ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI FISICA E ASTRONOMIA

INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
OSSERVATORIO DI ASTROFISICA E SCIENZA DELLO SPAZIO DI BOLOGNA

BiD4BESt
Big Data applications for Black hole Evolution Studies

eROSITA: il cielo X come non l'avete mai visto

Marcella Brusa

Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Bologna

&

INAF-Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna

eROSITA

Radiazione X

Il telescopio eROSITA

Galleria di immagini

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

Radiazione X

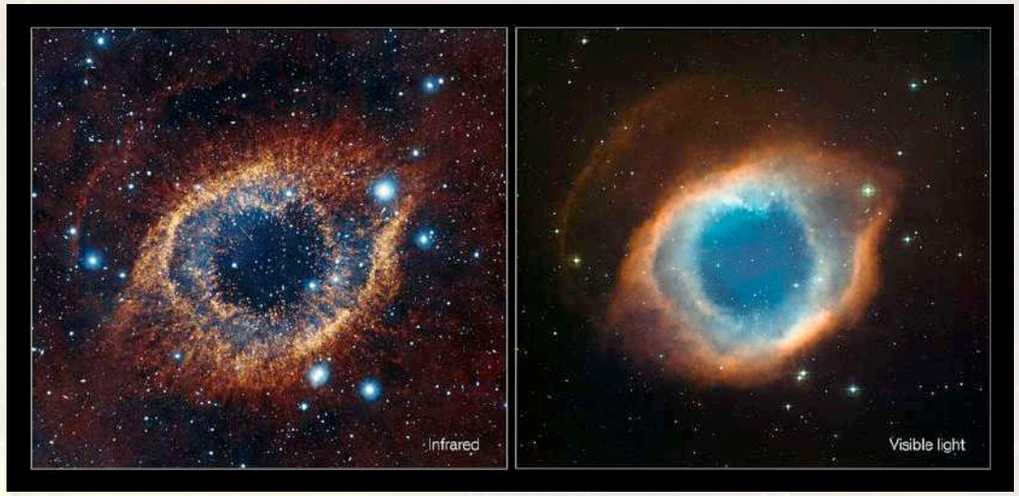
Il telescopio eROSITA

Galleria di immagini

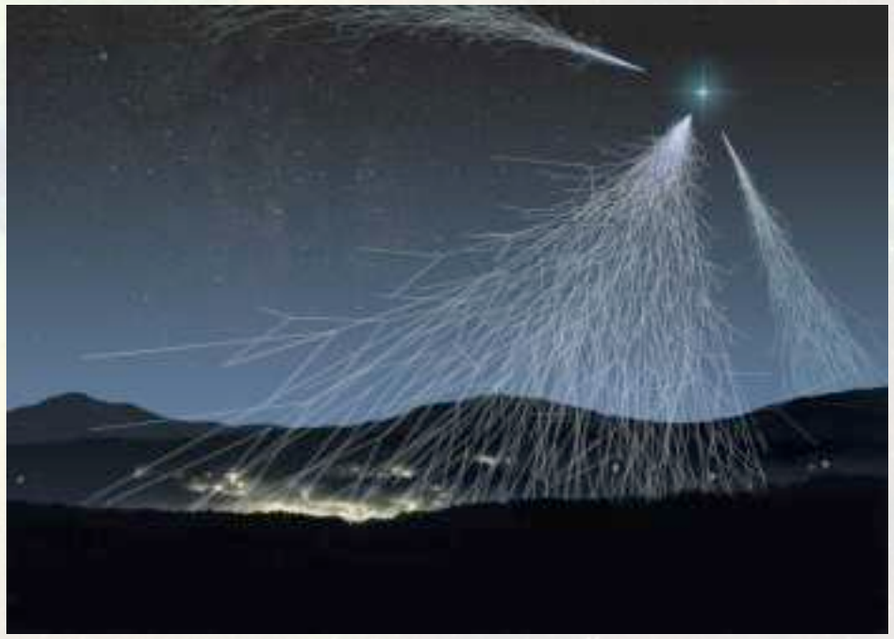
Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

Messaggeri dell'Universo

1) Radiazione elettromagnetica (fotoni)
   secolo di nascita: ~1600*
   **moderna Astronomia*

