

EDDINGTON, RUSSELL E IL PROBLEMA DELLE STELLE GIGANTI

DAVIDE CENAPELLI

Istituto di Fisica Generale Applicata, Sezione di Storia della Fisica
Università degli Studi di Milano

1. Le teorie dell'evoluzione stellare di fine Ottocento

La nascita dell'astrofisica, avvenuta negli anni '60 dell'Ottocento¹, e l'imperioso sviluppo conosciuto dalla nuova disciplina nei decenni successivi, portarono all'acquisizione di ingentissime raccolte di dati spettroscopici e fotometrici per le stelle. Già verso la fine dell'Ottocento era chiara l'esistenza di una sequenza spettrale, ovvero di una sequenza di tipologie per gli spettri stellari, che si prestava ad essere ordinata secondo un criterio di crescente complessità dello spettro, che nei primi anni del Novecento si sarebbe rivelato essere contemporaneamente un criterio di temperatura decrescente². Anche se non ancora incontrovertibilmente dimostrata, tale idea era già piuttosto diffusa alla fine del secolo precedente, al punto che conobbe una certa fortuna una teoria dell'evoluzione stellare che prevedeva un semplice raffreddamento: una stella, nata calda, avrebbe percorso così l'intera sequenza spettrale raffreddandosi man mano. Un quadro di questo tipo pone però dei problemi di tipo energetico: la stella dovrebbe acquisire energia termica in precedenza, in maniera non chiarita, per potersi poi raffreddare.

Il problema della struttura ed evoluzione stellare era già stato affrontato anche da alcuni studiosi che avevano studiato le stelle da un punto di vista termodinamico e non spettroscopico: già dalla metà dell'Ottocento Helmholtz aveva osservato come una sfera gassosa che si contrae venga rifornita di energia potenziale gravitazionale, e H. Lane nel 1869 aveva

¹ Sulla nascita dell'astrofisica esiste un'ampia letteratura, che individua in maniera pressoché unanime l'inizio della nuova disciplina nei lavori sullo spettro solare di R. Bunsen e G. Kirchhoff del 1860-1862.

² La dimostrazione quantitativa di ciò fu offerta per la prima volta a Potsdam da J. Wilsing e J. Scheiner che tra il 1905 e il 1910 determinarono la temperatura superficiale di 109 stelle confrontando lo spettro emesso ad uno spettro planckiano. Essi poterono confermare che l'ordine cromatico blu – giallo – rosso è un ordine di temperatura decrescente.

dedotto che una sfera autogravitante di gas perfetto contraendosi si debba scaldare perché solo una parte dell'energia potenziale viene irraggiata, mentre l'altra parte viene convertita in energia termica. A. Ritter negli anni '80 partì da questa considerazione per proporre una teoria evolutiva alternativa a quella del semplice raffreddamento: una stella si sarebbe contratta per un certo tempo scaldandosi in condizione di gas perfetto, percorrendo così la sequenza spettrale in un senso, fino a che l'eccessiva compressione faceva venire meno la condizione di gas perfetto così che la stella cominciava a raffreddarsi ripercorrendo la sequenza in senso inverso, secondo uno schema complessivo:

*rosso → giallo → blu → giallo → rosso*³.

È implicito in queste considerazioni il fatto che una stella debba essere di dimensioni maggiori quando si affaccia alla sequenza spettrale sul lato più freddo e si vada via via contraendo fino a raggiungere le temperature superiori; cosa avvenga dopo non si può dire dato che viene a cessare la validità della legge dei gas perfetti e gli astronomi non erano in grado di descrivere le diverse condizioni in cui si sarebbe trovato il gas stellare. L'eventuale scoperta dell'esistenza di stelle rosse di grandi dimensioni e di stelle azzurre più piccole, se interpretata attraverso le aspettative generate da questo paradigma concettuale, avrebbe fornito una forte conferma perlomeno alla teoria riguardante la prima parte del cammino evolutivo della stella.

