

# Studio di sorgenti X all'interno della Piccola Nube di Magellano con il satellite per astronomia X *XMM-Newton*

Nicoletta Krachmalnicoff

Astrosiesta 6 Aprile 2010



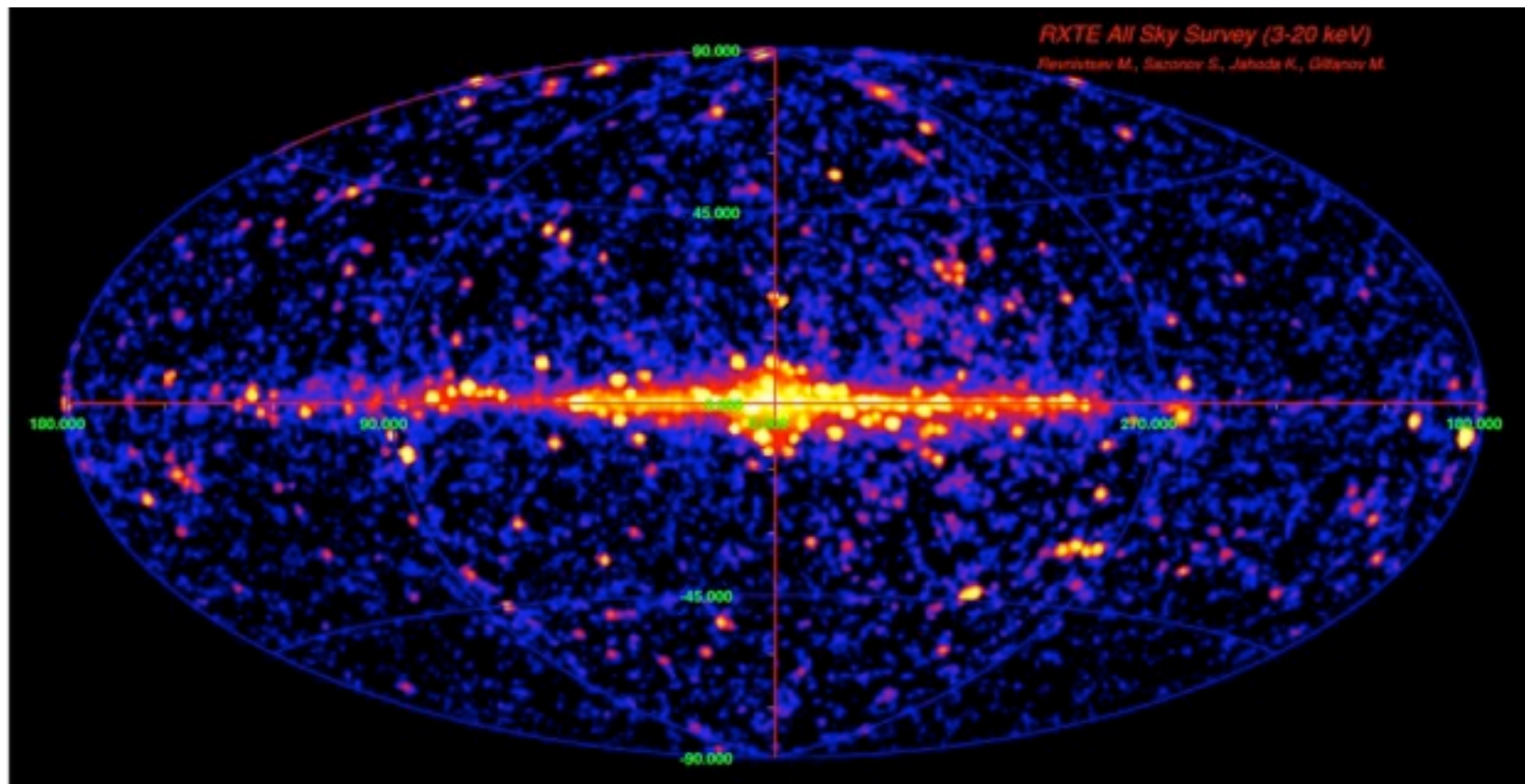
Relatore interno: Prof. P. Pizzochero  
Relatore esterno: Dott. S. Mereghetti

# Sommario

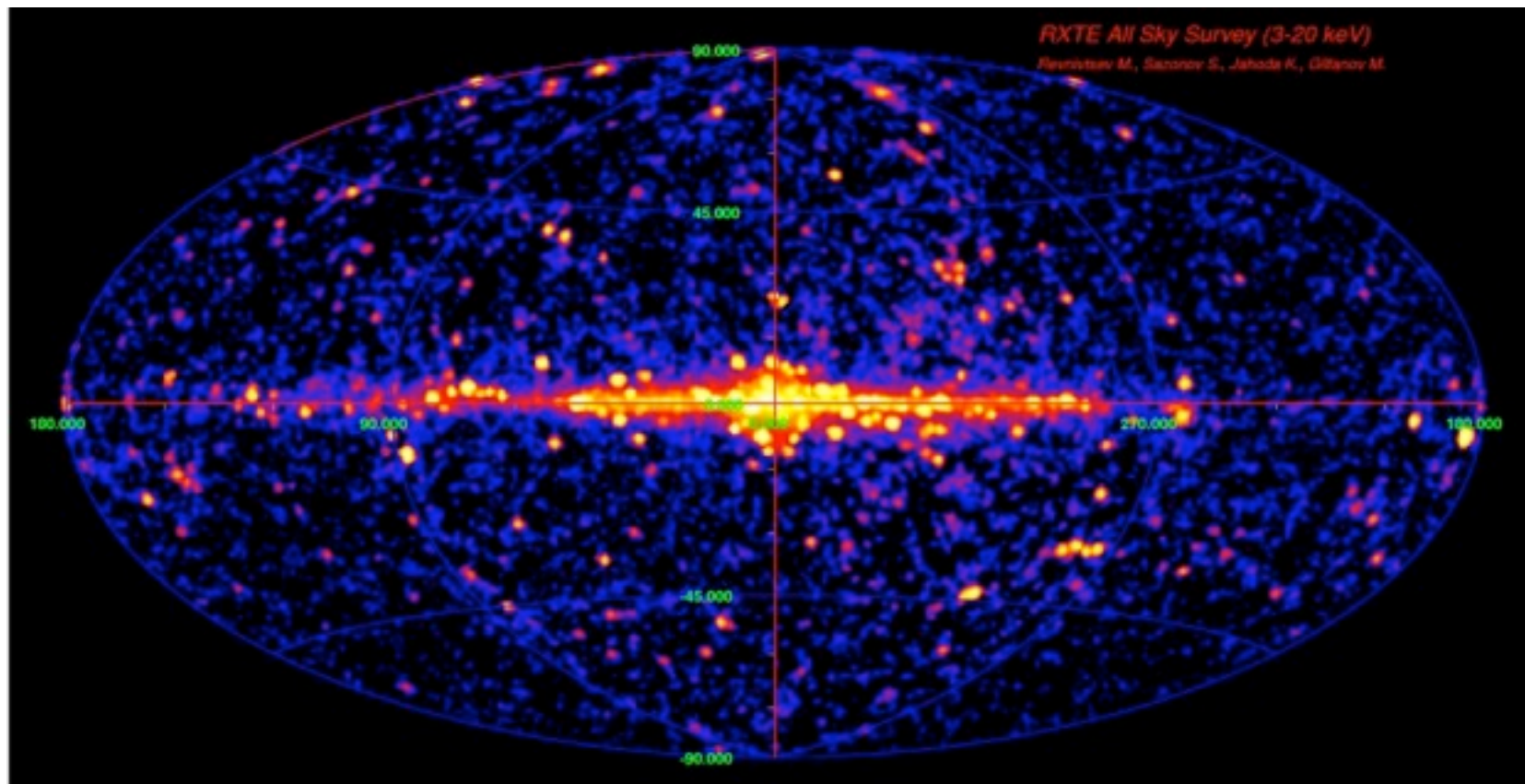
- 1 Introduzione
- 2 Mappatura della SMC con XMM-Newton
- 3 Identificazione sorgenti
- 4 La nebulosa planetaria SMP22
- 5 Conclusioni



# Astronomia X



# Astronomia X

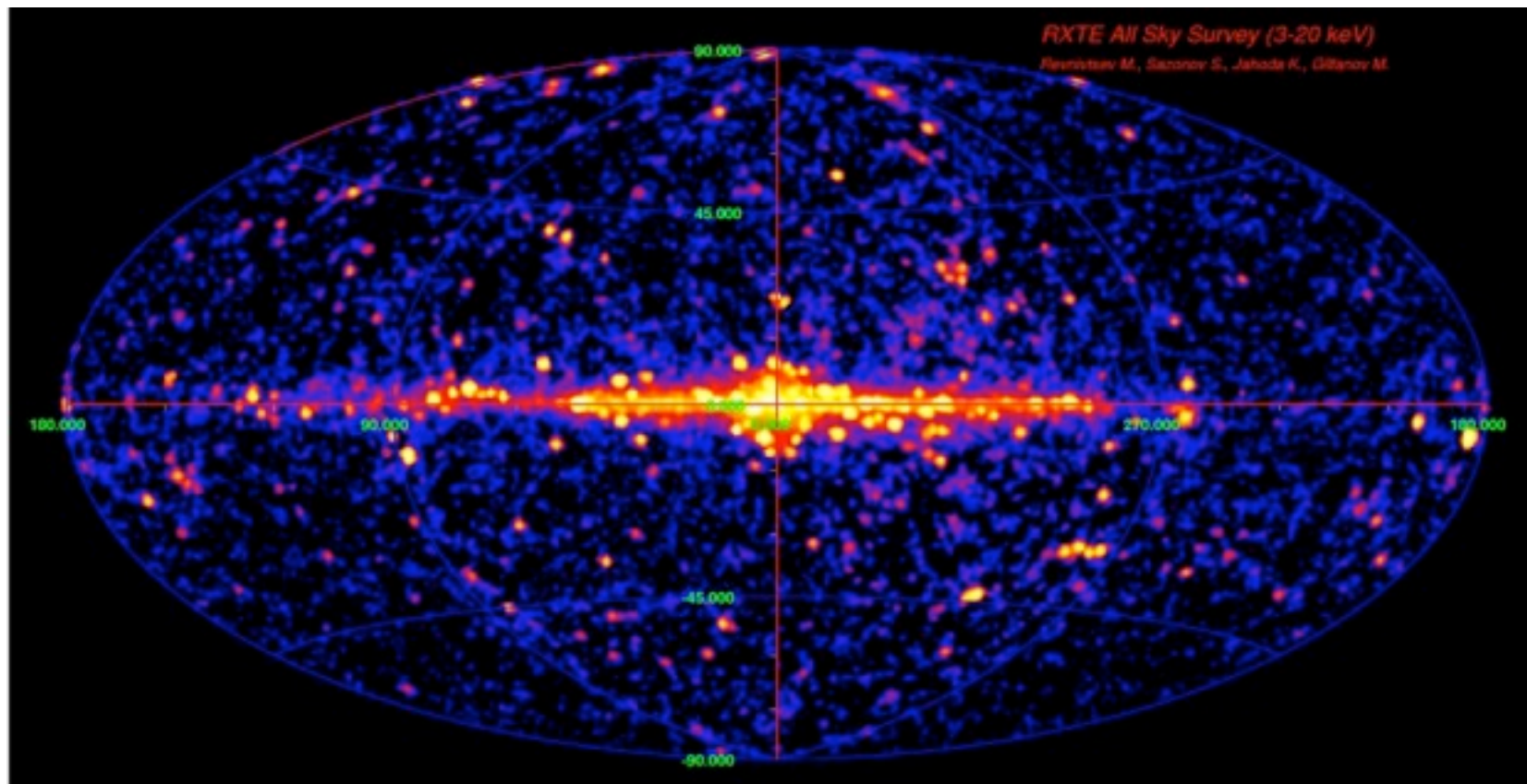


## ● sorgenti galattiche:

- binarie X
- resti di supernova
- stelle



# Astronomia X



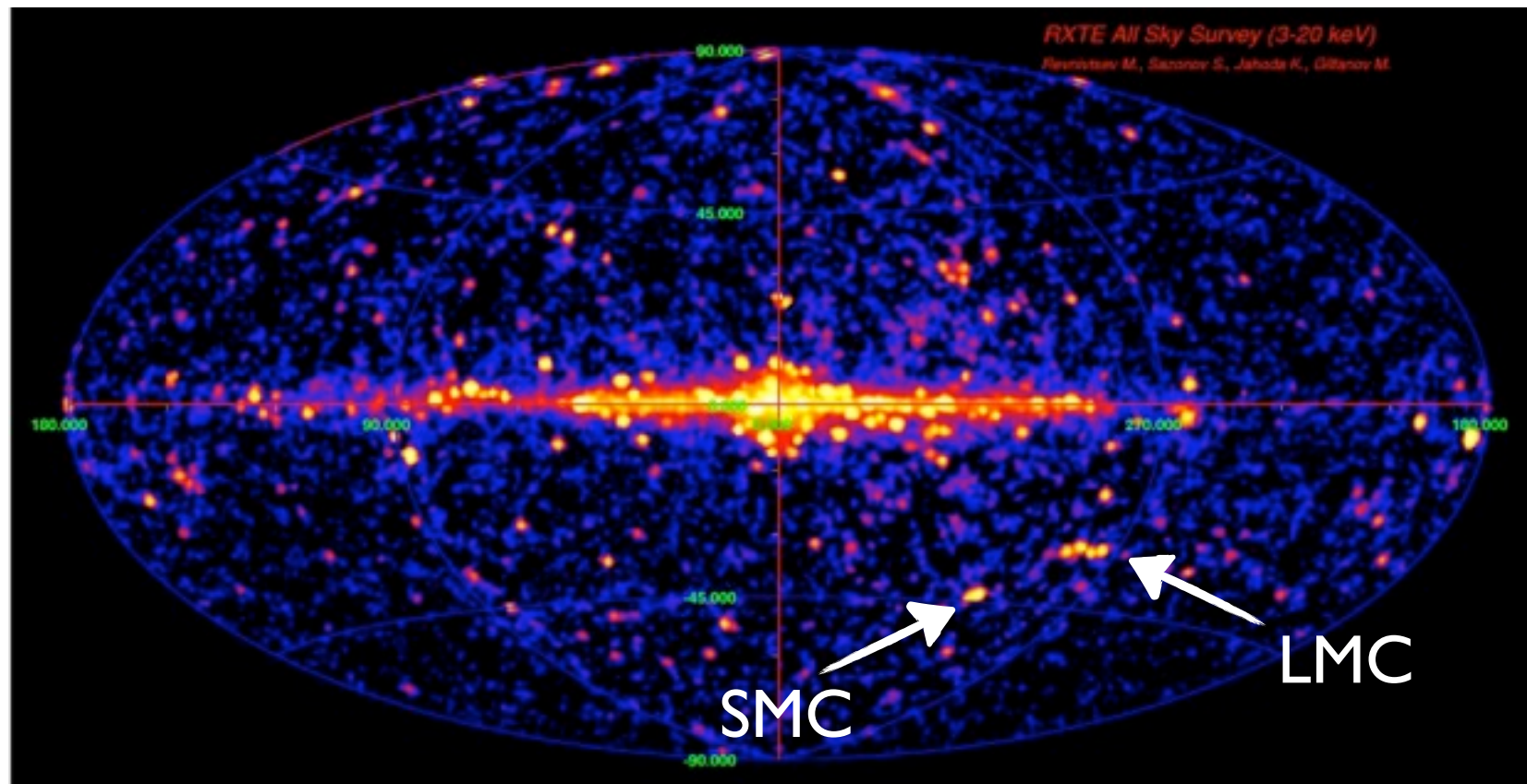
## ● sorgenti galattiche:

binarie X  
resti di supernova  
stelle

## ● sorgenti extra-galattiche:

nuclei galattici attivi (AGN)  
ammassi di galassie

## Astronomia X



- sorgenti galattiche:

binarie X  
resti di supernova  
stelle

- sorgenti extra-galattiche:

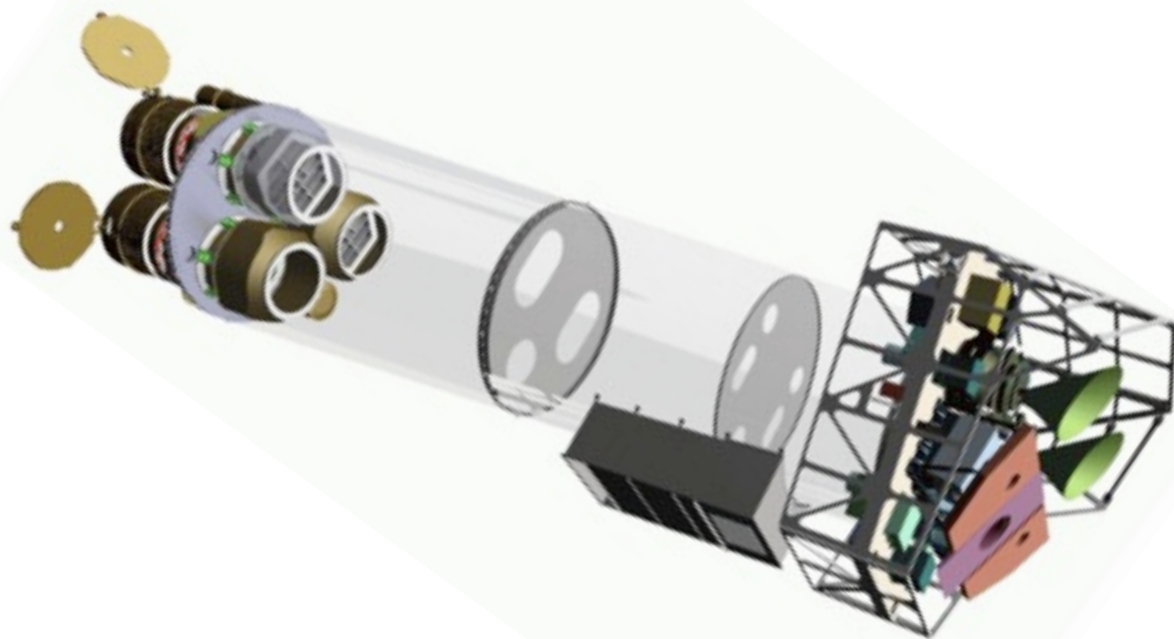
nuclei galattici attivi (AGN)  
ammassi di galassie

# Il satellite XMM-Newton

- lanciato nel Dicembre 1999 (ESA)
- 3 telescopi X a incidenza radente + telescopio ottico



- FOV  $\sim 30'$
- grande capacità di raccolta fotoni X

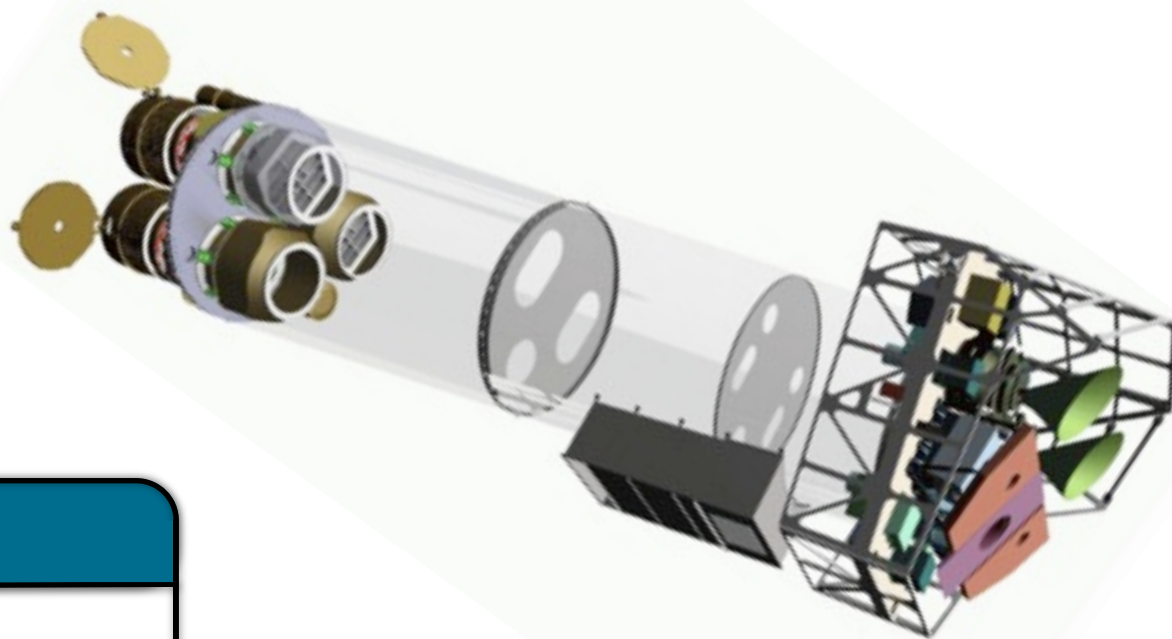




# Il satellite XMM-Newton

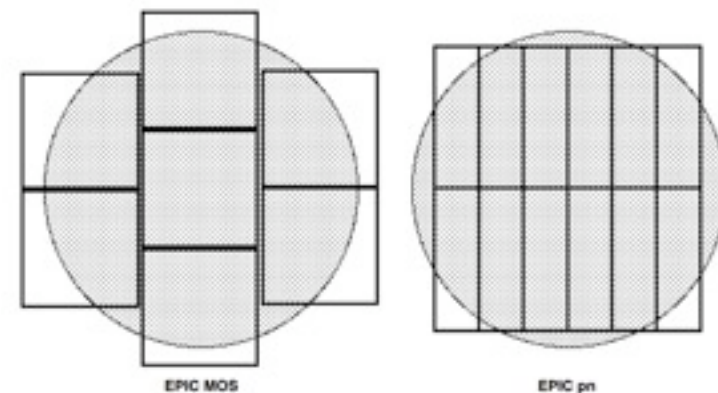
- lanciato nel Dicembre 1999 (ESA)
- 3 telescopi X a incidenza radente + telescopio ottico