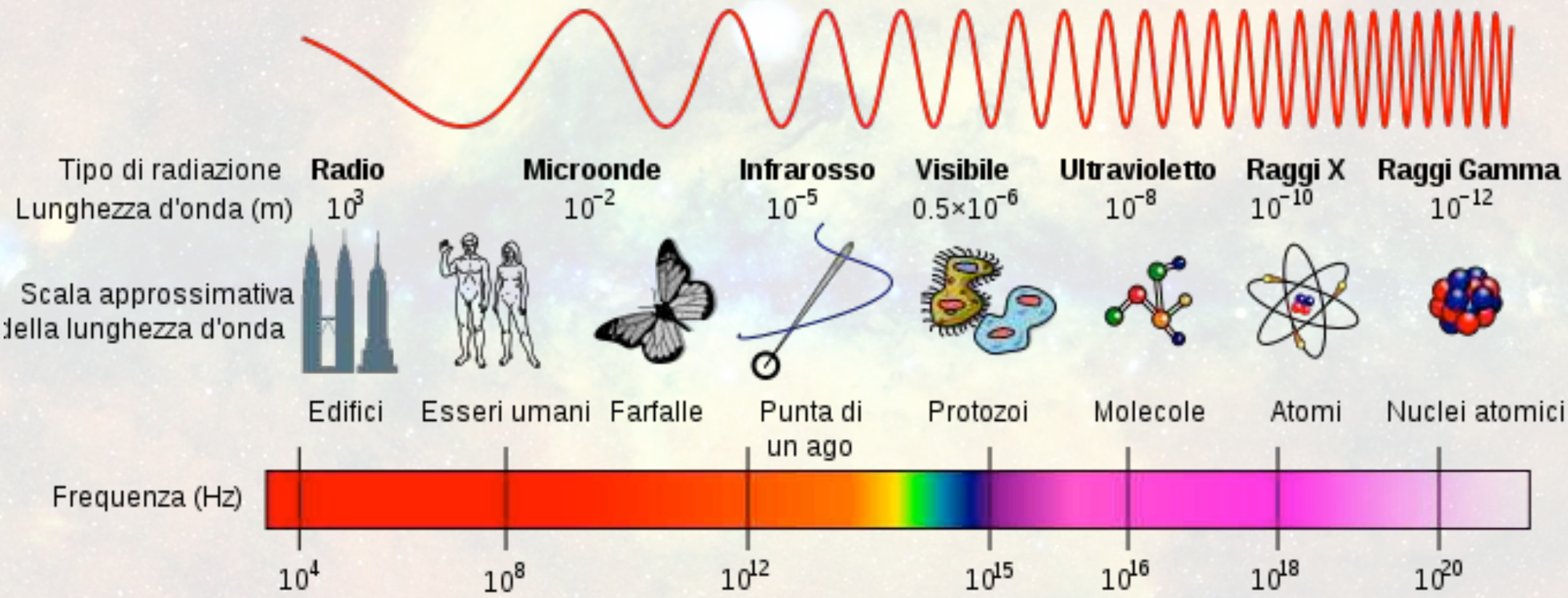


2) Particelle (neutrini, raggi cosmici)
   secolo di nascita: ~1900



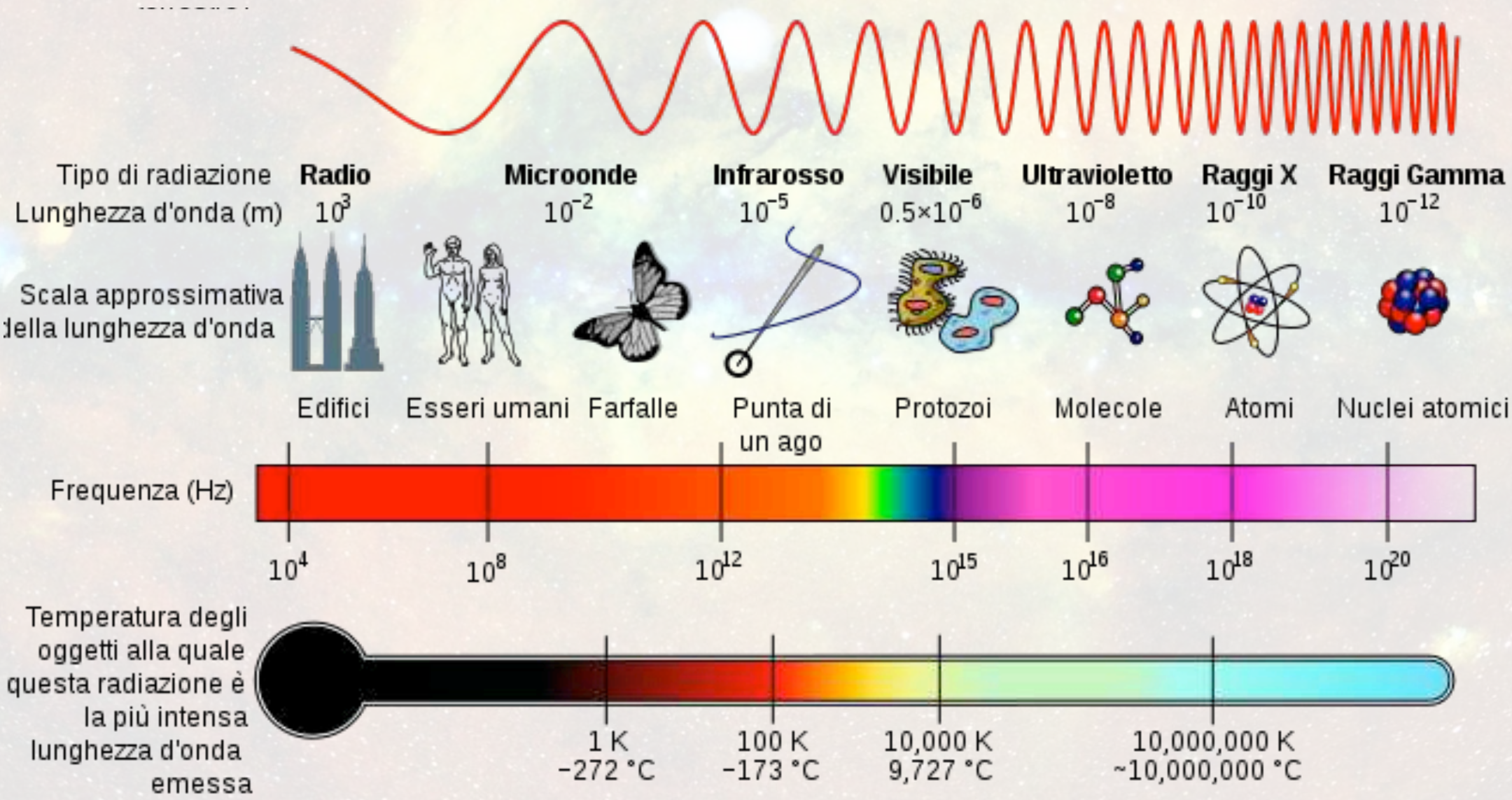
3) Onde gravitazionali
   secolo di nascita: ~2000

