

INDICE

NR.	VOCE	CAPITOLO
1	Ammasso aperto o galattico	1 nascita
2	Angstrom [Å]	0 Introduzione
3	Anno luce	0 Introduzione
4	Associazioni stellari [OB – T – R]	1 nascita
5	AXP [Anomalous X-ray Pulsar] (Pulsar a raggi-X anomale)	7 altre stelle
6	Born-again star o Oggetto VLTP (Very late termal pulse)	7 altre stelle
7	Buco nero binario - Binary black hole (BBH)	7 altre stelle
8	Buco nero stellare - Black-hole	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
9	CBSS (Compact (o closed) binary super-soft X-ray source)	6 stelle doppie evolute
10	CCO – compact central object (oggetto centrale compatto)	7 altre stelle
11	Diametro del Sole	0 Introduzione
12	Diametro della Terra	0 Introduzione
13	Dischi protoplanetari (PROPLYD)	1 nascita
14	Effetto Doppler	0 Introduzione
15	FHC (First hydrostatic core)	1 nascita
16	Gamma Ray burst GRB [lampo gamma]	7 altre stelle
17	Globulo cometario	1 nascita
18	Globulo di Bok	1 nascita
19	Gradi Kelvin (K)	0 Introduzione
20	Gravastar (Stella di energia oscura)	8 stelle esotiche e speculazioni
21	HBP [Hight-magnetic field Pulsar o High-B Rotation-Powered Pulsar]	7 altre stelle
22	HMXB (High mass X-ray binary)	6 stelle doppie evolute
23	IMXB (Intermediate mass X-ray binary)	6 stelle doppie evolute
24	Indice di colore	0 Introduzione
25	Ipernova (esplosione di ipernova)	7 altre stelle
26	Kilonova (esplosione di kilonova)	7 altre stelle
27	Lampo gamma - Gamma Ray Burst (GRB)	7 altre stelle
28	LBV (luminous blue var.) - Stella variabile gigante di Hubble-Sandage	7 altre stelle
29	LMXB (Low mass X-ray binary)	6 stelle doppie evolute
30	Magnetar	7 altre stelle
31	Massa del Sole	0 Introduzione
32	Massa della Terra	0 Introduzione
33	Massa di Giove	0 Introduzione
34	Metalli o elementi pesanti	0 Introduzione
35	Materia interstellare (ISM – Inter-stellar matter)	1 nascita
36	Microquasar	6 stelle doppie evolute
37	Moti stellari	0 Introduzione
38	Nebulosa a riflessione	1 nascita
39	Nebulosa ad emissione per ricombinazione (regioni HII)	1 nascita
40	Nebulosa bipolare	1 nascita
41	Nebulosa oscura	1 nascita
42	Nebulosa planetaria	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
43	Nero	0 Introduzione

44	Nova nana	6 stelle doppie evolute
45	Nube molecolare gigante (G.M.C. - giant molecular cloud)	1 nascita
46	Oggetto Herbig-Haro (HH)	1 nascita
47	Oggetto O VI (Ossigeno sesto)	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
48	Oggetto di Thorne-Żytkow (TŻO o TZO)	8 stelle esotiche e speculazioni
49	Oggetto VLTP (Very late thermal pulse) o Born-again star	7 altre stelle
50	Parsec [pc]	0 Introduzione
51	Planemo (Planetary mass object)	2 stelle di sequenza principale
52	Plerione (PWN pulsar wind nebula)	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
53	Polveri	1 nascita
54	Popolazioni stellari (I, II e III)	0 Introduzione
55	PROPLYD (Dischi protoplanetari)	1 nascita
56	Protostella	1 nascita
57	Pulsar	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
58	PWN pulsar wind nebula (Plerione)	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
59	Quark-nova	8 stelle esotiche e speculazioni
60	Regione HII compatta	1 nascita
61	Residuo di nova (nova remnant)	6 stelle doppie evolute
62	Resto di supernova (supernova remnant SNR)	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
63	Ripetitore di raggi gamma "mollini" a bassa energia (SGR - Soft Gamma-ray Repeaters)	7 altre stelle
64	Sequenza spettrale (La)	2 stelle di sequenza principale
65	SFXT (Supergiant fast X-ray transient)	6 stelle doppie evolute
66	SGR (Soft Gamma-ray Repeaters) [Ripetitore di raggi gamma "mollini" a bassa energia]	7 altre stelle
67	Stella bianca e stella gialla	2 stelle di sequenza principale
68	Binaria a contatto sorgente di raggi-X super-mollini (CBSS)	6 stelle doppie evolute
69	Stella binaria a raggi X	6 stelle doppie evolute
70	Stella blue-straggler	7 altre stelle
71	Stella di bosoni	8 stelle esotiche e speculazioni
72	Stella centrale della nebulosa planetaria – Oggetto O VI	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
73	Stella [o astro] collassato	0 introduzione
74	Stella doppia	5 stelle doppie e multiple
75	Stella doppia astrometrica	5 stelle doppie e multiple
76	Stella doppia fisica	5 stelle doppie e multiple
77	Stella doppia fotometrica	5 stelle doppie e multiple
78	Stella doppia ottica	5 stelle doppie e multiple
79	Stella doppia prospettica	5 stelle doppie e multiple
80	Stella doppia spettroscopica	5 stelle doppie e multiple
81	Stella elettrodebole	8 stelle esotiche e speculazioni
82	Stella esotica	8 stelle esotiche e speculazioni
83	Stella esule	7 altre stelle
84	Stella fuggitiva (runaway stars)	7 altre stelle
85	Stella gigante azzurra (o blu)	2 stelle di sequenza principale
86	Stella gigante e supergigante rossa	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
87	Stella di Herbig Ae/Be	1 nascita

88	Stella ipergigante	7 altre stelle
89	Stella iperveloce (HVS) – Stella esule	7 altre stelle
90	Stella multipla	5 stelle doppie e multiple
91	Stella nana bianca	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
92	Stella nana bruna	2 stelle di sequenza principale
93	Stella nana nera	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
94	Stella nana rossa	2 stelle di sequenza principale
95	Stella nera	8 stelle esotiche e speculazioni
96	Stella di neutroni	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
97	Stella di neutroni ibrida	8 stelle esotiche e speculazioni
98	Stella nova (esplosione di nova)	6 stelle doppie evolute
99	Stella OH/IR	7 altre stelle
100	Stella oscura (dark star)	8 stelle esotiche e speculazioni
101	Stella di Planck	8 stelle esotiche e speculazioni
102	Stella polar (variabili tipo AM Herculis)	6 stelle doppie evolute
103	Stella polar intermedia (variabili tipo DQ Herculis)	6 stelle doppie evolute
104	Stella di post-sequenza	0 introduzione
105	Stella di preoni	8 stelle esotiche e speculazioni
106	Stella pre-degenerata	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
107	Stella di pre-sequenza	0 introduzione
108	Stella Q (o <i>buco grigio</i>)	8 stelle esotiche e speculazioni
109	Stella di quark <i>strange</i> (o stella strana)	8 stelle esotiche e speculazioni
110	Stella di sequenza principale	0 introduzione 2 stelle di sequenza principale
111	Stella simbiotica o nova simbiotica	6 stelle doppie evolute
112	Stella tipo EX Lupi (oggetti <i>exors</i>)	1 nascita
113	Stella tipo FU Orionis (oggetti <i>fuors</i>)	1 nascita
114	Stella tipo T Tauri	1 nascita
115	Stella variabile	4 stelle variabili
116	Stella variabile ad eclisse	4 stelle variabili
117	Stella variabile eruttiva o cataclismica	4 stelle variabili
118	Stella variabile estrinseca o geometrica	4 stelle variabili
119	Stella variabile gigante di Hubble-Sandage (LBV)	7 altre stelle
120	Stella variabile intrinseca o fisica	4 stelle variabili
121	Stella variabile nebulare	4 stelle variabili
122	Stella variabile pulsante	4 stelle variabili
123	Stella variabile rotante	4 stelle variabili
124	Stella di Wolf-Rayet	7 altre stelle
125	Sub-nana bruna e/o planemo	2 stelle di sequenza principale
126	Supernova remnant SNR (resto di supernova)	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
127	Supernova a instabilità di coppia	7 altre stelle
128	Supernova superluminosa	7 altre stelle
129	Supernova tipo Ia (esplosione di supernova)	6 stelle doppie evolute
130	Supernova tipo II (esplosione di supernova)	3 stadi evoluti e finali di una stella singola
131	UCXB (Ultra-compact X-ray binary)	6 stelle doppie evolute

132	Unità astronomica [U.A.]	0 Introduzione
133	VeLLO (Very low luminosity object)	1 nascita
134	YSO (young stellar object)	1 nascita
135	Zero Assoluto	0 Introduzione

GLOSSARIO STELLARE

CAP. 0 - MISURE E PARAMETRI DI CONFRONTO

Diametro della Terra = circa 12.500 Km.

Diametro del Sole (alla fotosfera) = ~ 1.400.000 Km; viene preso come unità di misura dei diametri stellari.

Unità astronomica (U.A.) = Distanza Terra-Sole = ~ 150 milioni di Km;

Anno luce (a.l.): Distanza percorsa dalla luce in 1 anno (velocità della luce, o della radiazione in generale, ~300.000 Km/sec x 31.557.600 sec/anno) = ~ 9.500 Miliardi di Km = ~ 63.240 U.A.;

Parsec (pc) (crasi di *par*allasse *sec*ondo) ovvero 1 secondo d'arco di angolo di parallasse: distanza alla quale 1 U.A. sottende l'angolo di 1 secondo d'arco = 3,26 a.l. = 206.265 U.A..

Angstrom (Å): Unità di misura molto piccola che si usa per misurare la lunghezza d'onda nel dominio ottico. 1 Å = 10⁻¹⁰ m. = 0,1 nano m. = 100 pico m..

Massa del Sole = 2 x 10³³ gr. = 317.000 masse terrestri; viene presa come unità di misura delle masse stellari e galattiche.

Massa di Giove = 2 x 10³⁰ gr. = 317 masse terrestri = 1/1.000 del Sole; viene presa come unità di misura delle masse delle stelle nane brune.

Gradi Kelvin (°K): scala delle temperature con intervallo di grado pari alla Celsius ma che inizia dallo **Zero Assoluto** (-273,15 °C), temperatura alla quale la materia è completamente immobile: non vi è agitazione atomica.

MODI DI DIRE ASTRONOMICI

Metalli o elementi pesanti: tutti gli elementi dal Litio (Li 3) compreso in poi.

Nero: colore che identifica un assorbitore perfetto o la non emissione di alcun tipo di radiazione elettromagnetica (ovvero fotoni).

Riga spettrale (Linee di Fraunhofer): è una sottile zona nello spettro delle stelle nella quale la luminosità è un po' inferiore (assorbimento) o superiore (emissione) alla luminosità del vicino continuo.

