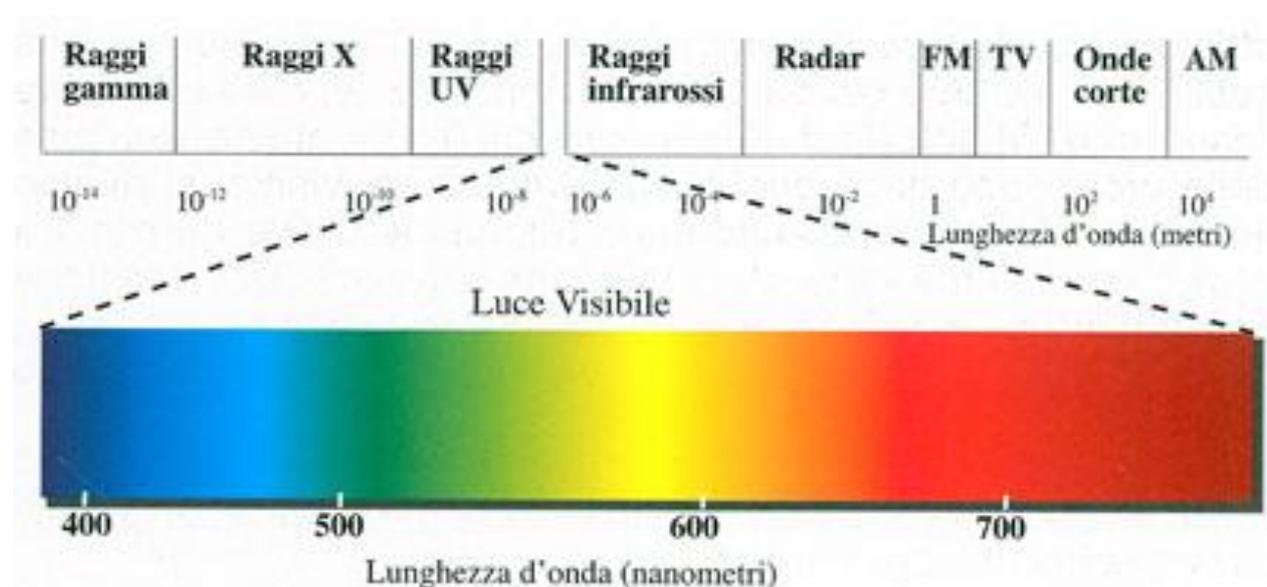


La spettroscopia stellare

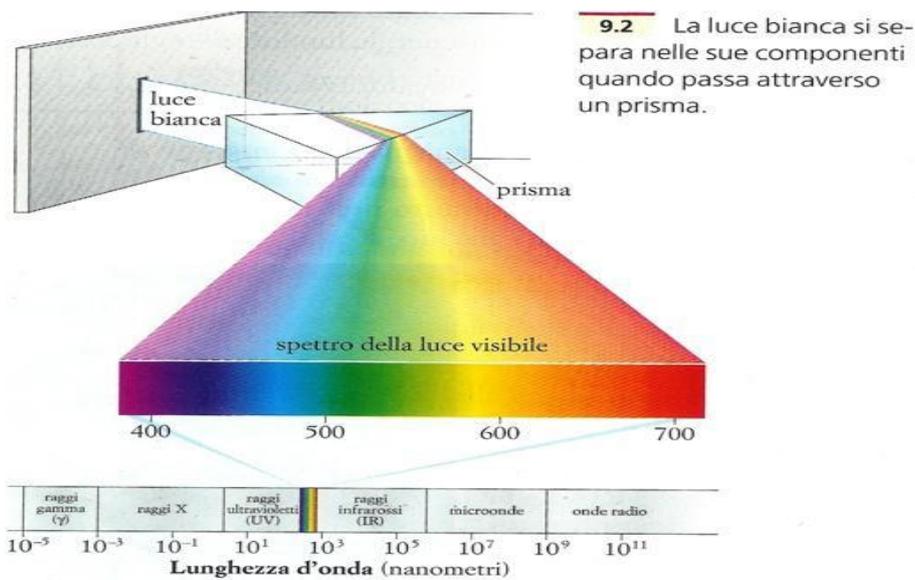
Noi studiamo i corpi celesti, e quindi anche le galassie, misurando le radiazioni che ci mandano e che riusciamo a rilevare con i nostri strumenti. La luce che i nostri occhi sono in grado di percepire è solo uno dei tanti “tipi di luce” possibili. I fisici considerano la luce una variazione di campi elettrici e magnetici, motivo per cui la luce e le forme di radiazione connesse ad essa sono conosciute come **radiazione elettromagnetica**.

Dalla fisica sappiamo che una carica elettrica in movimento produce una radiazione elettromagnetica, mentre dalla meccanica quantistica apprendiamo la sua doppia natura: corpuscolare ed ondulatoria: il **modello corpuscolare** descrive e spiega la propagazione di un fascio luminoso come lo spostamento di un gruppo di particelle di energia (chiamate generalmente *quanti di energia* o fotoni, mentre il **modello ondulatorio** la descrive come un’onda, caratterizzata da una certa frequenza (cioè il numero di oscillazioni nell’unità di tempo) e una lunghezza (data dalla distanza tra due successivi massimi o minimi). La luce, le microonde, i raggi X ecc sono tutte forme di radiazione elettromagnetica e la luce quindi è solo una parte della radiazione elettromagnetica, ovvero quella parte a cui è sensibile l’occhio umano.

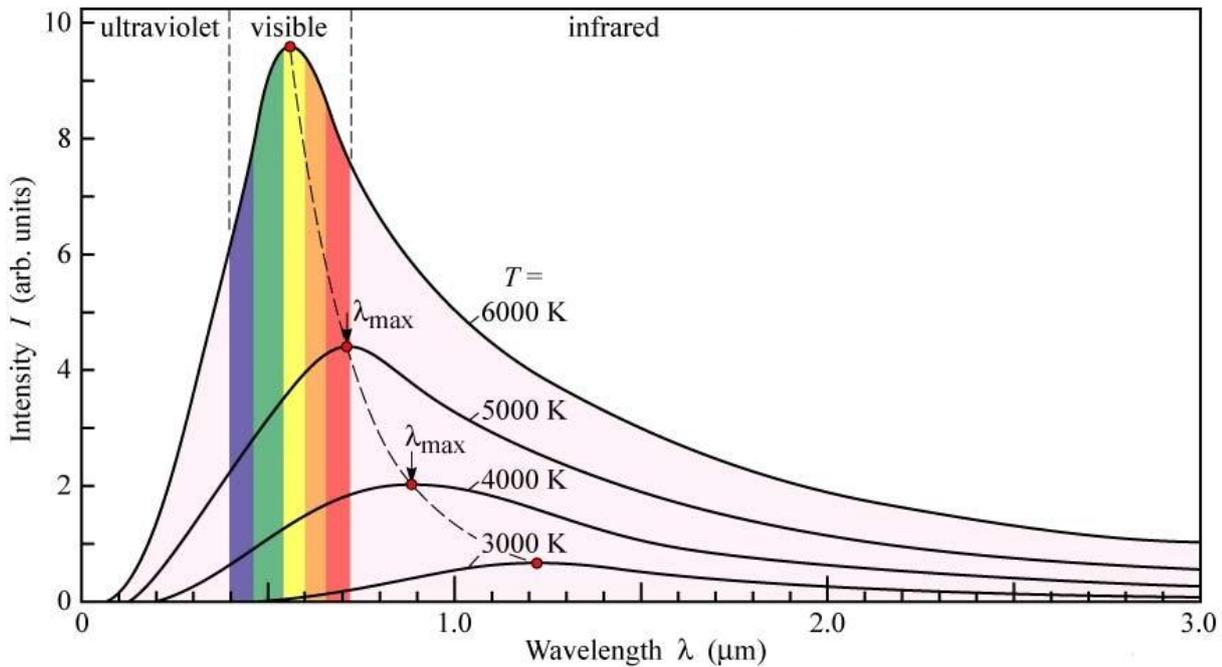
Possiamo pensare alla luce come un’onda: la distanza tra due creste vicine (la lunghezza d’onda) ci dice tutto quello che vogliamo sapere su un’onda luminosa, dato che ogni colore ha una lunghezza d’onda diversa. Cominciando dalle lunghezze d’onda minori, abbiamo i raggi gamma, i raggi X, poi si giunge alla banda dell’ultravioletto, poi a quella dell’ottico (luce visibile), all’infrarosso, alle microonde e infine alle onde radio. La sequenza di questa radiazione costituisce lo spettro elettromagnetico. La luce è una forma di energia e la quantità di energia trasportata da una particolare onda luminosa è inversamente proporzionale alla lunghezza d’onda. In altre parole, più elevata è la lunghezza d’onda, minore è l’energia dell’onda luminosa.