2. Il diagramma colore-luminosità e l'interpretazione evolutiva di Russell: le giganti sono stelle giovani?

Questo è ciò che in effetti avvenne qualche decennio dopo, allorché, tra gli anni 1905 e 1914, E. Hertzsprung e H.N. Russell elaborarono, indipendentemente l'uno dall'altro, il diagramma colore-luminosità per le stelle, che poi prenderà il loro nome. Questo diagramma è anche oggi un strumento della massima importanza per lo studio dell'evoluzione stellare, ed è curioso osservare come tale importanza fu immediatamente colta dallo stesso Russell allorché pubblicò il primo diagramma avente gli assi coordinati disposti come quelli attualmente usati, basato su un campione di circa 300 stelle⁴:

³ Sui contributi di Helmholtz, Lane e Ritter v. Arny, Thomas, "The Star Makers: A History of the Theories of Stellar Structure and Evolution", *Vistas in Astronomy* **33** (1990), 211-223; 212-214.

⁴ Il diagramma fu pubblicato in Russell, Henry N., "Relations between the spectra and other characteristics of the stars", *Nature* **93** (1914), 227-231, 252-258, 281-

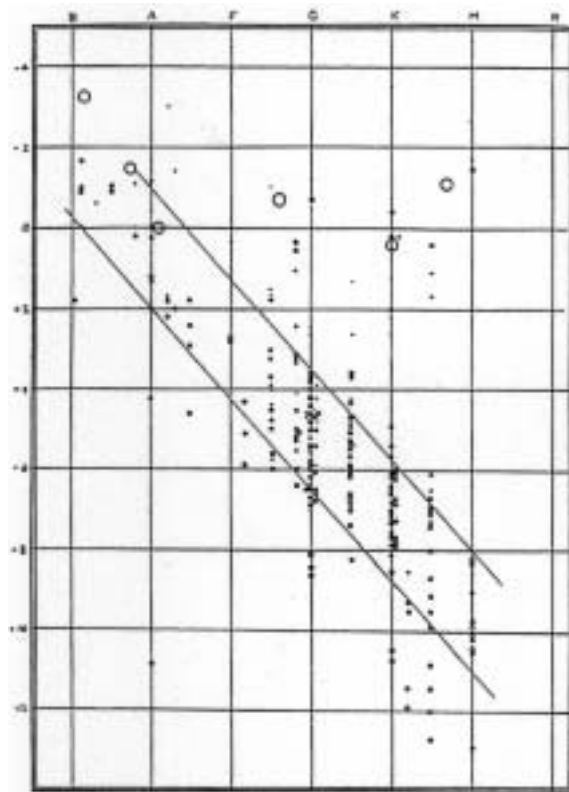


Fig. 1 – In ascissa la sequenza spettrale di Harvard; in ordinata la magnitudine assoluta.

286; 252. Il medesimo articolo fu pubblicato anche in *Popular Astronomy* **22** (1914), 275-294 e 331-351. Il contenuto di questo articolo era stato presentato ad Atlanta ad un *meeting* della American Astronomical Society nel dicembre 1913. Quello di Russell non è il primo diagramma ad apparire: Hertzsprung ne aveva già pubblicati nel 1911 per stelle d'ammasso in Hertzsprung, Ejnar, "Über die Verwendung photographischer effektiver Wellenlängen zur Bestimmung von Farbenäquivalenten", *Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam* **22:63** (1911), 1-40. Senonché il campione di stelle utilizzato da Russell è molto più vasto. D'altra parte Russell, in un lavoro di poco precedente a quello menzionato, che essenzialmente tratteggiava in maniera meno completa le stesse conclusioni (Russell, Henry N., "'Giant' and 'Dwarf' Stars" *Observatory*, **36** (1913), 324-329), riconobbe a Hertzsprung la priorità osservando (v. p. 326): "All I have done [...] is to use more extensive observational material."

Fu subito evidente a Russell che:

[...] there are two great classes of stars, one of great brightness (averaging, perhaps, a hundred times as bright as the sun), and varying very little in brightness from one class of spectrum to another; the other of smaller brightness, which falls off very rapidly with increasing redness. These two classes were first noticed by Hertzsprung⁵, who has applied to them the excellent names *giant* and *dwarf* stars^{6,7}.