Lo spettro elettromagnetico



Lo spettro elettromagnetico

1) **maggiore e' la frequenza, maggiore e' la *temperatura***
2) **maggiore e' la frequenza, maggiore e' l'*energia (E=hν)***

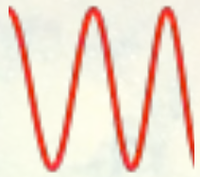


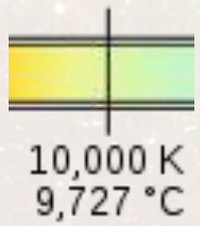
Luce ottica

Universo “tiepido”

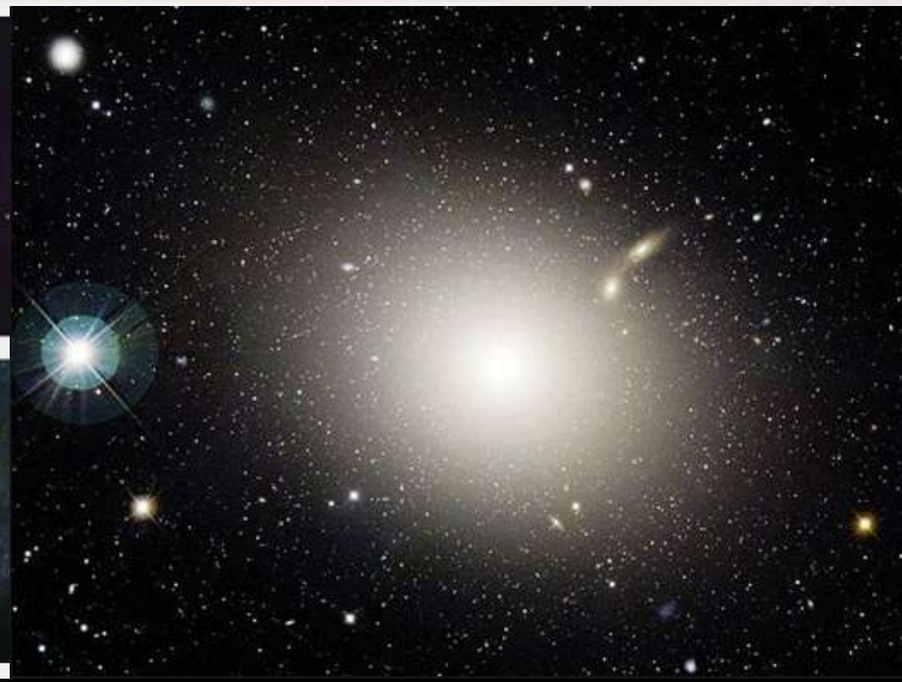
Maggiori costituenti:

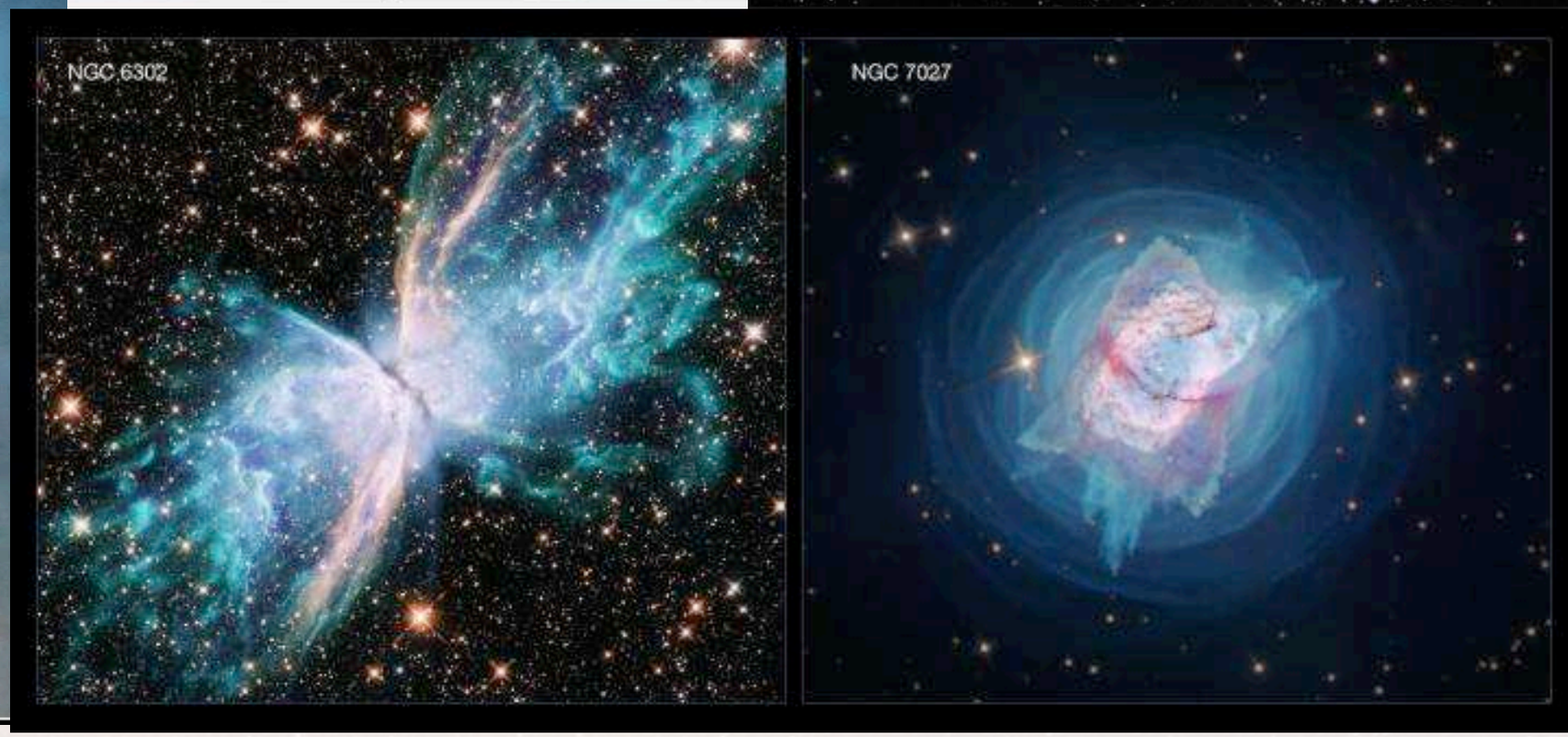
stelle e galassie





Luce ottica

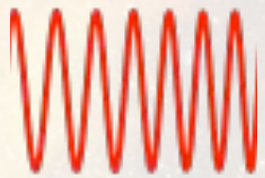




Credits: HST

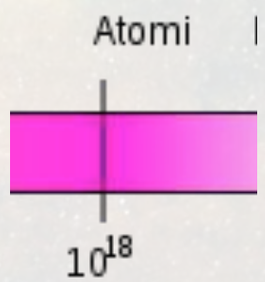
Raggi X

Universo “caldo”
Universo “energetico”



Maggiori costituenti:

resti di esplosioni di supernova

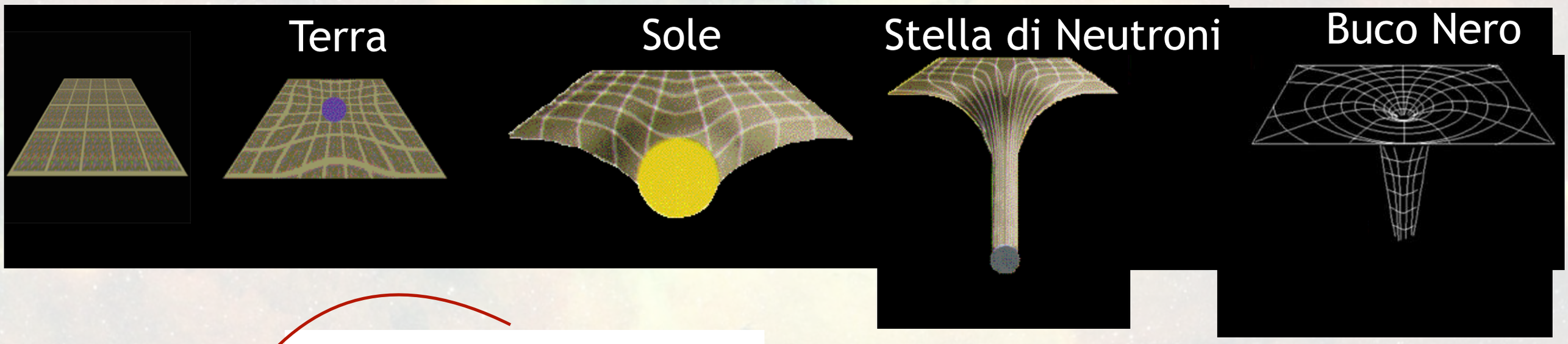


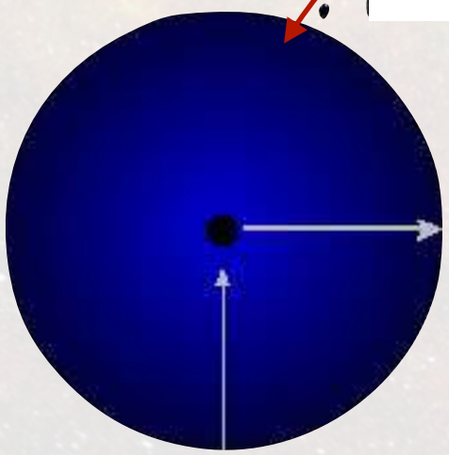
oggetti compatti (stelle di neutroni e buchi neri) in *accrescimento*

ammassi di galassie

I buchi neri

I Buchi Neri sono oggetti astrofisici caratterizzati da un'estrema compatezza, tale per cui **neppure la luce**, quando si avvicina troppo, può fuggire alla loro **attrazione gravitazionale**





