, si rende conto di questa limitazione e si adopera per rendere il tutto più alla portata di quelli che non hanno tanta dimestichezza con la matematica, fisica, e scienza in generale.*

*È il caso di Carmine Vona, Moschianese d'origine, Dottore in Fisica ed affermato ex professore e dirigente di importanti Istituti Finanziari a livello mondiale che, con l'aiuto delle sue nipoti, ha cercato di spiegare a studenti giovanissimi, a livello concettuale, teorie molto complicate con la speranza che, quando questi studenti proseguiranno negli studi, saranno meglio equipaggiati per affrontare le sfide che li attendono.*

*Il Perché delle Cose è una serie di saggi di natura scientifica il cui obbiettivo è quello di spiegare in maniera elementare i concetti fondamentali di alcune teorie e misteri della scienza ai "non addetti ai lavori" o, in generale, a persone che hanno scarse conoscenze scientifiche, senza far ricorso alla matematica avanzata. Alcune versioni preliminari di questi saggi sono state redatte dalle nipoti del dott. Carmine Vona, sotto la guida del consulente scientifico del ginnasio/liceo (High School) che esse frequentavano, e, successivamente, estese ed arricchite dal dott. Vona in modo da renderle autosufficienti. Altri saggi sono il risultato del lavoro congiunto del dott. Vona e delle sue nipoti, alle quali il dott. Vona cercava di spiegare, in termini a loro accessibili, teorie scientifiche molto avanzate.*

*L'opera completa è costituita da 8 saggi su vari argomenti scientifici e 2 "addendum"*

<i>Saggio 1</i>	<i>– Definizione, Origini e Caratteristiche dei Buchi Neri nell'Universo</i>
<i>Saggio 2</i>	<i>– Il Corpo Umano – Parte I e Parte II</i>
<i>Saggio 3</i>	<i>– Fisica delle Particelle – Parte I e Parte II</i>
<i>Saggio 4</i>	<i>– Teoria della Relatività</i>
<i>Saggio 5</i>	<i>– Meccanica Quantistica – Parte I e Parte II</i>
<i>Saggio 6</i>	<i>– Entanglement, Meccanica Quantistica e Informatica Quantistica</i>
<i>Saggio 7</i>	<i>– Intelligenza Artificiale (IA): Che cosa è? Come funziona?</i>
<i>Saggio 8</i>	<i>– Addendum al Saggio sulla IA: Premi Nobel 2024 per la Fisica e Chimica</i>
<i>Saggio 9</i>	<i>– Il Ruolo della Matematica nelle Scienze (Che cosa è la Matematica)</i>
<i>Saggio 10</i>	<i>– Addendum al Saggio "Il Ruolo della Matematica nelle Scienze"</i>

*(Come spiegare l'equazione EFE di Einstein a un(a) ragazzo/a di 13-14 anni)*

*Ringraziamo quindi gli autori dei saggi per aver voluto condividere il loro lavoro con tutti noi, nella speranza che esso possa istigare, soprattutto nei più giovani, quella curiosità intellettuale fondamentale per l'avanzamento della cultura e del progresso e di cui tutti noi abbiamo bisogno.*

*Carmine Manfredi*

## **Versione Digitale**

Una versione digitale di questo documento in formato PDF può essere trovata alla URL <https://www.prolococaputo.org/il-perche-delle-cose> oppure usando il QR a lato.



“A Moschiano, alle sue radici ed alla sua comunità, con l’augurio che questi scritti possano essere un piccolo seme di conoscenza e memoria condivisa”

## Saggio 2 – Il Corpo Umano – Parte I e Parte II

A cura di Carmine Vona e delle sue nipoti

Redatto nel 2018 AD

**Sommario** In questo saggio gli autori cercano di rispondere ad alcune domande che, fin dall'inizio dei tempi, filosofi, scienziati, teologi e molti altri studiosi di civiltà umane si sono posti. Domande del tipo:

- Chi siamo?
- Di che cosa siamo fatti?
- Da dove veniamo?
- Dove stiamo andando?

In altre parole, si cerca di dare una risposta (nei limiti possibili) alla domanda: cosa è il “**corpo umano**”?

Il saggio esplora anche il problema della reincarnazione e, scientificamente, dimostra che alcune forme di reincarnazione sono possibili anche se non sempre necessariamente allineate con quanto promulgato da varie religioni.

## Note Biografiche sugli Autori:

### Dott. Carmine Vona

Nato a Moschiano (AV) e laureato in Fisica presso l'Università Federico II di Napoli, il Dott. Vona ha insegnato Esercizi di Fisica presso la stessa Università e Fisica Generale all'Università di Natal in Brasile prima di trasferirsi negli Stati Uniti dove, con il titolo di Vicepresidente Esecutivo e Chief Information Officer (CIO), per decenni è stato a capo del Dipartimento di Tecnologia della Bankers Trust Company, una delle più prestigiose banche di Wall Street.

Il Dott. Vona ha anche conseguito la docenza in Computer Science presso l'Università dello Stato di New York (USA) ed ha insegnato Linguaggi di Programmazione all'International Computer Institute di New York.

### Nipoti del dott. Vona

Al tempo della compilazione di questo saggio, frequentavano il Ginnasio/Liceo. Agli studenti meritevoli il consulente scientifico del Ginnasio/Liceo assegnava il compito di fare ricerche su Internet o su libri di testo su argomenti scientifici per poi compilare un saggio sull'argomento assegnato. Nella maggior parte dei casi il nonno (dott. Vona) ha semplicemente provveduto ad arricchire e integrare gli scritti iniziali delle nipoti per renderli autonomi e autosufficienti. In altri casi, il nonno ha proposto l'argomento della ricerca e poi è stata seguita la stessa procedura del Ginnasio/Liceo.

## Prefazione

*Dopo il volume dedicato ai "Buchi Neri" il Comune di Moschiano ed il Forum dei Giovani di Moschiano, con immenso piacere, patrocinano questo secondo saggio della serie "Il Perché delle Cose" redatto dal dott. Carmine Vona e dalle sue nipoti dal titolo: "Il Corpo Umano".*

*Il lettore casuale potrebbe aspettarsi un documento scritto in una forma più convenzionale che descriva il nostro corpo dal punto di vista anatomico, ma questo non è il nostro caso.*

*Partendo da una serie di domande che quasi sicuramente tutti ci siamo posti (chi siamo, di cosa siamo fatti, etc.) gli autori si soffermano, piuttosto che sulla descrizione anatomica del nostro corpo, sui suoi aspetti chimico-fisici nonché del suo ruolo nell'Universo, fino alle grandi questioni metafisiche che hanno per secoli cruciato la mente di grandi scienziati, teologi e filosofi: dove andiamo, c'è vita dopo la morte, esiste la reincarnazione?*

*L'idea di un saggio così strutturato fu suggerita, anni fa, dal consulente scientifico della sua scuola ad una delle nipoti del dott. Vona, quando era alle prese con la tavola periodica degli elementi di Mendeleev.*

*Con l'aiuto della sorella e cugine e la guida del nonno, dott. Vona, esse ben presto si ritrovarono a scrivere in forma relativamente semplice un saggio circa un argomento che normalmente è abbastanza difficile da spiegare a ragazzi/e della loro età, specialmente se si considera le loro limitate, o spesso inesistenti, conoscenze di chimica e fisica.*

*La figura in copertina raffigurante l'Uomo Vitruviano di Leonardo da Vinci non è stata scelta a caso. Essa è particolarmente adatta a rappresentare l'approccio usato in queste pagine, in quanto già Leonardo cercò abilmente, con un disegno, di descrivere l'uomo ed il suo corpo e sintetizzarne graficamente le cause naturali del suo essere ed il suo rapporto anatomico, chimico, fisico e metafisico con l'universo che lo circondava attraverso una rappresentazione simmetrica del Corpo Umano (l'uomo), la Terra (il quadrato) e il Cosmo (il cerchio).*

*È quanto hanno cercato di fare qui, nei loro limiti, gli autori.*

*Siamo grati al dott. Vona ed alle sue nipoti per il lavoro svolto e per la loro disponibilità a condividere questa opera principalmente con i loro coetanei ma anche con tutti i cittadini di Moschiano che hanno a cuore l'incremento del loro sapere e sono guidati da quel desiderio di conoscenza auspicabile soprattutto nei più giovani.*

*Siamo sicuri che il loro sforzo sarà gradito ed apprezzato da tutti i cittadini di Moschiano di cui loro tutti sono degni ed orgogliosi discendenti.*

*Al dott. Vona ed alle sue nipoti un sentito "grazie".*

*Dott Sergio Pacia – Sindaco di Moschiano*

## Contenuto

<b>PARTE I.....</b>	<b>1</b>
<b>1.0 INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
<b>2.0 CHI SIAMO? .....</b>	<b>2</b>
<b>3.0 DI CHE COSA SIAMO FATTI? .....</b>	<b>2</b>
<b>4.0 DA DOVE VENIAMO?.....</b>	<b>7</b>
4.1 Come gli Astronomi Rilevano gli Elementi nei Corpi Celesti.....	8
4.2 Big Bang e Origine degli Elementi: Quando, Dove e Com'è Nato l'Idrogeno. ....	9
4.3 Quando, Dove e Come si Sono Formati gli Elementi Pesanti.....	12
4.4 Nascita e Morte di una Stella. ....	12
4.4.1 Nascita di una Stella.....	13
4.4.2 Morte di una Stella .....	14
4.5 Stelle Ordinarie e Stelle Massicce.....	16
4.5.1 Morte di una Stella Massiccia: Supernova .....	17
4.6 Risposta alla Domanda: Da Dove Veniamo? .....	20
<b>5.0 DOVE STIAMO ANDANDO? .....</b>	<b>21</b>
5.1 Ciclo di Vita del Sole .....	22
5.2 Risposta alla Domanda: "Dove Stiamo Andando".....	22
<b>6.0 RICICLAGGIO DEGLI ATOMI E (POSSIBILE) REINCARNAZIONE.....</b>	<b>23</b>
<b>PARTE II.....</b>	<b>24</b>
Nota 1: Sistema Periodico degli Elementi.....	25
Nota 2: Spettroscopia .....	30

<b>Nota 3: Definizione di Singolarità.....</b>	<b>31</b>
<b>Nota 4: Reazioni Nucleari che Portano alla Formazione di Idrogeno, Elio, Litio .....</b>	<b>32</b>
<b>Nota 5: Condizioni Esistenti al Tempo del Big Bang Ricreate in Laboratorio.....</b>	<b>34</b>
<b>Nota 6: La Scoperta del CMBR .....</b>	<b>35</b>
Nota 7: Fissioni e Fusioni Nucleari .....	36
<b>Nota 8: Reazioni Nucleari che Danno Vita ai Primi 5 Elementi Pesanti .....</b>	<b>38</b>
<b>Nota 9: Reazioni Nucleari che Danno Vita a Elementi più Pesanti .....</b>	<b>38</b>
<b>Nota 10: Radiazioni .....</b>	<b>39</b>
<b>Nota 11: Orgoglio, Amarezza e Rimpianti del Fabbro.....</b>	<b>41</b>
<b>Nota 12: Glossario.....</b>	<b>42</b>
12.1    Cellula .....	42
12.2    Isotopo .....	42
12.3    Molecola.....	43
<b>Nota 13: Riconoscimenti e Ringraziamenti.....</b>	<b>43</b>

# Parte I

## 1.0 Introduzione

Fin dall'inizio dei tempi filosofi, scienziati, teologi e molti altri studiosi di civiltà umane, hanno posto domande del tipo:

- **Chi siamo?**
- **Di che cosa siamo fatti?**
- **Da dove veniamo?**
- **Dove stiamo andando?**

In questo saggio proverò a rispondere a queste domande da un punto di vista puramente scientifico. Mi limiterò al corpo umano. Lascerò ad altri il compito di affrontare questioni riguardanti l'anima e/o lo spirito. Lascerò anche ad altri il compito di affrontare questioni filosofiche come l'io, la coscienza, il credo e altre nozioni sopra-naturali. Cercherò di rispondere alle domande suddette limitandomi al corpo umano e lo farò usando conoscenze scientifiche acquisite nel corso dei secoli, comprese conoscenze di fisica, chimica, medicina, biologia, astronomia e matematica. Dimostrerò scientificamente che **il nostro corpo** proviene da luoghi molto distanti dell'Universo e, in effetti, **è fatto di polvere di stelle**. Dimostrerò che, **una volta completata la nostra missione sulla Terra, tutti gli elementi del nostro corpo torneranno ai luoghi di provenienza**. Darò, infine, qualche accenno sulla **possibile re-incarnazione**.

Cercherò di dimostrare quanto detto usando un linguaggio e termini accessibili a persone la cui cultura non va oltre a quella delle scuole medie inferiori. Sacrificherò, quando necessario, l'esattezza e rigorosità scientifica in favore di un linguaggio anche semplicistico, sperando che anche ragazzi di età compresa tra i 12-15 anni possano capire concetti scientifici avanzati. Per il lettore leggermente più artefatto, ho approfondito alcuni dei concetti presentati nelle Note che seguono il saggio stesso.

## 2.0 Chi Siamo?

Quando mi guardo allo specchio, o quando osservo altre persone intorno a me, o in qualsiasi altro luogo sulla Terra, io vedo un organismo molto complesso costituito da:

- una testa, un tronco, due braccia, due gambe;
- una mente molto complessa capace di articolare concetti astratti come coscienza, anima, fede, credenze, etc., e in grado di impartire ordini al proprio corpo che, a sua volta, li esegue puntualmente.

Come ho detto, esaminerò solo gli aspetti fisici del corpo umano, non esaminerò la nostra mente e le sue abilità di pensare e di articolare concetti astratti. Pertanto, senza indugi, passo direttamente alla seconda domanda.

## 3.0 Di Che Cosa Siamo Fatti?

Sin dall'inizio delle civiltà, gli esseri umani sono sempre stati incuriositi dalla possibile esistenza di una particella fondamentale che potrebbe essere l'elemento costitutivo della materia che vediamo intorno a

noi, sulla Terra e anche oltre. Circa 2.400 anni fa, il filosofo greco Democrito e altri studiosi suoi coetanei giunsero alla conclusione che i nostri corpi, e tutta la materia che vediamo intorno a noi, sono costituiti da atomi. Da allora, e per oltre duemila anni, l'atomo è stato considerato la più piccola componente della materia. Ai nostri giorni è comunemente accettato che i nostri corpi e qualsiasi parte di materia sulla Terra (elementi naturali e oggetti artificiali) siano costituiti da atomi.

La domanda spontanea che uno si pone è:

➤ **Ma tutti questi atomi sono costituiti della stessa sostanza?**

A prima vista sembrerebbe che non tutti gli atomi siano composti della stessa sostanza. Infatti, le caratteristiche e proprietà delle varie sostanze che vediamo intorno a noi (acqua, aria, sabbia, rocce, metalli, etc., etc.) sono diverse l'una dall'altra. Per capire che cosa rende gli atomi delle varie sostanze diversi l'uno dall'altro, dobbiamo addentrarci all'interno degli atomi e vedere di che cosa sono fatti.

A differenza di Democrito, il quale credeva che l'atomo fosse la più piccola componente della materia e che fosse indivisibile, noi oggi sappiamo che esistono componenti della materia più piccoli dell'atomo. Sappiamo anche che l'atomo è scomponibile e, al suo interno, troviamo almeno tre particelle, ciascuna col proprio nome, e queste particelle sono chiamate:

- Elettrone
- Protone
- Neutrone.

Sappiamo pure che l'Elettrone è dotato di una carica elettrica negativa, normalmente indicata con il segno (-). Il Protone, invece, è molto più pesante dell'elettrone, e porta con sé una carica elettrica positiva indicata con il segno (+). Il Neutrone, pesa quanto il Protone, ma non porta con sé alcuna carica elettrica e, pertanto, è, elettricamente parlando, neutro (da qui il nome Neutrone). Protoni e Neutroni si trovano in una parte più interna dell'atomo chiamata Nucleo, mentre gli Elettroni sono nella parte più esterna. Nella Figura 1, il Nucleo (ingrandito) mostra al suo interno Protoni e Neutroni, mentre gli Elettroni orbitano intorno al nucleo.

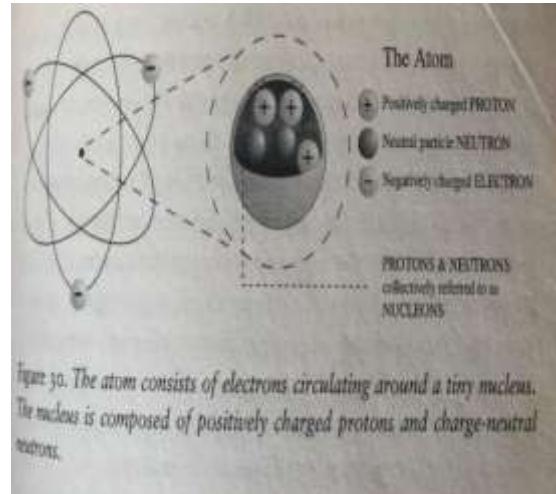


Figure 1a. The atom consists of electrons circulating around a tiny nucleus. The nucleus is composed of positively charged protons and charge-neutral neutrons.

Figura 1: l'atomo e le sue componenti  
(Fonte: Warped Passages by L. Randall)

Figura 2, una variazione della Figura 1 precedente, mostra le tre componenti dell'atomo: Protoni e Neutroni, concentrati nel Nucleo dell'atomo, e gli Elettroni che orbitano intorno al Nucleo.

Tornando alla domanda:

- **Ma tutti questi atomi sono costituiti della stessa sostanza?**

La risposta è **“Sì”** e **“No”**. **Sì**, è vero che gli atomi di tutte le sostanze che vediamo intorno a noi contengono le stesse componenti (e cioè: Elettroni, Protoni e Neutroni). **No**, non è vero che gli atomi di tutte le sostanze sono identici, perché il numero di Protoni contenuti nel Nucleo di ogni atomo varia da sostanza a sostanza. Quindi, **quello che rende gli atomi di varie sostanze differenti l'uno dall'altro è il numero di Protoni contenuti nel Nucleo**. Illustriamo meglio questo concetto con alcuni esempi.

La Figura 3 mostra la composizione dell'atomo di **Idrogeno** (la materia più antica, più semplice e più abbondante che c'è nell'Universo).

L'atomo di Idrogeno è il più semplice e il più leggero di tutti gli atomi delle altre sostanze a noi conosciute. Consiste di un solo Protone nel Nucleo dell'atomo e un solo Elettrone che gira intorno al Nucleo.

Esaminiamo adesso l'atomo di un'altra sostanza, l'**Elio**. La Figura 4, qui sotto, mostra la composizione dell'atomo di Elio.

