

CONFERMA DI UNA SUPERNOVA NELLA GALASSIA NGC6946

G. Iafrate e M. Ramella
INAF - Osservatorio Astronomico di Trieste

Questo modulo didattico illustra quali verifiche effettuare su un'immagine ripresa da un telescopio amatoriale (ne viene fornita una), per confermare la scoperta di una supernova e ricavare le sue proprietà.

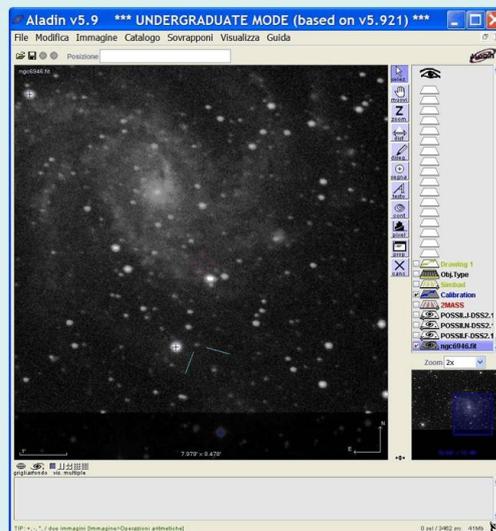
Informazioni e contatti: <http://vo-for-education.oats.inaf.it> - iafrate@oats.inaf.it

Confronto con immagini di archivio

Le supernovae sono stelle che, esaurito il combustibile nucleare, terminano la propria vita con una catastrofica esplosione. Le supernovae sono visibili anche da grande distanza per la loro grandissima luminosità che a volte supera quella della galassia che le ospita.

Gli astrofili possono dare un contributo importante nella ricerca di supernovae. Per scoprirle essi riprendono un gran numero di immagini di galassie e cercano stelle "nuove", che fino a quel momento non erano visibili.

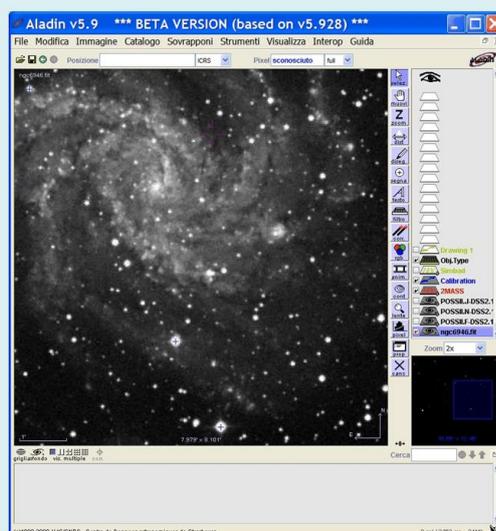
Aladin permette di visualizzare un'immagine ripresa con un telescopio amatoriale, eseguire la calibrazione astrometrica e confrontarla con le immagini degli archivi dell'Osservatorio Virtuale. E' così possibile vedere se nell'immagine è presente una stella "in più".



Confronto con immagini in altre lunghezze d'onda

Per essere sicuri che la nuova stella sia realmente una supernova è necessario verificare che essa non appaia neanche in immagini riprese a lunghezze d'onda differenti (cioè con filtri di colore differente).

Ciascuna stella, infatti, emette la maggior parte della sua energia in un determinato intervallo di lunghezza d'onda (colore), e potrebbe quindi non essere visibile in altre lunghezze d'onda.

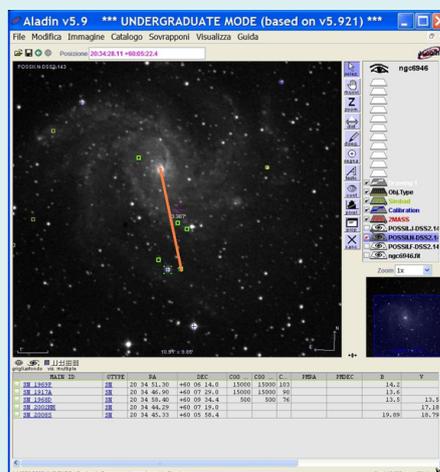


Aladin, grazie all'accesso agli archivi dei maggiori telescopi del mondo, permette di visualizzare immagini in molte lunghezze d'onda. Nel caso dell'immagine in questa pagina sono state utilizzate immagini nell'infrarosso, nel rosso e nel blu.