Russell era molto interessato ai problemi relativi all'evoluzione stellare. Lo si deduce anche dalle parole con cui comincia l'articolo del 1913 "‘Giant’ and ‘Dwarf’ Stars"⁸:

I would like to talk now about some studies bearing upon stellar evolution, beginning with the relation between the spectral types of the stars and their brightness.⁹

Di conseguenza, nello stesso lavoro del 1914 nel quale presentò il diagramma tentò di interpretarlo in chiave evolutiva. Era evidente che il diagramma mostrasse l'esistenza delle due categorie di stelle, le une di maggiori dimensioni, le giganti, le altre più piccole, le nane, richieste da una teoria come quella di Ritter. In altri termini, l'elaborazione del diagramma ebbe l'effetto di rafforzare questa idea del cammino evolutivo di una stella, laddove l'idea del raffreddamento progressivo ne usciva sconfitta.

Un'ulteriore conferma fu offerta dagli studi che lo stesso Russell aveva perseguito negli anni precedenti sulle masse stellari ricavate dall'osservazione di stelle binarie. Grazie ad essi, lo scienziato americano poté concludere che la differenza in massa fra diverse stelle risultava normalmente molto più contenuta rispetto alle enormi differenze in volume

⁵ Russell cita in nota il riferimento ad un lavoro di Hertzsprung pubblicato nel 1905 sulla *Zeitschrift für wissenschaftliche Photographie* che è il primo in ordine cronologico dello scienziato danese ad occuparsi del problema del rapporto tra temperatura superficiale delle stelle e loro luminosità.

⁶ Compare qui la distinzione tra stelle "giganti" e "nane" dovuta al fatto, di cui si resero conto sia Hertzsprung che Russell, che se due stelle hanno la medesima temperatura superficiale ma luminosità differente devono avere una superficie radiante di diverse dimensioni.

⁷ Russell (1914) cit. 253.

⁸ Russell (1913) cit.

⁹ *Ibid.* 324.

tra stelle nane e giganti, con la conseguenza che le prime risultavano essere molto più dense delle seconde. Ecco quindi un'ulteriore conferma: se le stelle giganti sono molto meno dense esse sono presumibilmente costituite di gas perfetto¹⁰.

Russell propose allora una teoria evolutiva che prevedeva l'esistenza di due fasi:

- una prima fase di contrazione e riscaldamento come gas perfetto nel corso della quale la stella percorreva il ramo orizzontale, quello delle giganti, da sinistra verso destra; in questo caso l'aumento di temperatura superficiale unito alla diminuzione del raggio avrebbe spiegato la luminosità circa costante della stella¹¹;
- una seconda fase in cui, a causa dell'eccessiva compressione del gas che si aveva quando la stella raggiungeva la sequenza principale¹², veniva meno la condizione di gas perfetto e la stella continuava a contrarsi ma senza più scaldarsi, al contrario raffreddandosi¹³.

La conseguenza era che *le stelle giganti dovessero essere considerate stelle giovani*, con quelle di classe M le più giovani di tutte.

Bisogna osservare come la teoria (che chiamerò la “prima teoria dell'evoluzione di Russell” per distinguerla da una “seconda” di cui parlerò nel seguito) costituisse una sintesi mirabile di tutte le informazioni ricavate dalle osservazioni disponibili: i dati di luminosità, temperatura superficiale, massa e densità. Questa capacità di creare quadri teorici complessivi emerge in questo come in altri casi, come un tratto tipico del modo di interpretare il rapporto teoria-osservazioni da parte di Russell. Questi da molti punti di vista può essere però considerato maggiormente un astrofisico osservativo, seppure interessato anche ai problemi teorici. Ciò che si osserva è che spesso in tali quadri teorici Russell non si pone in maniera “problematica” rispetto alla teoria: egli, non sappiamo quanto consapevolmente, si pone in realtà all'interno di un quadro teorico preesistente, quello di Ritter e Lockyer¹⁴, e

¹⁰ Questo è certamente vero, senonché anche le stelle di sequenza principale sono pure costituite di gas perfetto, cosa che però all'epoca non si riteneva plausibile a causa della loro densità media molto elevata (dell'ordine di 1 g/cm^3). Su questo punto ritornerò nel seguito del presente articolo.

