

Questa è un'anteprima del libro che potrai acquistare al seguente link:

<http://www.lulu.com/spotlight/danielegasparriatyahoodotit>

Daniele Gasparri

Astrofisica per tutti

Scoprire l'Universo con il proprio telescopio

Copyright © 2012 Daniele Gasparri

ISBN 978-1-4717-6433-2

Questa opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore. Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla ristampa, traduzione, all'uso di figure e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla riproduzione su microfilm o in database, alla diversa riproduzione in qualsiasi altra forma, cartacea o elettronica, rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. La riproduzione di questa opera, o di parte di essa, è ammessa nei limiti stabiliti dalla legge sul diritto d'autore. Illustrazioni ed immagini rimangono proprietà esclusiva dei rispettivi autori. E' vietato modificare il testo in ogni sua forma senza l'esplicito consenso dell'autore.

Prefazione

In questo volume sono raccolti metodi e progetti di ricerca astronomica che è possibile condurre con strumentazione amatoriale.

Si tratta di un manuale introduttivo sul mondo della ricerca, a torto ritenuto appannaggio esclusivo dei professionisti o di studiosi in grado di districarsi tra gli intricati e spesso sconosciuti meandri della matematica e della fisica.

Senza l'intento di voler redigere un manuale tecnico, ho cercato piuttosto di informare il lettore su quale sia la realtà e sul fatto che senza particolari conoscenze, e grazie all'uso di internet, è possibile partecipare a innovativi progetti di ricerca che potrebbero non richiedere neanche un telescopio.

La comunicazione senza frontiere ci consente inoltre di scambiare idee e consigli con persone esperte sparse su tutto il pianeta e, se si è fortunati, di collaborare direttamente dal salotto di casa con importanti scienziati ed utilizzare i più grandi telescopi del mondo.

Non vi saranno quindi pesanti formule o dettagli tecnici su come deve essere portato avanti un progetto di ricerca. Per questo ci sarà tempo per una successiva pubblicazione specifica; per ora mi interessa divulgare questo aspetto dell'astronomia e del ruolo davvero importante dell'astronomo amatoriale del ventunesimo secolo.

La struttura del volume è molto semplice ed enuncia i principali progetti di ricerca accompagnati da qualche nozione teorica di base, con l'obiettivo di far comprendere il perché si cerca di studiare quella determinata classe di oggetti, e da un paragrafo sui risultati ottenibili con la strumentazione amatoriale.

Per essere compreso non sono richieste conoscenze particolari, risultando quindi indicato ad un vasto pubblico, dai giovani a coloro che, a torto, credono di essere ormai troppo in là con gli anni per cominciare un ambizioso progetto astronomico.

Naturalmente l'applicazione pratica di molti (ma non tutti!) progetti di ricerca richiede un'esperienza di base nelle osservazioni astronomiche e conoscenza del cielo stellato, ma questo è un dato secondario.

Il nostro obiettivo principale è semplicemente quello di stupirci del grande potenziale di una strumentazione che ha un costo paragonabile a quello di un sofisticato computer portatile, ma che contrariamente agli accessori elettronici potrà durare per una vita e soprattutto rappresenta la porta su un Universo che non è mai stato così vicino.

Daniele Gasparri, giugno 2012

Indice

Introduzione	1
Un cenno al metodo scientifico.....	7
Schema progetti di studio e ricerca.....	10
1. Fotometria	11
1.1 Fotometria classica o assoluta.....	13
1.2 Fotometria differenziale o di apertura.....	15
1.2.1 Strumentazione e metodi di fotometria differenziale.....	18
1.3 Ricerca e studio di nuove variabili.....	21
1.3.1 Approfondimento: Le variabili pulsanti come candele standard.....	29
1.3.2 Approfondimento: Analisi fotometrica di una nuova stella variabile.....	35
1.4 Periodo rotazione e forma dei corpi minori del sistema solare.....	41
1.5 Studio e ricerca pianeti extrasolari.....	44
1.5.1 Approfondimento: Analisi del transito di HD17156b.....	52
1.6 Macchie extrasolari.....	60
1.7 Temperatura delle stelle.....	63
1.8 Raggio e distanza delle stelle.....	68
1.9 Costruzione di diagrammi HR osservativi per gli ammassi stellari.....	71
1.10 Approfondimento: leggere e capire il diagramma HR.....	77
1.11 Link e risorse utili per i progetti di fotometria....	83
2. Imaging	89
2.1 Monitoraggio atmosfere e superfici planetarie ...	90
2.1.2 Alla ricerca dei più piccoli dettagli.....	100
2.2 Studio del Sole.....	107
2.3 Rilevare dischi planetari attorno ad altre stelle...	114
2.4 <i>Survey</i> del cielo per scoprire nuovi oggetti.....	120
2.4.1 Approfondimento: scoprire una cometa.....	126

2.5	Ricerca e studio delle meteore	134
2.6	Impatti extraterrestri.....	138
2.7	Astrometria.....	143
2.8	Link e risorse utili per i progetti di <i>imaging</i>	148
3.	Transiti ed occultazioni: timing.....	151
3.1	Link e risorse utili per i progetti di timing	154
4.	Spettroscopia amatoriale.....	155
5.	Altri progetti di ricerca	172
5.1	Anelli di Giove e Urano	172
5.2	La luce di <i>Ashen</i> su Venere.....	175
5.3	Riprendere la superficie di Titano.....	176
5.4	Evoluzione di alcune nebulose	177
5.5	Il cielo in infrarosso	178
6.	Ricerca senza telescopio.....	180
	Bibliografia	189
	Biografia.....	191

Introduzione

L'astronomia è una delle poche materie scientifiche accessibili anche agli appassionati del cieli, chiamati astronomi dilettanti o amatoriali. E' sufficiente in effetti un binocolo o un piccolo telescopio per iniziare a scoprire questa bellissima materia, tanto vasta quanto sorprendente ed appagante.

Chi è l'astronomo amatoriale del ventunesimo secolo?

Può in qualche modo il progresso tecnologico permetterci di portare avanti l'astronomia in un modo più simile ai professionisti? E' possibile andare oltre il semplice osservare i corpi celesti più vicini, attività appassionante all'inizio, ma poi, inevitabilmente destinata a farci perdere man mano l'interesse?

Il segreto di ogni passione, che si faccia per lavoro (che gran fortuna!) o per hobby, è quello di alimentarla con nuovi obiettivi, con progetti ambiziosi che ci facciano sentire fieri di noi stessi, compiaciuti magari di aver dato una mano concreta non solo al nostro ego, ma alla conoscenza e al benessere dell'intero genere umano.

Osservare quindi un lontano pianeta o i crateri della Luna può risultare appagante, ma prima o poi molti appassionati lo troveranno riduttivo; alla fine è nell'indole umana porsi delle sfide e degli obiettivi da superare, migliorare se stessi e le proprie conoscenze.

Con l'avvento della tecnologia di ripresa digitale a costi piuttosto economici, l'astronomia amatoriale ha subito una profonda rivoluzione ed espansione verso il mondo dei professionisti.

I dilettanti più intraprendenti, curiosi e determinati possono ora con i propri mezzi contribuire più che mai alla conoscenza astronomica, partecipando, oppure creando dei veri e propri progetti di ricerca, alcuni davvero innovativi e di carattere strettamente professionale.

Gli inevitabili limiti di una strumentazione ottica naturalmente non all'altezza delle grandi strutture professionali vengono ri-

dotti e a volte cancellati da alcune importanti variabili, tra cui possiamo citare:

- 1) **Seeing:** Termine inglese per definire la turbolenza dell'atmosfera terrestre, responsabile del degradamento della qualità delle immagini. Telescopi di diametro maggiore permettono di vedere, in teoria, meglio (miglior potere risolutivo), ma la turbolenza dell'atmosfera terrestre pone un limite alla qualità delle immagini, qualsiasi telescopio si utilizzi. Di conseguenza, in un campo molto importante come quello delle osservazioni planetarie ad alta risoluzione, il divario tra i piccoli strumenti amatoriali e i grandi telescopi professionali non è grande quanto suggerirebbe la teoria, anzi, non è raro assistere anche a sorprendenti "colpi di scena";
- 2) **Tempo di osservazione:** Gli astronomi professionisti non hanno a disposizione tutto il tempo che vogliono per fare le loro ricerche, dovendosi quindi limitare spesso a progetti di breve durata ed effetto immediato (altrimenti addio finanziamenti!). Gli appassionati di astronomia, invece, possono fare delle osservazioni su un intervallo temporale grande a piacere (l'unico limite è la pazienza!). Questa è una delle variabili più importanti a favore degli astronomi dilettanti: in quasi tutti i progetti che richiedono un impegno maggiore di qualche settimana, i risultati più importanti vengono proprio dalla strumentazione amatoriale. I campi più prolifici sotto questo punto di vista riguardano il monitoraggio continuativo delle superfici e atmosfere planetarie, la ricerca di comete, asteroidi, supernovae e soprattutto stelle variabili;
- 3) **Dispositivi e tecniche di ripresa:** Utilizzando supporti di ripresa digitali al posto del nostro occhio o dell'ormai estinta pellicola, e tecniche appropriate, è possibile portare la propria strumentazione oltre i limiti teorici e ben oltre le performance offerte dall'osservazione visuale. Sebbene i dispositivi digitali in nostro possesso

non siano qualitativamente eccellenti come quelli in uso presso i grandi osservatori astronomici, è possibile trasformare i punti di debolezza in punti di forza, per ottenere risultati che la sofisticata strumentazione professionale fatica a raggiungere (vedi ad esempio 2.3).