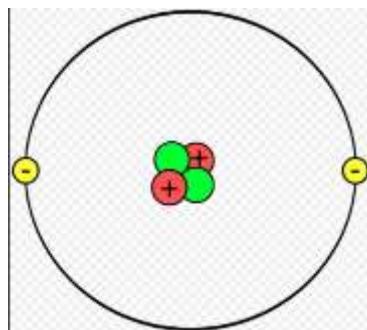
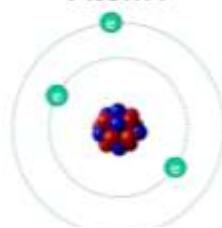


Figura 4: Configurazione dell'atomo di Elio  
(Fonte: Wikiwand)

Il Litio è una sostanza (usata prevalentemente per costruire batterie) i cui atomi contengono nel proprio Nucleo 3 Protoni e 3 Elettroni che girano intorno al Nucleo. Ci sono pure 4 Neutroni nel Nucleo che se ne stanno quieti, quieti e, per il momento, noi li ignoriamo. Potremmo andare avanti e mostrare l'atomo di Berillio con 4 Protoni al centro e 4 Elettroni nelle orbite, poi il Boro con 5 Protoni al centro e 5 Elettroni

## What is an Atom?



- **Atom**: Smallest unit of all matter
- 3 Main Parts:
  - The Nucleus:
    - 1) Proton (+)
    - 2) Neutron (0)
  - Electron Cloud
    - 3) Electron (-)
- Protons & Electrons usually equal in number

Figura 2: Componenti di un atomo con più orbite  
(Fonte: Enciclopedia Britannica?)

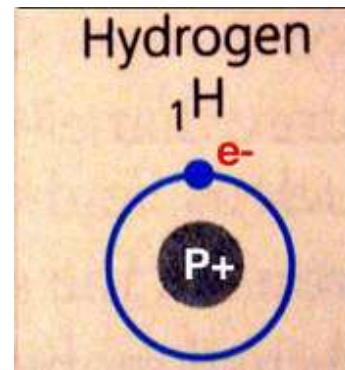


Figura 3: Configurazione dell'atomo di Idrogeno  
(Fonte: Wikipedia?)

Nel Nucleo dell'atomo di Elio ci sono due Protoni, ciascuno con carica elettrica positiva (+), e due Elettroni (-) che orbitano intorno al Nucleo. La Figura 4 ci mostra anche due palline verdi, senza carica elettrica: quelli sono due Neutroni che stanno, quieti, quieti all'interno del nucleo dell'atomo e che noi, per il momento, ignoriamo.

Un terzo esempio. La Figura 5, qui sotto, mostra la composizione dell'atomo di Litio.

orbitanti, poi il Carbonio con 6 Protoni al centro e 6 Elettroni orbitanti e così via fino all' Ununoctium (conosciuto anche sotto il nome di Oganesson) con 118 Protoni al centro e altrettanti Elettroni orbitanti. Il lettore avrà notato che ogni volta che aggiungiamo un Protone al nucleo di una sostanza, otteniamo una nuova sostanza.

Un professore di Chimica russo, Dmitri Mendeleev, verso la fine del XIX secolo, osservando questa peculiarità (la parola "periodicità" sarebbe più appropriata) degli atomi (cioè, quando si aggiunge un Protone al Nucleo dell'atomo di una sostanza, si ottiene un'altra sostanza), organizzò tutte le sostanze conosciute a quell'epoca in un sistema che fu chiamato il Sistema Periodico degli Elementi (conosciuto anche come Tavola Periodica di Mendeleev, dal nome del suo inventore – vedi Figura 6).

Se gli atomi di una sostanza sono tutti dello stesso tipo, e, cioè, ciascun atomo contiene lo stesso numero di Protoni, allora quella sostanza è chiamata **Elemento**. Per esempio, se tutti gli atomi di una sostanza sono identici e ciascun atomo contiene un solo Protone nel proprio Nucleo, allora siamo davanti all'Elemento chiamato **Idrogeno**; se tutti gli atomi di una sostanza sono identici e ciascun atomo contiene 2 Protoni nel proprio Nucleo, allora siamo di fronte all'elemento chiamato **Elio**; se tutti gli atomi di una sostanza sono identici e ciascun atomo contiene 3 Protoni nel proprio Nucleo, allora siamo di fronte all'elemento chiamato **Litio**, e così via.

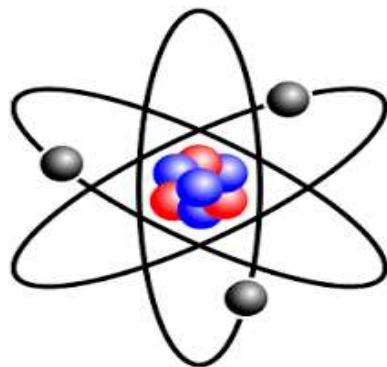


Figura 5: Configurazione dell'atomo di Litio  
3 Protons (red); 4 Neutrons (blue); 3 Electrons  
(Fonte: Wikipedia)

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	1 H																2 He		
1	3 Li	4 Be															10 Ne		
2	11 Na	12 Mg															18 Ar		
3	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
4	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
5	55 Cs	56 Ba	57 La	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	86 Rn	
6	87 Fr	88 Ra	89 Ac	*	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
7	*	*	*	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
	*	*	*	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

Figura 6: Sistema Periodico degli Elementi (Tavola di Mendeleev; Fonte: Wikipedia)

Mendeleev organizzò la sua Tavola in 18 colonne (**gruppi**) e 7 righe (**periodi**). Tutti gli elementi nella stessa colonna formano un gruppo e, in linea generale, elementi appartenenti allo stesso gruppo hanno

caratteristiche simili. Tutti gli elementi nella stessa riga sono caratterizzati dal fatto che gli Elettroni che orbitano il Nucleo sono collocati su un numero di orbite che corrisponde al numero della riga (periodo). Per esempio, Idrogeno ed Elio fanno parte della riga 1 della Tavola di Mendeleev, pertanto i loro Elettroni sono collocati sull'unica orbita di questi due elementi (orbita 1); Litio, Berillio, Boro, Carbone, Azoto, Ossigeno, Fluoro e Neon fanno parte della riga 2 della Tavola di Mendeleev, pertanto, tutti i loro Elettroni orbitano il Nucleo su due orbite (orbita 1 e orbita 2), e così via fino a un massimo di 7 orbite.

Con questo schema, Mendeleev fu in grado di scoprire **tutti** (ripeto, tutti!) gli elementi che esistono in natura, sulla Terra e in qualsiasi altra parte dell'Universo, e affermare che tutte le sostanze che vediamo intorno a noi e nell'Universo sono composte esclusivamente da questi elementi. Qualcuno, enfatizzando questa caratteristica, ha detto che **“gli elementi sono l’alfabeto dell’Universo”**. Ai tempi di Mendeleev una novantina di elementi erano conosciuti; oggi conosciamo almeno 118 elementi. [Vedi in Parte II: Nota 1 – Descrizione più dettagliata del Sistema Periodico degli Elementi].

Ritornando alla nostra domanda iniziale (“Di che cosa siamo fatti?”), con le conoscenze acquisite finora, possiamo raffinare la domanda e chiederci:

➤ **Di quali elementi è costituito il nostro corpo?**

Medici, biologi e ricercatori di scienze umane hanno esaminato la questione e hanno concluso che il corpo umano è costituito prevalentemente da un composto chimico chiamato acqua. In effetti, il 60% della massa corporea dell'uomo è acqua. I Chimici hanno anche scoperto che una molecola di acqua è costituita da due atomi d'Idrogeno e da un atomo di Ossigeno. (A scuola ci insegnano che la formula chimica dell'acqua è **H<sub>2</sub>O**).

**H<sub>2</sub>O = Acqua**

Questo significa che per ciascun atomo di Ossigeno ci sono due atomi d'Idrogeno. In altre parole, se dovessimo contare il numero di atomi nel nostro corpo, l'Idrogeno ha, di gran lunga, il maggior numero di atomi. I Chimici ci dicono anche che l'Ossigeno è 16 volte più pesante dell'Idrogeno, pertanto, se dovessimo misurare la massa degli elementi presenti nel nostro corpo, scopriremmo che la maggior parte della nostra massa corporea è fatta di Ossigeno. Infatti, biologi e chimici hanno dimostrato che l'Ossigeno costituisce il 65% della massa del corpo umano.

Che cosa possiamo dire circa il restante 35% della massa del corpo umano? Cioè, quali altri elementi sono presenti nel corpo umano? È stato scoperto che appena 6 elementi costituiscono il 99% del peso del corpo umano. Dopo l'Ossigeno al 65%, il Carbonio costituisce il 18% del peso del corpo, l'Idrogeno al 10%, l'Azoto al 3%, il Calcio all'1,5% e il Fosforo all'1%. Il resto del peso del corpo è costituito da tracce di altri 24 elementi (ciascuno con meno di 0,01%).

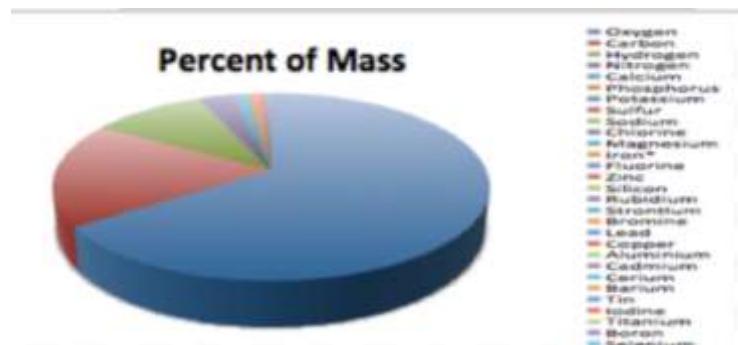


Figura 7: Elenco di elementi trovati nel corpo umano e relative percentuali di peso (Fonte: Wikipedia)

Ovviamente, i diversi elementi che compongono il corpo umano non sono separati gli uni dagli altri. Anzi! Sono mescolati in molecole più complesse che i Chimici chiamano composti chimici e che, a loro volta, si organizzano in cellule. Molecole di acqua, per esempio, sono presenti in quasi tutte le parti del corpo umano, dalla cima dei capelli alle unghie dei piedi. Se, però, immaginassimo di separare gli elementi costitutivi del nostro corpo e porli in sacche separate, troveremmo che la sacca contenente Ossigeno (al 65%) riempirebbe il nostro corpo dalla punta dei piedi fin quasi all'ombelico. Il Carbonio (al 18%) insieme all'Idrogeno (al 10%) riempirebbero il nostro corpo fino al collo e così via. Figura 8, qui sotto, mostra come potrebbe apparire il corpo umano, se riuscissimo a segregare i vari elementi che lo compongono.

Comunque, segregati o mescolati che siano questi elementi, abbiamo trovato la risposta alla domanda “di che cosa siamo fatti?”. **Ora sappiamo che il corpo umano è costituito da circa 30 elementi, sei dei quali ammontano al 99% di tutta la massa corporea, mentre 1% della massa corporea è fatta dai rimanenti 24 elementi elencati in Figura 7.**

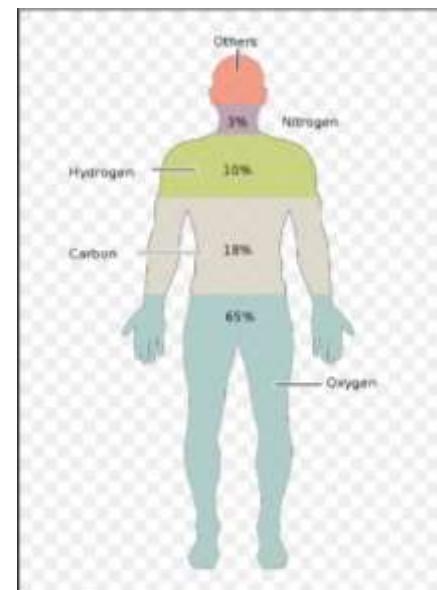


Figura 8: Il corpo umano per composizione degli elementi, (Fonte: Adobe Stock)

## 4.0 Da Dove Veniamo?

Nella Sezione precedente abbiamo dimostrato che il corpo umano è composto di circa 30 elementi. Se riuscissimo a scoprire da dove vengono questi elementi, allora sarebbe facile rispondere alla seconda domanda, cioè:

### ➤ Da dove veniamo?

In questa Sezione, pertanto, cercheremo di accertare la provenienza di questi elementi. Più specificamente, dimostreremo quando, dove e come questi elementi sono venuti alla luce.

Abbiamo già visto come Mendeleev, verso la fine del XIX secolo, riuscì ad affermare, da un punto di vista puramente teorico, che tutti gli elementi presenti nell'Universo sono compresi nella Tavola che porta il suo nome. Nelle scienze, però, non è sufficiente affermare che una cosa è vera solo perché la teoria ne anticipa la sua esistenza. Una teoria può essere considerata valida, solo se corroborata da sperimentazioni o osservazioni oggettive. Mendeleev aveva affermato che tutti i 118 elementi della sua tavola scoperti sulla Terra possono esistere anche in qualsiasi altra parte dell'Universo. Anzi, aveva detto di più: Mendeleev aveva detto che non esistono, in qualsiasi parte dell'Universo, elementi che non siano compresi nella sua Tavola.

Un lettore scettico potrebbe porre la domanda:

- **Ma come faceva Mendeleev a dire che elementi trovati sulla Terra possono essere trovati anche in corpi celesti distanti milioni di anni luce da noi, dal momento che nessun essere umano ha mai viaggiato da quelle parti?**

Il lettore troverà la risposta a questa domanda nella Sezione che segue.

## 4.1 Come gli Astronomi Rilevano gli Elementi nei Corpi Celesti.

Gli astronomi sono in grado di rilevare la presenza di elementi nei corpi celesti analizzando la luce che da essi fuoriesce. Sappiamo che, quando riscaldiamo gli elementi o li stimoliamo con radiazioni elettromagnetiche <sup>[Nota 10]</sup>, essi brillano (cioè, emettono luce) e la luce emessa da ciascun elemento è diversa dalla luce emessa da qualsiasi altro elemento. In altre parole, quando un atomo passa da uno stato ad alta energia (per esempio, perché surriscaldato) a uno stato di energia inferiore (per esempio, perché si raffredda), emette radiazioni elettromagnetiche (talvolta anche visibili e, in tal caso, noi le chiamiamo 'luce') e ogni elemento emette una luce che è diversa dalla luce emessa da altri elementi. Poiché un atomo può avere più livelli di energia, ne consegue che un atomo può emettere più tipi di radiazioni elettromagnetiche (cioè, luce di diversi colori). L'insieme di diversi colori di luce (cioè, radiazioni con lunghezze d'onda diverse) emessi da un elemento, costituisce ciò che gli scienziati chiamano uno **"spettro di emissioni"**. Lo spettro di emissioni può essere considerato come l'equivalente delle impronte digitali: come ogni persona ha il proprio set d'impronte digitali, così ogni elemento ha il suo spettro di emissione. Analizzando la luce proveniente dai vari corpi celesti, gli astronomi sono riusciti a determinare la presenza, in questi corpi celesti, di elementi come Idrogeno, Elio, Litio, etc., identici a quelli che abbiamo sulla Terra. [Vedi in Parte II: Nota 2 – Spettroscopia; vedi anche Nota 10 per una definizione più dettagliata di Radiazioni].

Finora abbiamo dimostrato che alcuni degli elementi che compongono il nostro corpo (come, ad esempio, l'Idrogeno) possono essere trovati anche in altre parti dell'Universo, esattamente come Mendeleev aveva intuito nell'interpretare la Tavola che porta il suo nome. Non abbiamo ancora scoperto, però, da dove l'Idrogeno proviene.

## 4.2 Big Bang e Origine degli Elementi: Quando, Dove e Com'è Nato l'Idrogeno.

Per scoprire da dove proviene l'Idrogeno, dobbiamo indagare più a fondo sulle origini dell'Universo e, in effetti, dobbiamo tornare indietro nel tempo di circa 14 miliardi di anni, in quello che è noto come il "**Big Bang**", che ha dato alla luce l'Universo. La teoria del Big Bang fornisce la spiegazione di com'è nato l'Universo.

Nella sua Teoria della Relatività Generale, Einstein ha creato un'equazione matematica che ci permette di rappresentare l'evoluzione e i movimenti nel tempo di tutta la materia nell'Universo, comprese galassie, stelle, pianeti e altri corpi celesti. Questa equazione ci dice che, 13,7 miliardi di anni fa, qualcosa di catastrofico è successo, perché le masse di tutti i corpi celesti dell'Universo si sono concentrate e scontrate in un unico punto (quello che i Matematici chiamano una singolarità) dando luogo a un'esplosione catastrofica a cui è stato dato il nome di "**Big Bang**" [Vedi in Parte II: Nota 3 – Definizione di singolarità].

Provi il lettore di questo saggio a immaginare tutte le galassie, stelle, pianeti e altri corpi celesti, attratti l'un l'altro dalla forza di gravità, scontrarsi in un unico punto dello spazio! Non dovrebbe essere difficile immaginare che la temperatura al punto dove è avvenuto lo scontro, come si dice in gergo comune, deve essere salita alle stelle! E, infatti, si stima che la temperatura dell'Universo al tempo del Big Bang fosse di circa 10T °C (leggi: 10 Tera gradi Celsius, cioè, 10 trilioni di gradi °C). E che cosa succede quando avviene un'esplosione? La forza dell'esplosione spinge i detriti lontano l'uno dall'altro, mentre l'alta temperatura (10 trilioni di gradi °C!) causa lo scioglimento di tutti gli atomi di tutti gli elementi nelle loro componenti costitutive. In pratica, gli atomi scompaiono come tali, o, per meglio dire, si sciogliono e, al loro posto, troviamo un miscuglio gassoso (poltiglia) di Elettroni, Protoni e Neutroni sciolti e vaganti nello spazio.

Mentre l'Universo gassoso appena nato si andava espandendo, le leggi della Fisica ci dicono che un gas che si espande, si raffredda. E, infatti, si stima che la temperatura del neonato Universo si raffreddò e la sua temperatura scese a  $3 \times 10^9$  °C (leggi: 3 giga gradi °C, o 3 miliardi di gradi °C) dopo solo 14 secondi di tempo. Si è poi raffreddato ancora e la sua temperatura scese a  $1 \times 10^9$  °C (leggi: 1 giga gradi °C, o 1 miliardo di gradi °C) dopo 4 minuti. E si è raffreddato ulteriormente a  $4 \times 10^3$  °C (leggi: 4 mila gradi °C) dopo circa 700.000 anni. Come già detto, alle più alte temperature non potevano esistere atomi di elementi come l'Idrogeno, l'Elio, ecc., perché si erano sciolti nelle loro componenti costitutive e, cioè, Protoni, Neutroni, Elettroni o anche unità ancora più piccole che ora chiamiamo quark, ecc. Tutte queste particelle fluttuavano libere nello spazio dell'Universo, come granelli di materia in una grande zuppa fluida. Si ritiene che nei primi 3 o 4 minuti, mentre l'Universo si stava raffreddando e la sua temperatura scendeva rapidamente, Protoni, Neutroni ed Elettroni si siano uniti (coagulati) per formare gli atomi di Idrogeno, Elio e una piccola quantità di Litio. E, in effetti, fu allora che si crearono gli atomi dei primi tre elementi della Tavola di Mendeleev (Idrogeno, Elio e Litio). [Vedi in Parte II: Nota 4 - Reazioni nucleari che portano alla formazione dell'Idrogeno, Elio e Litio].

