

abbondanza cosmica La proporzione di atomi presenti per ciascun elemento (sotto forma neutra o ionizzata, atomica o molecolare) in regioni dello spazio o in un corpo celeste. Con riferimento alla prevalenza di alcuni elementi in determinati corpi si parla di abbondanza planetaria, cosmica, meteoritica ed asteroidale.

- *Abbondanza cosmica, storia della ricerca*
- *Valori delle abbondanze*
- *Rilevanza cosmologica*
 - *Abbondanze stellari*
 - *Abbondanze nelle novae e nelle nane bianche*

■ *Abbondanza cosmica, storia della ricerca.* L'indagine sulle abbondanze cosmiche coincide con lo studio del mezzo interstellare, già oggetto di attenzione da parte di — H. W. Olbers, O. Struve e A. Secchi, ma solo all'inizio del secolo XX s'iniziò ad indagare in maniera sistematica la materia diffusa.

Nel 1907 le fotografie di E. E. Barnard della Via lattea avevano evidenziato zone oscure come la nebulosa nota come *Testa di cavallo* in Orione, rendendo attuale l'ipotesi di F. Herschel che aveva supposto l'esistenza di zone in cui, per ragione ancora allora sconosciuta, o non esistevano stelle o la luce di queste non transitava sino a noi.

J. F. Hartmann lavorando sulla variabile δ *Orionis* (1904) notò che mentre le righe spettrali indicavano periodici spostamenti dovuti all'effetto Doppler, la riga del calcio ionizzato (K) si dissociava dall'effetto stesso. Hartmann ne dedusse che tale riga non poteva appartenere alla stella, ma era probabilmente originata dal calcio ionizzato diffuso nello spazio lungo la direttrice stella-osservatore.

Da allora in poi la scoperta di nuove righe spettrali ha allargato numericamente la popolazione degli elementi rivelando la presenza del sodio, dell'idrogeno, dell'elio, dell'ossigeno, del calcio, dell'alcool metilico, dell'ammoniaca, del potassio, dell'anidride carbonica, ed altri elementi ancora.

Sul finire degli anni trenta, sempre in ottico, erano già stati individuati gli spettri dei radicali CH, CH⁺ e CN. Negli anni sessanta l'osservazione in ottico s'integrò con i risultati in radio, e altre molecole si aggiunsero all'elenco di quelle note. Le ricerche in radio condotte in principio dall'Osservatorio di Grean Bank alla lunghezza d'onda di 6,21 cm evidenziarono la presenza della formaldeide (formula bruta: CH₂O) in tutte le radiosorgenti osservate.

Negli anni ottanta e novanta la ricerca scientifica si concentrò sulle molecole *aromatiche*, le PAH (*Polycyclic Aromatic Hydrogenated*: molecole policicliche aromatiche idrogenate), così chiamate per il forte odore, caratterizzate da una struttura esagonale di carbonio. Le molecole sono presenti in nebulose e galassie, *ambienti* caratterizzati da una forte emissione di luce ultravioletta. Il radiotelescopio della Sierra Nevada evidenziò (1990) una transizione a 1,63 mm della molecola dell'acqua, consentendo di stimare l'abbondanza dell'acqua rispetto all'idrogeno nella proporzione di 20/30 molecole d'acqua per un milione di molecole d'idrogeno.

Lo studio si è accentuato con la ricerca condotta dallo spazio. Le sonde — Vega e Giotto inviate incontro alla cometa di Halley nel 1986, confermarono la presenza dell'acqua quale componente principale della chioma (circa l'80%), e rivelarono anidride carbonica, formaldeide, e molecole organiche: questo spinse ad ipotizzare la presenza di batteri disidratati a 60° Celsius; la sonda IRAS rivelò (1989) la presenza di anidride carbonica nella materia interstellare ed intense emissioni di polveri a 100 μ m, ed in varie altre lunghezze d'onda, significando così l'esistenza

di almeno due popolazioni di polvere interstellare, una a 100 μ m, l'altra a lunghezze d'onda più piccole.

■ *Valori delle abbondanze* Le proporzioni di abbondanze sono espresse confrontando l'elemento in esame con il numero di atomi di un altro elemento preso a riferimento, generalmente l'idrogeno, oppure considerando il peso di ciascun atomo, oppure ancora infine il loro volume e via dicendo.