Ad esempio la luce rossa ha una lunghezza d'onda maggiore, ma la sua energia è minore della luce blu, che ha lunghezza d'onda inferiore a quella rossa. La nostra atmosfera lascia passare soltanto due fettine di questo spettro, una che va dal violetto al rosso (che coincide con la banda ottica a cui è sensibile il nostro occhio) e un'altra banda nel radio. Lo spettro è il nome che newton diede alla banda continua di colori formata da un prisma quando viene colpito da un raggio di luce. Fece passare un fascio di luce solare attraverso un prisma di vetro a sezione triangolare e trovò che si formava la tipica striscia allargata contenente i colori dell'arcobaleno.



Il punto decisivo per gli astronomi era che le stelle emettono onde luminose, perciò essi speravano che le lunghezze d'onda della luce stellare potessero rivelare qualcosa sulla stella che le aveva emesse, come la sua temperatura. Infatti, successivamente furono scoperte nello spettro del sole, delle righe scure, dovute all'assorbimento della luce da parte dei diversi elementi chimici presenti nell'atmosfera solare. Quindi, lo spettro del sole e delle stelle è uno spettro continuo solcato da righe di assorbimento per mezzo delle quali è possibile identificare gli elementi chimici presenti nelle atmosfere di questi corpi e la loro quantità in percentuale.

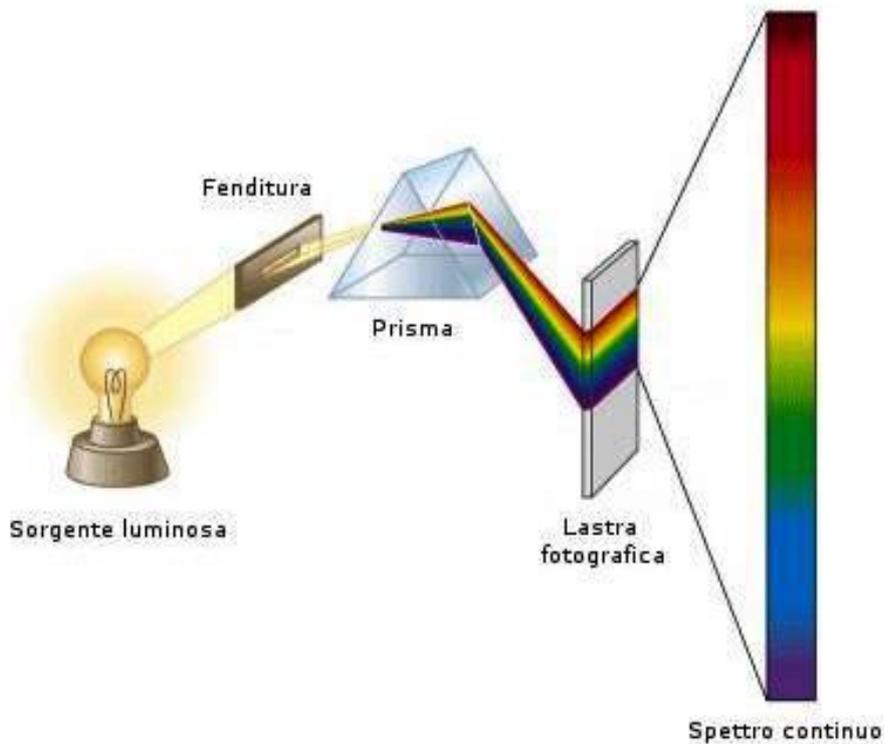


Il grafico mostra la gamma di lunghezze d'onda luminose emesse da tre stelle con diverse temperature superficiali. La curva principale mostra la distribuzione delle lunghezze d'onda emesse da una stella con una temperatura superficiale di 6000° . La distribuzione raggiunge il punto massimo alla lunghezza d'onda gialla, ma emette anche altri colori nello spettro visibile.

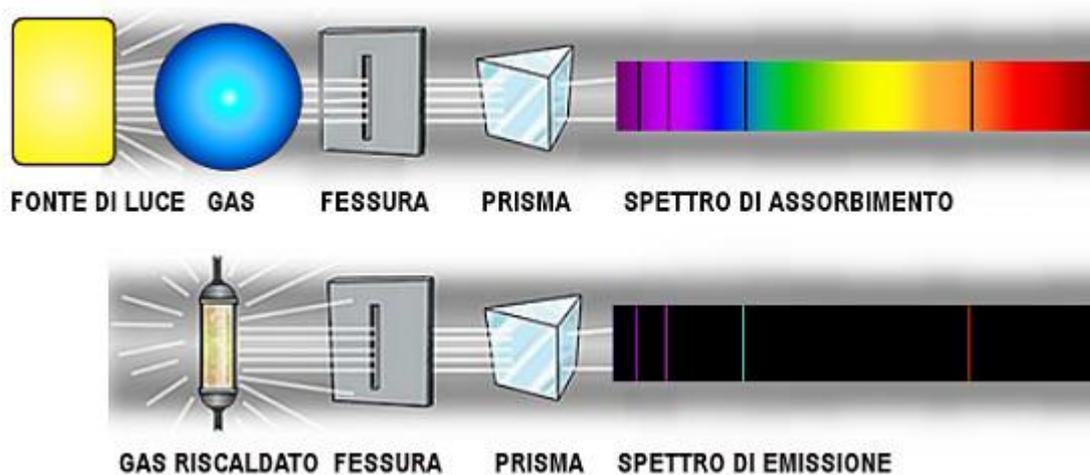
Andiamo ora al passo successivo, ovvero al comprendere come le diverse lunghezze d'onda di una data radiazione elettromagnetica possono darci tantissime informazioni sul corpo che ha emesso quella radiazione. La spettroscopia è un potentissimo metodo di indagine della struttura della materia che si basa sull'analisi della scomposizione della luce da questa emessa nelle sue lunghezze d'onda fondamentali. Lo spettroscopio ha il compito di separare la luce proveniente dalla sorgente in tutte le sue lunghezze d'onda. Come sappiamo infatti, la luce che generalmente ci giunge è composta da varie lunghezze d'onda mescolate insieme. Per vederle ed analizzarle occorrono degli strumenti che separino spazialmente le singole lunghezze d'onda. Vediamo di approfondire meglio il concetto: una luce policromatica è una luce formata da un insieme di radiazioni monocromatiche semplici aventi ciascuna una propria frequenza. Quando una luce policromatica attraversa un prisma di vetro trasparente, viene scomposta nelle radiazioni di diversa frequenza che la costituiscono. L'immagine che si può raccogliere su uno schermo (spettro) mostra una serie di colori che vanno dal rosso al violetto. Gli spettri possono essere di due tipi: di emissione e di assorbimento.

Gli **spettri di emissione**, sono gli spettri emessi da una sorgente luminosa. Possono essere di due tipi: spettri continui e spettri a righe.