Un lettore scettico potrebbe porre la domanda:

- **Ma come facciamo a sapere cosa stava succedendo 13,7 miliardi di anni fa, dal momento che nessuno di noi era in circolazione a quel tempo? E se fossimo stati in giro, a quelle temperature,**

**saremmo stati arrostiti vivi! Quindi, come facciamo a sapere che solo quando la temperatura è scesa a circa tre miliardi di gradi °C, Elettroni, Protoni e Neutroni si sono coagulati per formare i primi tre elementi? [Nota 5].**

Sembra impossibile crederci, ma gli scienziati, in un laboratorio al confine tra la Svizzera e la Francia, sono riusciti a ricreare le condizioni dell'Universo pochi minuti dopo il Big Bang. Il nome di questo laboratorio è CERN e la Nota 5 di questo saggio provvede i dettagli necessari per il lettore che voglia sapere come gli scienziati siano riusciti a replicare quanto avvenuto al tempo del Big Bang. [Vedi in Parte II, Nota 5 - Condizioni esistenti al tempo del Big Bang ricreate in laboratorio].

Con le conoscenze acquisite finora, possiamo ora rispondere alle domande che ci eravamo posti prima, e, cioè, quando, dove e come sono venuti alla luce gli atomi di Idrogeno che fanno parte del nostro corpo.

- **Quando** sono stati creati gli atomi di Idrogeno che fanno parte del nostro corpo?
  - Risposta: 13,7 miliardi di anni fa, durante i primi 4 minuti di vita del neonato Universo.
- **Dove** sono stati creati gli atomi di Idrogeno che fanno parte del nostro corpo?
  - Risposta: In una zona dell'Universo non precisamente conosciuta.
- **Come** sono stati creati gli atomi di Idrogeno che fanno parte del nostro corpo?
  - Risposta: quando la temperatura del neonato Universo è scesa al di sotto dei tre miliardi di gradi °C, allora gli Elettroni vaganti nella poltiglia hanno cominciato ad unirsi ai Protoni vaganti nella stessa poltiglia. Nel giro di 3-4 minuti tutti gli Elettroni vaganti hanno trovato un partner, il Protone, col quale hanno contratto un matrimonio quasi indissolubile, creando tutto l'Idrogeno che esiste nell'Universo.

In questa Sezione abbiamo illustrato come, da una semplice equazione matematica, abbiamo dedotto l'esistenza del Big Bang e da lì abbiamo ulteriormente dedotto quando, dove e come siano nati tutti gli atomi di Idrogeno che ci sono nell'Universo (compresi gli atomi di Idrogeno che fanno parte dei nostri corpi). In una delle Sezioni precedenti abbiamo già detto che una teoria, per essere valida, deve essere avallata da esperimenti di laboratorio o simili osservazioni oggettive. Con tutto il rispetto per Einstein e la sua Teoria della Relatività Generale, non possiamo, però, accettare come valide conclusioni che sono basate esclusivamente su un'equazione e sulla definizione matematica di singolarità.

La prova sperimentale che il Big Bang sia realmente avvenuto (e non è semplicemente un'astrazione matematica) ci è stata data nel 1964 con la scoperta della Cosmic Microwave Background Radiation (CMBR) da parte degli astronomi Penzias e Wilson [Vedi in Parte II: Nota 6 – La scoperta del CMBR].

Fino ad ora abbiamo dimostrato quando, dove e come si è formato l'Idrogeno che esiste nell'Universo, compreso quel poco che esiste in ciascuno dei corpi umani che popolano la Terra. Ancora non sappiamo, però, quando, dove e come si sono formati gli altri 29 elementi che, insieme all'Idrogeno, costituiscono il corpo umano. Il prossimo obiettivo di questo saggio, pertanto, sarà quello di dimostrare origine, provenienza e modalità con cui sono venuti alla luce tutti gli altri elementi della Tavola di Mendeleev, compresi i 29 elementi che (oltre all'Idrogeno) costituiscono il corpo umano.

L'Idrogeno, come abbiamo visto, è il più leggero elemento che esiste in natura. Per questa ragione, nel resto di questo saggio, quando ci riferiamo agli altri elementi, spesso li chiamiamo “**elementi pesanti**” a indicare che sono elementi più pesanti dell'Idrogeno.

Come prima cosa, vogliamo focalizzare l'attenzione del lettore di questo saggio su alcuni aspetti peculiari del Sistema Periodico degli Elementi. Anche un lettore casuale e privo di sofisticate conoscenze scientifiche avrà notato che, se uno riuscisse a inserire, o schiacciare, un Protone nel Nucleo di un elemento qualsiasi, otterrebbe l'elemento successivo nella Tavola di Mendeleev. Alcuni esempi (vedi Figura 6): se riuscissimo a inserire, o schiacciare, un Protone nel nucleo dell'atomo dell'Idrogeno otterremo un nuovo elemento con due Protoni nel suo Nucleo e questo nuovo elemento non è altro che l'Elio; se riuscissimo a inserire, o schiacciare, un Protone nel nucleo dell'atomo dell'Elio otterremo un nuovo elemento con tre Protoni nel suo Nucleo e questo nuovo elemento non è altro che il Litio, e così via.

Basandosi su questa semplice osservazione, il fabbro del mio paese, un uomo privo di conoscenze scientifiche avanzate, ma molto intraprendente, partendo dall'Idrogeno, pensò di poter creare tutti gli altri elementi con gli arnesi a sua disposizione nella sua fucina. Infatti, partendo da un atomo di Idrogeno (facile da ottenere) e aggiungendo, uno per volta, 78 Protoni (anch'essi facili da ottenere) al nucleo originale di Idrogeno, il fabbro pensò di manifatturare nella sua fucina l'elemento avente numero atomico 79 nella Tavola di Mendeleev, cioè, l'Oro. Perbacco! Se l'impresa fosse riuscita, il fabbro del mio paese avrebbe creato una fabbrica dove si sarebbe manifatturato Oro! E perché non l'ha fatto?

La descrizione semplicistica data nelle righe precedenti non prende in considerazione il fatto che gli atomi, e ancor più i loro nuclei, sono tanto piccoli, quanto sono tosti, anzi, molto, molto, ... molto tosti. Si pensi che neanche il martello pneumatico più potente sulla Terra avrebbe la forza di rompere il guscio protettivo dell'atomo per inserire un altro Protone nel suo Nucleo. Il fabbro del mio paese tentò di aggirare l'ostacolo cercando di rammollire l'atomo, riscaldandolo. Infatti, questa è una tecnica ben conosciuta a tutti noi. Il lettore sa benissimo che mangiare spaghetti crudi non è piacevole. Infatti, la durezza degli spaghetti potrebbe causare danni alla bocca e allo stomaco. E per rammollirli cosa si fa? Si immergono gli spaghetti per alcuni minuti in acqua bollente a 100 gradi °C. Questo, il fabbro del mio paese lo sapeva benissimo. Infatti, nel suo lavoro quotidiano, egli tutti i giorni riscaldava vari metalli, e perfino l'acciaio, nel suo forno a carbone per rammollirli e poi plasmarli nella forma desiderata, usando pressa idraulica, incudine, martello e altri arnesi disponibili nella sua fucina. Il problema era che per rammollire gli atomi di Idrogeno al punto da costringerli ad accettare un Protone nel loro nucleo, il fabbro aveva bisogno di un forno la cui temperatura andasse al di sopra dei dieci milioni di gradi °C. Purtroppo, il suo fornello a malapena arrivava ad una temperatura di qualche migliaio di gradi °C. E, infatti, per quanto ne sappiamo, raggiungere temperature al di sopra di 10 milioni di gradi °C sulla Terra, è quasi impossibile, a meno che non facciamo esplodere una bomba atomica o una bomba termonucleare (bomba H). [Vedi in Parte II: Nota 7 – Fissioni e Fusioni Nucleari]

Purtroppo, nonostante la validità e originalità della sua intuizione, il fabbro non aveva nella sua fucina gli arnesi necessari per innestare nel nucleo di un atomo di Idrogeno un altro Protone. Per ottenere i risultati sperati, c'è bisogno di un altoforno capace di portare la temperatura a oltre dieci milioni di gradi °C e una pressa idraulica potentissima capace di schiacciare due atomi di Idrogeno fino a portarli alla loro fusione. Come già accennato, per quanto ne sappiamo, una fucina avente queste capacità non esiste sulla nostra Terra. Pertanto, per sapere quando, dove e come gli elementi pesanti presenti nel nostro corpo si siano

formati, dobbiamo cercare una fucina adatta che, se esiste, forse, deve essere in qualche parte dell'Universo fuori dalla nostra Terra.

#### 4.3 Quando, Dove e Come si Sono Format gli Elementi Pesanti.

Innanzitutto, vogliamo sottolineare che, con la scoperta del CMBR, è stato dimostrato che l'Universo, come lo conosciamo oggi, è nato dal Big Bang. In secondo luogo, con la scoperta della radiazione del CMBR [Nota 6], gli scienziati sono stati anche in grado di tracciare una mappa di come appariva l'Universo poche centinaia di migliaia di anni dopo il Big Bang. La Figura 9, in basso, mostra l'aspetto dell'Universo circa 380.000 anni dopo la sua nascita. L'immagine mostra che gli elementi creati nei primi 3-4 minuti dalla nascita dell'Universo (cioè, Idrogeno, Elio e Litio) non erano distribuiti uniformemente in tutto l'Universo. Invece, sotto la forza di gravità, gli atomi hanno iniziato ad aggregarsi formando grossi blocchi di materia.

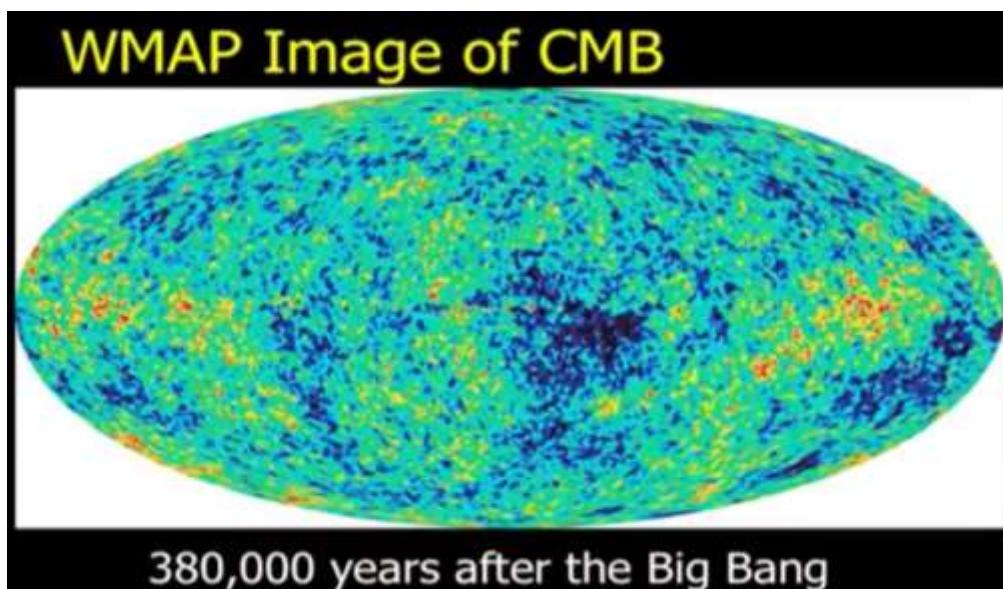


Figura 9: Immagine dell'Universo circa 380.000 anni dopo il Big Bang (Fonte: NASA/WMAP Science Team)

Da questa immagine possiamo vedere che gli atomi di Idrogeno, Elio e Litio appena creati non sono distribuiti uniformemente in tutto l'Universo. Invece, spinti dalla forza di gravità, formano grandi concentrazioni (blocchi) di materia in uno spazio altrimenti quasi vuoto. **È da questa grande aggregazione di atomi di Idrogeno ed Elio che nascono le stelle, nelle cui fucine, poi, vengono creati gli atomi degli elementi pesanti.** Vediamo come ciò avviene.

#### 4.4 Nascita e Morte di una Stella.

In questa Sezione illustreremo come, tranne i primi tre elementi (Idrogeno, Elio e Litio), tutti gli altri elementi della Tavola di Mendeleev si siano formati quasi come il fabbro del mio paese aveva intuito, e cioè, riscaldando gli atomi degli elementi più leggeri e schiacciandoli insieme, in modo da far penetrare nel nucleo di un atomo uno o più Protoni. Perché ciò avvenga, però, gli atomi devono essere riscaldati a

una temperatura di almeno dieci milioni di gradi °C e poi comprimerli con una pressione che, in natura, esiste solo nel nocciolo di una stella. Cominciamo, pertanto, col descrivere come e dove nascono le stelle.

#### 4.4.1 Nascita di una Stella

Nei vasti spazi dell'Universo una stella si forma quando grandi quantità di gas, principalmente Idrogeno, inizia a comprimersi a causa delle attrazioni gravitazionali che gli atomi di questo gas esercitano l'uno sull'altro. All'aumentare della concentrazione di gas, aumenta anche la sua forza gravitazionale, attirando così più gas dalle aree adiacenti, il che, a sua volta, fa aumentare ancora di più la forza gravitazionale. Man mano che il volume complessivo occupato da questi atomi si contrae sotto la forza gravitazionale, gli atomi si scontrano più frequentemente e con velocità sempre maggiore, provocando il riscaldamento progressivo del gas. Quando la temperatura del gas comincia ad andare oltre i 10 milioni di gradi °C, il gas diventa così rovente che, quando gli atomi si scontrano non rimbalzano più l'un dall'altro, invece, anche per effetto della forza gravitazionale che li schiaccia, questi atomi si fondono (collassano/si combinano) per formare Elio. In altre parole, per trovare una fucina con gli arnesi adatti, compresi un altoforno in cui la temperatura raggiunge, e va anche oltre, i 10 milioni di gradi °C, e una pressa che schiacci questi atomi ai livelli dovuti, dobbiamo guardare nello spazio dell'Universo dove si trovano le Nebulose. Quando, in qualche punto di una Nebulosa, blocchi enormi di gas (principalmente Idrogeno) cominciano a contrarsi sotto la forza della gravità, la temperatura sale. Quando la temperatura raggiunge i dieci milioni di gradi °C, **nasce una stella**. Il processo è semplice: la fusione degli atomi di Idrogeno fa salire la temperatura del gas (che a dieci milioni di °C è già alta) ancora di più ed è questo immenso calore che fa brillare la stella.

Secondo le leggi della Fisica, quando la temperatura di un gas sale, il gas si espande. In altre parole, il calore generato dalla fusione degli atomi di Idrogeno crea una forza espansiva che cerca di far dilatare il gas. Al tempo stesso, le forze gravitazionali continuano a esercitare una forza compressiva che cerca di comprimere ulteriormente il gas. A un certo punto, queste due forze (quella espansiva del calore e quella compressiva gravitazionale) si equivalgono e raggiungono il punto di equilibrio. In altre parole, il calore provoca l'espansione del gas, mentre la forza gravitazionale tende a comprimere il gas. Quando queste due forze raggiungono l'equilibrio, il gas smette di contrarsi, mentre brucia il suo combustibile (gli atomi di Idrogeno), e, allo stesso tempo, la stella irradia luce e calore (e, cioè, radiazioni) in tutte le direzioni. Teniamo a precisare anche che una stella nata poco dopo il Big Bang, quando gli unici elementi presenti nell'Universo erano Idrogeno, Elio e una minuscola parte di Litio, contiene solo questi tre elementi e pertanto è chiamata **stella di prima generazione**. Quanto descritto in questa Sezione è, fondamentalmente, il processo che porta alla nascita di una stella. Nel corso della sua vita, poi, la stella continua a irradiare luce e calore bruciando Idrogeno, che, in effetti, è il suo carburante e continuerà fino a quando tutto il carburante disponibile sarà stato consumato. La Figura 10, mostrata sotto, illustra come appare l'interno di una stella tipica e come produce il calore che le permette di brillare e irradiare luce e calore in tutte le direzioni.

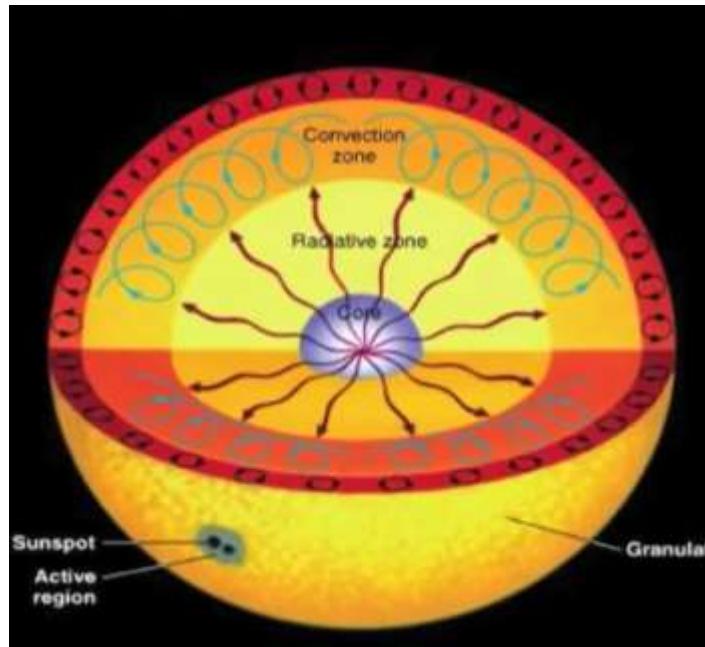


Figura 10: l'interno di una stella tipica (come il nostro Sole); (Fonte: NASA)

L'interno profondo di una stella (come il nostro Sole) si chiama ‘Nocciolo’ e la temperatura nel nocciolo di una stella è di circa 15 milioni di gradi °C. A queste temperature, gli atomi di Idrogeno subiscono un processo di fusione e si trasformano in Elio. Il calore generato da questo processo di fusione fa espandere il gas (pressione espansiva), mentre la forza di gravità tende a comprimerlo (pressione compressiva) e queste due forze si controbilanciano.

Anche qui, un lettore scettico potrebbe porre la domanda:

- **Ma come facciamo a sapere cosa succede all'interno del nostro Sole o all'interno di qualsiasi altra stella? Qualcuno è mai andato all'interno del nostro Sole con un termometro per misurarne la temperatura e per verificare che gli atomi di Idrogeno realmente si fondono e producono Elio quando la temperatura raggiunge e/o va oltre i 10 milioni di gradi °C?**

La risposta a questa domanda è che non c'è bisogno di andare all'interno del Sole per verificare quanto detto. Fin dagli anni '40 del secolo scorso, scienziati di vari paesi hanno creato bombe atomiche, bombe termonucleari (bomba H) e altri ordigni in cui avviene la fusione di atomi di Idrogeno, sprigionando così un ammontare enorme di energia distruttiva con temperature che raggiungono i livelli indicati sopra. [Vedi in Parte II: Nota 7 – Fissioni e fusioni nucleari].

