



Laboratorio di Astronomia

A cura di Alessandro Beltrami e Paolo Fini.

Distribuzione non consentita senza il consenso degli autori.

Aprile, 2021

Studio di una supernova di tipo Ia con strumentazione amatoriale

*Allegato alla foto "SN2021hiz" del concorso fotografico SAF 2021
"Uno Sguardo al Cielo".*

Premessa

In data 30/4/2021 è pervenuto l'alert del TNS (organizzazione dell'IAU per la raccolta centralizzata dei dati delle survey per la ricerca di transienti) della scoperta di una presunta supernova (early discovery, PSN) in una galassia nell'ammasso della Vergine di magnitudine apparente (mag.17).

Risultando tale magnitudine alla portata delle attrezzature amatoriali e promettendo una crescita di luminosità ulteriore nei giorni successivi, abbiamo deciso di farne un caso di studio per approfondire conoscenze sull'argomento e le tecniche di acquisizione dei dati.

L'obiettivo era di effettuare osservazioni fotometriche della supernova in banda CLEAR nei giorni a seguire, per poter fare:

- considerazioni sulla classificazione del tipo di supernova
- stimare la velocità di espansione dei gas nelle varie fasi dell'esplosione
- effettuare una stima della distanza, confermando i dati e le incertezze a catalogo per la galassia ospite nel caso di SN tipo Ia (usabile quindi come candela standard)

Da: "Transient Name Server" tns@weizmann.ac.il

A: osservatorio@ermannolostorpio.it

Data: Tue, 30 Mar 2021 14:20:12 +0000

Oggetto: TNS - New reports and classifications

Dear Dr. Paolo Fini

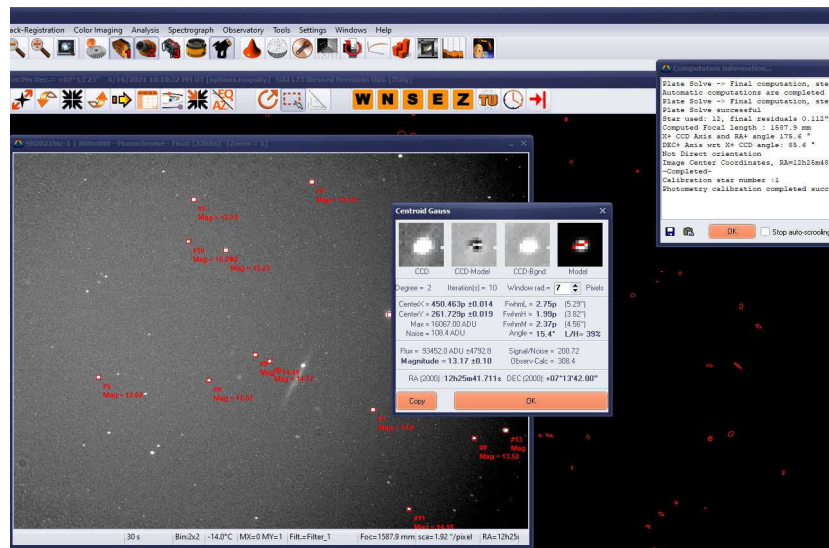
The following new transient/s were reported on:

2021hiz RA=12:25:41.678, DEC=+07:13:42.22, Discovery date=2021-03-30 08:36:49.003, Discovery mag=17.7093 ABMag, Filter: g - ZTF, Reporter: A. Munoz-Arancibia, F. Forster, F.E. Bauer, G. Pignata, L. Hernandez-Garcia, L. Galbany, E. Camacho..., Reporting group: ALeRCE, Data source group: ZTF
Best Regards, The TNS team