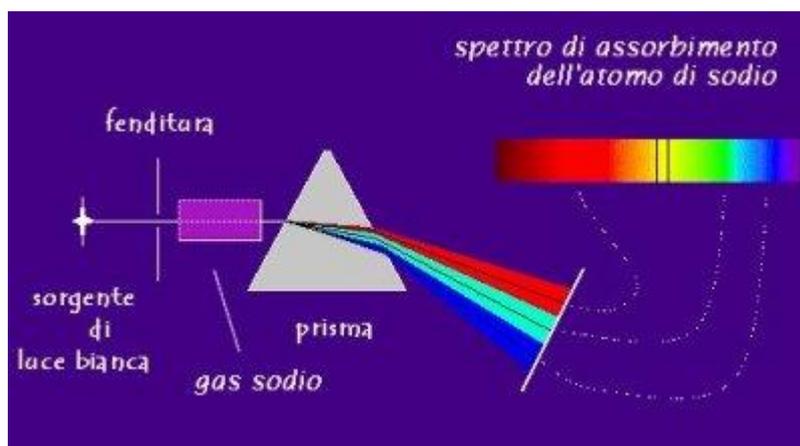
- Si chiamano **continui** gli spettri nei quali sono presenti tutti i colori dello spettro del visibile, dal rosso al violetto. **Danno spettri continui tutti i corpi incandescenti: solidi, liquidi e gas fortemente compressi. (Perché?)**



- Negli **spettri a righe** non si osserva nessuna successione di colori sfumati ma solo righe nette colorate su sfondo nero. **Sono tipici dei gas incandescenti a bassa pressione.** Il numero di righe, il loro colore e la loro lunghezza d'onda e frequenza, variano al variare del gas analizzato: **ogni elemento gassoso o reso gassoso ha il suo spettro di emissione.** Quindi un gas rarefatto emette radiazioni soltanto a certe lunghezze d'onda, caratteristiche degli elementi o dei composti chimici presenti nel gas



Quando la luce bianca attraversa un gas o un vapore, allo spettro continuo vengono a mancare alcune radiazioni monocromatiche, le quali sono state assorbite dal gas o dal vapore stesso. Infatti facendo passare questa luce attraverso un prisma di vetro trasparente, si nota che nello spettro sono presenti una o più righe nere su un fondo colorato continuo. Lo spettro corrispondente si chiama **spettro di assorbimento**. Questo sotto è un esempio per l'atomo di sodio.

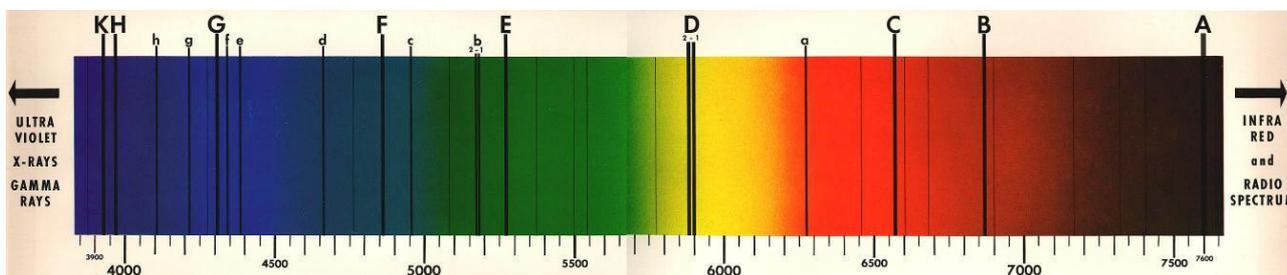


Quindi uno spettro di assorbimento si ottiene quando la luce di un corpo, che emetterebbe uno spettro continuo, passa attraverso un gas a bassa pressione: tale gas assorbe alcune radiazioni luminose (per questo motivo si parla di spettro di assorbimento). Sullo spettro compaiono così delle righe scure in corrispondenza delle radiazioni "sottratte". Le radiazioni che il gas interposto assorbe sono esattamente le stesse che esso emette quando viene eccitato. Pertanto uno spettro di assorbimento risulta complementare allo spettro di emissione a righe, se il gas è lo stesso: esso consente perciò di identificare il gas. Confrontando lo spettro di emissione e quello di assorbimento di una stessa sostanza, si nota che le righe nere nello spettro di assorbimento si trovano nella stessa posizione (frequenza) delle righe colorate dello spettro di emissione, ovvero le righe scure sono esattamente collocate in quelle lunghezze d'onda alle quali il gas, alle opportune condizioni di eccitazione, presenterebbe righe in emissione. Vediamo nell'immagine seguente che le lunghezze d'onda assorbite dal sodio sono esattamente le stesse emesse e questa simmetria tra assorbimento ed emissione vale per tutti gli elementi.

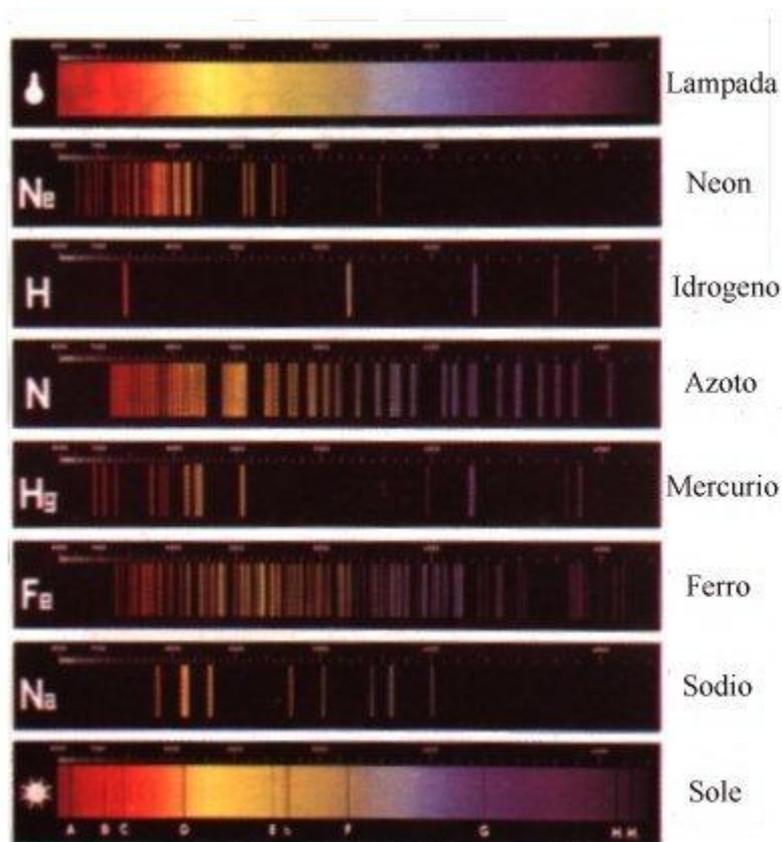


Se ne deduce che tutte le sostanze assorbono radiazioni luminose della stessa frequenza e lunghezza d'onda di quelle che sono in grado di emettere. E' quello dell'assorbimento il principio su cui si basa la spettroscopia stellare, in quanto i raggi di luce provenienti dalla fotosfera delle stelle, devono attraversare gli strati più esterni e più freddi, dando luogo allo spettro di assorbimento.

In effetti era l'assorbimento ad attrarre maggiormente l'attenzione degli astronomi, che portarono la spettroscopia dal laboratorio all'osservatorio. Si resero conto che l'assorbimento poteva fornir loro indizi sulla composizione delle stelle, a cominciare dal sole.