Scoperte nel 1814 da Joseph von Fraunhofer sono state interpretate correttamente nel 1859.

Negli spettri delle stelle sono presenti soprattutto le righe in assorbimento.

Si formano perché la luce della fotosfera incontra gli atomi presenti nell'atmosfera. gli atomi vengono così eccitati o ionizzati. In base all'energia della stella, determinata dalla sua temperatura, alcuni stati di eccitazione o ionizzazione sono più frequenti.

Quindi a quella precisa lunghezza d'onda l'energia viene ad essere inferiore dando l'impressione di vedere una riga.

Effetto Doppler: variazione della lunghezza d'onda di una emissione dovuta al moto della sorgente che la emette rispetto all'osservatore: se la sorgente si **allontana** i periodi delle onde si allungano ovvero la frequenza si abbassa cioè si sposta verso il **rosso (red-shift)**; se la sorgente si **avvicina** i periodi delle onde si accorciano ovvero la frequenza si **alza** cioè si sposta verso il blu (**blue-shift**).

Moti stellari:

- **moto vero:** è il moto **reale** di una stella nello spazio;
- **moto proprio:** è la componente del moto vero proiettata sugli assi **X-Y**, ovvero la componente del moto che si percepisce come spostamento di una stella vicina rispetto alle stelle lontane; è detto anche **moto apparente**;
- **moto radiale:** è la componente del moto vero proiettata sull'asse **Z**, quello in direzione dell'osservatore; non vi è modo di percepire questo moto se non per effetto Doppler delle righe dello spettro.

Indice di colore: differenza aritmetica fra le magnitudini di una stella misurate a 2 lunghezze d'onda diverse (ad es. U-V; B-V; R-I; etc.). Le lunghezze d'onda a cui si misurano le magnitudini stellari sono già standardizzate, ovvero: **U** (ultravioletto) 3.550 Å; **B** (blu) 4.350 Å; **V** (visuale corrispondente al giallo/verde)

5.550 Å; **R** (rosso) 7.200 Å; **I** (da qui in poi cadono tutte nell'infrarosso) 10.300 Å; **J** 12.500 Å = 1,25 micron; **H** 16.500 Å = 1,65 micron; **K** 22.000 Å = 2,2 micron; **L** 3,4 micron; **M** 5,0 micron ; **N** 10,2 micron; **Q** 20 micron. Il sistema che si usa principalmente per le stelle è l'UBV ed è tarato in modo che le stelle di classe spettrale A0 (10.000° K di temperatura superficiale) abbiano la stessa magnitudine alle 3 lunghezze d'onda. Gli altri sistemi di misura, quelli che cadono nell'infrarosso, sono maggiormente usati per i "corpi freddi" (protostelle e nebulose oscure).

Stella di sequenza principale: stella che in un diagramma temperatura-luminosità (T-L), più comunemente chiamato diagramma H-R (dal nome degli astronomi Ejnar Hertzsprung e Henry Norris Russell che, indipendentemente, lo inventarono), si colloca sulla sequenza principale, così chiamata perché in origine quasi tutte le stelle cadevano in questa zona. Successivamente ulteriori studi permisero di capire che **tutte** queste stelle sono in una fase stabile della loro vita, quella nella quale l'energia nel nucleo è generata dalla fusione (o "bruciamento" o trasformazione) **dell'idrogeno in elio**. Per distinguerle dalle stelle del Ramo delle giganti del diagramma H-R le stelle di sequenza principale vennero chiamate nane. (in inglese ZAMS = zero age main sequence: sequenza principale di età zero)

Stella di pre-sequenza: stella che nel diagramma H-R occupa la zona immediatamente a destra della sequenza principale. Studi dell'astronomo C. Hayashi, hanno evidenziato che in questa zona si collocano le stelle giovani, ancora in contrazione e che **non** hanno ancora innescato le reazioni nucleari di "bruciamento" dell'idrogeno in elio, ovvero protostelle e stelle T Tauri.

Stella di post-sequenza: stella che nel diagramma H-R occupa la zona in alto a destra della sequenza principale, ovvero il ramo delle giganti. Sono stelle evolute, vecchie, che hanno esaurito l'idrogeno nel nucleo e che, a seconda della massa, sviluppano energia bruciando elio, carbonio, ossigeno, neon, magnesio, silicio, zolfo, calcio e ferro.

Stella o astro collassato (collapsed star – contratto in collapsar): categoria di stelle che include i 3 stadi finali degeneri di una stella: nana bianca, stella di neutroni e buco nero, ed in ultima analisi anche la nana nera che è una nana bianca all'ultimo stadio di raffreddamento. (vedi alle singole voci).

Popolazioni stellari.

Stelle di popolazione I: è la popolazione stellare più giovane, con una età di circa 5 miliardi di anni. (Il Sole fa parte di questa popolazione). Tali stelle si trovano nei dischi delle galassie a spirale e nelle galassie irregolari tipo I o magellanico (cioè simili alle galassie chiamate Nubi di Magellano). Le stelle di questa popolazione sono caratterizzate da una più elevata presenza di elementi pesanti (alta metallicità).

Stelle di popolazione II: è la popolazione stellare più vecchia, con una età di circa 10 miliardi di anni. Tali stelle si trovano nell'alone delle galassie a spirale e negli ammassi globulari, nelle galassie ellittiche (giganti e nane) e nelle galassie irregolari tipo II. Le stelle di questa popolazione sono caratterizzate da una bassa metallicità.

Stelle di popolazione III: popolazione stellare ipotizzata da Howard Bond per rendere conto della già troppo elevata metallicità della popolazione II. Questa popolazione stellare, generatasi nei primordi del nostro universo, sarebbe ora tutta estinta. Le esplosioni di supernovae avrebbero contribuito ad innalzare il tasso di metallicità negli ambienti dove sarebbero nate le stelle di popolazione II.

CAP. 1 - NASCITA

Mezzo interstellare (I.S.M. – Inter-stellar medium): è la materia che, in forma gassosa, è presente nelle galassie a spirale, spirale barrate e irregolari tipo I. È formata principalmente da idrogeno neutro (HI – acca primo). Rappresenta circa il 10% della massa di queste galassie ed ha una densità di 1 atomo/cm³.

Nube molecolare gigante (G.M.C.: giant molecular cloud): Enormi regioni all'interno del disco delle galassie a spirale formate principalmente da idrogeno molecolare (H_2 –acca due) ma che contengono anche una bassissima percentuale di altre molecole dette polveri che oscurano le stelle retrostanti.

La densità non è costante e la media è 1.000 atomi/cm^3 . Dimensioni: 100/600 a.l.. Massa: da 1.000 a 10^7 di masse solari.

Le molecole di H_2 non emettono perché sono simmetriche; la nube viene rivelata nel radio a 2,6 mm grazie all'energia rotazionale e vibrazionale di altre molecole presenti nel suo interno, principalmente il monossido di carbonio (CO). Anche l'ammoniaca (NH_3) è un buon tracciante di GMC.

La G.M.C. risulta visibile eventualmente anche nell'ottico se è eccitata dalle stelle già formate al suo interno. Famose GMC si trovano in Orione e nel Toro.

Polveri: Espressione impropria per indicare genericamente molecole di elementi pesanti formate principalmente da composti del carbonio delle dimensioni di 0,001-0,0001 mm.. Presenti nel disco delle galassie a spirale. Nelle GMC hanno la funzione di elemento **catalizzatore** sul quale si forma la molecola di idrogeno.

Nebulosa oscura: nebulosa di colore inequivocabilmente **nero**, di forma irregolare, che si staglia in netto contrasto su un campo stellare o su una nebulosa ad emissione. È un frammento di nube molecolare con una concentrazione alta di polveri. Alcune emettono nell'infrarosso. 2 famosi cataloghi di nebulose oscure sono il Barnard catalog (B) e il LDN o L (Lynds Dark Nebulae) di Beverly T. Lynds.

Globulo di Bok: Nebulosa oscura di forma vagamente tondeggiante che si staglia su un campo stellare o una nebulosa ad emissione, indicata da Bart J. Bok come progenitrice di una stella o un ammasso stellare. Parametri tipici: dimensioni 0,5-2,5 a.l.; massa 10-60 M_{\odot} ; Temp. 10-20 K.

Globulo cometario: Nebulose oscure simili ai precedenti ma di forma più allungata verso una direzione; ciò è dovuto all'azione dell'energia ultravioletta emessa da stelle (giganti blu) già formate nelle vicinanze. Questa è una conferma della posizione dei globuli nei pressi delle regioni III. Il "bombardamento" ultravioletto a cui sono sottoposti dovrebbe disgregarli ma in alcuni sembra si siano formate stelle al loro interno.

Protostella: Nome *molto* generico che indica una stella in formazione immersa ancora nella nube progenitrice. Le protostelle sono pesantemente oscurate dalle polveri e rilevabili solo nell'infrarosso.

Orion BN, ovvero V2254 Orionis, è stato il primo oggetto scoperto in questo stadio evolutivo da Eric Becklin e Gerry Neugebauer nel 1967.

Altri esempi: AFGL490, AFGL 2591, LRL 54361, *etc.*

YSO (young stellar object): Categoria di oggetti stellari ancora in formazione. Rientrano in questa categoria i seguenti oggetti:

- Oggetto Herbig-Haro (HH);
- Stelle T Tauri;
- Stelle Herbig Ae/Be;
- Stelle tipo FU Orionis (oggetti *fuors*);
- Stelle tipo EX Lupi (oggetti *exor*).
- VeLLO (oggetto di bassissima luminosità)
- FHC (Primo nucleo idrostatico)

Queste categorie vengono anche chiamate PMS object (Pre Main Sequence), oggetti di Pre-sequenza principale.

- **Oggetto Herbig-Haro (HH):** Getti di materia, scoperti individualmente da George Herbig e Guillermo Haro negli anni '40, che sembrano eiettati simmetricamente dai poli di una sorgente invisibile a tutte le lunghezze d'onda, con tutta probabilità una stella in formazione immersa (e pesantemente oscurata) nelle polveri della nube progenitrice. I getti diventano 'luminosi' perché collidono con il gas dell'involuppo del complesso della nube progenitrice.

La maggior parte di questi si forma a circa 1,5 a.l. dalla protostella generatrice con qualche eccezione (HH111 si estende per 6+6 a.l.). Se ne conoscono circa 2.000.

