



# NEWSLETTER

## Estate.

*Alessandro Maitan*

La nostra Newsletter esce con due contributi fondamentali del nostro Direttore Scientifico Ulisse Munari.

Il primo è dedicato al sistema fotometrico del satellite Gaia: anche in questo caso possiamo renderci conto come la scienza deve necessariamente anch'essa fare i conti con il bilancio a disposizione, e, per lasciare inalterate le potenzialità astrometriche, si è dovuto trovare altro da sacrificare, con buona pace delle speranze degli astronomi.

Il secondo, che ho chiamato “articolo di fondo” anche se non è in prima pagina ma all'interno della NewsLetter, è un entusiasmante punto su dove sta andando l'astronomia professionale delle grandi survey (in atto e future), che deve far meditare tutti noi Astrofili su ciò che potremo fare per continuare a dare un contributo alla scienza astronomica. Non dimenticando comunque che quello che facciamo lo facciamo per nostro “piacere” e non sentirci per questo menomati!

Certo è che la sfida è piuttosto impegnativa e non permette di abbassare la guardia, anzi dovrebbe stimolarci a trovare nuove strade anche non battute e mettere in gioco le nostre capacità, la voglia di nuovi stimoli, la voglia di studiare.

Ovviamente il tutto compatibilmente con le nostre energie e la pazienza dei nostri cari!

Personalmente ci sto già lavorando ...

*Vale.*

## SOMMARIO

L'angolo dell'osservatore: il sistema fotometrico di Gaia .....2

L'articolo di fondo: quale futuro per gli astrofili? .....8

# Astronomia spaziale

## IL SISTEMA FOTOMETRICO DI GAIA.

Ulisse Munari—INAF (Asiago)

### 1. Introduzione

Il satellite Gaia è senz'altro l'orgoglio dell'astronomia spaziale Europea. A bordo tutto è rigorosamente "made in EU", dall'hardware al software, dalla scienza all'analisi, alle migliaia di tecnici e ricercatori che nelle Università ed industrie Europee hanno reso possibile tale meraviglia con il loro impegno ed ingegno nei vent'anni di studio prima del lancio.

Quando l'Europa lanciò Hipparcos nel 1989, la NASA ed altre agenzie spaziali tentarono di rispondere con loro satelliti astrometrici di simili o migliorate prestazioni. Nonostante copiosi finanziamenti, questi studi non andarono a buon fine, nulla fu lanciato, la rincorsa all'Europa neppure iniziò.

Hipparcos ha sconvolto l'astrofisica, mettendo tutto nella giusta prospettiva delle distanze geometriche ottenute da parallassi astrometriche. A tutt'oggi sono 1150 gli articoli scientifici professionali con Hipparcos nel loro titolo, e molti di più sono quelli che i risultati di Hipparcos li hanno usati al loro interno senza menzionare il nome del satellite nel titolo. Una produzione scientifica pazzesca.

Hipparcos non era ancora stato lanciato, e l'Europa pensava già ad una missione astrometrica molto più ambiziosa (non dovrei dirlo, ma si sta già pensando a chi potrebbe succedere a Gaia attorno al 2040). Nel tempo prese forma l'idea di Gaia, alla quale si cominciò a lavorare seriamente dal 1995, quando l'ESA formò oltre a molti comitati tecnologico-industriali anche quelli accademici che dovevano occuparsi di definire gli obiettivi scientifici della missione e con quali metodologie osservative raggiungerli. Cominciava e prendere corpo quello che poi l'EU avrebbe definito come ELSA o "European Leadership in Space Astrometry" (Supremazia Europea nell'Astrometria Spaziale). Il gap con l'ESA è ormai talmente ampio, che l'astrometria spaziale è scomparsa dal piano strategico decennale della NASA.

### 2. Perché mettere un sistema fotometrico a bordo di Gaia ?

In fin dei conti, Gaia è andato lassù per fare astrometria! Che "ci azzecca" la fotometria?

Con Hipparcos si era tentato di fare la fotometria e la spettroscopia di supporto con i telescopi a Terra. Fallendo. Dati troppo disomogenei da telescopio a telescopio, non simultanei all'astrometria, e che avevano monopolizzato il

tempo osservativo di troppe strutture troppo a lungo (ben oltre un decennio). Ma il vero problema sta nei numeri: i target della astrometria Hipparcos erano 110,000 stelle più brillanti della magnitudine 9, quelli di Gaia quasi 2 miliardi di stelle giù fino alla 21!

Nel 1995 venni chiamato dall'ESA a far parte di un gruppo ristretto di ricercatori incaricati di fornire raccomandazioni su una serie di direttive strategiche quali, ad es.:

- quanto l'informazione fotometrica è necessaria per una rigorosa soluzione astrometrica di Gaia?
  - se sì al punto precedente, con quali principi tecnologici la fotometria dovrebbe essere ottenuta?
  - se la risposta è "con filtri che definiscano delle bande", quali e quante bande e a che lunghezze d'onda dovrebbero essere collocate per assicurare il migliore supporto all'astrometria?
  - basta una sola determinazione del "colore" di una stella nell'arco della missione?
  - se no, quante volte dovrebbe essere rimisurato il colore e con quale precisione sulla singola epoca?
  - se durante le operazioni in orbita, una banda fotometrica cessa di produrre misure o la sua banda passante si altera troppo (ad esempio per danneggiamento da continuo bombardamento di protoni cosmici di altissima energia), quali sono i effetti sistematici che potrebbero venire introdotti nelle soluzioni astrometriche?
- ... e così via.

Solo dopo aver considerato tutto ciò si poté passare a:

- con le bande così definite, si può fare anche della fotometria utile ?
- se sì, che tipo di informazioni si otterrebbero ?
- sarebbero uniche o da terra si otterrebbero informazioni simili o migliori con i sistemi fotometrici esistenti ?

Le risposte cambiavano man mano che il disegno optomeccanico del satellite evolveva (molta tecnologia e materiali dovettero essere inventati per rendere Gaia possibile), e soprattutto si definiva meglio la larghezza di banda ed il numero di antenne a terra dedicate alla telemetria dei dati da Gaia (riduco i dati a bordo e telemetro a Terra solo i risultati oppure invio le immagini originali e la riduzione la faccio a Terra? Comunque la metto, se da 2 passo a 4 bande, raddoppio il carico di telemetria da riservare alla sola fotometria). Si arrivò così a definire tre proposte finali concorrenti per il sistema di Gaia, una Munari, una Grenon et al. ed una Stryzis (vedi Astronomy & Astrophysics Supple-

ment vol. 147, pag. 361 del 2000). Venne convocata nel 1999 una conferenza dei capi ESA al centro di controllo di Noordwijk in Olanda, dove decidere quale di questi tre sistemi considerare la baseline per Gaia. Due giorni di grafici, tabelle, riunioni e tanta competizione tra i proponenti dei tre sistemi non arrivarono ad una conclusione chiara, e l'ESA decise di formare un Photometric Working Group ad hoc che studiasse ulteriormente il sistema fotometrico da implementare su Gaia.

Questo gruppo di 30 persone (da tutti i paesi EU) lavorò molto intensamente per cinque anni (varie tesi di laurea e dottorati di ricerca furono dedicati alla causa, specie nelle pesantissime simulazioni numeriche condotte al centro europeo di supercalcolo di Barcellona) fino a produrre un corposo documento finale di raccomandazioni all'ESA. Da questo, per informare la comunità fu estratto un articolo riassuntivo pubblicato su MNRAS (Jordi et al. 2006, MNRAS 367, 290). Il sistema per Gaia era composto da 14 bande, con la più blu centrata a 3260 Ang e la più rossa a 9650 Ang. Il grosso numero di bande mirava a supportare al meglio le richieste della astrometria, ma anche cercare di fare quanta più astrofisica della Galassia possibile (nell'analogia con gli asteroidi: mi accontento di determinare i parametri dell'orbita attorno al Sole o voglio sapere quali siano la sua massa, raggio, composizione superficiale, etc.). Tutti felici ed orgogliosi del risultato ottenuto, con un bel Congresso finale celebrativo a Cambridge, si aspettava solo la comunicazione dell'ESA circa il Prime Contractor che si era aggiudicato la costruzione di Gaia, per trasferire il nostro lavoro dall'ambito accademico a quello della realizzazione industriale.