¹¹ Dato che nell'approssimazione di corpo nero si ha $L \propto R^2 T^4$.

¹² Viene detta “sequenza principale” nel diagramma la sequenza delle nane (principale perché ad essa appartiene la maggioranza delle stelle).

¹³ Senza che per il momento fosse possibile descrivere fisicamente questo secondo processo.

¹⁴ Lo schema di Ritter era stato abbondantemente rielaborato verso la fine dell'Ottocento da Sir Norman Lockyer, che pure aveva descritto un cammino

interpreta le sue osservazioni utilizzando come presupposti gli schemi interpretativi di tale quadro. Bisogna anche osservare come a Russell, nel 1914, mancassero del tutto i mezzi per tentare un'interpretazione diversa: non aveva alcuna teoria del comportamento della materia a livello atomico, per non dire nucleare, e di conseguenza non aveva la possibilità di tentare di comprendere la natura di eventuali *sorgenti di energia non gravitazionale all'interno delle stelle*.

Ciononostante, non ne esclude completamente la presenza, relegandola però arbitrariamente ad un ruolo di secondo piano:

It is conceivable that at some particular epoch in a star's history there might be so rapid an evolution of energy – for example, of a radioactive nature – that it temporarily surpassed the loss of radiation and led to an expansion against gravity, but this would be, at most, a passing stage in its career, and it would still be true in the long run that the order of increasing density is the order of advancing evolution.¹⁵

Come vedremo nel prossimo paragrafo, Eddington avrebbe affrontato con maggiore cautela il problema delle sorgenti non gravitazionali delle stelle.

3. Eddington e l'equilibrio radiativo per le stelle giganti: la relazione massa-luminosità

Arthur S. Eddington elaborò a partire dal 1916 e fino al 1932 una complessa teoria dell'interno stellare, il primo modello dettagliato capace di spiegare le caratteristiche fisiche delle regioni interne delle stelle, invisibili all'osservazione, e di porle in relazioni a caratteristiche osservabili quali la massa e la luminosità così da consentire una verifica osservativa dei modelli ideati. Eddington intendeva utilizzare l'equazione di stato dei gas perfetti, e nel 1916 decise allora di concentrare la sua attenzione solo sulle stelle giganti, dato che anch'egli – come Russell – riteneva sufficientemente

evolutivo costituito da una prima fase di riscaldamento seguita da uno di raffreddamento (v. Lockyer, J. Norman, "Researches on the Spectra of Meteorites" *Proc. Roy. Soc.* **43** (1887), 117-156 e sulla medesima rivista "Suggestions on the Classifications of the various Species of Heavenly Bodies" **44** (1888), 1-95). Russell si riferì esplicitamente a Lockyer in Russell (1914) cit.

¹⁵ Russell (1914) cit. 283.

accertato che per tali stelle, più rarefatte, tale legge valesse¹⁶, mentre presumeva che perdesse di validità per le più dense nane.

Considerando l'ulteriore ipotesi di una stella in equilibrio radiativo, nella quale il trasporto di energia avvenisse esclusivamente per radiazione (conduzione e convezione assenti), Eddington ricavò la famosa relazione luminosità (L) – massa (M) – temperatura superficiale (T_e) – peso molecolare medio (μ)¹⁷:

$$L \propto M^{7/5} (1-\beta)^{3/2} \mu^{4/5} T_e^{4/5} \quad (1)$$

Ove la quantità β è data dalla relazione¹⁸:

$$1-\beta = 0.00309 M^2 \mu^4 \beta^{4/5} \quad (2)$$

Eddington non conosceva la costante di proporzionalità, che ricavò utilizzando i dati osservativi di una stella (gigante!) di cui fossero ben note massa e parallasse: Capella. Inoltre, dovette stimare il valore di μ : osservò che per un miscuglio di elementi qualsivoglia, con l'unica condizione che vi sia poco idrogeno¹⁹, a causa delle altissime temperature esistenti negli interni

¹⁶ Nelle regioni centrali di una stella gigante Eddington supponeva che il gas fosse per la verità molto denso, ma anche così caldo da non mettere in dubbio la validità della legge. Tale considerazione è corretta anche al di là delle sue ipotesi: per questo motivo la legge dei gas perfetti vale anche per le stelle nane, come Eddington avrebbe successivamente capito (v. oltre in questo articolo).