- 4) **Internet:** Il continuo scambio di informazioni, la possibilità di collaborare con appassionati ed esperti di tutto il mondo, nonché di potersi documentare con estrema facilità su tecniche, progetti e risultati della ricerca di punta, sono fondamentali per mantenere aggiornato ed informato l'astronomo amatoriale che cerca di partecipare alle nuove sfide astronomiche. Prima della diffusione di questa miniera di informazioni a bassissimo costo, era quasi impossibile per l'amatore tenersi aggiornato e cercare collaborazioni con altri appassionati o professionisti sparsi sulla superficie terrestre;
- 5) **Grandissima mole di dati:** I progetti di ricerca astronomica possibili ed i dati che vengono forniti da strumenti e satelliti, sono così tanti che non esistono abbastanza astronomi professionisti per analizzarli in breve tempo. Il primo esempio che mi viene in mente riguarda il telescopio spaziale Kepler, dedicato alla ricerca dei pianeti extrasolari. In appena due anni di attività, ha rilevato oltre 2000 potenziali pianeti, un numero così elevato che per confermarli tutti con altre osservazioni gli astronomi professionisti impiegheranno degli anni. Non di rado, quindi, viene chiesto l'aiuto della comunità amatoriale per cercare di districarsi in una mole di dati che non ha conosciuto eguali nella storia della scienza.

Se utilizzato nel modo migliore, anche uno strumento di appena 20-25 centimetri di diametro aprirà letteralmente le porte alla ricerca scientifica, affiancando gli astronomi professionisti equipaggiati con grandi telescopi e strumentazione d'avanguardia.

È una soddisfazione immensa quando l'amante del cielo si trasforma in astronomo e riesce a conoscere o scoprire oggetti mai visti prima.

La ricerca scientifica è veramente affascinante; spesso è sottovalutata e vista con timore, ma in realtà si tratta di un'attività addirittura più semplice dell'astrofotografia estetica, se non altro perché non richiede né grossi e onerosi strumenti, né una conoscenza approfondita di programmi di elaborazione e foto ritocco.

Contrariamente alla normale fotografia astronomica, nella quale si curano gli aspetti estetici e le fasi di elaborazione e presentazione dei dettagli, la tecnica di ricerca si svolge in modo molto diverso e prevede 3 fasi distinte:

- 1) **Raccolta dei dati** secondo tecniche ben precise ed utilizzando sempre sensori digitali;
- 2) **Riduzione.** Con questa parola si identificano tutte le fasi propedeutiche alla successiva lettura ed interpretazione dei dati in nostro possesso, come la calibrazione delle immagini CCD con *dark*, *flat* e *bias frame*, ed eventualmente la costruzione di grafici. Questa è la fase diversa rispetto alla fotografia astronomica: in genere non si applicano tutti i filtri di contrasto e tutti i ritocchi che si rivelano invece necessari per dare un aspetto esteticamente gradevole all'immagine.

Le immagini a scopo scientifico sono brutte fuori ma belle dentro. Esse nascondono al loro interno tutto il potenziale scientifico che spesso non va d'accordo con quello estetico.

Se nella fotografia tutti i nostri sforzi sono focalizzati sul come presentare al meglio i risultati, in questi casi dovremmo invece adoperarci nell'estrapolare i dati scientifici di cui abbiamo bisogno: informazioni sulla luminosità, sul contrasto dei dettagli planetari, sulla variazione della luce in funzione del tempo...sacrificando, se necessario, l'aspetto estetico;

- 3) **Interpretazione.** Sicuramente una delle fasi più belle. Dai dati ridotti dobbiamo cercare di trarre delle conclusioni sull'evento che abbiamo seguito; questa è la fase più emozionante perché si raccolgono i frutti del nostro lungo lavoro, con la possibilità di ottenere informazioni uniche nel panorama mondiale.

La ricerca astronomica amatoriale può essere suddivisa in due grandi categorie: fotometria e *imaging* standard, che si differenziano per la fase di riduzione dei dati e per il modo in cui vanno letti e successivamente interpretati.

In entrambe le discipline si tratta di riprendere delle immagini del soggetto studiato ed analizzare la luce che riceviamo. La fotometria si concentra solamente sulla quantità di luce e sulla sua eventuale variazione nel tempo. L'*imaging* invece, analizza direttamente la sorgente che ha emesso la luce, le sue dimensioni, la forma, la posizione.

L'interpretazione dei dati prevede sempre di effettuare delle misurazioni, in genere di luminosità, angolari o temporali. Come ogni misurazione, quindi, non è possibile disporre di una precisione assoluta: ogni misura comporta degli errori. Essere prima di tutto coscienti e successivamente cercare di minimizzare gli errori di misura dipende dalle conoscenze tecniche e teoriche che si possono apprendere con l'esperienza, lo scambio di idee con altri esperti appassionati e qualche buon libro da leggere negli intervalli di tempo.

A questo punto mi rivolgo a tutti gli astronomi dilettanti che possiedono la strumentazione adatta, includendo anche me stesso.

Noi passiamo spesso ore ed ore nell'elaborare al meglio un'immagine di una nebulosa, cercando di tirare fuori più dettagli possibile e allo stesso tempo di renderla esteticamente perfetta; perché non dedicare almeno il 20% di questi sforzi nell'analisi scientifica degli eventi dell'Universo?

Non sono necessarie conoscenze fuori dal comune, la tecnica è semplice da imparare e la successiva riduzione ed interpre-

tazione dei dati sono fasi che richiedono spesso molto meno impegno rispetto all'elaborazione di un'immagine "estetica".

La differenza nei risultati parla chiaro.

E' meglio riuscire a riprendere in modo impeccabile la grande nebulosa di Orione, la cui immagine si andrà ad aggiungere alle centinaia perfette ottenute dagli appassionati di tutto il mondo, oppure essere i primi a scoprire un pianeta orbitante attorno ad un'altra stella che nessuno fino a quel momento aveva mai visto?

Io, personalmente, non avrei alcun dubbio in merito.

Elencare dettagliatamente tutti i progetti di studio e ricerca è una cosa impossibile e richiederebbe il doppio delle pagine di questo volume, per questo mi limiterò a riassumere in uno schema tutti i possibili studi e ad analizzare brevemente i più interessanti ed importanti, tralasciando, dove possibile, pesanti nozioni matematiche e fisiche di base o le tecniche di estrapolazione dei dati, per i quali mi riserverò un altro volume adatto allo scopo.

Queste pagine sono scritte per informare l'appassionato del cielo sul grande potenziale dell'astronomia amatoriale, per cercare di incuriosirlo vero una strada ancora troppo poco conosciuta e spesso vista con scetticismo o vera e propria paura. Coloro i quali dovessero trovare la voglia di intraprendere uno di questi progetti, potranno approfondire nel vasto oceano della rete o cercando l'aiuto di qualche persona più esperta.

In un certo senso, è anche questo il bello del gioco: l'astronomo amatoriale è di per se una persona curiosa, un investigatore del cielo che deve avere la voglia e le capacità di ricerca delle informazioni di cui ha bisogno, soprattutto oggi con il web che porta in ogni casa praticamente tutto lo scibile umano.

I progetti che andremo a vedere vanno divisi in altre due categorie ideali e trasversali: quelli interessanti ma già affrontati in modo molto approfondito dai professionisti, che risultato utili per lo più dal punto di vista didattico e di soddisfazione personale, e quelli che invece possono portare conoscenza scienti-

fica, come la ricerca dei pianeti extrasolari, la scoperta di nuove variabili e in generale di oggetti ancora mai avvistati.

I risultati, oltre a produrre una piacevolissima sensazione di appagamento e soddisfazione, riescono effettivamente ad essere utili all'intera comunità scientifica; non di rado il nome degli astrofili compare in importanti articoli astrofisici; diventano addirittura possibili collaborazioni con enti quali ESA (l'agenzia spaziale europea) e NASA (agenzia spaziale americana) o con alcune tra le più importanti università del mondo. L'importante, come in ogni progetto della nostra vita, è la determinazione, la passione e la voglia di raggiungere certi traguardi, senza mai farsi scoraggiare dalle difficoltà che inevitabilmente si incontreranno sul proprio percorso.

Un cenno al metodo scientifico

In ogni lavoro di ricerca o studio a carattere scientifico occorre seguire rigorosamente delle regole riassunte nel cosiddetto metodo scientifico.

L'analisi scientifica di ogni fenomeno naturale è spesso molto difficile e deve essere assolutamente oggettiva.

