

## **Il mezzo interstellare (ISM, InterStellar Medium)**

Un tempo si riteneva che lo spazio galattico interstellare fosse praticamente vuoto. Oggi l'esistenza di materiale diffuso tra gli oggetti condensati (stelle, pianeti etc) è stata definitivamente accertata sulla base di innumerevoli evidenze osservative. Il mezzo interstellare costituisce circa il 10-15 % della massa galattica ed è composto per il 99% circa (in massa) di gas e per il rimanente 1% di polvere.

La polvere è formata da particelle solide di minuscole dimensioni (0,1 - 1 micron), costituite prevalentemente di carbonio (spesso sotto forma di grafite), solfuro di carbonio (CS), silicati e ghiacci. Ciascuna particella è mediamente formata da  $10^8$  atomi. La densità media è di 100 particelle di polvere per  $\text{km}^3$  ( $10^{-13}$  particelle per  $\text{cm}^3$ ). L'effetto principale della polvere è quello di assorbire e, soprattutto, di diffondere (scattering) la luce. Ciò provoca una diminuzione della luminosità delle stelle che prende il nome di estinzione interstellare. L'estinzione dipende naturalmente dalla quantità di polvere interposta e di conseguenza anche dalla distanza della stella.

Si calcola che mediamente vi sia una diminuzione di magnitudine apparente pari a 1-2 gradi per kpc (kiloparsec, 3260 A.L.).

La luce che proviene dal centro della galassia, posto a circa 10 kpc, subisce una diminuzione molto più elevata di circa 27/28 gradi di magnitudine. In altre parole dal centro della galassia ci arriva solo 1 fotone ogni 100 miliardi.

Inoltre per le loro dimensioni i granuli diffondono prevalentemente la luce a minor lunghezza d'onda (luce blu) e per questo motivo le stelle appaiono sistematicamente più rosse (più corretto sarebbe dire "meno blu") di quanto ci si potrebbe aspettare sulla base del loro tipo spettrale (arrossamento interstellare o *reddening*). Si tratta dello stesso fenomeno che arrossa il sole all'alba e al tramonto, quando la sua radiazione deve attraversare uno strato più spesso di atmosfera

Essendo l'entità dell'arrossamento proporzionale alla quantità di polvere interposta, esso è di conseguenza correlabile al grado di estinzione. Ciò permette agli astronomi di apportare le opportune correzioni alla luminosità, sulla base del livello di arrossamento.

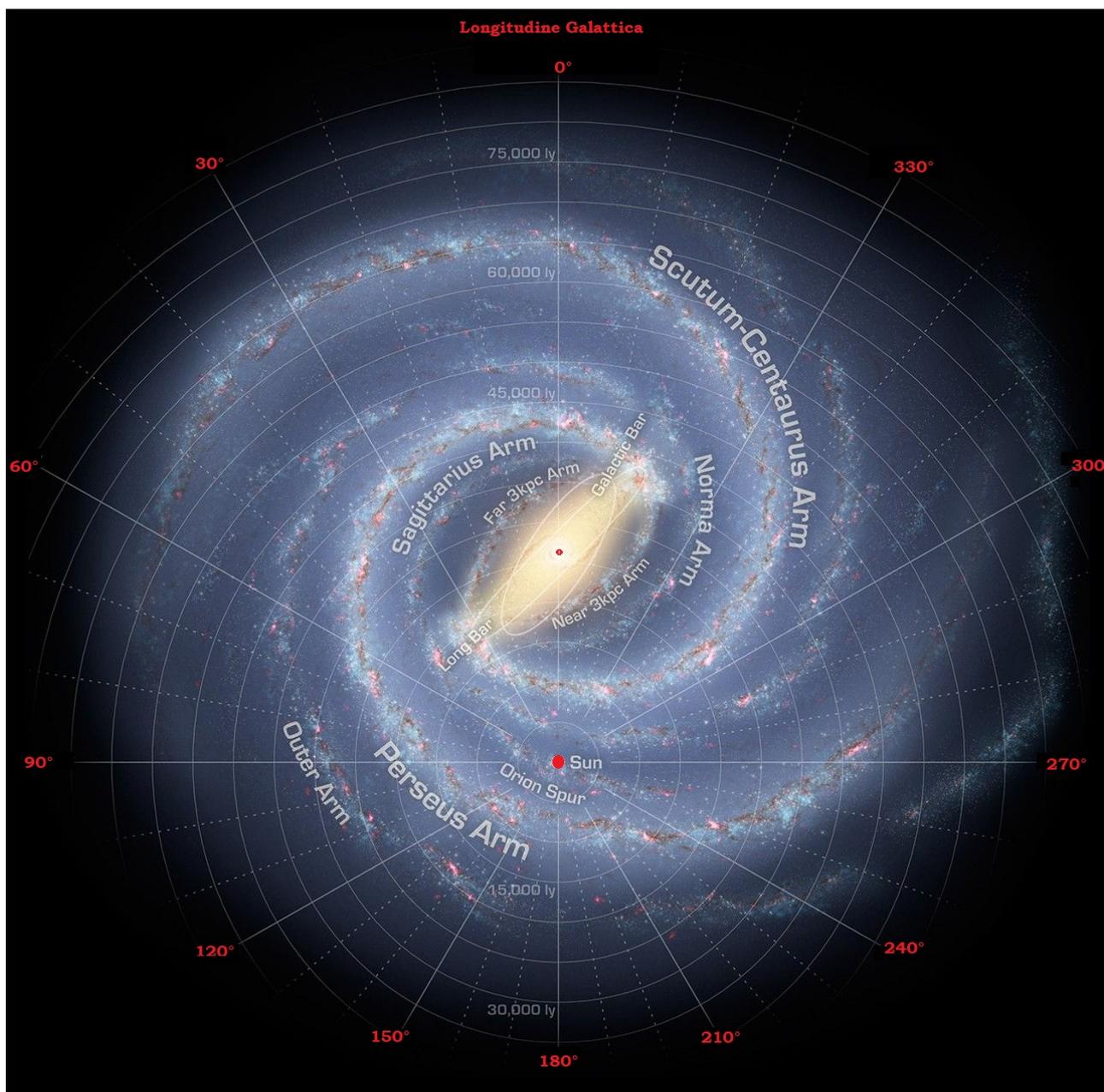
Oltre alle polveri, nel mezzo interstellare il gas è costituito essenzialmente da idrogeno (73% in massa), elio (25% in massa) e da minime percentuali di altri elementi (2% - in prevalenza O, C, N, Ne, S, Si, Fe).