### 3. Colpo di scena!

Il giorno della comunicazione ufficiale, alla presenza dei capi ESA e alcuni Ministri dei paesi coinvolti, arrivò improvviso il pugno allo stomaco: per salvare la missione, finita fuori budget, era stato deciso in gran segreto di sacrificare il sistema fotometrico! Questo avrebbe comportato un risparmio del 22%, rientrando nel budget, e consentendo il "go" finale alla costruzione e lancio di Gaia. Salviamo l'astrometria, pazienza per il resto. Per protesta il capo missione si dimise (sapeva del taglio della fotometria ma dovette tacere per rispetto del segreto industriale fino all'annuncio ufficiale della decisione), anche molti di noi del Photometric Working Group abbandonammo, ma la decisione era ormai presa. Il budget aveva avuto la meglio sulla scienza. Rimaneva comunque la necessità di sapere il colore "istantaneo" di ciascuna singola stella per poter risolvere le equazioni astrometriche, e per far questo l'industria propose (e l'ESA approvò all'insaputa degli astronomi) una cosa molto semplice, ottenere cioè due "spettrini" lunghi pochi pixels, uno a coprire il blu, l'altro il rosso. Inizialmente il segnale sarebbe stato integrato lungo i due spettrini, producendo l'equivalente di una banda ultralarga nel blu, ed una similmente ultralarga nel rosso (quella ora chiamate  $B_p$  ed  $R_p$ , vedi sotto). Successivamente si sareb-

be potuto indagare se si potevano vedere delle sottostrutture in questi spettrini cortissimi (ad es. salgono verso il lato rosso, scendono andando verso quello blu, hanno un minimo o un massimo, etc.), e codificarle. Addio alle speranze di misurare temperatura, pressione elettronica (collegata alla massa e all'età di una stella), metallicità, arricchimento di elementi chimici alpha, l'arrossamento interstellare, la presenza di emissioni (nella proposta di 14 bande per il sistema di Gaia c'era anche un filtro molto sottile centrato su  $H\alpha$ ), etc., che il sistema fotometrico avrebbe garantito. Ovvero dare un posto preciso a quella data stella nella storia, struttura ed evoluzione della Galassia, e non limitarsi solo una riga di parametri astrometrici in un lungo catalogo.

### 4. La fotometria di Gaia

In Figura 1 confronto le curve di trasmissione del sistema fotometrico di Gaia (come rese note ad Aprile 2018 dal DPAC della missione) con quelle dei sistemi più popolari ed utilizzati (Johnson UBVRI, SLOAN *ugriz*, Stromgren *uvby*) e con il sistema di Hipparcos. Per raffronto è mostrata anche la distribuzione di energia di tre tipi di stelle a simboleggiare le calde, quelle di tipo solare, e quelle fredde.

Le due bande blu e rossa di Gaia (indicate sia come  $B_p$  ed  $R_p$ , che  $G_{BP}$  e  $G_{RP}$ , oppure anche  $G(BP)$  e  $G(RP)$ ), sono veramente molto larghe, con minima sovrapposizione. La banda  $B_p$  comprende lo stesso intervallo di lunghezze d'onda suddiviso tra U, B, V e parte di R di Johnson! Le bande  $B_p$  e  $R_p$  sono realizzate raccogliendo tutti i conteggi entro gli spettrini di cui si è detto sopra. Essendo la dispersione di questi spettrini realmente bassa (non vi si riconoscono neppure le righe stellari più intense), si preferisce parlare di "dispersed images" (ovvero immagine stellare lievemente dispersa con la lunghezza d'onda).

Per visualizzare una immagine CCD fotometrica di Gaia, immaginiamo di aver il nostro telescopio non ben allineato al polo o con l'inseguimento non ben tarato: se lo lasciamo liberamente esporre per qualche minuto, le stelle lasceranno tutte delle piccole strisciatine. Strisciatine simili le otterremo guidando bene ma mettendo davanti al telescopio un prisma di piccola apertura o un reticolo a pochissimi tratti/millimetro. Se abbiamo due tali telescopi identici in parallelo e su uno mettiamo un filtro che lascia passare tutto sotto a 6300 Ang e l'altro tutto sopra, approssimeremmo la condizione operativa di Gaia. Su queste strisciatine potremo quindi fare la fotometria integrando, invece che su un cerchio, entro un opportuno rettangolo. Per il resto rimarrebbe tutto simile a quanto siamo abituati. Ovviamente, quanto più corte sono queste dispersed images, tanto più bassa è la probabilità che si sovrappongano nelle zone di maggiore densità stellare (pensiamo al Sagittario). Dispersed images più corte significa anche più conteggi concentrati sul singolo pixel, a