¹⁷ Eddington, Arthur S., "Applications of the Theory of the Stellar Absorption-Coefficient", *Mont. Not. Roy. Astr. Soc.* **83** (1922), 98-109; 107.

¹⁸ Eddington, Arthur S., "On the Relation between the Masses and Luminosities of the Stars", *Mont. Not. Roy. Astr. Soc.* **84** (1924), 308-332; 309. Il termine β rappresenta il rapporto tra la pressione gassosa e quella totale, data dalla somma della pressione gassosa e quella di radiazione.

¹⁹ In realtà questa ipotesi è scorretta. Eddington se ne rese conto in un momento successivo, allorché fu possibile ricavare la costante di proporzionalità della (1) a partire dalla teoria e questa risultò molto maggiore del valore ricavato con i dati osservativi di Capella. Eddington rispose la questione ammettendo un valore differente per μ , decisamente più basso e corrispondente ad una abbondanza notevole dell'idrogeno. Su questa questione v. Eddington, Arthur S. (1932) "The hydrogen content of the stars" *Mont. Not. Roy. Astr. Soc.* **92** (1932), 471-481. Tali considerazioni sono comunque ininfluenti al fine della nostra discussione.

stellari e alla conseguente ionizzazione pressoché completa degli elementi tale valore dovesse valere circa 2. Tabulò allora la relazione (1)²⁰:

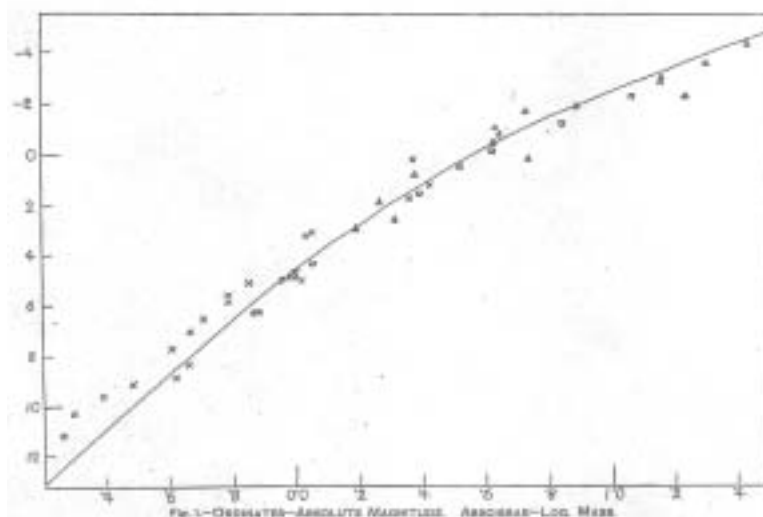


Fig. 2 – La relazione massa – luminosità di Eddington.

In figura i dati osservativi sono ridotti a $T_e=5200$ K (la temperatura superficiale di Capella)²¹. I dati osservativi in figura compaiono sotto forma di cerchi, quadrati, triangoli o croci a seconda del maggiore o minore grado di precisione con cui erano stati determinati i parametri fisici delle stelle.

Nella figura precedente Eddington osservò una cosa che non si aspettava: la relazione massa-luminosità valeva anche per stelle nane, relativamente dense, quali le due componenti di α Cen o il Sole. La necessaria conclusione fu che *anche per le stelle nane vale l'equazione di stato dei gas perfetti*²²:

²⁰ Eddington (1924) cit. 310.

²¹ Il che significa che se si considera una stella con temperatura differente bisogna aggiungere un termine $-2\log_{10}(T_e/5200)$ alla magnitudine assoluta, in pratica bisogna spostare un pochino la curva verso l'alto o verso il basso.

²² Eddington si rese velocemente conto del perché: riprendendo un ragionamento di Jeans, arguì che l'altissimo grado di ionizzazione faceva sì che gli atomi fossero di dimensioni molto inferiori rispetto allo stato neutro, così che potevano essere considerati "a contatto" solo per densità enormemente superiori a quelle oltre le quali un gas costituito di atomi neutri cessa di comportarsi come un gas perfetto.