Presenta una densità media di 1 particella per centimetro cubo La pressione è circa  $10^{25}$  volte inferiore a quella atmosferica.

I diversi elementi possono presentarsi, a seconda delle condizioni termodinamiche del gas sia in forma atomica (neutra o ionizzata) che in forma molecolare.

In particolare l'idrogeno si presenta in forma ionizzata (Regioni H II), atomica (idrogeno neutro o Regioni H I) o molecolare (H<sub>2</sub>)

L'idrogeno neutro (atomico) e quello ionizzato si osservano facilmente.



*Fig. Densità di materia interstellare (ISM) sul piano Galattico*

Crediti NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech) 8-11-2017 – con modifiche

L'idrogeno neutro (HI) emette una riga di 21 cm, il secondo emette nel visibile la tipica radiazione rossa della serie di Balmer (riga H $\alpha$ ) dell'idrogeno eccitato. L'idrogeno molecolare è invece difficile da osservare direttamente e per rilevarlo si utilizza come sonda la molecola di CO (la seconda molecola per abbondanza dopo l'idrogeno molecolare - CO/H $_2$  = 1/10000), la quale viene eccitata ed emette proprio grazie agli urti con l'H $_2$  un'intensa riga di 2,6 mm (ed a 1,3 mm).

Utilizzando immagini a infrarossi del telescopio spaziale Spitzer della NASA, gli scienziati hanno scoperto che l'elegante struttura a spirale della Via Lattea è dominata da soli due bracci che avvolgono le estremità di una barra centrale di stelle. In precedenza, si pensava che la nostra galassia possedesse quattro bracci principali. L'immagine artistica illustra la nuova vista della Via Lattea. I due bracci principali della galassia (Scutum-Centaurus e Perseus) possono essere visti attaccati alle estremità di una spessa barra centrale, mentre i due bracci minori ora declassati (Norma e Sagittario) sono meno distinti e situati tra i bracci principali.

I bracci principali sono costituiti dalle più alte densità di stelle sia giovani che vecchie; i bracci minori sono principalmente pieni di gas e sacche di attività di formazione stellare. Il nostro Sole si trova vicino a un piccolo braccio parziale chiamato Braccio di Orione, o Sperone di Orione, situato tra i bracci del Sagittario e di Perseo.

Gas e polveri si concentrano prevalentemente sul piano galattico ed in particolare sulle braccia della spirale, dove presentano una concentrazione dieci volte maggiore rispetto allo spazio interbraccia. Le braccia sono disegnate da nubi di idrogeno atomico diffuso (regioni HI) punteggiate da densi agglomerati di idrogeno molecolare (nubi molecolari giganti).

Il 50% circa del mezzo interstellare si trova diffuso nelle spire a formare le cosiddette regioni HI dell'idrogeno neutro (atomico), con una densità particellare intorno a 10 particelle/cm $^3$  ed una temperatura dell'ordine di 100 °K. Come si ricorderà fu proprio la mappatura di tale gas (Edward Purcell e Harold Ewen - 1951) a permettere di disegnare la forma a spirale della nostra galassia.

Il rimanente 50% va a costituire le cosiddette nubi molecolari giganti (o complessi molecolari giganti GMC), enormi strutture gravitazionalmente legate, immerse nelle vaste regioni HI.