Qualsiasi passo condotto dalla scienza deve procedere per delle tappe, che sono, in rigoroso ordine: raccolta dei dati, estrapolazione delle informazioni, interpretazione dei dati, sviluppo di una teoria che possa giustificarli e allo stesso tempo prevedere tutta una serie di eventi appartenenti alla stessa famiglia (procedimento induttivo).

Un qualsiasi esperimento scientifico, e i dati che se ne ricavano, devono essere ripetibili da qualsiasi osservatore; tanti esperimenti e dati non sono sufficienti a confermare rigorosamente una teoria ma ne basta uno per confutarla.

Questi sono, a grandi linee, i concetti espressi dal metodo scientifico.

Nelle applicazioni astronomiche questo può essere tradotto in: Quando si scopre un nuovo oggetto, o si riescono a catturare dei dettagli mai visti prima, ogni osservatore, opportunamente informato (corpo celeste, posizione, eventuale moto), deve po-

ter riprodurre perfettamente i risultati dello scopritore; in caso contrario i dati ricavati non possono essere accettati.

In astronomia, come in ogni branca della scienza, la bravura dello scienziato è nell'arrivare per primo ad una scoperta o teoria, non averne l'esclusiva.

Ogni informazione, dato, teoria, deve essere reso pubblico in ogni minimo dettaglio. Non è accettabile, ad esempio, tenersi segrete le tecniche di elaborazione di un'immagine digitale che mostra un corpo o un oggetto mai visti prima.

Dopo aver controllato i dati e le conclusioni, dopo averli fatti controllare, privatamente, da un conoscente, dopo aver cercato in tutti i modi di confutarli, senza riuscirci, allora il nostro lavoro è scientificamente valido; i dati e le conclusioni possono, devono, essere resi pubblici nel modo più trasparente possibile.

Qualsiasi lavoro si intenda svolgere, a prescindere dal livello, per avere credito le scoperte devono essere accompagnate da dati precisi, e soprattutto essere già state confermate almeno da un'altra osservazione.

La probabilità di prendere degli abbagli in astronomia è molto elevata, per questo gli stessi enti che raccolgono le informazioni scientifiche degli astrofili (l'AAVSO per le stelle variabili, il *Minor Planet Center* per gli asteroidi o il CBAT per comete, novae e fenomeni transienti) richiedono che la scoperta sia corredata almeno da una verifica indipendente.

Nel caso avessimo scoperto un oggetto che sembra una nuova cometa, occorre che almeno un altro osservatore, opportunamente informato, ottenga lo stesso risultato, o che l'astrofilo stesso, nel corso di due notti consecutive, riesca a riprendere e seguire il nuovo corpo celeste.

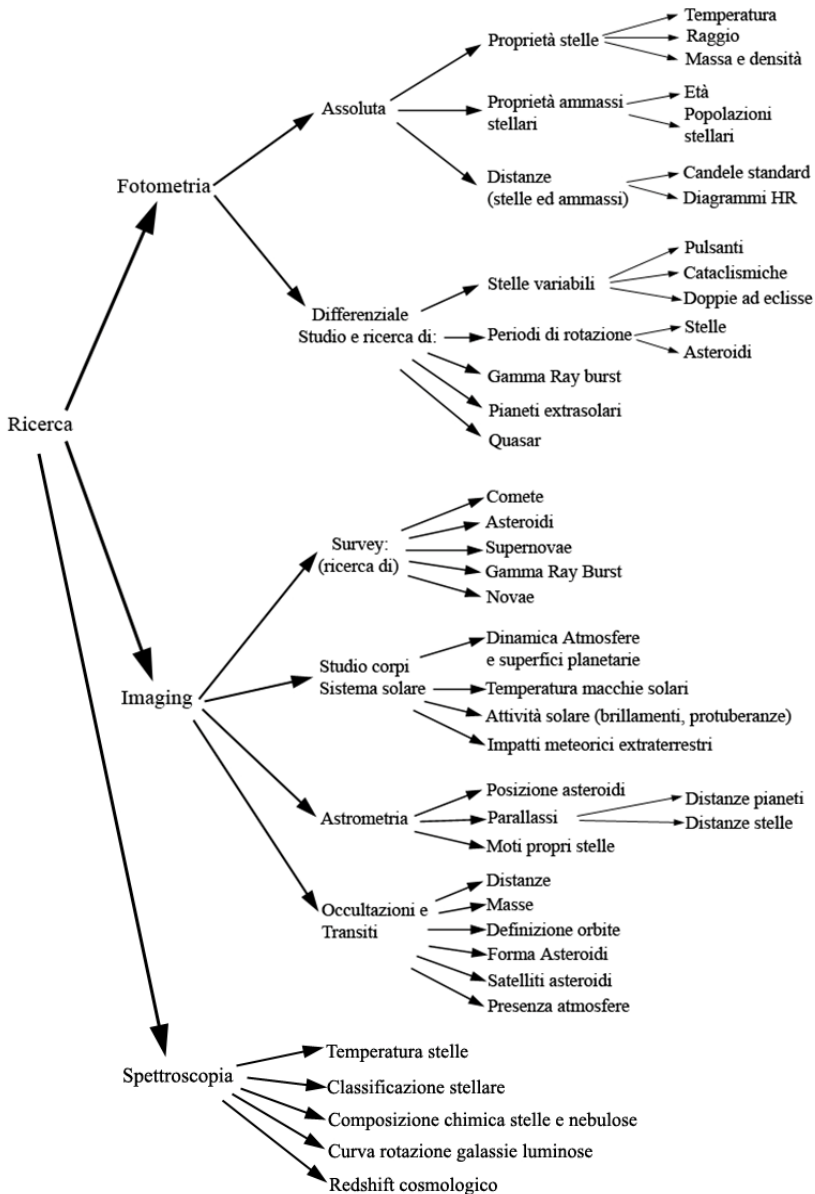
Lo stesso concetto, seppur meno rigorosamente, si dovrebbe applicare anche al puro *imaging* estetico. È vero, le immagini astronomiche a scopo divulgativo/illustrativo non hanno pretese scientifiche elevate, ma si tratta comunque di rappresentazioni della realtà e per questo dovrebbero rappresentarla veramente.

Ogni immagine è potenzialmente ripetibile da qualsiasi persona; tutti i lavori presentati in questo libro possono essere ripetuti da chiunque disponga di strumentazione simile.

Non si tratta di un quadro o di un'opera d'arte frutto del talento di chi la crea; si tratta di realtà e per questo non deve assolutamente cambiare da un osservatore all'altro!

Il metodo ed il rigore scientifico si rendono necessari quando si vuole analizzare la realtà oggettivamente e, sebbene possa essere antipatico, è necessario applicarlo a qualsiasi livello, altrimenti l'astronomia, sia pur amatoriale, sfocia nell'arte, e questo non è proprio accettabile.

Schema progetti di studio e ricerca



1. Fotometria

L'unico modo che abbiamo per indagare la natura e le caratteristiche di un oggetto astronomico è attraverso l'analisi e l'interpretazione della luce che esso ci invia, poiché siamo impossibilitati fisicamente a raggiungerlo (fatta eccezione per qualche corpo celeste estremamente vicino) e fare degli studi sul campo. Ancora meno probabile l'eventualità di riprodurre in laboratorio gli ambienti dello spazio e di studiare da vicino le sorti dei nostri esperimenti, come invece possono fare ad esempio i biologi e molti fisici.

L'analisi della quantità, del colore, della variazione della luce in funzione del tempo, è detta fotometria, letteralmente misura dei fotoni che giungono fino a noi.

Molte persone sono abituate a credere l'Universo come un luogo statico; dalle pagine precedenti abbiamo visto che non è proprio così. Sfortunatamente, ad esclusione dei pianeti del sistema solare, in effetti il tempo nel quale esso sembra "muoversi" è molto maggiore della vita media di qualsiasi essere umano, per questo esso ci appare in gran parte statico. Tuttavia ci sono dei fenomeni che possono avere luogo, svilupparsi e poi terminare nel giro di qualche ora, a volte dei secondi. Quasi la metà delle stelle che è possibile ammirare nel cielo sono variabili, sorgenti che cambiano la loro luminosità nel tempo, spesso nel giro di qualche ora o giorno.

Purtroppo i nostri occhi non sono sufficienti per ammirare e studiare oggettivamente queste variazioni di luminosità, ma le camere CCD di cui siamo dotati sì; esse riescono a misurare variazioni di luminosità molto piccole, fino a 1/1000 di volte rispetto al flusso luminoso totale che riceviamo. Un esempio più pratico rende meglio l'idea.

Consideriamo un lampione, di quelli con il vetro translucido, dal diametro di 40 cm. Una moderna camera CCD riesce a misurare il calo della luce prodotto quando sulla sua superficie vi si posa una mosca, a prescindere dalla distanza alla quale

osserviamo! Per un paragone, l'occhio umano riesce a percepire un calo di luce 100-200 volte maggiore!

Attraverso questi sensibilissimi strumenti di misura, siamo in grado, utilizzando la tecnica della fotometria, di analizzare anche le più piccole variazioni di luminosità di ogni oggetto celeste.

La domanda che ora potrebbe sorgere è: che senso ha analizzare tali variazioni di luminosità? Perché sembrano essere così importanti?