#### 4.4.2 Morte di una Stella

Riassumendo quanto detto prima: nel nocciolo di una stella gli atomi di Idrogeno bruciano e si fondono dando origine all'Elio e, così facendo, sprigionano un enorme ammontare di energia, con temperature tra i 10 e 15 milioni di gradi °C, e una forza espansiva che contro-bilancia la forza di gravità. In effetti, il carburante, che sostiene la vita di una stella, è l'Idrogeno. Per esempio, si stima che, per sostenersi, il nostro Sole brucia 600mila tonnellate di Idrogeno al secondo.

### ➤ Che cosa accadrà quando una stella esaurirà il suo carburante?

Quando una stella comincia a esaurire la sua scorta di carburante, si raffredda. Senza il calore generato dal combustibile che brucia, la pressione espansiva che contro-bilanciava la compressione generata dalla forza gravitazionale diminuisce e la stella ricomincia a rimpicciolirsi fino a collassare (crollo catastrofico di gravitazione). In realtà, durante le ultime ore di una stella morente, quasi questa fosse presa da uno spasmo, la temperatura della stella, prima di cominciare a scendere aumenta e, addirittura, sale fino a circa cento milioni di gradi °C. **È durante questo periodo che, anche sotto l'enorme pressione delle forze gravitazionali, si formano gli elementi più pesanti della Tavola Periodica di Mendeleev.**

Come prima cosa vediamo perché, prima di raffreddarsi definitivamente, una stella morente si riscalda ancora di più. In realtà, se potessimo dare un'occhiata all'interno di una stella in fin di vita troveremmo una quantità enorme di Elio (tutto l'Idrogeno bruciato nei millenni precedenti si è trasformato in Elio). In assenza della forza espansiva che l'Idrogeno generava mentre si fondeva, questi atomi di Elio sono sottoposti a un'enorme forza compressiva gravitazionale e (così come avveniva per l'Idrogeno nella fase precedente) anch'essi cominciano a fondersi. Ogni atomo di Elio contiene due Protoni, quindi, quando due atomi di Elio si fondono, otteniamo un nuovo elemento con quattro Protoni. Uno sguardo fugace alla Tavola di Mendeleev ci dice che questo nuovo elemento deve essere il Berillio (l'unico elemento che contiene quattro Protoni nel suo nucleo). Quindi, in una stella morente, al suo interno comincia a formarsi il Berillio. Siccome il calore sprigionato dalla fusione di due atomi di Elio è superiore a quello che era sprigionato da due atomi di Idrogeno, la temperatura nel nocciolo della stella sale ulteriormente e va oltre i 15 milioni di gradi °C che abbiamo visto prima quando due atomi leggeri, come l'Idrogeno, si fondevano. Ma non finisce qui.

A questo punto, nel nocciolo della stella abbiamo quattro elementi: Idrogeno (quel poco che ancora rimane nelle periferie), Elio, Litio e Berillio. Ancora una volta, sotto la pressione compressiva della forza di gravità, il Berillio (nel cui nucleo ci sono 4 Protoni) si fonde con l'Elio (nel cui nucleo ci sono 2 Protoni) e forma un nuovo elemento con  $4+2=6$  Protoni. L'unico elemento con sei Protoni della Tavola di Mendeleev è il Carbonio. E nel prossimo passaggio, il Carbonio si fonde con l'Elio e forma l'Ossigeno. Inoltre, quel poco di Idrogeno, che si trova ancora nelle periferie del nocciolo, si fonde col Berillio per dar vita al Boro. La stessa cosa avviene tra Idrogeno e Carbonio, che dànno vita all'Azoto, etc. In sintesi, nello spasmo finale di una stella di prima generazione morente, i seguenti cinque elementi vengono creati: Berillio, Boro, Carbonio, Azoto e Ossigeno. Inoltre, come già accennato, più pesanti sono gli elementi, più alta è la temperatura del nocciolo della stella morente <sup>[Nota 8]</sup>. È proprio la comparsa di elementi pesanti nel nocciolo di una stella e la loro fusione che causa l'innalzamento della temperatura oltre i 15 milioni di gradi °C. Infine, come spiegheremo più in dettaglio in una Sezione successiva, durante il suo spasmo finale, la stella morente si gonfia e si espande enormemente come una palla di fuoco (per questo viene chiamata **"gigante rosso"**), prima di raffreddarsi, rimpicciolirsi e trasformarsi in una stella molto piccola e di bassissima luminosità, che gli astronomi chiamano **Nana Bianca**, o in una **Stella di Neutroni**. [Vedi Parte II - Nota 8: Reazioni nucleari che portano alla creazione dei primi 5 elementi pesanti].

## 4.5 Stelle Ordinarie e Stelle Massicce

Finora abbiamo imparato che elementi come Berillio, Boro, Carbonio, Azoto e Ossigeno vengono creati quando una stella di prima generazione sta per morire. Dobbiamo, però, considerare che ci sono due tipi di stelle. Le stelle le cui dimensioni sono paragonabili al nostro Sole, sono chiamate **stelle ordinarie**. Le stelle di dimensione molto maggiore (per esempio stelle che hanno una massa di almeno otto volte la massa del nostro Sole) sono chiamate **stelle massicce**.

Entrambi i tipi di stelle, alla fine della loro vita, producono i 5 elementi pesanti descritti sopra (Berillio, Boro, Carbonio, Azoto e Ossigeno). Gli elementi più pesanti degli 8 mostrati nella figura 11, però, sono prodotti solo da stelle massicce. Inoltre, poiché le stelle ordinarie diventano Nane Bianche o stelle di Neutroni, questi elementi pesanti appena creati (Berillio, Boro, Carbonio, Azoto e Ossigeno) rimangono imprigionati nella risultante Nana Bianca o stella di Neutroni, perciò, l'Ossigeno, l'Azoto, il Carbonio e il Boro presente nei nostri corpi non può provenire dalla morte di stelle ordinarie.

Tornando alla nostra Tavola di Mendeleev, tale Tavola, oltre a contenere i 3 elementi creatisi al

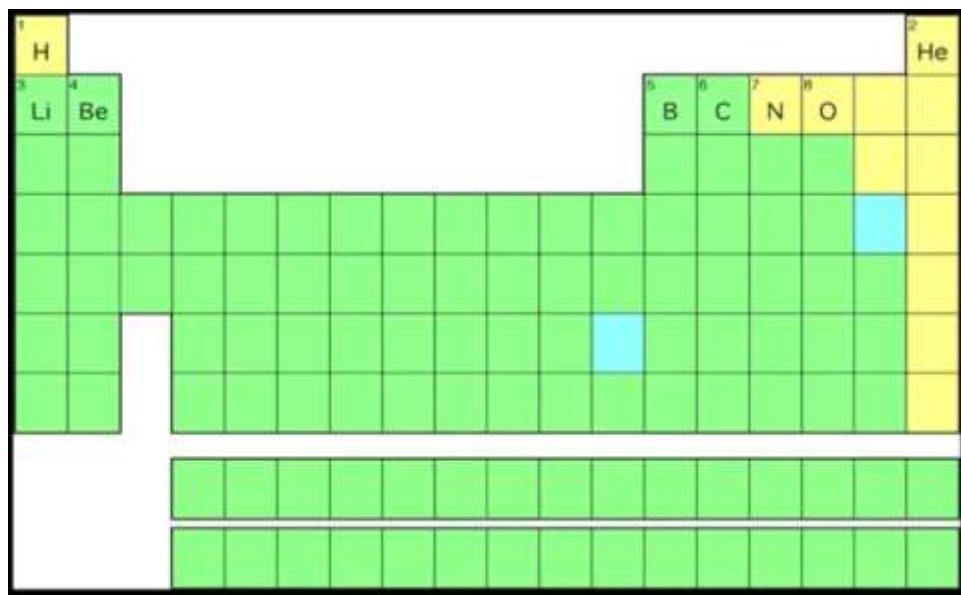


Figura 11: elementi da 4 a 8 creati quando una stella (ordinaria o massiccia) sta per morire (Fonte: Wikipedia)

tempo del Big Bang, ora contiene anche i 5 elementi creatisi alla morte della prima stella ordinaria (vedi Figura 11 qui sopra).

Con le conoscenze acquisite finora, siamo in grado ora di rispondere alla domanda che ci eravamo posti prima, e, cioè: quando, dove e come sono venuti alla luce gli atomi pesanti presenti nel corpo umano? La risposta è: **non ancora**.

In primo luogo, dei 29 elementi pesanti presenti nel corpo umano, abbiamo dimostrato che solo 4 (Ossigeno, Carbonio, Azoto e Boro) sono prodotti alla morte di una stella ordinaria di prima generazione.

In secondo luogo, abbiamo detto che i cinque elementi pesanti creati alla morte di una stella ordinaria di prima generazione rimangono imprigionati nella risultante Nana Bianca o stella di Neutroni, pertanto,

l'Ossigeno, il Carbonio, l'Azoto e il Boro presenti nel corpo umano non può essere quello prodotto alla morte di una stella ordinaria di prima generazione.

➤ **Ma allora da dove provengono l'Ossigeno, il Carbonio, l'Azoto, il Boro e gli altri 25 elementi pesanti presenti nel corpo umano?**

Infine, non dimentichiamo che, dei 118 elementi contenuti nella Tavola di Mendeleev, finora abbiamo dato conto solo dei primi otto (vedi Figura 11). E gli altri 110?

Le risposte a queste domande verranno fuori quando andiamo ad analizzare quello che succede alla morte di una stella massiccia.

#### 4.5.1 Morte di una Stella Massiccia: Supernova

Vediamo ora cosa succede quando muore una stella massiccia.

Fondamentalmente il processo è lo stesso di quello descritto per le stelle ordinarie, con le seguenti eccezioni:

- Quando una stella massiccia esaurisce il suo combustibile, anche il suo nocciolo collassa (proprio come le stelle più piccole), tranne il fatto che, poiché la stella massiccia ha più massa, la forza di gravità esercitata sul suo nocciolo è molto più potente (cioè, gli elementi nel suo nocciolo sono compressi molto più fortemente).
- A causa di questa più elevata forza compressiva, nuclei di Elio vengono schiacciati negli elementi pesanti già creati, creando così elementi ancora più pesanti, come Neon, Manganese, Calcio e Ferro. [Vedi Parte II - Nota 9: Reazioni nucleari che danno vita a elementi più pesanti].

Analizziamo ora più da vicino ciò che accade all'interno del nocciolo di una stella massiccia morente, quando il suo combustibile diventa insufficiente per controbilanciare la pressione gravitazionale. La Figura 12, in basso, mostra il nucleo di una stella massiccia, in varie fasi, mentre si avvicina all'esaurimento del suo carburante. Mentre la stella ha ancora il suo carburante (Idrogeno), gli atomi di Idrogeno si fondono e creano Elio.

Quando il carburante è insufficiente:

- le forze gravitazionali iniziano a prevalere;
- la temperatura inizia a salire oltre i 15 milioni di gradi °C;
- gli atomi di Elio iniziano a fondersi creando, prima Berillio, poi Carbonio;
- quando la temperatura aumenta ulteriormente, il Carbonio si fonde con l'Elio formando così l'Ossigeno;
- il processo continua e, quando la temperatura si avvicina a 100 milioni di gradi °C, si forma il Ferro;
- il Ferro è uno degli elementi più stabili e, poiché è più pesante degli altri elementi, si deposita al centro del nucleo;
- man mano che la pressione compressiva e la temperatura continuano a salire, si formano elementi ancora più pesanti, come il Nichel (Ni), lo Zinco (Zn), ecc.;

h) man mano che la pressione gravitazionale aumenta e la temperatura supera i 100 milioni di gradi °C, gli elementi all'interno del nucleo vengono ulteriormente schiacciati, creando così anche elementi più pesanti (per esempio, Platino, Oro, ecc., vengono letteralmente creati negli ultimi secondi di vita di una stella massiccia). La presenza e conseguente fusione di questi elementi più pesanti genera una quantità di energia espansiva (calore) di gran lunga superiore a quella generata all'interno di una stella ordinaria. Questa enorme quantità di energia, a sua volta, genera una pressione espansiva che è molto superiore alla pressione compressiva gravitazionale. **Il risultato è che la pressione espansiva prevale e il nocciolo della stella massiccia esplode.**

➤ **È proprio questa la differenza maggiore tra una stella massiccia sul punto di morte e una stella ordinaria sul punto di morte. In quest'ultima, prevale la pressione compressiva gravitazionale e i pochi elementi pesanti creati sono tenuti prigionieri nella stella morta (Nana Bianca o Stella di Neutroni). Nella stella massiccia, invece, la pressione espansiva prevale e il nocciolo della stella esplode in una tremenda conflagrazione.**

Questa esplosione catastrofica e distruttiva, che avviene alla morte di una stella massiccia, è nota come **Supernova**. L'energia rilasciata da una stella massiccia che esplode è molto, molto alta. Ai telescopi degli astronomi, la stella morente appare come una "nuova" stella luminosissima, prima di svanire lentamente dalla vista dopo diverse settimane o mesi. Tutta la materia contenuta nel suo nocciolo, inclusi tutti gli elementi pesanti di nuova creazione, viene espulsa e diffusa per milioni o miliardi di chilometri nello spazio circostante.

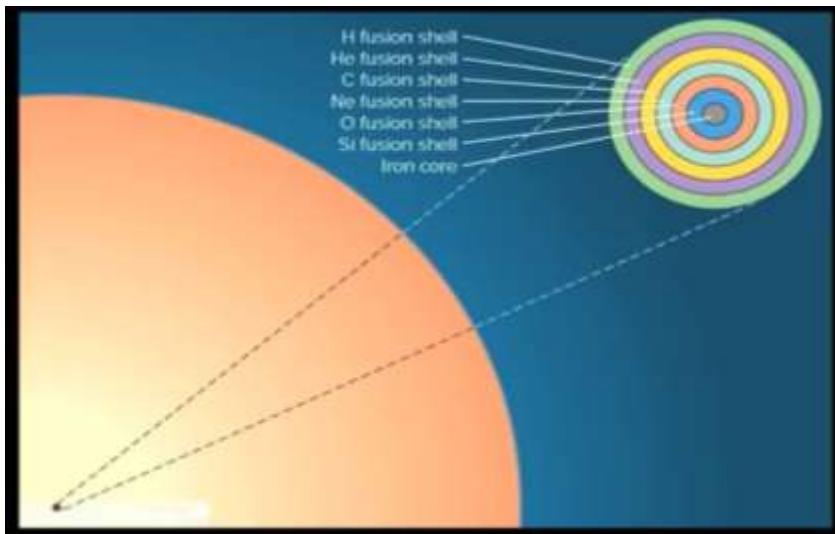


Figura 12: Strati di elementi creati all'interno del nocciolo di una stella massiccia prima della sua esplosione (Fonte: Wikipedia)

Dissipati gli effetti della Supernova, ciò che resta della stella massiccia originale è una Nebulosa formata da Idrogeno ed Elio mescolata a pezzi degli elementi pesanti (detriti) creati durante i momenti finali della stella prima dell'esplosione. La Figura 13, in basso, mostra le immagini di ciò che resta di una stella massiccia dopo la Supernova. L'immagine nella Figura 13 è quella della Nebulosa Elica presa con il telescopio Hubble.

Come si può vedere, il centro della Nebulosa è dove una volta si trovava la stella massiccia. A milioni o miliardi di chilometri di distanza, una nuvola di detriti comprendente blocchi di elementi espulsi dalla Supernova, insieme a nuvole di Idrogeno ed Elio (vedi figura 14), sarà, nel tempo, il materiale di incubazione di una stella di prossima generazione.



Figura 13: Nebulosa Elica (resti di una supernova) (Fonte: Wikipedia)



Figura 14: detriti di una Supernova composta di rocce, asteroidi, gas, ecc. Fonte: NASA

**Si noti che il Carbonio, l'Azoto, l'Ossigeno e tutti gli altri elementi pesanti trovati nel nostro corpo provengono da questi detriti di una Supernova.**

Concludiamo questa Sezione rispondendo ora alle domande: quando, dove e come sono venuti alla luce gli atomi degli elementi pesanti che fanno parte del nostro corpo?

- **Quando** sono stati creati gli atomi pesanti che fanno parte del nostro corpo?
  - Risposta: gli atomi pesanti del nostro corpo provengono da esplosioni di stelle massicce (Supernova) di seconda (o terza, o quarta) generazione. La loro età pertanto è inferiore ai 13,7 miliardi di anni.
- **Dove** sono stati creati gli atomi pesanti che fanno parte del nostro corpo?
  - Risposta: gli atomi pesanti che fanno parte del nostro corpo provengono dal nocciolo di una stella massiccia che è esplosa in una Supernova spargendoli, in forma di detriti, in vasti spazi dell'Universo. Raggruppandosi di nuovo, questi detriti, insieme alle vaste quantità di Idrogeno ed

Elio presenti nell'Universo, hanno poi dato vita al nostro Sole e ai suoi pianeti, compresa la Terra sulla quale si trovano i nostri corpi.

- **Come** sono stati creati gli atomi pesanti che fanno parte del nostro corpo?
- Risposta: quando la temperatura nel nocciolo della stella massiccia è salita al di sopra di 15 milioni di gradi °C, allora i primi elementi pesanti si sono fusi con l'Elio, e/o tra di loro, dando vita progressivamente agli altri elementi più pesanti. Queste fusioni di elementi pesanti hanno fatto salire la temperatura del nocciolo della stella oltre i 100 milioni di gradi °C. A queste temperature la pressione espansiva ha avuto il sopravvento sulla pressione compressiva gravitazionale facendo esplodere la stella in una Supernova.