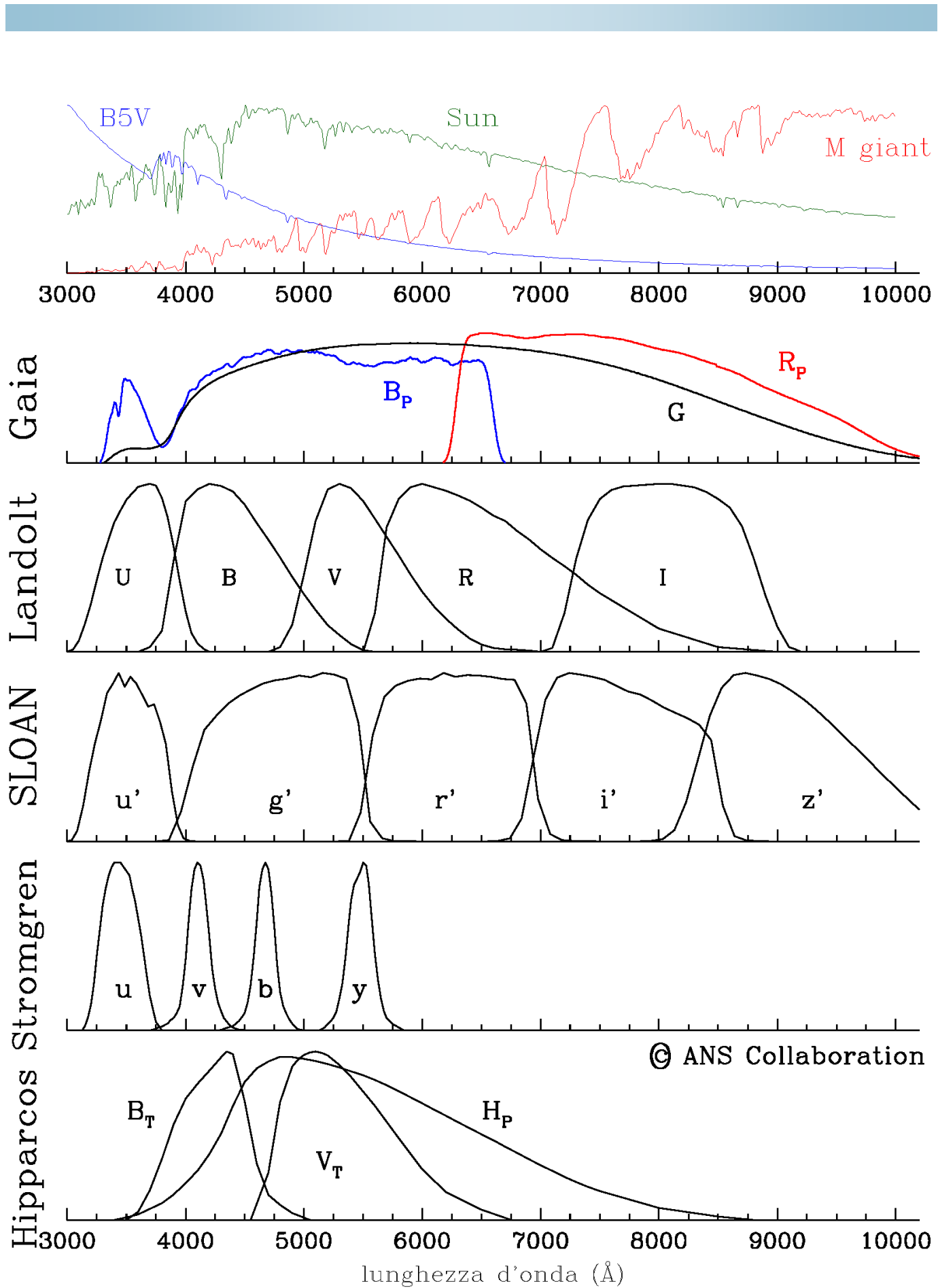


Figura 1

beneficio del S/N. Più sono però corte, meno particolari si potranno riconoscere ed utilizzare su queste dispersed images.

A queste due bande,  $B_p$  e  $R_p$ , se ne aggiunge una terza, detta banda "Gaia" o banda G, che è semplicemente la curva di risposta dei CCD astrometrici di Gaia che operano senza filtri. I CCD astrometrici di Gaia, nel mentre misurano la posizione delle stelle, ne rilevano anche i conteggi totali, trasformati poi in magnitudine. La banda G è evidentemente una "luce bianca" molto, molto, molto larga.

Il sensore astrometrico di Hipparcos (a quel tempo un fotometro fotoelettrico senza filtro, non un CCD come in Gaia) produsse anch'esso misure in luce bianca, indicate come  $H_p$  in Figura. A bordo dello star tracker Tycho, montato in parallelo a Hipparcos, c'erano altri due fotometri fotoelettrici, uno con un filtro B e l'altro con un filtro V. Anche se in laboratorio furono costruiti e calibrati per essere una buona replica delle corrispondenti bande di Johnson, una volta in orbita (probabilmente per il continuo passaggio entro e fuori dalle fasce di van Allen, due volte ogni orbita) la banda passante risultò essere assai diversa. Le risultanti bande  $B_T$  e  $V_T$  definiscono un proprio sistema fotometrico troppo diverso da Johnson per potersi confondere. In molti si sono cimentati a derivare, per vie statisticamente tortuose, la curva di risposta delle bande  $B_T$  e  $V_T$  di Tycho (il satellite non si poteva riportare a Terra e rimisurare tutto in laboratorio), arrivando a risultati non proprio identici. Le curve scelte per Figura 1 sono quelle raccomandate da Bessell (2000, PASP 112, 961).

Gaia ha sino ad ora distribuito due Data Releases incrementali, DR1 nel settembre 2016, e DR2 ad Aprile 2018.

In DR1 sono state date solo le magnitudini medie in banda G (mediate sulle varie epoche di osservazione).

In DR2, alle magnitudini medie in banda G (ora mediata su più epoche) sono state aggiunte le magnitudini medie in banda  $B_p$  e  $R_p$ . In totale, DR2 fornisce la magnitudine media di

- 1 miliardo e 700 milioni di stelle in banda G
- 1 miliardo e 400 milioni di stelle in banda  $B_p$  ed  $R_p$

Gli errori formali di queste magnitudini sono

- banda G: 0.3 mmag a  $G < 13$   
2 mmag a  $G = 17$   
10 mmag a  $G = 20$
- bande  $B_p$  e  $R_p$ : 2 mmag a  $G < 13$   
10 mmag a  $G = 17$   
200 mmag a  $G = 20$

(mmag = millesimi di magnitudine).

Fine della storia ? Non proprio. Se volete sapere se è stato il maggiordomo armato di candelieri, continuate la lettura ...

## 5. Uno o più sistemi fotometrici di Gaia?

Che relazione c'è tra il valore della banda G come elencata per le stesse stelle in DR1 e in DR2 ? Di primo acchito si potrebbe

pensare che  $G(\text{DR1}) = G(\text{DR2})$ , con minime variazioni da stella a stella considerando che il numero di osservazioni in DR2 è doppio rispetto a DR1 e quindi migliorano le medie e si abbassano gli errori. Il confronto tra  $G(\text{DR1})$  e  $G(\text{DR2})$  per le stesse

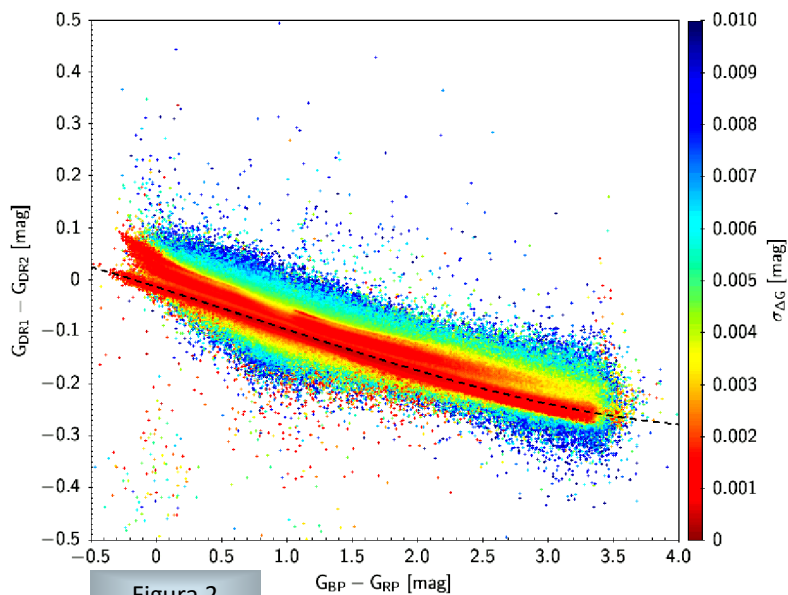


Figura 2

stelle in comune è mostrato in Figura 2. "Huston, we've got a problem": c'è in realtà una grossa differenza, funzione del colore della stella, fino a 0.3 mag per quelle più rosse.

Com'è possibile? L'ESA attribuisce la differenza in particolare a due ragioni: stanno capendo sempre meglio lo strumento e raffinando le tecniche di estrazione, e le stelle usate in DR2 come "sequenza di calibrazione" non risentono più della contaminazione da ghiaccio d'acqua (che si era inaspettatamente condensato su parti di Gaia ad inizio missione, ma è ora sublimato). Il risultato netto però è che i dati fotometrici della release DR1 ora non hanno più senso. Quindi anche tutti i lavori, quali ad es. calibrare la magnitudine assoluta in banda G delle RR Lyr, delle stelle di Red Clump, etc. con i dati di Gaia DR1, non possono essere applicati a DR2 pena grossi errori sistematici.

Guess what? È pensabile che con la prossima data release di Gaia (Giugno 2019?), ci sia una ulteriore evoluzione nella comprensione del sistema e nella riduzione dati, e le nuove  $G$  ( $G(\text{DR3})$ ,  $B_p(\text{DR3})$  e  $R_p(\text{DR3})$ ) siano a loro volta diverse dalle attuali  $G(\text{DR2})$ ,  $B_p(\text{DR2})$  e  $R_p(\text{DR2})$ . Bisognerà quindi prestare molta attenzione da quale delle varie data releases arriva il dato e quale calibrazione gli si applicherà: notizie cattive per chi lavora in fretta e con superficialità senza andare alla fonte e studiare articoli e documentazione in originale.