La risposta è semplice: perché alla base delle variazioni di luminosità di qualsiasi oggetto celeste ci sono dei fenomeni fisici o dinamici ben precisi.

La Natura non lascia nulla al caso: c'è sempre una spiegazione profonda a ciò che osserviamo.

Una stella che subisce un calo della sua luce di 1/100 per qualche ora, per poi ritornare normale, può apparire insignificante e non degna di studio ai più, ma quel calo di luce, così piccolo e temporaneo, potrebbe essere la prova di un pianeta che le orbita intorno, oppure ancora, sintomo di una dilatazione dei suoi strati più esterni.

Questi piccoli dettagli, questi valori così bassi, per noi esseri umani abituati alla vita di tutti i giorni, possono in realtà nascondere degli eventi assolutamente incredibili, che i nostri telescopi sono in grado di mostrarci.

Questa è l'astronomia: la perfetta coesistenza tra l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande. Piccoli effetti possono manifestare eventi di straordinaria potenza, così come le proprietà delle particelle subatomiche regolano di fatto il funzionamento dell'intero Universo.

Non è tutto: la nostra strumentazione ha le potenzialità per mostrare molto altro; sta alle capacità di ognuno di noi riuscire a tirare fuori i dati ed interpretarli correttamente, sulla falsa riga di quanto accade nella fotografia astronomica.

La fotometria è una tecnica interessantissima e relativamente semplice da imparare e capire, almeno nelle sue versioni "semplificate", di cui parleremo abbondantemente nelle pros-

sime pagine. Le conoscenze e la tecnica richieste si apprendono in qualche giorno e alla fine risulteranno addirittura molto più semplici rispetto all'elaborazione di un'immagine "estetica". Possiamo dividere questa branca osservativa dell'astronomia in due grandi filoni, che si differenziano rispetto al metodo utilizzato: la fotometria assoluta e la fotometria differenziale (o di apertura).

1.1 Fotometria classica o assoluta

Utilizzando le nostre camere CCD, dei filtri appositi detti fotometrici, e calibrando la nostra strumentazione su delle stelle dette standard, la cui luminosità apparente è stata fissata come termine di paragone, possiamo misurare la luminosità apparente, a varie lunghezze d'onda, di tutti gli oggetti stellari ed eventualmente metterne in mostra la variazione in funzione del tempo.

Benché affascinante, questa branca della fotometria è la più difficile da realizzare e quella che comunque porta a risultati meno innovativi dal punto di vista della ricerca.

Quasi tutti gli oggetti celesti accessibili a strumentazione amatoriale sono stati abbondantemente studiati; è quindi difficile che le informazioni dedotte dagli astrofili possano dare una mano nel migliorarne la conoscenza (ma non impossibile: ci sono astrofili che si dedicano alla fotometria di sorgenti molto deboli o di comete ed asteroidi appena scoperti). Non c'è dubbio che rimane il fascino di estrarre con la propria strumentazione dati importanti.

La procedura di calibrazione degli strumenti non è difficile da apprendere, ma la sua spiegazione esula dagli obiettivi di questa sezione.

Rimando il lettore interessato a consultare la sezione bibliografica dove troverà ottimi manuali che spiegano in dettaglio queste fasi.

Le applicazioni possibili sono:

- Stima del colore di una stella attraverso gli indici di colore, cioè mediante la magnitudine in due diverse (e fissate) lunghezze d'onda. Da queste misurazioni posso ricavare la temperatura della fotosfera stellare.
- Costruzione diagrammi HR (*Hertzprung-Russell*) per ammassi stellari: un diagramma HR è, come vedremo, un grafico nel quale in ascissa si trova l'indice di colore (oppure la temperatura, visto che queste due grandezze sono collegate) e in ordinata la magnitudine assoluta, cioè la luminosità assoluta.

Nel grafico si riportano questi due valori per molte stelle e si legge l'andamento finale. Tuttavia, nelle normali situazioni per conoscere la magnitudine assoluta bisogna prima conoscere la distanza della stella, poiché la luminosità apparente che misuriamo varia sensibilmente con la distanza.

Nel caso degli ammassi stellari, invece, sia aperti che globulari, possiamo considerare tutte le stelle poste circa alla stessa distanza da noi.

Con questa semplice assunzione, le differenze di luminosità apparente corrispondono anche a differenze di luminosità assoluta: al posto della magnitudine assoluta ci si può mettere quella apparente, in generale nel visibile, che possiamo misurare con la nostra strumentazione.

Una volta eseguito questo lavoro per qualche decina di stelle, possiamo ricavare l'età dell'ammasso aperto, la distribuzione delle diverse classi spettrali, la temperatura di ciascuna componente, le dimensioni, la loro massa e la loro densità media: un lavoro davvero interessante.

1.2 Fotometria differenziale o di apertura

La tecnica più facile da apprendere e quella che fornisce i migliori risultati in fatto di precisione raggiungibile.

Non sempre sono necessari filtri fotometrici dal costo di qualche centinaio di euro ciascuno e non sono necessarie lunghe formule per la calibrazione della propria strumentazione.

Personalmente sono riuscito ad apprendere la tecnica in un giorno e ad applicarla con successo alla prima occasione, nell'evidenziare un transito di un pianeta extrasolare che ha prodotto un calo di luce di soli 1,5 centesimi di magnitudine.

Nella fotometria differenziale non si misurano le magnitudini degli oggetti celesti, ma la variazione di luminosità di una stella in funzione del tempo, paragonata ad un'altra (dalla luminosità fissa) nello stesso campo, detta di paragone (*reference star* in inglese).

Successivamente si costruisce quella che è chiamata curva di luce: un grafico con il tempo sull'asse x e la luminosità relativa sull'asse y.



Schermata del programma *Maxim DL* per l'analisi in fotometria differenziale di una sequenza di immagini. Si seleziona la stella oggetto di studio (Obj1), almeno 2 stelle di paragone dalla luminosità fissa (Ref1 e 2) ed eventualmente una stella di controllo, detta *check star*, non variabile, per controllare se le stelle scelte come paragone sono adatte o vi è la presenza di qualche errore che rende le immagini non fotometriche (ad esempio delle nubi).

Da sottolineare come le curve di luce si possano costruire anche con la fotometria standard attraverso i filtri fotometrici, ma attraverso la fotometria differenziale risultano molto più precise e facili da realizzare.

Con questa tecnica semplice, che non richiede in genere alcuna preparazione o strumentazione aggiuntiva rispetto al classico *imaging*, possiamo studiare una miriade di fenomeni celesti. Ecco alcuni esempi:

- **Ricerca e studio di nuove stelle variabili:** l'Universo è pieno di stelle che per motivi fisici variano la loro luminosità in funzione del tempo.

Lo studio di come questa luminosità varia ci permette di stabilire il tipo di variabile, le dimensioni, la massa, a volte l'età ed eventualmente anche la distanza.

- **Supernovae e stima delle distanze galattiche:** le supernovae, soprattutto quelle di tipo Ia, sono oggetti intrinsecamente molto brillanti e la loro curva di luce può essere molto utile per determinare sia la distanza dell'oggetto, che il tipo di esplosione.

Lo studio di questi fenomeni può portare nuove informazioni sull'evoluzione stellare, ancora non conosciuta e compresa fino in fondo.

- **Misurazione del periodo di rotazione dei corpi celesti del sistema solare** non risolti: solo nel nostro sistema solare esistono milioni di corpi celesti di piccole dimensioni la cui immagine non è risolvibile con nessun telescopio. Questo è il caso tipico di molti asteroidi, delle comete e dei lontani e ancora misteriosi KBO. Studiando come varia la loro luce in funzione del tempo possiamo avere un'ottima stima del periodo di rotazione, della forma e composizione chimica.

- **Ricerca e studio di macchie extrasolari e forma stellare:** questo punto può sembrare stupefacente, ma è assolutamente alla portata di strumentazione amatoriale. Analizzando la luce delle stelle non variabili in funzione del tempo (generalmente almeno una, due

settimane) è possibile mettere in luce l'eventuale presenza di macchie, del tutto simili a quelle solari. Questo è un fatto importantissimo perché è l'unico metodo per indagare la loro superficie: dal calo e dalla variazione di luminosità possiamo ricavare importanti informazioni sul loro numero, sulla loro evoluzione, quindi sull'attività magnetica della stella e sul suo periodo di rotazione.

Nei sistemi doppi stretti possiamo anche mettere in luce eventuali deformazioni delle componenti, a causa della reciproca attrazione gravitazionale.

- **Ricerca e studio pianeti extrasolari in transito:** quando un pianeta di un'altra stella, per una coincidenza prospettica, viene visto passare di fronte alla stella attorno alla quale orbita, produce un calo della sua luminosità che può essere rilevato anche da strumenti amatoriali.

Studiando il transito di un pianeta extrasolare possiamo ricavare informazioni sull'inclinazione dell'orbita, sulle sue dimensioni, massa, densità media e quindi anche struttura interna.