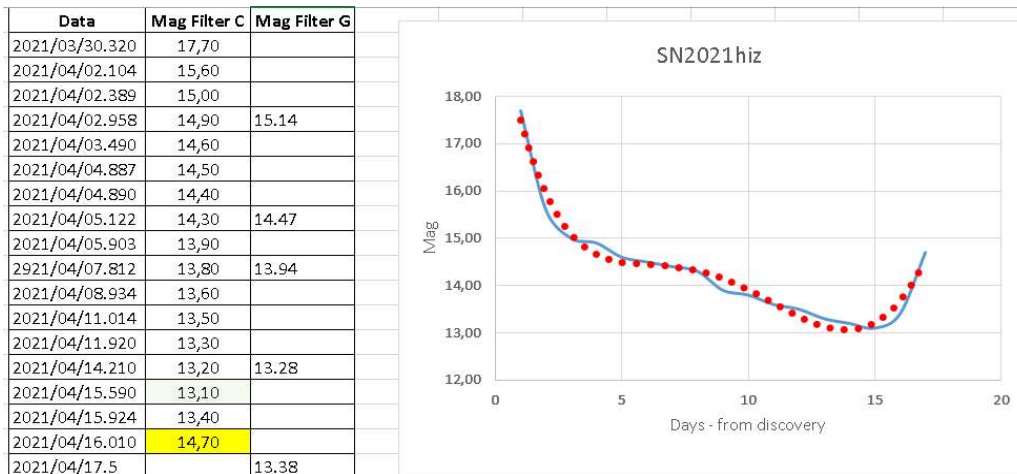


Immagine visuale e misura della fotometria

La curva di luce è stata ottenuta con misure fotometriche ripetute nei giorni fino alla determinazione del picco di luminosità apparente. (Misure effettuate dagli autori, integrate con risultati di altri siti amatoriali nei giorni di tempo sfavorevole. (www.rochesterastronomy.org))



La misura fotometrica è effettuata con metodo della fotometria d'apertura mediante confronto nel FOV con stelle campione (catalogo UCAC4) con filtro CLEAR (B+V+R 4000-7500Å). La colonna Mag Filter G rappresenta il confronto con misure professionali in sola banda g (54754Å)



Distanza della galassia ospite mediante l'uso del redshift a catalogo

La galassia ospite risulta ampiamente conosciuta e studiata; trattasi di UGC7513 con $z=0.003319$ cioè velocità di espansione $\ll c$ quindi possiamo affermare che si allontani a velocità approssimativa di

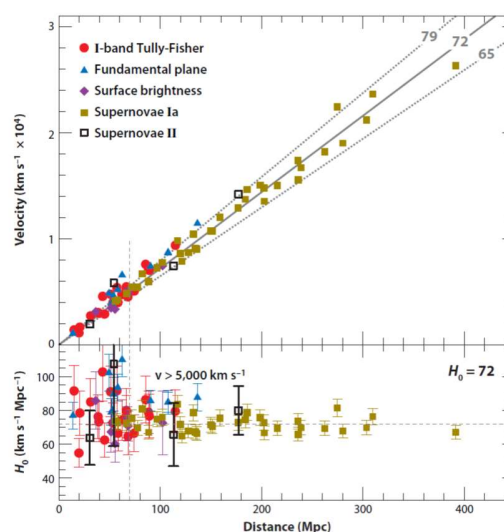
$$V_{gx} = c * z = 300000 * 0.0033 = 990 \text{ Km/s}$$

Analogamente, la distanza puo' essere esplicitata con la relazione

$$d = z * c / H_0 \text{ (costante di Hubble pari a } H_0 = 67.15 \text{ Km/s/Mpc)}$$

$$d = 0.003319 * 300000 / 67.15 = 14.82 \text{ Mpc}$$

Occorre tuttavia rilevare che per $z < 0.1$, la velocità di allontanamento della galassia è paragonabile ai moti propri e quindi l'errore che si commette impiegando la costante $H_0 = 67.15$ e la legge di Hubble-Lamaitre puo' diventare significativo. (The Hubble constant, Freedman/Madore, 2010)

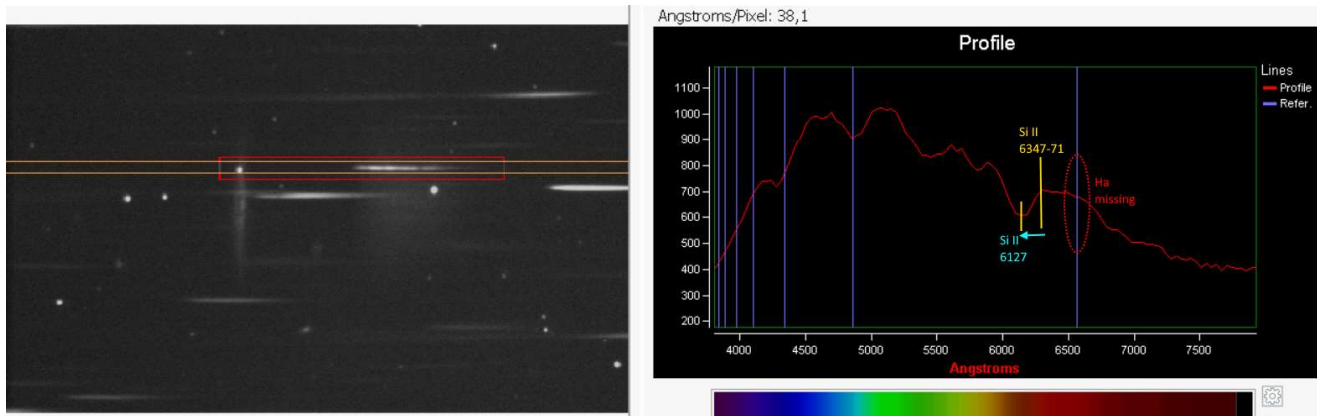


La migliore stima di distanza attualmente disponibile ed attribuita alla galassia ospite nel catalogo NED (NASA) è di **20 Mpc**.