- ↓
- FOV  $\sim 30'$
  - grande capacità di raccolta fotoni X



## EPIC

3 camere a CCD per imaging (MOS e pn)  
 banda 0.1-12 keV  
 sensibilità  $\sim 10^{-14}$  erg cm $^{-2}$  s $^{-1}$   
 risoluzione spettrale  $\sim 70$  eV (1 keV)  
 risoluzione temporale max  $\sim 1.75$  ms





# Le Nubi di Magellano

## LMC



Distanza  $\sim 50$  kpc  
Dimensioni  $11^\circ \times 9^\circ$   
Massa  $\sim 5.3 \times 10^9 M_\odot$

## SMC



Distanza  $\sim 60$  kpc  
Dimensioni  $5^\circ \times 3^\circ$   
Massa  $\sim 2.0 \times 10^9 M_\odot$

# Le Nubi di Magellano

## LMC



Distanza  $\sim 50$  kpc

Dimensioni  $11^\circ \times 9^\circ$

Massa  $\sim 5.3 \times 10^9 M_\odot$

## SMC



Distanza  $\sim 60$  kpc

Dimensioni  $5^\circ \times 3^\circ$

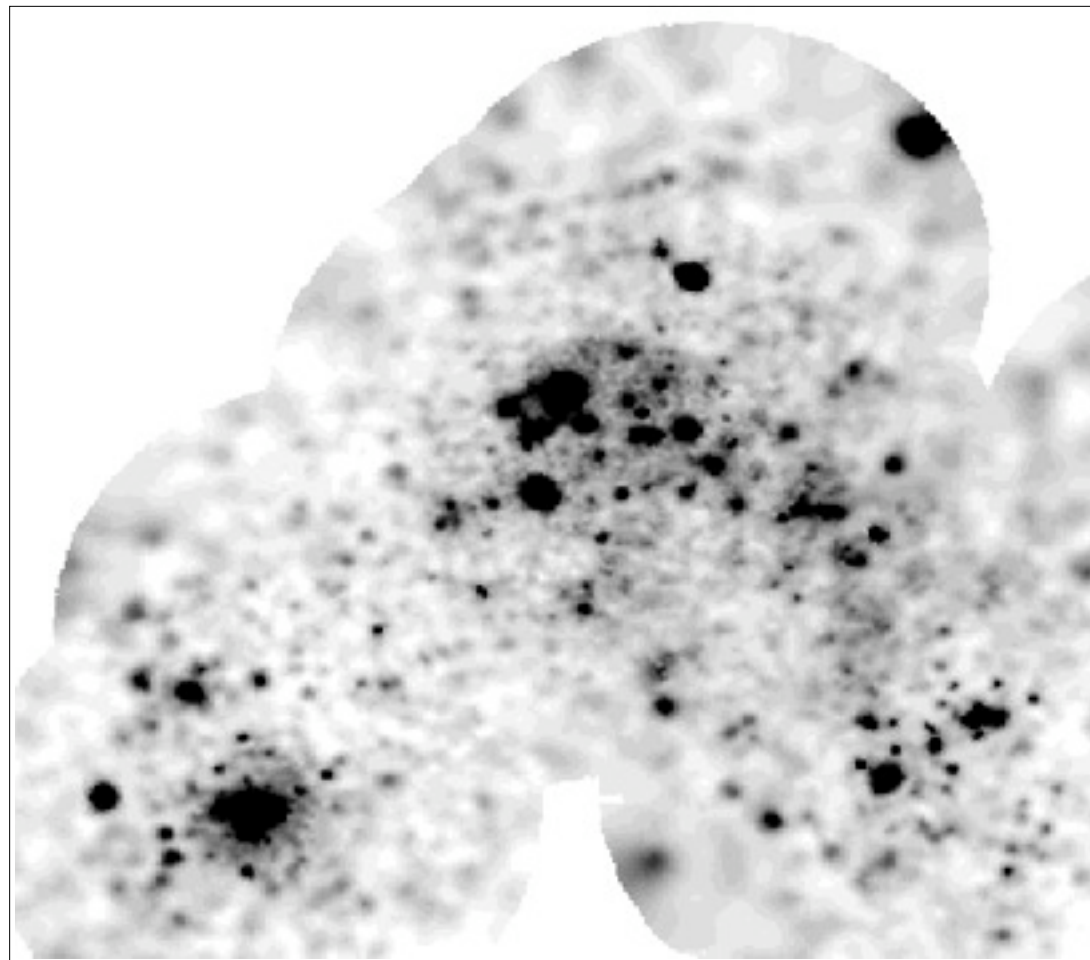
Massa  $\sim 2.0 \times 10^9 M_\odot$

- studio popolazione di sorgenti tutte alla medesima distanza
- alta latitudine galattica  $\rightarrow$  basso assorbimento
- gravitazionalmente interagenti  $\rightarrow$  eventi formazione stellare

## Osservazioni in banda X della SMC

- Survey completa con ROSAT (1991-1994)  
catalogo con 517 sorgenti

ROSAT PSPC 0.5-2 keV

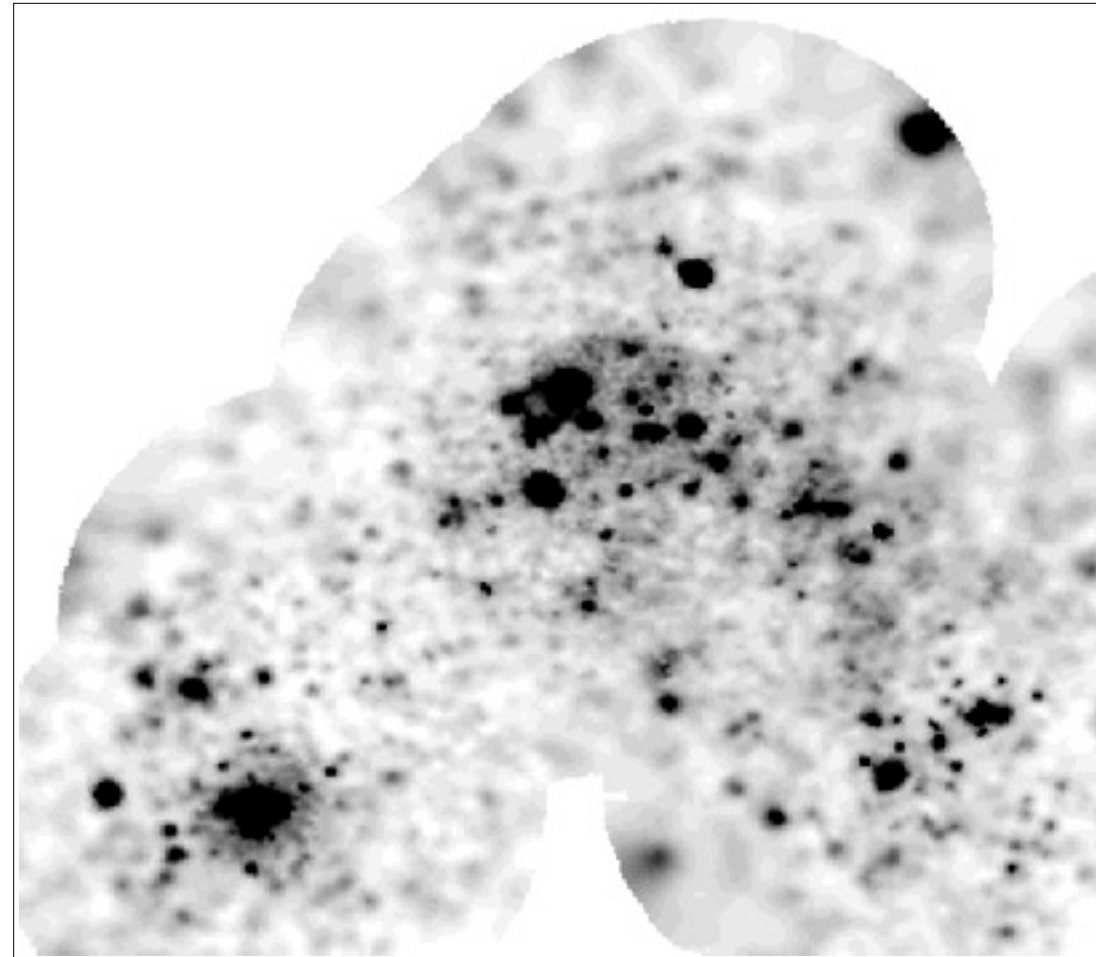




## Osservazioni in banda X della SMC

- Survey completa con ROSAT (1991-1994)  
catalogo con 517 sorgenti
- identificati numerosi sistemi binari X

ROSAT PSPC 0.5-2 keV



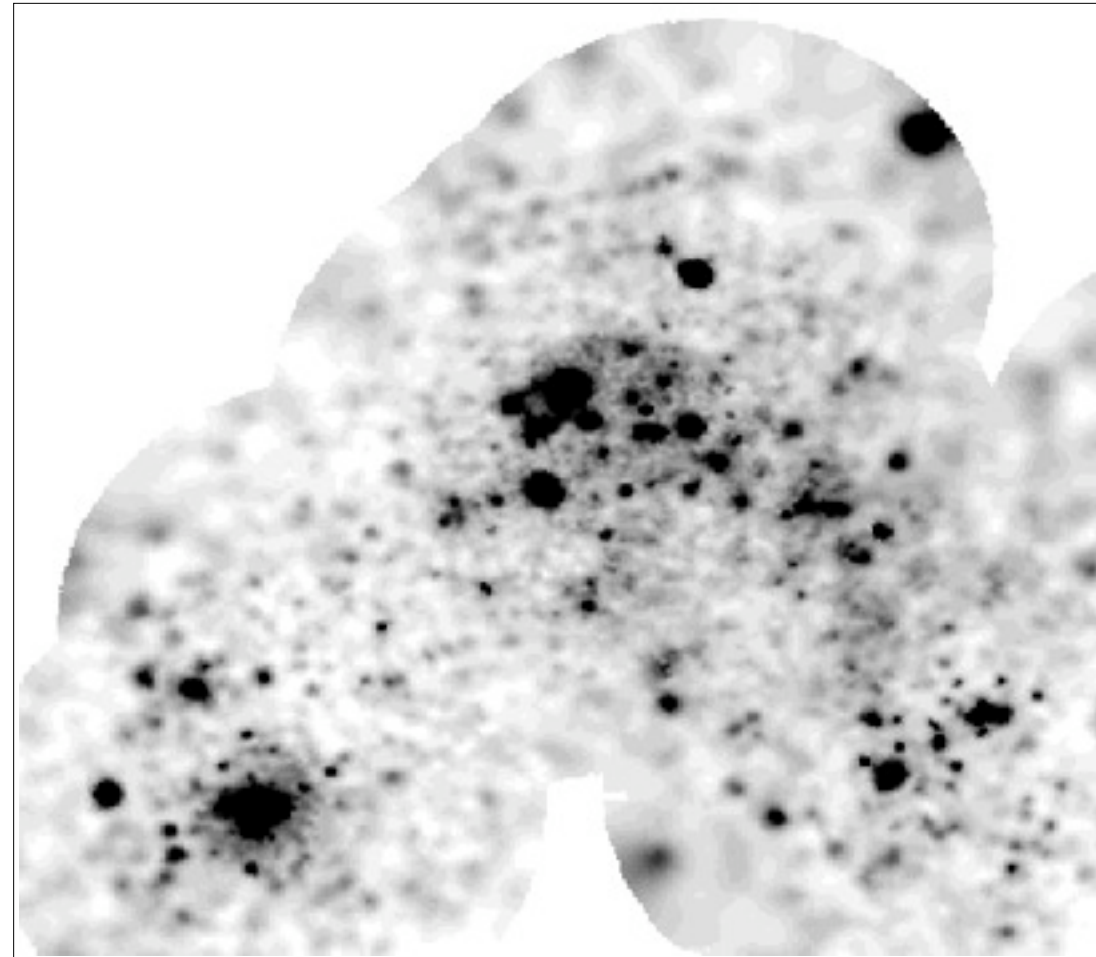


## Osservazioni in banda X della SMC

- Survey completa con ROSAT (1991-1994)  
catalogo con 517 sorgenti
- identificati numerosi sistemi binari X
- scoperta nuova classe di sorgenti super soft (SSS)



ROSAT PSPC 0.5-2 keV

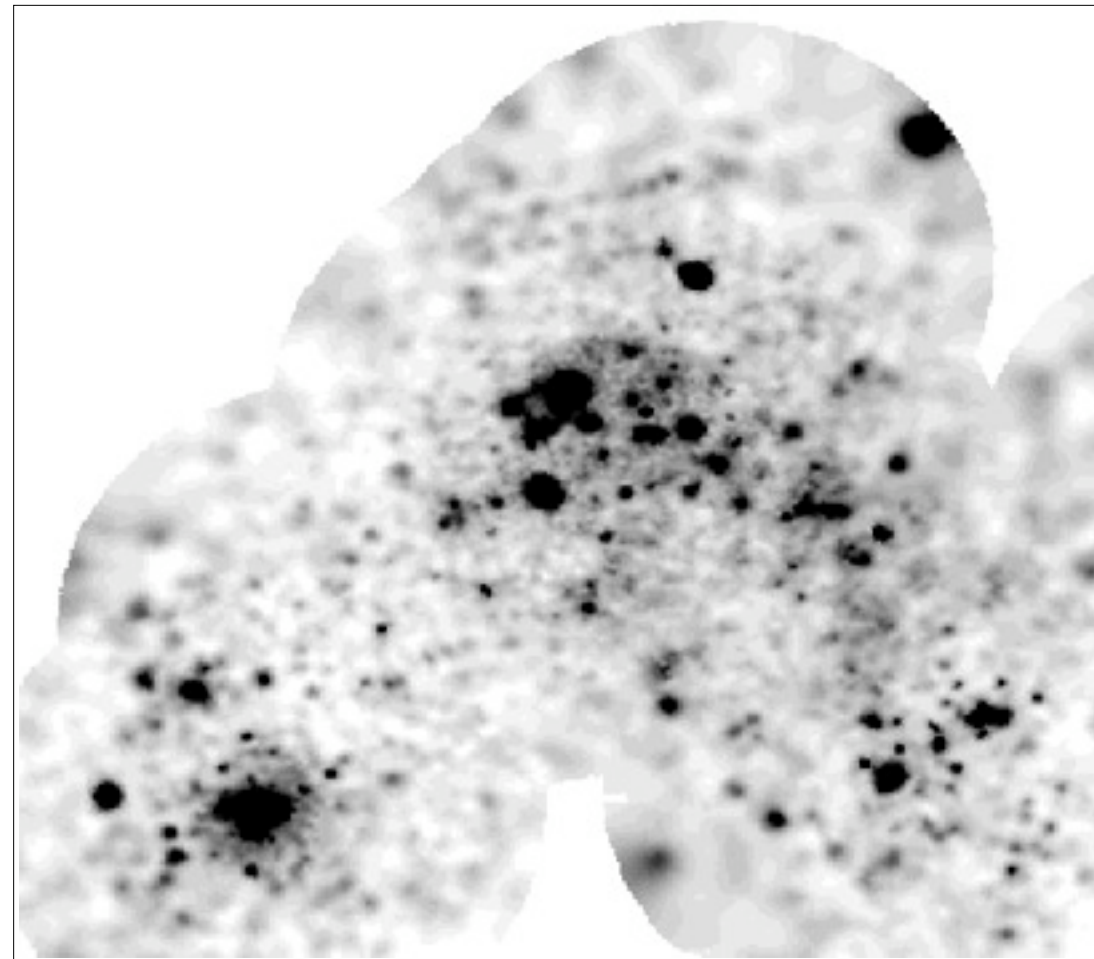


## Osservazioni in banda X della SMC

- Survey completa con ROSAT (1991-1994)  
catalogo con 517 sorgenti
- identificati numerosi sistemi binari X
- scoperta nuova classe di sorgenti super soft (SSS)