## 4.6 Risposta alla Domanda: Da Dove Veniamo?

Con le conoscenze acquisite nelle precedenti sezioni, ora possiamo rispondere alla domanda:

- **Da dove veniamo?**

Riassumendo quanto detto finora:

1. Tutto l'Idrogeno nell'Universo è stato creato pochi minuti dopo il Big Bang. [NOTA: una parte di Elio e Litio è stata creata al tempo del Big Bang, il resto è stato creato mentre le stelle brillavano o alla loro morte].
2. Questa enorme quantità di Idrogeno creato pochi minuti dopo il Big Bang, sotto la forza di gravità, ha iniziato a collassare su sé stesso e gli atomi di Idrogeno hanno iniziato a fondersi e trasformarsi in Elio, dando così vita alle stelle di prima generazione.
3. Quando l'Idrogeno che alimentava una stella si esauriva, la stella collassava in un gigante rosso o in una Supernova, creando così gli elementi più pesanti.
4. A seguito di una Supernova, gli elementi pesanti appena creati si spargono per milioni o miliardi di chilometri nell'Universo, dove si mescolano con atomi di Idrogeno e di Elio.
5. I detriti di una Supernova, mescolati con Idrogeno ed Elio gassoso, sotto la forza gravitazionale, iniziano a collassare su sé stessi, formando così stelle di seconda generazione.
6. La differenza tra le stelle di prima generazione e le stelle di seconda generazione consiste nel fatto che, al momento della loro formazione, le prime sono costituite quasi esclusivamente da Idrogeno ed Elio, mentre le seconde contengono elementi pesanti provenienti da stelle massicce precedentemente decedute, oltre a enormi quantità di Idrogeno ed Elio.
7. Sappiamo che il nostro Sole è nato circa 5 miliardi di anni fa (ovvero, circa 8,7 miliardi di anni dopo il Big Bang). Sappiamo anche che il nostro sistema solare contiene elementi pesanti; quindi, il nostro Sole deve essere una stella di almeno seconda generazione (potrebbe anche essere una stella di terza o quarta generazione). Ne consegue che tutti gli elementi pesanti che vediamo intorno a noi, inclusi gli elementi pesanti che sono nel nostro corpo, devono avere almeno 5 miliardi di anni. Con queste informazioni, proviamo ora a rispondere alla domanda: "Da dove veniamo?"

Quando guardiamo il nostro corpo, vediamo che contiene Ossigeno, Carbonio, Idrogeno, Azoto e altre percentuali minuscole di elementi pesanti. **Tutti questi elementi pesanti, presenti nel nostro corpo, provengono dallo spazio profondo** [ricorda: sono stati creati da una Supernova che, in seguito, ha dato vita al nostro sistema solare, almeno cinque miliardi di anni fa].

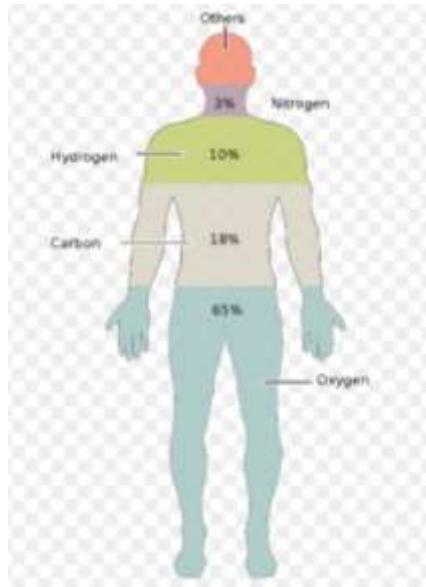
**L'Idrogeno presente nel nostro corpo, invece, proviene dal Big Bang e, quindi, ha circa 13,7 miliardi di anni.**

Detto in modo diverso, il nostro corpo è costituito da una polvere di stelle molto, molto, molto vecchia. Possiamo anche dire, con certezza, che l'Idrogeno (H) nel nostro corpo (10%) deve avere 13,7 miliardi di anni. Gli elementi rimanenti nel nostro corpo (cioè O, C, N, Ca, ecc.) devono avere almeno (probabilmente più di) 5 miliardi di anni.

**In conclusione, tutto l'Idrogeno nel nostro corpo (cioè, il 10% del nostro corpo) proviene dal Big Bang e ha circa 13,7 miliardi di anni; tutti gli altri elementi del nostro corpo (il restante 90%) provengono da una Supernova e devono avere almeno 5 miliardi di anni.**

Domanda per il lettore di questo saggio: con l'informazione che ti è stata data, puoi provare a rispondere alla domanda:

- **Quanti anni ha il tuo corpo?**



## 5.0 Dove Stiamo Andando?

Ora affronteremo l'ultima domanda, e cioè:

- **Cosa accadrà a tutti gli elementi costitutivi del corpo umano, una volta che quest'ultimo ha compiuto la sua missione sulla Terra?**

Sappiamo che la missione degli esseri umani che vivono sulla Terra è limitata. A un certo punto, di solito dopo aver vissuto circa 70-100 anni, un uomo morirà e, come afferma la Bibbia, le ceneri torneranno in ceneri. Sia che un corpo verrà seppellito, sia che sarà cremato, in entrambi i casi si trasformerà in cenere. Queste ceneri saranno ancora costituite da tutti gli elementi compresi nel corpo originale, ovvero, Ossigeno, Carbonio, Idrogeno, ecc. Per capire cosa accadrà alle nostre ceneri, dobbiamo ricordare quanto segue:

Le nostre ceneri, sia cremate che sepolte, sono ancora sulla Terra. La Terra è un pianeta, parte del sistema solare, che probabilmente rimarrà dov'è finché il Sole la irradia.

La domanda spontanea è quindi:

- **Che cosa accadrà alla Terra quando il Sole morirà e smetterà di splendere?**

## 5.1 Ciclo di Vita del Sole

Il nostro Sole è una stella di mezza età che ha iniziato la sua vita circa 5 miliardi di anni fa (vedi Sezione Nascita di una Stella) e, secondo calcoli elementari, esaurirà la sua scorta di Idrogeno contenuta nel suo nocciolo fra 5 miliardi di anni. A quel punto, come abbiamo spiegato nella Sezione Morte di una Stella, il Sole, la cui temperatura interna è di circa 15 milioni di gradi °C, senza il calore generato dal carburante che brucia, la compressione generata dalla forza gravitazionale avrà il sopravvento e la stella ricomincerà a rimpicciolirsi fino a collassare (crollo catastrofico di gravitazione). In realtà, prima di morire, quasi avesse un sussulto o uno spasmo, la temperatura del Sole addirittura salirà fino a circa cento milioni di gradi °C. Come abbiamo spiegato nella Sezione Morte di una Stella, il motivo di questo sussulto finale è dovuto al fatto che gli elementi pesanti si fondono tra di loro e generano (ma solo temporaneamente) l'innalzamento della temperatura fino a circa cento milioni di gradi °C. A questi livelli di temperatura, la pressione espansiva prevale sulle forze gravitazionalipressive e le tre zone che circondano il nocciolo del Sole (zona radioattiva, convettiva e corona) iniziano ad espandersi creando una palla di fuoco che si estende per un raggio di ben oltre i 100 milioni di chilometri. È questo, quello che gli astronomi chiamano **“Gigante Rosso”** (vedi Figura 15).

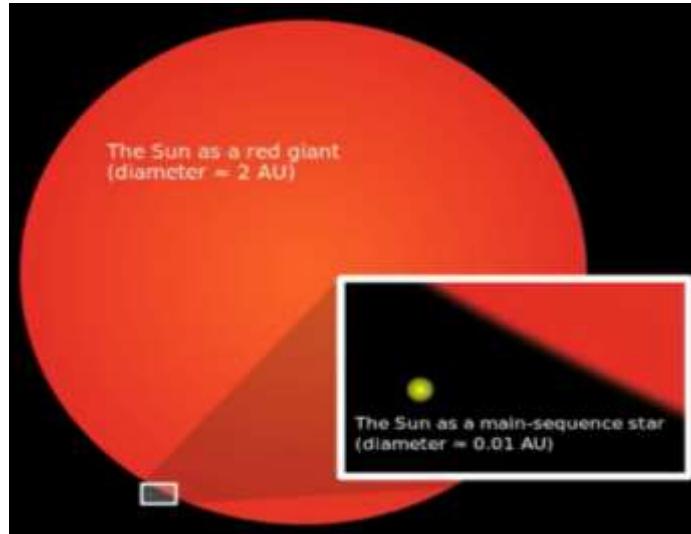


Figura 15: prossimo alla sua morte il diametro del Sole si espanderà oltre 200 volte la sua dimensione attuale (Gigante Rosso.)

## 5.2 Risposta alla Domanda: “Dove Stiamo Andando”

Nella Sezione precedente abbiamo illustrato che cosa accadrà al nostro Sole quando, fra circa cinque miliardi di anni, esaurirà il suo carburante. Prima di spegnersi, il nostro Sole, nel suo spasmo finale, si gonfierà enormemente in una palla di fuoco (**Gigante Rosso**) la cui superficie esterna raggiungerà la nostra Terra. Al suo massimo, la superficie esterna del Gigante Rosso (fotosfera) raggiungerà l'orbita attuale della Terra con una temperatura di circa 3000-4000 gradi °C. A queste temperature, l'intera Terra non sarà completamente vaporizzata, ma è probabile che una parte sostanziale della sua crosta sarà vaporizzata (vedi Figura 15).

Le ceneri dei nostri corpi (che risiedono sulla superficie della Terra o sepolte alla profondità di qualche metro) a quel punto saranno completamente vaporizzate e riportate nello spazio dell'Universo. **In altre parole, gli elementi che costituivano il nostro corpo torneranno nello spazio profondo dell'Universo, da dove erano venuti inizialmente.**

## 6.0 Riciclaggio degli Atomi e (possibile) Reincarnazione

Nella Sezione precedente abbiamo illustrato come il nostro corpo umano è fatto di polvere di stelle e tornerà ai luoghi di provenienza quando il Sole, dopo un sussulto alla fine della sua vita, si spegnerà. Al momento, tuttavia, il lettore non ha motivo di preoccuparsi, perché ci vorranno 5-6 miliardi di anni prima che ciò accada.

È anche interessante notare che, quando gli atomi degli elementi, che costituivano i corpi degli esseri umani che sono vissuti sulla Terra, ritroveranno nello spazio profondo dell'Universo, si mescoleranno di nuovo con tutti gli altri atomi di elementi che turbinano nell'Universo. C'è una buona probabilità che quegli elementi, sotto la forza di gravità, finiscano nella formazione di un altro sistema solare e che alcuni di quegli atomi possano finire per formare il corpo di un'altra creatura vivente su un nuovo pianeta. In altre parole, si verificherà di nuovo un ciclo simile a quello che ha dato alla luce il nostro sistema solare. Quindi, se il lettore di questo saggio non credeva alla reincarnazione prima di leggere questo saggio, farebbe bene a ripensarci, perché **gli elementi che compongono il suo corpo hanno chiaramente la possibilità di ritornare e reincarnarsi** su un altro pianeta. Ci sono solo un paio di inconvenienti in questo processo di reincarnazione:

1. In primo luogo, se il lettore di questo saggio è abbastanza fortunato da sperimentare la reincarnazione, dovrà aspettare molto più di 5 miliardi di anni;
2. In secondo luogo, mentre gli atomi che compongono il corpo del lettore di questo saggio possono ritornare, reincarnati su un pianeta simile alla Terra in un nuovo sistema solare, non vi è alcuna garanzia che ritornino in un corpo che sia simile, in forma e fattezze, a quello attuale. In altre parole, gli atomi del corpo del lettore potrebbero re-incarnarsi in un asino, in un cavallo o anche in qualche vegetale, come un finocchio, una carota, etc.

Come nota a margine, informiamo il lettore che una ragazzina di 12 anni (nipote dell'autore del saggio), che aveva letto questo saggio, è venuta dal nonno piangendo, perché aveva fatto un brutto sogno: aveva sognato che alcuni dei suoi atomi di Idrogeno, Ossigeno, Carbonio, etc., erano ritornati su un altro pianeta prendendo la forma di una carota. La ragazzina piangeva, non perché alcuni degli atomi del suo corpo si erano reincarnati in una carota, ma perché, nel suo sogno, aveva visto un coniglio che mangiava la carota e piangeva al pensiero che gli atomi del suo corpo fossero diventati cibo per conigli.

## Parte II

## Nota 1: Sistema Periodico degli Elementi

Per capire l'origine degli elementi costituenti del nostro corpo dobbiamo dare un'occhiata più da vicino agli **elementi** e riassumerne le loro caratteristiche. Nella seconda metà del XIX secolo il professore russo Mendeleev organizzò tutti gli elementi allora conosciuti in una tabella chiamata Sistema Periodico degli Elementi, conosciuto anche come Tavola Periodica di Mendeleev (Figura 16). Nella Figura 16 sono mostrati solo il simbolo di ciascun elemento e il suo numero atomico. Il numero atomico di un elemento è un attributo molto importante dell'elemento stesso e **sta a indicare il numero di Protoni presenti nel Nucleo dell'elemento**. Esempio 1: il numero atomico dell'Idrogeno (H) è 1 e sta a significare che c'è un solo Protone nel suo Nucleo; esempio 2: il numero atomico dell'Elio (He) è 2 e sta a significare che ci sono 2 Protoni nel suo Nucleo; esempio 3: il numero atomico dell'Oro (Au) è 79 e sta a significare che ci sono 79 Protoni nel suo Nucleo; e così via. Facciamo notare che **ciò che distingue un elemento da un altro è proprio il numero di Protoni contenuti nel suo Nucleo**.

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Period ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	1 H															2 He			
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	57 La	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	*	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
	*	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
	*	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				

Figura 16: Tabella di Mendeleev che mostra solo il simbolo e il numero atomico di ciascun elemento. (Fonte: Wikipedia)

Facciamo notare anche che nella tavola degli elementi ci sono solo 7 righe, le due righe riportate alla fine della Figura 16, i cui elementi sono chiamati **lantanidi** e **attinidi**, dovrebbero essere inserite rispettivamente nella riga 6 e 7 dove sono gli asterischi. In effetti, se uno inserisse le due righe al loro posto, la tavola periodica degli elementi, apparirebbe come nella Figura 17 riportata qui sotto.

Inoltre, per aiutare il lettore che non ha memorizzato i simboli di tutti gli elementi, nella Figura 17 sono riportati i nomi completi di ciascun elemento. L'immagine, però, adattata a una pagina, è troppo larga ed è poco leggibile.

The image shows the periodic table of elements, a tabular arrangement of all known chemical elements. The table is organized into seven horizontal rows (periods) and 18 vertical columns (groups). The elements are listed in order of increasing atomic number, starting with Hydrogen (H) in the top-left and ending with Ununtrium (Uut) in the bottom-right. Each element cell contains its symbol, name, and atomic number. The table uses color-coding to group elements with similar properties: a red block for the alkali metals (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr), a blue block for the alkaline earth metals (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra), a green block for the transition metals (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Scandium, Titanium, Vanadium, Chromium, Manganese, Iron, Cobalt, Nickel, Copper, Zinc, Gallium, Germanium, Arsenic, Selenium, Bromine, Krypton), and a purple block for the noble gases (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn, Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon, Radon). The table also includes the lanthanide and actinide series, which are placed below the main body of the table.

Figura 17: La tabella di Mendeleev in 7 righe.

Ci sono alcuni attributi e caratteristiche molto importanti degli elementi che riassumiamo qui di seguito.

a) Tutti gli atomi degli elementi hanno le seguenti proprietà:

1. Un numero atomico che designa il numero di Protoni presenti nel suo nucleo.
2. Un numero di massa atomica che designa il numero di Protoni + Neutroni presenti nel suo nucleo e che misura il peso dell'atomo.
3. Un nome con cui l'elemento è noto (per esempio: Idrogeno, Elio, ecc., ecc.)
4. Un simbolo, che in realtà è un'abbreviazione del nome, con cui l'elemento è noto (per esempio: **H** per Idrogeno, **He** per Elio, ecc.).
5. Un atomo neutro (un atomo senza carica elettrica) ha lo stesso numero di Protoni e di Elettroni.
6. Non esistono frazioni di Protone o di Neutrone. Ad esempio, non esiste il mezzo ( $\frac{1}{2}$ ) Protone o il mezzo ( $\frac{1}{2}$ ) Neutrone. Pertanto, non è possibile che, un giorno, potremmo scoprire un nuovo elemento situato tra due elementi consecutivi. **Il lettore noti che fu l'interpretazione di questa proprietà che permise a Mendeleev di affermare che nell'Universo non ci sono altri elementi al di fuori di quelli compresi nella sua tavola** [vedi sotto-Sezione b) qui di seguito].
7. L'atomo di Idrogeno ha la massa più leggera (= 1) e la massa degli atomi di tutti gli altri elementi è un multiplo della massa di Idrogeno. Pertanto, quando diciamo che la massa atomica del Carbonio (C) è = 12, significa che un atomo di Carbonio pesa 12 volte tanto quanto un atomo di Idrogeno (H).

b) Tutti gli elementi esistenti in natura sono compresi nella tavola di Mendeleev. In altre parole, nessun elemento può esistere, oltre a quelli compresi nella tavola di Mendeleev.

c) Tutti gli elementi compresi nella Tavola di Mendeleev esistono non solo sulla Terra, ma possono esistere anche in altre regioni dell'Universo. Alcuni di questi elementi esistono, infatti, nelle stelle, nelle nebulose e in altri corpi celesti, anche in regioni dell'Universo che distano milioni di anni luce da noi.

Si noti anche che tutti gli elementi della Tavola di Mendeleev sono numerati in sequenza da 1 a 118 senza salti di numerazione. A questo riguardo, facciamo notare che questa caratteristica permise a Mendeleev di predire l'esistenza di un nuovo elemento quando la sua esistenza era ancora sconosciuta. Quando Mendeleev compilò per la prima volta la sua Tavola, l'elemento avente numero atomico 43 non era stato ancora scoperto. Quindi la Tavola di Mendeleev presentava un buco tra l'elemento 42 (Molibdeno) e l'elemento 44 (Rutenio). Nel notare il buco Mendeleev correttamente predisse l'esistenza dell'elemento avente numero atomico **43** al quale diede anche un nome temporaneo: **Eka-manganese**. Circa 50 anni più tardi, nel 1937, fu scoperto l'elemento con 43 Protoni nel suo Nucleo e al quale fu dato il nome definitivo di **Tecnezio (Tc)**. La Figura 18, in basso, mostra alcune delle caratteristiche degli atomi di vari elementi.

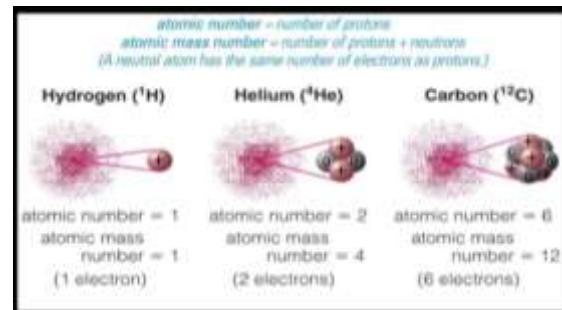


Figura 18: Nucleo di atomi di alcuni elementi e loro proprietà (Fonte: YouTube?)

Le Figure della Tavola di Mendeleev mostrate in precedenza mostrano solo il simbolo degli elementi e il numero atomico. La Figura 19 in basso, mostra la stessa tabella, ma include il nome completo degli elementi (non solo i simboli) ed è più leggibile.

La tavola periodica è talvolta definita come “l'alfabeto dell'Universo” perché, così come varie combinazioni di lettere dell'alfabeto ci permettono di creare tutte le parole che troviamo in un dizionario, combinazioni di elementi ci permettono di creare tutte le sostanze che esistono nell'Universo.

Figura 19: Tabella di Mendeleev che mostra il nome completo di ciascun elemento. (Fonte: Free Clip Art Library?)