- **Stelle tipo T Tauri:** Categoria di stelle variabili irregolari perché risentono ancora della instabilità dovuta alla contrazione, che prendono il nome dalla prima stella scoperta, e che hanno la caratteristica di trovarsi nelle immediate vicinanze di una nebulosa a riflessione dalla quale si ritiene si siano formate. Sono stelle giovani, di massa medio-bassa (inferiori a 3 M_{\odot}), di classi spettrali F, G, K ed M, che hanno appena iniziato o che stanno iniziando la fase del bruciamento dell'idrogeno. Altra caratteristica di "giovinezza" è la riga in assorbimento del litio nello spettro. Le T Tauri sono stelle di pre-sequenza.
- **Stelle di Herbig Ae-Be:** sono le corrispettive più massicce e a temperatura superficiale più elevata delle T Tauri e, come dice il nome, studiate da George Herbig. Masse da 3 a 8 M_{\odot} ; hanno classe spettrale B ed A con alcune righe in emissione di H e Ca. Mostrano elevata variabilità luminosa.
- **Stelle tipo FU Orionis (oggetti fuors):** Piccolo gruppo di stelle di pre-sequenza che vanno soggette a brillamenti tipo *novae* della durata di alcuni anni. Durante la variazione luminosa varia anche la classe spettrale che può passare da K ad A.
Le stelle tipo FU Ori (dette anche oggetti Fuors) si trovano tutte nelle vicinanze di zone oscure ricche di polveri. Quando aumentano di luminosità illuminano le nubi di gas che le circondano.
- **Stelle tipo EX Lupi (oggetti Exors):** Piccolo gruppo di stelle di pre-sequenza che vanno soggette a brillamenti tipo *novae* ma dalla breve durata.
Le stelle tipo EX Lupi (dette anche oggetti Exor) si trovano tutte nelle vicinanze di zone oscure ricche di polveri. Quando aumentano di luminosità illuminano le nubi di gas che le circondano.
Sono ritenute una sottoclasse delle *Fuors*
- **VeLLO (very low luminosity object):** si tratta di giovani oggetti stellari (YSO) di luminosità estremamente bassa dell'ordine di 0,1 L_{\odot} . La luminosità è anche fortemente attenuata dalle polveri nelle quali sono immerse. Questi oggetti hanno anche masse molto basse. Con tutta probabilità sono delle proto-nane brune isolate. Il primo caso accertato è stato L1014-IRS, la sorgente infrarossa trovata all'interno della nebulosa oscura LDN 1014 nel Cigno.
Altri casi: Oph-B11, Cha-MMS1, L328-IRS, CB 130-IRS 1
- **FHC (First Hydrostatic Core) (Primo nucleo idrostatico):** è un oggetto in fase transitoria tra nucleo pre-stellare e proto-stella. Ha vita breve (10^3 – 10^4 anni) e flussi bipolari lenti (pochi km/s). A causa degli shock di accrescimento il nucleo si può riscaldare di oltre ~ 100 K in un periodo molto breve ~ 5000 anni. Dimensioni dell'ordine delle AU.
Estremamente difficile da rilevare direttamente.
È una chiave per comprendere i primissimi stadi della formazione stellare.
Alcuni candidati sono: Chamaeleon-MMS1, Per-bolo58, CB17, B1-bS e B1-bN, L1448 IRS2E, etc.

Nebulosa bipolare: Nome *molto* generico per indicare delle nebulose a riflessione o ad emissione di aspetto simmetrico a forma di 8. Probabilmente si formano quando l'energia di una stella in formazione comincia ad illuminare il gas progenitore verso i poli mentre la zona equatoriale è ancora oscurata dalle polveri.

Dischi protoplanetari (PROPLYD crasi di Protoplanetary disk): nebulose talvolta oscure e talvolta brillanti di forma marcatamente a disco, visti di faccia o di taglio, che circondano una sorgente luminosa. Alcuni, trovandosi nelle vicinanze di stelle già formate, subiscono l'azione del vento stellare e assumono una forma a goccia o cometa. I dischi per massa e dimensioni sono paragonabili ad un sistema planetario.

Nebulosa a riflessione:

A) NELLE STELLE GIOVANI: nebulosità, residuo della nube molecolare che ha originato la stella, formata da gas e polveri che circonda ancora la stella stessa.

La radiazione emessa dalla stella non è sufficientemente potente a ionizzare il gas ma riesce ad illuminare le polveri che riflettono il colore della fotosfera.

Nel corso del tempo il gas e le polveri verranno disperse dal vento stellare.

B) **NELLE STELLE EVOLUTE:** nebulosità che circonda la stella a causa della perdita di massa dovuta all'azione dei venti stellari che disperdono il materiale nell'ambiente circostante.

Nebulosa ad emissione per ricombinazione (regioni HII – acca secondo): grandi nebulose brillanti di idrogeno ionizzato da stelle (giganti blu) che si sono già formate al loro interno. In fotografia risultano di colore rosso a causa dell'emissione a 6563 Angstrom dovuta al salto dell'elettrone dal 3° al 2° livello energetico attorno al nucleo – riga H alfa.

Regione HII compatta: Nebulosa ad emissione come la precedente ma di dimensione molto più ridotta. Le stelle massicce (oltre le 8 masse solari) si formano, ovvero innescano il bruciamento dell'idrogeno, quando sono ancora pesantemente oscurate dalle polveri della nube progenitrice. La loro enorme produzione di energia forma subito una Regione HII compatta. Il prototipo di queste protostelle massicce è l'Oggetto di Kleinman e Low in Orione [Orion KL] scoperto nel 1983 da Douglas Kleinmann e Frank J. Low.

Associazioni stellari: Gruppi di stelle con caratteristiche omogenee. Ne esistono di 3 tipi:

1. **associazione OB:** formata da stelle giganti blu di classe spettrale O e B. Sono le uniche associazioni visibili ad occhio nudo; spesso le loro stelle principali sono in costellazioni famose (es. Orion OB1 centrata su θ Orionis “il Trapezio”, Cygnus OB7 centrata su Deneb α Cygni, Perseus OB3 centrata su Mirfak α Persei, etc.);
2. **associazione T:** formata da stelle T Tauri che si trovano nei pressi di una stella gigante blu e nelle regioni HII;
3. **associazione R:** formata stelle giovani che illuminano ciascuna la propria nebulosa a riflessione. Si ritiene che l'innescò della formazione stellare in questo caso sia da attribuirsi ad una esplosione di supernova (es. Canis Major R1).

Tutti i tipi di associazione sono formati da stelle giovani, nate dalla stessa nube progenitrice, perché non hanno ancora avuto il tempo di allontanarsene.

Ammasso aperto o galattico: gruppo di stelle ancora legato gravitazionalmente, formato da un numero estremamente variabile di membri (100-200 e più), di tutte le masse (giganti e nane) e di tutte le classi spettrali, ma con la caratteristica di avere all'incirca tutte la medesima età. Spesso sono immersi ancora nella regione HII progenitrice. La loro collocazione è nel disco delle galassie a spirale a differenza degli ammassi globulari che popolano l'alone galattico.

CAP. 2 - STELLE DI SEQUENZA PRINCIPALE

Stella di sequenza principale: stella che in un diagramma temperatura-luminosità (T-L), più comunemente chiamato diagramma H-R (dal nome degli astronomi Ejnar Hertzsprung e Henry Norris Russell che, indipendentemente, lo inventarono), si colloca sulla sequenza principale, così chiamata perché in origine quasi tutte le stelle rientrano in questa zona. Successivamente ulteriori studi permisero di capire che tutte queste stelle sono in una fase stabile della loro vita, quella nella quale l'energia nel nucleo è generata dalla fusione (o “bruciamento” o trasformazione) dell'**idrogeno** in **elio**. Per distinguerle da quelle del Ramo delle giganti del diagramma H-R le stelle di sequenza principale vennero chiamate nane. (in inglese ZAMS = zero age main sequence: sequenza principale di età zero).

La sequenza spettrale: dopo il lavoro pionieristico del 1876 di padre Angelo Secchi che suddivideva gli spettri stellari in 5 classi (da I a V), oggi vengono identificati con una lettera ed un indice da 0 a 9 (ad es. F0, A2, B1, K5, M8 etc.); in origine, 1918 circa, venivano utilizzate tutte le lettere dell'alfabeto dalla **A** alla **O**; inoltre la **P** per gli spettri delle nebulose planetarie e la **Q** per quelli delle novae (ora non più usati). Successivi accorpamenti, riscontri di errori, e la geniale intuizione di Annie Cannon che la differenza degli spettri derivava unicamente da differenti temperature superficiali delle stelle ha portato alla sequenza attuale che, in ordine di temperature decrescenti, è: **O – B – A – F – G – K – M**.

Altre lettere introdotte successivamente identificano: **R** ed **N** (ora unificate in **C**) stelle al carbonio (solo giganti rosse); **S** stelle allo zirconio (solo giganti rosse); **W** stelle di Wolf-Rayet; **L** per classificare le stelle nane rosse con temperatura ancora più bassa della classe M. Inoltre sono state istituite le classi **T** e **Y** per le nane brune.

La sequenza spettrale oggi usata è:

(R N) ora C
W O B A F G K M L T Y
S (nane brune)

Stella gigante azzurra (o blu): stella di sequenza principale, di classe spettrale O e B, molto massiccia, massa dell'ordine di 20-30 masse solari ed oltre (fino ad un massimo di 120 [limite di Eddington]); dimensioni 20, 30, 50 diametri solari; temperatura superficiale 25.000° - 35.000°. Si trovano sempre al centro di ammassi aperti e associazioni OB e sono le responsabili della ionizzazione delle regioni HII. In origine essendo stelle di sequenza principale erano classificate nane.

Stella bianca e gialla: stella di sequenza principale, di classe spettrale A, F e G (come il Sole); massa compresa da 4-5 masse solari ad 1; dimensioni da 3/4 diametri solari ad 1; temperatura superficiale 10.000° - 7.500° - 6.000°. Nella classe **A** vi sono alcune stelle caratterizzate da spettri con righe di metalli (tipo **Am**) mentre altre mostrano un campo magnetico particolarmente intenso (tipo **Ap**) [ad es. Cor Caroli (α CVn) di classe A2p ha un campo magnetico che varia da +5.000 a -4.000 gauss].

Stella nana rossa: stella di sequenza principale, di classe spettrale K e M. Sono le stelle più piccole e numerose; massa compresa da 1 a 0,08 masse solari; dimensioni 0,5 - 0,1 diametri solari, temperatura superficiale 4.500° - 3.000°. Per temperature inferiori (2.000°K) è stata istituita la classe **L**. Alcune vanno soggette a brevissimi ma intensi aumenti di luminosità (stelle a *flare [variabili UV Ceti]*). 0,08 masse solari ovvero 80 masse gioviane è considerato il valore limite al di sotto del quale non sussisterebbe abbastanza pressione nel nucleo per l'innesco delle reazioni nucleari.