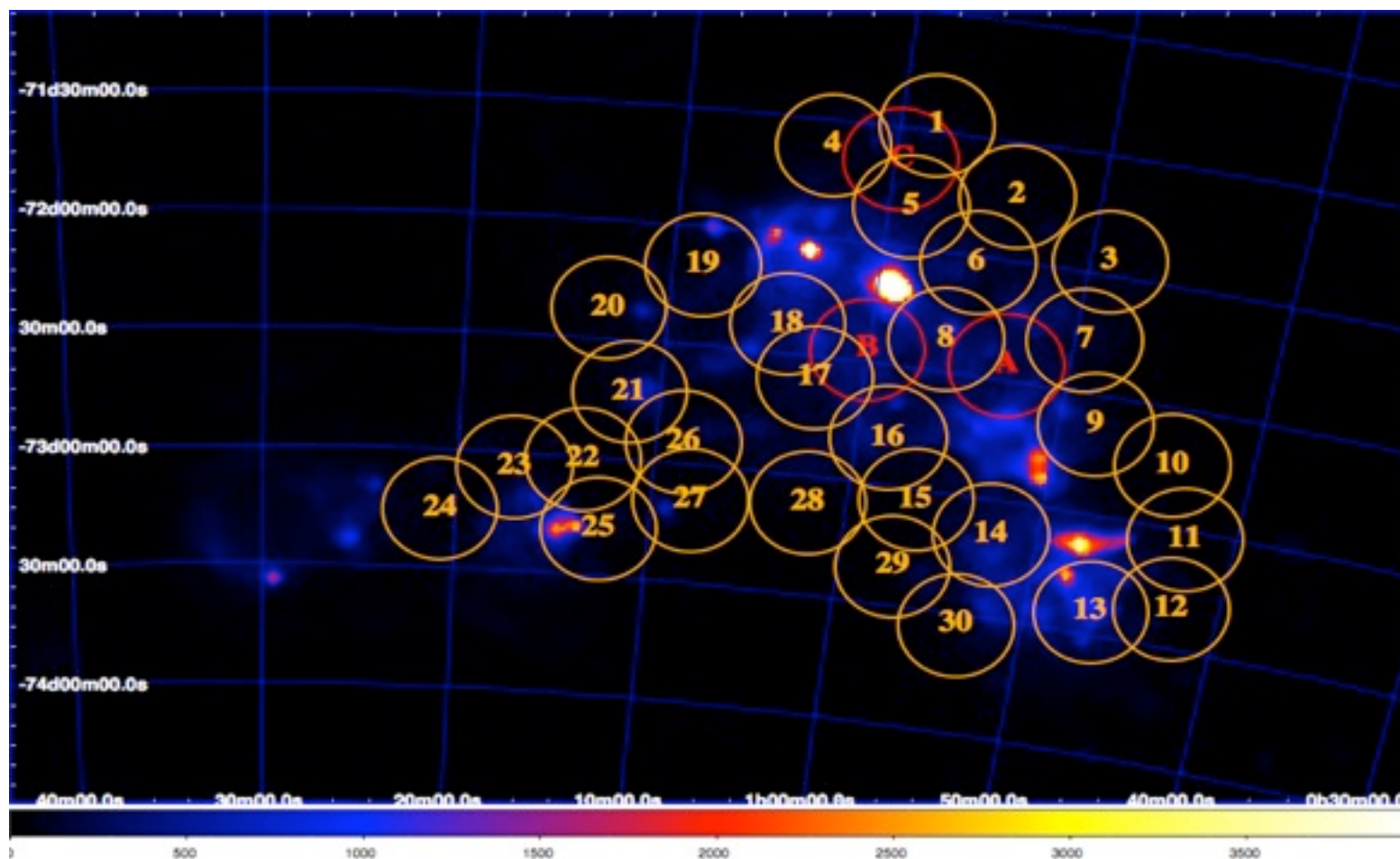


ROSAT PSPC 0.5-2 keV



- XMM-Newton puntamenti dedicati a singole sorgenti

# Survey con XMM-Newton



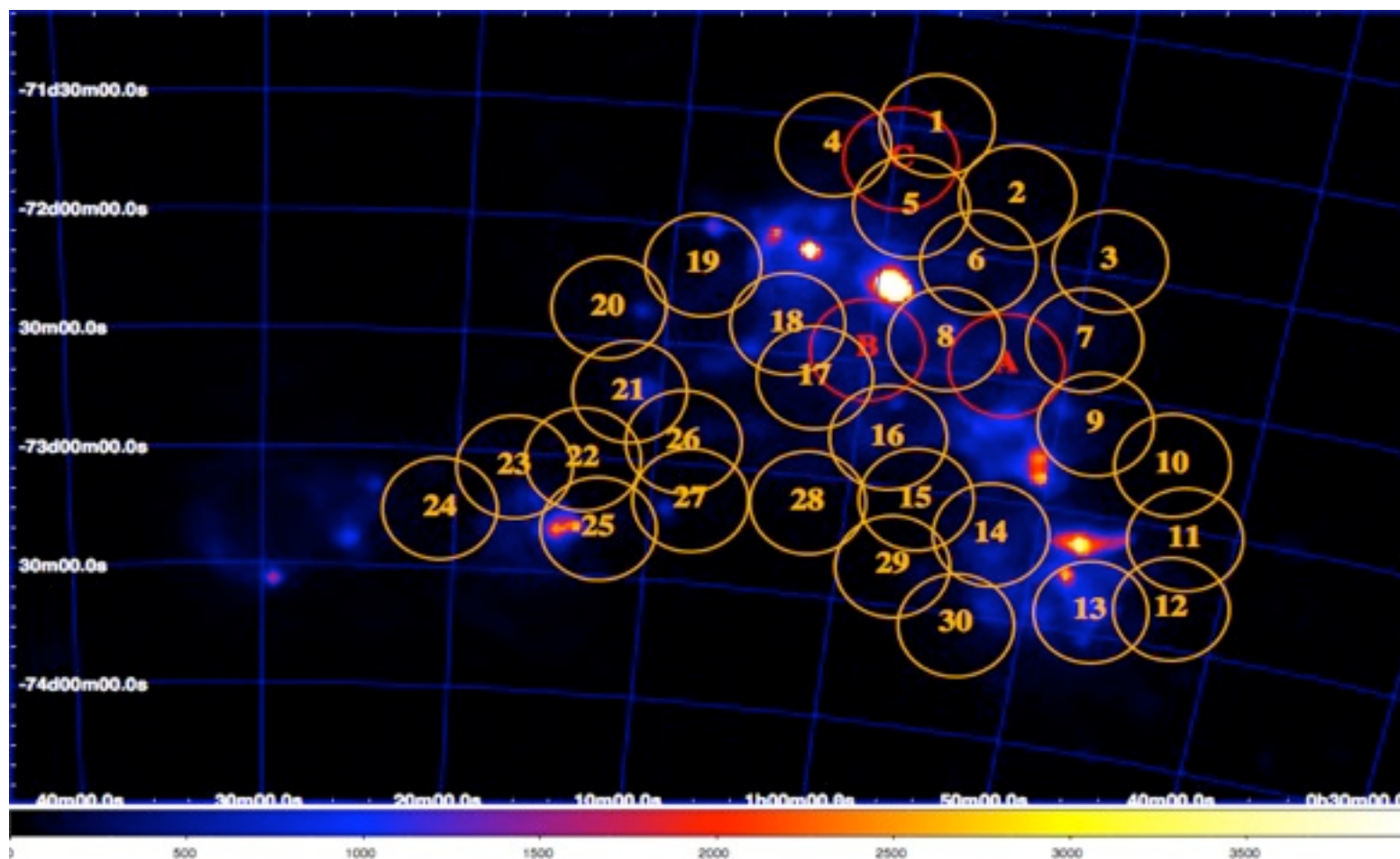
mappatura completa:

30 puntamenti  $\sim$  30 ks

Maggio-Dicembre 2009



# Survey con XMM-Newton



mappatura completa:

30 puntamenti  $\sim$  30 ks

Maggio-Dicembre 2009

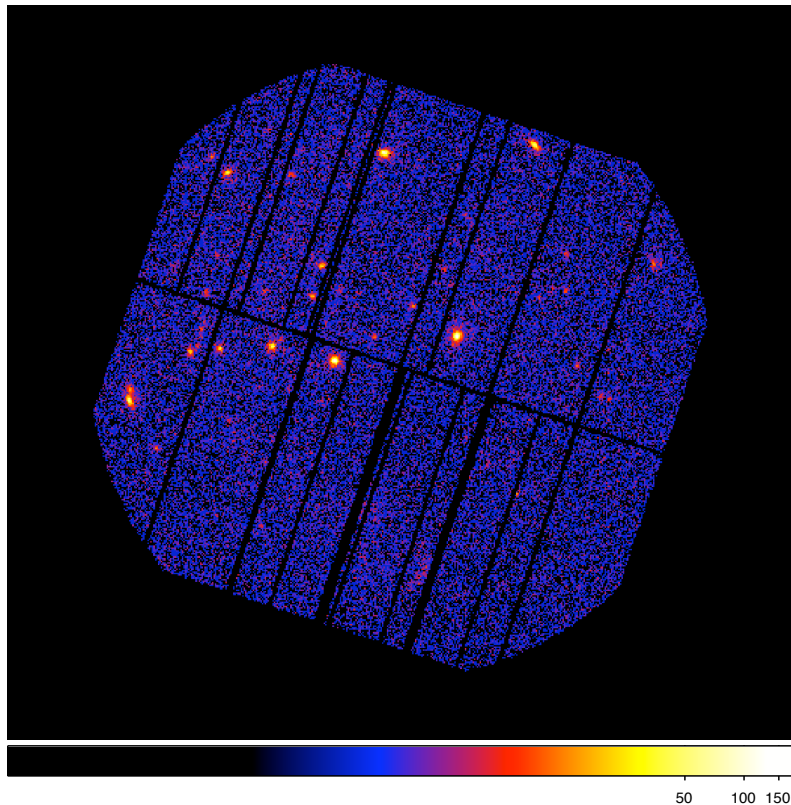
In questa tesi analizzati alcuni campi:

- catalogazione
- studio singole sorgenti interessanti



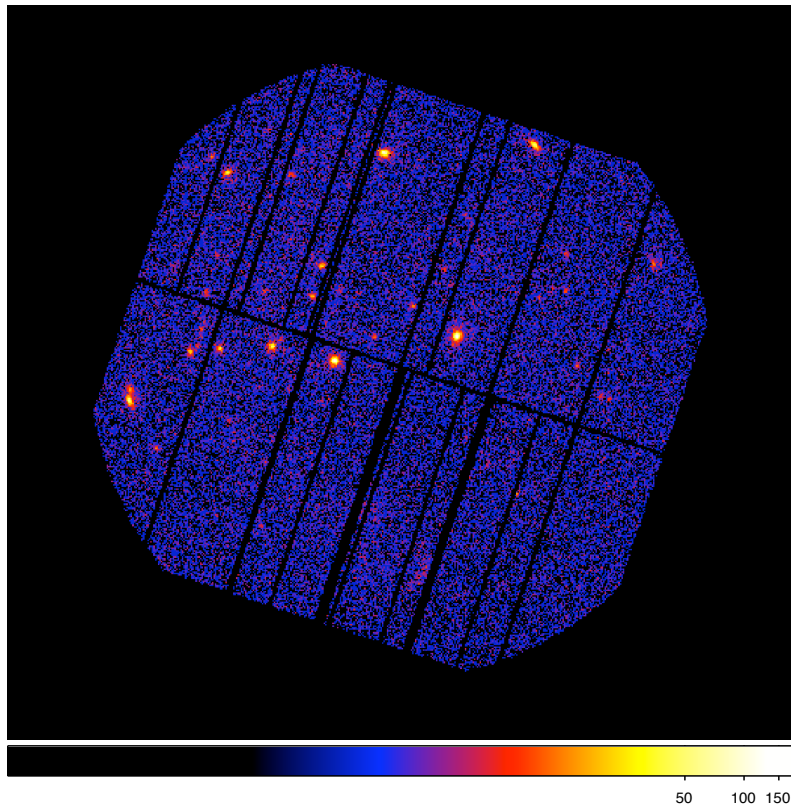
# Riduzione e ricerca sorgenti X

- riduzione dati permette di ottenere lista eventi rivelati
- necessario riconoscere quelli dovuti alla presenza di una sorgente



# Riduzione e ricerca sorgenti X

- riduzione dati permette di ottenere lista eventi rivelati
- necessario riconoscere quelli dovuti alla presenza di una sorgente



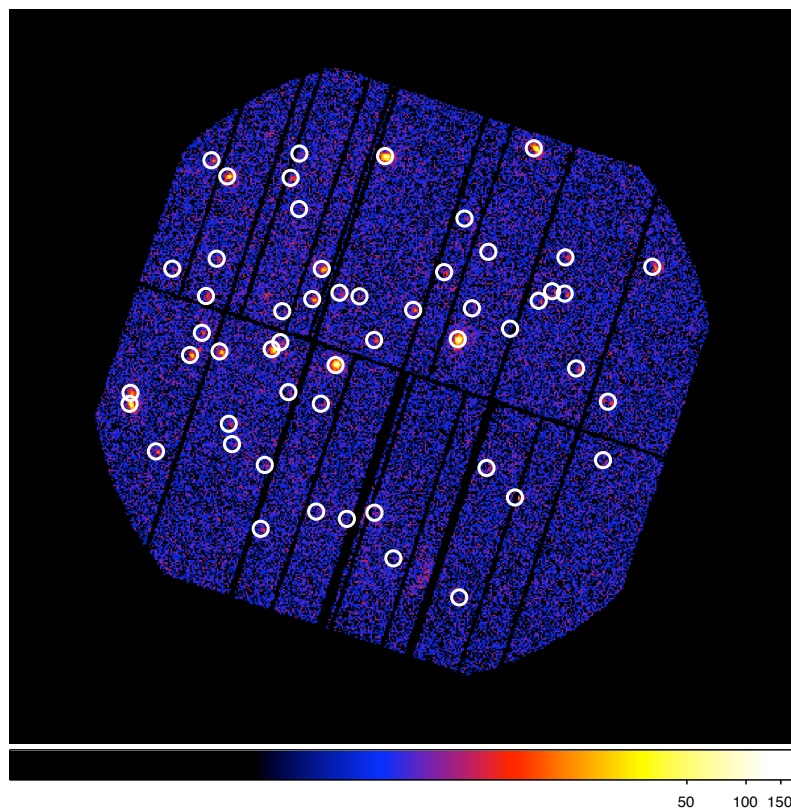
## Source detection

- modellizzazione fondo X e strumentale
- individua sorgenti con  $L = -\ln p \geq 10$
- 3 bande di energia:
 

Soft	0.2-2.0 keV
Media	2.0-4.5 keV
Hard	4.5-10 keV

# Riduzione e ricerca sorgenti X

- riduzione dati permette di ottenere lista eventi rivelati
- necessario riconoscere quelli dovuti alla presenza di una sorgente



## Source detection

- modellizzazione fondo X e strumentale
- individua sorgenti con  $L = -\ln p \geq 10$
- 3 bande di energia:
 

Soft	0.2-2.0 keV
Media	2.0-4.5 keV
Hard	4.5-10 keV

applicata a 5 osservazioni → 239 sorgenti

## Candidate controparti ottiche

- per ogni sorgente  $X$  ricercata candidata controparte ottica
- utilizzato catalogo specifico della SMC
- note le magnitudini apparenti  $m_U, m_B, m_V, m_I$



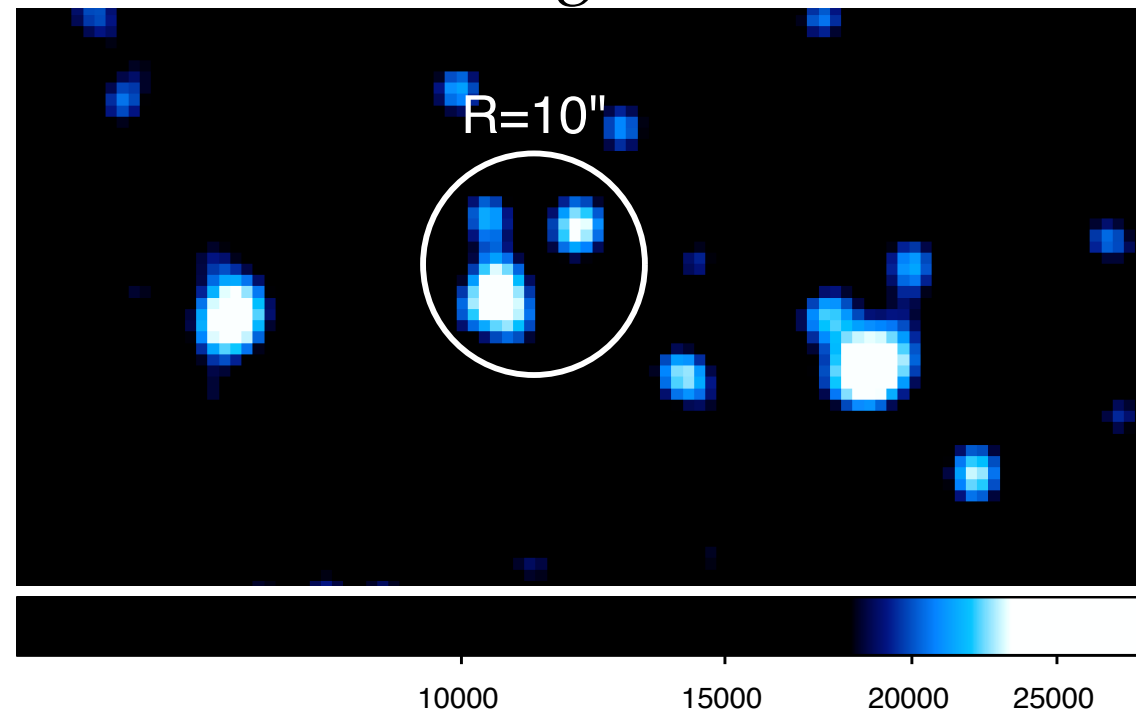
## Candidate controparti ottiche

- per ogni sorgente  $X$  ricercata candidata controparte ottica
- utilizzato catalogo specifico della SMC
- note le magnitudini apparenti  $m_U, m_B, m_V, m_I$
- posizione  $X$  nota con incertezza di qualche arcsec



- possibile coincidenza con più sorgenti ottiche
- scelta controparte più brillante in banda V

immagine ottica



## Candidate controparti ottiche

- per ogni sorgente  $X$  ricercata candidata controparte ottica
- utilizzato catalogo specifico della SMC
- note le magnitudini apparenti  $m_U, m_B, m_V, m_I$
- posizione  $X$  nota con incertezza di qualche arcsec

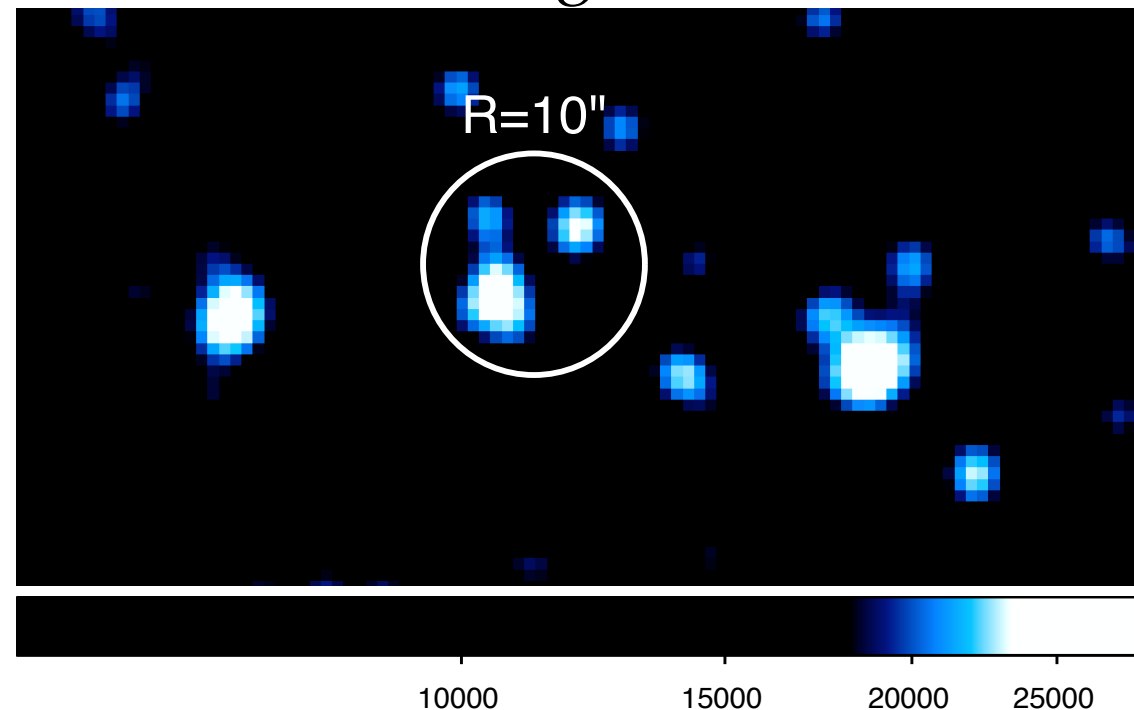


- possibile coincidenza con più sorgenti ottiche
- scelta controparte più brillante in banda V

### Identificazione

stelle di foreground  
binarie  $X$  nella SMC  
AGN di background

immagine ottica

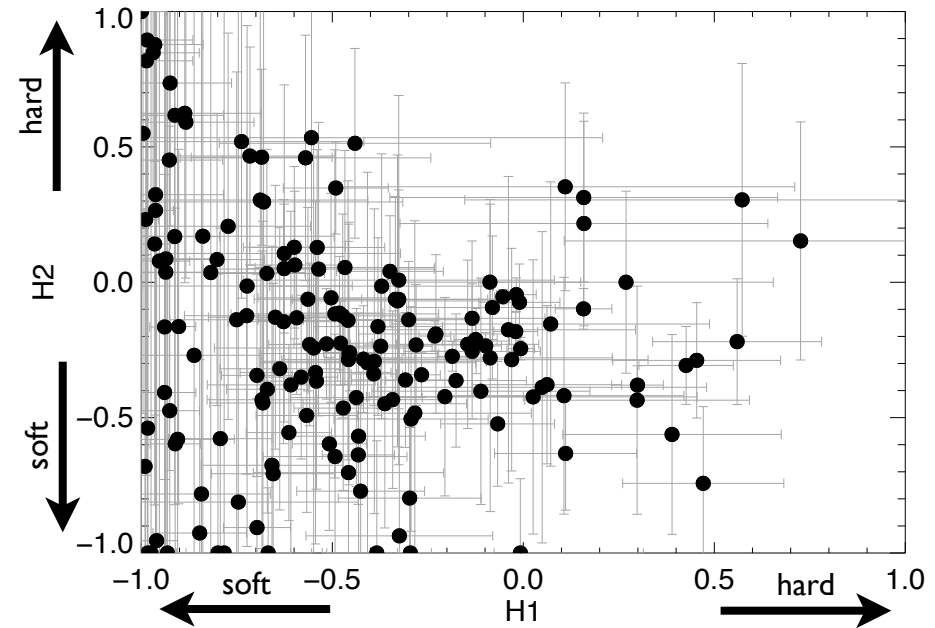


# Identificazione astrofisica

- caratteristiche X:

$$\text{HR1} = \frac{cr_M - cr_S}{cr_M + cr_S}$$

$$\text{HR2} = \frac{cr_H - cr_M}{cr_H + cr_M}$$

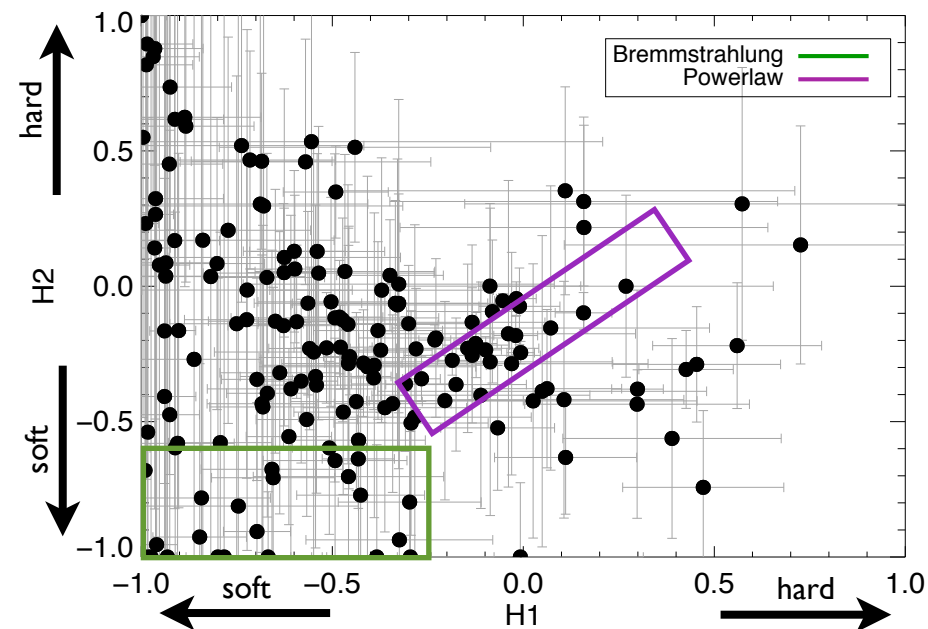


# Identificazione astrofisica

- caratteristiche X:

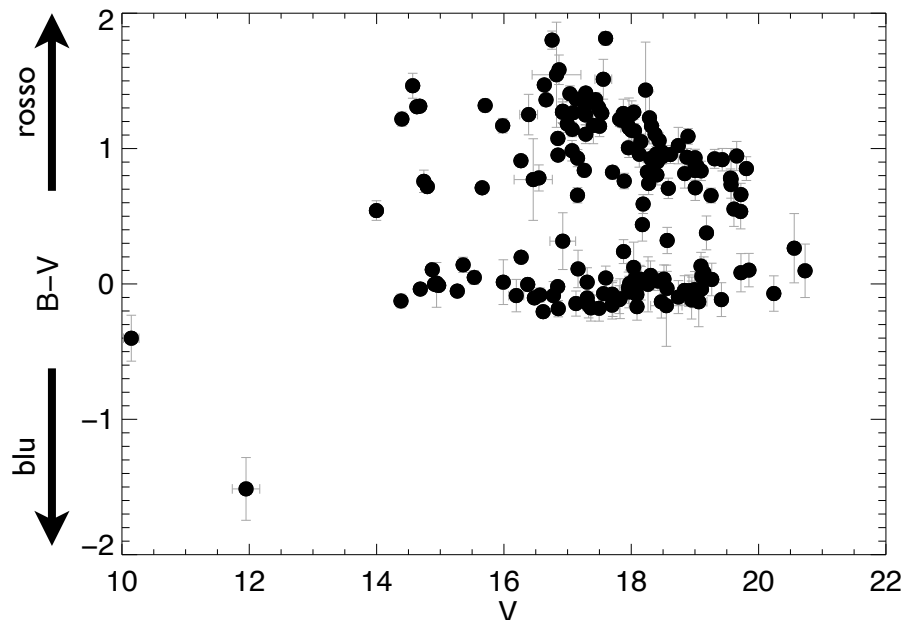
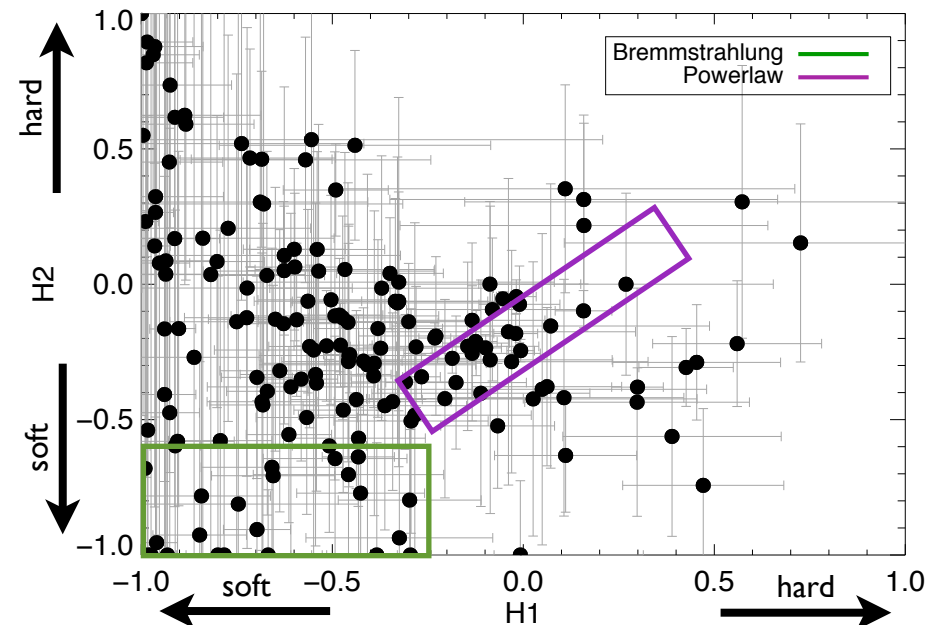
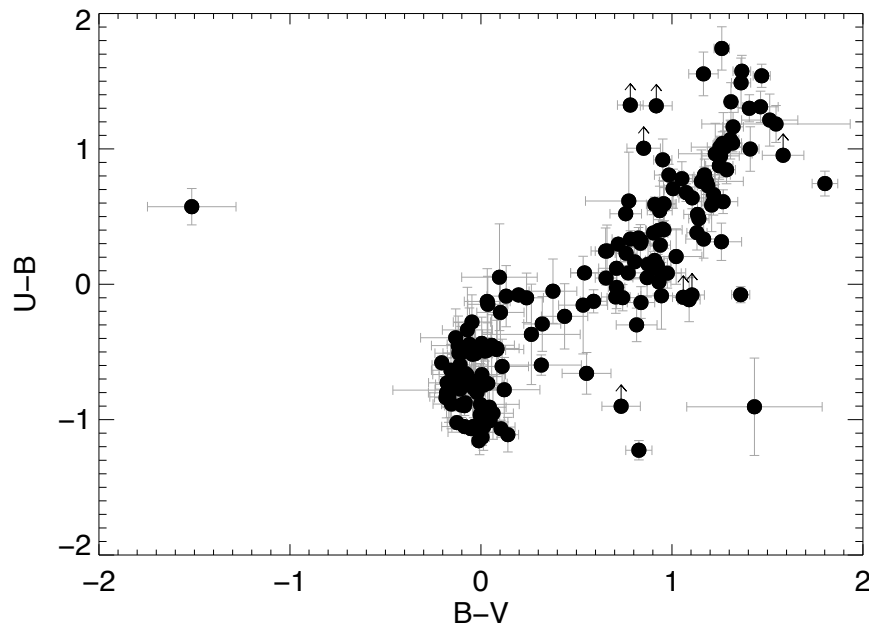
$$\text{HR1} = \frac{cr_M - cr_S}{cr_M + cr_S}$$

$$\text{HR2} = \frac{cr_H - cr_M}{cr_H + cr_M}$$



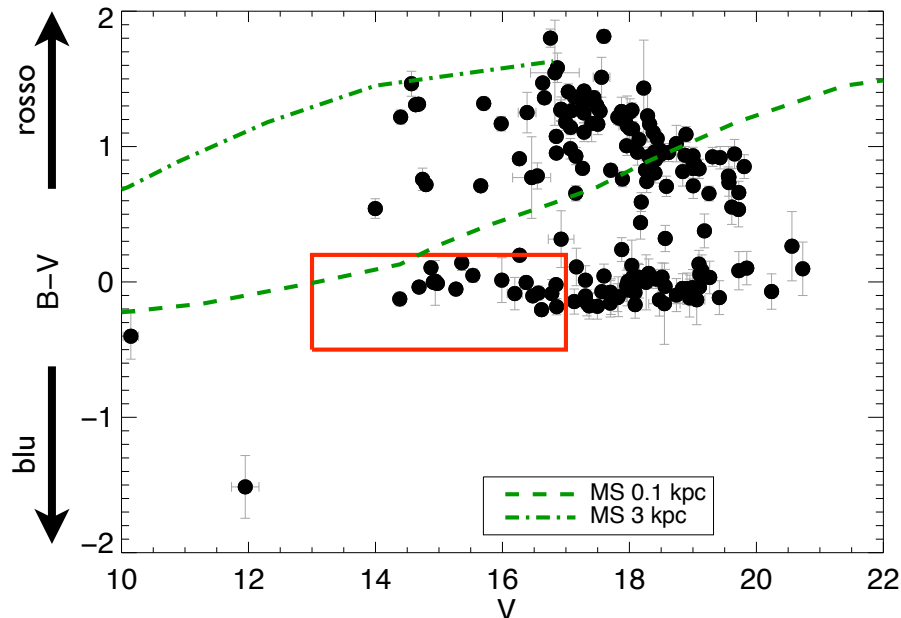
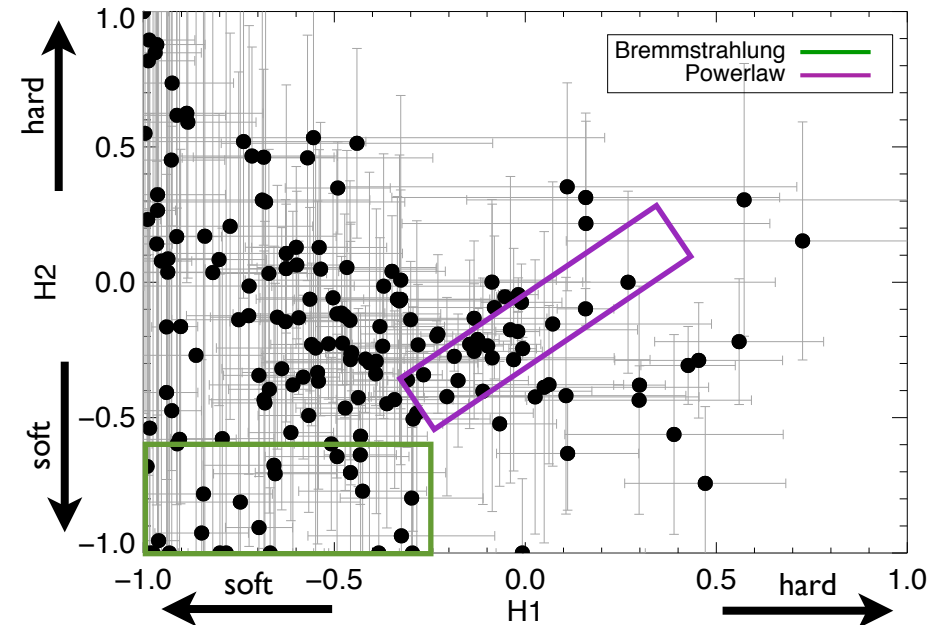
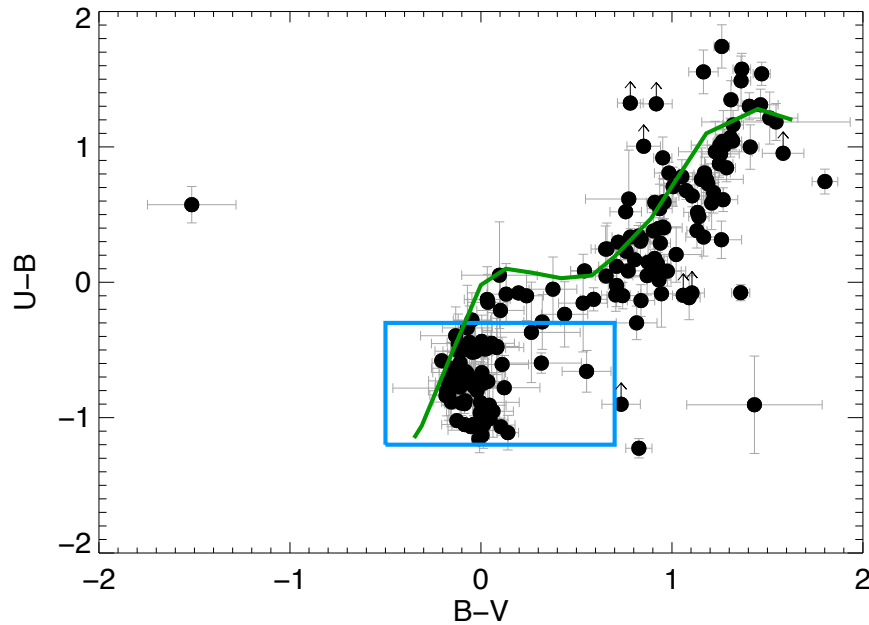


## Identificazione astrofisica



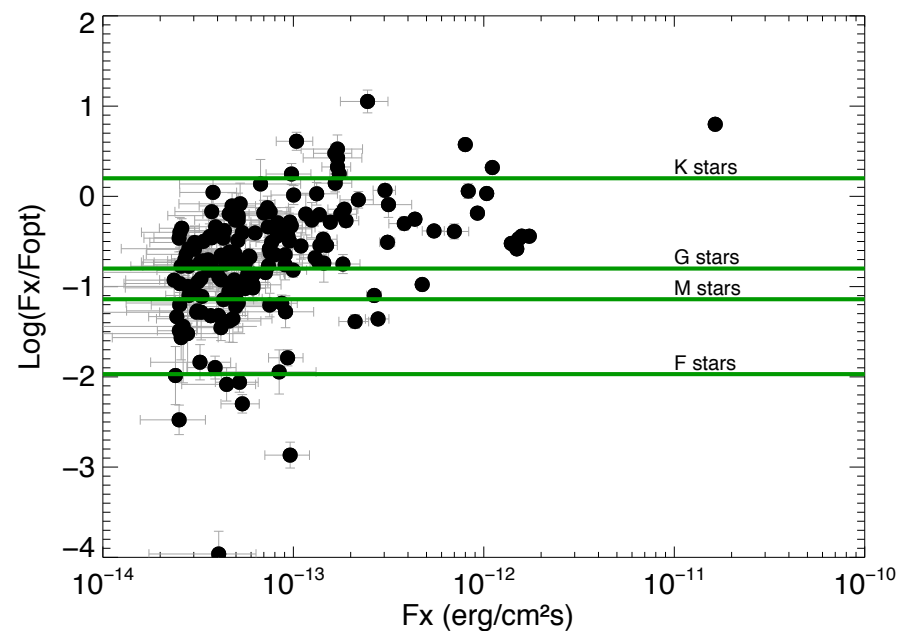
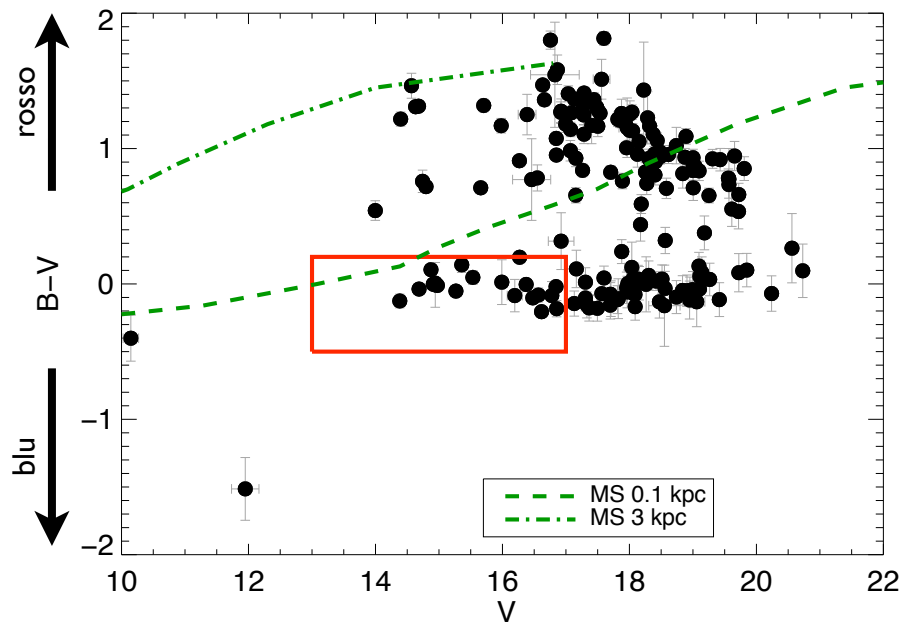
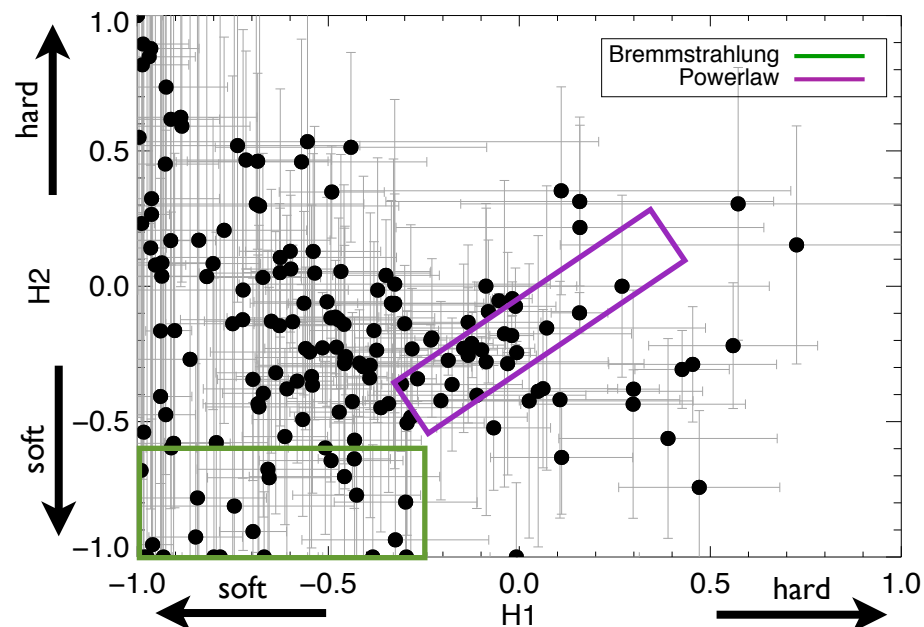
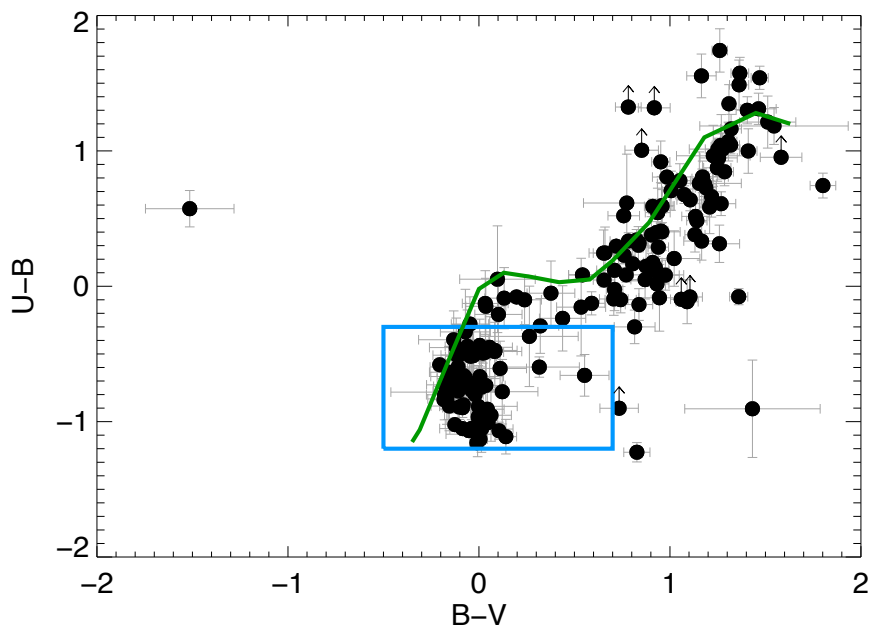
- caratteristiche ottiche:  
colori proprietà  
indipendente dalla distanza