Distanza dal nucleo galattico e coordinate della Supernova

Per informare la comunità astronomica internazionale della scoperta è necessario ricavare con precisione le coordinate della supernova e la sua distanza dal nucleo.

In Aladin il calcolo della posizione della supernova è molto semplice: è sufficiente portare il cursore sulla stella e cliccare su di essa. Per calcolare la distanza dal nucleo utilizzare la funzione "vettore di distanza".



Aladin ha molte altre funzioni utili per un'analisi più approfondita. Per esempio permette di visualizzare le altre supernovae esplose nella stessa galassia e accedere alle informazioni del database astronomico Simbad.

Il nostro progetto dipende dal vostro gradimento. Se avete trovato utile il materiale che abbiamo sviluppato vi preghiamo di riconoscerlo nei vostri lavori, scriverci una mail (iafrate@oats.inaf.it) o mettere un mi piace sulla nostra pagina Facebook (www.facebook.com/VOedu). Grazie!

1 Introduzione

Quando una stella esaurisce il combustibile nucleare la sua vita di stella normale termina con una esplosione catastrofica. L'esplosione è così violenta che la stella diventa più luminosa della sua galassia. Questo tipo di oggetto così luminoso è chiamato supernova ed è osservabile anche a distanze molto elevate.

Riusciamo a vedere una supernova a occhio nudo solo se esplose nella nostra galassia: per esempio quelle del 1572 e 1604, osservate rispettivamente da Tycho Brahe e Keplero.

Attualmente gli astronomi scoprono circa 200 supernovae all'anno, finora ne sono state registrate più di 5000, in galassie distanti fino a 13 miliardi di anni luce

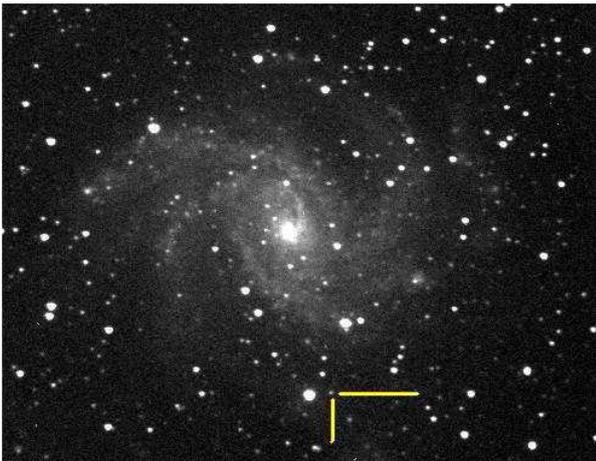


Fig. 1: Immagine della galassia ngc6946 con l'apparente supernova (indicata dalle due linee gialle).

Nel campo della ricerca di supernovae extragalattiche gli astrofili possono dare un sostanziale contributo ai progetti professionali. Gli astrofili di tutto il mondo riprendono ogni notte migliaia di immagini delle galassie più luminose, nell'intento di individuare una supernova: confrontano le nuove immagini con altre di archivio cercando nuove stelle.

In questo esempio illustriamo come un astrofilo può trarre vantaggio nell'utilizzo

di Aladin. Iniziamo da un'immagine della galassia ngc6946 (distante 22 milioni di anni luce) ripresa dall'osservatorio del Col Drusciè il 7 febbraio 2008.

Possiamo scaricare l'immagine ngc6946.fit con la supernova (fig. 1), da <http://vo-for-education.oats.inaf.it/download/ngc6946.fits> e seguire questo esempio per verificare se si tratta veramente di una nuova stella.