Oltre scoprire nuovi pianeti, possiamo anche riuscire a studiarli con precisioni notevoli. Questa è sicuramente l'applicazione fotometrica più interessante, per questo le sarà dato più spazio rispetto alle altre.

Siamo di fronte a progetti di ricerca innovativi e preziosi anche dal punto di vista accademico: l'astrofilo può trasformarsi in astronomo, semplicemente sfruttando la strumentazione di cui già dispone, collaborare con enti di ricerca, con astronomi professionisti, scrivere articoli scientifici ed ottenere risultati estremamente importanti.

Vale la pena indagare più in dettaglio qualche progetto, soprattutto dal punto di vista dei risultati ottenibili, perché la fotometria d'apertura, insieme all'*imaging* in alta risoluzione sui corpi del sistema solare, permette uno studio affascinante e spesso sconosciuto all'astrofilo.

1.2.1 Strumentazione e metodi di fotometria differenziale

Come si effettua la fotometria d'apertura di alta precisione e con quale strumentazione?

Nella vasta offerta commerciale, non tutte le camere di ripresa sono adatte, soprattutto quelle a colori e destinate principalmente alla ripresa fotografica di tipo estetico.

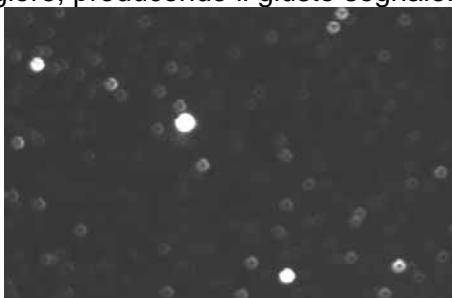
Lungi dal voler costituire una guida completa, i punti seguenti riassumono strumentazione e tecnica di ripresa di una tipica sessione di fotometria differenziale.

- Utilizzare un telescopio da almeno 15 cm. Utilizzare solo camere CCD appositamente progettate per l'astronomia che consentono un controllo accurato della temperatura, che deve restare sempre costante, meglio se non dotate di *antiblooming*;
- Utilizzare un sistema di guida che permette di tenere sempre nella stessa posizione sul sensore la stella interessata;
- Inquadrare il campo contenente la stella da studiare ed individuare delle stelle, nel campo di ripresa, con magnitudine e colore simili (e non variabili), in modo da poter essere utilizzate per confrontarne la luminosità. In generale occorre un campo di almeno 20 minuti d'arco per avere un numero sufficiente di stelle di paragone, la cui identificazione può essere fatta attraverso qualunque software planetario o mappa celeste;
- Effettuare delle prove preliminari: fondamentale ai fini della precisione è infatti il giusto tempo di esposizione. A causa degli effetti della nostra atmosfera, occorre esporre per almeno 50-60 secondi, meglio se alle lunghezze d'onda rosse-infrarosse. Contemporaneamente, il tempo di esposizione deve essere sufficiente per produrre un'immagine stellare con un buon segnale, o meglio, buon rapporto segnale/rumore, senza saturare le zone interessate. Questo significa che se la massima intensità ammessa dal sensore di ripresa è di

65536 livelli, è necessario attestarsi attorno al 50-75% di questo valore.

Non sempre è possibile coniugare il minimo tempo di esposizione con una corretta luminosità stellare, soprattutto per sorgenti relativamente brillanti, a causa dell'elevata sensibilità delle camere CCD. Per raggiungere questo fondamentale obiettivo abbiamo un'arma molto potente a nostra disposizione: sfocare l'immagine in modo che la luce della stella si distribuisca su un'area maggiore, producendo il giusto segnale.

In fotometria la forma e distribuzione della luce stellare non hanno importanza, perché a noi interessa solo contare il numero di fotoni raccolti, quindi è del tutto indifferente se vengono concentrati in 2 o 50



Tipica immagine fotometrica ad alta precisione. In questo tipo di applicazioni non conta affatto l'estetica, anzi, per migliorare la precisione è fortemente consigliato sfuocare l'immagine.

pixel, a patto che le immagini stellari non si sovrappongano. Questa è la prova più evidente di quello che ho detto nell'introduzione: l'estetica di un'immagine ai fini scientifici non conta affatto.

Una volta trovato il giusto compromesso tra esposizione e luminosità della stella, si può passare alla fase operativa;

- Prima di intraprendere la sessione osservativa vera e propria, è meglio riprendere tutte le immagini di calibrazione necessarie, come *dark frame*, *bias frame* e *flat field*, assolutamente indispensabili per qualsiasi lavoro fotometrico. Se questa fase è facoltativa nella fo-

tografia estetica, è assolutamente indispensabile nella fotometria;

- Cominciare le riprese: attivare il sistema di autoguida e riprendere in modo continuo per tutta la durata dell'evento o per tutta la notte, senza muovere il telescopio. Questa fase può essere automatizzata utilizzando dei semplici programmi per computer;
- Una volta ottenute le riprese, occorre calibrarle: sottrarre i *dark frame* e correggere con i *flat field*. I *bias frame* non servono se si hanno a disposizione dei buoni *dark*. Calibrare tutte le immagini riprese. Non applicare alcun filtro di contrasto, né effettuare altre operazioni; le immagini sono pronte per essere "lette" ed interpretate;
- Utilizzare un programma che consenta di effettuare la fotometria di una serie di immagini. Il più utilizzato e semplice è *Maxim Df*: si seleziona la stella oggetto di studio, due-tre stelle di paragone, una *check star* per avere la prova che esse non siano variabili e si costruisce automaticamente la curva di luce;
- Interpretazione dei dati: analizzando la forma, la profondità e l'eventuale periodo della curva di luce si possono avere moltissime informazioni, che è necessario analizzare caso per caso. Ne vedremo un esempio nel paragrafo di approfondimento 1.5.1.

1.3 Ricerca e studio di nuove variabili

La ricerca di nuove stelle variabili e lo studio preliminare attraverso la costruzione di curve di luce in fotometria differenziale o assoluta è una delle attività fotometriche più semplici e con risultati immediati.

Scoprire una nuova variabile, infatti, è più semplice e frequente di quanto si possa pensare; il problema è che bisogna saper riconoscere l'eventuale sorgente nelle proprie immagini attraverso la costruzione delle curve di luce.

Il progetto inoltre, è complementare ad ogni sessione di ripresa del cielo profondo, soprattutto se effettuata con camere CCD astronomiche.

La tecnica di ripresa *deep-sky* prevede infatti l'acquisizione di esposizioni variabili tra qualche minuto e qualche decina di minuti, che andranno poi allineate, sommate ed elaborate per rendere il massimo dettaglio dell'oggetto ripreso.

Prima di questa fase, è sufficiente fare un veloce studio fotometrico della propria sequenza di immagini, calibrate con *dark frame* e *flat field*, delle stelle presenti nel campo costruendo delle curve di luce, un'operazione veloce se si utilizzano programmi adeguati, come *Maxim Dl*. Questo software consente di individuare la stella da studiare e le stelle di paragone della propria sequenza di immagini con pochi click di mouse e di visualizzare immediatamente la curva di luce. Se la curva mostra una certa variabilità, superiore al rumore di fondo, allora la stella è considerata (o una di quelle di paragone) può essere una variabile, altrimenti no. Si può procedere in questo modo per tutte le stelle "adatte" nel campo ripreso, ovvero con una luminosità che non superi il 50-70% di quella massima consentita dalla dinamica del proprio sensore. Naturalmente anche le stelle di paragone devono soddisfare questi requisiti. Per evitare falsi positivi si può selezionare anche una *check star* durante la fase di costruzione delle curve di luce, ovvero una stella il cui andamento si paragona a quello della stella da studiare. Se gli andamenti sono diversi, allora una delle due stelle può essere una variabile.

L'operazione in effetti è molto più semplice da applicare che da descrivere. Poche sessioni e fare un controllo della propria sequenza di immagini sarà piuttosto veloce e divertente.

Le nuove scoperte possono entrare a far parte di un catalogo di stelle variabili, oppure, se sono veramente particolari, essere oggetto di studi approfonditi ed articoli scientifici per i quali verrà richiesta la vostra partecipazione attiva!

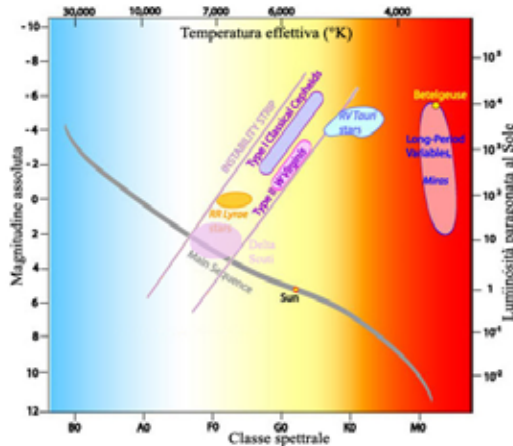
Qualche nozione teorica

Si stima che il 50% delle stelle, ma forse anche un numero maggiore, siano variabili, cioè la loro luce, per qualche fenomeno fisico e/o cinematico, varia nel tempo; le prime sono definite variabili intrinseche, le seconde estrinseche.