But what I wish to bring out is, that in applying the Lane-Ritter theory to stellar evolution we have been influenced by a false analogy between the mutilated stellar atoms and ordinary atoms; we can at least see now that this analogy is unfounded [...]. There is no theoretical reason to expect a change in stellar conditions as the star reaches a density of 0.1 – 1; and the indications here found, that the condition of a perfect gas persists up to higher densities, are not to be dismissed as incredible.²³

L'immediata conseguenza di ciò fu che cadde l'intera prima teoria dell'evoluzione stellare di Russell. Eddington se ne rese immediatamente conto e propose una nuova interpretazione evolutiva del diagramma temperatura-luminosità, la cui validità osservativa riteneva essere comunque fuori discussione. Tracciò schematicamente la sequenza principale e il ramo delle giganti in questo modo²⁴:

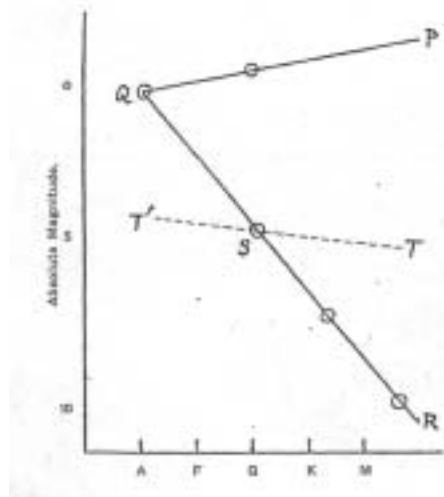


Fig. 3 – In ascissa la sequenza spettrale di Harvard; in ordinata la magnitudine assoluta.

Eddington osservò come il punto S potesse identificare un punto di quasi equilibrio in un cammino evolutivo identificato da un tragitto del tipo T –T' oppure T'–T, senza che fosse al momento possibile stabilire in quale

²³ Eddington (1924) cit. 322.

²⁴ *Ibid.* 326.

dei due sensi il cammino effettivamente avvenisse. In altre parole, le stelle giganti potrebbero essere *stelle giovani o vecchie*. Il fatto di identificare un cammino evolutivo pressoché orizzontale sul diagramma era dovuto alla stessa relazione massa-luminosità²⁵. Per passare dalla parte alta alla parte bassa della sequenza principale una stella dovrebbe perdere moltissima massa, cosa ritenuta alquanto improbabile.

Eddington si rese conto della centralità delle sorgenti energetiche non gravitazionali nel determinare l'evoluzione di una stella. In altri termini, se è assodato che una stella nasce come corpo in contrazione a partire da una nebulosa, non è detto che tale contrazione non possa trasformarsi in un'espansione in seguito a processi energetici attivi nelle regioni interne della stella. Eddington osservò esplicitamente:

[...] we have no knowledge of the conditions under which the star's unknown source of energy²⁶ is liberated; and in these circumstances speculation is unlimited and chiefly unprofitable."²⁷

4. Una nuova teoria dell'evoluzione ad opera di Russell

Nel 1925 Russell espose una nuova teoria dell'evoluzione stellare²⁸ che teneva in considerazione le conclusioni di Eddington nonché le notevoli conquiste intanto sopravvenute sul versante della fisica atomica. In particolare, adesso Russell aveva a disposizione:

- la teoria dell'equilibrio radiativo di Eddington;

²⁵ Il fatto che la massa stellare presumibilmente non cambi molto nel tempo implica che anche la luminosità non debba variare più di tanto.

²⁶ Eddington non dubitava che tali sorgenti esistessero. Egli stesso aveva calcolato che una stella gigante che tragga il proprio sostentamento dalla sola contrazione gravitazionale debba passare dalla fase rossa a quella gialla non più di poche decine di migliaia di anni, un tempo inverosimilmente breve. Inoltre, studiando le variazioni del periodo di variabilità delle Cefeidi, nel caso vi fosse come unica sorgente la contrazione gravitazionale, il periodo di variabilità sarebbe diminuito nel tempo molto più velocemente di quanto realmente osservato. In altri termini, era ormai convinzione diffusa nei primi anni '20 che tali sorgenti dovessero esistere, ma ancora non si sapeva quali potessero essere, sebbene lo stesso Eddington con straordinario intuito già nel 1919 aveva supposto che potesse trattarsi di un processo che utilizzasse l'idrogeno come combustibile, per senza (ovviamente) saper descrivere il processo.

