

nebulose diffuse della nostra galassia, presentano, oltre alle normali righe scure di assorbimento, righe luminose di emissione da parte dell'esteso involucro di gas forse eccitato da luce ultravioletta o da onde d'urto meccaniche. Loro caratteristica rilevante è la particolare abbondanza di litio, di regola precocemente "bruciato" in elio. La variabilità può essere associata alla loro instabilità funzionale e la composizione chimica è simile a quella della materia diffusa da cui presero origine, come le meteoriti petrose (condriti carboniose). Non è da escludere così l'ipotesi che tali variabili nebulari siano *stelle neonate* (P. Tempesti, 1980).

La stella, raggiunta la seq. principale, si trova in uno stato di equilibrio a lungo termine (fase stabile), e vi permarrà fino all'esaurimento del combustibile idrogeno, mentre il tempo di permanenza dipenderà dalla massa:  $\tau = 10^{10} (M/M_{\odot})^{-2.5}$  anni (M. Hack, 1981; P. Maltese, 1995); per stelle massive (es.,  $M/M_{\odot} = 20$ ) si calcola in milioni di anni <sup>(5)</sup>; per il sole,  $M/M_{\odot} = 1$ , in miliardi di anni. Mentre l'intero percorso di una stella giovane, ben definito e uguale per tutte le stelle di una certa massa (tracce di Hayashi), dura un tempo dell'ordine di qualche decina di milioni di anni per una stella di massa solare e molto meno per masse maggiori. Il nostro sole starà sulla sequenza complessivamente circa 10 miliardi di anni dei quali 5 già trascorsi e alla fine di questo periodo si trasformerà in una gigante rossa che inghiottirà i pianeti interni, compresa la terra e infine in una *nana bianca* <sup>(6)</sup>, stella ad altissima densità, un "diamante stellare" per la cristallizzazione del suo nucleo di carbonio-ossigeno (I. Mazzitelli, 1997). Comunque sia, è durante questo percorso pre-sequenza principale (fase di protostella o fase iniziale di stella) che probabilmente si creano le condizioni per la formazione dei sistemi planetari.

Altra caratteristica essenziale delle stelle di classe T-Tauri, che, come già accennato, ci offrono un'idea del sole durante le prime fasi della sua evoluzione, è che più del 50% di esse (A. P. Boss, 1995) sembrano possedere una compagna (stelle binarie). Ciò ha portato a presumere da ben cinque autori (*Nature*, 308, 1984), anche per il sole, una compagna invisibile in orbita con periodo di circa 30 milioni di anni. Tale stella potrebbe perturbare gravitazionalmente la materia che orbita oltre il nostro sistema solare (nebulosa di Oort), provocando sciame di comete verso i pianeti interni ogni volta che si avvicina al sole. Fu considerata così la responsabile delle estinzioni di massa che sembrano avvenire con lo stesso periodo (per questo fu detta Nemesi, la personificazione greca della giusta collera). Ma se le estinzioni colpiscono secondo regole che trascendono piani e finalità di qualunque vittima, il nome più appropriato sarebbe Shiva, il neutrale, il dio della distruzione, ma anche della creazione (G. J. Gould, 1985). Oggi siamo alla ricerca anche di un'altra compagna ancora più difficile da individuare, la *nana bruna*. Si tratta di una stella per cui  $M/M_{\odot} =$  da 0.01 a 0.05; all'inizio brucia solo deuterio e finisce fredda.

Le stelle della zona convettiva e in generale le stelle giovani, mostrano una rotazione equatoriale rapida (da 50 a 500 Km/s); in particolare al loro interno è stata individuata una correlazione significativa fra rotazione ed età (A. Unsöld, 1969): sembrano avere la caratteristica di perdere momento angolare col tempo. Le stelle vecchie ruotano molto più lentamente con velocità equatoriali non superio-