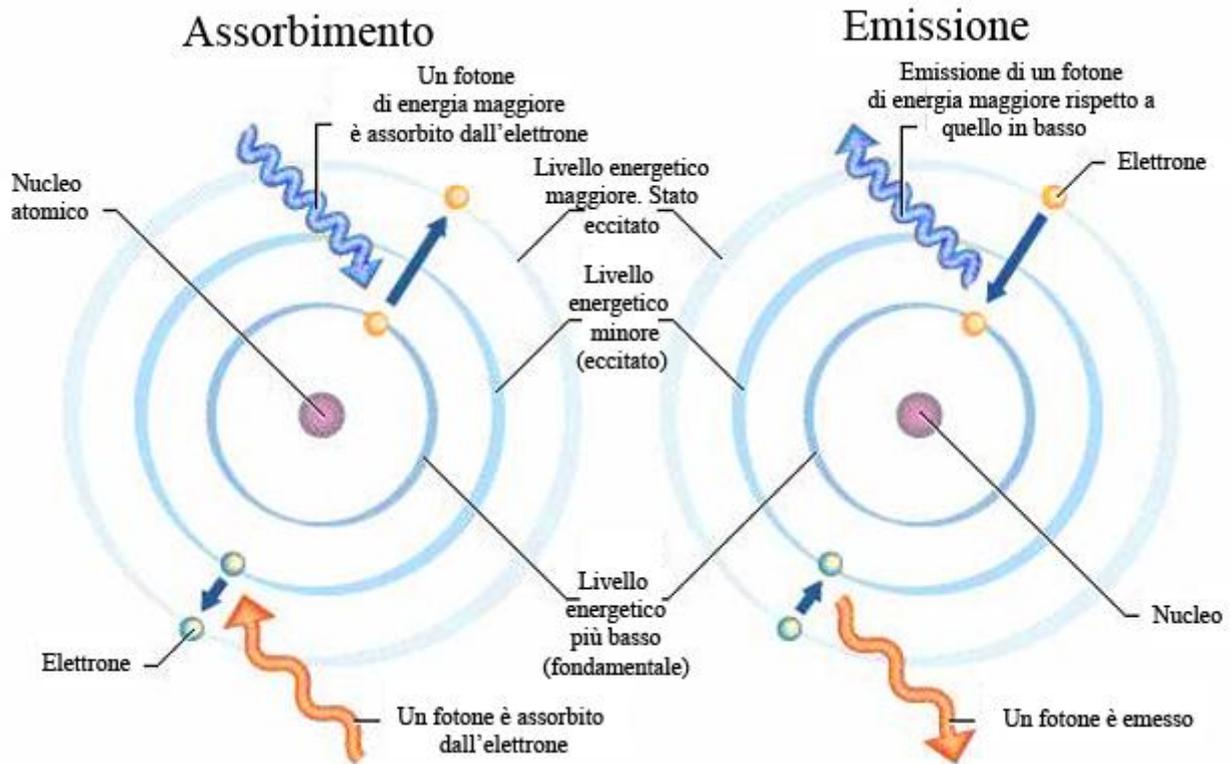
Il sole è abbastanza caldo da emettere lunghezze d'onda per tutta la gamma di luce visibile, ma i fisici all'inizio del XIX secolo notarono che mancavano specifiche lunghezze d'onda. Queste ultime apparvero come sottili righe nere nello spettro solare. Alla fine ci si accorse che le lunghezze d'onda mancanti erano state assorbite dagli atomi nell'atmosfera solare e che potevano essere utilizzate per identificare gli elementi che costituivano la fotosfera del sole. Seguendo gli stessi principi era oramai possibile identificare tutti gli elementi presenti in una sostanza. Infatti ogni elemento possiede la propria impronta digitale, visibile dalla diversa lunghezza d'onda rappresentata nei grafici. Ogni tipo di elemento ha la capacità di emettere lunghezze d'onda specifiche, a seconda della sua struttura atomica. Ogni elemento chimico infatti emette, quando è riscaldato, delle righe la cui posizione è fissa e individuata dalla lunghezza d'onda delle singole righe. Pertanto, studiando le lunghezze d'onda emesse da una sostanza che viene riscaldata sarà possibile identificare gli atomi di tale sostanza.



La comprensione di questi comportamenti degli spettri richiede almeno la conoscenza dei meccanismi di emissione e di assorbimento della luce. Secondo la teoria di Plank dei quanti di luce gli elettroni eccitati dal calore della fiamma tendono ad acquistare una certa quantità misurata di energia sotto forma di calore e immediatamente dopo la restituiscono in

- quantità misurate di energia luminosa (..teoria corpuscolare)
- ad una definita lunghezza d'onda (teoria ondulatoria)

Possiamo immaginare ogni atomo come il classico modello planetario, con il nucleo centrale e gli elettroni che vi ruotano intorno. Il numero di elettroni orbitanti è uguale al numero di protoni costituenti il nucleo; siccome la carica elettrica di un protone è uguale ma di segno contrario a quella di un elettrone, l'atomo risulta così elettricamente neutro. Sappiamo anche che l'atomo può perdere uno o più dei suoi elettroni, assumendo così una o più cariche positive unitarie: in tal caso l'atomo si dice "ionizzato". La forza che si esercita fra la carica complessiva positiva del nucleo e la carica di ciascun elettrone costringe gli elettroni su orbite ellittiche come fa la forza gravitazionale che si esercita fra il sole e i pianeti. Alle diverse orbite competono energie diverse. Quando l'elettrone viene colpito da un fotone esattamente dell'energia necessaria per poter passare da un certo livello energetico ad un altro (cambiare orbita), allora il fotone viene assorbito e l'elettrone si sposta su un'orbita più esterna. L'elettrone però ha la tendenza a tornare spontaneamente nel livello energetico (orbita) con energia minore (più vicino al nucleo) e quando viene compiuto questo salto, esso emette un fotone pari alla differenza di energia delle due orbite, in una direzione casuale. Questa emissione, della lunghezza d'onda specifica per far compiere quel salto, è la stessa in cui comparirà una riga colorata nello spettro di emissione. In pratica quella riga è data dall'emissione di radiazione elettromagnetica al momento in cui l'elettrone torna al suo posto. A ogni atomo di un certo elemento serve una certa dose di energia per compiere il salto, ed è per questo che ogni elemento ha righe di emissione caratteristiche.