## 5. Il diagramma HR come visto da Gaia

Come viene visto il cielo dal sistema fotometrico  $G$ ,  $B_p$  e  $R_p$  di Gaia? In Figura 3 sono plottate tutte le stelle Gaia con bassi errori fotometrici, buona parallasse e reddening interstellare trascurabile (l'effetto del reddening è quello di spostare la stella verso destra e verso il basso). In ordinata abbiamo la magnitudine assoluta in banda G, in ascissa il colore, espresso come differenza tra  $B_p$  e  $R_p$ .



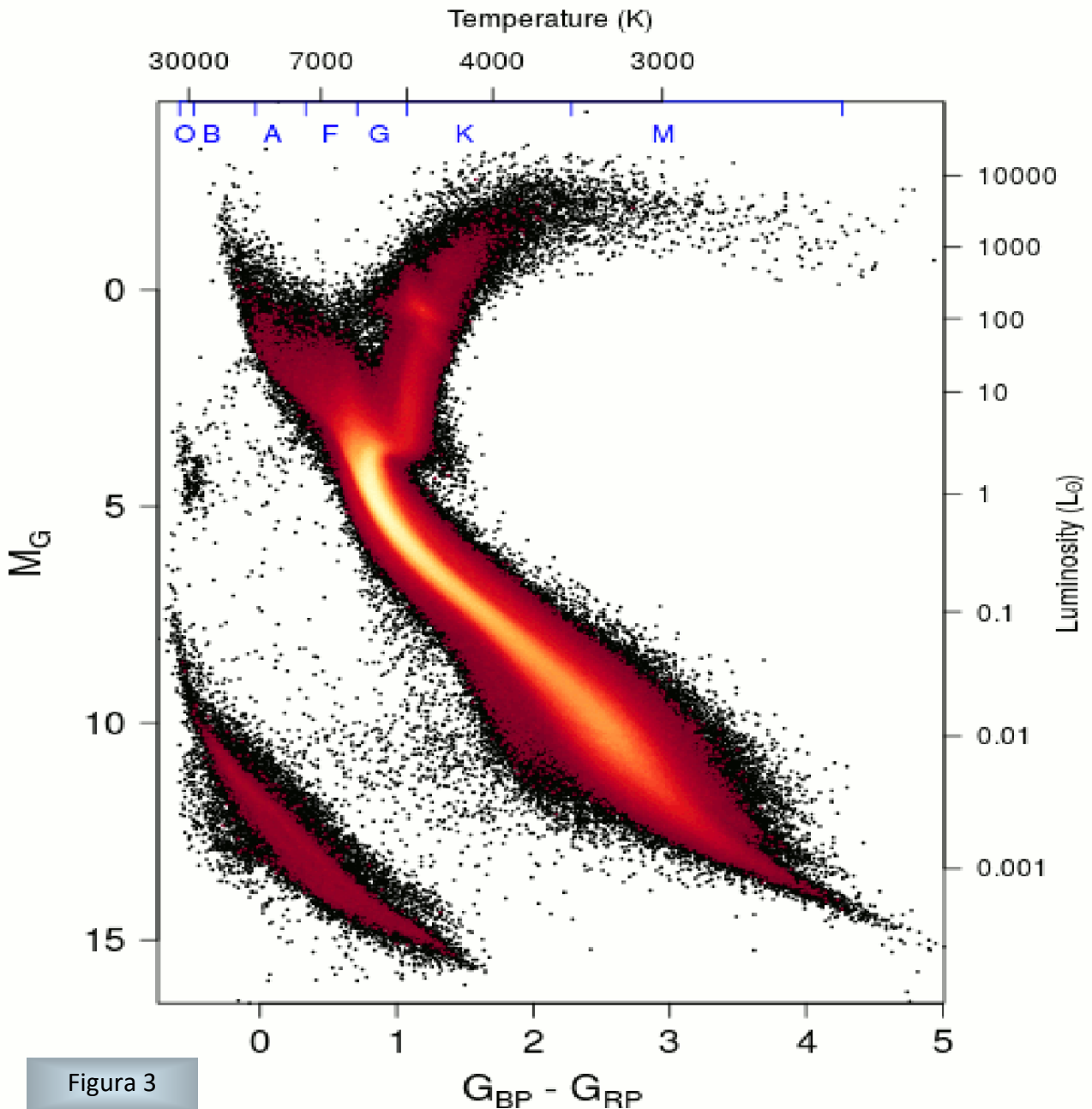


Figura 3

L'arco nell'angolo in basso a sinistra è popolato dalle nane bianche. Riconosciamo anche la sequenza principale, l'uscita da questa ("turn-off") attorno a  $M(G)=4$  e  $(B_p-R_p)=0.9$ , e l'addensamento del Red Clump (a  $M(G)=0.8$  e  $(B_p-R_p)=1.2$ ) lungo il ramo delle giganti. Confrontato con ambiti ai quali siamo più familiari (ad es. plottando  $M(V)$  contro  $B-V$ ), l'aspetto del diagramma HR di Gaia è "strano". In particolare:

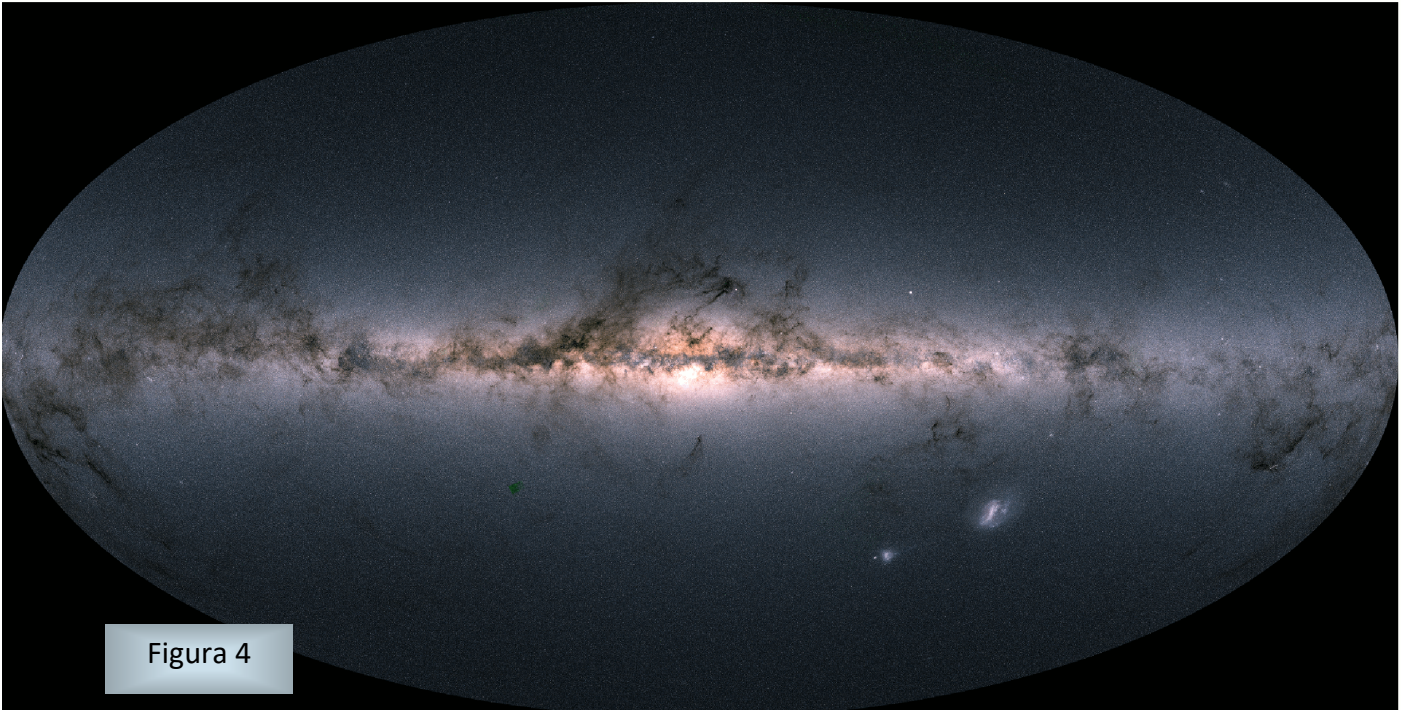
- il braccio delle giganti rosse è vicino alla parte alta della sequenza principale dove stanno le stelle più blu
- mentre nel diagramma HR costruito con  $V$ ,  $B-V$  la parte alta della sequenza principale è ben estesa, in Gaia è molto compressa
- anche la parte delle stelle più fredde appare compressa, mentre sembra esserci una lente di ingrandimento sulla parte centrale (tipi spettrali G e K).