Stella nana bruna: astro di massa compresa tra 80 e 13 masse gioviane (0,080-0,013 masse solari). Non si possono definire vere e proprie stelle in quanto nel nucleo manca il "bruciamento" dell'idrogeno in elio: riescono solo a sostenere la fusione del litio. Teorizzate dal 1963 da Shiv Kumar, sono state osservate solo di recente (1995) a causa della loro bassissima luminosità. Vengono classificate di classe spettrale **T** (temperatura superficiale 1.300-500 K) e **Y** (800-300 K). (Nota: al di sotto delle 13 masse gioviane gli astri vengono considerati pianeti giganti).

Sub-nana bruna e/o planemo: *Astro isolato di massa inferiore alla nana bruna, al di sotto delle 13 M_J . Non hanno massa sufficiente ad innescare la fusione del deuterio (2H o D) [1 Protone + 1 Neutrone e 1 Elettrone]. La loro formazione segue quella delle stelle di bassa massa, per contrazione gravitazionale e non per aggregazione successiva, e i dati indicano che sono immersi in dischi proto-planetari. C'è molta incertezza sulla loro classificazione tra stellare e planetaria. PLANEMO (**Planetary mass object** = Oggetto di massa planetaria). Termine non ancora ufficiale coniato per identificare un astro che possiede una massa maggiore di un pianeta di forma irregolare, ma troppo piccolo per poter innescare nel nucleo le reazioni di fusione tipiche delle stelle.*

CAP. 3 - STADI EVOLUTI E FINALI DI UNA STELLA SINGOLA

Stella gigante / supergigante rossa. Stella di massa modesta (2-4 masse solari) evoluta oltre il bruciamento dell'idrogeno nel nucleo (quindi esce dalla sequenza principale del diagramma H-R ed entra nel Ramo delle giganti). Mentre il nucleo si contrae ed aumenta enormemente di temperatura gli strati esterni si espandono a dismisura fino a raggiungere i 500 diametri solari (5 U.A.) ed oltre. Classe spettrale K ed M, con le varianti al carbonio, ex classi spettrali R ed N ora unificate nella classe **C**, e allo zirconio classe spettrale **S**. Temperatura superficiale 3.500 K - 2.500 K.

Alcune stelle con masse iniziali superiori (sino ad un massimo di 8 masse solari) quando entrano in questa fase raggiungono proporzioni davvero gigantesche (1.600 diametri solari = 16 U.A.!) e vengono chiamate **supergiganti rosse**.

In questa fase, che è di transizione, vi è una forte perdita di materia nell'ambiente immediatamente circostante.

Nebulosa planetaria: fase di transizione di stelle con massa iniziale tra 1 e 8 masse solari successiva a quella di gigante rossa. In questa fase il gas emesso dalla gigante rossa si espande indefinitamente nello spazio fino a raggiungere diametri di qualche anno luce. Possono assumere varie forme con morfologia complessa ma le più comuni sono a gusci concentrici o marcatamente bipolari a clessidra.

Questo si riscontra specialmente in oggetti nelle prime fasi di transizione, fase detta proto-planetaria [PPN].

In questa fase a volte è presente l'emissione dell'ossidrile OH come potente maser e questi oggetti vengono chiamati **OHPNe**.

Al centro vi è una stella molto simile ad una nana bianca ma con una temperatura estremamente più alta, chiamata stella centrale della nebulosa planetaria che è il nucleo degenere della stella originaria (*vedi voce successiva*);

L'energia ultravioletta emessa dalla stella centrale va ad "illuminare" per fluorescenza il gas precedentemente emesso dalla stella nella o nelle fasi di gigante rossa.

Alla fine il gas si disperderà completamente lasciando una nana bianca isolata.

Stella centrale della nebulosa planetaria – stella pre-degenerata - oggetto O VI: è il nucleo *quasi* degenere della stella che, con la perdita degli strati esterni, ha dato origine alla planetaria;

si sta ancora contraendo e raffreddando fino a diventare nana bianca; ha una massa inferiore a 1,4 M_{\odot} ed una temperatura superficiale con un ampio intervallo di valori da 50.000 K a 350.000 K.

Emette quasi interamente nell'ultravioletto ed è responsabile della luminosità del gas della planetaria per fluorescenza (stato eccitato).

Queste stelle al di sopra di 100.000 K esibiscono nello spettro la riga dell'ossigeno ionizzato 5 volte e vengono chiamate anche **oggetti O VI** [Ossigeno sesto].

Sono variabili tipo GW Virginis o PG1159 e la variabilità è data da onde gravitazionali non radiali.

Stella nana bianca: è uno dei 3 stadi finali delle stelle, di quelle con massa iniziale compresa tra 1 e 8 masse solari e, se la stella è singola, è successivo alla fase di nebulosa planetaria; la si trova isolata quando il gas si è del tutto rarefatto ma possono far parte anche di sistemi doppi o multipli. Ha una massa fino ad un massimo di 1,4 masse solari (limite di Chandrasekhar) e dimensioni pari a 1, 2 diametri terrestri (15/30.000 Km. !!!).

In queste stelle la gravità è controbilanciata solo dalle forze coulombiane (repulsive) dell'atomo. È quindi formata da gas degenere, detto *mare di Fermi*, alla pressione 10^{14} g/cm cubo, ovvero non vi è più spazio fra un atomo e l'altro.

Sono state chiamate bianche perché le prime studiate avevano uno spettro indecifrabile che assomigliava a quello della classe A (temperatura superficiale 10.000°) ma in realtà erano azzurre con temperatura di 25-30.000 K.

Oggi si conoscono nane bianche di tutti i colori, bianche, gialle, arancio e rosse, con un intervallo di T. sup. da 100.000 K ai 3.900 K di WD 0346+246 nel Toro.

Questo è un segno di un progressivo invecchiamento e raffreddamento; alla fine diventeranno **nane nere**.

Il prototipo è Sirio B ma la prima ad essere stata scoperta è Omicron 2 Eridani B [Keid B] (l'unico puntino isolato in basso a sinistra nel diagramma H-R originario).

Stella nana nera: ultimissima fase stellare dovuta al raffreddamento di una nana bianca. Nessun caso conosciuto anche perché, forse, la nostra Galassia o addirittura l'Universo è ancora troppo giovane (sic!!!) perché una nana bianca abbia avuto il tempo di raffreddarsi del tutto e diventare **nera**.

Supernova tipo II (o meglio esplosione di supernova): immane esplosione che porta alla distruzione totale di una stella di grande massa (superiore a 8 masse solari) di **popolazione I**. L'esplosione ha una luminosità dell'ordine di 500 milioni di volte la luminosità del Sole. Le esplosioni di supernova tipo II si osservano solo nei bracci delle galassie a spirali.

Il nucleo della stella gigante blu progenitrice dopo aver innescato, in fasi successive, i bruciamenti dell'idrogeno (peso atomico 1), elio (4), carbonio (12), ossigeno (16), neon (20), e quindi per cattura di **particelle alfa** (ovvero nuclei di elio) magnesio (24), silicio (28), zolfo (32), calcio (40) e titanio (44) (reazioni che producono energia) ed aver prodotto il ferro (56), inizia ad implodere in quanto la reazione nucleare successiva assorbe energia. L'aumento di temperatura è elevatissimo e non è sopportato dagli strati esterni che vengono espulsi a velocità di 20.000 Km/s. Questo processo immette nell'ambiente gli elementi pesanti prodotti dalla stella (elementi di cui siamo costituiti noi).

In funzione dell'andamento fotometrico (ovvero la curva di luce) le supernovae tipo II vengono suddivise in lineari e plateau.

Una stella di grande massa di popolazione I può esplodere anche come supernova tipo Ib e Ic (vedi supernova tipo I)].

Supernova remnant SNR (resto di supernova): tenue nebulosa filamentosa tendente allo sferico creata dal materiale eiettato nello spazio da una esplosione di supernova. La luminosità sia dei resti di esplosioni più recenti, che presentano una struttura più compatta, che di quella dei più vecchi, che si presentano come anelli vuoti, deriva da urto del gas eiettato con il gas interstellare pre-esistente.

Al centro dovrebbe esserci il nucleo della stella progenitrice ma questo è stato trovato solo in 2 casi (Crab nebula nel Toro e Nebulosa SNR nelle Vele).

PWN (Pulsar Wind Nebula) o Plerione: sono nebulose di gas caldo e magnetizzato che si formano per l'interazione del vento ultrarelativistico emesso dalla pulsar centrale e il resto di supernova circostante in espansione. L'emissione è di tipo **non termico** (di sincrotrone). Il prototipo è la Crab nebula (M1).

Stella di neutroni: stadio finale di stelle di grande massa, successivo all'esplosione di supernova; si genera se il nucleo residuo della stella progenitrice ha una massa compresa fra 1,4 e 3,2 masse solari. In queste condizioni la pressione superiore a 10^{14} g/cm cubo produce la neutronizzazione protone-elettrone e la stella si riduce ad un superfluido di neutroni. Dimensioni 10-20 Km. (!!!).

A causa della conservazione del momento angolare, data l'enorme compressione subita, la stella è in rapidissima rotazione (fino a più di 700 rotazioni al secondo) ed emette segnali radio e X, talvolta anche γ (gamma), a frequenza costante (fenomeno pulsar).

Se ne conoscono circa 2000 e pochissime di queste stelle hanno una controparte ottica. Solo 2 sono certamente al centro di un resto di supernova (Crab nebula nel Toro e SNR Nebula nelle Vele).

Pulsar: (crasi di **Pulsating star** = stella pulsante opp. **Pulsating radio source** = radiosorgente pulsante) sorgenti, la prima scoperta da Jocelyn Bell nel '67, che emettono segnali radio ad elevatissima frequenza. Grazie alla controparte ottica della Crab nebula sono state associate alle stelle di neutroni.

La pulsar è rilevabile se la Terra si trova *esattamente in direzione del polo magnetico* della stella di neutroni e la frequenza dipende sua dalla rotazione (effetto faro).

L'energia emessa è sostanzialmente ricavata dall'energia di rotazione (RPP - rotation powered pulsar). Hanno campi magnetici dell'ordine di 10^{11} - 10^{13} Gauss.

Hanno un periodo di rotazione da 4 secondi (lente) a 1,39 millisecondi (la più veloce ad oggi conosciuta è PSR J1748-2446ad nell'ammasso globulare Terzan 5).

Sottogruppi delle pulsar:

- pulsar classiche (emettono nel radio, nell'X e, alcune, nell'ottico)
- pulsar radioquiete (emettono nell'ottico e **non** nel radio)
- pulsar gamma (emettono nei raggi gamma e **non** nel radio)
- millisecond pulsar [MSP] (pulsar in rapidissima rotazione con periodi di pochi millisecondi) (si trovano in un sistema doppio stretto; ricevono massa dalla compagna; questa massa le accelera ulteriormente; dette anche *pulsar rigenerate* perchè invecchiando invece di ridurre il numero di rotazioni, le aumentano).