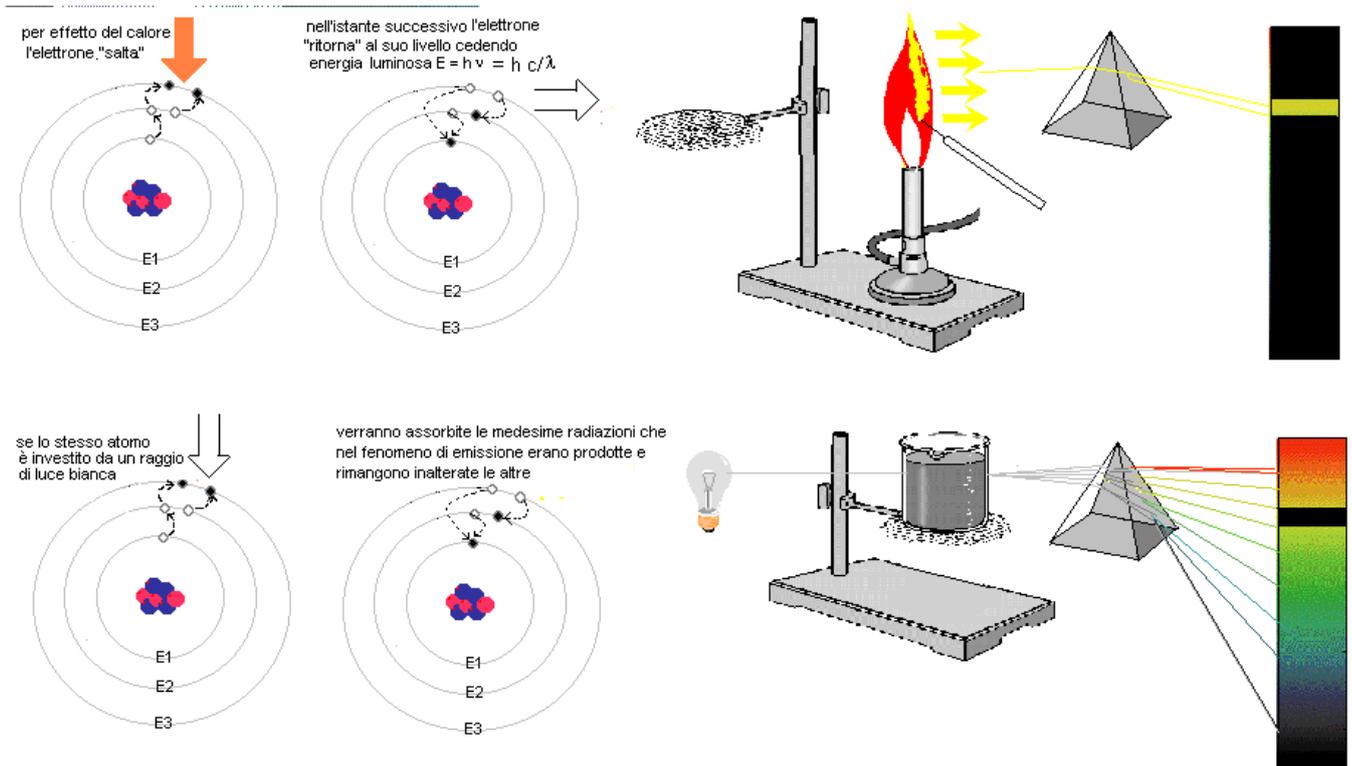


Gli elettroni sono innumerevoli, ma possono percorrere solo certe orbite in corrispondenza a determinati livelli energetici. L'orbita 1 più interna (*livello fondamentale*) è la più povera d'energia: quando l'elettrone è in tale orbita l'atomo non emette né assorbe energia. Un elettrone che dovesse raggiungere un'orbita più esterna, dovrebbe essere stimolato dall'esterno a compiere il salto, cioè dovrebbe ricevere energia dall'esterno. Inversamente, il salto di un elettrone verso un'orbita più interna rende disponibile una certa quantità di energia sotto forma di radiazione di una determinata lunghezza d'onda (l'atomo emette un fotone), dando origine ad una riga d'emissione. Quando l'elettrone invece che al livello fondamentale si trova ad un livello superiore si dice che l'atomo è "eccitato". L'eccitazione può avvenire o per assorbimento di radiazione elettromagnetica, o per urto fra atomi. Quando un gas viene riscaldato l'eccitazione avviene appunto per urto. Alta temperatura significa infatti alta velocità caotica degli atomi e quindi urti più numerosi. Lo spettro è prodotto da *innumerevoli* salti di elettroni liberi, che cioè si muovono tra un nucleo e l'altro, verso qualcuna delle orbite libere possibili: la lunghezza d'onda della radiazione così emessa dipende dalla differenza delle energie in gioco, ovvero quella posseduta dall'elettrone prima di saltare e quella del nuovo livello energetico (orbita) a cui l'elettrone va a collocarsi; poichè gli elettroni liberi possono avere energie molto differenti, mediante il processo descritto vengono a rendersi disponibili le più disparate lunghezze d'onda, che si fondono nello spettro di cui sopra. Essendo la struttura atomica degli elementi diversa da atomo a atomo, ogni elemento chimico che venga eccitato da calore risponde con una emissione di luce diversa che lo caratterizza e rappresenta la sua "impronta digitale" chimica. La luce emessa dagli atomi è dunque costituita da quantità di energia dette fotoni che possiedono una stretta relazione matematica con la emissione di luce colorata e dunque con la sua frequenza o con la sua lunghezza d'onda da cui si ricava che sia l'energia E sia la massa m del fotone sono proporzionali alla lunghezza d'onda. La luce della lampada, essendo una sorgente di luce continua, emette fotoni di ogni possibile lunghezza d'onda. Se questa luce attraversa un gas, gli atomi di questo gas assorbono, eccitandosi, una percentuale dei fotoni aventi energia uguale ad uno dei salti di livello possibili. Quindi, se di questa luce si osserva lo spettro, in corrispondenza alle

lunghezze d'onda delle radiazioni assorbite appaiono delle righe scure, ovvero luce che manca dallo spettro continuo emesso dalla lampada.

Quindi, ricapitolando, nel caso di una sostanza esposta a una fonte di calore, gli elettroni degli atomi di quella sostanza saltano dallo stato fondamentale a un livello più esterno e, quando l'elettrone ritorna in posizione, emette radiazione elettromagnetica pari a quella stessa lunghezza d'onda che ha energia pari a quella che è stata necessaria per far effettuare il salto all'elettrone, dando così lo spettro di emissione di quell'elemento. Perché si abbia assorbimento della radiazione, l'energia del fotone eccitante deve essere esattamente uguale alla differenza di energia fra lo stato fondamentale ed uno degli stati eccitati della specie assorbente. L'insieme dei fotoni emessi darà origine allo spettro di emissione.

Se invece facciamo passare della luce bianca attraverso questo elemento vedremo che i suoi atomi saranno eccitati dalla luce e gli elettroni effettueranno il salto orbitale e saranno assorbite le stesse radiazioni che permettevano il salto degli elettroni nel fenomeno dell'emissione. In pratica ad ogni transizione elettronica (salto) corrisponde una determinata riga dello spettro e ogni elemento ha bisogno di certe quantità di energia per far effettuare i salti agli elettroni, ecco perché ogni elemento ha il suo spettro caratteristico.



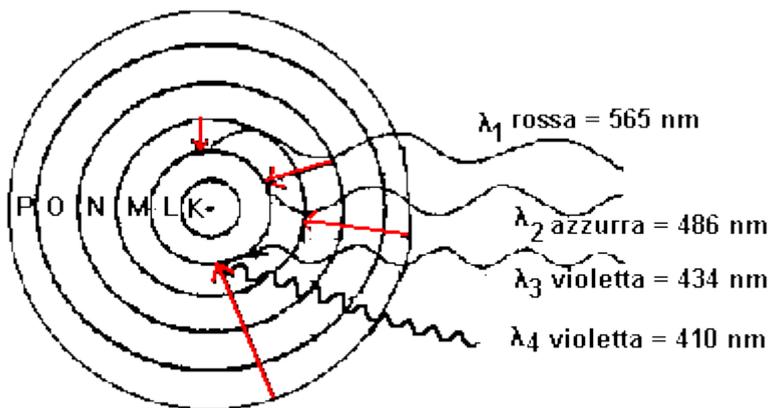
Per meglio comprendere possiamo fare un esempio con l'idrogeno: questi sono i suoi spettri



Da studi spettroscopici accurati risulta che le quattro righe dello spettro dell'idrogeno nel visibile provengono dalle seguenti transizioni elettroniche:

λ_1 (rosso): radiazione con notevole lunghezza d'onda e bassa frequenza.