Spettro a bassa risoluzione ed ipotesi di classificazione

Lo spettro acquisito a bassa risoluzione (giorno +5 dopo la scoperta) mostra inequivocabilmente le caratteristiche di una SN Ia; in particolare 1) l'assenza delle righe di emissione dell'idrogeno H 2) la conformazione P-Cygni della riga di assorbimento del Silicio detta in gergo "Silicon Valley" e 3) che risulta anche molto spostata "a sinistra" sintomo di espulsione di materia ad alta velocità.



Velocità di espulsione dei gas

Utilizzando anche solo lo spettro a bassa risoluzione si osserva che il blueshift della riga di Si II che è di circa 220-240Å, è spostata e il che equivale ad una velocità di espansione dei gas verso la nostra galassia di

$$V_{\text{esp}} = c \cdot (\Delta \lambda) / (\lambda_{\text{Si II}}) = 300000 \cdot 240 / 6347 = \mathbf{11344 \text{ Km/s}}$$

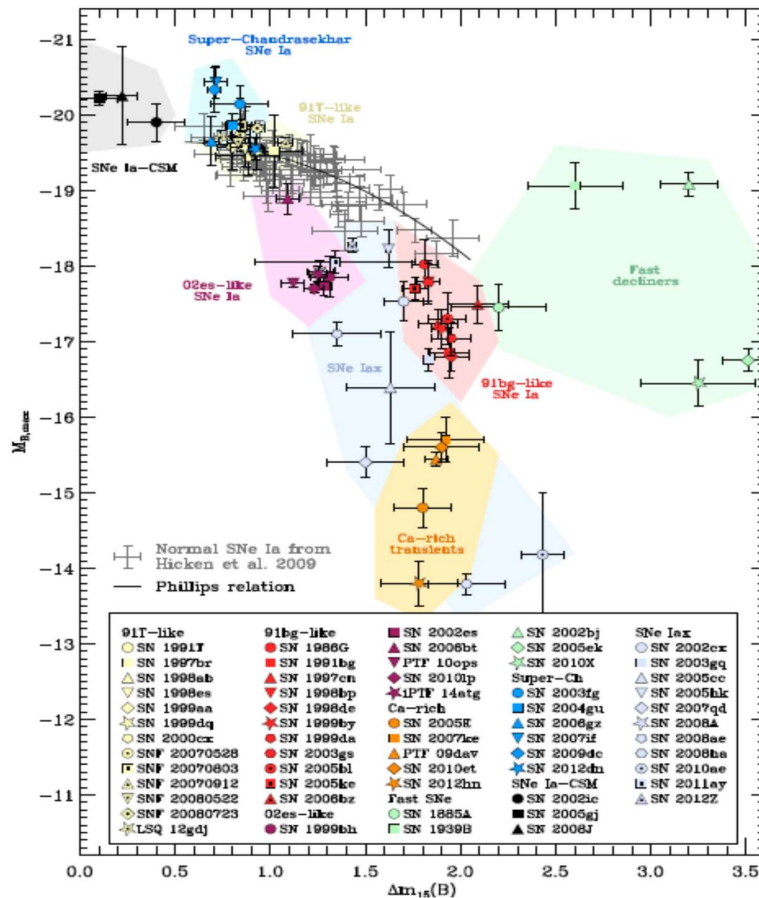
Considerando quindi l'effetto combinato del redshift della galassia e del blueshift dell'esplosione risulta che il gas si propaga alla velocità approssimativa di

$$V_{\text{esp}} + V_{\text{gx}} = 990 + 11344 = \mathbf{12334 \text{ Km/s}}$$

Verifica della distanza "di luce" della galassia ospite

La presenza della supernova di tipo Ia, unitamente ad una moderata velocità di allontanamento che permette alcune semplificazioni cosmologiche, consente di applicare il metodo della distanza di luce secondo cui la magnitudine assoluta M, nel momento del massimo di energia emessa è "costante" sulla popolazione di SN Ia e stabilita dal limite di Chandrasekhar.