# Identificazione astrofisica

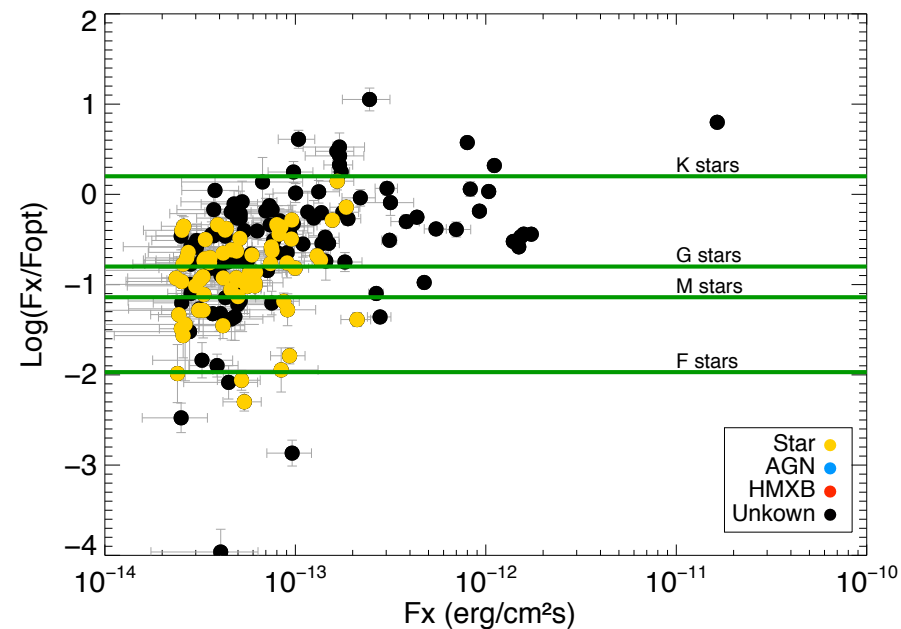
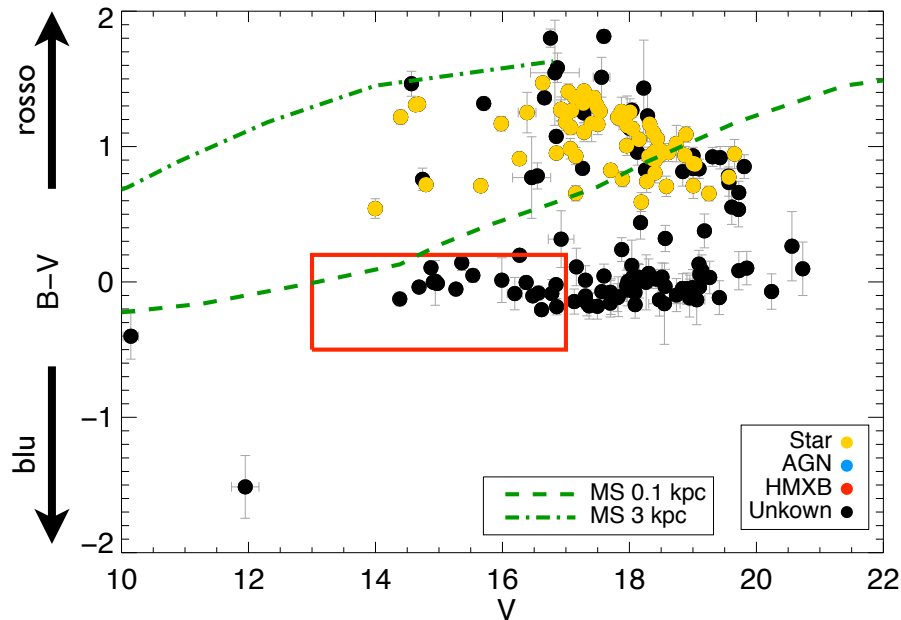
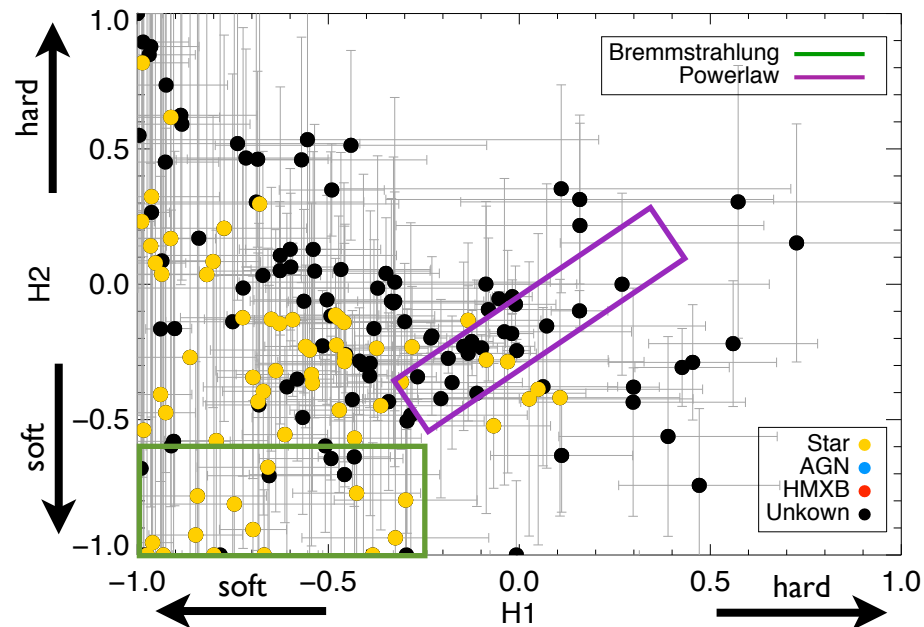
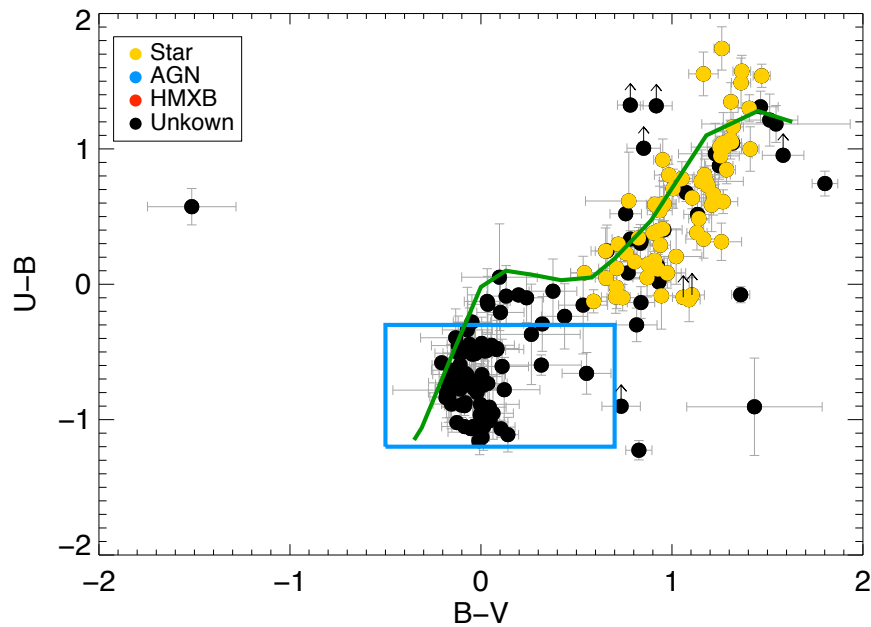


- caratteristiche ottiche:  
colori proprietà  
indipendente dalla distanza

# Identificazione astrofisica

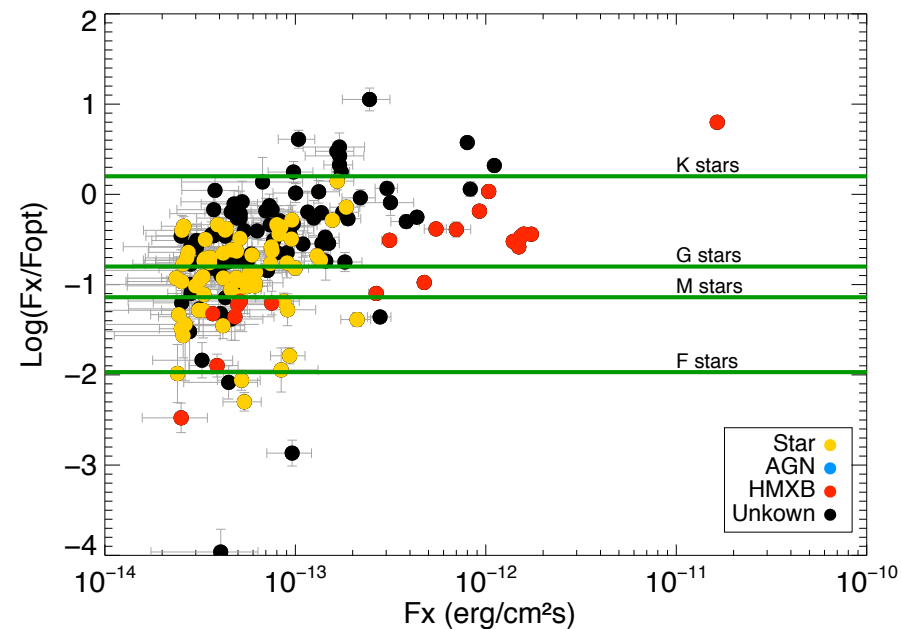
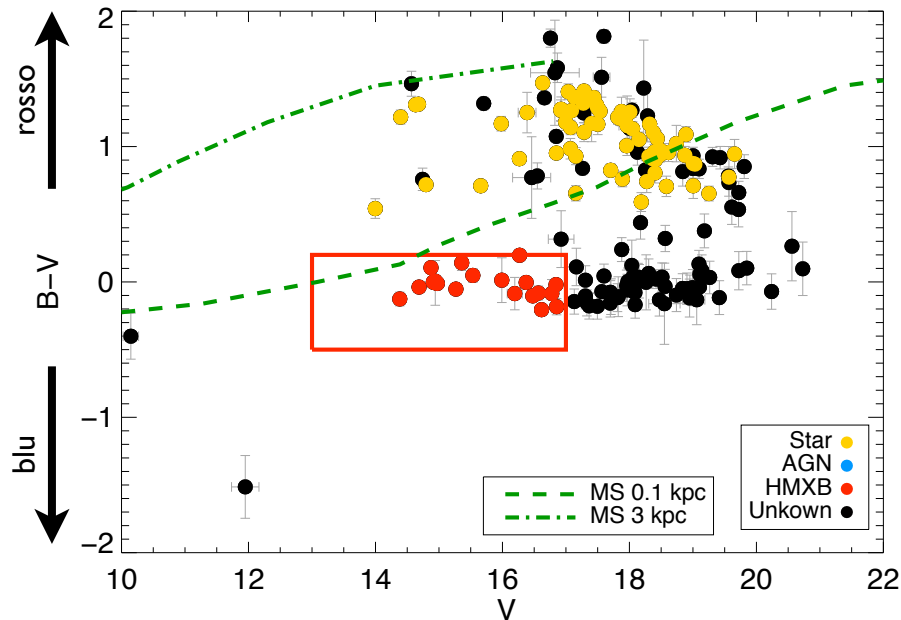
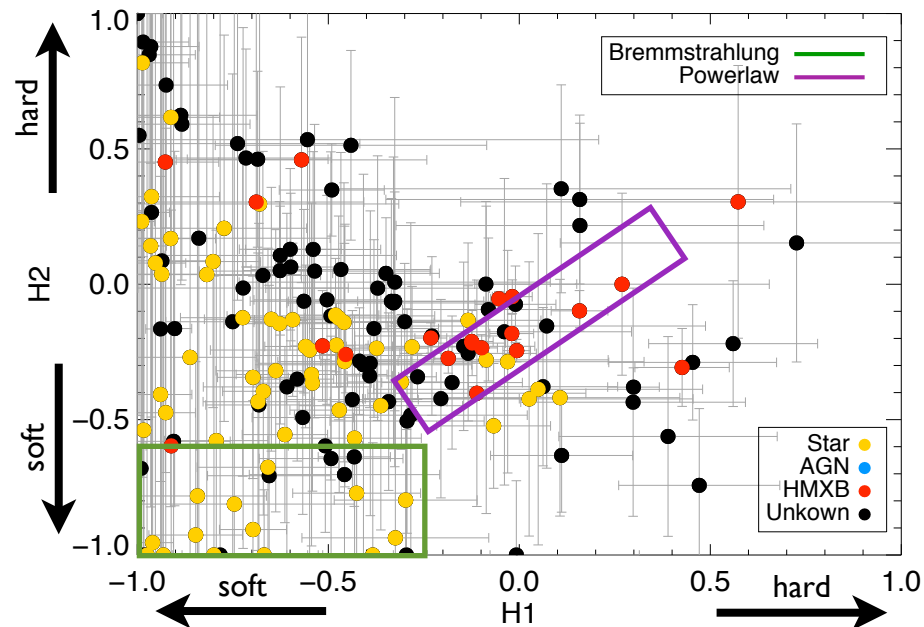
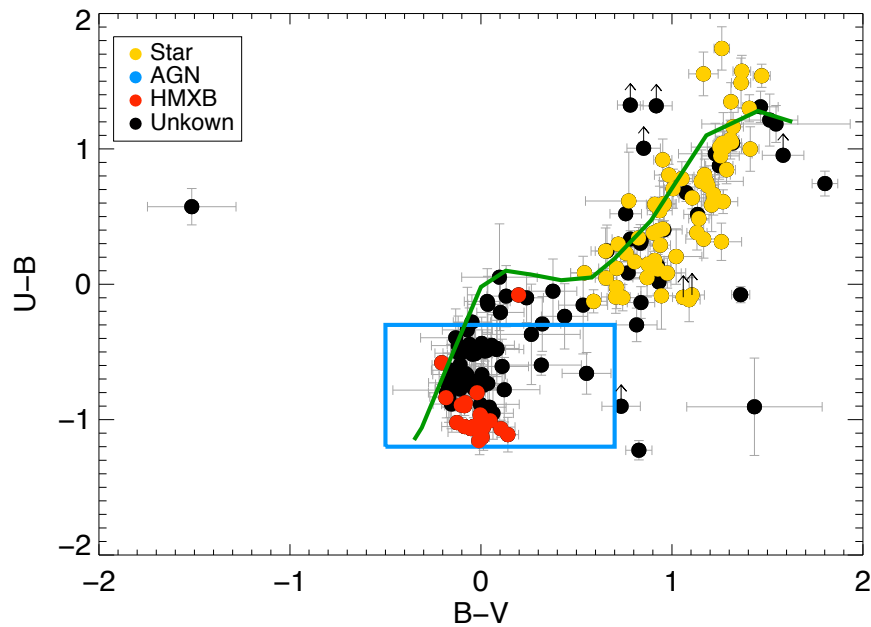


# Identificazione astrofisica

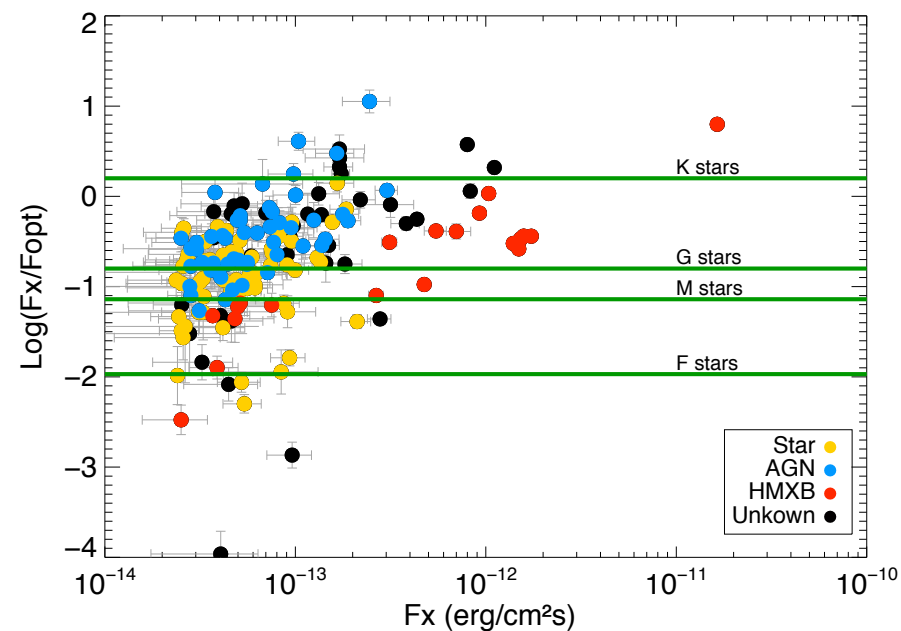
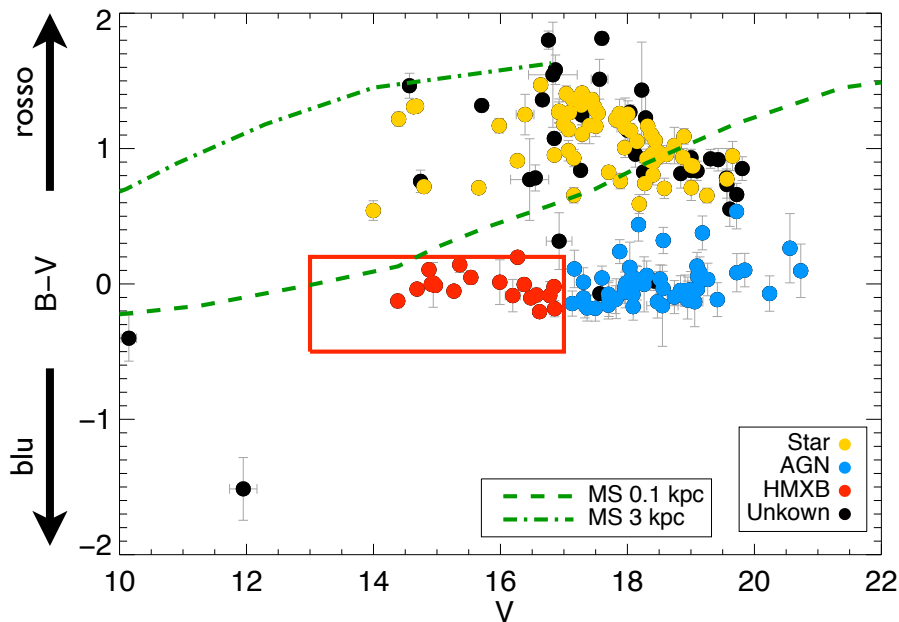
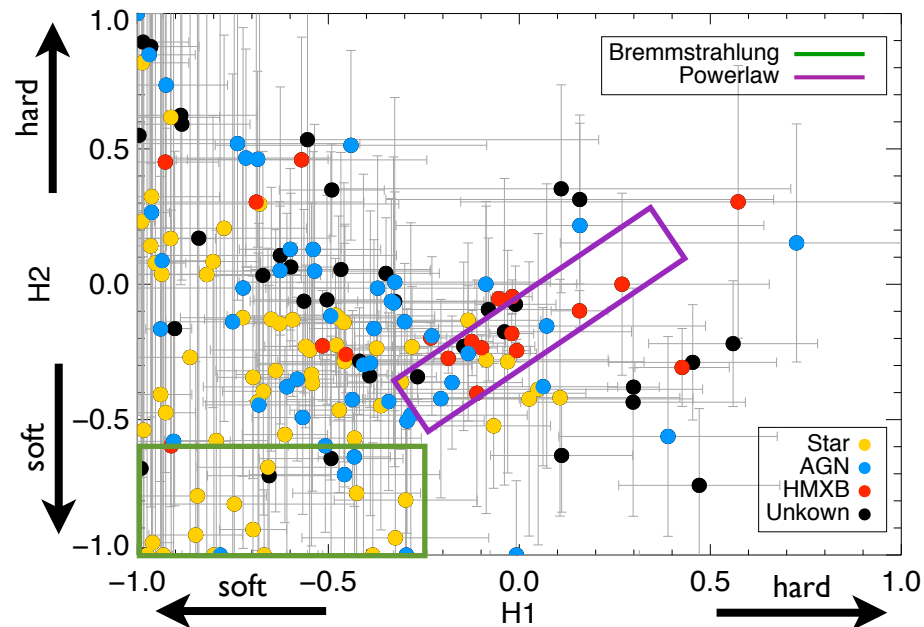
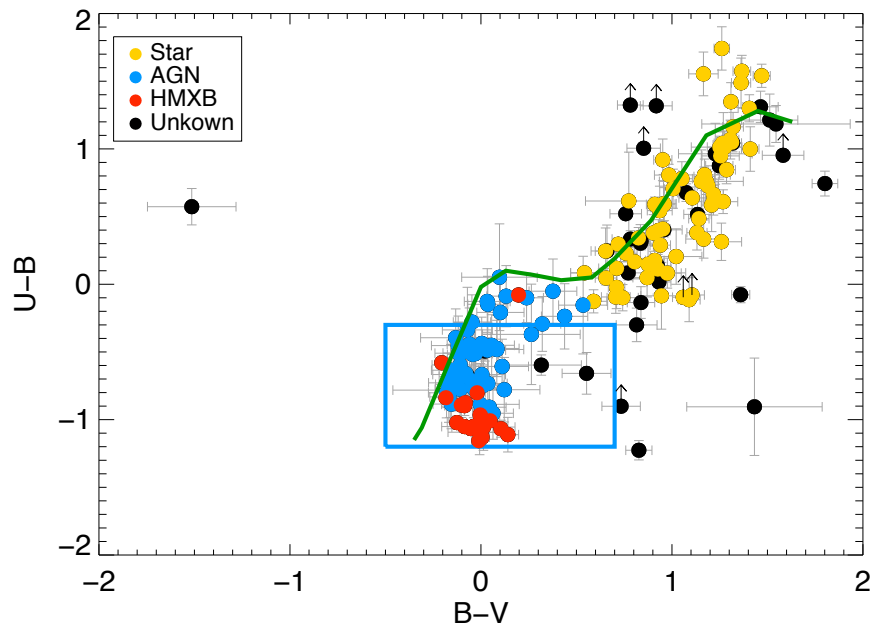