Nota: per le pulsar super-magnetiche vedi cap. 7.

Black-hole (Buco nero stellare): oggetto solo teorizzato, mai osservato direttamente.

Stadio finale di stelle di grande massa, successivo all'esplosione di supernova; si genera se il nucleo residuo della stella progenitrice ha una massa superiore a $3,2 M_{\odot}$. Non vi è attualmente una teoria in grado di spiegare lo stato della materia in queste condizioni estreme. Non emette nessun tipo di radiazione (per questo è chiamato "nero") perché la velocità di fuga è superiore alla velocità della radiazione stessa (di solito chiamata velocità della luce). Il suo raggio limite, oltre il quale neanche la luce riesce ad uscire, è chiamato raggio di Schwarzschild o orizzonte degli eventi.

Può essere individuato per gli effetti gravitazionali indotti su oggetti a lui vicini.

Non deve essere confuso con il **buco nero galattico** che, con massa di milioni di volte superiore, che si trova al centro di tutte le galassie.

CAP. 4 - STELLE VARIABILI

Stella variabile: stella la cui luminosità varia nel tempo. Esistono 2 tipi fondamentali di variabili:

1. **variabili estrinseche o geometriche;**
2. **variabili intrinseche o fisiche.**

Le variabili **estrinseche** si suddividono in:

1. **rotanti** – stelle nelle quali la variabilità è causata dalla rotazione della stella (sul proprio asse);
 - 1.1 stelle che presentano luminosità disomogenea e/o estese macchie che, durante la rotazione, influiscono sulla luminosità dell'astro;
 - 1.2 stelle che a causa dell'alta velocità di rotazione assumono forma ellissoidale oppure binarie strette che non si eclissano ma che assumono forma ellissoidale per effetto mareale.
2. **ad eclisse** - sistema formato da due stelle, singolarmente *non variabili*, che si eclissano a vicenda.

Le variabili **intrinseche o fisiche:** la variazione di luminosità è dovuta alla variazione di qualche parametro **intrinseco** della stella (ad es. diametro o temperatura);

Si dividono in 3 categorie:

1. **variabili nebulari:** stelle giovani di *pre-sequenza* che risentono ancora delle instabilità della contrazione;
2. **variabili pulsanti:** stelle di *post-sequenza* nelle quali il nucleo in contrazione trasmette gli effetti all'involuppo esterno che varia in dimensioni e temperatura;
3. **variabili eruttive o cataclismiche:** stelle che subiscono un fenomeno parossistico esplosivo e sono: le stelle a brillamento (o *flare*), le RS Corone Borealis, le binarie X, le novae e le supernovae.

Nelle seguenti tabelle gli esempi più comuni di stelle variabili:

1 VARIABILI ESTRINSECHE - 1. VARIABILI ROTANTI			
Tipo di variabilità	Stella prototipo	Periodo e ampiezza della variabilità	Altre notizie
A macchie	RS Canum Venaticorum		
Elissoidale		<0,1 magn.	

1 VARIABILI ESTRINSECHE - 2. VARIABILI AD ECLISSE			
Tipo di variabilità	Stella prototipo	Periodo e ampiezza della variabilità	Altre notizie
Var. ad eclisse tipo Algol (EA)	Algol (Beta Persei)		Componenti separate, eclissi totali
Var. ad eclisse tipo Beta Lyrae (EB)	Beta Lyrae	2-3 gg. – max 2 mag.	Componenti ravvicinate e deformate, eclissi parziali

Var. ad eclisse tipo W Urasae Majoris (EW)	W Urasae Majoris	Meno di 1 giorno – 0,8 mag.	Componenti a contatto con scambio di materia
Var. eclissata dal suo pianeta (EP)	V376 Pegasi (HD 209458)		Si tratta del transito di un esopianeta

2. VARIABILI FISICHE: 1. VARIABILI NEBULARI

Tipo di variabilità	Stella prototipo	Periodo e ampiezza della variabilità	Altre notizie
Variabili T Tauri	T Tauri	Irregolare nebulare (In) – 0,2-2 mag.	Stelle giovani di massa medio-bassa ancora in contrazione, in interazione con la nube progenitrice
Variabili Herbig Ae-Be	Z Canis Majoris	Irregolare nebulare (In) – 0,2-2 mag. eccezionalmente 4-5 mag.	Come la precedente ma di massa medio-alta.

2. VARIABILI FISICHE: 2a. VARIABILI PULSANTI [regolari]

Tipo di variabilità	Stella prototipo	Periodo e ampiezza della variabilità	Altre notizie
Var. tipo Beta CMa	Beta Canis Majoris	Regolare 0,1-0,4 giorni – 0,1 mag.	Sequenza principale Classe spettrale B
Var. tipo Delta Scuti	Delta Scuti	Regolare 0,25 giorni – 0,1 mag.	Sequenza principale Classe spettrale A-F
Cefeidi classiche	Delta Cephei	Regolare, da + 1 giorno a 100 gg. – 0,1-2 mag.	Giganti e supergiganti giallo – arancio. Popolazione I
Cefeidi tipo W Virginis	W Virginis	Regolare, da + 1 giorno a 100 gg. – 0,1-2 mag.	Giganti e supergiganti giallo – arancio. Popolazione II
Cefeidi tipo RR Lyrae	RR Lyrae	Regolare, meno di 1 giorno. – 0,3-0,6 mag.	Giganti bianco-gialle. Popolazione II

2. VARIABILI FISICHE: 2b. VARIABILI PULSANTI [semiregolari]

Tipo di variabilità	Stella prototipo	Periodo e ampiezza della variabilità	Altre notizie
Var. tipo RV Tauri	RV Tauri	Semiregolare – 15-75 gg. – max 3 mag.	Giganti e supergiganti giallo – arancio. Popolazione II
Semiregolari gialle	AG Aurigae	Semiregolare – 35-150 gg. – max 2,5 mag.	Giganti gialle spettri F-G
Semiregolari rosse	Mu Cephei	Semiregolare da 30 a 1.000 gg. – 1-2 mag.	Giganti e supergiganti rosse classe spettrale M

2. VARIABILI FISICHE: 2c. VARIABILI PULSANTI [irregolari]

Tipo di variabilità	Stella prototipo	Periodo e ampiezza della variabilità	Altre notizie
Var. Afa 2 CVn	Alfa 2 Canum Venaticorum	Irregolare – 0,1 mag.	Stelle magnetiche, classe A
Var. a lungo periodo (LPV)	Mira Ceti	Irregolare 70-700 gg. – oltre 2,5 mag.	Giganti e supergiganti rosse classe spettrale M – S e C
LBV (Luminous blu variable)	Eta Carinae – AG Carinae – P Cygni	Irregolare – 2 mag.	Originariamente chiamate variabili di Hubble e Sandage. Supergiganti azzurre oltre le 20 masse solari dette

			anche novae permanenti
Var. tipo GW Virginis	GW Virginis = PG1159	Irregolare	Trasformazione da stelle centrali neb. planetarie a nane bianche, pulsazione non radiale. Stella pre-degenere
Var. tipo ZZ Ceti	ZZ Ceti	Irregolare	Nane bianche, pulsazione non radiale

2. VARIABILI FISICHE: 3. VARIABILI ERUTTIVE O CATACLISMICHE			
Tipo di variabilità	Stella prototipo	Periodo e ampiezza della variabilità	Altre notizie
Stelle a flare	UV Ceti	Irregolare - 5 mag.	Eruttive - Nane rosse
Var. tipo R CrB	R Coronae Borealis	Irregolare – calo di luminosità fino a 9 mag.	Probabile oscuramento dovuto a polveri prodotte da queste stelle.
Variabili simbiotiche	Z Andromedae	Irregolari	Spettro di combinazione fra stella azzurra collassata e gigante rossa
Var. tipo U Gem.	U Geminorum	Irregolari – 2-6 mag.	Chiamate anche SS Cygni o novae nane (quindi stella doppia peculiare). Spettri G e K.
Variabili X		Irregolari, esplosive con emissione X	Sistema doppio formato da una stella di sequenza principale ed un astro collassato (stella di neutroni o buco nero) (Comprendono le binarie X e le polar).
Novae			Vedi alle singole voci
Supernovae			

CAP. 5 - STELLE DOPPIE E MULTIPLE

Stella doppia: 2 stelle vicine nel cielo formano un sistema doppio che si divide in 2 categorie:

1. **doppia prospettica:** quando la vicinanza è solo apparente e le 2 stelle, in realtà distantissime, *non sono* legate gravitazionalmente;
2. **doppia fisica:** quando le due stelle *sono* legate gravitazionalmente e rivolvono attorno ad un baricentro comune. In questo caso le orbite saranno ellittiche, con la stessa eccentricità, e di dimensioni inversamente proporzionali alla massa delle 2 componenti, le quali, durante la rivoluzione, si troveranno sempre una opposta all'altra rispetto al baricentro comune.

(Nota: questo sistema gravitazionale, detto “**dei 2 corpi**”, è stabile ed è l'unico che è stato risolto matematicamente: ovvero conosciuta la posizione di una stella e del baricentro si può determinare la posizione dell'altra stella. Un sistema di 3 stelle di massa simile non è stabile tende alla disgregazione in tempi astronomicamente brevi. Il problema “dei 3 corpi” non è stato risolto matematicamente: ovvero conosciuta la posizione di 2 stelle e del baricentro non si può determinare la posizione della terza stella).

Alcuni tipi di doppie **fisiche**:

1. **doppia ottica o visuale:** è una stella doppia le cui componenti si vedono distintamente separate ad occhio nudo o con ausili ottici (binocoli e telescopi);
2. **doppia astrometrica:** è una stella della quale non si vedono le componenti separatamente ma che è animata da un moto *ondeggiante* rispetto ad un punto invisibile che si muove in modo rettilineo. L'interpretazione è che ciascuna componente stia compiendo una rivoluzione rispetto al baricentro comune del sistema che si sposta.
3. **doppia spettroscopica:** è una stella che non può essere risolta come binaria neppure con i telescopi più potenti. Tramite uno spettroscopio viene rilevato lo sdoppiamento alternato delle righe nello spettro. Tale fenomeno è dovuto alla componente radiale del moto di rivoluzione delle stelle del sistema attorno al comune baricentro per effetto Doppler.

4. **doppia fotometrica:** è una stella la cui luminosità varia nel tempo in modo costante a causa dell'eclissarsi delle sue componenti. La curva di luce è caratterizzata dai 2 minimi, principale e secondario, più o meno profondi in funzione della differenza di temperatura superficiale delle stelle del sistema (quindi sono anche variabili ad eclisse). [vedi Stelle variabili ad eclisse – Cap. 4].

Stella multipla: sistema gravitazionalmente legato formato da 3 o più stelle.