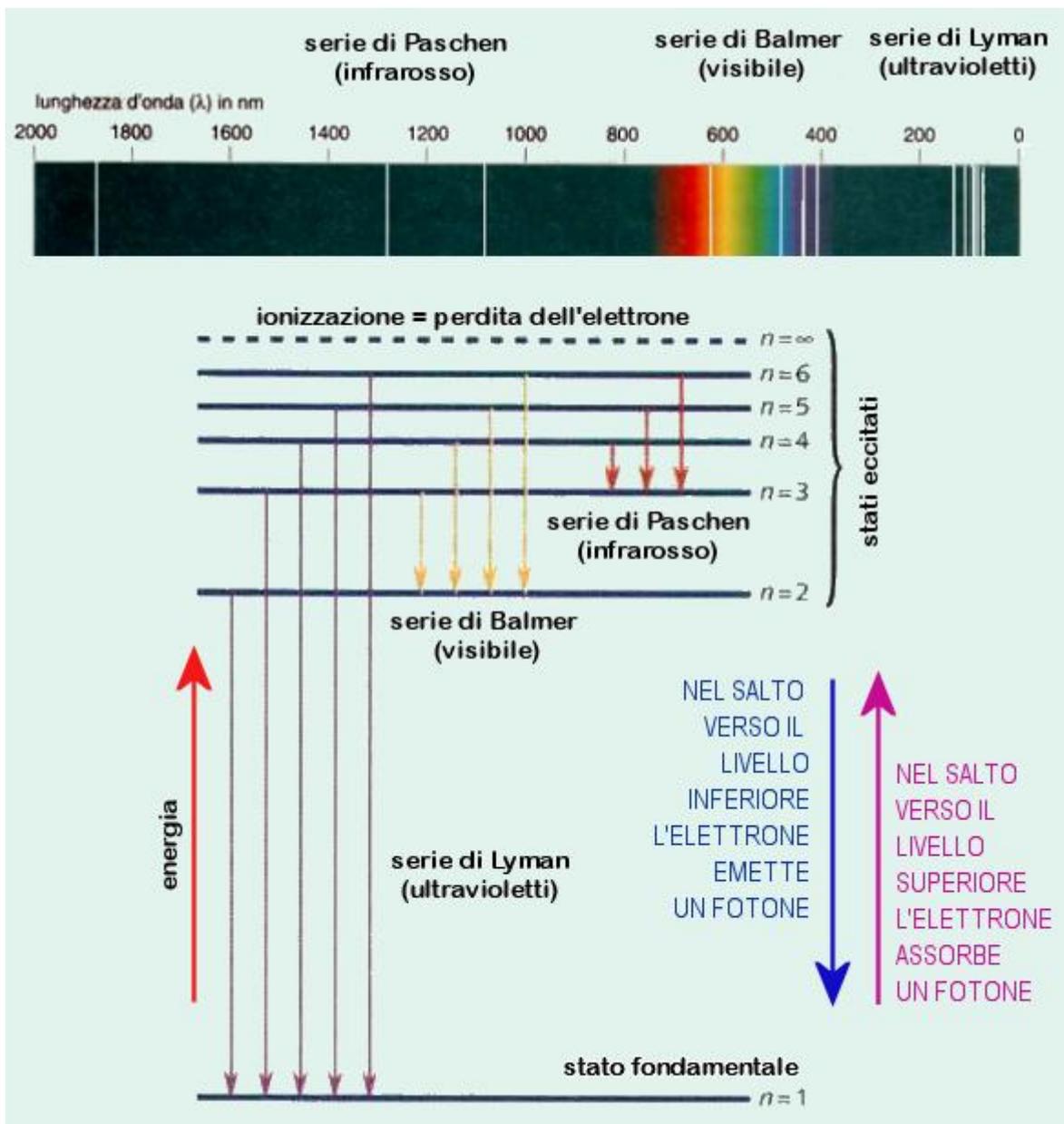
λ_4 (violetto): radiazione con piccola lunghezza d'onda ed alta frequenza.



Righe dello spettro di emissione dell'idrogeno

Interessante a tal proposito è l'interpretazione dello spettro a righe dell'idrogeno proposta da Niels Bohr nel 1913. Secondo Bohr gli atomi di idrogeno nel loro stato fondamentale non irradiano energia, ma la emettono quando vengono eccitati. L'elettrone può occupare attorno al nucleo solo determinate orbite stazionarie (dette "orbite di Bohr", circolari e di energia potenziale crescente con la distanza dal nucleo) muovendosi nelle quali non irradia energia, ma non può occupare lo spazio tra esse. Eccitando gli atomi con alte temperature o scariche elettriche l'elettrone può acquistare l'energia necessaria per salire su orbite più alte, ma dopo un breve tempo ridiscende nella prima orbita (rimasta vuota) restituendo in forma di radiazione l'energia assorbita per salire. Bohr postulò che se un elettrone scende da un'orbita di maggior livello energetico E_2 ad una di minor livello energetico E_1 , il salto è associato all'emissione di un'onda di caratteristica frequenza. Con questi assunti Bohr calcolò la lunghezza d'onda delle righe dello spettro dell'idrogeno in ottimo accordo

con le misure, e calcolò anche le lunghezze d'onda di serie ultraviolette ed infrarosse non ancora scoperte, rivelatesi esatte ai successivi riscontri sperimentali. Dall'immagine capiamo come, in base ai "salti" che fa l'elettrone da un'orbita all'altra si genererà una certa quantità di energia e quindi una ben determinata serie di lunghezze d'onda. A seconda del senso in cui avviene la transizione avremo righe di emissione (luminose) o di assorbimento (oscure sul fondo continuo). In base alla struttura del nucleo, e quindi del numero di elettroni che vi possono orbitare attorno, le orbite permesse sono diverse; perciò per le varie specie chimiche le radiazioni emesse ed assorbite sono diverse. È per questo che ogni elemento chimico dà nello spettro le sue righe caratteristiche.



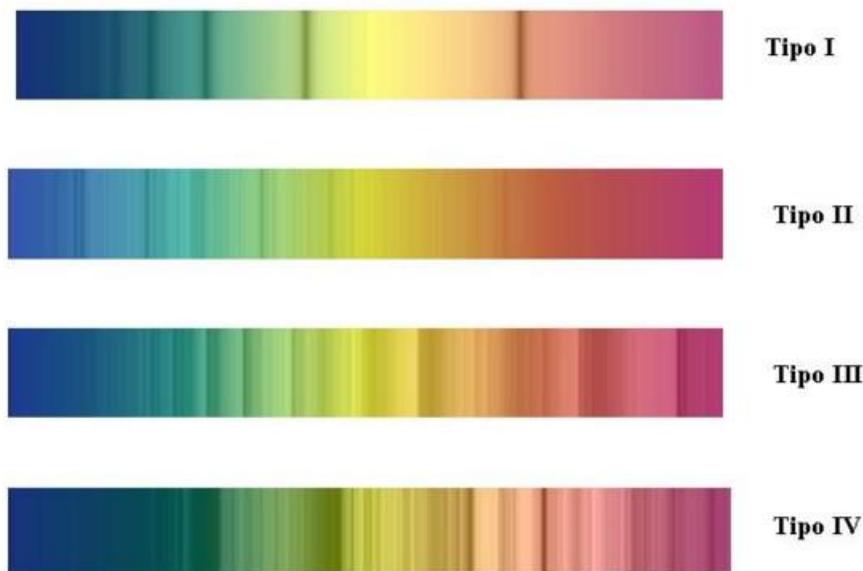
Intorno al 1860 gli studi di spettroscopia si spinsero oltre il sole, quando Huggins l'applicò allo studio di altre stelle e confermando che anch'esse contenevano gli stessi elementi esistenti sulla terra. Ad esempio notò che lo spettro di betelgeuse conteneva righe nere che apparivano in corrispondenza di lunghezze d'onda assorbite da atomi quali il sodio, il magnesio, il calcio, il ferro. All'interno delle stelle vi sono gas ad altissima temperatura e pressione: essi producono luce che, scomposta, darebbe uno spettro continuo. Tale luce, portandosi verso l'esterno, incontra gli strati

superficiali delle stelle, costituiti da gas che hanno bassa pressione e assorbono alcune radiazioni elettromagnetiche. Dunque lo spettro delle stelle risulta essere uno spettro di assorbimento: l'analisi delle righe nere consente di determinare la composizione chimica degli strati superficiali della stelle.

Passiamo adesso ad un'altra relazione che è fondamentale per lo studio delle stelle: abbiamo già visto come dalle diverse lunghezze d'onda assorbite possiamo studiare le caratteristiche chimiche di una stella. Quello che però è assai interessante è notare che dalle stesse analisi della classe spettrale possiamo ricavare anche temperatura e colore di una stella. Dagli studi di spettroscopia condotti intorno al 1863 da padre Angelo Secchi risultò evidente che doveva esistere una relazione anche tra colore e caratteristiche dello spettro di righe, essendo ambedue dipendenti dalla temperatura.