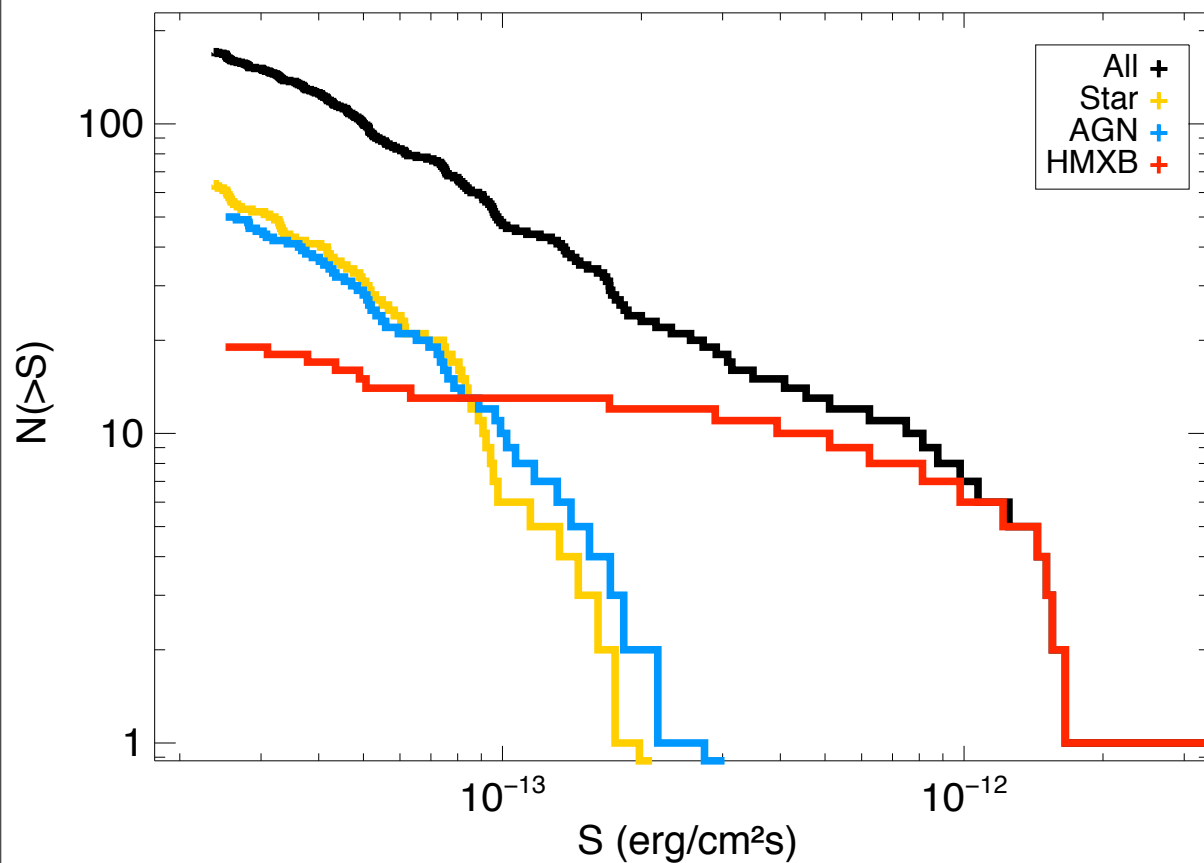
# Identificazione astrofisica



# Identificazione astrofisica



## Risultati



## Catalogo

172 sorgenti

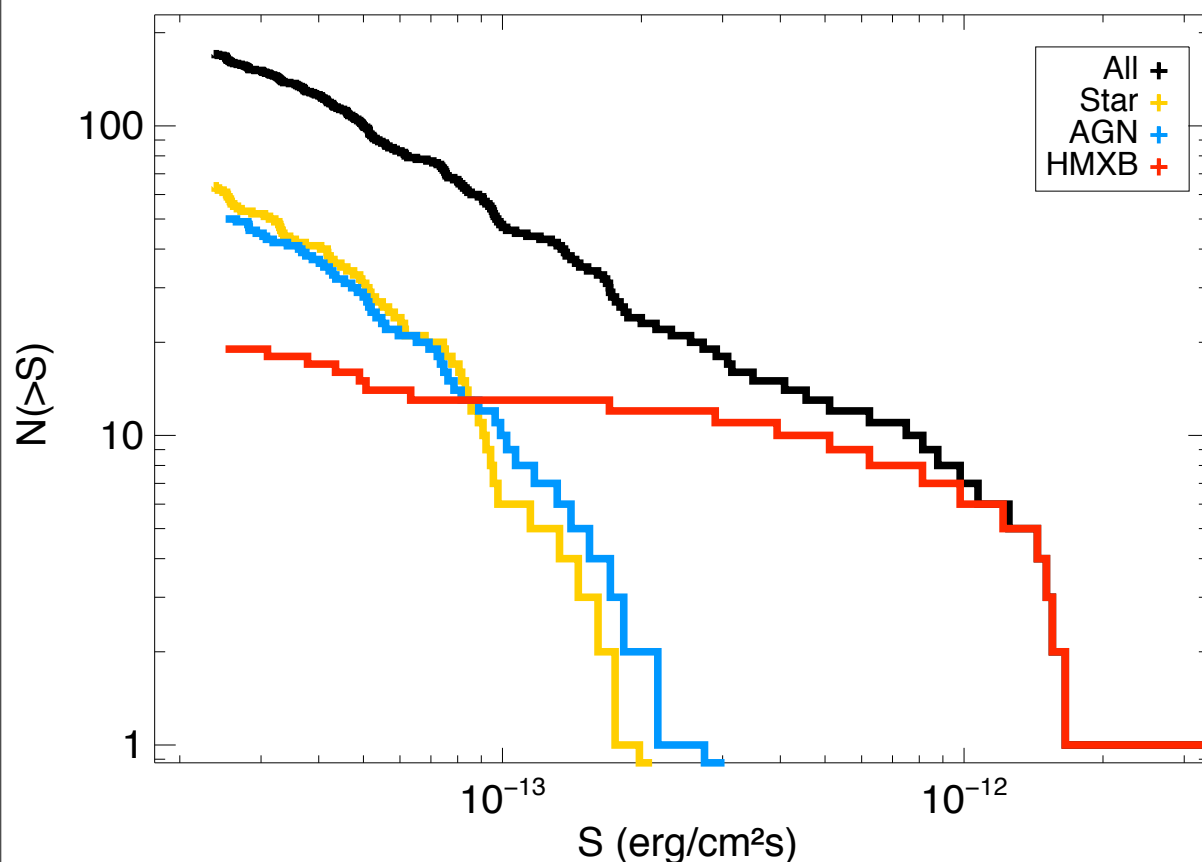
136 identificate

55 stelle

51 AGN

20 binarie X

## Risultati



## Catalogo

172 sorgenti

136 identificate

55 stelle

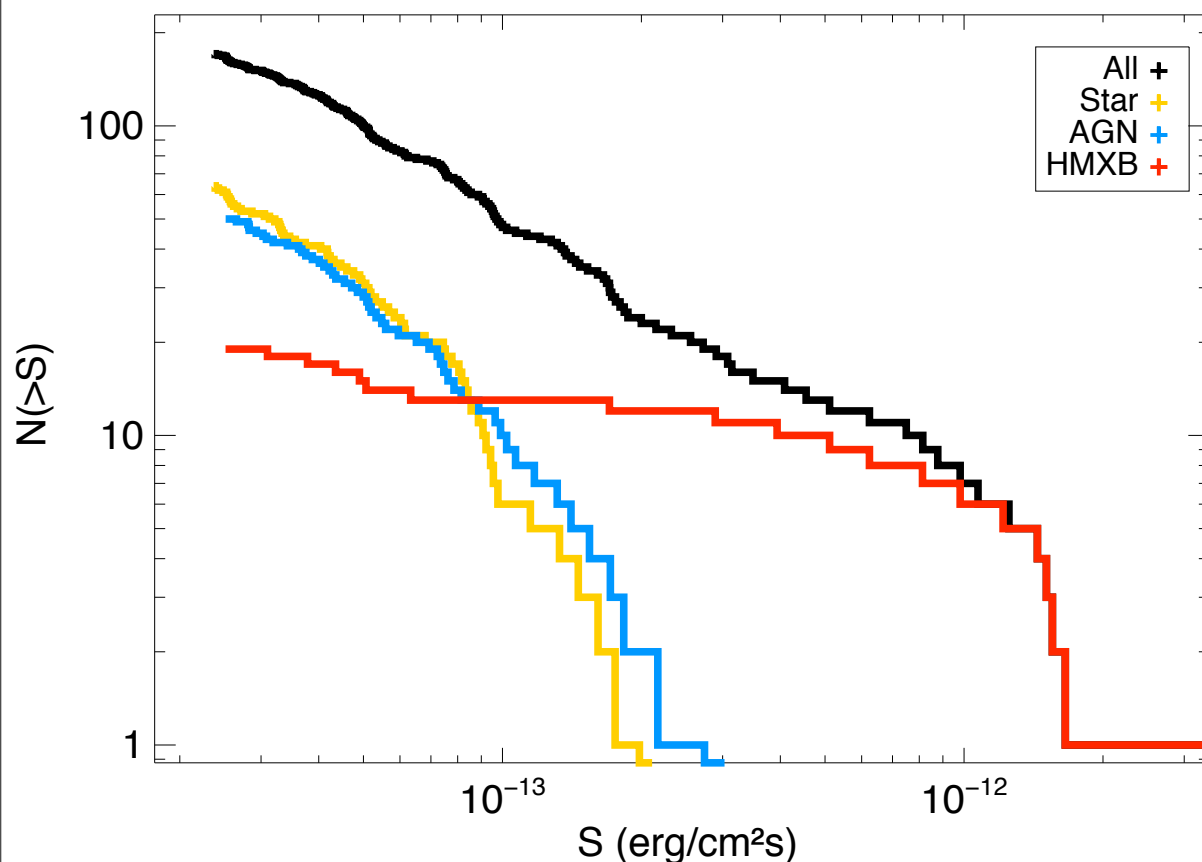
51 AGN

20 binarie X

- identificate tutte le binarie X nella SMC già note:
  - $L_X > 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$
  - rimanenti flusso basso per confermare identificazione



## Risultati



- **AGN  $\sim$  50% di quelli attesi:**
  - sorgenti non identificate AGN
  - alcune sorgenti identificate come stelle potrebbero essere AGN

## Catalogo

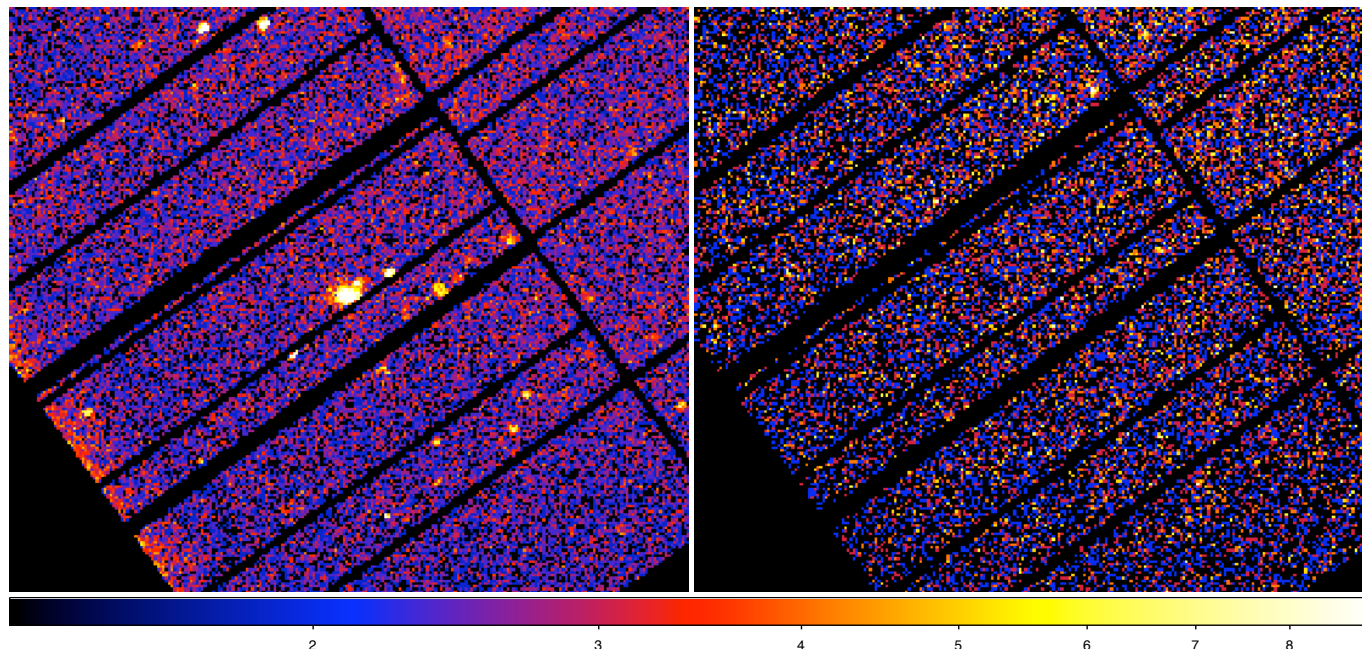
172 sorgenti  
 136 identificate  
 55 stelle  
 51 AGN  
 20 binarie X

- identificate tutte le binarie X nella SMC già note:
  - $L_X > 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$
  - rimanenti flusso basso per confermare identificazione

# La sorgente X IE0056.8-7154

0.2-2.0 keV

2.0-4.5 keV

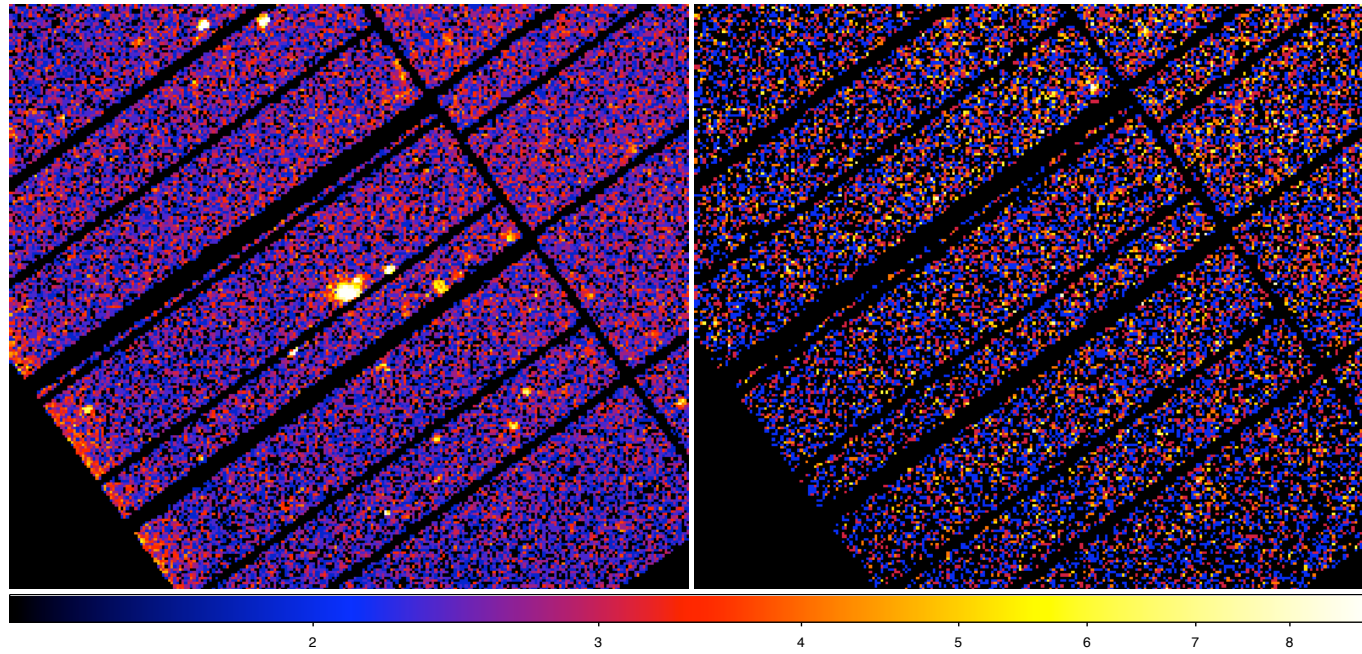


- classificata come sorgente super soft

# La sorgente X IE0056.8-7154

0.2-2.0 keV

2.0-4.5 keV

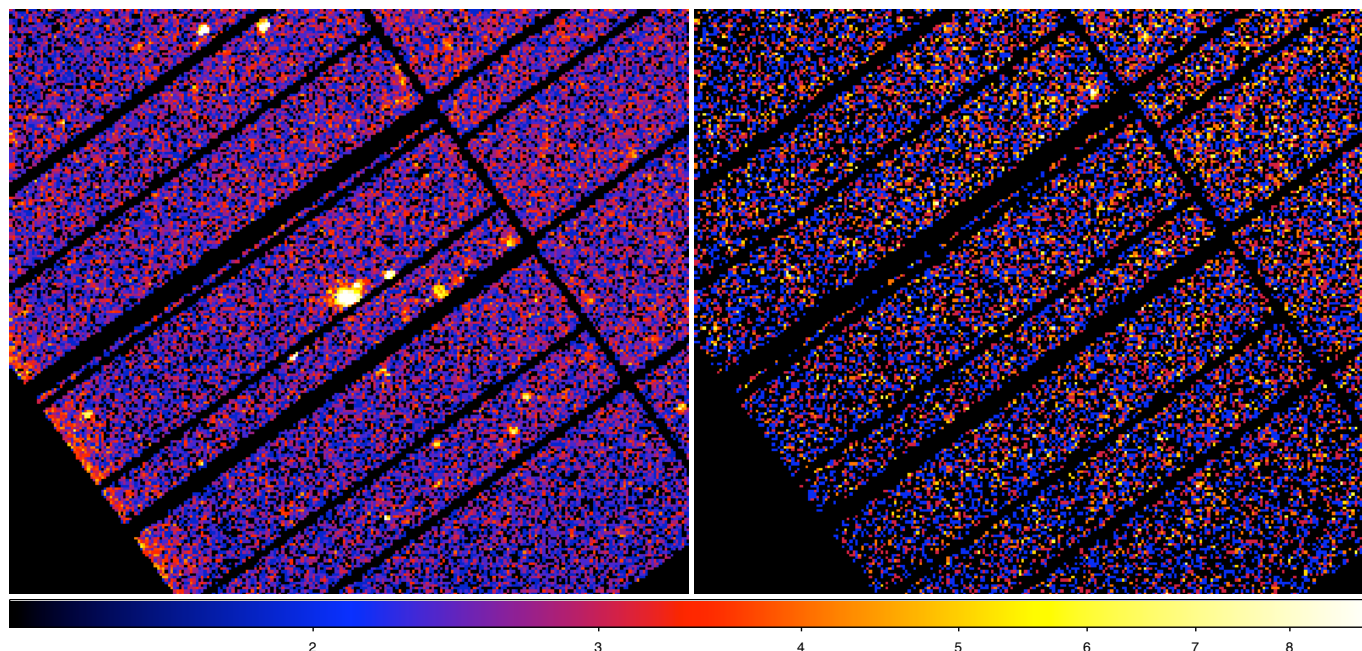


- classificata come sorgente super soft
- osservata con i satelliti Einstein e ROSAT