I metodi più comuni sono comunque due: la misura in percentuale assumendo come elemento di riferimento l'idrogeno in quanto elemento più abbondante, e la misura in percentuali di milioni di atomi di silicio.

La misura dell'abbondanza per le meteoriti avviene con tecniche di laboratorio, mentre per i corpi celesti si usano naturalmente tecniche spettrali derivando l'abbondanza cosmica dei singoli elementi dalla larghezza ed intensità delle righe di ciascun elemento. Con l'analisi spettroscopica si costruiscono le tabelle dell'abbondanza (abbondanza standard); queste tabelle hanno mostrato nel tempo sempre il medesimo andamento: una forte presenza d'idrogeno ed elio (che rappresentano circa il 98% degli atomi), con una curva decrescente sino agli elementi del calcio e del titanio, che risale poi culminando con il ferro.

È stato tramite queste tabelle (*vedi* tabella in questa pagina) che si è potuto rilevare come le abbondanze cosmiche siano caratterizzate da una marcata predominanza dell'idrogeno e dell'elio che da soli costituiscono circa il 90% degli atomi.

Si è trovata una sostanziale equivalenza fra fra abbondanze standard e abbondanze osservate, con l'eccezione di stelle vecchie che, rispetto ad altre stelle come il Sole, si sono mostrate più povere di elementi pesanti.

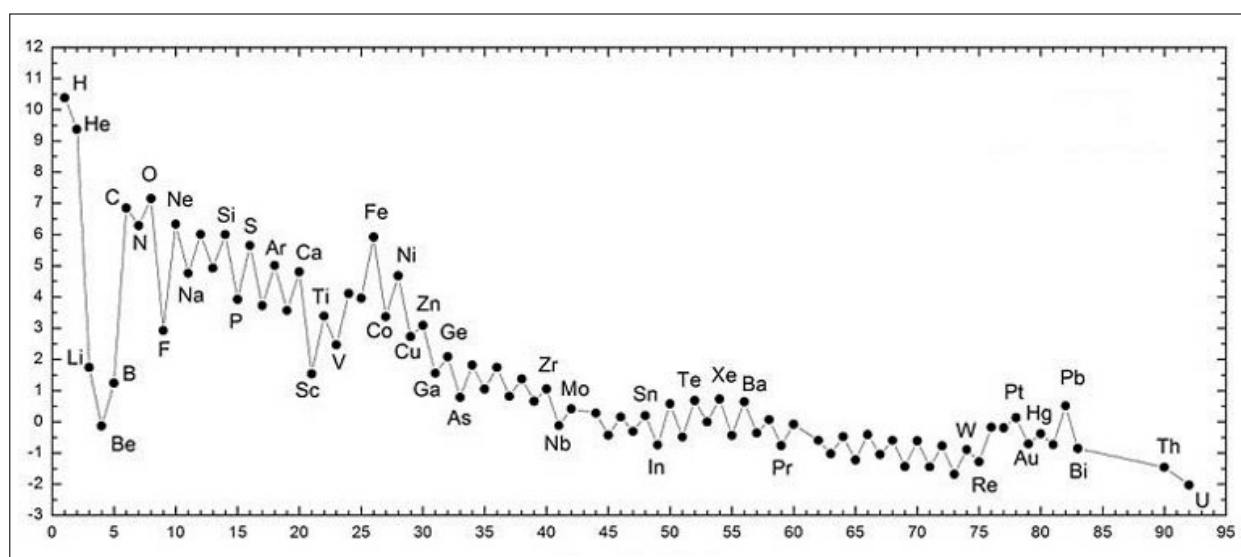
■ *Rilevanza cosmologica delle abbondanze.* Lo studio delle abbondanze è una tappa essenziale nello studio della nascita ed evoluzione nell'universo, perché l'analisi delle singole differenze fra gli elementi spiega l'evoluzione della materia per stelle e galassie.