2 Le supernovae

Prima di iniziare a utilizzare Aladin e le osservazioni, facciamo una breve introduzione sulle supernovae. Le supernovae sono gli oggetti stellari con la maggiore variazione di luminosità: in pochi giorni la loro luminosità può aumentare di 20 magnitudini. Le supernovae possono cioè diventare un fattore 100 milioni più luminose. Dopo il massimo, c'è un lento declino che dura diversi mesi.

Le supernovae sono esplosioni di stelle. Quando una stella esaurisce il suo combustibile nucleare non può più bilanciare la forza di gravità, inizia a contrarsi e la sua temperatura aumenta. A questo punto il futuro della stella dipende dalla sua massa. Se il nucleo è sufficientemente massiccio la stella può diventare instabile ed esplodere come supernova, altrimenti può diventare un buco nero, una stella di neutroni o una nana bianca. Nell'esplosione può rimanere visibile per migliaia di anni un guscio di gas in espansione con una velocità di circa 10.000 km/s (per esempio, osserviamo ancora il resto di supernova della nebulosa del granchio - M1, esplosa nel 1054). Nella nostra galassia (la Via Lattea) possiamo osservare alcune decine di questi resti di supernova.

Nel 1941 Rudolph Minkowski è stato il primo ad accorgersi che esistono almeno due tipi diversi di supernovae: quelle che

mostrano l'idrogeno (H) nei loro spettri (Tipo II), e quelle che non lo mostrano (Tipo I). A metà degli anni '80, con l'aumento delle scoperte di supernovae e della qualità dei dati, le supernovae di Tipo I sono state ulteriormente suddivise in base alla presenza del silicio (Tipo Ia), dell'elio (Tipo Ib) o nessuno dei due (Tipo Ic) nei loro spettri. È stato anche scoperto che mentre le supernovae di Tipo Ia possono trovarsi in qualsiasi parte di qualsiasi tipo di galassia, le Tipo Ib e Ic esplodono principalmente nei nuclei delle galassie a spirale.

Ora sappiamo che le supernovae Tipo II, Ib e Ic risultano dal collasso di stelle massicce, mentre le Tipo Ia hanno origine dall'esplosione term nucleare delle nane bianche, una delle possibili fini dell'evoluzione stellare.

Le supernovae di Tipo Ia sono particolarmente interessanti poiché al massimo dell'emissione hanno tutte la stessa luminosità, quindi possono essere utilizzate come indicatori di distanza: le supernovae permettono di determinare con precisione le distanze cosmiche fino a distanze molto elevate.

3 Aladin

Aladin è un atlante stellare interattivo sviluppato e mantenuto dal Centre de Données astronomiques di Strasbourg (CDS) per l'identificazione delle sorgenti astronomiche tramite l'analisi visuale di immagini di riferimento, disponibile qui:

<https://aladin.u-strasbg.fr/java/Aladin9.0.jar>.

Aladin usufruisce dei database e dei servizi del CDS (database SIMBAD, cataloghi VizieR, ecc.), ed è progettato per essere utilizzato dagli astronomi professionisti, dagli astrofili, dagli studenti e dal pubblico generale.

Aladin permette all'utente di visualizzare immagini astronomiche digitalizzate di qualsiasi parte del cielo, di associare i dati delle tabelle e dei cataloghi

astronomici del CDS e di accedere in modo interattivo alle informazioni e ai dati correlati da SIMBAD, NED, VizieR e altri archivi.

In questo esempio utilizziamo Aladin nella configurazione *undergraduate* (sviluppata nell'ambito del progetto europeo EuroVO-AIDA).

4 Caricare l'immagine locale

Il nostro intento è di verificare se nell'immagine della galassia ngc6946 ripresa dal programma CROSS (Col Drusciè Remote Observatory Supernovae Search) è presente una supernova. Il primo passo consiste nel procurarsi l'immagine di ngc6946. Scaricare l'immagine sul proprio PC e avviare Aladin.

Aprire Aladin e passare alla modalità "undergraduate", dal menu

modifica -> preferenze dell'utente -> profilo -> undergraduate.

Riavviare Aladin per rendere effettive le modifiche.