ORIZZONTE DEGLI EVENTI

SINGOLARITÀ

RAGGIO DI SCHWARSCHILD

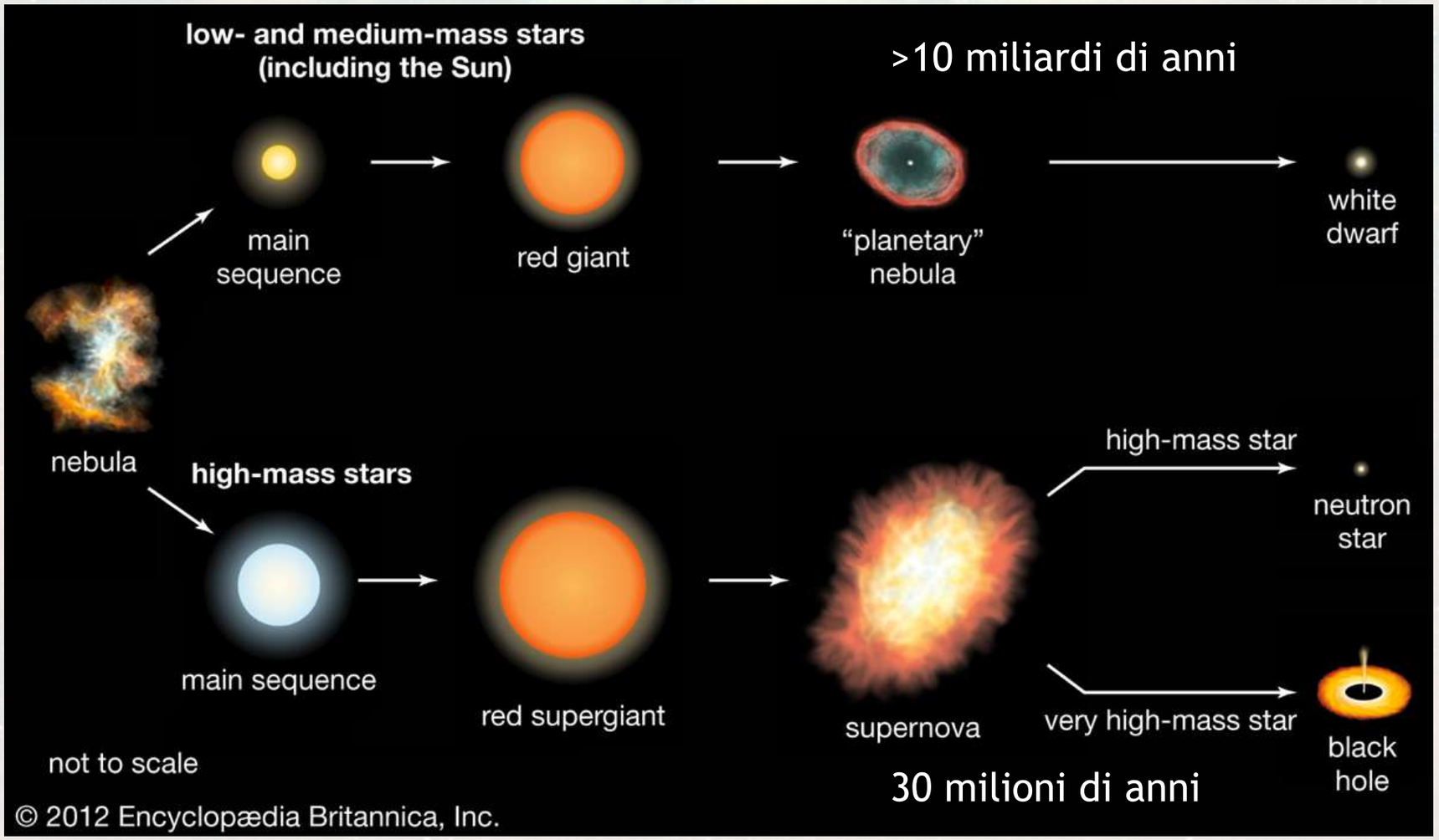
$$R_S \left(\frac{2GM}{c^2}\right) \approx 2{,}95 \frac{M}{M_{Sole}} \text{ km},$$

"è una questione di estrema gravità!!!"

Le taglie dei buchi neri

Buchi Neri stellari
(poco più grandi del Sole, 5-100 $M_\odot$)

Origine: collasso di stelle massicce al termine della loro vita, a seguito delle **esplosioni di Supernova**