La loro scoperta è stata quasi sempre appannaggio degli osservatori professionali fino a qualche decennio fa, poi la mano è passata agli astronomi amatoriali, poiché i professionisti non hanno ne le risorse ne il tempo per questo tipo di lavoro.

Perché una stella varia la propria luminosità? Quali meccanismi ci sono alla base?

Intanto, come in ogni indagine scientifica, bisogna analizzare molte di queste stelle e capire se il loro modo di variare luminosità sia sempre lo stesso; se la risposta fosse affermativa, è probabile che alla base ci sia un unico processo fisico.



Posizione delle variabili pulsanti nel diagramma HR. Quasi ogni variabile di questo tipo (tranne le Mira e le irregolari) si trova nella cosiddetta striscia di instabilità, una zona di transizione tra la sequenza principale e l'inevitabile morte della stella.

Le cose, naturalmente, non sono così semplici: le variabili intrinseche hanno molti modi per variare la loro luminosità ed anche le estrinseche possono variare in due modi diversi, segno che ci sono almeno due diverse situazioni dinamiche.

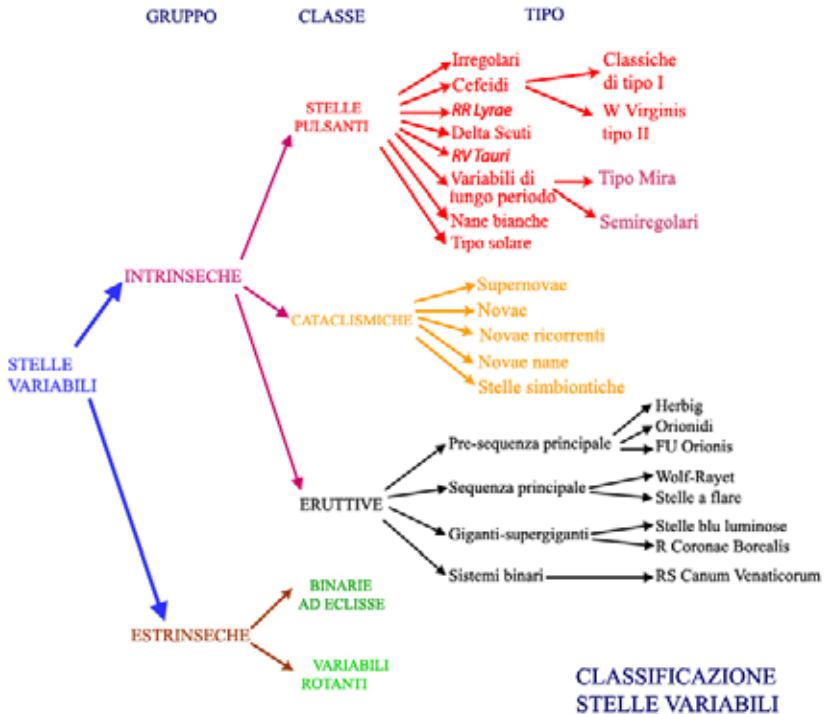
Alcuni tipi sono estremamente interessanti, come le Cefeidi e le RR Lyrae, stelle il cui periodo di pulsazione è proporzionale alla loro luminosità assoluta. Non a caso sono denominate candele standard, perché utilizzate come indicatori di distanza. Misurando il periodo di pulsazione di queste stelle e la loro magnitudine apparente, siamo in grado avere informazioni dirette sulla loro distanza, una delle grandezze più importanti e allo stesso tempo più difficili da determinare nell'Universo. Proprio per questo la loro scoperta è ancora più importante rispetto alle altre. Proprio studiando le variabili Cefeidi e applicando la relazione periodo-luminosità, *Hubble* scoprì la natura extragalattica della grande nebulosa di Andromeda, oggi conosciuta come la galassia di Andromeda. Nel prossimo paragrafo (1.3.1) vedremo più in dettaglio li metodi e le equazioni che portano alla calibrazione delle distanze attraverso queste particolari candele standard.

Spesso le variabili sono stelle giunte alla fine della loro vita. Quasi tutte le variabili intrinseche, così vengono chiamate le stelle che variano di luminosità a causa di processi insiti nella loro struttura, hanno proprietà fisiche abbastanza comuni e si raggruppano in una zona ben determinata di un grafico chiamato diagramma di Hertzsprung-Russell, di cui più avanti verrà data una spiegazione più esaustiva.

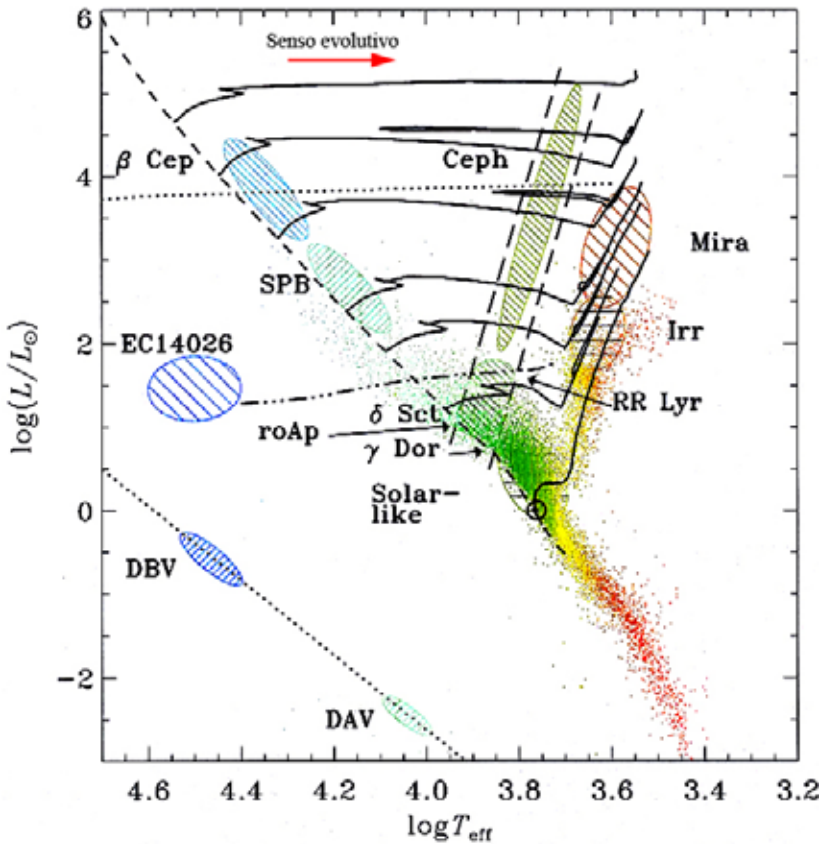
Queste stelle prima di spegnersi attraversano diverse fasi non proprio stabili che possono protrarsi anche per centinaia di migliaia di anni. Durante questo periodo le stelle pulsano letteralmente, variando il loro raggio di svariati milioni di chilometri. Una variazione del raggio implica un cambiamento nella luminosità emessa, che può essere quindi agevolmente registrato nel corso del tempo.

A rigor di logica quasi tutte, se non tutte, sono variabili, visto che anche la presenza di macchie simili a quelle solari implica

una variazione, seppure esigua, della loro luminosità. Analizzeremo tra breve anche questo particolare e curioso caso. Intanto, per avere una migliore idea, nella pagina seguente è riportato uno schema dei principali tipi di variabili.



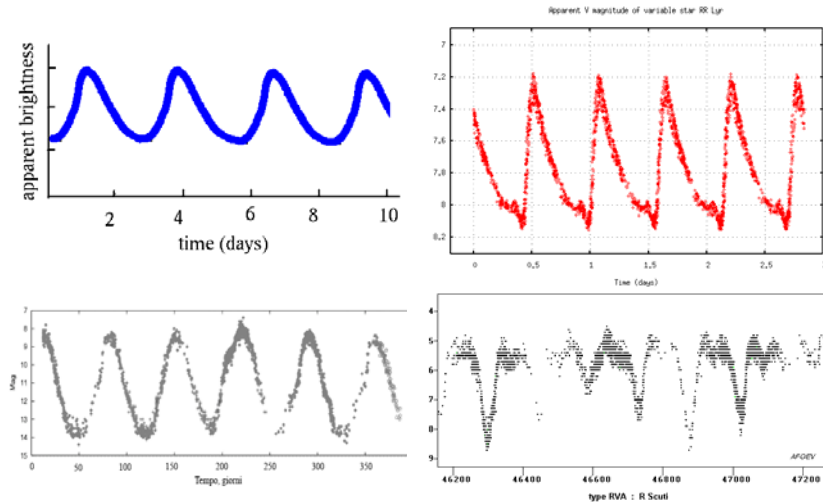
Schema delle principali stelle variabili. Tutte appartengono a due grandi gruppi: intrinseche ed estrinseche. Le intrinseche sono le più interessanti perché alla base della variazione di luminosità vi sono profonde ragioni fisiche. Studiando la variazione di luce nel tempo è possibile risalire alla struttura e al comportamento della stella. Alcune variabili, dette pulsanti, sono molto importanti per la determinazione delle distanze, in quanto il periodo di pulsazione è direttamente legato alla luminosità assoluta, la quale ci da informazioni dirette sulla distanza.