Caricare l'immagine in Aladin dal menu

File -> Apri file locale

La visualizzazione di ngc6946 non è molto chiara, per migliorarla modificare la distribuzione delle intensità. Aprire la finestra di *mappatura dei pixel* (pulsante "pixel" alla destra dell'immagine)



(fig. 2)

e selezionare "sqrt". Notare che possiamo sempre utilizzare i pulsanti "zoom" e "muovi"



Il nostro progetto dipende dal vostro gradimento. Se avete trovato utile il materiale che abbiamo sviluppato vi preghiamo di riconoscerlo nei vostri lavori, scriverci una mail (iafrate@oats.inaf.it) o mettere un mi piace sulla nostra pagina Facebook (www.facebook.com/VOedu). Grazie!

per ingrandire l'immagine e spostarla, in particolare se le sue dimensioni sono maggiori della "finestra di Aladin".

5 Calibrazione astrometrica

La nostra immagine non ha nessuna calibrazione astrometrica, questo significa che nell'immagine di ngc6946 non ci sono informazioni sulle coordinate.

Per impostare il sistema delle coordinate paragoniamo la nostra immagine con un'immagine calibrata e identifichiamo alcuni oggetti (3 o 4 stelle) in entrambe le immagini.

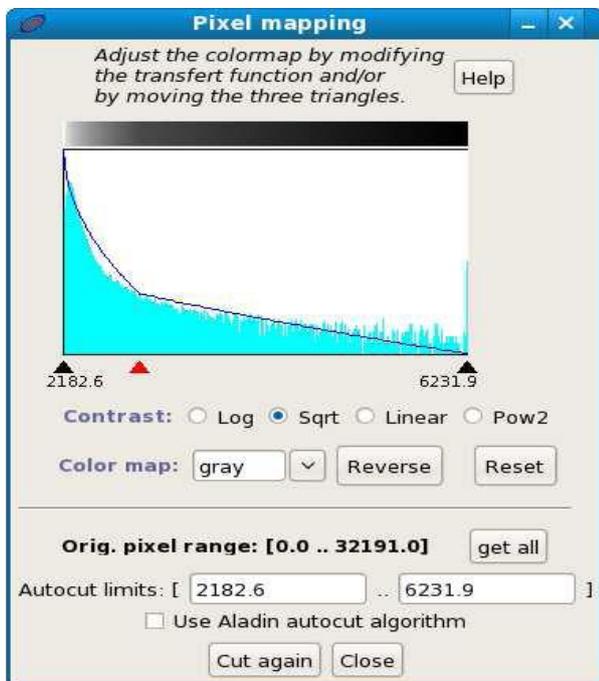


Fig. 2: La finestra di mappatura dei pixel.

Fissiamo il sistema di coordinate della nostra immagine facendo corrispondere le coordinate delle stelle nell'immagine calibrata con le coordinate delle stesse stelle nell'immagine negc6946.fit. Innanzitutto dobbiamo caricare un'immagine calibrata.

Aprire il pannello di selezione del server:

File -> Carica immagine astronomica
-> Server delle immagini di Aladin.

Nel campo "oggetto" scrivere "ngc6946"



Inoltra

NOTA: In questo esempio il simbolo del mouse indica che dobbiamo cliccare il pulsante "inoltra".

Selezionare l'immagine "POSS II F 13'z13' (Optical R)".



Inoltra

POSS è l'acronimo di Palomar Observatory Sky Survey: si tratta di una collezione di immagini digitalizzate di tutto il cielo visibile dall'emisfero settentrionale (declinazione da +90° a -27°), riprese dall'osservatorio di Monte Palomar. Tutte le immagini POSS II sono calibrate.

Carichiamo un catalogo: scegliamo il catalogo "2MASS Point Sources" che contiene i dati delle stelle più importanti visibili nella nostra immagine.

Nel pannello di selezione del server (fig. 3) (nella colonna di destra)



Inoltra

Selezionare "2MASS".



Inoltra



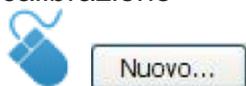
Fig. 3: Il pannello di selezione delle immagini e dei cataloghi di Aladin.