La ragione direi che sta nella particolare forma delle due bande  $B_p$  e  $R_p$ . Facendo riferimento a Figura 1, vediamo che queste due bande hanno una forma a triangolo rettangolo, raggiungendo entrambe il picco di sensibilità alla stessa lunghezza d'onda (attorno a 6300 Ang), con un taglio netto, e andando a degradare lentamente via da questo. Facciamo ora riferimento alle distribuzioni di energia delle stelle in Figura 1: le stelle calde dei tipi spettrali A, B ed O si distinguono tra loro per il rapido aumento di flusso alle più brevi lunghezze d'onda, proprio laddove la banda  $B_p$  ha sensibilità via via ridotta. Similmente le stelle più fredde si distinguono per quanta più energia concentrano alle lunghezze d'onda più grandi, proprio laddove la banda  $R_p$  ha sensibilità via via ridotta. Le stelle invece al centro del diagramma HR (zona Sole), hanno il picco di energia proprio dove le bande  $B_p$  e  $R_p$  piazzano en-

trambe il loro picco di sensibilità: una piccola variazione di temperatura, ed il picco di emissione della stella rapidamente passa da  $B_p$  a  $R_p$  producendo un forte cambiamento del colore  $B_p-R_p$ .

La Figura 4 mostra tutte le stelle Gaia colorate proporzionalmente a loro ( $B_p-R_p$ ). Si nota il rosso crescente verso il piano della Galassia (effetto della estinzione interstellare) e verso il centro della Galassia (effetto di popolazione stellare: il Bulge della Galassia è dominato da stelle vecchie e fredde, quindi rosse). Sono molto cospicui anche i grandi archi di polvere che si proiettano ad alte latitudini galattiche e le Nubi di Magellano.

piccole differenze tra la curva di risposta del nostro CCD e quello di Gaia per causare grandi differenze specie sulle stelle più calde e su quelle più fredde (riquadro in alto di Figura 1). Inoltre, mentre il CCD di Gaia opera da fuori atmosfera, il nostro ne è completamente immerso, subendone i molti effetti di assorbimento nel rosso (bande molecolari di  $H_2O$  e  $O_2$ ) e di estinzione nel blu (polveri in sospensione, ozono, scattering Rayleigh). Immaginiamo di seguire le variazioni di una variabile mentre questa scende via via verso orizzonte: o la misura rispetto a stelle di campo che abbiano la stessa IDENTICA distribuzione di energia punto per punto



## 6. Il catalogo fotometrico di Gaia: utile per gli astrofili ?

Se Gaia avesse mantenuto il sistema fotometrico che avevamo disegnato per lei, ora avremmo magnitudini incredibilmente precise in un sacco di bande per tutte le stelle in cielo più brillanti della magnitudine 21: ovunque avremmo fantastiche sequenze fotometriche per lavorare sulle tutte le variabili e transienti che mai potremmo scoprire.

Purtroppo non è andata così. Se la febbre per gli esopianeti, per l'acqua su Marte o per le prime galassie formatesi dopo il Big Bang dovesse un giorno calare, si potrebbero magari trovare i fondi per lanciare una missione puramente fotometrica che ci desse magnitudini strepitose, in un sacco di bande e per tutte le stelle fino a quelle oscenamente più deboli, oltre alle loro curve di luce se variabili. Attendo fiducioso, ma non so se ne vedrò mai una ...

Con quello che Gaia ci ha messo a disposizione, è naturale porsi la domanda: mi serve nel mio lavoro quotidiano di variabilista? Non sembra esserci molto di utile invero:

- **Banda G.** Potremmo cercare di riprodurla con i nostri telescopi usando il CCD senza filtri. Però, data l'enorme estensione in lunghezza d'onda della banda G, bastano

sull'INTERO intervallo di lunghezze d'onda coperto dalla banda G (da 3300 Ang ad oltre 1 micron), oppure quello che penso siano variazioni della variabile sono in realtà le differenze, via via più grandi con la massa d'aria e i cambiamenti di qualità dell'aria, tra il mio CCD a terra e dentro l'atmosfera e quello nel vuoto assoluto che circonda Gaia.

**Bande  $B_p$  ed  $R_p$ .** Prima o poi qualcuno metterà in vendita dei filtri con curve di trasmissione simili a quelle dei filtri  $B_p$  ed  $R_p$ , e questo sicuramente faciliterà la loro riproduzione a terra. Esse rimangono però delle bande talmente larghe da essere a tutti gli effetti delle luci bianche, calibrate fuori atmosfera ma da doversi riprodurre da dentro l'atmosfera. Tutti i dubbi espressi sopra per la banda G rimangono validi per entrambe le bande  $B_p$  ed  $R_p$ . È difficile immaginare che gli errori esterni (cioè la differenze nella magnitudine ricavata sulla stessa stella da osservatori diversi che lavorino in modo tra loro indipendente) possano essere inferiori al decimo di magnitudine, specie andando verso le stelle più blu o più rosse (ovvero i bordi del diagramma HR dove si concentrano la gran parte delle variabili più interessanti). Circolano svariate "calibrazioni" dei colori

fotometrici classici (tipo B-V, V-R, V-I, etc.) a partire dal colore  $B_p-R_p$ . Molte di queste appaiono destituite di alcun fondamento. Prendiamo il colore B-V: le due bande B e V sono totalmente inglobate entro la banda  $B_p$ . Come diavolo posso separare B e V a partire dal loro combinato  $B_p$ ? Non posso, sia che conosca o no  $R_p$ ! Quello che posso dire è una cosa diversa: se prendo le stelle normali, singole, rotonde, senza punte, buchi, o trucchi vari e confronto il loro colore B-V con il colore  $B_p-R_p$  osservo che c'è in generale una relazione tra i due. Bene. Ma per una stella in particolare, della quale non so se sia binaria, se abbia punte, buchi, macchie, se il colore dei capelli sia quello naturale o tinto, se ci sia un disco di accrescimento o una insegna commerciale al neon, non potrò mai sostituire la misura diretta del colore B-V con una sua stima a partire da  $B_p-R_p$ . Punto.