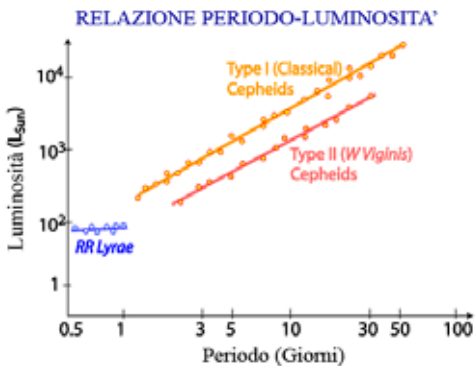
Tutte le variabili pulsanti sono raggruppate in zone ben definite del diagramma HR, un grafico molto utile per la classificazione delle stelle che riporta la luminosità assoluta in funzione della temperatura (o tipo spettrale). Come vedremo in seguito, quasi tutte le stelle pulsanti sono prossime alla fine della loro vita evolutiva, al di fuori della zona di stabilità chiamata sequenza principale.

Lo studio e la scoperta di nuovi oggetti permette agli astronomi di avere dati sufficienti per mettere alla prova i modelli evolutivi e la scala di distanze dell'Universo; è questo il motivo per il quale le variabili pulsanti rivestono un ruolo importante.

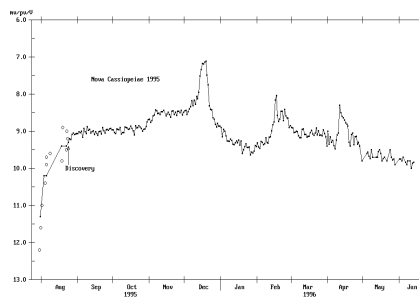
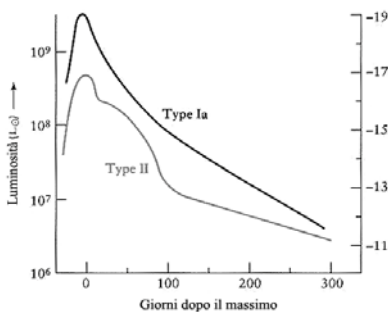
Non di rado, poi, alcuni di questi corpi rivelano una natura peculiare che i modelli in nostro possesso faticano ancora a spiegare fino in fondo.



Quattro tipologie di stelle pulsanti. **Nella pagina precedente, a sinistra:** Andamento tipico di una Cefeide. **A destra:** una RR Lyrae. **Sopra, a sinistra:** una stella di tipo Mira. **A destra:** una semiregolare.



Relazione periodo-luminosità per alcune variabili pulsanti. Dal periodo di pulsazione si può risalire alla loro luminosità assoluta e quindi alla loro distanza, conoscendo la magnitudine apparente. La corretta calibrazione della relazione per queste "candele standard" è fondamentale per la misura delle distanze dell'Universo.



La classe più famosa di variabili cataclismiche: le supernovae, immense esplosioni di stelle almeno 8 volte più massicce del Sole (tipo II) che liberano più energia dell'intera galassia ospite.

Le novae sono variabili cataclismiche meno "violente" delle supernovae. Una nana bianca in un sistema doppio accresce massa che genera esplosioni superficiali.

Risultati ottenibili

Le moderne camere CCD, applicate a telescopi di 20-25 cm di diametro, consentono di raggiungere precisioni notevoli, inferiori ad 1/100 di magnitudine fino a stelle di magnitudine 15.

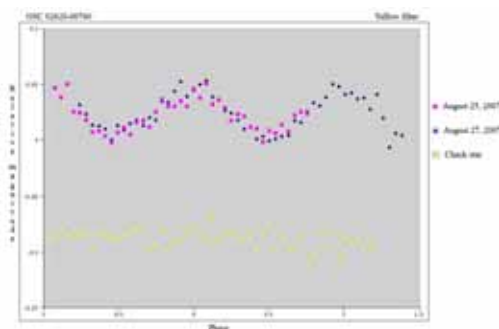
La profondità e la precisione sono più che sufficienti per scoprire potenzialmente un numero elevatissimo di variabili, che compaiono praticamente quasi in ogni campo di ripresa. Spesso si tratta di stelle già note, soprattutto se poste vicino ad oggetti blasonati, come qualche nebulosa o galassia.

Affinché una variabile venga presa in considerazione e convalidata, è necessario fornire prove inconfutabili, come almeno 2 curve di luce indipendenti, a testimonianza che l'evento osservato sia di natura fisica e non un errore strumentale. E' bene ricordare come i dati scientifici, a prescindere dalla materia di cui ci si occupa, devono essere assolutamente ripetibili: chi riesce ad ottenere risultati esclusivi non è più bravo degli altri, ma forse solamente più ignorante, o più furbo, nel significato più malizioso di questo termine.

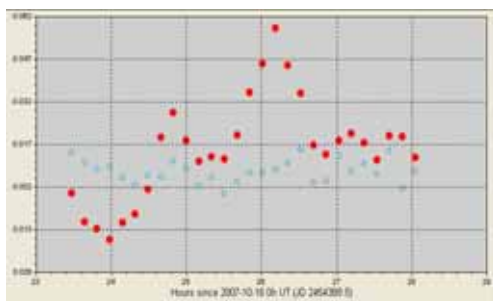
La bravura di un astrofilo, astronomo, o qualsiasi scienziato, è arrivare per primo a delle conclusioni o scoperte, ma non certo di detenerne l'esclusiva!

I periodi di variazione sono molto ampi, da pochi minuti fino ad anni, dipendenti dal tipo di stella: coloro intenzionati ad intraprendere studi seri dovrebbero scegliere il tipo e regolarsi di conseguenza con i tempi e la tecnica necessaria per studiare nel migliore dei modi il comportamento della variabile.

Ci sono moltissimi astrofili che si dedicano a questa disciplina, ognuno a vari livelli. Qualcuno si accontenta di studiare variabili già note, altri di andare alla ricerca senza effettuare particolari studi, altri ancora si dedicano sia alla fase di *survey* (cioè ricerca) che di studio, pubblicando i risultati su riviste del settore.



La mia prima stella variabile, di magnitudine 11,5. L'andamento è tipico di una pulsante di tipo Delta-Scuti, con un periodo di circa 2 ore e ampiezza di pochi centesimi di magnitudine. I punti rossi e blu rappresentano osservazioni condotte in due nottate diverse, quelli gialli la curva di una stella non variabile del campo, detta *check star*.



Una delle tante deboli variabili irregolari nella nebulosa di Orione, di magnitudine 13 (punti rossi pieni) confrontata con una *check star* (punti blu vuoti).

1.3.1 Approfondimento: Le variabili pulsanti come candele standard

Nel corso del volume vi saranno diversi paragrafi di questo tipo, nei quali verranno approfonditi i temi di ricerca trattati nel capitolo di riferimento.

Contrariamente al resto del testo nel quale ho evitato più possibile formule, qui invece se ne avrà un piccolo assaggio.

Non abbiate c'è comunque nulla da temere, le formule nella scienza sono indispensabili per descrivere gli eventi e i modelli che cercano di giustificarli.

Senza formule e numeri è impossibile addentrarsi nel campo della ricerca astronomica.

In ogni caso, la mia promessa è quella di ridurre al minimo e rendere più utili possibili numeri e formule, a cominciare da questo paragrafo nel quale abbiamo l'opportunità di comprendere come sia possibile stimare le distanze delle stelle.

Alcune tra le stelle pulsanti viste nelle pagine precedenti possono essere utilizzate per stimare distanze galattiche ed extragalattiche.

Il periodo di pulsazione di alcune stelle dipende dalla loro luminosità assoluta, quindi dall'energia che emettono nell'unità di tempo; in altre parole, conoscendo il periodo di pulsazione possiamo ricavarci la magnitudine assoluta. Dalla misura della magnitudine apparente ricaviamo il cosiddetto modulo di distanza, che ci fornisce direttamente la distanza dell'oggetto.

Alcune di queste stelle pulsanti sono così luminose da rendersi visibili anche in altre galassie, fino a distanze di qualche centinaio di milioni di anni luce. Esse costituiscono degli strumenti fondamentali per la calibrazione di altri indicatori di distanza, prima fra tutte la legge di *Hubble*.

Non tutti i tipi di variabili pulsanti possono essere utilizzati come candele standard, ma solamente le Cefeidi (tipo I e II), le *RR-Lyrae*, le *RV-Tauri* e il sottotipo ad elevata ampiezza delle *Delta Scuti*.

Per ogni tipo esiste una relazione, più o meno semplice, detta relazione periodo luminosità, la quale lega il periodo di pulsazione alla loro luminosità assoluta, previa un'opportuna calibrazione.

E' molto importante capire questo punto: il periodo di pulsazione dipende dalla magnitudine assoluta della stella, che è una proprietà intrinseca, non da quella apparente, che dipende da vari fattori come la distanza e l'assorbimento causato dalle polveri e gas posti nel cammino della radiazione che giunge fino alla Terra.