Manifestano un'elevata estinzione per la presenza di elevate quantità di polveri, che proteggono le sostanze allo stato molecolare dagli effetti distruttivi della radiazione ad alta frequenza (UV, X, gamma etc). Sono costituite in primo luogo da idrogeno molecolare, ma in esse si trova una grande varietà di altre specie chimiche molecolari. La temperatura relativamente bassa (10 K) e la elevata densità (tra 1000 e 10000 particelle/cm<sup>3</sup>) ne fanno i luoghi ideali per la formazione stellare.

Nonostante presentino una maggior pressione rispetto al gas che le circonda, sono sostanzialmente stabili e non si espandono essendo probabilmente corpi autogravitanti. Dopo gli ammassi globulari, sono gli oggetti più massicci esistenti nella nostra galassia, con masse dell'ordine di 10<sup>5</sup>/10<sup>6</sup> Masse Solari . Finora ne sono state contate circa 6.000. Al loro interno la materia nebulare può interagire in modo diverso con la radiazione proveniente dalle stelle, diventando osservabile nel visibile e formando in tal modo tre tipi fondamentali di nebulose: oscure, in emissione, in riflessione. Alcune nebulose sono note fin dall'antichità. Quella di Orione è ad esempio visibile ad occhio nudo quando il cielo è particolarmente terso. A differenza delle stelle che presentano sempre un aspetto puntiforme, a qualsiasi ingrandimento, le nebulose ci appaiono come macchie di luce diffusa (altre come macchie scure sul cielo stellato). In passato il basso potere di risoluzione dei telescopi non permetteva di distinguere una nebulosa da una galassia ed il termine "nebulosa" veniva utilizzato per indicare indifferentemente qualsiasi oggetto dall'aspetto diffuso, non puntiforme.

Le nubi oscure sono caratterizzate da una densità che decresce radialmente in modo omogeneo dall'interno verso l'esterno. Sono individuabili per l'elevata estinzione che producono sulle stelle retrostanti e si manifestano pertanto come macchie scure sul fondo stellato. Presentano dimensioni di pochi parsec (5-10 pc) e masse pari a 100-1000 Masse solari .

Le nebulose in emissione sono regioni di idrogeno ionizzato (regioni H II) da stelle giovani e massicce (ammassi aperti giovani, associazioni O-B), che presentano la tipica colorazione rossastra dell'idrogeno in emissione. La dimensione di una regione H II (Raggio di Strömngren) e la sua luminosità dipendono dal tipo spettrale (e quindi dalla temperatura) della stella eccitante. Le regioni H II possono essere per questo motivo utilizzate come indicatori di distanza. La pressione relativamente elevata che caratterizza le regioni H II (T ~ 10<sup>4</sup> K ; dens. Tra 100 e 1000 particelle/cm<sup>3</sup>) ne fa

delle strutture non in equilibrio e dunque in espansione, destinate a dissolversi nel giro di qualche milione di anni. La bassa densità particellare è responsabile (come avviene anche nelle nebulose planetarie) della formazione di righe proibite.

Se le stelle che si formano sono più fredde, il gas e le polveri circostanti diffondono e riflettono la radiazione emessa, producendo nebulose in riflessione. Poiché le radiazioni diffuse con maggior efficienza sono quelle a minor lunghezza d'onda, le nebulose a riflessione presentano caratteristici colori bluastrici (il cielo diurno è azzurro per la stessa ragione).

Recentemente si è scoperto che l'idrogeno atomico che forma le spire (Regioni HI) è in equilibrio di pressione con altre due fasi gassose:

1) un mezzo internebulare caldo, che separa le regioni HI, con una densità particellare intorno a  $0,1$  particelle/cm<sup>3</sup> ed una temperatura dell'ordine di  $10^4$  K, e costituisce circa il 50% del volume del mezzo interstellare;

2) un gas coronale caldissimo, che si estende fuori dal disco galattico fino all'alone, con una densità particellare intorno a  $10^{-3}$  particelle/cm<sup>3</sup> ed una temperatura dell'ordine di  $10^6$  K. Pur contenendo una minima frazione della massa, costituisce circa il rimanente 50% del volume del mezzo interstellare. È stato scoperto nel 1976 da E.B.Jenkins e D.M. Elmegreen e si ritiene possa essersi formato al passaggio delle onde d'urto delle esplosioni di supernova.

Come si diceva, le tre fasi sono in reciproco in equilibrio, non evidenziando alcuna tendenza ad espandersi l'una a spese dell'altra. Ciò dipende dal fatto che esse presentano sostanzialmente i medesimi valori di pressione, come si può dedurre dal fatto che il prodotto della densità particellare per la temperatura risulta sempre costante.

Fase	Densità (particelle cm <sup>-3</sup> )	Temperatura (°K)	$\rho T$	Pressione (pascal)
Gas atomico freddo	10	$10^2$	$10^3$	$10^{-20}$
Gas atomico caldo e diffuso	$10^{-1}$	$10^4$	$10^3$	$10^{-20}$
Gas coronale	$10^{-3}$	$10^6$	$10^3$	$10^{-20}$

La pressione del mezzo interstellare risulta quindi  $10^{25}$  volte inferiore alla pressione atmosferica (1 atm = 101325 pascal).