Concludendo, la fotometria di Gaia non interferisce con il lavoro dell'astrofilo, non lo rende inutile, anzi. In 5 anni di operazioni in orbita, Gaia avrà raccolto una media di 84 osservazioni

G,  $B_p$ ,  $R_p$  per stella (in funzione della posizione in cielo si andrà da un minimo di alcune decine fino ad poco oltre 200). Non tantissimo. Per la maggior parte delle stelle nel proprio programma, la sola ANS ne raccoglie molte di più in cinque anni. Le osservazioni Gaia sono poi ottenute in queste bande larghissime, di difficile interpretazione fisica poiché una variazione registrata ad es. in  $B_p$  non c'è modo di sapere se era primariamente concentrata in U, o in B, o in V, oppure in R, tutte mischiate assieme nell'unica banda  $B_p$ . Le osservazioni Gaia non sono neppure utili per aiutare nella definizione della sequenza fotometrica locale attorno alle variabili di interesse, essendo la trasformazione da  $B_p-R_p$  a U-B, B-V, V-R, V-I impossibile sulla singola stella specifica. Cosa rimane? Sicuramente la distinzione tra stelle stabili e stelle variabili, con delle eccezioni però: ad es., le variabili con un periodo vicino al periodo di rotazione e scansione del cielo di Gaia (3 ore) verrebbero viste sempre alla stessa fase, oppure una binaria con eclissi di breve durata potrebbe essere osservata negli 84 passaggi di Gaia sempre fuori eclisse, e via così.

## L'articolo di fondo ...

### QUALE FUTURO PER L'ASTROFILO?

*Ulisse Munari—INAF (Asiago)*

Sembra il titolo di uno dei tanti convegni e meeting di questi tempi, basta sostituire "astrofilo" con "industria", "scuola", o "sanità". Scusate la poca fantasia ...

Se il contesto entro il quale l'industria, la scuola, la sanità, si trovano e troveranno sempre più ad operare è in tumultuoso divenire, così è l'ambito della ricerca, e sicuramente in modo virulento quello della astronomia.

Non mi riferisco alle incalzanti Breaking News della NASA e di agenzie simili: abbiamo tutti perso il conto di quante volte sia stata annunciata la scoperta dell'acqua e tracce di vita su Marte, o di nuove Terre abbellite da ampi oceani e terre emerse "asciutte" (se ricordate TRAPPIST-1). Per non parlare di quante sonde e progetti sono stati annunciati come risolutivi su materia ed energia oscure, ed una infinità di altre quisquiglie simili. Quasi nulla di tutto ciò trova poi conferma nel rigore delle pubblicazioni scientifiche refertate, ma tantè, il finanziamento dei nuovi progetti è stato intanto raggiunto, e poco importa se "ottenuto il miracolo, gabbato lo Santo".

L'argomento di oggi è invece il contesto tecnologico nel quale l'astrofilo fotometrista/astrometrice si trova e troverà sempre di più ad operare. Per spiegare a cosa mi riferisco, faccio riferimento a due progetti reali ed attuali (o quasi), uno a sud ed uno a nord: LSST e ZTF. Altri esistenti o futuri sono riconducibili questi.

**LSST** (o Large Synoptic Survey Telescope; <https://www.lsst.org/>) è un mostro da 8.4m in via di completamento sull'ennesima incredibile montagna Cilena (Cerro Pachon), con un campo di vista completamente corretto di 3.5 gradi in diametro (quasi 10 gradi quadrati di superficie), totalmente foderato con un mosaico di 189 CCD, ciascuno da 4096x4096 pixel, raffreddati a -100 °C. Il goal di LSST è coprire ogni 3 notti serene tutto il cielo visibile, misurando in 5 bande (SLOAN *ugriz*) tutte le stelle fino ad magnitudine limite  $r = 24.5$  (quindi circa 100 punti fotometrici all'anno per stella). Combinando immagini da visite successive, la magnitudine limite salirà a  $r = 28$ . Il telescopio dovrebbe inoltre generare fino ad un centinaio di alert per secondo (avete letto bene, equivalgono a 4 milioni in 12 ore di buio, nelle notti senza Luna e con Via Lattea, Centro della Galassia ed Eclittica belle alte in cielo). Ci saranno dei servizi di brokering che filtreranno questi alert, e comunicheranno al richiedente solo quelli che rientrano nel suo profilo (ad es. in termini di posizione in cielo, magnitudine, tipologia, vicinanza ad altre sorgenti, etc.).

Una specie di precursore di LSST, almeno per sperimentare la funzione di brokering, è già entrato in funzione nel 2017 e sta arrivando ora ad operatività. E' lo **ZTF** (o Zwicky Transient Facility; <http://adsabs.harvard.edu/abs/2017NatAs...1E..71B>), installato ad una vecchia cono-



scienza, lo Schmidt da 1.2m del Palomar. Oltre ad aver originato le survey fotografiche del cielo degli anni 50 e 90, su questo Schmidt ha girato a lungo la Palomar Transient Factory (PTF), che cercando supernovae ai confini dell'Universo, individuava (senza annunciarle pubblicamente per tenerle per sé!) le più promettenti per lo studio spettroscopico con telescopi come il 5m del Palomar, il 10m Keck, l'11m Hobby-Eberly etc., studio che ha portato alla individuazione della Energia Oscura e fruttato un Nobel.

Ora lo stesso telescopio è stato equipaggiato con una nuova camera, un mosaico di così tanti CCD da coprire 47 gradi quadrati con una sola immagine, per un totale di 3750 gradi quadrati coperti in un'ora ad una magnitudine limite in luce bianca di 20.5. A questa velocità, tutta la volta celeste accessibile dal Monte Palomar viene coperta in una sola notte. Il tasso massimo di transienti scoperti per notte è atteso dell'ordine di 1/50 di quelli di LSST, ovvero fino a 80,000 a notte (pari ad appena (!) 2 transienti al secondo), sempre ingestibili senza l'aiuto di un servizio di brokering che li preselezioni per noi. Allo ZTF, un software totalmente automatico seleziona via via che compaiono i target più interessanti che vengono istantaneamente comunicati al 5m del Palomar che li punta automaticamente in modo robotico per ottenerne uno spettro, che viene ridotto, analizzato e classificato senza intervento umano, se non a controllare a cose fatte. Se immaginiamo che il 5m impieghi 5 minuti a posizionarsi su un nuovo transiente, metterlo in fenditura e fare qualche immagine di calibrazione, e poi esponga per 5 minuti (il che limita l'osservabilità ai soli transienti più brillanti), in una notte serena di 12 ore si potrebbero classificare circa 700 transienti, ovvero meno dello 0.1% di quelli trovati da ZTF nello stesso intervallo di tempo.

Cosa significa tutto ciò per l'astrofilo?

Per l'amante dell'imaging di cielo profondo o del mostrare le bande di Giove agli amici ammirati, ovviamente nulla. Ma per l'astrofilo con ambizioni di ricerca scientifica in ambito fotometrico ed astrometrico ?

Distinguiamo "scoperta" da "studio".

**SCOPERTA.** Per gli astrofili interessati alla "scoperta", si chiude baracca e ci si dedica al ricamo subacqueo in apnea (basta anche la vasca del bagno di casa). Sono ormai anni che trovare novae o supernovae è diventata una battaglia persa con le survey già esistenti da anni (ASASSN, MASTER, CSS, OGLE, PTF, etc.). Con LSST o ZTF, qualsiasi cosa che potrebbe salire sopra alla magnitudine limite dei telescopi degli astrofili, sarebbe già stata scoperta a magnitudini più deboli e annunciata/classificata ore/giorni prima da queste survey. Le cose non vanno meglio per asteroidi e comete, specie considerando la lunghezza focale e la scala spaziale (0.2 arcsec/pixel) della astrometria delle survey in arrivo [per inciso, quando

richiesto di un parere, ho sempre sconsigliato gli astrofili dallo "usare" (eufemismo!) proprio tempo prezioso (mio punto di vista personale, ovviamente) cercando supernovae o altri transienti. Una volta un astrofilo mi disse che gli ci vollero circa 500 ore-telescopio prima di trovare una supernova, non già scoperta da qualcun altro. Per una nova Galattica, gli astrofili giapponesi investono migliaia di ore prima di beccarne una. [Investendo 500 ore-telescopio sulla fotometria con filtri o spettroscopia si sarebbero completati ottimo studi di un buon numero di variabili].