Poiché il Numero di Massa è un attributo importante di un elemento, alcune tabelle mostrano sia il numero atomico sia il numero di massa. La figura 20a, in basso, mostra la Tavola di Mendeleev con il Numero di Massa (oltre al numero atomico.)

1 H 1.01	groups periods alkali metals alkaline earth metals metals vs. nonmetals halogens noble gases metalloids												2 He 4.00				
3 Li 6.94	4 Be 9.01	5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16.00	9 F 19.00	10 Ne 20.18										
11 Na 22.99	12 Mg 24.30	13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95										
19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 Cr 50.94	24 Mn 52.00	25 Fe 54.94	26 Co 55.85	27 Ni 58.93	28 Cu 58.69	29 Zn 63.55	30 Ga 65.39	31 Ge 69.72	32 As 72.61	33 Se 74.92	34 Br 78.96	35 Kr 79.90	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc 97.91	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	58 Hf 178.49	59 Ta 180.95	60 W 183.84	61 Re 186.21	62 Os 190.23	63 Ir 192.23	64 Pt 195.08	65 Au 196.97	66 Hg 200.59	67 Tl 204.38	68 Pb 207.20	69 Bi 208.98	70 Po 209.99	71 At 222.03	

Figura 20a: Tavola periodica che mostra il simbolo, il numero atomico e il numero di massa atomica.  
(Fonte: Keiller Leadership Academy?)

1	<b>H</b>	Idrogeno	31	<b>Ga</b>	Gallio	61	<b>Pm</b>	Promezio	91	<b>Pa</b>	Protoattinio
2	<b>He</b>	Elio	32	<b>Ge</b>	Germanio	62	<b>Sm</b>	Samario	92	<b>U</b>	Uranio
3	<b>Li</b>	Litio	33	<b>As</b>	Arsenico	63	<b>Eu</b>	Europio	93	<b>Np</b>	Neptunio
4	<b>Be</b>	Berillio	34	<b>Se</b>	Selenio	64	<b>Gd</b>	Gadolino	94	<b>Pu</b>	Plutonio
5	<b>B</b>	Boro	35	<b>Br</b>	Bromo	65	<b>Tb</b>	Terbio	95	<b>Am</b>	Americio
6	<b>C</b>	Carbonio	36	<b>Kr</b>	Cripto	66	<b>Dy</b>	Disprosio	96	<b>Cm</b>	Curio
7	<b>N</b>	Azoto	37	<b>Rb</b>	Rubidio	67	<b>Ho</b>	Olmio	97	<b>Bk</b>	Berchelio
8	<b>O</b>	Ossigeno	38	<b>Sr</b>	Stronzio	68	<b>Er</b>	Erbio	98	<b>Cf</b>	Californio
9	<b>F</b>	Fluoro	39	<b>Y</b>	Yttrio	69	<b>Tm</b>	Tulio	99	<b>Es</b>	Einsteinio
10	<b>Ne</b>	Neon	40	<b>Zr</b>	Zirconio	70	<b>Yb</b>	Ytterbio	100	<b>Fm</b>	Fermio
11	<b>Na</b>	Sodio	41	<b>Nb</b>	Niobio	71	<b>Lu</b>	Lutezio	101	<b>Md</b>	Mendelevio
12	<b>Mg</b>	Magnesio	42	<b>Mo</b>	Molibdeno	72	<b>Hf</b>	Afnio	102	<b>No</b>	Nobelio
13	<b>Al</b>	Alluminio	43	<b>Tc</b>	Tecnezio	73	<b>Ta</b>	Tantalo	103	<b>Lr</b>	Laurenzio
14	<b>Si</b>	Silicio	44	<b>Ru</b>	Rutenio	74	<b>W</b>	Tungsteno	104	<b>Rf</b>	Rutherfordio
15	<b>P</b>	Fosforo	45	<b>Rh</b>	Rodio	75	<b>Re</b>	Renio	105	<b>Db</b>	Dubnio
16	<b>S</b>	Zolfo	46	<b>Pd</b>	Palladio	76	<b>Os</b>	Osmio	106	<b>Sg</b>	Seaborgio
17	<b>Cl</b>	Cloro	47	<b>Ag</b>	Argento	77	<b>Ir</b>	Iridio	107	<b>Bh</b>	Bohrio
18	<b>Ar</b>	Argon	48	<b>Cd</b>	Cadmio	78	<b>Pt</b>	Platino	108	<b>Hs</b>	Hassio
19	<b>K</b>	Potassio	49	<b>In</b>	Indio	79	<b>Au</b>	Oro	109	<b>Mt</b>	Meitnerio
20	<b>Ca</b>	Calcio	50	<b>Sn</b>	Stagno	80	<b>Hg</b>	Mercurio	110	<b>Ds</b>	Darmstadtio
21	<b>Sc</b>	Scandio	51	<b>Sb</b>	Antimonio	81	<b>Tl</b>	Tallio	111	<b>Rg</b>	Roentgenium
22	<b>Ti</b>	Titanio	52	<b>Te</b>	Tellurio	82	<b>Pb</b>	Piombo	112	<b>Nc</b>	Copernicium
23	<b>V</b>	Vanadio	53	<b>I</b>	Iodio	83	<b>Bi</b>	Bismuto	113	<b>Nh</b>	Nihonium
24	<b>Cr</b>	Cromo	54	<b>Xe</b>	Xenon	84	<b>Po</b>	Polonio	114	<b>Fl</b>	Flerovium
25	<b>Mn</b>	Manganese	55	<b>Cs</b>	Cesio	85	<b>At</b>	Astato	115	<b>Mc</b>	Moscovium
26	<b>Fe</b>	Ferro	56	<b>Ba</b>	Bario	86	<b>Rn</b>	Radon	116	<b>Lv</b>	Livermorium
27	<b>Co</b>	Cobalto	57	<b>La</b>	Lantanio	87	<b>Fr</b>	Francio	117	<b>Ts</b>	Tennessine
28	<b>Ni</b>	Nickel	58	<b>Ce</b>	Cerio	88	<b>Ra</b>	Radio	118	<b>Og</b>	Oganesson
29	<b>Cu</b>	Rame	59	<b>Pr</b>	Praseodimio	89	<b>Ac</b>	Attinio			
30	<b>Zn</b>	Zinco	60	<b>Nd</b>	Neodimio	90	<b>Th</b>	Torio			

Figura 20b: Elementi della Tabella di Mendeleev (in italiano)

Per convenienza del lettore, nella Figura 20b riportata qui sotto, elenchiamo tutti gli elementi della Tavola di Mendeleev con il numero atomico, il simbolo chimico e il nome in italiano.

## Nota 2: Spettroscopia

La Spettroscopia è quel ramo della fisica che studia l'emissione di luce da parte degli atomi dei vari elementi. Poiché lo spettro di emissione di ciascun elemento è unico, la spettroscopia può essere utilizzata per identificare elementi sconosciuti, anche se questi elementi si trovano in corpi celesti situati a milioni o miliardi di anni luce da noi.

Ed è grazie alla Spettroscopia che gli astronomi hanno scoperto che la maggior parte delle stelle sono costituite dal 74% di Idrogeno, dal 25% di Elio e dall'1% di altri elementi. Gli astronomi hanno anche scoperto che l'elemento più abbondante nell'universo è l'Idrogeno e la maggior parte delle nebulose sono semplicemente grandi concentrazioni di Idrogeno.

La Figura 21 mostra come la spettroscopia, con uno strumento denominato **spettroscopio**, individua le **linee di emissione dello Spettro**

**dell'Idrogeno, Elio, Sodio e Mercurio**, ciascuna linea caratterizzata da un proprio colore che corrisponde alla propria lunghezza d'onda misurata in nano-metri (miliardesimi di metro).

Per rassicurare il lettore scettico, il quale avrebbe potuto immaginare che per sapere se c'è Idrogeno o Elio nel Sole bisogna andare sul Sole, prelevare un pezzettino della materia di cui è composto il Sole, portarlo sulla Terra e analizzarlo in laboratorio, illustriamo qui, più dettagliatamente, come gli astronomi sono arrivati allo stesso risultato senza andare sul Sole.

Nel saggio abbiamo già spiegato che, quando gli atomi dei vari elementi passano da un livello energetico a un altro livello energetico più basso (per esempio, perché si raffreddano) emettono radiazioni che in alcuni casi sono anche visibili e che noi, in tal caso, chiamiamo **luce**. Abbiamo anche detto che ogni elemento emette radiazioni monocromatiche <sup>[Nota 10]</sup> con una lunghezza d'onda che è specifica per quell'elemento (**spettro di emissione**) e per questo motivo noi abbiamo detto che questo spettro di emissione è l'equivalente delle impronte digitali degli esseri umani. Per esempio, lo spettro di emissione dell'Idrogeno consiste di 4 tipi di luce di colore diverso e ciascun colore ha la propria lunghezza d'onda. [Vedi in Parte II: Nota 10 – Descrizione più dettagliata delle Radiazioni]. La prima fascia della Figura 21 mostra lo spettro di emissione dell'Idrogeno in cui vediamo 4 linee verticali luminose. La prima linea, di colore blue scuro, è causata da un'onda monocromatica con lunghezza d'onda di 425 nanometri; la seconda linea, di colore blue sbiadito, è causata da un'onda luminosa con lunghezza d'onda di poco più di 450 nanometri; la terza linea, di colore verde, è causata da un'onda luminosa con lunghezza d'onda di 500 nanometri; la quarta e ultima linea, di colore rossiccio, è causata un'onda luminosa la cui lunghezza d'onda di 675 nanometri (vedi Figura 21). Enfatizziamo, ancora una volta, che solo l'Idrogeno emette queste 4

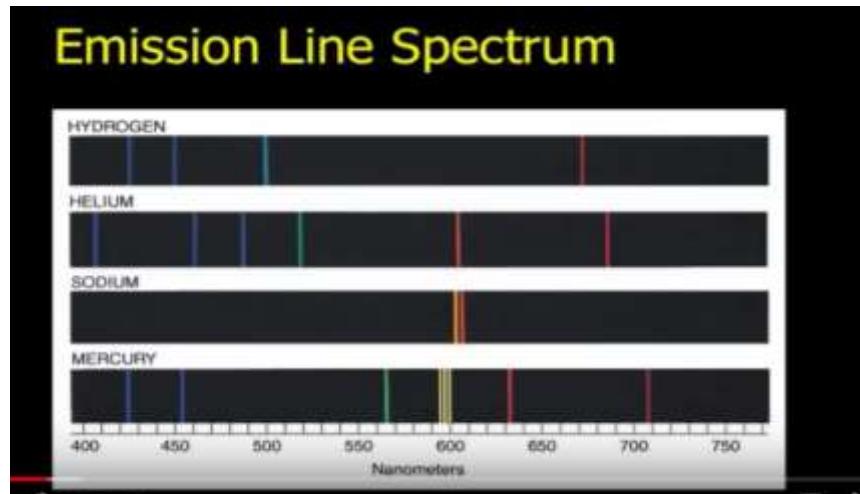


Figura 21: spettro di linee di Idrogeno, Elio, Sodio e Mercurio. (Fonte: NASA Science)

linee di emissione con le lunghezze d'onda (e colore) specificate. Pertanto, questi 4 colori sono l'equivalente delle impronte digitali dell'Idrogeno.

Quando gli astronomi analizzano la luce bianca proveniente dal Sole, con lenti e prisma contenuti nello strumento chiamato spettroscopio, filtrano, identificano e proiettano su uno schermo le varie componenti (verticali nella Figura 21) della luce. Nel vedere sullo schermo le quattro componenti sopra indicate, concludono che queste sono le linee di emissione dello spettro dell'Idrogeno e, pertanto, se sullo schermo ci sono le linee di emissione dello spettro dell'Idrogeno, allora gli astronomi concludono che sul Sole ci deve essere Idrogeno. Lo stesso metodo viene eseguito per scoprire la presenza di Elio e di qualsiasi altro elemento sul Sole. Quindi, senza andare sul Sole, gli astronomi hanno la prova che sul Sole c'è Idrogeno.

Usando lo stesso metodo, gli astronomi hanno analizzato la luce proveniente dalla nebulosa di Magellano (un'area dell'Universo che ha dato e continua a dare alla luce stelle come il nostro Sole - vedi Figura 22) e scoperto la presenza di grandi masse di Idrogeno ed Elio (elementi 1 e 2 della Tavola di Mendeleev).



Figura 22: Nebulosa di Magellano che mostra grandi concentrazioni di H e He.

(Fonte: NASA Picture)

### Nota 3: Definizione di Singolarità

Il termine **singolarità** ha vari significati. A noi interessa il suo significato dal punto di vista matematico e, pertanto, ci limitiamo a quello. In matematica, il termine singolarità è usato quando una formula, una funzione o anche una semplice operazione aritmetica perde le proprietà di cui normalmente gode. Illustriamo il concetto con degli esempi.

Nella prima o seconda elementare, bambini di 5-7 anni imparano le operazioni aritmetiche, come moltiplicazioni e divisioni. Tra le altre cose, imparano che qualsiasi numero, **n**, moltiplicato per zero, dà sempre zero. In formula:

$$n \times 0 = 0$$

Imparano anche che dividere un numero, **a**, per un numero, **b**, significa trovare un terzo numero, **c**, che moltiplicato per il secondo dia il primo numero.

$$a/b = c$$

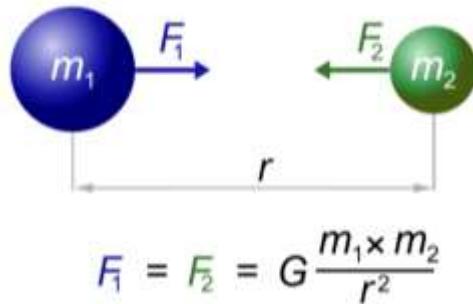
significa che, se moltiplichiamo il terzo numero, **c**, per il secondo numero, **b**, dobbiamo riottenere il primo numero, **a**:

$$c \times b = a$$

Questo, però, vale solo se il secondo numero, **b**, è diverso da zero. Infatti, nel caso avessimo **b = 0**, l'ultima moltiplicazione darebbe zero [**c × 0 = 0**], invece di **a**. Questo lo si insegna ai bambini dicendo che la

divisione **a/0** (in parole, a diviso zero) non si può fare; i Matematici preferiscono dire che la divisione **a/0 non ha senso**. Lo stesso vale per formule matematiche più complicate e anche per le funzioni.

I bambini, diventati ragazzi, vanno poi alle scuole medie, dove imparano che la teoria Tolemaica, secondo cui il Sole girava intorno alla Terra, era errata e Copernico ha dimostrato che è la Terra che gira intorno al Sole. Imparano anche che il Sole e la Terra si attraggono reciprocamente e la forza di attrazione, chiamata **forza di gravità**, è data dalla formula:



In questa formula  **$m_1$**  rappresenta la massa del Sole,  **$m_2$**  rappresenta la massa della Terra e  **$r$**  rappresenta la distanza della Terra dal Sole. Se invece di tenersi lontana dal Sole, la Terra si avvicinasse sempre più al Sole fino a toccarlo, allora la distanza  **$r$** , nella formula qui sopra, diventerebbe zero, quindi avremmo una divisione in cui il divisore è zero. In tal caso, un bambino direbbe che quella divisione **non si può fare**. Un Matematico direbbe che quella formula **non ha senso** e, perciò, siamo di fronte a una **singolarità**. Un uomo di strada con poche cognizioni scientifiche, vedendo  **$r$**  diventare zero, concluderebbe che la Terra ha toccato il Sole, perciò, siamo di fronte al **finimondo**.

La stessa cosa avviene con l'equazione di Einstein, tramite la quale abbiamo calcolato quando avvenne il Big Bang. Se in quell'equazione poniamo il tempo  **$t = 13,7$**  (miliardi di anni), il denominatore di quell'equazione diventerebbe zero e il risultato è un cataclisma universale, che i Fisici hanno chiamato **Big Bang**, mentre i Matematici lo chiamano **singolarità**.

## Nota 4: Reazioni Nucleari che Portano alla Formazione di Idrogeno, Elio, Litio

Abbiamo già spiegato che a temperature superiori a 3 miliardi di gradi °C, né gli atomi, né i nuclei dei vari elementi esistono perché, a quelle temperature, gli elementi costituenti (Elettroni, Protoni e Neutroni) si sciolgono e vagano liberi nello spazio. Quando la temperatura scende al di sotto di 3 miliardi di gradi °C, allora comincia la cosiddetta era della nucleo-sintesi, cioè, l'era quando i primi nuclei cominciarono a coagularsi. Nel XX secolo la Fisica Nucleare ha fatto passi da gigante e spiegato scientificamente le reazioni nucleari che portarono alla formazione, prima dell'Idrogeno, poi dell'Elio e quindi del Litio. Una spiegazione dettagliata di queste reazioni nucleari è al di là dello scopo di questo saggio. Noi le riportiamo nelle figure 23a e 23b, qui di seguito, per il lettore che potrebbe aver desiderio di approfondire le sue conoscenze su questo soggetto.

## Nucleosynthesis Epoch

- About 100 seconds after the Big Bang began, nuclear reactions begin to form elements.
  - Protons and neutrons can fuse to form deuterium, an isotope of hydrogen, through the reaction:
$$\begin{array}{c} \text{mass} \\ \text{charge} \end{array} \begin{array}{c} \nearrow \\ \searrow \end{array} {}_0^1n + {}_1^1p \rightarrow {}_1^2H + {}_0^0\gamma$$

Figura 23a: reazione nucleare che porta alla formazione del Deuterio (isotopo del H.)

radiazioni erano tali e tante che, insieme alle altre dell’Universo, ancora oggi, riverberano per tutto l’Universo. Come spiegheremo nella Nota 6, qui di seguito, quello che Penzias e Wilson scoprirono nel 1964 sono proprio le riverberazioni (il sottofondo) di queste radiazioni elettromagnetiche emesse quasi 14 miliardi di anni fa e che, ancora oggi, riverberano per tutto l’Universo. Tornando alla reazione nucleare riportata in figura 23a, man mano che venivano creati più atomi di Idrogeno, gli stessi atomi di Idrogeno appena creati venivano riempiti con più Protoni e/o Neutroni, creando così Tritio, Elio e Litio (vedi le formule nella Figura 23b).

Quindi potremmo dire che, 3-4 minuti dopo il Big Bang, la Tavola di Mendeleev poteva essere rappresentata come la vediamo in Figura 23c, vale a dire, gli unici elementi esistenti nell’Universo erano Idrogeno (H), Elio (He) e Litio (Li).