Il nostro progetto dipende dal vostro gradimento. Se avete trovato utile il materiale che abbiamo sviluppato vi preghiamo di riconoscerlo nei vostri lavori, scriverci una mail (iafrate@oats.inaf.it) o mettere un mi piace sulla nostra pagina Facebook (www.facebook.com/VOedu). Grazie!

Ora possiamo calibrare la nostra immagine, indicando le stesse stelle in entrambe le immagini.

Cliccare con il destro sul piano di ngc6946.fit e selezionare "proprietà".

Nella selezione del metodo di calibrazione



Passare sulla scheda "per stelle corrispondenti". Nelle celle della colonna di sinistra inserire le coordinate (x,y) di tre o quattro stelle della nostra immagine: selezionare la prima cella "x y position" e cliccare su una stella facile da riconoscere sull'immagine ngc6946. Le coordinate x y della stella vengono riportate nella cella. Nelle celle della colonna di destra inserire le coordinate (RA, Dec) delle stesse tre o quattro stelle dell'immagine POSS II: selezionare la prima cella di destra e cliccare sulla stessa stella individuata in precedenza, questa volta però sull'immagine POSS II. Fare la stessa cosa per altre due o tre stelle.



(fig. 4)

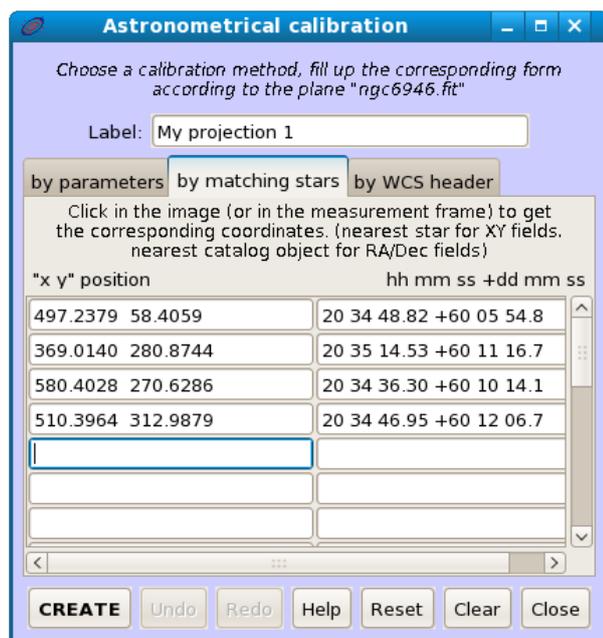


Fig. 4: Finestra delle stelle corrispondenti con le coordinate di quattro stelle della nostra immagine e le stesse stelle nell'immagine POSS II calibrata.

Ora la nostra immagine è calibrata, nella prossima sezione la confrontiamo con quella del POSS II.

6 Confronto con le immagini del POSS

Se nella nostra immagine c'è una supernova, quest'ultima appare come una nuova stella, quindi dobbiamo confrontare l'immagine di ngc6946 con un'immagine della stessa galassia ripresa precedentemente. Le immagini di archivio più utili disponibili in rete sono quelle del POSS II.

Poiché il progenitore della supernova era molto debole prima dell'esplosione, la "nuova stella" comparsa nella nostra immagine non dovrebbe essere visibile nell'immagine POSS II della stessa regione di cielo. Le immagini POSS II sono infatti state riprese negli anni '80.

Iniziamo con il confronto con l'immagine POSS II RED caricata in precedenza. Selezionare il piano ngc6946.fit. Portare il cursore del mouse sul piano POSS II e modificare il livello di trasparenza (cliccare nella parte in basso a sinistra dell'icona del piano e trascinare il cursore verso destra - fig. 5) per vedere le due immagini sovrapposte. È evidente che l'apparente supernova non compare nell'immagine POSS II.