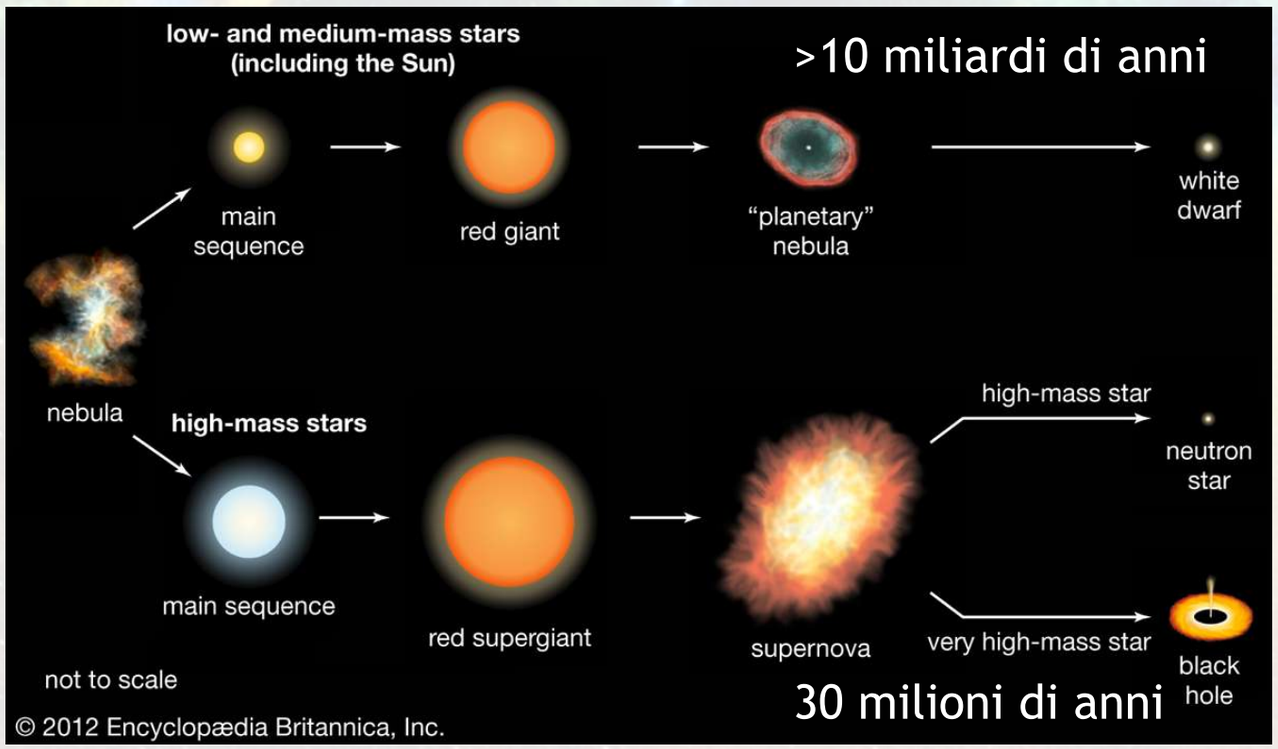
Esplosioni di Supernova - Resti di supernova

Al centro di un resto di supernova si trova una stella di neutroni o un buco nero

Le taglie dei buchi neri

Buchi Neri stellari
(poco più grandi del Sole, 2-100 $M_\odot$)

Origine: collasso di stelle massicce al termine della loro vita, a seguito delle **esplosioni di Supernova**



Buchi Neri "supermassicci"
(da 1 milione a 10 miliardi $M_\odot$)

Origine (?): collasso delle stelle massicce presenti quando l'universo aveva poche centinaia di milioni di anni *oppure* collasso diretto di grandi nubi di gas >10000 $M_\odot$

A caccia di buchi neri (1)

È possibile rivelare un Buco nero solo se della materia vi **orbita attorno** o vi cade sopra (**accrescimento**)

Gli astronomi misurano gli “effetti” della presenza di buchi neri

“Se veramente esistessero in natura corpi la cui densità fosse non minore di quella del Sole, […] poichè la loro luce non potrebbe giungerci […] non potremmo averne alcuna informazione visiva; tuttavia, se per caso altri corpi luminosi dovessero ruotare intorno ad essi, potremmo forse ancora dedurre dai moti di questi corpi orbitanti l'esistenza di quelli centrali.”

da una memoria di John Michell
letta alla Royal Society di Londra da Henry Cavendish nel 1783

A caccia di buchi neri (1)

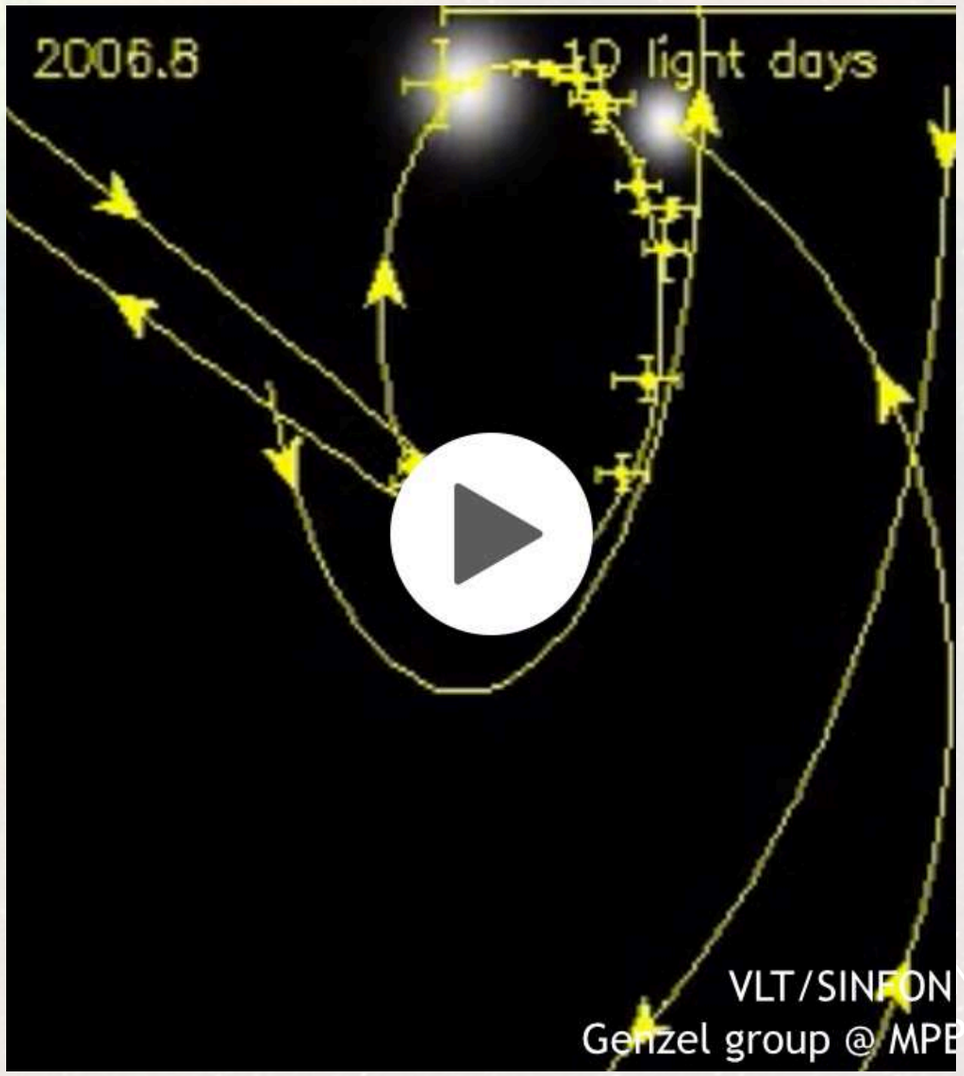
È possibile individuare la presenza di un Buco nero solo attraverso effetti legati **all'attrazione gravitazionale** che esercita sul materiale circostante:

1) osservando il **moto della materia** che vi orbita attorno (stelle e/o gas)

Applicazione delle **Leggi di Keplero!**

Massa di SgrA*:
4 milioni di volte la massa del Sole

Sgr A* (centro galattico)



*Mappa della zona centrale della **nostra galassia** con il telescopio da 8m VLT e con tecnologia all'avanguardia (ottica adattiva).*

Premio Nobel per la Fisica del 2020

30 anni di osservazioni, 2 gruppi concorrenti

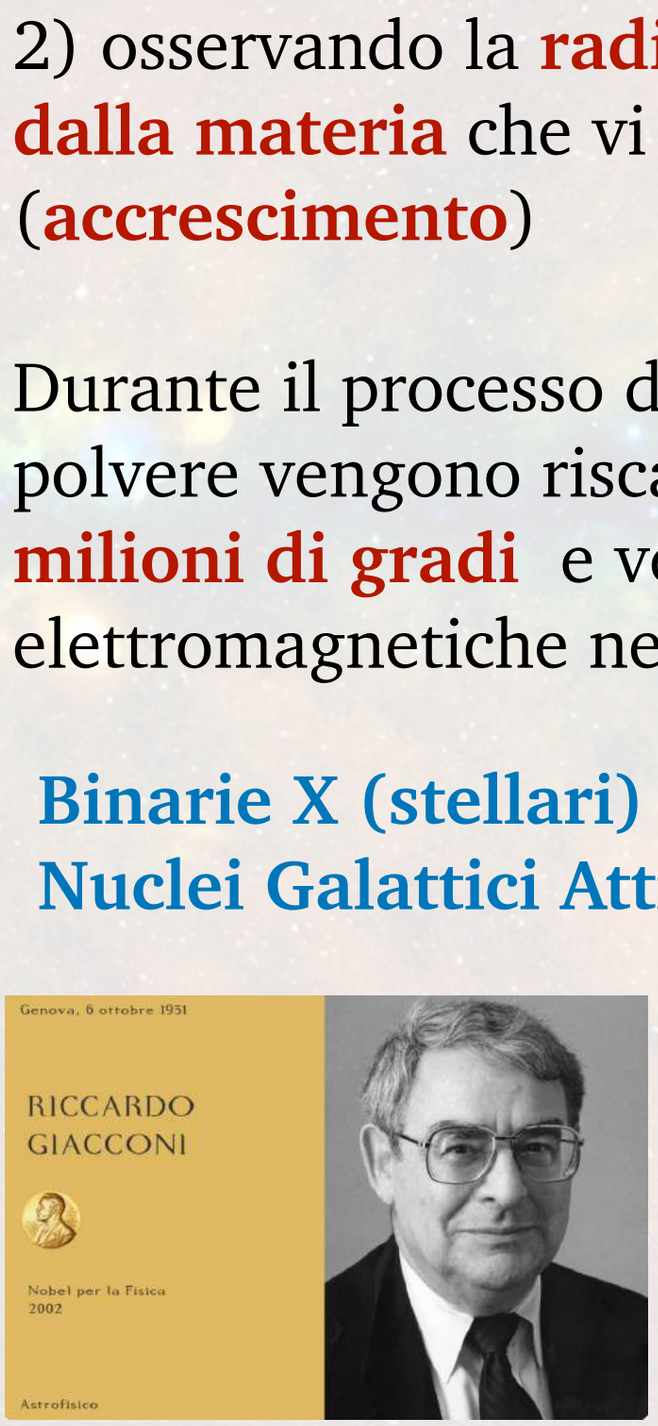
A caccia di buchi neri (2)