²⁷ Eddington (1924) cit. 327.

²⁸ In Russell, Henry N., "The Problem of Stellar Evolution", *Nature* **116** (1925), 209-212.

- il riconoscimento della validità della legge dei gas perfetti anche per le stelle nane;
- l'evidenza che sorgenti non gravitazionali fossero non solo presenti, ma anche preponderanti rispetto a quelle gravitazionali, perlomeno per lunghi periodi della vita stellare²⁹.

Russell si concentrò proprio sui processi energetici, di cui riconobbe la centralità, ipotizzando che essi potessero consistere in processi di annichilazione di materia convertita in energia, secondo l'equivalenza massa-energia dimostrata da Einstein. Pur senza potere speculare circa la natura precisa di tali processi, per mancanza di conoscenze precise sui processi subatomici, Russell ritenne che l'annichilazione portasse ad una lenta diminuzione della massa stellare, il che permetteva un decremento della luminosità³⁰, così che una stella potesse discendere la sequenza principale man mano che invecchiava. Questo non spiegava però perché le stelle avessero proprio, in corrispondenza delle diverse luminosità, le temperature superficiali tipiche della sequenza principale. Russell trovò una spiegazione calcolando, sulla base della teoria di Eddington, le curve sul diagramma corrispondenti ad uguale massa (nella figura riportata sotto³¹, quelle quasi orizzontali, come richiesto dalla relazione massa-luminosità) e ad eguale temperatura centrale (le curve inclinate), una delle quali si disponeva più o meno come la sequenza principale. Essa corrispondeva alla temperatura di 30 milioni di gradi:

²⁹ V. nota 26; inoltre vi era l'evidenza mutuata dalle geologia e biologia che il Sole dovesse esistere da tempi molto più lunghi di quelli consentitigli dal solo rilascio di energia gravitazionale.

³⁰ In obbedienza alla legge massa-luminosità.

³¹ Russell (1925) cit. 210.

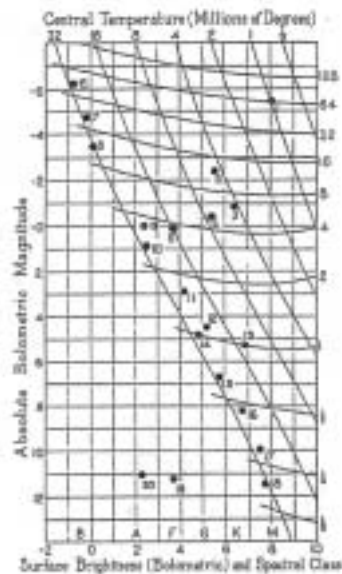


Fig. 4.

Russell ipotizzò che per qualche motivo attorno a queste temperature risultasse particolarmente favorito il processo di annichilazione di materia in modo da stabilizzare la stella. La sequenza principale risulterebbe essere così un luogo di punti di equilibrio, come già suggerito da Eddington, ma ancora – come nella prima teoria di Russell – verrebbe percorsa verso il basso man mano che la stella consuma la sua massa. Secondo quanto calcolato da Russell, le stelle giganti si troverebbero in corrispondenza di temperature centrali molto inferiori, corrispondenti, come ordine di grandezza, al milione di gradi. Si tratterebbe quindi di nuovo di *stelle molto giovani* perché più fredde centralmente e ancora in fase di riscaldamento conseguente alla contrazione gravitazionale. Resterebbe da spiegare come mai, se tali stati vengono attraversati in fretta, sia possibile osservare tante giganti in cielo. La risposta – Russell ipotizzò – potrebbe essere che esiste un secondo tipo di “combustibile” che diviene molto attivo a temperature inferiori e stabilizza per qualche tempo le giganti, prima che esse proseguano la contrazione gravitazionale evolvendo in nane.