La reazione nucleare riportata in Figura 23a ci dice che, quando la temperatura del neonato Universo scese al di sotto di 3 miliardi di gradi °C, Neutroni e Protoni vaganti liberamente nello spazio si coagulavano, dando così origine al Deuterio (il Deuterio non è altro che un atomo di Idrogeno, arricchito con un Neutrone nel suo Nucleo). La formula in Figura 23a ci dice pure che, quando questo matrimonio tra Protone e Neutrone avveniva, radiazioni elettromagnetiche, del tipo raggi gamma, venivano emesse nello spazio. Queste radiazioni emesse nei primi 14 secondi dalla nascita

## Nucleosynthesis Epoch

- For about 3 minutes, the universe is hot enough for nuclear reactions to continue:
$$\begin{array}{l} {}_1^2H + {}_0^1n \rightarrow {}_1^3H \text{ — tritium} \\ {}_1^2H + {}_1^1p \rightarrow {}_2^3He \\ {}_1^3H + {}_1^1p \rightarrow {}_2^4He \\ {}_2^3He + {}_0^1n \rightarrow {}_2^4He \\ {}_2^4He + {}_1^3H \rightarrow {}_3^7Li \end{array}$$

Figura 23b: reazioni nucleari che portano alla formazione di Tritio, Elio e Litio durante i primi 3-4 minuti del Big Bang

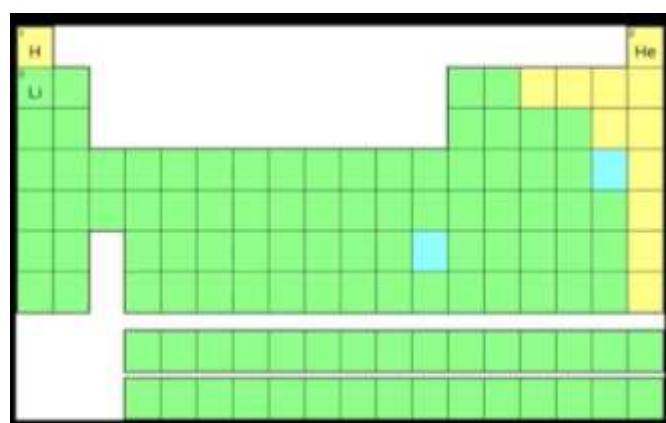


Figura 23c: gli elementi mostrati sopra si sono formati 3-4 minuti dopo il Big Bang

## Nota 5: Condizioni Esistenti al Tempo del Big Bang Ricreate in Laboratorio

Nel saggio abbiamo affermato che al tempo della conflagrazione universale, conosciuta come il Big Bang, la temperatura si era impennata fino a 10 trilioni di gradi °C, per poi scendere rapidamente a circa 1 miliardo di gradi °C nel giro di pochi minuti. Come al solito, il lettore scettico si pone la domanda:

➤ **Come facciamo a sapere cosa stava succedendo 13,7 miliardi di anni fa, dal momento che nessuno di noi era in circolazione in quel momento? E se fossimo stati in giro, a quelle temperature, saremmo stati arrostiti vivi! Quindi, come facciamo a sapere che solo quando la temperatura è scesa a circa 3 miliardi di gradi °C, Elettroni, Protoni e Neutroni si sono uniti per formare i primi tre elementi?**

La risposta a questa domanda è stata data dagli scienziati che lavorano nei laboratori del CERN (Conseil European pour la Recherche Nucleaire) in Svizzera. In questo laboratorio, gli scienziati sono riusciti a ricreare le condizioni esistenti al tempo del Big Bang. L'hanno fatto prendendo due fasci di Protoni, accelerandoli a una velocità molto vicina alla velocità della luce (quindi a venti energie paragonabili a quelle che avrebbero avuto se fossero stati riscaldati a parecchi miliardi di gradi °C) in direzione opposta e facendoli scontrare in uno scontro frontale. Quando due Protoni si scontrano, in uno scontro frontale, a quelle velocità, i gusci protettivi si rompono e le loro componenti costituenti (cioè, quark e altre particelle elementari) volano via in tutte le direzioni. La Figura 24 mostra cosa succede quando due Protoni, ciascuno accelerato alla velocità della luce, si scontrano frontalmente: i Protoni si rompono e tutte le particelle di cui è composto il Protone stesso volano via in tutte le direzioni.

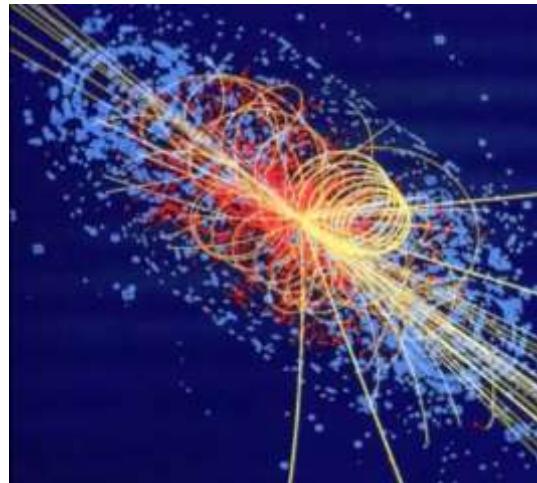


Figura 24: Risultato di Protoni che si scontrano frontalmente mentre si muovono alla velocità della luce (Fonte: CERN)

L'apparecchiatura costruita al CERN di Ginevra si chiama **Large Hadron Collider (LHC)**. Il lettore curioso, che ha voglia di sapere come funziona il Large Hadron Collider al CERN, può andare al Website del CERN oppure sul link <https://home.cern/about/accelerators>.

Facciamo pure notare che, in questo saggio, l'autore ha semplificato un po' le cose affermando che le componenti costituenti dell'atomo sono semplicemente Elettroni, Protoni e Neutroni. Non è vero, però, che queste tre componenti costituenti sono indivisibili. Infatti, due delle tre componenti costituenti dell'Atomo, Protoni e Neutroni, sono ulteriormente scomponibili in particelle più piccole. Quando Protoni, viaggiando in direzione opposta alla velocità della luce, si scontrano frontalmente, queste particelle schizzano via in tutte le direzioni. La figura 24, qui sopra, mostra le particelle che schizzano via dopo uno scontro frontale di Protoni che viaggiano alla velocità della luce. Per ulteriori dettagli su queste particelle sub-atomiche riferiamo il lettore al saggio **Fisica delle Particelle -Parte I e Parte II**.

## Nota 6: La Scoperta del CMBR

Nel saggio abbiamo detto che l'idea del Big Bang, sì, può essere stata concepita per la prima volta da un'astrazione matematica, quale potrebbe essere una singolarità dell'equazione della Teoria della Relatività Generale di Einstein, ma la prova concreta, che questa conflagrazione universale c'è stata veramente, ci viene dalla scoperta del Cosmic Microwave Background Radiation (CMBR) fatta da Arno Penzias e Robert Wilson nel 1964. Cerchiamo di capire che cosa è questo CMBR.

Quando è avvenuto il Big Bang, se fosse veramente avvenuto, ci sarebbe stato da aspettarsi che radiazioni di ogni tipo<sup>[Nota 10]</sup> siano fuoruscite da questa conflagrazione propagandosi e riverberando attraverso l'intero Universo. [Vedi Nota 10 – Radiazioni].

Pensi il lettore alle sue esperienze personali: sicuramente ognuno di noi, nella nostra vita, è stato testimone a un'intensa tempesta di pioggia, con fulmini e tuoni, a volte anche assordanti. Da dove provengono questi fulmini e tuoni? Lo scontro di nuvole, portatrici di cariche elettriche nel cielo annuvolato, è ciò che dà luogo alle scariche elettriche (**i fulmini**), che sono accompagnati da boati, a volte molto rumorosi, somiglianti allo scoppio di una bomba (**i tuoni**). A volte, alcuni secondi più tardi, un rumore meno fragoroso e molto più attutito si sente nel lontano orizzonte. Quel rumore meno rumoroso e più attutito (rumore di **sottofondo**) non è altro che la riverberazione del botto fragoroso iniziale. Ebbene, se al tempo del big Bang c'è stata questa enorme emissione di radiazioni, c'è da aspettarsi che queste radiazioni riverberino per tutto l'Universo, rimbalzino su ostacoli di varia natura e continuino a riverberare, anche se, attutiti, con minore intensità e/o diversa frequenza. Questi effetti non sono molto diversi da quelli da noi personalmente sperimentati nel caso del tuono e descritti nelle righe precedenti.

Nel 1964, due astronomi di New York, che lavoravano al Bell Laboratory nel New Jersey, stavano perfezionando un ricevitore di micro-onde per usarlo nei loro studi di radio-astronomia. Casualmente, notarono sul loro ricevitore un **sottofondo** di radio-onde che non riuscivano a spiegarsi. I due astronomi prima pensarono che fossero dovuti a emittenti terrestri nell'area di New York (per esempio, qualche stazione radio-televisiva, qualche centrale elettrica, etc.). Poi pensarono a emittenti extra-terrestri (per esempio, radio-onde provenienti da galassie o altri eventi nello spazio dell'Universo). Non sapendo più a cosa pensare, addirittura, pensarono che potrebbero essere dovute a interferenze causate dallo sterco dei colombi e pipistrelli svolazzanti nella zona e che si era depositato sulle antenne del ricevitore. Niente di tutto questo.

Il dilemma era che queste micro-onde erano presenti in qualsiasi direzione dello spazio si puntavano le antenne del ricevitore e, per di più, erano **isotropiche** (cioè, provenienti da tutte le direzioni dello spazio cosmico e aventi le stesse caratteristiche). Era come se queste micro-onde provenissero da tutte le galassie e fossero sincronizzate. A meno che uno non pensasse all'Essere Onnipotente, chi poteva essere questo essere che andava in giro per l'Universo sincronizzando miliardi di sorgenti di micro-onde? Alla fine, con l'aiuto di altri scienziati, Penzias e Wilson confermarono che queste micro-onde provenivano dal profondo dello spazio dell'Universo ed erano, nient'altro che, le riverberazioni (**sottofondo**) delle radiazioni elettromagnetiche scatenatesi al momento del Big Bang, quasi 14 miliardi di anni prima. Per questa scoperta ai due astronomi fu assegnato il Premio Nobel nel 1978.

## Nota 7: Fissioni e Fusioni Nucleari

Le **fissioni** e **fusioni** nucleari sono processi ben conosciuti, studiati fin dagli inizi del XX secolo, e che hanno portato alla scoperta della bomba atomica e bomba H.

La **fissione** è un processo nucleare in base al quale l'atomo di un elemento pesante si rompe in due o più elementi. Il lato sinistro dell'immagine in basso, Figura 25, mostra cosa succede quando un atomo di Uranio-235 viene bombardato con un Neutron libero: l'atomo di Uranio-235 si spacca in due, formando un atomo di Bario e un atomo di Krypton. Quando ciò accade, si libera anche una quantità enorme di energia insieme a 3 Neutroni liberi, che, a loro volta, causano altre 3 fissioni negli atomi circostanti di Uranio-235. Quando ciò accade, si inizia quella che i Fisici chiamano una reazione a catena. Questo è esattamente ciò che accade quando esplode una bomba atomica. Si noti che il numero atomico dell'Uranio è 92 (il che significa che ci sono 92 Protoni nell'atomo di Uranio), il numero atomico di Bario è 56 e il numero atomico di Krypton è 36 ( $92 = 56+36$ ). Abbiamo anche detto che da questa fissione si libera un ammontare enorme di energia ed è questa energia liberata da tutti gli atomi di Uranio spaccati in due che fa salire la temperatura a milioni di gradi °C, creando pure radiazioni secondarie pericolosissime e un'enorme pressione espansiva che spazza via tutto ciò che è sulla sua strada. [Il lettore, se non lo sapeva già, ora sa come funziona una bomba atomica e perché queste sono così micidiali].

La **fusione**, invece, è un processo nucleare in base al quale due o più nuclei di elementi (normalmente) leggeri si fondono per formare uno o più nuclei di elementi più pesanti, insieme a particelle subatomiche differenti (neutrini, elettroni, etc.). Facciamo notare che la fusione nucleare di due atomi leggeri non avviene in condizioni normali di temperatura e pressione. Perché due atomi leggeri (p. e., Idrogeno) si fondino bisogna: a) riscalarli a una temperatura di circa 10 milioni di gradi °C e b) comprimerli (schiacciarli) con una pressione paragonabile a quella che normalmente esiste nel nocciolo di una stella. Quando si creano queste condizioni, allora gli atomi di Idrogeno si fondono creando l'Elio e, anche qui, liberando nello spazio circostante un enorme ammontare di energia. Il lato destro della foto qui sopra, Figura 25, mostra come, nelle giuste condizioni, 2 atomi di Idrogeno possano combinarsi per formare 1 atomo di Deuterio (chiamato anche Idrogeno pesante) e successivamente Elio (questo è esattamente ciò che accade nelle bombe all'Idrogeno, chiamate anche bombe H o bombe termonucleari). Infatti, per creare le condizioni necessarie per fare esplodere una bomba all'Idrogeno (cioè, alta temperatura e alta pressione), gli scienziati fanno esplodere una piccola bomba atomica. Questa, a sua volta, **comprime e riscalda** una quantità di Idrogeno adiacente e, quando la temperatura e la pressione raggiungono il punto giusto (cioè, oltre 10 milioni di gradi °C), l'Idrogeno comincia a fondersi e così s'innesta la bomba a Idrogeno.

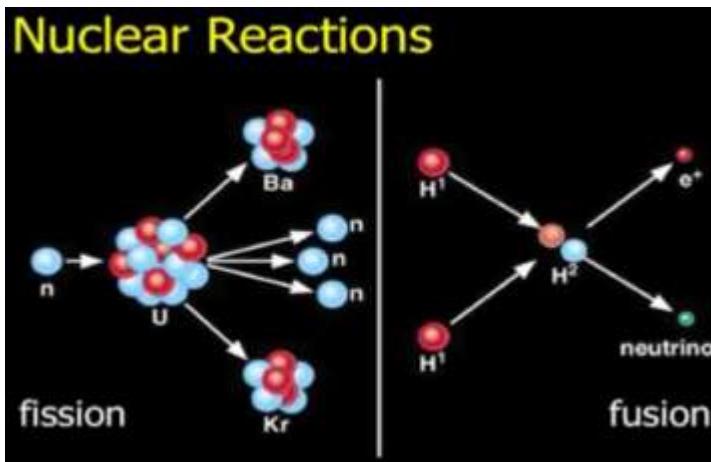


Figura 25: Fissione e Fusione Nucleare (Fonte: Wikipedia)

Il motivo per cui abbiamo illustrato questi concetti, non è perché vogliamo insegnare ai nostri lettori come costruire una bomba atomica o una bomba termonucleare. Nel costruire i vari arsenali atomici e termonucleari i fisici hanno scoperto esattamente come e quando (vale a dire a quale temperatura e a quale pressione compressiva) avviene la fusione nucleare. Ecco come hanno scoperto e imparato cosa avviene nel nocciolo del nostro Sole e nel nocciolo di qualsiasi altra stella. Ricordiamo al lettore che il nostro obiettivo è di scoprire quando, dove e come si sono creati gli elementi pesanti. Abbiamo illustrato come funziona una bomba H per il lettore scettico che potrebbe chiedere:

- **Come facciamo a sapere quello che avviene nel nocciolo di una stella, dal momento che nessuno si è mai avventurato da quelle parti (e se ci fosse andato, sarebbe stato arso vivo)?**

Il processo di fusione degli atomi di Idrogeno in Elio, che si svolge all'interno del nocciolo di una stella, è lo stesso che avviene quando esplode una bomba H ed è mostrato nella Figura 26.

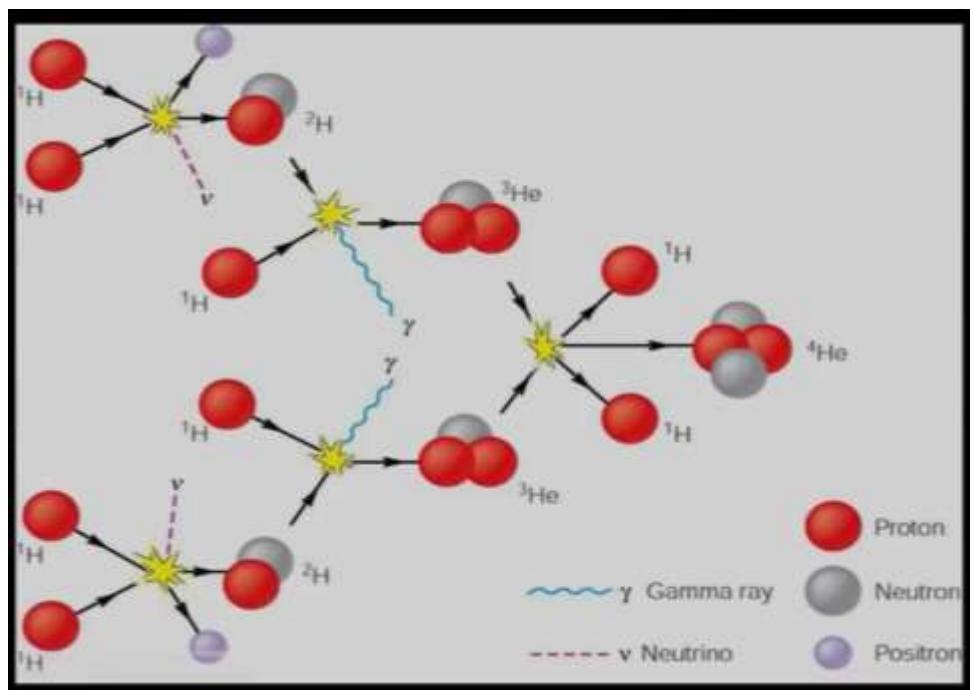


Figura 26: Come l'Idrogeno è trasformato in Elio all'interno del nocciolo di una stella (Fonte: Wikipedia?)

In sostanza la Figura 26 mostra come due atomi di H, **se sufficientemente riscaldati e compresi**, si fondono per formare il Deuterio (un isotopo dell'Idrogeno). Quindi, quando comprimiamo un altro atomo di H nel Deuterio, creiamo un isotopo dell'Elio. Infine, quando due isotopi di Elio vengono schiacciati insieme ulteriormente, ciò che ne viene fuori è l'atomo stabile di Elio. Tutte queste reazioni ( dette nucleari) avvengono all'interno del nocciolo di una stella.

## Nota 8: Reazioni Nucleari che Danno Vita ai Primi 5 Elementi Pesanti

La Figura 27, a lato, mostra come due atomi di Elio possano essere compressi insieme (sotto l'enorme pressione della gravità) per formare un atomo di Berillio. Successivamente, comprimendo un altro atomo di Elio (He) nel Berillio (Be) si forma il Carbonio (C). E, in un passaggio successivo, si forma l'Ossigeno (O).