Esistono però sotto famiglie di comportamenti delle SN Ia osservati nei decenni e che sono sintetizzati nella mappa sottostante. Occorrerà pertanto seguire nelle settimane che verranno, la velocità di decadimento della magnitudine per validare l'assunzione del valore più corretto di M. L'ultimo dato acquisito (non confermato dal circuito professionale) parrebbe ipotizzare un rapido decadimento avvalorando l'ipotesi di una luminosità M inferiore cioè di -18.4 invece che -19.4



Assumendo quindi i due casi limite in cui si ha $M = -19.4$ (B) mag e $M = -18.4$ (B) mag, semplificando la relazione di Perlmutter che lega M ad m (magnitudine visuale alla distanza D in Parsec) si ottiene

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

Caso A: $-19.4 = 5 + 13.1 - 5 \log D$ da cui $D = 10^{((19.4 + 5 + 13.1)/5)} = \mathbf{33.1 \text{ Mpc}}$

Caso B: $-18.4 = 5 + 13.1 - 5 \log D$ da cui $D = 10^{((18.4 + 5 + 13.1)/5)} = \mathbf{19.9 \text{ Mpc}}$ prossimo al database NED

Verifica dello "z" della galassia ospite

Sulla base della distanza di luce della SN Ia proviamo a ricalcolare lo z della galassia UGC7513:

$$z = H_0 \cdot D / c$$

Caso A $z = 67.15 \cdot 33.1 / 300000 = \mathbf{0.0074}$

Caso B $z = 67.15 \cdot 19.9 / 300000 = \mathbf{0.0043}$ valore prossimo al catalogo

Estinzione galattica della magnitudine (ISM)

Il valore di estinzione (variazione della magnitudine dovuto alle polveri interstellari e della galassia) è disponibile a catalogo NED (NASA) in questa regione dello spazio:



$\Delta mag_{estinzione} = 0.1(B) + 0.07(V) + 0.05(R) = 0.22 mag$ (assumendo lineare il sensore sulla banda C=clear) pertanto non significativamente influente nella finalizzazione del calcolo della distanza di luce rispetto alle altre incertezze.

Conclusioni e considerazioni.

Concludiamo questa relazione con le seguenti considerazioni e cose che abbiamo imparato:

- Per galassie a basso redshift il calcolo della distanza con l'equazione cosmologica risulta non molto preciso per via dei moti propri paragonabili alla velocità di fuga. L'errore che rileviamo è infatti del 50% rispetto ai dati professionali disponibili sul NED (NASA). Per quanto accettabile nei calcoli cosmologici in cui si valutano gli ordini di grandezza, necessita comunque di correzioni.
- Per quanto riguarda la classificazione della SN come di "tipo Ia" seppur con spettro a bassa risoluzione possiamo dire che risulta fattibile attraverso il metodo comparativo di altri spettri di SNe della stessa famiglia così come è evidente il contributo spettrale dell'espulsione dei gas ad alta velocità per la riga di Si II.
- Il calcolo della distanza della galassia ospite mediante la candela standard fornisce un metodo affetto dall'incertezza della magnitudine assoluta della SN Ia che non sempre è assumibile essere -19.4. Si è pertanto calcolato il valore considerando un range di variabilità fino a -18.4 sulla base della letteratura disponibile, non potendo conoscere l'esatta famiglia della supernova poiché non si conosce per esempio ancora la curva di decadimento. In questa ipotesi la stima di distanza che ne deriva è particolarmente vicina alla stima di distanza del NED (NASA).
- Circa la tecnica di acquisizione e post processing fotometrico possiamo dire che è opportuno lavorare in banda B piuttosto che in Clear (ad ampio spettro) in modo che siano più facilmente comparabili i risultati ottenuti con quelli professionali. Eventualmente effettuare acquisizioni separate B-V-R per ogni immagine e monitorare le differenze.
- Circa l'analisi dello spettro di emissione: la bassa risoluzione del setup consente solo una classificazione di base; impedisce invece di cogliere ulteriori righe di emissione (elementi) per affinare la classificazione del transiente e dei fenomeni evolutivi della materia coinvolta. Inoltre sarebbe utile monitorare sempre l'evoluzione dello spettro ad alta risoluzione al trascorrere dei giorni.
- Infine, occorre evidenziare che al fine di validare le assunzioni sulla M da utilizzare nei calcoli è fondamentale seguire l'evoluzione della curva di luce e della magnitudine $M(V)$ e $M(I)$ per almeno altri 60gg al fine di identificare i fattori correttivi da applicare confermando se si tratta di una SN Ia standard o sub-luminosa con decadimento rapido. (Ad esempio in banda R alcune SN presentano un decadimento molto diverso da quello B-V)

Attrezzature utilizzate:

CCD SBIG ST2K, Telescopio Schmidt Cassegrain 31cm f/6, Star Analyzer 100 linee/mm. software PRISM10

Postazione osservativa "Beato Ermanno Obs." codice MPC: L73 (Impruneta)