Un sistema multiplo è stabile se i valori di massa e distanza delle componenti sono tali da ricondurlo ad un "sistema dei 2 corpi" (vedi Doppia fisica).

[il sistema con più componenti (che io conosco) è il sistema Mizar-Alcor (Eta Ursae Majoris) formato da 7 stelle: 3+2 di Mizar e 2 di Alcor. Ma oggi si ritiene che siano 2 sistemi separati].

CAP. 6 - STELLE DOPPIE EVOLUTE

Stella nova (o meglio esplosione di nova): fenomeno esplosivo che interessa stelle di media grandezza con andamento fotometrico standard (**nova classica**), ovvero rapidissima salita al massimo e declino lento sino a ritornare alla luminosità iniziale. L'esplosione ha una luminosità dell'ordine di 100-200.000 volte la luminosità del Sole.

Il modello elaborato per spiegare il fenomeno è il seguente: un sistema doppio formato da una stella nella fase **gigante rossa** che riempie il suo lobo di Roche ed una **nana bianca**.

Gli strati esterni della gigante invadono il campo gravitazionale della nana e vengono attratti da questa; è in atto uno scambio di materia attraverso il primo punto lagrangiano; il gas, prima di cadere sulla nana, forma attorno ad essa un disco spiraleggiante chiamato **disco di accrescimento**.

Il gas della gigante, che non fluisce in maniera costante, una volta sulla nana innesca delle reazioni termonucleari che portano ad una esplosione superficiale della materia in eccesso.

Il sistema **non** subisce alterazioni apprezzabili.

In alcuni casi il fenomeno si ripete (**nova ricorrente**) a distanza di anni ed è opinione comune che tutte le novae siano ricorrenti su tempi-scala molto lunghi.

Vari tipi di novae:

- **nova classica:** in funzione della rapidità di salita al massimo di luminosità si distinguono in
 1. nova veloce;
 2. nova lenta;
 3. nova molto lenta (novae simbiotiche).
- **nova nana;**
- **nova ricorrente.**

Nova nana: stella doppia evoluta, variabile pulsante irregolare, con caratteristiche simili alla nova classica ma nella quale la luminosità al massimo dell'evento esplosivo è notevolmente inferiore.

La massa delle componenti non è eccessiva e la stella donatrice può essere di **sequenza principale**.

In questo caso sembra che a esplodere non sia l'idrogeno accumulato sulla componente collassata ma l'idrogeno accumulato sul disco di accrescimento.

Il prototipo è U Geminorum. Z Camelopardalis è un altro tipo di nova nana con curva di luce peculiare.

Nova remnant (residuo di nova): tenue nebulosa filamentosa tendente allo sferico creata dal materiale eiettato nello spazio da una esplosione di nova ed illuminato o eccitato dalle componenti del sistema, con più probabilità da quella collassata.

Stella simbiotica: stella variabile che, al minimo di luminosità, mostra nello spettro i tratti caratteristici di una stella evoluta mentre al massimo quelli di una stella azzurra non evoluta.

In passato il modello era: un sistema doppio formato da una stella di sequenza principale azzurra ed una nella fase gigante rossa, il tutto immerso nel gas disperso da quest'ultima.

Oggi è stato chiarito che lo schema è quello di una nova classica nella quale la nana bianca è di piccola massa. Alcuni astronomi credono che le simbiotiche rappresentino la fase di **post-nova**.

Supernova di tipo Ia (o meglio esplosione di supernova): è (*o era*) la più imponente esplosione a livello stellare che, si crede, porta alla distruzione totale di 2 stelle già degeneri di popolazione II; il picco massimo ha una luminosità dell'ordine di 10 miliardi di volte la luminosità del Sole.

Il modello proposto per spiegare questo fenomeno esplosivo (ma soprattutto 2 dati sorprendenti: la mancanza di idrogeno e la distribuzione in tutte le galassie di queste esplosioni) è il seguente: in un sistema doppio, dopo l'evoluzione, le componenti sono ridotte a nane bianche entrambe di massa leggermente inferiore al limite di Chandrasekhar (1,4 masse solari).

Effetti gravitazionali e/o magnetici determinano una diminuzione della distanza delle componenti e, in seguito, alla loro fusione.

La somma delle masse fa superare il limite di Chandrasekhar (1,4 M_{\odot}) e quindi l'innesco dell'esplosione che distrugge interamente il sistema: le supernovae di tipo Ia **non** lasciano residui collassati.

[In base alla curva di luce le supernovae tipo I si suddividono in 3 categorie: Ia, Ib e Ic. Quelle qui trattate sono le supernovae tipo Ia; le supernovae tipo Ib e Ic hanno come progenitore una stella singola come le supernovae tipo II (vedi cap. 3)].

Stella binaria a raggi X: sistema doppio, simile al modello della nova, formato da una stella normale o gigante evoluta e da una stella collassata (nana bianca o stella di neutroni o buco nero);

la stella normale o gigante, riempie il suo lobo di Roche, il gas attratto dalla stella collassata forma un disco di accrescimento attorno ad essa; al contatto della stella collassata viene incanalato verso i poli ed emesso sottoforma di radiazione X.

La prima stella è detta *donatrice* e la collassata *accretor*.

Molte variabili del sistema quali: la massa delle componenti, la loro distanza, l'inclinazione degli assi di rotazione, l'intensità del campo magnetico (B) soprattutto dell'astro collassato, lo spessore del disco di accrescimento, l'entità e la modalità dello scambio di materia, etc., danno luogo ad una moltitudine di casistiche e quindi ad un ampio ventaglio di oggetti.

In base alle dimensioni della stella donatrice, quella normale, si suddividono in 3 sottoclassi: le LMXB, le IMXB, le HMXB (o SGXB). Le UCXB sono una sottoclasse delle LMXB. Le SFXT sono una sottoclasse delle HMXB.

Vi sono anche le **CBSS** che fanno parte delle sorgenti di raggi X supermolli.

Le **microquasar** e le **stelle polar** sono una variante delle binarie a raggi X.

- **LMXB** (Low mass X-ray binary): sistema binario a contatto, simile al modello della nova, con scambio di materia tra le componenti, ma composto da stelle di **piccola massa** e caratterizzato da emissione di raggi X.
- **UCXB** (Ultracompact X-ray binary): sono una sottoclasse delle LMXB, sistema binario a contatto con scambio di materia tra le componenti, ma composto in linea di massima da una stella nana bianca e un astro collassato e caratterizzato da emissione di raggi X.
- **IMXB** (Intermediate mass X-ray binary): sistema binario a contatto simile al precedente nel quale la stella donatrice è di **massa intermedia** e caratterizzato da emissione di raggi X.
- **HMXB o HMXR** (High mass X-ray binary) o **SGXB** (Supergiant HMXB): sistema binario a contatto simile al precedente nel quale la stella donatrice è una stella di grande massa, gigante azzurra, tipo spettrale O/B o Be, e l'astro collassato è una stella di neutroni o buco nero. Il sistema è caratterizzato da fortissime e persistenti emissioni di raggi X.
- **SFXT** (supergiant fast X-ray transient) [rapide emissioni di raggi X transitorie in un sistema di grande massa]: sono una sottoclasse delle HM/SGXB, nel quale lo scambio di materia tra le componenti non avviene in modo continuo ma a brevi fasi intervallate da lunghi periodi di quiescenza. La rapida attività transitoria nei raggi-X dura in genere da poche ore a non più di qualche giorno. Questo comportamento è stato scoperto da Vito Sguera e coll. nel 2005/6 analizzando i dati del satellite Integral.

CBSS (Compact (o closed) binary super-soft X-ray source) (Binaria a contatto sorgente di raggi-X super-molli) Sistema binario a contatto identico al modello della nova, caratterizzato da scambio di materia verso l'astro collassato ed emissione di raggi X.

In questo sistema la materia che cade sulla **nana bianca** non si accumula, quindi non esplose, ma produce una combustione nucleare continua e una debole emissione di raggi-X molli. Per il fatto che non vanno soggette a eventi parossistici vengono dette **anti-novae**.

Identificate a partire dal 1999 dai sat. Einstein e Rosat. Pochi casi conosciuti: QR Andromedae, MR Velorum, V617 Sagittarii, V Sagittae, etc.

Fanno parte della eterogenea classe delle SSS (super-soft source) scoperta da quei satelliti.

Microquasar: corpi celesti di taglia stellare con alcune caratteristiche delle quasar galattiche: ad es. emissioni radio forti e variabili, spesso viste come getti radio, e un disco di accrescimento che circonda un probabile buco nero. La massa del disco deriva da una stella compagna normale e questo è molto luminoso nello spettro visibile e nei raggi X.

Le microquasar vengono talvolta chiamate **binarie a raggi X a getto radio** per distinguerle da altre binarie X. Una parte dell'emissione radio proviene da getti relativistici, mostrando spesso un *moto superluminale apparente*.

Alcune sorgenti (3 al 2020) emettono anche raggi γ ad energie alte e altissime (HE e VHE).

Il primo microquasar è stato scoperto in **SS433** (Stephenson–Sanduleak) = V1343 Aquilae.

Stelle polar (variabili tipo AM Herculis): caso particolare di binaria a raggi X caratterizzata da una emissione di fotoni linearmente polarizzati.

La vicinanza delle componenti e il forte campo magnetico (da 10 a 80 milioni di Gauss) ha reso sincrona la rivoluzione e, talvolta, l'orientamento dell'asse di rotazione della stella normale è a 90° rispetto a quello della stella collassata.

Quindi in questo sistema la stella normale rivolge sempre lo stesso emisfero alla stella collassata e talvolta il polo.

In questo sistema non si forma il disco di accrescimento ed il gas emesso dalla stella donatrice viene incanalato dai fortissimi campi magnetici direttamente sulla fotosfera della stella collassata con emissione di radiazione X.

[Per es., anche nel Sistema Solare, *Urano* ha l'asse di rotazione inclinato di circa 90° .]

Stella polar intermedia [intermediate polar] (variabili tipo DQ Herculis): sottoclasse di Stella polar caratterizzata da una emissione di fotoni linearmente polarizzati.

In questo sistema il campo magnetico, seppur forte (da 1 a 10 milioni Gauss), non ha reso sincrona la rivoluzione delle componenti.

Quindi in questo sistema la stella normale non rivolge sempre lo stesso emisfero alla stella collassata.

In ogni caso anche in questo sistema non si forma il disco di accrescimento ed il gas emesso dalla stella donatrice viene incanalato, talvolta sdoppiato, dai fortissimi campi magnetici direttamente sui poli della stella collassata con emissione di radiazione X.

Il prototipo è DQ Herculis che si è rivelata come nova nel 1934.