Per essere sicuri che l'apparente supernova sia realmente una supernova dobbiamo verificare anche che essa non appaia nemmeno in immagini riprese in altre lunghezze d'onda. Controlliamo le immagini POSS II IR e BLU. Aprire la finestra di selezione del server e selezionare POSS II J (optical B) e POSS II N (optical I). Le due nuove immagini POSS II sono ora caricate nella catasta di

Il nostro progetto dipende dal vostro gradimento. Se avete trovato utile il materiale che abbiamo sviluppato vi preghiamo di riconoscerlo nei vostri lavori, scriverci una mail (iafrate@oats.inaf.it) o mettere un mi piace sulla nostra pagina Facebook (www.facebook.com/VOedu). Grazie!

piani di Aladin, ripetere la procedura precedente per confrontare la nostra immagine con esse. Notare che l'apparente supernova non compare neanche in queste immagini, quindi possiamo essere sufficientemente sicuri che si tratta di una nuova supernova!

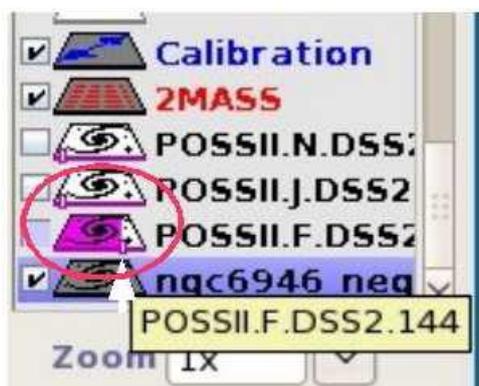


Fig. 5: Il cursore per modificare la trasparenza dell'immagine.

Procedura alternativa

Il confronto tra le due immagini può essere effettuato anche creando un'animazione (blink). Premere il pulsante "assoc"



e selezionare ngc6946.fit nella prima riga (1) e l'immagine POSS II nella seconda (2).



e osservare l'animazione. Nell'angolo in alto a destra della finestra ci sono i comandi (play, pausa, immagine precedente, immagine successiva, ecc.). Se necessario modificare la distribuzione delle intensità delle due immagini tramite il pulsante "pixel": posizionarsi sull'apparente supernova e leggere l'intensità nel campo "pixel" (in alto a destra nella finestra di Aladin).

Aprire la finestra di distribuzione delle intensità per l'immagine ngc6946.fit e inserire come valore massimo dell'istogramma un valore leggermente maggiore di quello del campo "pixel", per esempio "2500". Infine tagliare il valore minimo dell'istogramma spostando l'indicatore di sinistra del grafico, fino a eliminare la maggior parte del rumore di fondo. Selezionare "Pow2".



Taglia di nuovo

7 Calcolare le coordinate e la distanza dal nucleo

Siamo sufficientemente sicuri che la nuova stella sia veramente una supernova. Per informare la comunità astronomica internazionale, che farà le dovute verifiche prima di comunicare la scoperta, dobbiamo ricavare con precisione la posizione della supernova (le sue coordinate equatoriali) e la sua distanza dal nucleo della galassia.

In Aladin il calcolo della posizione è molto semplice: portare il cursore sulla stella e cliccare su di essa. Nel campo "comando" abbiamo le coordinate della supernova: 20:34:45.45, +60:05:56.5.

La distanza dal nucleo di ngc6946 può essere calcolata direttamente dalle coordinate oppure tracciando un vettore di distanza. Premere il pulsante "dist" nella finestra di Aladin



e tracciare con il mouse un vettore tra la supernova e il nucleo della galassia ospite.

Nella parte inferiore della finestra (fig 6) abbiamo le seguenti informazioni:

Dist = 3.33' (RA=53.778". Dec=3.2')
PA = 195.7 deg,

cioè la distanza tra i due oggetti (3.33') e la proiezione lungo le componenti in RA e Dec (53.778", 3.2').