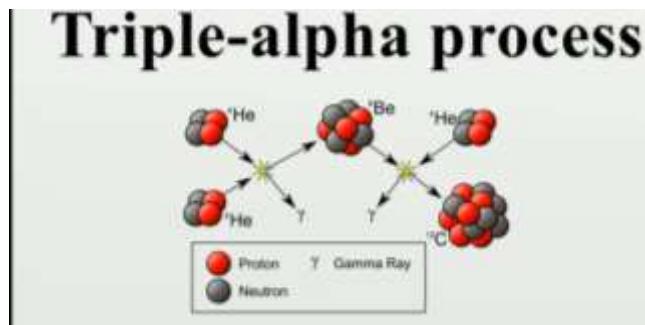


Figura 27: Reazione nucleare che porta alla creazione del Berillio (Be) e Carbonio (C) (Fonte: Wikipedia)

## Nota 9: Reazioni Nucleari che Danno Vita a Elementi più Pesanti

Nelle varie figure che seguono, illustriamo le formule delle reazioni nucleari che portano, man mano, alla creazione degli elementi più pesanti. In sostanza, l'intuizione che il fabbro del mio paese aveva avuto nel guardare la Tavola degli Elementi di Mendeleev, era corretta. E, cioè, partendo da elementi leggeri, possiamo creare tutti gli elementi pesanti semplicemente riscaldandoli e schiacciandoli fino a portarli alla fusione. Peccato che il suo fornello a carbone non era in grado di portare la temperatura a una decina di milioni di gradi °C e non aveva neppure una pressa idraulica adatta per schiacciarli sufficientemente. A titolo di cronaca riportiamo nella Nota 11 una scenetta apocrifa che illustra orgoglio, amarezza e rimpianti del fabbro.

(Nelle Figure 28a e 28b sottostanti sono riportate le reazioni nucleari che portano alla formazione di elementi pesanti).

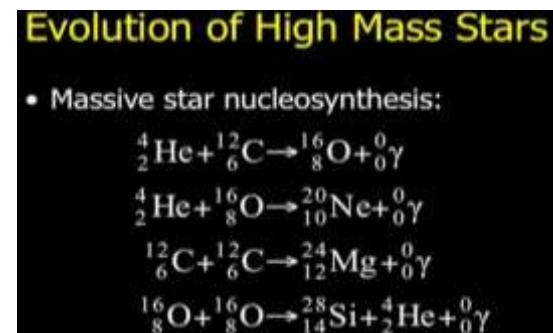


Figura 28a

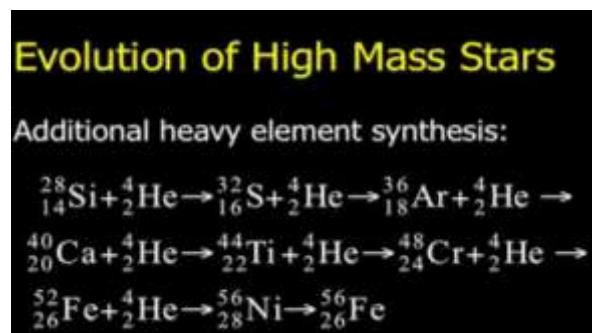


Figura 28b

Ancora una volta, a causa dell'immensa pressione gravitazionale e dell'alta temperatura, gli elementi più leggeri si fondono creando così gli elementi più pesanti dell'Ossigeno (ad es. Si, Ar, Ca, Ti, Cr, Fe, ecc.).

Si noti inoltre che, data l'abbondanza di Elio nel nocciolo della stella, la maggior parte delle reazioni nucleari aggiunge semplicemente un nucleo di He a un elemento precedentemente creato. Dato che il numero atomico dell'Elio (He) è 2, aggiungendo altri 2 Protoni a Ossigeno (O), finiamo per creare più elementi con un numero atomico pari. Questo spiega perché la quantità di materia di elementi con numeri

atomici pari che abbiamo sulla Terra è di gran lunga maggiore della quantità di materia di elementi con numeri atomici dispari.

## Nota 10: Radiazioni

Quando si parla di radiazioni, stiamo parlando di energia che, in un modo o nell'altro, si libera da una sorgente e si propaga nello spazio circostante sotto forma di onde o particelle.

Cominciamo con l'identificazione di sorgenti di radiazioni dando alcuni esempi.

1. Un pezzo di materia qualsiasi che si raffredda, perde energia che si disperde nello spazio circostante sotto forma di radiazioni.
2. Il fornello a carbone usato dal fabbro del mio paese emette energia che si propaga nello spazio circostante sotto forma di calore e luce.
3. Il Sole è una sorgente di energia (prodotta dalla fusione di atomi di Idrogeno) che si diffonde nello spazio sotto forma di calore, luce, raggi gamma (onde elettromagnetiche) e particelle di vario tipo che si propagano nello spazio.

Ci sono poi sorgenti di energia che emettono particelle di vario tipo (per esempio raggi alfa, raggi beta, raggi al neutrone, etc.) che possono essere particolarmente pericolose se colpiscono il corpo di una persona. Nel parlare comune l'energia emessa da queste sorgenti viene chiamata con nomi più specifici (per esempio: energia termica, energia luminosa, onde elettromagnetiche, etc., etc.).

L'energia liberata dalle varie sorgenti di cui abbiamo parlato che si propaga nello spazio sotto forma di onde viaggia nello spazio alla velocità della luce. Un approfondimento tecnico ci porterebbe a dire che queste onde sono campi elettrici e magnetici sincronizzati che oscillano, dando così luogo a onde che, per questo motivo, spesso vengono chiamate **onde elettromagnetiche**. In questo saggio noi non ci addentriamo nei dettagli tecnici. Ci limitiamo solo a dire che espressioni come radiazioni, radiazioni elettromagnetiche, onde, onde elettromagnetiche, onde radio (o radio-onde), micro-onde, raggi infrarossi, etc., etc., sono espressioni che spesso vengono usate anche nel parlare comune e stanno a indicare l'emissione di energia da parte di una sorgente e questa energia poi si propaga nello spazio sotto forma di onde. I Fisici, che hanno studiato questi fenomeni, hanno creato unità di misura per misurare queste onde e quantificarle. **Lunghezza d'onda** e **frequenza** sono le unità di misura normalmente usate quando si studiano fenomeni ondulatori. Siccome abbiamo detto che queste onde trasportano energia (un Fisico direbbe: trasportano 'pacchetti' di energia), a volte si specifica pure l'ammontare di energia trasportata da queste onde. Nella Tavola qui sotto (Figura 29) abbiamo elencato vari tipi di radiazioni misurando la lunghezza d'onda di ciascuna categoria e ordinandole in ordine decrescente. Come si può vedere, al primo posto troviamo le **onde radio**: queste sono onde con lunghezza d'onda che va da 100 milioni di metri a un metro (alcune tavole partono da 10mila metri, a indicare che lunghezze d'onda più grandi di 10mila metri sono molto rare). Al secondo posto troviamo le **micro-onde**: queste sono radiazioni con lunghezza d'onda che va da un metro a un millesimo di metro. Al terzo posto troviamo i **raggi infrarossi**: queste sono radiazioni la cui lunghezza d'onda va da un millesimo di metro a 750 miliardesimi di metro. Al quarto posto troviamo la **luce**: queste sono radiazioni la cui lunghezza d'onda va da 750 miliardesimi di metro a 380 miliardesimi di metro, e così via. Il lettore che inizialmente si era chiesto: ma

perché creiamo tanta confusione e, a volte questo fenomeno lo chiamiamo radiazioni, altre volte lo chiamiamo onde, altre volte ancora lo chiamiamo radio onde, altre volte ancora micro-onde, etc., etc.? In realtà, il fenomeno è uno solo e sono le onde. Il termine “radiazione” è un termine generico che si riferisce a tutti i tipi di onde e anche a energia trasportata da particelle. A seconda della loro lunghezza d’onda, poi, abbiamo le sottocategorie illustrate in Figura 29. A seconda della loro lunghezza d’onda, le onde elettromagnetiche sono chiamate con nomi diversi, perché hanno caratteristiche diverse. La tavola qui sotto (Figura 29) illustra il nome e la lunghezza d’onda di ciascuna di queste radiazioni. Facciamo pure notare che, tranne le radiazioni che hanno lunghezza d’onda tra 750 e 380 nano-metri (nm), tutte le altre radiazioni sono invisibili all’occhio umano.

RADIAZIONE	LUNGHEZZA D’ONDA	Frequenza	Energia di 1 fotone
Onde radio	Da 100 milioni di metri a un metro		
Micro-onde	Da un metro a un millesimo di metro		
Raggi infrarossi	Da un millesimo di metro a 750 nm		
Luce	Da 750 a 380 nm		
Raggi ultravioletti	Da 380 nano-metri a 100 nm		
Raggi X	Da 100 nano-metri un centesimo di nm		
Raggi gamma, cosmici	Da un centesimo di nm a un pm		

Figura 29: Spettro di radiazioni [nm = nano-metro = miliardesimo di metro; pm = pico-metro = trilionesimo di metro]

Avvertiamo pure il lettore che, per semplicità, ci siamo limitati a misurare le radiazioni usando solo la lunghezza d’onda, trascurando la frequenza e l’energia trasportata dalle onde stesse.

Analizziamo ora più da vicino la luce (l’unica radiazione visibile all’occhio umano) e, in particolare, la luce del Sole. Ai nostri occhi la luce del Sole appare incolore e per questo motivo alcuni la chiamano “luce bianca”. Se andiamo più nel dettaglio, però, scopriamo che la luce del Sole è un miscuglio di luci aventi i seguenti colori: violetto, blu, verde, giallo, arancione e rosso (i colori dell’arcobaleno). Quando, in spettroscopia, separiamo l’una dall’altra radiazioni aventi colore diverso, allora diciamo che abbiamo uno **spettro di luce monocromatica**.



Figura 30: Radiazioni visibili monocromatiche

In realtà ciascuno di questi colori è una radiazione (o onda) elettromagnetica avente la sua lunghezza d’onda che è diversa dalla lunghezza d’onda degli altri colori. La Tavola qui sotto, Figura 31, illustra la lunghezza d’onda associata a ciascuno dei colori [il simbolo “nm” sta a indicare nano-metro = un miliardesimo di metro].

COLORE	LUNGHEZZA D'ONDA	FREQUENZA	Energia di un fotone
Violetto	380-450 nm		
Blue	450-485 nm		
Verde	485-565 nm		
Giallo	565-590 nm		
Arancione	590-625 nm		
Rosso	625-740 nm		

Figura 31: Lunghezze d'onda associate a radiazioni monocromatiche.

Per ulteriori dettagli sui fenomeni ondulatori e la propagazione delle onde nello spazio riferiamo il lettore al saggio **Meccanica Quantistica – Parte I e Parte II**.

## Nota 11: Orgoglio, Amarezza e Rimpianti del Fabbro

Sebbene non siamo in grado di verificare la sua autenticità, riportiamo qui di seguito una conversazione che, secondo alcuni testimoni, avvenne nel bar del mio paese fra il fabbro e alcuni suoi amici. Abbiamo già spiegato nel saggio che il fabbro del mio paese, nel guardare il Sistema Periodico degli Elementi, aveva intuito la possibilità di creare nella sua fucina tutti gli elementi, partendo dall'Idrogeno e innestando Protoni e Neutroni nel suo Nucleo. Aveva anche intuito che per effettuare questi innesti doveva prima rammollire l'atomo di partenza riscaldandolo e poi aveva bisogno di una pressa potentissima, capace di schiacciare il Protone nel Nucleo dell'atomo. Con queste intuizioni il fabbro si proponeva di creare una società, del tipo start-up, il cui obiettivo era quello di manifatturare Oro. L'unico ostacolo era che anche gli atomi più semplici, come l'Idrogeno, cominciano a rammollirsi solo quando sono riscaldati a una temperatura di almeno 10 milioni di gradi °C. Nonostante i suoi sforzi, purtroppo, il fabbro non era riuscito a costruire un fornello capace di arrivare a quelle temperature. Il fabbro aveva anche cercato di costruire una pressa idraulica in grado di comprimere atomi di Idrogeno alla pressione richiesta (cioè, una pressione paragonabile a quella esistente nel nocciolo di una stella) per trasformarli in Elio. Ancora una volta, nonostante i suoi sforzi, anche questa seconda impresa era fallita. Seduto con i suoi amici a un tavolo del bar, il fabbro esaltava le sue intuizioni (a suo dire, "da premio Nobel") e, contemporaneamente, commiserava sé stesso per non essere riuscito a creare un fornello adatto per effettuare i suoi innesti. "Peccato" - diceva - "che non sia riuscito a potenziare sufficientemente il mio fornello!". Al che il salumiere, suo vicino di casa, rispose: "E meno male che non ci sei riuscito! A quelle temperature, oltre te stesso, avresti vaporizzato tutto il paese e, quasi sicuramente, avresti spazzato via tutta la Provincia e, forse, anche la Regione!".

## Nota 12: Glossario

### 12.1 Cellula

Cellula è la più piccola struttura vivente. Alcuni organismi, come i batteri, sono costituiti da una singola cellula; gli esseri umani, invece, sono formati da circa 100.000 miliardi (pari a 100 trilioni o  $10^{14}$ ) di cellule.

### 12.2 Isotopo

Nel saggio abbiamo detto che il Numero Atomico di un elemento è, forse, l'attributo più importante dell'elemento e sta a rappresentare il numero di Protoni presenti nel suo Nucleo. Abbiamo anche detto che nel Nucleo dell'atomo di un elemento possiamo trovare anche Neutroni, però, abbiamo sorvolato sul numero di Neutroni che risiedono nel Nucleo dell'atomo di ciascun elemento. Cerchiamo ora di sopperire a questa lacuna dicendo che, mentre spesso il numero di Neutroni nel Nucleo dell'atomo di un elemento è uguale al numero di Protoni, ci sono tuttavia moltissimi casi in cui il numero di Neutroni nel Nucleo è inferiore o superiore al numero di Protoni. In tali situazioni siamo di fronte a una variante dell'elemento stesso, nel senso che queste varianti mantengono quasi tutte le proprietà dell'elemento e occupano lo stesso posto nella Tavola di Mendeleev e, per questo, vengono chiamati **isotopi** (dal greco ἴσος = uguale e τόπος = luogo, a indicare che la variante in causa occupa lo stesso posto nella Tavola di Mendeleev). Illustriamo con alcuni esempi.

1. Nel saggio abbiamo detto che l'atomo d'Idrogeno è composto da un Protone che risiede nel Nucleo dell'atomo e un elettrone che gira intorno al Nucleo (vedi Figura 3 del saggio). Ebbene, ci sono due varianti dell'atomo di Idrogeno: la prima variante è un atomo di Idrogeno nel cui Nucleo, insieme al Protone, risiede anche un Neutrone. A questo elemento, così costituito, è stato dato il nome di Deuterio (o Idrogeno-2).
2. La seconda variante è un atomo di Idrogeno nel cui Nucleo, insieme al Protone, risiedono anche 2 Neutroni. A questo elemento, così costituito, è stato dato il nome di Tritio (o Idrogeno-3).

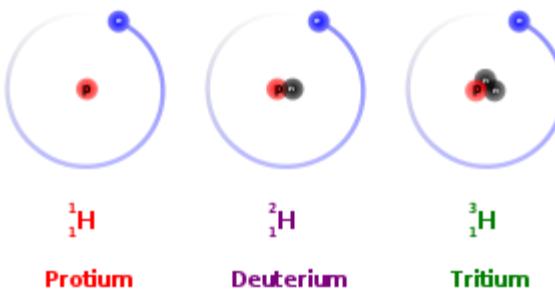


Figura 32: i 3 isotopi dell'Idrogeno

3. Un altro esempio: l'atomo di Carbonio normale ha 6 Protoni e 6 Neutroni nel suo Nucleo, oltre, naturalmente ai 6 elettroni orbitanti. Per questo, a volte, lo si indica con il simbolo  ${}^6C^6$ , dove l'indice 6 dietro la C sta a indicare il numero atomico e l'indice 6, a destra sopra la C, sta a indicare il numero di Neutroni nel Nucleo. La massa atomica di questo elemento, pertanto, è  $6+6 = 12$  e per questo, a volte, questo elemento lo chiamiamo Carbonio-12.
4. Una variante di questo elemento è un isotopo con 6 Protoni e 7 Neutroni nel suo Nucleo,  ${}^6C^7$ ; la massa di questo isotopo è  $6+7 = 13$  e, per questo, questa variante è chiamata Carbonio-13.
5. Un'altra variante di questo elemento è un altro isotopo con 6 Protoni e 8 Neutroni nel suo Nucleo,  ${}^6C^8$ ; la massa di questo isotopo è  $6+8 = 14$  e, per questo, questa variante è chiamata Carbonio-14.

Il fatto che questi 3 isotopi hanno lo stesso numero atomico (6), fa sì che tutti e tre isotopi occupino lo stesso posto nella Tavola di Mendeleev.

In generale, quando ci si riferisce a un elemento che ha uno o più isotopi, si usa la seguente notazione: il nome dell'elemento seguito da un trattino, seguito dal numero di massa. Idrogeno-3, Carbonio-14, Uranio-235 sono esempi di isotopi.

### 12.3 Molecola

In chimica la **molecola** è un'entità composta da due o più atomi dello stesso elemento o di elementi diversi. Diamo alcuni esempi per illustrare meglio il concetto.

- a. L'acqua è un composto chimico formato dall'unione di Idrogeno e Ossigeno. La più piccola particella dell'acqua è chiamata **molecola** ed è formata da due atomi di Idrogeno e uno di Ossigeno (la formula chimica dell'acqua è  $H_2O$ ).
- b. L'acido cloridrico è un composto chimico formato dall'unione di Idrogeno e Cloro. La più piccola particella di acido cloridrico è chiamata **molecola** ed è formata da un atomo di Idrogeno e uno di Cloro (la formula chimica dell'acido cloridrico è  $HCl$ ).
- c. I due esempi citati sopra (acqua e acido cloridrico) sono esempi di molecole etero-nucleari, così chiamate perché formate da atomi di elementi diversi. Una molecola, però, può anche essere formata da due o più atomi dello stesso elemento e, in tal caso, diciamo che la molecola è omo-nucleare.  $O_2$ , per esempio, è una molecola di Ossigeno formata da due atomi dello stesso elemento e, pertanto, omo-nucleare (l'Ossigeno compreso nell'atmosfera che noi respiriamo è composto per la maggior parte di  $O_2$ ).
- d. Un altro esempio è l'Ozono, una sostanza molto utile, perché ci protegge assorbendo i raggi ultravioletti del Sole, che si trova nella stratosfera della Terra, le cui molecole sono formate da 3 atomi di Ossigeno (in formula  $O_3$ ).  $O_3$  è un altro esempio di molecola omo-nucleare.

### Nota 13: Riconoscimenti e Ringraziamenti

La maggior parte delle immagini di questo saggio sono state riprese da Internet o da libri di testo o pubblicazioni ai cui autori noi esprimiamo la nostra profonda gratitudine. In alcuni casi queste immagini sono state adattate al testo dal dott. Carmine Manfredi, al quale vanno i nostri più vivi ringraziamenti. I nostri più vivi ringraziamenti anche alla dottoressa Margherita Pacia per i suoi suggerimenti e contributi alla versione in lingua italiana del saggio.

**Bibliografia:** Wikipedia; Encyclopedia Britannica; Articoli vari di Shannon Stirone, Scientific American Newsletter e altri; Google IA; ChatGPT; altre piattaforme di IA.