CAP. 7 - ALTRE STELLE

Stella ipergigante: termine che indica una stella massiccia, più grande di una stella supergigante. Hanno masse di 100/120 M_\odot . Sono considerate le stelle più luminose esistenti, fino a 2 milioni L_\odot .

La temperatura superficiale è compresa fra i 35.000 e 3.500 K quindi sono sia blu che gialle che rosse.

Sono molto rare ed hanno vita breve, qualche milione di anni.

Stelle variabili giganti di Hubble-Sandage: stelle enormi con masse dell'ordine di 50-80 masse solari, al limite della stabilità; molto rare, mostrano costanti ed intensissimi fenomeni di perdita di materia attraverso venti stellari che raggiungono velocità simili alle esplosioni di nova (**novae permanenti**).

Oggi vengono chiamate **LBV [Luminous Blue Variable]** (vedi in Stelle variabili – Cap. 4).

Stelle di Wolf-Rayet: stelle medio grandi, studiate dagli astronomi francesi Charles Wolf e Georges Rayet, che formano da sole la classe spettrale **W**.

Sono quasi sempre in sistemi doppi con stelle classe O (delle quali sono sistematicamente meno massicce) e sono soggette a costanti ed intensissimi fenomeni di perdita di materia attraverso venti stellari che raggiungono velocità simili alle esplosioni di nova (e per questo vengono dette **novae permanenti**).

Hanno la caratteristica di mostrare nello spettro o le righe del carbonio (le WC) o dell'azoto (le WN) ma mai entrambi insieme. Un ristrettissimo numero mostra le righe dell'ossigeno ionizzato fino a 5 volte O VI (le WO). Forse sono lo stadio evolutivo di enormi giganti classe O e delle LBV spogliate degli strati superficiali dal sopracitato fenomeno di perdita di materia.

Data la carenza di idrogeno potrebbero essere le progenitrici delle supernovae di tipo Ia (ma non vi sono osservazioni certe al riguardo).

Stella fuggitiva (runaway star): stella dotata di un elevatissimo moto vero, dell'ordine dei 100/200 km/s, che la porta rapidamente lontano da dove si è formata. Questo probabilmente dovuto a esplosioni di supernovae nelle vicinanze. Per confronto il Sole si sposta a 20 Km/s.

Celebri sono la AE Aurigae, 53 Arietis (AW Arietis) e μ Columbae che sembrano provenire dalla costellazione di Orione.

Spesso, nella direzione del moto, creano delle onde d'urto con la materia interstellare.

Stella iperveloce (hypervelocity star) o stella esule: stelle dotate di una elevatissima velocità, superiore addirittura alla velocità di fuga galattica e che quindi sono uscite dalla Via Lattea e non hanno più vincoli gravitazionali; hanno velocità dell'ordine dei 1000 km/s;

questa accelerazione è probabilmente dovuta alla espulsione da un sistema doppio; forse la compagna è stata inghiottita dal buco nero supermassiccio galattico.

Teorizzate nel 1998, la prima è stata scoperta nel 2005.

Stelle OH/IR: stelle supergiganti rosse tipo Mira Ceti pesantemente immerse nel materiale da loro stesse emesso, che irradiano la quasi totalità dell'energia nell'infrarosso.

Nello spettro è presente la riga dell'ossidrile OH che è un potente maser (l'effetto *maser* è il corrispettivo nelle microonde del *laser* in luce visibile).

Potrebbero essere la fase di transizione da gigante rossa a nebulosa planetaria, probabilmente una OHPNe.

Oggetto VLTP o Born-again star (Very late thermal pulse): stelle che vanno soggette ad un "impulso termico molto tardivo" attraversando una brevissima fase evolutiva, forse di appena 200 anni.

Si tratta di stelle di massa medio-bassa che dalla fase AGB (ramo asintotico delle giganti) si stanno trasformando in nebulose planetarie o lo sono già. Sono circondate dal gas da loro emesso.

L'improvviso bruciamento dell'elio accumulato attorno al nucleo di carbonio crea un'esplosione che emette nuovo materiale facendole diventare delle nebulose planetarie a doppio guscio.

Questa viene considerata una *rinascita* della stella.

Si conoscono pochi casi, più qualche caso dubbio.

Stelle blue-straggler (non esiste ancora un nome in italiano: vengono chiamate provvisoriamente **stelle vagabonde blu** o **stelle blu sbandate**): stelle che si trovano solitamente negli ammassi globulari, e che mostrano un'età sensibilmente inferiore all'età dell'ammasso di cui fanno parte.

Questo si deduce dal fatto che, in un diagramma H-R di un ammasso globulare, queste stelle hanno caratteristiche tali da essere collocate ancora sulla *sequenza principale* invece che sul *ramo delle giganti* (cioè sono blu invece che rosse) [ovvero si trovano al di sopra del "turn-off point", il punto di svolta].

Supernova superluminosa (SLSN): in questo secolo, diciamo dagli anni 2000, si stanno susseguendo osservazioni di eventi transienti ed esplosivi di sempre maggior intensità. Molti sono riconducibili ad esplosioni di supernovae che vengono chiamate genericamente supernovae superluminescenti. Sono stati anche conati dei nomi accrescitivi come **Ipernova** o **Kilonova**.

Si riscontra con sempre maggior frequenza che alcune di queste sono associate ai potentissimi GRB (esplosioni nel dominio dei raggi gamma). Alcune sembra che siano la prova osservativa di eventi finora solo teorizzati come le **supernovae a instabilità di coppia**. Taluni astronomi propongono anche eventi esotici come le **Quark-novae** (vedi cap. 8).

Supernova a instabilità di coppia: è un particolare tipo di supernova che si verifica quando la produzione di coppia (ovvero la produzione di elettroni liberi e positroni in seguito alle collisioni tra i nuclei atomici e i raggi gamma) determina una riduzione della pressione termica all'interno del nucleo di una stella molto massiccia. Sono create da stelle inizialmente super-massicce (130-250 M_{\odot}) e di bassa metallicità, tipiche di stelle di popolazione III. Queste esplosioni non lasciano residui collassati. Alcuni recenti eventi transienti (esplosioni) fanno credere che si tratti di questo tipo di SN. (SN 2006gy, SN 2007bi, SN 2016iet)

Ipernova (esplosione di ipernova): termine generico per indicare un'esplosione 100 volte superiore a quella delle supernovae.

Fino a qualche anno fa le esplosioni di supernovae tipo Ia erano considerate i fenomeni più energetici in campo stellare. Ma la controparte ottica di un **GRB** (gamma ray burst: esplosione nel dominio dei raggi gamma) scoperto dal satellite "Beppo" SAX era di tipo stellare.

Da qui il bisogno dei teorici di: 1. coniare un nuovo termine che rendesse l'idea di un fenomeno 100 volte più energetico di una supernova; 2. trovare una teoria adeguata.

Come progenitore attualmente gli astronomi propendono per stelle inizialmente supermassicce, dalla vita brevissima, che perdono gran parte, fino all'80%, della loro massa. Quando esplodono i detriti investono questa massa espulsa precedentemente aumentando la luminosità e la durata dell'evento (modello CSM - interazione con materiale circumstellare).

Kilonova: termine generico per indicare un'esplosione 1.000 volte più potente di quella delle novae e 10-100 volte superiore alle supernovae classiche probabilmente determinata dalla fusione di oggetti iperdensi come stelle di neutroni e buchi neri. Nell'ultima fase di vorticosa rivoluzione dei 2 oggetti prima della fusione il sistema è un forte produttore di onde gravitazionali (gw).

L'emissione di onde gravitazionali rivelate con gli strumenti LIGO e VIRGO a seguito dell'evento GW170817 (associato al GRB170817A) sembrerebbe essere associato ad una kilonova derivante dalla fusione di 2 stelle di neutroni.

Buco nero binario - Binary black hole (BBH): sistema costituito da 2 buchi neri orbitanti uno intorno all'altro. Probabilmente formatosi come resto di sistemi binari di grandi proporzioni (giganti azzurre) o da cattura dinamica di sistemi isolati. Estremamente difficili da rilevare, a causa dell'assenza di emissione elettromagnetica tipica di un buco nero, possono essere i responsabili delle onde gravitazionali recentemente rivelate con gli strumenti LIGO e VIRGO.

Lampo gamma - Gamma Ray Burst (GRB) (esplosione nel dominio dei raggi gamma): esplosione di proporzioni energetiche 100 volte più elevate di quelle delle supernovae ma di breve durata. Conosciuti da 30 anni non si disponeva di strumenti capaci di localizzarli.

La prima localizzazione certa è avvenuta ad opera del satellite "Beppo" SAX nel 1996.

Vengono classificati in 2 categorie:

- i **GRB "lunghi"** con durata superiore a 2 secondi (fino a circa 100 sec.);
- i **GRB "corti"** con durata inferiore a 2 secondi.

Il flusso dei raggi gamma non è omnidirezionale ma è strettamente collimato verso i poli della sorgente.

I **GRB "lunghi"** sono esplosioni di tipo stellare; alcuni sono stati associati con certezza alle supernovae tipo I b/c (il cui progenitore è una stella gigante blu, singola, di 20-30 masse solari).

Per i **GRB "corti"** attualmente non è ancora stato individuato con certezza un progenitore possibile.

Si ipotizza la collisione e/o fusione delle componenti di un sistema doppio di stelle di neutroni.

SGR (Soft Gamma-ray Repeaters) [Ripetitore di raggi gamma "molli" a bassa energia]: intense e ripetute esplosioni (*burst*) che vengono rivelate come potenti *flash* nei raggi X;

i *burst* sono più intensi a distanza di qualche anno;

si è chiarito che sono generati da particolari stelle di neutroni super-magnetiche dette *magnetar*.

AXP [Anomalous X-ray Pulsar] (Pulsar a raggi-X anomale): Pulsar che emettono nei raggi X a energie estremamente elevate, maggiori di quelle previste dalla sola perdita di energia rotazionale; né l'energia deriva da accrescimento di una compagna in quanto quelle conosciute risultano singole e isolate (INS); Eventi esplosivi sporadici; burst modesti solo una o due volte ogni dieci anni. Sono pulsar lente (con periodo da 2 a 12 sec.) e con magnetismo elevato (10^{13} - 10^{15} Gauss); Si è chiarito che sono collegate a particolari stelle di neutroni super-magnetiche dette *magnetar*.

HBP [High-magnetic field Pulsar o High-B Rotation-Powered Pulsar]: giovani pulsar con altissimo campo magnetico generato dalla rotazione; campo magnetico $B = 3.2 \times 10^{15}$ T (10^{19} G); la potenza di rotazione può tenere conto della luminosità dei raggi X osservata; potrebbero essere considerati oggetti di transizione tra le *magnetar* e le stelle di neutroni convenzionali.

RRAT [rotating radio transient] (Transitori o transienti radio rotanti): sono fonti di impulsi radio corti, moderatamente luminosi.