Misurando le proporzioni in cui atomi e molecole sono presenti nell'universo, si è potuto indagare sulla struttura dell'universo, sulle modalità in cui il materiale diffuso nel mezzo interstellare si è combinato. Il prevalere di certi elementi rispetto ad altri, la successione temporale in cui si sono prodotti, ha portato un basilare contributo alla teoria della formazione stellare.

n.° atomico	elemento	abbondanza
1	H	12,00
2	He	11,20
6	N	8,51
7	N	8,38
8	O	8,83
9	F	4,80
10	Ne	7,50
11	Na	6,30
12	Mg	7,36
13	Al	6,20
14	Si	7,70
16	S	7,30
17	Cl	5,00
18	A	6,25
20	Ca	6,04
24	Cr	5,07
25	Mn	4,85
26	Fe	6,80
28	Ni	5,77

▲ Abbondanza degli elementi chimici in regioni dello spazio: i valori della terza colonna sono espressi in logaritmi

▼ Abbonanze del sistema solare normalizzate per il silicio 10^{-6} . In ascissa è riportato il numero atomico degli elementi, in ordinata l'abbondanza logaritmica in base 10 del singolo elemento.



La proporzione di elementi ha aiutato a comprendere che le stelle, utilizzando l'idrogeno quale materia prima, *fabbricano* in successione tutti gli altri elementi, aggiungendo di volta in volta protoni e neutroni. Questo significa consequenzialmente – se si accetta la teoria – che soltanto l'idrogeno è di natura primordiale, frutto cioè della primitiva radiazione, creato (creatosi) nei primi istanti seguenti il famoso (e discusso) → big bang.

Queste creazioni a catena, sulla base delle nostre attuali conoscenze, si arrestano al ferro: gli altri elementi più pesanti e più complessi sembrano originati dalla → supernovae.

► **Abbonanze stellari.** Una prova indiretta di questo modello evolutivo la si trarrebbe dalla considerazione che le stelle più antiche, quelle create ai primordi, in un ambiente giovane, sono più povere di elementi pesanti che non le stelle giovani formatesi con arricchimento del mezzo interstellare.

Questo modello standard ha mostrato tuttavia alcune differenze: le stelle più vecchie, come quelle appartenenti agli → ammassi globulari, sono meno ricche di elementi pesanti rispetto ad altre stelle (ad esempio, il Sole), sul quale sono stati ad oggi individuati ben 67 dei 92 elementi chimici esistenti (senza contare gli elementi radioattivi).

Le stelle quindi assolvono alla formazione continua di elementi, partendo da quello che i cosmologi definiscono il *mattoncino primordiale*, sino alle ultime serie; ed il processo, noto come *nucleosintesi*, può manifestarsi essenzialmente in due modi: a) in modalità *tranquilla*, attraverso il processo termonucleare, b) in modalità *violenta* attraverso l'esplosione di una nova o supernova. Si forma così una catena continua di cui possiamo ad oggi con sicurezza individuare soltanto alcuni passaggi, una catena che dal macrocosmo si spinge sino al microcosmo considerando che nell'essere umano si ritrova la stessa serie di elementi già individuati nel mezzo interstellare: carbonio, ossigeno, azoto.

Corpo	H	He	C	N	O	Ne	Z
Sole	0,74	0,24	0,0039	0,0094	0,0088	0,0021	0,019
Cyg 75	0,49	0,21	0,070	0,075	0,013	0,17	0,030
CrA 81	0,031	0,31	0,0046	0,80	0,12	0,23	0,030
Aql 82	0,01	0,02	0,18	0,03	0,40	0,15	0,97
Dq Her	0,34	0,095	0,45	0,23	0,29	–	0,565

▲ Z = frequenza totale degli elementi pesanti

► **Abbonanze nelle novae e nelle nane bianche.** Con rivelatori sempre più efficienti e grazie soprattutto al lavoro condotto con lo IUE, è stata resa possibile la spettrometria nell'ultravioletto fra 1200 e i 3200 Å, riscontrando negli involucri di novae linee di elementi sfuggite all'osservazione condotte da terra.

Dall'esame della proporzione degli elementi presenti in una nova si è giunti alla formulazione di nuove teorie sulla struttura delle nane bianche.

Secondo queste teorie la concentrazione di elementi non può originare da una reazione nucleare, perché il numero complessivo di atomi del carbonio, dell'azoto e del calcio resta costante, e pertanto essi devono essere già presenti sulla superficie della nana.

Secondo questi modelli il 3% delle nane bianche dovrebbe possedere un nucleo composto di elementi pesanti come neon, magnesio e ossigeno.

Le novae Cyg 1975, Cr 1981, Aql 1982 mostrarono un'abbondanza eccessiva di questi elementi, ed addirittura fortissima la mostrava la nova Aql 1982. Nella tabella 2 la proporzione di questi elementi in confronto al Sole.