Come ben sappiamo, per conoscere la luminosità intrinseca di ogni stella occorre conoscere la sua distanza, altrimenti l'unico dato che possiamo ricavare è la luminosità apparente. Sembra che siamo caduti in un pozzo senza fondo: come è possibile utilizzare le candele standard per misurare le distanze quando occorre conoscere la distanza per sapere la loro luminosità assoluta?

Può sembrare paradossale quanto appena detto, ma non lo è: se riusciamo a calibrare la relazione, cioè a scoprire la legge che lega il periodo di pulsazione alla magnitudine assoluta per qualche stella di cui possiamo conoscere la distanza con altri metodi, possiamo utilizzarla per calcolare poi le distanze per tutte le stelle dell'Universo appartenenti alla stessa famiglia.

Il procedimento di calibrazione va fatto (nel caso ideale) solo una volta, su degli oggetti che già conosciamo.

Una volta eseguito, abbiamo una legge universale: il guadagno netto è senza dubbio notevole!

Il procedimento è a grandi linee il seguente:

- 1) Si individuano delle regioni ricche di stelle che possiamo assumere tutte poste alla stessa distanza dalla Terra (con approssimazione), come ad esempio quelle negli ammassi aperti, globulari o in galassie a noi vicine e di piccole dimensioni, come le Nubi di Magellano. Con questa approssimazione, le diverse luminosità apparenti corrisponderanno a differenze di luminosità assoluta. Nel nostro caso specifico, questa scoperta im-

plica che variazioni del periodo di pulsazione corrispondono a variazioni di luminosità apparente, quindi a variazioni di luminosità assoluta. Abbiamo appena capito che esiste un legame tra luminosità intrinseca della stella e periodo di pulsazione;

- 2) Ora dobbiamo cercare di comprendere qual è in termini matematici il legame: dobbiamo trasformare la magnitudine apparente in quella assoluta. Per fare questo è sufficiente conoscere la distanza di almeno una stella qualsiasi dell'agglomerato considerato. Questo è sicuramente il passo più delicato.

Se la distanza non è elevata, è possibile tentare di utilizzare qualche metodo geometrico, come la parallasse trigonometrica o quella di gruppo; spesso si utilizzano più metodi per ridurre al minimo gli inevitabili errori.

Conosciuta la distanza, e conoscendo la magnitudine apparente, si ricava facilmente la magnitudine assoluta, da sostituire nel grafico che riporta la luminosità apparente in funzione del periodo di pulsazione. In questo modo abbiamo finalmente calibrato il grafico. Ora è possibile applicare il metodo ad ogni stella di quel tipo, poiché non si ha più la dipendenza critica dalla distanza.

Il metodo appena descritto è quello utilizzato nei primi anni del 900 da *Herrietta Leavitt*, astronoma americana che per prima trovò la relazione periodo-luminosità per le variabili Cefeidi osservando quelle all'interno della grande Nube di Magellano. Ben presto questi risultati sarebbero stati utilizzati da *Edwin Hubble* per provare che alcune degli oggetti diffusi visibili in cielo non sono altro che lontanissime galassie simili alla nostra.

Vediamo ora, brevemente, le relazioni-periodo luminosità per le variabili più importanti: Cefeidi classiche e *RR-Lyrae*.

Cefeidi: La procedura di calibrazione è particolarmente delicata, tanto che solamente negli ultimi anni si sono ridotti gli errori

grazie all'impiego di telescopi di ultima generazione e tecniche (digitali) avanzate.

L'esistenza di due tipi di Cefeidi ha portato in passato ad errori grossolani nella stima delle distanze, poiché ogni tipo ha una propria relazione periodo-luminosità.

Una volta calibrato, il grafico ha l'andamento mostrato nella figura a destra.

Le funzioni matematiche che descrivono i due andamenti sono identiche, ma differiscono solo per il valore delle costanti. Per le Cefeidi di tipo I, si ha:

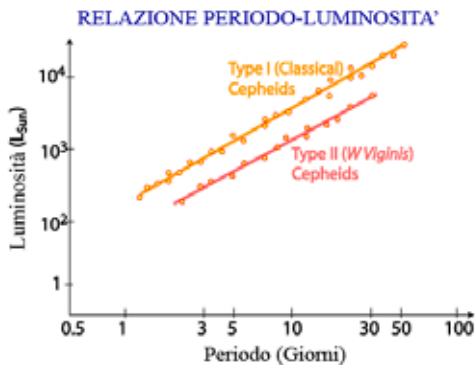
$$M_V = -2,78 \log(P) - (1,35 \pm 0,1) .$$

Studiando quindi una qualunque Cefeide di questo tipo e misurando il suo periodo di pulsazione possiamo ricavarci subito la magnitudine assoluta (media).

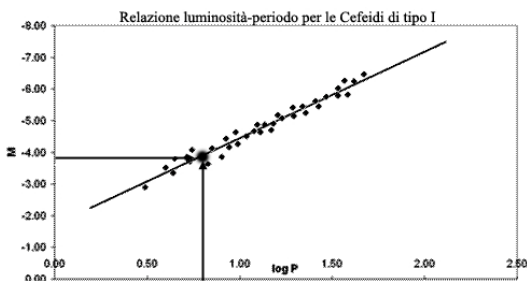
Ricordando ora l'espressione del modulo di distanza:

$$m - M = -5 + 5 \log d$$

ci ricaviamo direttamente la distanza (in *parsec*):



Relazione periodo-luminosità per i due tipi di variabili Cefeidi.



Conoscendo il periodo di pulsazione di una stella Cefeide qualsiasi, possiamo, attraverso un grafico calibrato, come questo, risalire istantaneamente alla sua magnitudine assoluta e, dal modulo di distanza, alla sua distanza dalla Terra.

$$\frac{m - M + 5}{5}$$

$$d = 10^{\frac{m - M + 5}{5}}$$

Vediamo una semplice applicazione.

La stella *W* nella costellazione dei Gemelli è una variabile Cefeide del tipo I.

Effettuando osservazioni di natura fotometrica ricaviamo un periodo di pulsazione di 7,915 giorni, con picchi di magnitudine apparente di $m_{V,Max} = 6,72$ e $m_{V,Min} = 7,58$, con un valore medio pari a $m_{V,Mean} = 7,15$.

Possiamo calcolarci facilmente la luminosità assoluta dalla relazione:

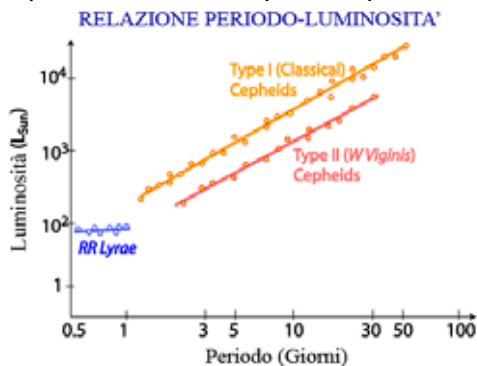
$M_V = -2,78 \log(P) - 1,35$, trovando $M_{V,Mean} = -3,85$, quindi la distanza:

$$\frac{m - M + 5}{5}$$

$$d = 10^{\frac{m - M + 5}{5}} \text{ ottenendo } 1590 \text{ parsec.}$$

Un calcolo semplice e veloce, ma è bene non dimenticare gli sforzi enormi prodotti da generazioni di astronomi nel permettere a noi cotanta facilità. Spesso le relazioni più semplici sono proprio quelle che hanno richiesto le maggiori energie.

RR-Lyrae: La relazione di luminosità per queste variabili pulsanti è molto semplice, visto che abbiamo già detto che possiedono tutte circa la stessa magnitudine assoluta. Non occorre quindi applicare una relazione più o meno



Relazione periodo luminosità per le RR-Lyrae. La relazione è piuttosto semplice, poiché tutte le variabili di questo tipo hanno luminosità assoluta fissata.

laboriosa, ma soltanto tenere in mente che la luminosità assoluta media è $0,6 < M_V < 0,7$; il valore, variabile di 1/10 di magnitudine, è dovuto sia ad una leggera dipendenza dal periodo di pulsazione, che dal contenuto di metalli.

Per affinare ulteriormente le stime di distanza occorre tenere conto di queste due variabili.

E' importante notare come queste stelle, benché oltre 50 volte più luminose del Sole, siano molto più deboli delle Cefeidi e non possono essere osservate in altre galassie (tranne rarissime eccezioni), limitando il loro utilizzo agli ambienti della Via Lattea.

Le *RR-Lyare* sono molto importanti nella stima delle distanze degli ammassi globulari, all'interno dei quali se ne possono osservare qualche decina, molte alla portata di strumentazione amatoriale.

Chi possiede un telescopio ed una camera CCD, perché non prova a fare un semplice studio fotometrico e ricavare in questo modo la distanza dell'ammasso?

E' molto più semplice e divertente di quando si possa credere.

Se ti è piaciuta l'anteprima del libro, potrai acquistarlo qui:

<http://www.lulu.com/spotlight/danielegasparriatyahoodotit>