ri a 5 Km/s (per il nostro sole:  $v_{\text{eq}} = 2$  Km/s). Questo significa che la protostella o la stella giovane ad un certo punto del loro processo di contrazione dalla nebulosa planetaria non rispettano più la conservazione del momento angolare in un sistema isolato, che prevede un continuo aumento di velocità di rotazione con la contrazione: <sup>(6)</sup> Ma forse quando il valore della velocità di rotazione del protosole fu del tipo caratteristico di una stella giovane e sviluppò forze di rotazione tali da prevalere sull'attrazione gravitazionale, deve essere sopravvenuto un fenomeno di trasferimento del momento angolare, come già accennato, dall'interno verso l'esterno fin dove oggi si trovano i maggiori pianeti (Giove e Saturno), tanto da spiegare una rotazione attuale del sole di soli 2 Km/s, creando i presupposti per la formazione del sistema solare all'interno della interazione dei due dischi di gas e polvere in entrata ed in uscita. "L'associazione tra vento stellare e campo magnetico produce, come già accennato, perdita di momento angolare specifico con notevole rendimento" (A. Coradini et al., 1981). La bibliografia di massima verrà riportata alla fine del prossimo articolo "LA NEBULOSA SOLARE - caratteristiche e tendenze evolutive".

<sup>(1)</sup>  $\Sigma m v_{\text{rot}} = 1.7 \cdot 10^{18} \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ , o  $1.7 \cdot 10^{11} \text{ u}$ , nel sistema MKS;  $\Sigma m v_{\text{rot}} = 3.167 \cdot 10^{50} \text{ u}$ , o, nel sistema MKS,  $3.167 \cdot 10^{11} \text{ u}$ .

<sup>(2)</sup> I semiassi maggiori dei pianeti, *a*, compresi i Pianetini ed escluso Plutone, formano quasi una serie geometrica del tipo:  $\Delta a/a$  circa = 1, cioè la differenza fra i semiassi maggiori di pianeti contigui, misurata in unità dei medesimi, è costante e circa uguale a uno.

<sup>(3)</sup>  $^1\text{H}^2$ , isotopo dell'idrogeno con un protone ed un neutrone nel nucleo; nel cosmo, due nuclei di idrogeno su centomila sono di deuterio.

<sup>(4)</sup> Il deuterio ( $^1\text{H}^2$ ;  $E_{\text{legame}} = 2.22$  Mev; per nucleone 1.11 Mev), come si vede dalla Tabella e dalla Fig. 3, è meno stabile dell'elio (particella alfa,  $^4\text{He}^4$ ;  $E_{\text{legame}} = 28.3$ ; per nucleone, 7.07). L'energia di legame è l'energia che si libera durante la formazione del nucleo dal sistema disperso dei suoi componenti; ovvero è l'energia che ci vuole per disperdere i componenti di un dato nucleo (lavoro per allontanarli all'infinito). Così i nucleoni legati sono in uno stato di energia potenziale attrattiva, di tipo negativo, di valore pari all'energia di legame cambiata di segno. Così i nuclei a bassa energia di legame (alta energia potenziale), se ci sono le possibilità, potrebbero trasformarsi per fusione nucleare in nuclei a più alta energia di legame, nel verso della diminuzione dell'energia potenziale. L'energia liberata nella trasformazione, differenza fra le energie potenziali, è calcolabile anche tramite la misura del difetto di massa  $\Delta M$  nel processo, usando la relazione  $\Delta M \cdot c^2 = \Delta E$  (Il Silabario N. 4-1995). Per i calcoli (da utilizzare la Tabella N.1) si deve tener conto che 1 Mev =  $1.6 \cdot 10^{-13}$  Joule; che le masse atomiche si misurano in u.m.a. (unità di massa atomica), ricavate definendo la unità di massa atomica del  $^{12}\text{C}^{12}$  pari a 12.0000000 u.m.a. e che 1 u.m.a.  $\cdot c^2 = 931.5$  Mev e 1 u.m.a. =  $1.6605 \cdot 10^{-27}$  Kg. Così se conosco le masse dei 4 nucleoni del nucleo dell'elio (due protoni,  $2 \cdot 1.0078252$ , e due neutroni,  $2 \cdot 1.0086654$ ) e la massa del nucleo di elio, 4.0026033,  $\Delta M = 0.0303779$  u.m.a., che moltiplicato per 931.5 Mev si ottiene 28.3 Mev, l'energia di legame della particella alfa. Allo stesso risultato si perviene facendo la differenza delle due energie potenziali, quella di partenza - quella di arrivo: 0 - (-28.3). In generale, nel primo tratto della Fig. 3, gli elementi fondono in un ventaglio di reazioni nucleari per raggiungere i primi tre picchi della curva, He, C, O, ad alta energia di legame.