**STUDIO.** Per la parte di "studio", LSST non ci cambierà la vita, almeno a breve, per varie ragioni:

- (a) diventerà operativo solo tra qualche anno,
- (b) essendo piazzato in Cile, il cielo a nord lo vedrà solo parzialmente, ma soprattutto,
- (c) i numeri veri prodotti dal telescopio una volta in funzione potrebbero non essere così incredibili come promesso in sede di richiesta fondi, e soprattutto
- (d) se sulla singola posa devo rilevare con sicurezza le stelle di mag 24 (ovvero vederle con un S/N  $\geq 5$ ), il tempo di posa richiesto porterà le stelle di magnitudine 17 o più brillanti ad essere tutte sature. Quindi l'intervallo di magnitudini di interesse per le misure fotometriche degli astrofili, più brillante della 17, è salvo (pfiùùù !!!).

Poi come sempre, la complessità delle survey di questo tipo rende – almeno inizialmente - difficile familiarizzarsi con i dati al punto da saperli usare correttamente per una analisi scientifica seria, e anche questo contribuirà a spostare in là nel tempo lo spauracchio LSST [basti vedere la perplessità che regna tra i professionisti nel derivare in maniera statisticamente robusta (statistica Bayesiana) la distanza dalle parallasse astrometriche di Gaia (ad errori >20%, la semplice  $distanza = 1/parallasse$  non funziona più !!!)].

E ZTF ? Le obiezioni (a), (b) e (d) per LSST, qui non valgono. ZTF è operativo, è a nord, e scendendo "solo" alla 20.5, significa che alla 13.5 non dovrebbe saturare già più.

Ne abbiamo però una nuova e sostanziale:

- (a) ZTF lavora in luce bianca, cioè senza filtri.

Ora sappiamo bene che fenomeni fisici diversi producono signature fotometriche diverse muovendosi da una banda ad un'altra (basti pensare alla deformazione ellissoidale in banda *I* confrontata con l'effetto di illuminamento in banda *B*, e la somiglianza delle curve di luce da questi prodotte). Mescolando tutto all'interno della generica luce bianca, posso senz'altro dire che c'è variabilità e trovarne una periodicità se presente, ma capire chi-fa-che-cosa-e-perché potrebbe essere difficile o impossibile. Quindi anche le curve di luce di ZTF (previsto un

punto a notte, ogni notte serena, continuativamente per vari anni), non sono necessariamente uno show-stopper per gli astrofili.

Per continuare a ritagliarsi uno spazio importante (ancora essenziale alla ricerca) gli astrofili devono però muoversi con decisione in alcune direzioni strategiche, tra le quali elencherei:

- puntare sempre di più alla fotometria ottenuta simultaneamente in quante più bande fotometriche possibile (almeno BVI, meglio BVRI, sperabilmente UBVRI), mirando alla qualità e alla cura della trasformazione dal sistema fotometrico istantaneo a quello standard. Fotometria senza filtro non avrà più senso (e chi lo batte ZTF?), e una partita persa sarà anche la fotometria ottenuta in un solo filtro (ad es. V) e quindi non trasformabile dal sistema locale istantaneo a quello sistema standard per mancanza della base colore.
- non competere con queste mega survey scegliendo il loro stesso sistema fotometrico, cioè lo SLOAN *ugriz*, ma orientarsi verso sistemi fotometrici diversi, ad es. il più diagnostico e più popolare Johnson UBVRI.
- esplorare aree ancora poco coperte dai professionisti, come la banda U nel vicino ultravioletto o la banda Y ad 1 micron, entrambe di enorme potenzialità astrofisiche (la banda U per i fenomeni più energetici, la banda Y per la formazione delle polveri o le variabili fredde e di presequenza). La sensibilità dei CCD e l'efficienza delle ottiche in U ed Y è bassa, ma le misure in queste bande potrebbero facilmente risultare essere le "uniche" disponibili in letteratura, e quindi senza prezzo.
- lavorare in bande specifiche, pensate per uno specifico obiettivo fisico e completamente diverse dalle larghissime e generiche SLOAN *ugriz* o Johnson UBVRI. Bande fotometriche che mirino ad es. alla misura del continuo senza interferenza dalle righe di emissione, come la "y" di Stromgren (vedi lo studio pilota di ANS su Nova Del 2013 scaricabile in formato pdf dal sito web di ANS Collaboration alla pagina "Pubblicazioni"), dovrebbero risultare terreno di caccia esclusivo per l'astrofilo per molti anni a venire, ed offrire dati "unici" (cioè non derivabili da alcuna survey professionale esistente) ad es. sulle novae, le planetarie, le Wolf-Rayet, etc.
- esplorazione della variabilità su scale temporali rapide. La cadenza di rivisitazione di LSST per la stessa stella sarà ogni tre notti, una volta per notte per ZTF (similmente per ASASSN, OGLE, MASTER, etc.). I fenomeni rapidi saranno mal coperti sia da LSST che da ZTF. Con le loro cadenze, ricavare un profilo dettagliato di una eclisse di una binaria a breve periodo richiederebbe anni, e sarebbe impossibile studiare il flickering dell'accrescimento su una variabile cataclismica (tempi scala di minuti), o il periodo orbitale dalla modulazione dei superhumps durante i super-outburst (un'ora e mezza), i diversi tempi di passaggio al massimo delle novae in funzione della banda fotometrica, etc.
- puntare a campagne di osservazione lunghe, omogenee, con dati tutti costantemente di alta qualità. Nell'era delle survey attuali (OGLE, ASASSN, MASTER, etc.) sperare di fare la differenza contribuendo qualche punto qui e lì è ormai pia illusione, ancor di più con l'arrivo di LSST e ZTF. Ovviamente remotizzare e quindi robotizzare il proprio telescopio appare una via da perseguire con decisione se vogliamo rimanere competitivi.
- sfruttare la differenza in longitudine terrestre con i luoghi ove queste survey operano, pari a 6-10 ore per l'Italia (mentre non ve ne sarebbe se fossi in USA). Se la rapida salita al massimo di ad es. una nova presenta delle peculiarità da studiare, avere osservazioni regolari quando è ancora giorno a ZTF o LSST chiaramente rappresenta un valore specifico importante.
- programmare la sequenza di puntamento di un telescopio robotico sapendo quale è la sequenza di campi osservati quella notte da LSST o ZTF. Oltre a sfruttare la differenza in longitudine terrestre, si può ulteriormente aumentare lo "sfasamento" temporale tra le nostre osservazioni e quelle delle grandi survey, sapendo a che UT quel dato campo sarà osservato dalla survey. Per variabilità stellari molto rapide e non periodiche, questo accrescerà il valore (cioè l'unicità) dei nostri dati.

Non abbiamo parlato del contesto spettroscopico, che merita una discussione a parte da proporre in futuro su questa NewsLetter.