E qui è necessaria una breve digressione. Qualunque corpo emette radiazioni elettromagnetiche, sempre; però l'emissione cresce rapidamente col crescere della temperatura. Come si sa la più bassa temperatura possibile è $-273,2$ gradi centigradi (zero assoluto). Infatti la temperatura di un corpo dipende dalla velocità media delle particelle elementari che lo costituiscono: alla temperatura di $-273,2^{\circ}$ ogni velocità delle particelle quasi si annulla. Consideriamo ora un corpo solido: a temperatura prossima allo zero assoluto la radiazione che emette è praticamente nulla, da mano a mano che la temperatura aumenta, la radiazione comincia a divenire sensibile prima nella regione delle onde radio, poi anche nell'infrarosso. Col crescere della temperatura il massimo d'intensità dell'energia irradiata si sposta sempre più verso le minori lunghezze d'onda. Quando la temperatura raggiunge circa 430° C, benché il massimo dell'intensità sia ancora nell'infrarosso, il corpo comincia a divenire luminoso: dapprima una luce rossastra cupa, poi salendo ancora la temperatura, rosso-arancio, giallo, poi bianco, poi bianco-azzurro. Se la luce emanata da questo corpo incandescente viene osservata con uno spettroscopio, si vede uno spettro continuo; e come abbiamo già detto si nota che col crescere della temperatura il massimo dell'intensità si sposta sempre più verso le minori lunghezze d'onda. Quindi col crescere della temperatura aumenta l'intensità e cambia il colore. Angelo Secchi perciò, applicando lo stesso ragionamento alle stelle, si accorse che

ogni classe spettrale era legata a una particolare temperatura superficiale.



Difatti, ponendo attenzione alle stelle più brillanti visibili in una notte senza Luna, vediamo che esse non hanno tutte lo stesso colore: Vega e Sirio sono bianco-azzurre, Betelgeuse, in orione, spicca per il suo colore rossastro, Aldebaran del Toro appare arancione e il nostro Sole è giallo. Ora possiamo quindi comprendere che ciò avviene a causa della composizione chimica delle stelle. La classificazione di padre Secchi comprendeva 4 classi. Nella prima erano incluse le stelle blu-bianche (come Vega o Rigel) con poche o nessuna riga. Nella seconda aveva posto le stelle gialle (come Arturo o Capella) con numerosissime righe sottili. Nella terza le stelle rosse e arancioni con ancora molte righe sottili ma anche con bande di assorbimento con la testa verso il blu (Betelgeuse o Mira Ceti) e nella quarta le stelle rosso rubino con bande di assorbimento con la testa rivolta verso il rosso (Stelle al carbonio, come 19 Psc).

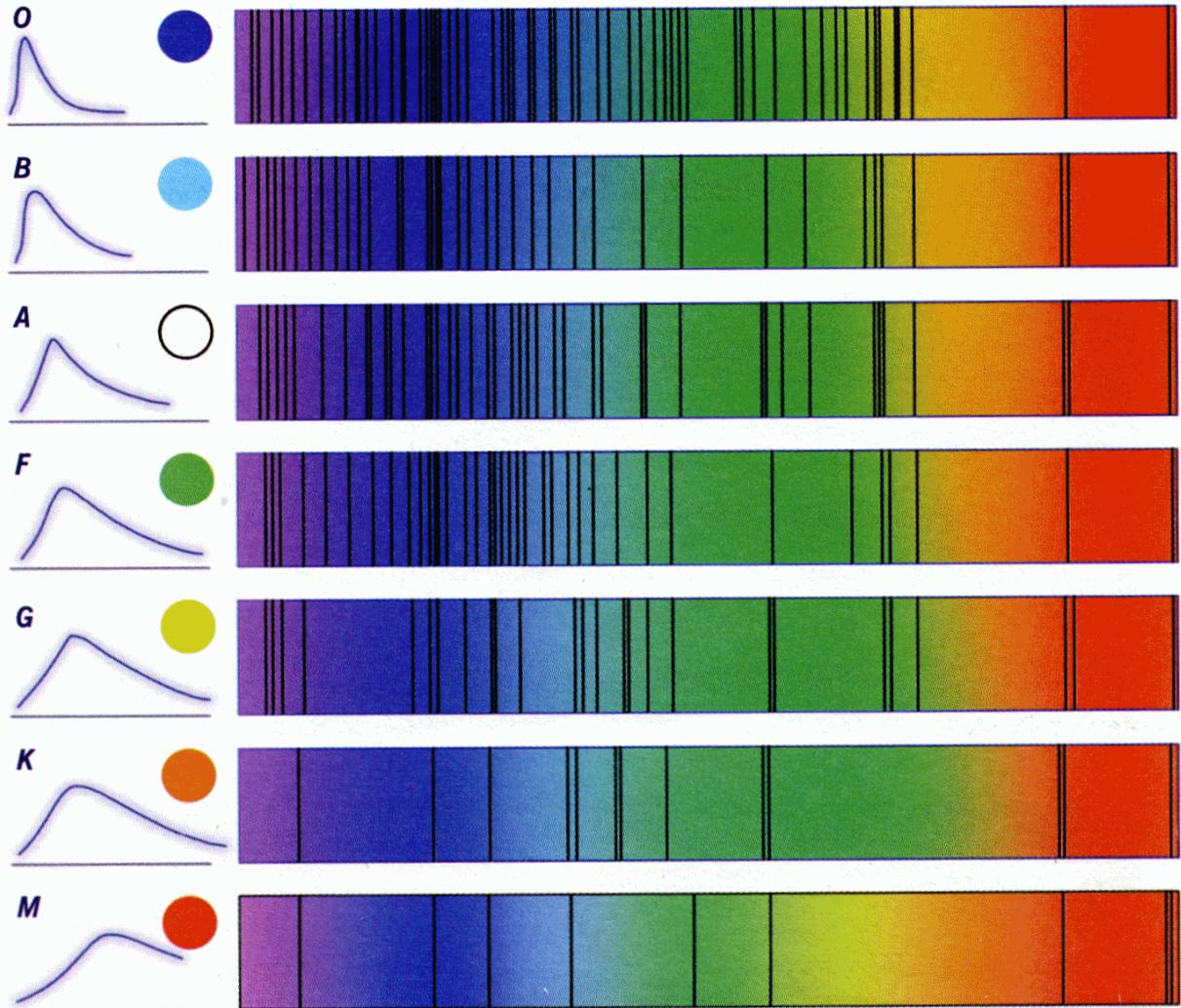
Ricapitolando, quindi, Padre Secchi aveva disposto le classi spettrali nella giusta successione, secondo il crescere della temperatura superficiale, sulla base dell'esperienza comune del cambiamento di colore che subisce un metallo incandescente al crescere della temperatura. Quindi le classi del Secchi sono classi colore-temperatura. Ma ciò che egli mise in evidenza fu che al variare del colore variano anche le righe spettrali per numero, posizione e intensità, quindi anche le righe spettrali (e quindi la composizione chimica) dipendono dalla temperatura.

Da questa base posta dal Secchi prese le mosse, alcuni decenni più tardi, una colossale opera di classificazione di spettri stellari basata non più sull'osservazione diretta dello spettro all'oculare dello spettroscopio applicato al cannocchiale, ma sulla fotografia. Miss Anne Cannon, dell'Osservatorio di Harvard, riuscì così a stabilire dei criteri di classificazione, usati ancora oggi, ed a classificare in tal modo 225mila stelle fino alla decima magnitudine.