In sostanza sono pulsar altamente magnetiche, quindi magnetar, con impulsi radio accentuati rispetto alle pulsar normali.

Scoperte nel 2006 (PSR J1819-1458 poi RRAT J1819-1458) si contano oggi circa 100 casi.

Alcuni astronomi ritengono che le RRAT non siano una classe a parte ma solo un appellativo in funzione del sistema col quale vengono scoperte.

Magnetars (Magnetically-powered neutron stars) [Stella di neutroni super-magnetica]: stella di neutroni caratterizzata da un intensissimo campo magnetico dell'ordine di 10^{11} tesla (10^{15} gauss) [1 gauss è il campo magnetico terrestre]; il più intenso in assoluto in campo stellare; 1.000 volte superiore a quello di una stella di neutroni "normale";

La sola energia cinetica rotazionale non può spiegare la loro emissione.

Si calcola che una stella di neutroni può stare in questo stato circa 10.000 anni.

Si ipotizza siano le stelle responsabili dei SGR (ripetitori di raggi gamma "molliti") [vedi SGR].

CCO – compact central object (oggetto centrale compatto): Oggetti situati nelle vicinanze del centro geometrico di alcuni resti di supernova; se ne conoscono ~15;

Mostrano solo emissioni di raggi X morbide (soft) di tipo termico e non hanno controparti a qualsiasi altra lunghezza d'onda; Non sono circondati da un plerione;

Campo magnetico (B) paragonabile ed anche inferiore ad una comune pulsar (10^{10} gauss) e per questo detti "anti-magnetar";

il primo CCO osservato si è rivelato essere una magnetar molto peculiare, la scoperta che 3 membri della famiglia sono stelle di neutroni isolate (INS) debolmente magnetizzate pone le basi per un'altra interpretazione della classe.

CAP. 8 – STELLE ESOTICHE E SPECULAZIONI

Stella esotica: particolare tipo di stella degenerare costituito da particelle diverse dalla materia ordinaria (protoni, neutroni, elettroni) che sostiene il collasso gravitazionale grazie alla pressione degenerativa o ad altri effetti quantistici.

Rientrano in questa categoria:

1. Stella di quark strange o stella strana;
2. Stella di preoni;
3. Stella Q (o *buco grigio*);
4. Stella elettrodebole;
5. Stella di bosoni;
6. Stella di Planck.

1. **Stella di quark strange (o stella strana):** sostanzialmente è stella di neutroni più densa, e quindi di diametro inferiore, alla stella di neutroni normale.

Dovrebbe essere formata oltre che dai quark **Up** e **Down** (i costituenti della materia ordinaria) anche da quark **Strange**, tutti in uno stato libero, cioè non confinato in neutroni. È chiamata anche **Stella strana**. Ipotizzata dai teorici è stata ora forse riscontrata nella pulsar a raggi X SAX J1808.4-3658 (V4580 Sagittarii) scoperta dal satellite "Beppo" SAX.

2. **Stella di preoni:** ammettendo che i **quark** e i **leptoni** non siano particelle elementari ma costituiti da **preoni**, si può speculare sulla possibilità che tra la stella di quark ed il buco nero di massa stellare esista un ulteriore stato intermedio: la stella di preoni.

Un oggetto del genere avrebbe una densità dell'ordine di 10^{23} kg/m³, la stessa che si otterrebbe comprimendo la massa della Terra in una sfera grande come una pallina da tennis.

Le stelle preoniche potrebbero essere una componente della materia oscura.

3. **Stella Q (o buco grigio):** è un'ipotetica stella di neutroni più compatta, con uno stato esotico della materia, che, in teoria, potrebbe presentare un raggio anche solo del 50% maggiore del proprio raggio gravitazionale [raggio di Schwarzschild], il che renderebbe molto difficile distinguerla da un buco nero stellare.

L'oggetto compatto nel sistema V404 Cygni potrebbe essere un **buco grigio**. [vedi microquasar, cap. 6]

4. **Stella elettrodebole:** è possibile che quando una stella di neutroni, avendo ecceduto il limite di Tolman-Oppenheimer-Volkoff, si contrae per divenire un buco nero stellare, al suo interno i quark inizino a convertirsi in leptoni (come gli elettroni, ma soprattutto neutrini) mediante l'interazione elettrodebole.

L'energia liberata da questo processo, che avrebbe luogo nel nucleo della stella di neutroni in una regione delle dimensioni di una mela ma dotata di una massa doppia di quella terrestre, potrebbe sostenere il totale collasso della stella per circa 10 milioni d'anni.

Una eventuale stella di neutroni in questa fase viene chiamata **stella elettrodebole**.

5. **Stella di bosoni:** gli oggetti finora descritti sono costituiti da materia ordinaria, ma è stata teorizzata l'esistenza di stelle composte da bosoni. Ciò richiederebbe l'esistenza di una particella bosonica dotata di piccola massa e stabilità.

Una siffatta stella di bosoni potrebbe essersi originata per collasso gravitazionale nei primi istanti di vita dell'universo, similmente ai buchi neri primordiali. Potrebbe essere possibile individuare eventuali stelle di bosoni binarie attraverso la rilevazione delle onde gravitazionali da queste emesse.

Qualcuno ha avanzato l'ipotesi che al centro delle galassie e nel nucleo delle galassie attive possano trovarsi stelle di bosoni supermassicce.

Le stelle di bosoni potrebbero infine rappresentare una frazione della materia oscura.

6. **Stella di Planck:** nel 2014, Carlo Rovelli e Francesca Vidotto hanno ipotizzato che al centro dei buchi neri, invece di una singolarità gravitazionale, possa trovarsi una stella di Planck, un oggetto con una densità energetica prossima al valore planckiano (ca. $4,633 \times 10^{113}$ J/m³) e una dimensione superiore alla lunghezza di Planck, sostenuta contro il catastrofico collasso gravitazionale dalla pressione quantistico-gravitazionale. Secondo la teoria, un tale oggetto avrebbe un'esistenza brevissima nel suo tempo proprio, poiché alla contrazione progenitrice seguirebbe un immediato effetto di rimbalzo verso l'esterno, ma per il resto dell'universo la stella impiegherebbe un tempo molto lungo a "evaporare" a causa dell'enorme dilatazione temporale gravitazionale; in altri termini, tale "evaporazione" si manifesterebbe come la prevista radiazione di Hawking. È stata predetta peraltro l'emissione di un segnale di raggi gamma rilevabile al momento della totale dissoluzione del buco nero, allorché la stella di Planck rimarrebbe esposta. Se l'esistenza delle stelle di Planck venisse confermata verrebbe risolto il paradosso dell'informazione del buco nero e evitate possibili violazioni della causalità.

Stella di neutroni ibrida: il fluido di quark isolati, ma solo con gli Up e Down, potrebbe interessare solo la zona centrale, quella più densa, di una stella di neutroni mentre gli strati più esterni a pressione minore continuerebbero ad essere formati da neutroni. In questo caso avremmo una *stella di neutroni ibrida*.

Una stella di neutroni normale o ibrida è tenuta insieme dalla forza di gravità mentre una stella di quark dalla forza nucleare forte (cioè i gluoni). Se la stella di neutroni ruotasse a più di 1.000 giri/s andrebbe incontro al disfacimento mentre una stella di quark potrebbe avere la meglio sulla forza centrifuga.

Quindi ogni stella di neutroni/pulsar con periodi inferiori a 1 ms (ad es. 0,9 ms = 0,0009 s) potrebbe essere una stella di quark.

Finora nessuna è stata scoperta. [il massimo è PSR J1748-2446ad 0.00139595482 s, 716.35556 giri/s]

Oggetto Thorne-Żytkow (TŻO o TZO): tipo di stella proposta nel 1977 da Kip Thorne e Anna Żytkow in cui una gigante rossa contiene una stella di neutroni nel suo nucleo per fusione delle 2 stelle.

Questo può avvenire durante l'evoluzione di una stella binaria a contatto quando una componente è già un astro collassato e l'altra diventa gigante o supergigante rossa inglobando la stella collassata nella fase detta CE (common envelope), a involuppo comune. Oppure dopo una esplosione di supernova asimmetrica se il resto degenere va in direzione del nucleo della stella compagna.

Queste fusioni potrebbero formare un oggetto Thorne-Żytkow con le proprietà di una variabile tipo R Coronae Borealis. Attualmente nessun caso conosciuto.

[Nota: Kip Thorne è stato insignito del Premio Nobel per la fisica per la scoperta delle onde gravitazionali]

Quark-nova: è una ipotetica esplosione creata dalla trasformazione di una stella di neutroni in una stella di quark.

Il termine quark-nova è stato coniato nel 2002 da Rachid Ouyed e colleghe.

Quando una stella a neutroni rallenta la sua rotazione, esiste la possibilità che si trasformi in una stella di quark per mezzo di un processo chiamato *confinamento dei quark*.

Il processo inoltre rilascerebbe una immensa quantità di energia, che spiegherebbe le più potenti esplosioni energetiche nell'universo.

Stelle di neutroni che ruotano ad alta velocità con masse comprese tra 1,5 e 1,8 M_{\odot} sono teoricamente le migliori candidate per questa trasformazione.

Prove dirette di quark-novae sono scarse; recenti osservazioni delle supernovae SN 2006gy, SN 2005gj e SN 2005ap potrebbero dimostrare la loro esistenza (vedi Supernovae superluminose SLSN, cap. 7).

Stella oscura (dark star): oggetto **solo** teorizzato. Stella che si ipotizza possa essersi formata nelle primissime fasi di vita dell'universo, quando questo era dominato dalla cosiddetta "materia oscura".

In queste stelle la produzione di energia deriverebbe dall'annichilazione della "materia oscura" nel loro nucleo.

Le stelle oscure dovrebbero aver avuto dei parametri fondamentali eccezionali: $M= 10.000 M_{\odot}$, $L= 10^9 L_{\odot}$, $T= 50.000 K$, $R= 30 U.A.$ [fonte: Le stelle n. 84 maggio 2010].

Gravastar (Stella di energia oscura): oggetto **solo** teorizzato per aggirare i paradossi derivanti dalla teoria del buco nero, ovvero la formazione di una singolarità a densità infinita.

Quindi secondo Pawel Mazur e Emil Mottola prima del collasso definitivo si determinerebbe una transizione di fase quantistica che arginerebbe il fenomeno. Il residuo stellare si trasformerebbe in una bolla di vuoto carico di **energia oscura**.

Stella nera: oggetto **solo** teorizzato. Oggetto simile al **buco nero** ma senza l'orizzonte degli eventi. In questo caso alcune "informazioni elettromagnetiche" potrebbero uscire dall'oggetto che non sarebbe completamente collassato.



*no' si volta chi
a stella è fisso*

(Leonardo)