Questa teoria di Russell contiene alcuni tratti interessanti, se giudicati alla luce delle conoscenze attuali: la quasi costanza delle temperature centrali delle stelle di sequenza principale e il ruolo fondamentale giocato dalle sorgenti energetiche non gravitazionali. Fallisce completamente invece

nella determinazione del ruolo evolutivo spettante alle stelle giganti, che oggi sappiamo essere stelle molto evolute e non giovani. Causa di ciò, indubbiamente la mancanza di conoscenze sulla natura dei combustibili utilizzati. Tale limite della sua teoria fu riconosciuto da Russell che osservò:

The specific types of transformation [...] are frankly adopted *ad hoc*, [...] but while the subject is still outside the range of existing theories of the constitution of matter there is nothing else to do [...].³²

Questa seconda teoria dell'evoluzione di Russell fu abbandonata dal suo stesso autore nel giro di breve tempo: un calcolo effettuato da Jeans secondo cui i processi di annichilazione di materia richiederebbero tempi enormemente lunghi – tipicamente migliaia di miliardi di anni – perché la massa stellare diminuisse a sufficienza per permetterle di discendere la sequenza principale, confrontato con le prime stime sui tempi di vita dell'Universo, convinsero infine Russell ad abbandonare l'idea che la sequenza principale potesse essere una traccia evolutiva, mentre non veniva a cadere l'idea che il ramo delle giganti potesse essere percorso dalle stelle nella loro adolescenza.

5. Epilogo e conclusioni

Negli anni intorno al 1930 cominciarono a chiarirsi i meccanismi nucleari capaci di sostenere energeticamente le stelle per la maggior parte della loro vita³³. Nel contempo, furono studiati modelli che mostrarono come fosse possibile un aumento del raggio stellare in seguito alla fase di sequenza principale, così da porre lo stadio di stella gigante come stadio evoluto e non giovanile nella vita di una stella, cosa oggi accertata. Non prima degli anni '50, comunque, furono disponibili modelli soddisfacenti³⁴.

Da quanto discusso in questo lavoro, emergono alcune conclusioni interessanti. Ciò che impedì a Eddington e a Russell di pervenire ad una corretta interpretazione dello stadio evolutivo tipico delle stelle giganti fu senza dubbio la mancanza di informazioni precise sul ruolo giocato dalle sorgenti energetiche non gravitazionali, dovuta alla non conoscenza dei

³² Russell (1925) cit. 211.

³³ Su tali argomenti, qui succintamente riassunti, v. Arny (1990) cit. 222 e segg.; Sitterly, Bancroft W., "Changing Interpretations of the Hertzsprung-Russell Diagram, 1910-1940: A Historical Note", *Vistas in Astronomy* **12** (1970), 357-366.

³⁴ Arny (1990) cit. 224.

processi nucleari. Questo fatto fu inizialmente sottovalutato da Russell, il quale pur riconoscendo l'esistenza di tali sorgenti ne sminuì il ruolo. D'altro canto, bisogna osservare come nel 1914 non fosse possibile in nessun modo avere un'idea della natura di tali processi, e Russell fu indubbiamente indotto ad elaborare la propria prima teoria dell'evoluzione stellare dal fatto che essa permetteva di dipingere un grande quadro complessivo in cui tutte le conoscenze dell'epoca trovavano mirabilmente una propria collocazione.

Eddington, al contrario, più interessato ai problemi teorici e più prudente nel trarre conclusioni su aspetti sconosciuti, puntualizzò precocemente il problema derivante dalla mancata conoscenza dei particolari processi energetici attivi e mantenne sempre ben presente tale considerazione. Successivamente, lo stesso Russell dovette necessariamente fare ipotesi sulla loro natura riconoscendone l'arbitrarietà.

Da quanto detto emergono anche interessanti tratti relativi alla diversa personalità scientifica dei due grandi astrofisici e alle modalità con le quali essi, e l'interazione tra le acquisizioni teoriche ed osservative di cui furono capaci, poterono contribuire molto significativamente allo sviluppo dell'astrofisica stellare della loro epoca.