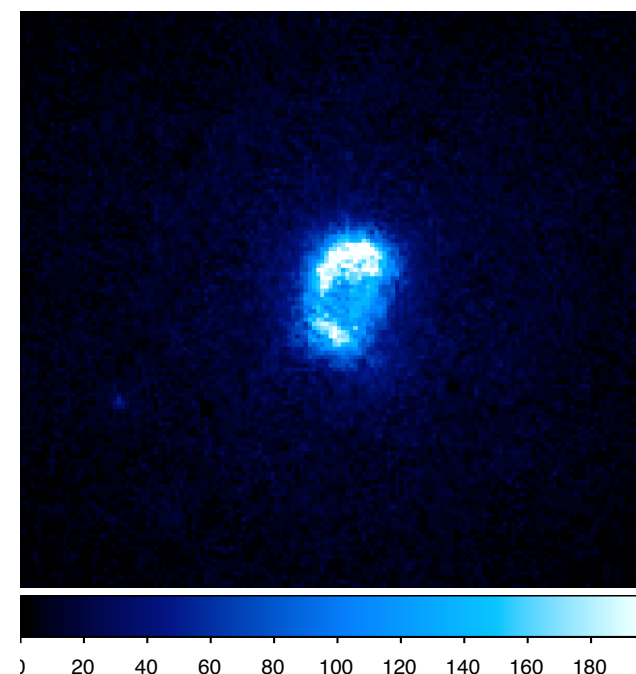
# La sorgente X IE0056.8-7154

0.2-2.0 keV

2.0-4.5 keV



Visibile



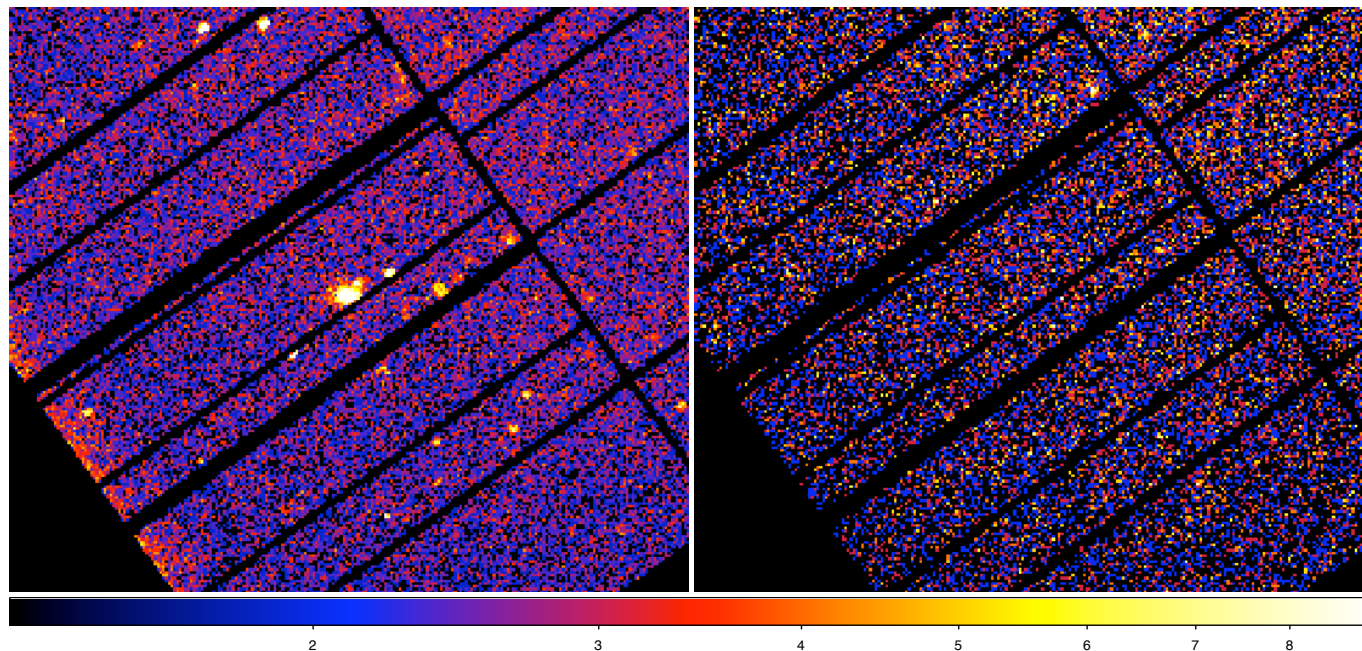
- classificata come sorgente super soft
- osservata con i satelliti Einstein e ROSAT
- identificata con la nebulosa planetaria SMP22



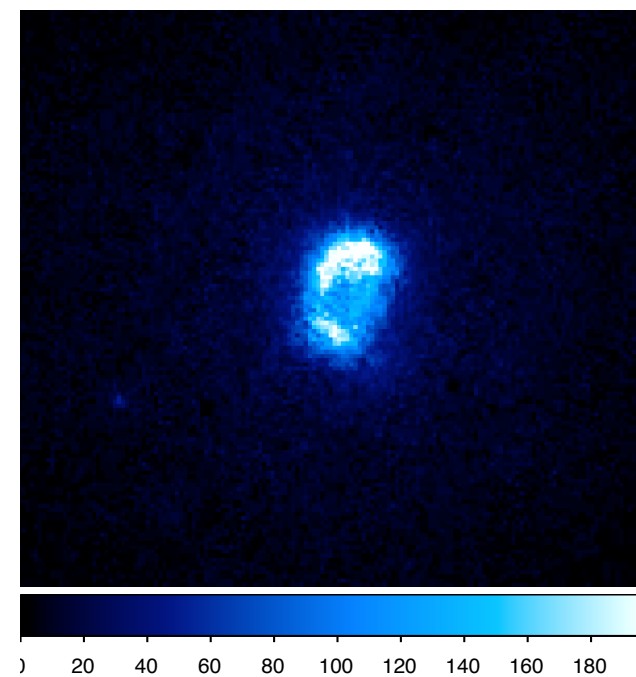
# La sorgente X IE0056.8-7154

0.2-2.0 keV

2.0-4.5 keV

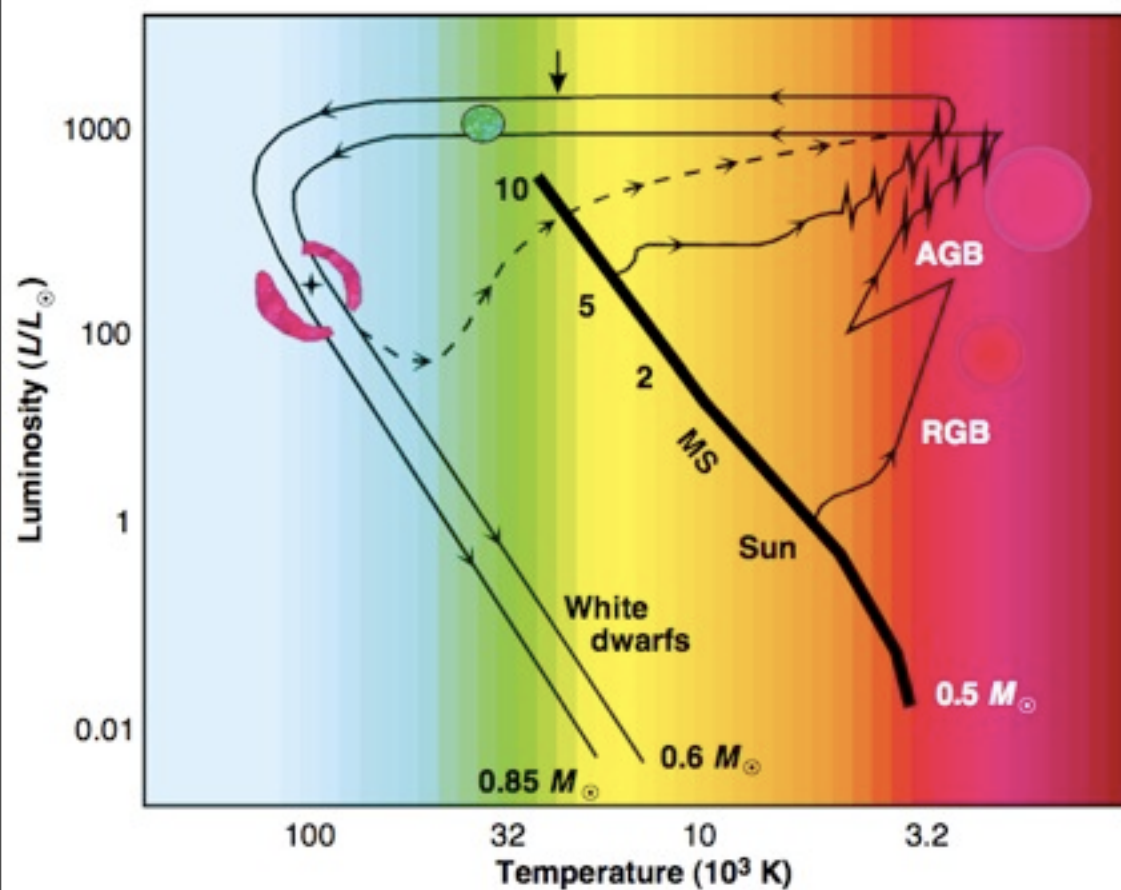


Visibile



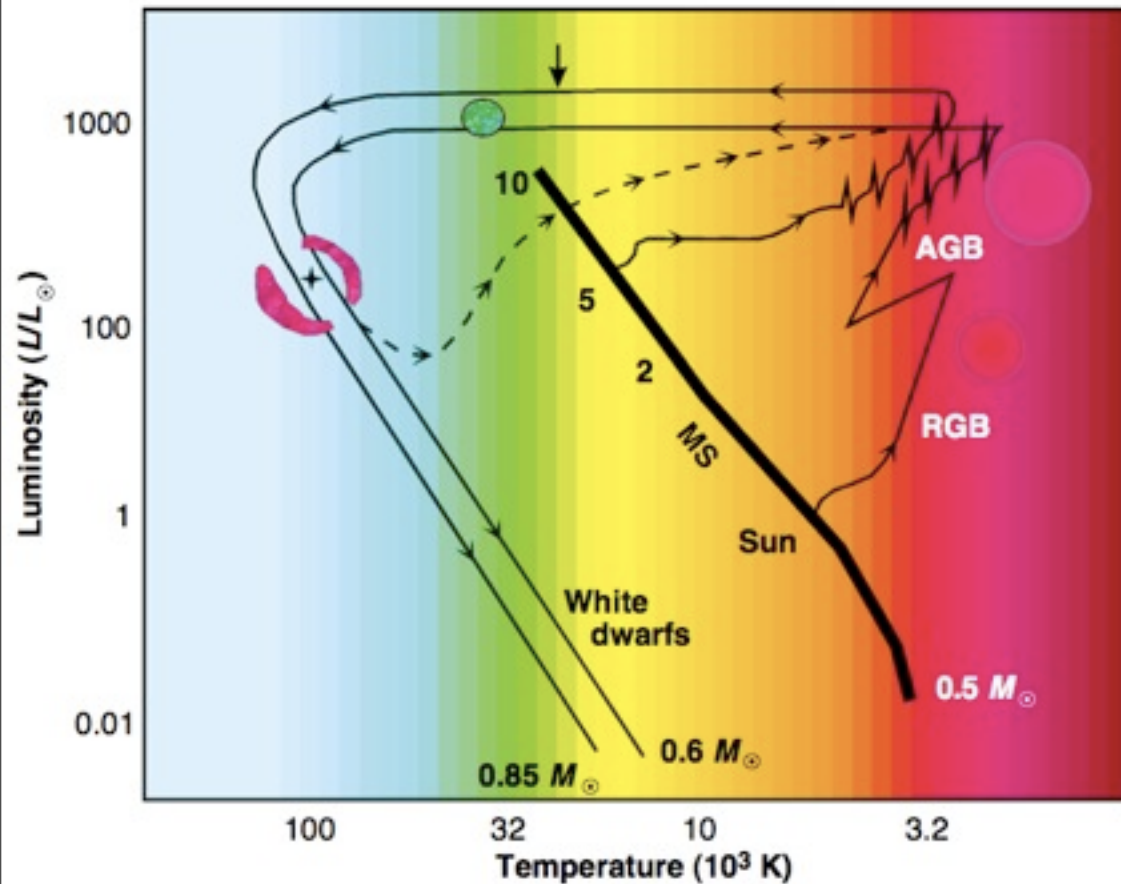
- classificata come sorgente super soft
- osservata con i satelliti Einstein e ROSAT
- identificata con la nebulosa planetaria SMP22
- nessuno studio effettuato con satelliti moderni

# Nebulose planetarie (PN)



- evoluzione di stelle con massa intermedia ( $1M_{\odot} \leq M \leq 8M_{\odot}$ )

# Nebulose planetarie (PN)

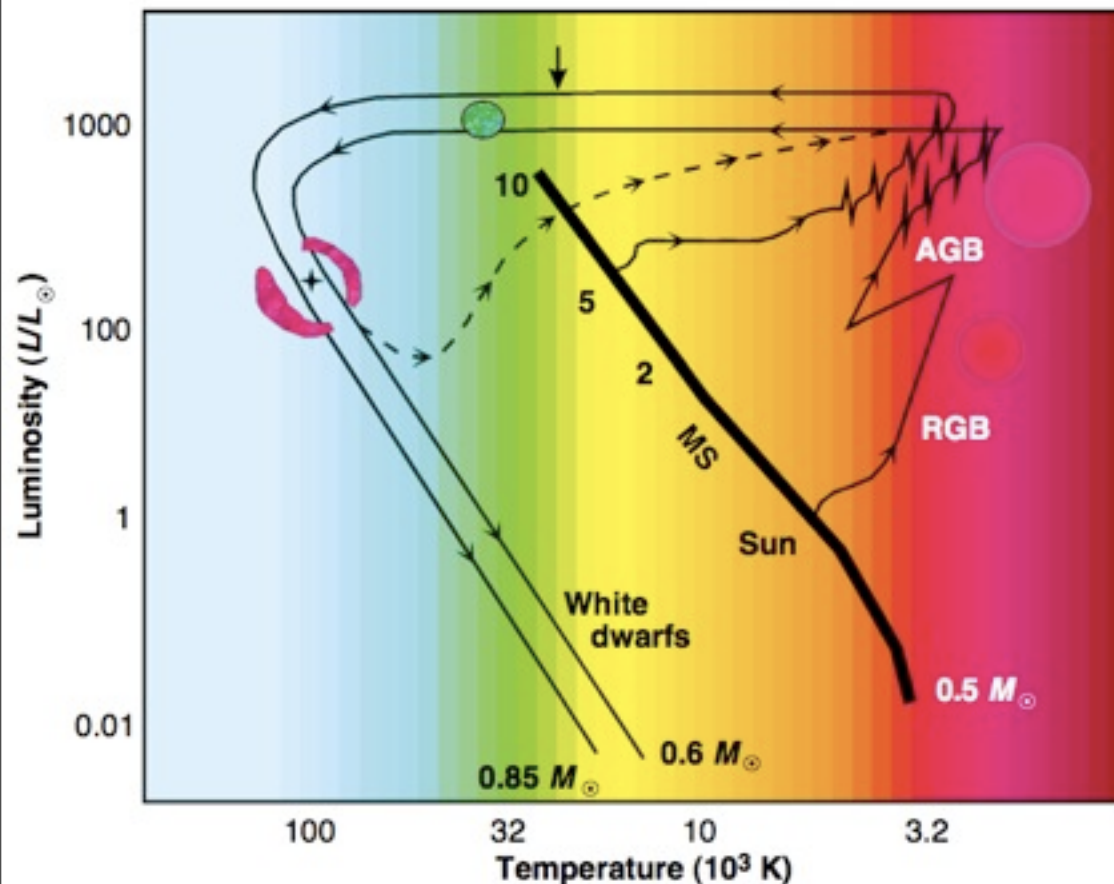


cat's eye nebula



- evoluzione di stelle con massa intermedia ( $1M_{\odot} \leq M \leq 8M_{\odot}$ )
- emissione principalmente in ottico e UV

# Nebulose planetarie (PN)



cat's eye nebula



- evoluzione di stelle con massa intermedia ( $1M_{\odot} \leq M \leq 8M_{\odot}$ )
- emissione principalmente in ottico e UV
- durata fase di nebulosa planetaria dipende dalla massa della stella in sequenza principale



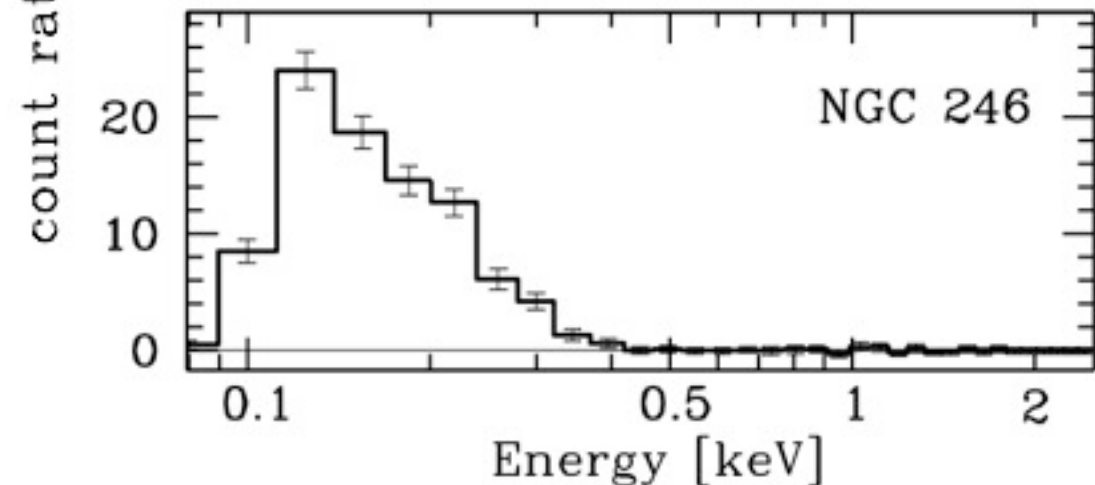
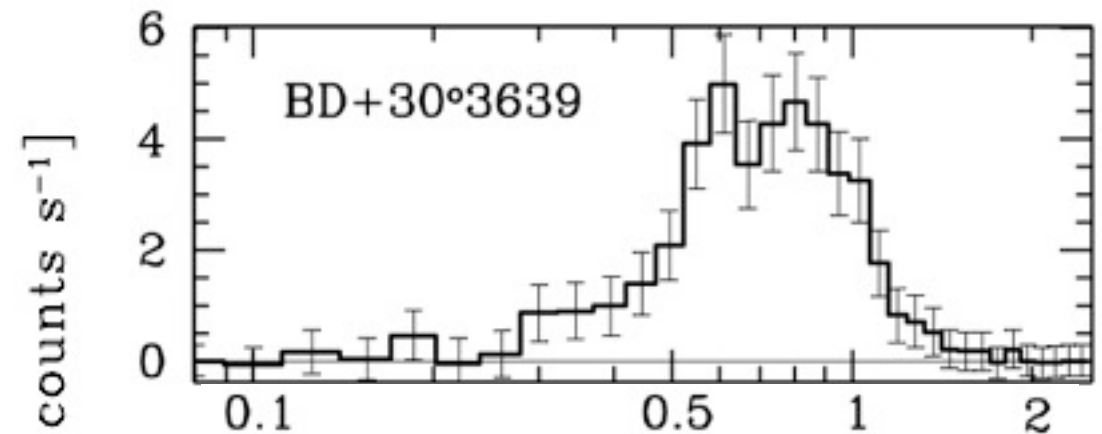
# Emissione X da PN

## ● emissione diffusa:

- generata dal plasma otticamente sottile che forma la nebulosa
- bremsstrahlung con  $T \sim 10^6$  K
- $L_X = 10^{30-33}$  erg s $^{-1}$

## ● emissione puntiforme:

- stella centrale della PN
- corpo nero con  $T \sim 10^5$  K
- $L_X = 10^{30-31}$  erg s $^{-1}$



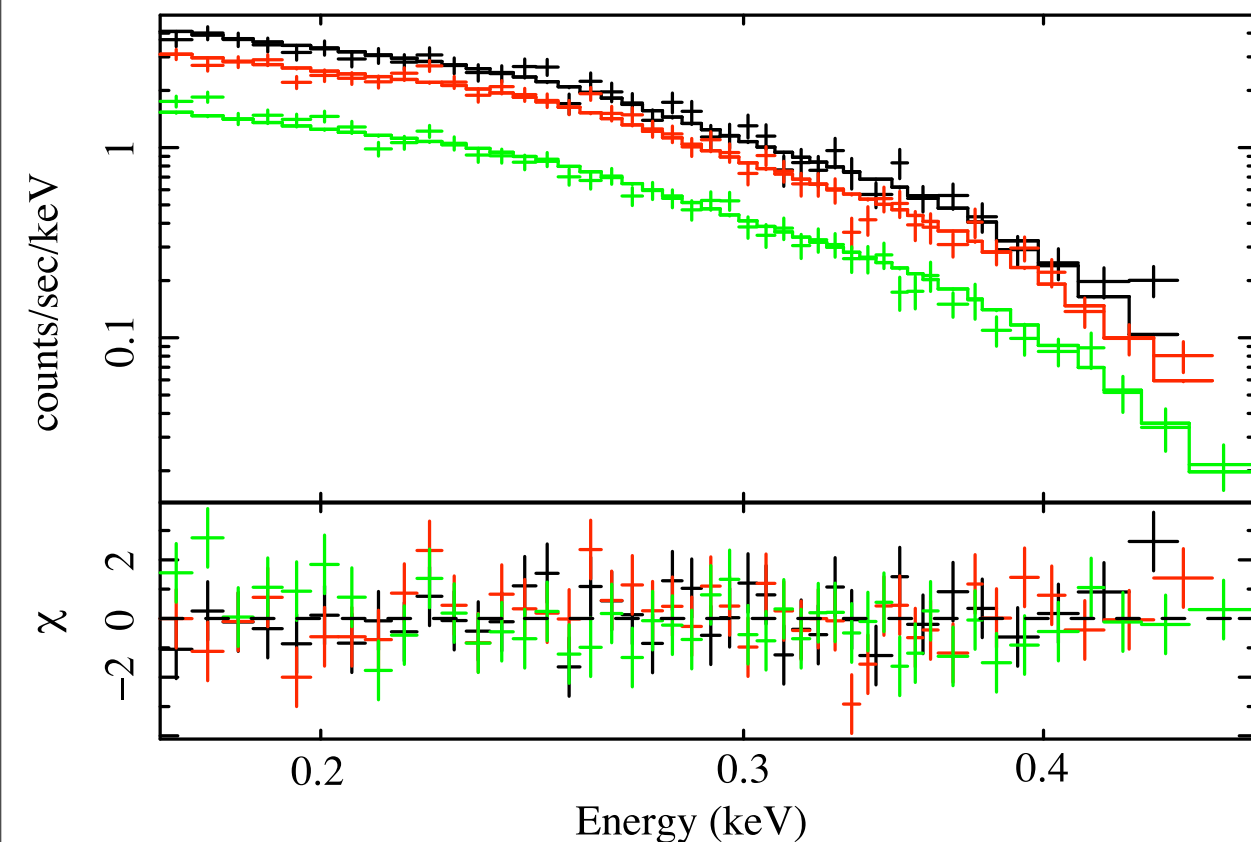


## Osservazioni della sorgente SMP22 con XMM-Newton

- 3 osservazioni (2007/2009)
- nessuna evidenza di variabilità nella luminosità X
- emissione rivelata per  $E < 0.5 \text{ keV}$  → stella centrale