A monte abbiamo vari problemi da risolvere preventivamente:

- (i) la natura "smanettona" dell'astrofilo spettroscopista che tende ad aggirare il problema della reale comprensione di ciò che va a fare e degli strumenti che usa, rendendo spesso casuale e non documentabile/ripetibile il risultato ottenuto;
- (ii) le limitazioni degli spettrografi e dei software commerciali generalmente a disposizione;
- (iii) la necessità di raccogliere molta luce, il che richiede diametri dei telescopi molto più grandi che per la fotometria (ad es.: per un oggetto di  $V=16$ , la fotometria è ben fattibile con un 35cm, la spettroscopia in bassa dispersione (2 Ang/pix) richiede un telesco-

## Giustificiamo il conto.

Supponiamo che il telescopio da 35cm raccolga 18,000 conteggi dalla stella di  $V=16$  e li distribuisca su un'area di  $3 \times 3$  pixels, quindi mediamente 2000 conteggi a pixel.

La larghezza equivalente della banda  $V$  è di circa 900 Ang, ovvero l'area di raccolta della banda  $V$  è pari a quella di un rettangolo di larghezza 900 Ang e trasmissione costante al valore massimo.

Supponiamo che lo spettro in bassa dispersione sia largo 3 pixel come l'immagine diretta, ma lungo quanto necessario a coprire i 900 Ang della banda  $V$  ad una dispersione di 2 Ang/pix.

Sarà quindi necessario uno spettro lungo 450 pixels per coprire l'intera banda  $V$ . Su ogni pixel dello spettro cadrebbe quindi solo  $1/150$  dei conteggi che cadono su un pixel dell'immagine diretta ( $450 \times 3$  contro  $3 \times 3$  pixels), ovvero 13.

Teniamo conto inoltre che la trasparenza di un ottimo spettrografo (contenente almeno una fenditura, collimatore, reticolo, e lente di camera) è dell'ordine di solo il 30% di quella di un ottimo filtro fotometrico.

Mettendo tutto insieme, se il 35cm ha raccolto 2000 conteggi per pixel nell'immagine diretta, nello spettro in bassa dispersione esposto per lo stesso tempo dallo stesso 35cm ne collezionerebbe solo 4. Un fattore 500.

Se ci spostiamo su un telescopio di 2m, la differenza di area di raccolta con un 35cm è un fattore 33. Per pareggiare il conto, ovvero 2000 conteggi per pixel tanto sullo spettro che sulla immagine diretta, con il 2m dovremmo esporre per un tempo 15 volte più lungo che con il 35cm in immagine diretta.

Passiamo ad uno spettro Echelle, di dispersione 0.1 Ang/pix nella regione della banda  $V$  (come per l'1.82m di Cima Ekar ad Asiago). Per coprire i 900 Ang della banda  $V$ , serve ora

uno spettro lungo 9000 pixels, 20 volte più lungo dello spettro in bassa dispersione. Quindi i conteggi vengono diluiti di un ulteriore fattore 20. Vista l'aggiunta di un secondo reticolo (il cross-disperser), uno spettrografo Echelle ha solo la metà della efficienza di uno spettrografo per bassa dispersione, quindi in realtà il fattore di diluizione passa a 40.

Supponiamo di avere lo spettrografo Echelle montato su un 8m, che raccoglie 16 volte più luce di un 2m. Per ottenere sul continuo dello spettro Echelle lo stesso numero di conteggi per pixel dello spettro in bassa dispersione, dobbiamo esporre 2.5 volte più a lungo con l'8m+Echelle che con il 2m in bassa dispersione.

I numeri sono "spannometrici", ma sensati. Pensiamo alle survey spettroscopiche dell'emisfero sud, ottenute con i migliori spettrografi in grado di osservare centinaia di stelle simultaneamente. La survey RAVE, osservando spettri a 0.38 Ang/pix ed esponendo per 1.5 ore con un 1.3m, ha osservato stelle tra  $V=10.5$  e  $V=12.3$ . La survey Galah, esponendo a 0.1 Ang/pix per 1 ora con il 4m di Siding Spring, ha osservato tra la  $V=12$  e  $V=13.8$ . La survey ESO-Gaia, lavorando a 1 Ang/pix ed esponendo per 1 ora con gli 8m del VLT, ha raggiunto stelle tra la  $V=14$  e  $V=16$ .

Questo per **stelle normali** per le quali vogliamo vedere bene il continuo, così da misurare con cura le righe presenti in assorbimento sullo stesso.

Se invece il continuo lo sotto-esponiamo (o neanche lo raggiungiamo) perché ci basta arrivare a vedere una  $H\alpha$  in intensissima emissione come nelle novae o nelle simbiotiche, il conto appena svolto non è più pertinente e si possono raggiungere le righe di emissione di stelle assai più deboli dimenticandosi però qualsiasi cosa utile sul continuo tra queste.

pio da 2m, quella in alta risoluzione (0.1 Ang/pix) è al limite per un 8m [vedi riquadro in alto]).

Superati questi ostacoli (non proprio trascurabili), la strada appare però in discesa. Non ci sono survey spettroscopiche attuali o previste per il prossimo futuro che riprendano regolarmente tutte le stelle presenti entro vaste porzioni del cielo, le osservazioni spettroscopiche dei transienti e delle variabili in genere essendo fatte puntando un singolo specifico oggetto con un grosso telescopio (che quindi può osservare pochi oggetti per notte anche se robotico).

Le survey spettroscopiche della Galassia, quali RAVE, GALAH, APOGEE, ESO-Gaia, etc., pur puntando simultaneamente 400 oggetti grazie ai loro fasci di fibre posizionabili autonomamente da sofisticati robot, nei 10 anni di operatività riescono a raccogliere un solo spettro per ciascuno dei 0.5-2 milioni di target dei loro programmi. Nessun secondo spettro a distanza di mesi/anni. Inoltre queste survey, essendo tutte interessate a capire come è nata ed evoluta la nostra Galassia, evitano come la peste tutti i possibili transienti e le variabili note.

A loro servono le stelle noiose, singole, quelle che stanno ferme addormentate per milioni di anni, le più sicure per derivare la temperatura e gravità superficiali, la composizione chimica, e quindi una stima della età. Per la scansione spettroscopica del cielo eseguita dal satellite Gaia, il discorso è un po' diverso, ma ne ripareremo (anticipando qualche cosina: pochi passaggi sulla singola stella negli 8 anni di operazioni, basso S/N sul singolo spettro, e un intervallo spettrale molto ristretto, tra 8450 e 8750 Ang centrato sul tripletto del Calcio e la testa della serie di Paschen dell'idrogeno).

Rimane una cosa sulla quale riflettere, che spero non sia sfuggita ai più: come li gestiamo gli alert prodotti ad un ritmo di fino a 4 milioni a notte ?! (Magari gli Americani sono stati superottimisti, magari saranno solo 400,000 a notte, o anche appena 40,000 a notte, sempre un numero comunque impressionante). Per quanto restringiamo l'intervallo di parametri offerti dal servizio di brokering, è difficile limitare il numero di alerts che ci compariranno sul monitor del PC a meno di 1 su 10,000 di quelli prodotti, ovvero 40 a notte. E la notte dopo saranno altri 40, tutti diversi, e quella dopo ancora altri 40 diversi ...

Come scegliamo quale provare, quello potenzialmente più interessante, e quale poi seguire? Avremo i nervi saldi per continuare a seguirlo nel tempo, ignorando quelli nuovi trovati nelle serate successive, o salteremo in modo inconcludente da uno all'altro come una farfalla tra i fiori del prato ?

Lasciamoci con una nota positiva: ci saranno molte, molte farfalle (concentrate presumibilmente tra quelli con gli specchi più grandi), il che restringerà la concorrenza e aumenterà la visibilità di un lavoro ben fatto, di qualità e protratto nel tempo. Nervi saldi!

Associazione ANS Collaboration

---

Presidente: Andrea Frigo

Direttore Scientifico: Ulisse Munari

Segretario: Alessandro Maitan

**Altri membri del CD:**

Sergio Dallaporta

Flavio Castellani

[info@ans-collaboration.org](mailto:info@ans-collaboration.org)