8 Altre supernovae nella stessa galassia

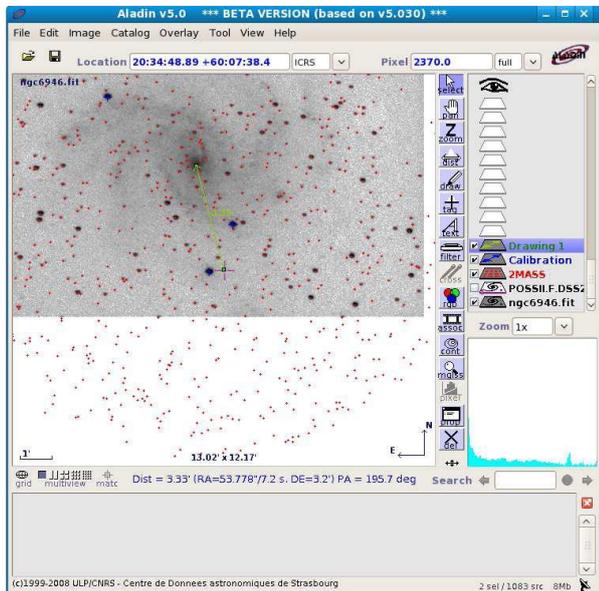


Fig. 6: Il vettore di distanza tra la supernova e la galassia.

Aladin ha molte funzioni che possono tornare utili per un'analisi più approfondita. Per esempio ipotizziamo di voler visualizzare tutte le altre supernovae esplose nella galassia ngc6946: per fare questo dobbiamo applicare un filtro al database SIMBAD. Nella finestra di selezione del server selezionare il database SIMBAD, nel campo "Visualizza filtro" selezionare "nessun filtro" (fig. 7)

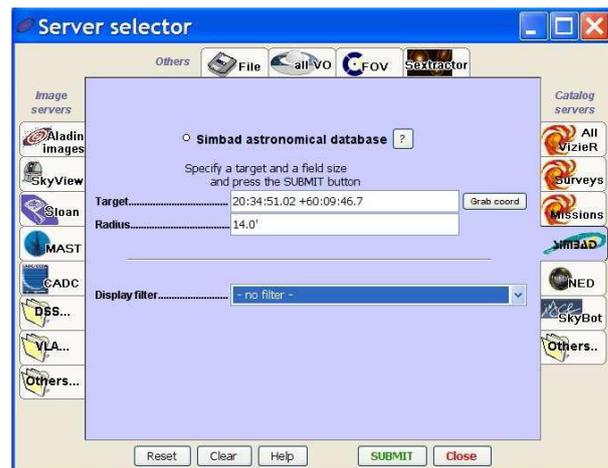


Fig. 7: Il database SIMBAD nella finestra di selezione del server.

In Aladin selezionare il nuovo piano SIMBAD appena caricato e cliccare il pulsante "filtro".



Passare alla modalità avanzata, nel campo "propria definizione del filtro" scrivere la seguente stringa:

```
[$[src.class]="SN" {draw red square}
```



Tutte le 9 supernovae esplose in questa galassia sono visualizzate nel piano del filtro con quadrati rossi.(fig. 8).

Se selezioniamo una supernova le sue informazioni appaiono nella finestra dei dati. Se clicchiamo sul nome si apre una finestra nel browser web con la pagina SIMBAD della supernova con informazioni, referenze, ecc.

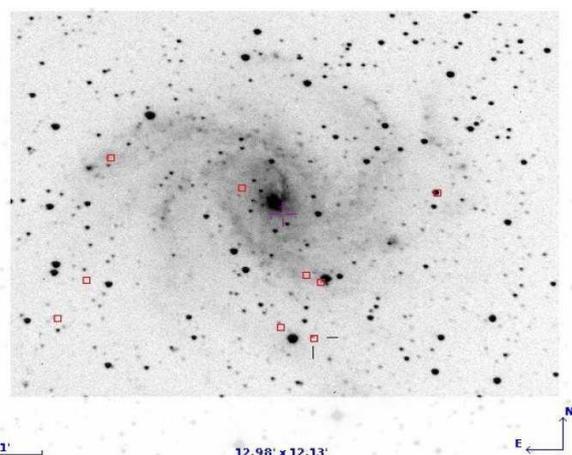


Fig. 8: Tutte le supernovae (quadrati rossi) esplose nella galassia ngc6946.