# Osservazioni della sorgente SMP22 con XMM-Newton

- 3 osservazioni (2007/2009)
- nessuna evidenza di variabilità nella luminosità X
- emissione rivelata per  $E < 0.5$  keV → stella centrale



## Corpo nero

$$T \sim 3 \times 10^5 \text{ K}$$

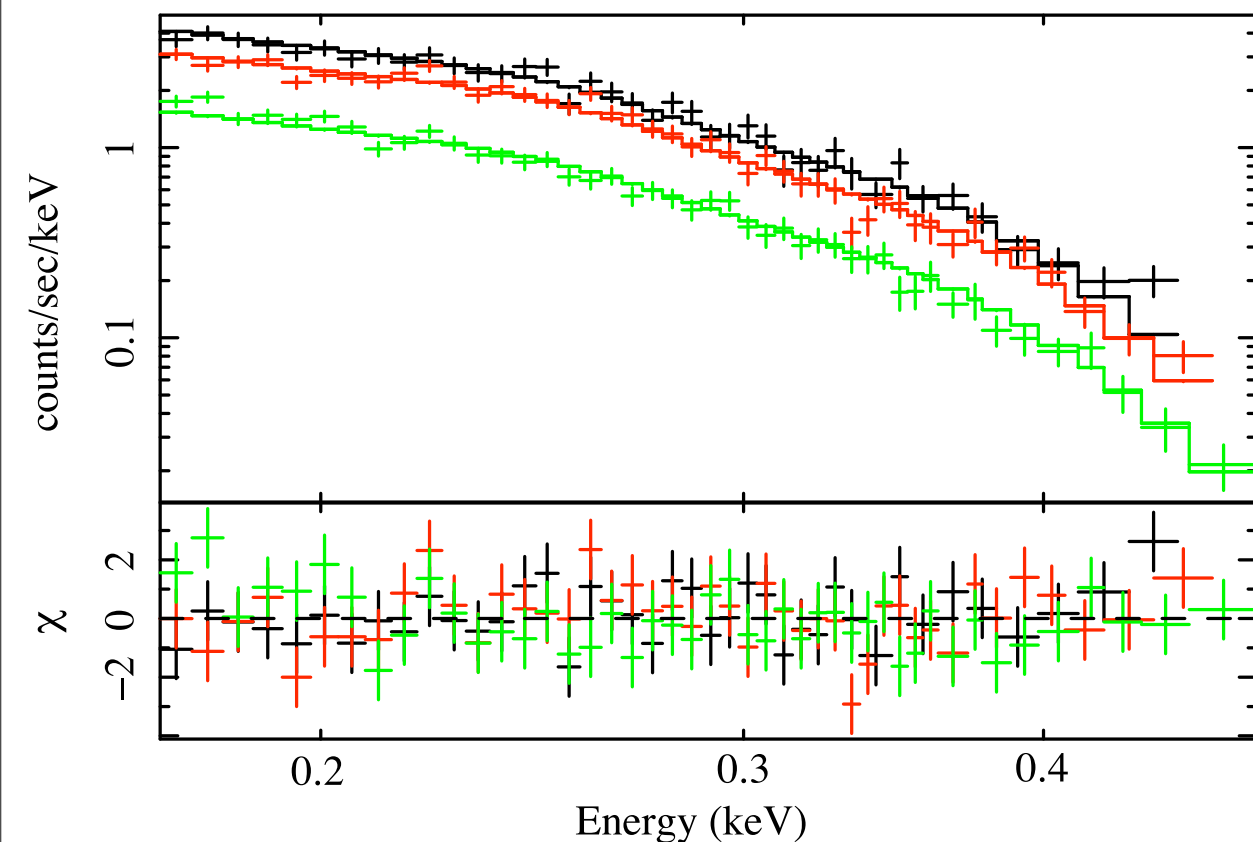
$$n_H \sim 5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$$

$$R \sim 0.05 R_{\odot}$$

$$L_X \sim 4 \times 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$$

# Osservazioni della sorgente SMP22 con XMM-Newton

- 3 osservazioni (2007/2009)
- nessuna evidenza di variabilità nella luminosità X
- emissione rivelata per  $E < 0.5$  keV → stella centrale



## Corpo nero

$$T \sim 3 \times 10^5 \text{ K}$$

$$n_H \sim 5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$$

$$R \sim 0.05 R_{\odot}$$

$$L_X \sim 4 \times 10^{35} \text{ erg s}^{-1}$$



PN con la maggiore  
luminosità X conosciuta

# Modelli di atmosfera stellare

Mereghetti, Krachmalnicoff et al. inviato ad A&A

- modello NLTE: tiene conto della composizione dell'atmosfera
- permette di ricavare  $T$  e  $g$  ( $L_{bol} = 4\pi R^2 \sigma T^4 \rightarrow R, M$ )
- atmosfera H o He  $\rightarrow$  fit formalmente accettabili ma  $M > 100M_{\odot}$
- necessario considerare elementi pesanti

# Modelli di atmosfera stellare

Mereghetti, Krachmalnicoff et al. inviato ad A&A

- modello NLTE: tiene conto della composizione dell'atmosfera
- permette di ricavare  $T$  e  $g$  ( $L_{bol} = 4\pi R^2 \sigma T^4 \rightarrow R, M$ )
- atmosfera H o He  $\rightarrow$  fit formalmente accettabili ma  $M > 100M_{\odot}$
- necessario considerare elementi pesanti

## H/He/C/N/O best fit

abbondanze della nebulosa

$$T \sim 1.5 \times 10^5 \text{ K}$$

$$n_H \sim 3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$$

$$g = 10^6 \text{ cm s}^{-2}$$

$$R \sim 0.2R_{\odot} \quad M \sim 1.2M_{\odot}$$

consistente con flusso ottico



# Modelli di atmosfera stellare

Mereghetti, Krachmalnicoff et al. inviato ad A&A

- modello NLTE: tiene conto della composizione dell'atmosfera
- permette di ricavare  $T$  e  $g$  ( $L_{bol} = 4\pi R^2 \sigma T^4 \rightarrow R, M$ )
- atmosfera H o He  $\rightarrow$  fit formalmente accettabili ma  $M > 100M_{\odot}$
- necessario considerare elementi pesanti

## H/He/C/N/O best fit

abbondanze della nebulosa

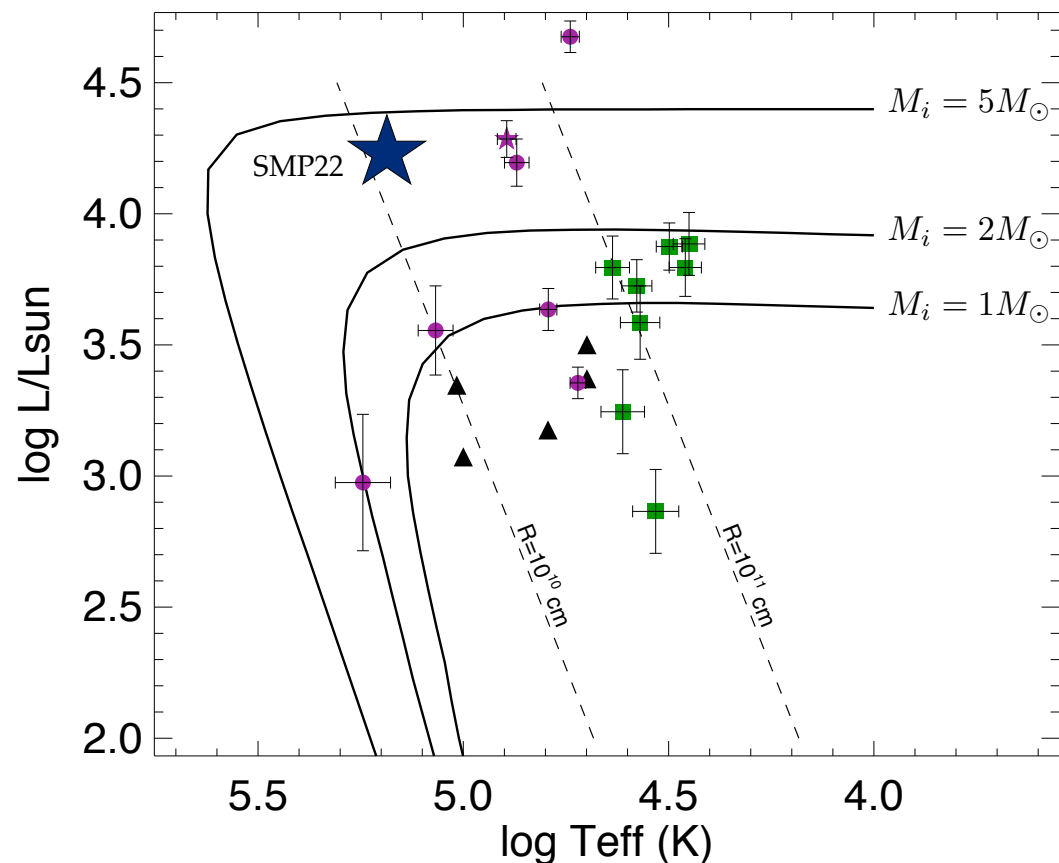
$$T \sim 1.5 \times 10^5 \text{ K}$$

$$n_H \sim 3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$$

$$g = 10^6 \text{ cm s}^{-2}$$

$$R \sim 0.2R_{\odot} \quad M \sim 1.2M_{\odot}$$

consistente con flusso ottico

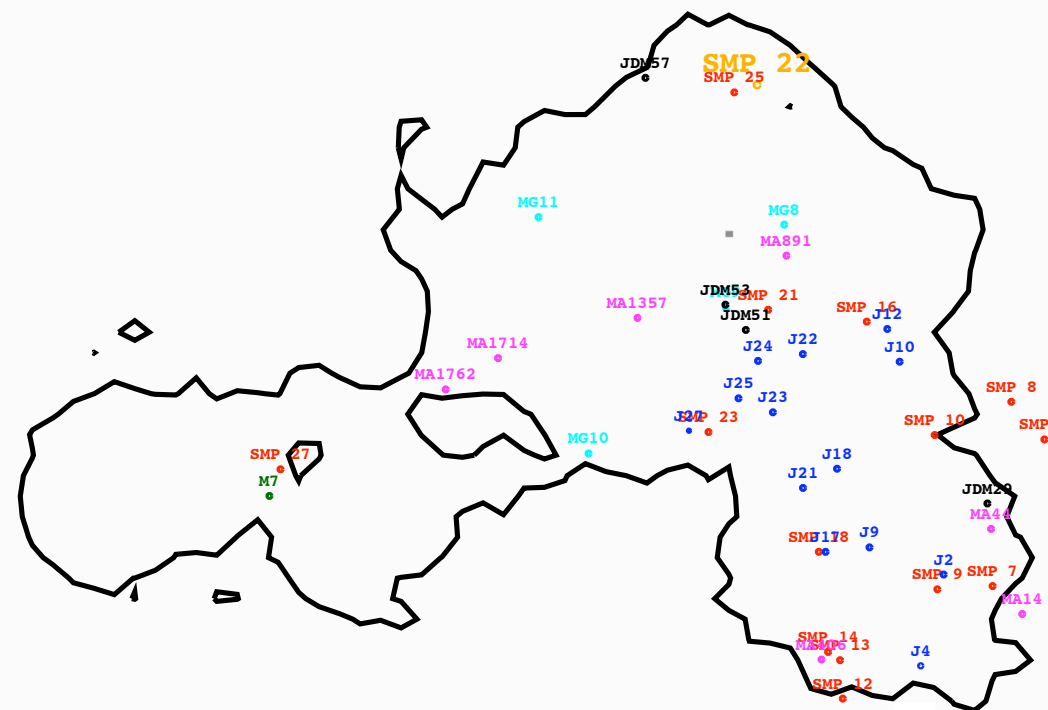
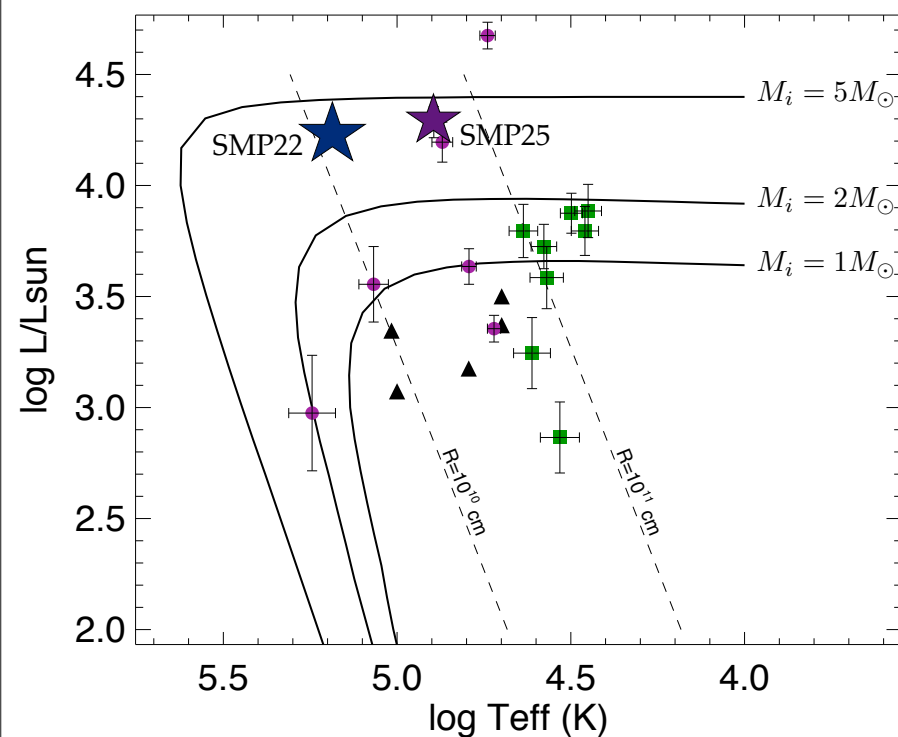




# Ricerca di altre PN nella SMC

Mereghetti, Krachmalnicoff et al. inviato ad A&A

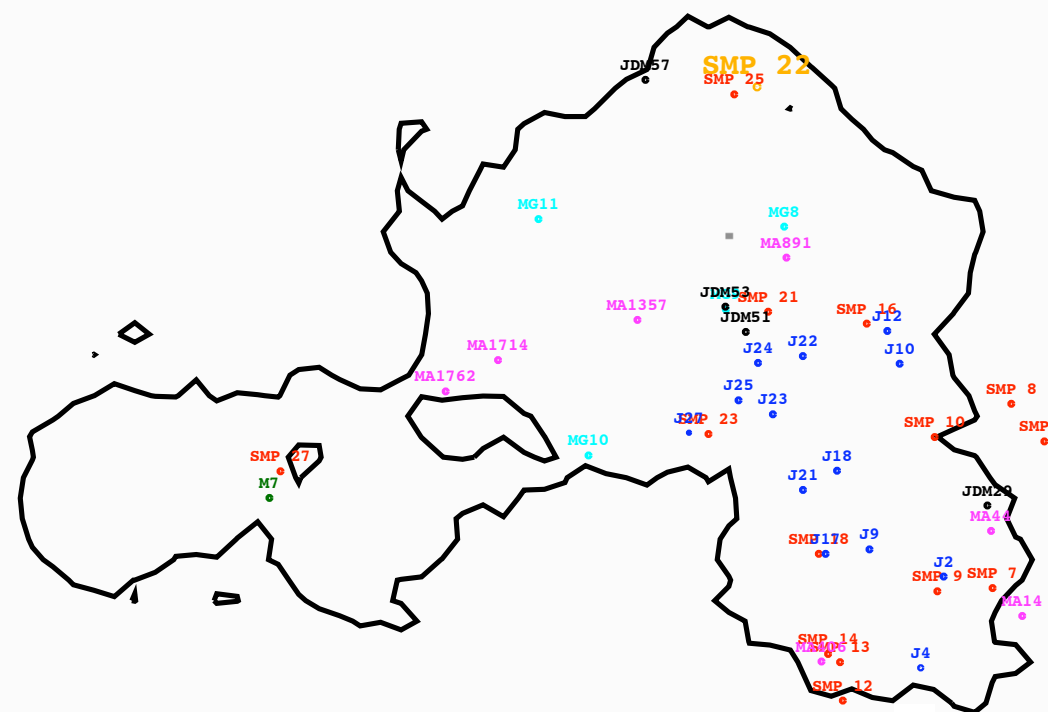
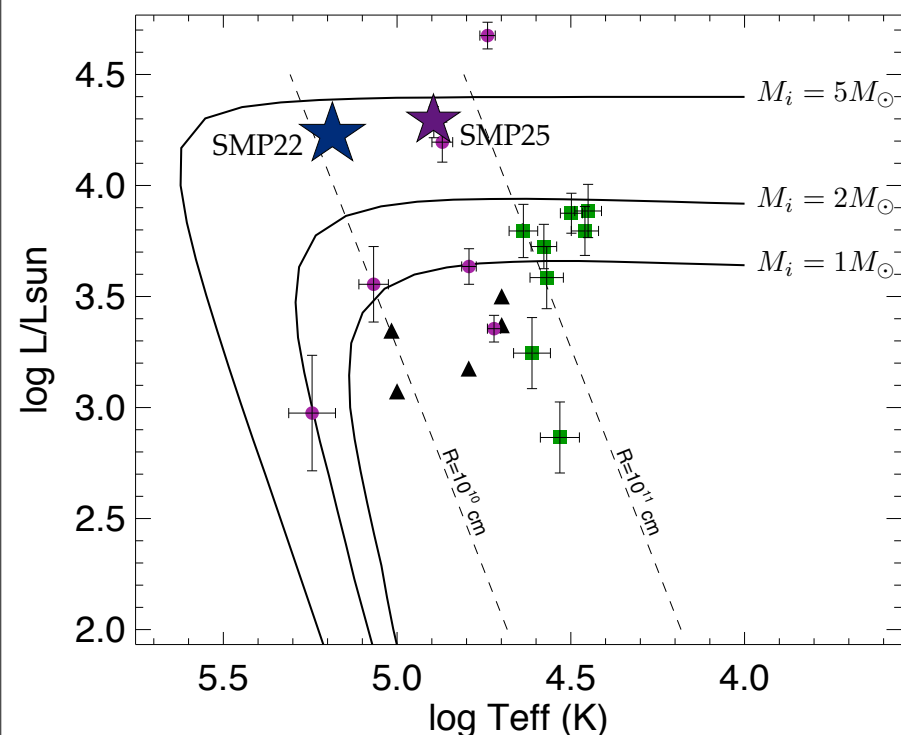
- ricerca sistematica di emissione X per 43 PN nella banda 0.1-1 keV
- rivelata SMP25 con flusso  $\sim 100$  volte minore rispetto a SMP22
- per altre PN upper limiti sul tasso di conteggi



# Ricerca di altre PN nella SMC

Mereghetti, Krachmalnicoff et al. inviato ad A&A

- ricerca sistematica di emissione X per 43 PN nella banda 0.1-1 keV
- rivelata SMP25 con flusso  $\sim 100$  volte minore rispetto a SMP22
- per altre PN upper limiti sul tasso di conteggi



## SMP22 oggetto raro

massa grande:  $M > 3M_{\odot}$  ( $\sim 20\%$ )  
 tempi scala fase PN brevi ( $t < 1000 \text{ yr}$ )  
 basso assorbimento intrinseco

# Conclusioni



# Conclusioni

- analizzati primi dati della survey della SMC
  - individuati criteri di rivelazione e classificazione sorgenti X
  - ottenuto catalogo preliminare (172 sorgenti)

# Conclusioni

- analizzati primi dati della survey della SMC
  - individuati criteri di rivelazione e classificazione sorgenti X
  - ottenuto catalogo preliminare (172 sorgenti)
- ricerca sistematica di emissione X da PN nella SMC
  - rivelata emissione X da due sorgenti (SMP22 e SMP25)
  - upper limit sul valore del flusso X per le altre

# Conclusioni

- analizzati primi dati della survey della SMC
  - individuati criteri di rivelazione e classificazione sorgenti X
  - ottenuto catalogo preliminare (172 sorgenti)
- ricerca sistematica di emissione X da PN nella SMC
  - rivelata emissione X da due sorgenti (SMP22 e SMP25)
  - upper limit sul valore del flusso X per le altre
- studio spettrale di SMP22 con modelli di atmosfera stellare
  - PN nota con la più alta luminosità X
  - best fit considerando abbondanze della nebulosa
  - sorgente rara: evoluzione stella massiva e basso assorbimento

# Sviluppi futuri