Classe spettrale	Temperatura di superficie (gradi Kelvin)	Colore	Esempi di stelle
O	30.000		10 Lacerta (O9)
B	20.000		Rigel (B8)
A	10.000		Sirio (A1)
F	7000		Canopo (F0)
G	6000		Sole (G2)
K	4000		Aldebaran (K5)
M	3000		Betelgeuse (M2)

LO SPETTRO E IL COLORE DELLE STELLE

Lo schema sottostante raffigura le 7 tipologie di spettri stellari, contrassegnate convenzionalmente da lettere alfabetiche. A ogni spettro corrisponde una certa lunghezza d'onda (il cui andamento è indicato dalla linea azzurra sotto la lettera) e un colore della stella (indicato dal cerchio colorato): questi due aspetti caratteristici «attraversano» da destra a sinistra la sequenza dello spettro, dal viola al rosso.



O - Lo spettro presenta righe dell'elio ionizzato e di altri elementi: carbonio, azoto e ossigeno (due volte ionizzati) e silicio (ionizzato tre volte). Stelle blu, con temperatura di circa 22.000 °C.

B - Righe dell'elio neutro molto intense. Cominciano ad apparire le linee dell'idrogeno e vi sono righe di carbonio, ossigeno e silicio ionizzati. Stelle bianco-blu; temperatura di circa 14.000 °C.

A - Deboli righe dell'elio neutro. Intense righe dell'idrogeno. Forti

linee del magnesio e del silicio ionizzati. Linee del calcio che aumentano man mano di intensità. Stelle bianche; temperatura di circa 10.000 °C.

F - Spettro simile alle A, ma con linee dell'idrogeno d'intensità minore. Importanti le linee del calcio ionizzato. Appaiono linee di elementi neutri. Stelle bianco-gialle; temperatura di ca 6700 °C.

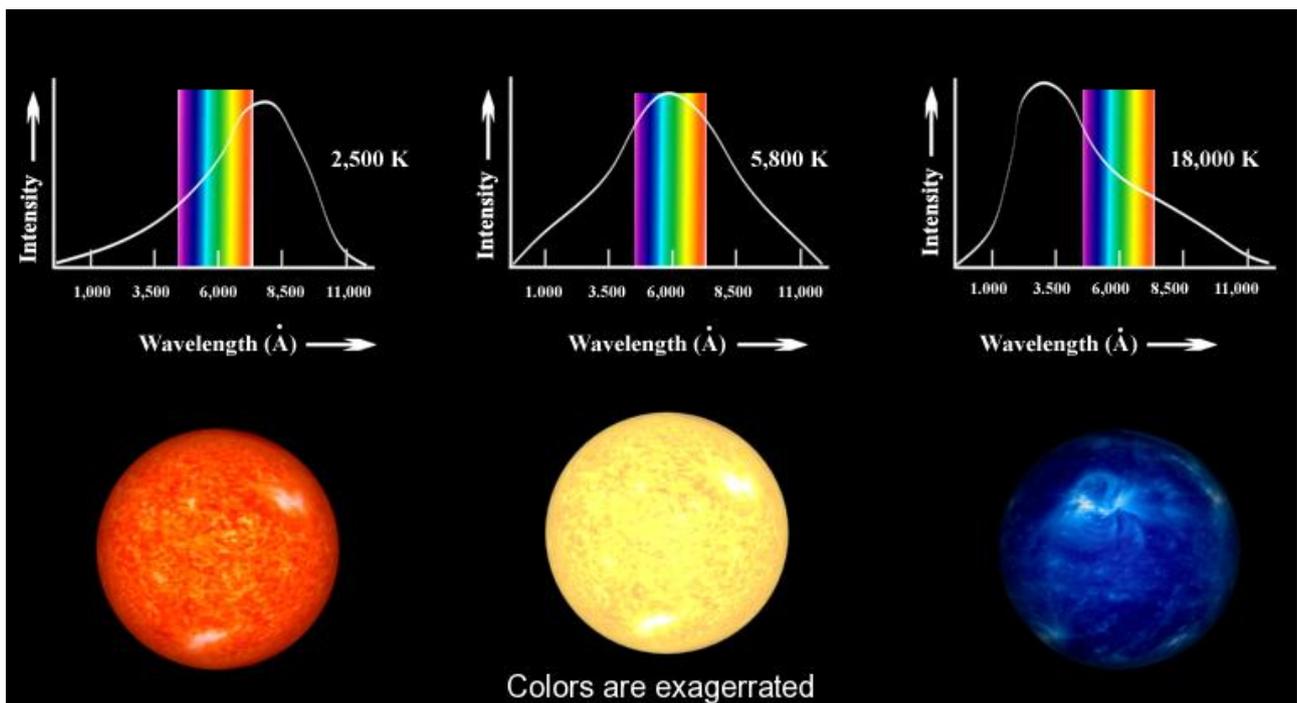
G - Righe dell'idrogeno molto deboli. Linee del calcio ionizzato molto intense. Appaiono le bande molecolari del cianogeno (C_2N_2)

e dello ione -CH. Stelle gialle (il Sole fa parte di questa categoria); temperatura di circa 5500 °C.

K - Le linee del calcio ionizzato si indeboliscono, si intensificano quelle del calcio neutro. Dominano le linee dei metalli neutri. È lo spettro delle macchie solari. Stelle «gialle-gialle»; temperatura di circa 3800 °C.

M - Lo spettro presenta bande molecolari, in particolare dell'ossido di titanio (TiO). Stelle rossastre; temperatura di circa 1800 °C.

Che passando dalle alte alle basse temperature il colore delle stelle passi dal bianco-azzurro al rosso si sa esser dovuto al fatto che diminuisce l'intensità della luce violetta e cresce invece l'intensità della luce rossa. Ma è facile capire anche perché al variare della temperatura varino numero, intensità e posizione delle righe. Stelle fredde (per esempio, di tipo spettrale K e M) emettono la maggior parte della propria energia nelle regioni rossa e infrarossa dello spettro elettromagnetico, e così ci appaiono rosse, mentre le stelle calde (come quelle di tipo spettrale O e B) emettono perlopiù a lunghezze d'onda blu e ultraviolette, apparendoci quindi azzurre o bianche. Le stelle emettono lunghezze d'onda diverse (determinate dai vari elementi chimici di cui sono composte) spesso distribuite in un'ampia porzione dello spettro elettromagnetico ma quella che determina il loro colore della stella corrisponde di volta in volta alla lunghezza d'onda del picco.



Le stelle delle classi marginali (O-M) emettono la maggior parte della radiazione rispettivamente nell'ultravioletto e nell'infrarosso lasciando poco spazio alle righe emesse nel "visibile". Man mano che ci si sposta dalla classe B alla classe K si assiste ad una transizione del picco d'emissione dal bianco-blu a giallo-arancio. In pratica, astronomicamente parlando, il colore di una stella dipende dalla zona dello spettro che accoglie il picco di emissione della stella stessa. Quindi All'aumentare della temperatura aumenta la quantità di energia emessa sotto forma di radiazione con lunghezza d'onda minore. Cioè: aumentando temperatura la maggior parte dell'energia emessa ha lunghezza d'onda molto piccola, cioè di colore azzurro. Se la temperatura diminuisce aumenta la lunghezza d'onda della maggior parte della radiazione e la stella appare di colore rosso.

L'analisi spettrale, oltre a essere un mezzo laborioso di indagine, è applicabile solo a stelle che appaiono sufficientemente brillanti o perché relativamente vicine al sistema solare o perché intrinsecamente molto luminose. Ciò significa che al di sotto di un certo valore dello splendore stellare, la classificazione del tipo spettrale e della classe di luminosità viene ricavata per via fotometrica. Vengono cioè usati particolari strumenti, i fotometri, dotato di un rivelatore molto sensibile che, quando è raggiunto dalla luce, produce una corrente elettrica proporzionale all'intensità della luce ricevuta: misurando l'intensità della corrente elettrica prodotta, si può determinare la luminosità di una stella. Con opportuni indici di colore, poi, si ricavano delle quantità legate, come il tipo spettrale e la classe di luminosità, alla temperatura e alla densità del materiale che forma l'atmosfera stellare.

A cura di CHIARA PICA