9 Salvare il lavoro

In Aladin ci sono molte possibilità per salvare il lavoro, possiamo salvare o stampare la visualizzazione corrente, esportare ciascun piano, salvare l'immagine originale con la calibrazione astrometrica, ecc. L'opzione più utile è il *backup della catasta*, che ci permette di continuare il lavoro off-line o in un secondo momento, senza dover ripetere i passaggi. Andare sul menu

File -> Backup della catasta

e scegliere un nome per il file di Aladin. L'estensione del file è .aj, un formato proprietario di Aladin.

Nel file .aj sono salvati tutti i piani con tutti i loro oggetti (immagini, cataloghi, calibrazioni, etc). Per caricare il file .aj in una nuova successiva sessione di Aladin andare sul menu

File --> Carica file locale

e selezionarlo.

La parola all'esperto

Le Supernovae (SNe) sono gli eventi esplosivi che caratterizzano la morte di alcuni tipi di stelle, in particolare, le stelle singole di "grande massa" o le stelle di "piccola massa" in sistemi binari (sistemi formati da due stelle legate dalla reciproca attrazione gravitazionale che orbitano attorno a un centro di massa comune). Il nome "supernova" deriva dal nome latino "nova" usato per designare l'apparizione di una stella sulla sfera celeste laddove prima non era visibile nulla, e il prefisso "super" ad indicare una luminosità maggiore rispetto al classico fenomeno di nova, che deriva da un diverso meccanismo fisico. Durante l'evento di supernova viene liberata una enorme quantità di energia che produce un enorme aumento della luminosità della stella che arriva a competere in brillantezza con l'intera galassia ospite costituita da decine di miliardi di stelle.

Due sono i meccanismi fisici che possono portare all'esplosione distruttiva delle stelle: l'esplosione termonucleare di una nana bianca, una stella evoluta di piccola massa, e il collasso gravitazionale del nucleo delle stelle di grande massa. Per stella di "piccola" massa si intende una stella che, al momento della sua formazione, ha una massa inferiore alle 7-8 masse solari, tale da concludere la propria evoluzione come nana bianca. Se la nana bianca si trova in un sistema binario, può innescarsi sotto opportune condizioni fisiche una drammatica esplosione che va sotto il nome di supernova di tipo Ia. Per stella di "grande" massa si intende una stella avente, al momento della sua formazione, una massa maggiore alle circa 7-8 masse solari tale da permettere l'intera sequenza di bruciamenti nucleari fino alla sintesi del ferro. Una volta sintetizzato il ferro, il nucleo della stella collassa e la stella esplose lasciando al centro solo un

cosiddetto “residuo compatto”, ossia una stella di neutroni o un buco nero. Tale evento viene classificato come supernova di tipo II, Ib o Ic a seconda della struttura del progenitore al momento dell'esplosione.

Lo studio delle supernovae rappresenta una branca fondamentale dell'astrofisica moderna e svolge un ruolo chiave in molti campi della fisica, che spaziano dalla cosmologia fino alla fisica nucleare. In cosmologia, per esempio, le supernovae sono oggetti fondamentali per determinare la geometria dell'Universo grazie alle caratteristiche di “candele

standard” della sottoclasse delle supernovae di tipo Ia. Sono proprio queste supernovae a offrire la prova più convincente dell'esistenza dell'“energia oscura”. Le supernovae danno inoltre informazioni fondamentali sulla natura della stella progenitrice e sul suo ultimo periodo di “vita”, nonché sull'ammontare dei diversi elementi chimici prodotti e sulle possibili interazioni col mezzo circumstellare.

Massimo Turatto
INAF - OA Padova



Si ringraziano Alessia Canelli, Karin Cescon, Dimitri Francolla e Asia Micheli, del liceo scientifico G. Galilei di Trieste, per la revisione di questo modulo didattico avvenuta nell'ambito del progetto europeo Asterics (H2020).

Il nostro progetto dipende dal vostro gradimento. Se avete trovato utile il materiale che abbiamo sviluppato vi preghiamo di riconoscerlo nei vostri lavori, scriverci una mail (iafrate@oats.inaf.it) o mettere un mi piace sulla nostra pagina Facebook (www.facebook.com/VOedu). Grazie!