<sup>(5)</sup> In generale, senza entrare nel merito, per stelle massive (per es.,  $M/M_{\odot} = 20$ ), finito di bruciare, sulla sequenza principale, l'idrogeno con formazione di elio, il nucleo della stella si contrae e si scaldava fino a bruciare l'elio in  $\text{C}^{12}$  (*supergiganti rosse*, Fig. 1). Esaurito l'elio, il nucleo della stella si contrae di nuovo bruciando elementi sempre più pesanti (*supergiganti blu*,  $\text{C}^{12}$  in  $\text{O}^{16}$  ecc., fino a formare il ferro, il cui nucleo atomico ( $\text{Fe}^{56}$ ) ha legami molto forti (vicino al massimo della curva di Fig. 3) e quindi una ulteriore fusione assorbirebbe energia, invece di liberarla. Quest'ultimo collasso sbilanciato scatena un'esplosione per "rimbalzo" (*supernova*) producendo un'onda d'urto che scaglia nello spazio la maggior parte della materia della stella (H. Bethe et al., 1985; S. Woosley et al., 1989). In stelle come il sole il collasso è bloccato dalla pressione di elettroni degeneri, quando il nucleo contiene C e O (*Nana bianca*). Se  $M/M_{\odot}$  da 1.4 (limite di Chandrasekhar) a 8 esplodono, una ogni 450 anni (P. Maffei, 1973), strane supernovae di Tipo I (esplosione e distruzione di nane bianche che in qualche modo hanno accumulato più massa o giovani stelle di grande massa o altro?), altrimenti di Tipo II, già descritto, ogni 50 anni (I. Shklovsky). In quest'ultimo caso, rimarrebbe come residuo una stella di neutroni o un buco nero (F. D. Seward et al., 1985).

<sup>(6)</sup> Si pensi alla ballerina che ruota più velocemente abbassando le braccia ( $\Sigma m v = \text{cost}$ ;  $\Sigma r^2 \omega = \text{cost}$ ;  $\omega = \text{cost}$ , dove  $\omega$  è il momento inerzia).

Tabella N.1

	Z	A	Mass in u	Binding energy in Mev	
				Total ( $\Delta E$ )	Per nucleone ( $\Delta E/A$ )
$^1\text{H}^1$	1	1	1.0078252 ( $\pm 1$ )	---	---
$^2\text{H}^2$	1	2	2.0141022 ( $\pm 1$ )	2.22	1.11
$^3\text{H}^3$	1	3	3.0160500 ( $\pm 10$ )	8.47	2.83
$^4\text{He}^4$	2	4	3.0160299 ( $\pm 2$ )	7.72	2.57
$^6\text{Li}^6$	3	6	6.0151223 ( $\pm 4$ )	28.3	7.07
$^7\text{Li}^7$	3	7	7.0160034 ( $\pm 9$ )	58.0	6.45
$^9\text{Be}^9$	4	9	9.0121858 ( $\pm 9$ )	92.2	6.8
$^{12}\text{C}^{12}$	6	12	12.0000000 ( $\pm 0$ )	127.5	7.97
$^{16}\text{O}^{16}$	8	16	15.994915 ( $\pm 1$ )	552	8.75
$^{20}\text{Ne}^{20}$	10	20	19.991264 ( $\pm 6$ )	1020	8.50
$^{24}\text{Mg}^{24}$	12	24	23.985042 ( $\pm 1$ )	1476	8.07
$^{28}\text{Si}^{28}$	14	28	27.976927 ( $\pm 4$ )	1803	7.88

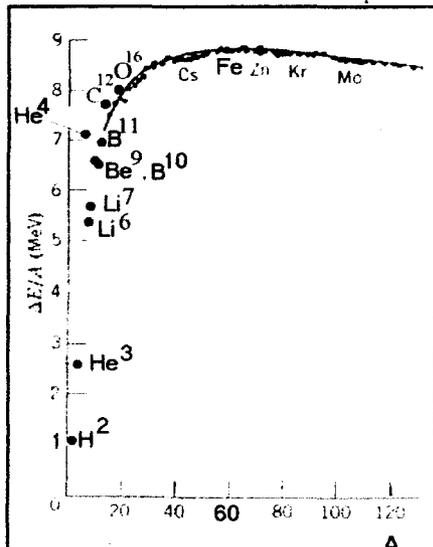


Fig. 3

Dott. Piero Pistoia