È possibile individuare la presenza di un Buco nero solo attraverso effetti legati **all'attrazione gravitazionale** che esercita sul materiale circostante:

2) osservando la **radiazione prodotta dalla materia** che vi cade sopra (**accrescimento**)

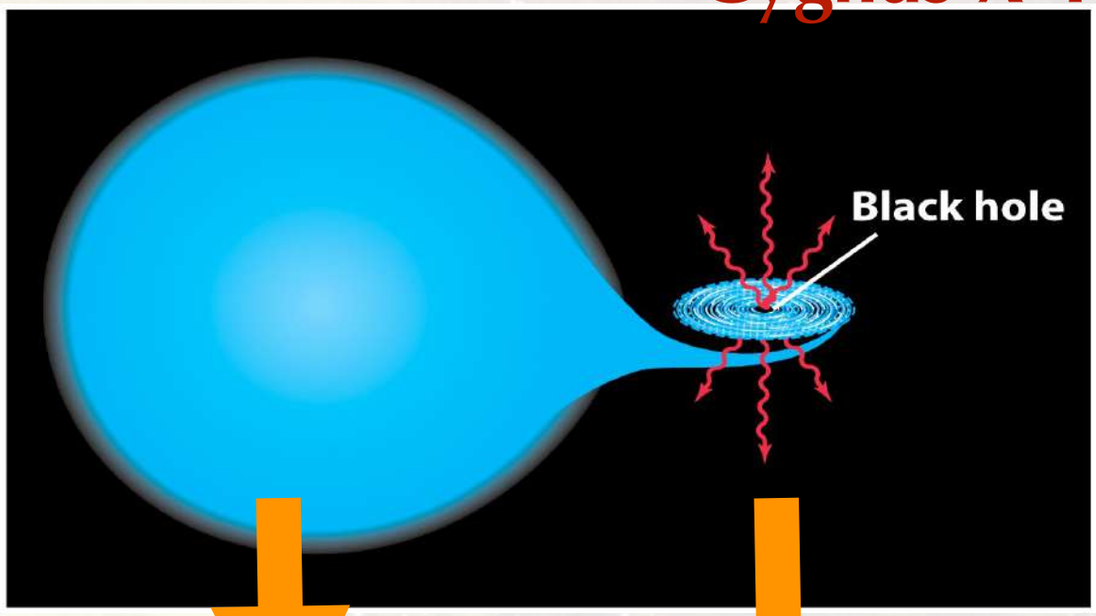
Durante il processo di accrescimento gas e polvere vengono riscaldati fino a **vari milioni di gradi** e vengono emesse onde elettromagnetiche nella ***banda X***

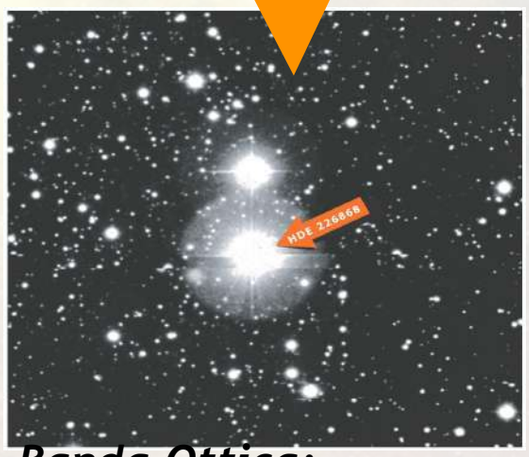
Binarie X (stellari)
Nuclei Galattici Attivi (supermassicci)



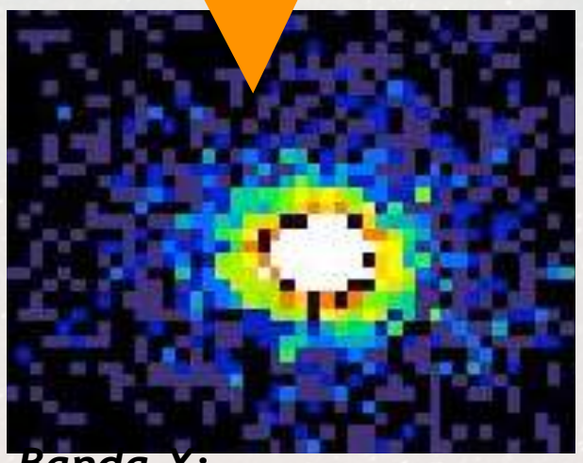
Premio Nobel per la Fisica del 2002
Riccardo Giacconi

Cygnus X-1





Banda Ottica: stella che cede il suo materiale al buco nero



Banda X: materiale riscaldato che cade sul Buco nero

Ammassi di galassie

Gli ammassi di galassie sono le strutture piu' grandi che esistono nell'Universo
Centinaia o migliaia di Galassie tenute assieme dalla **forza di Gravità**

Ammasso galattico Abell 370. Al suo interno sono notevoli le distorsioni create dall'effetto di lente gravitazionale. Crediti ESA/NASA/Hubble.

Ammassi di galassie

Gli ammassi di galassie sono le strutture piu' grandi che esistono nell'Universo
Centinaia o migliaia di Galassie tenute assieme dalla **forza di Gravità**

Le galassie sono visibili nella banda ottica, ma non sono gli unici componenti degli ammassi di Galassie…. in termini di massa sono le componenti *meno* importanti!

1) GAS RAREFATTO MOLTO CALDO (10 milioni di gradi)

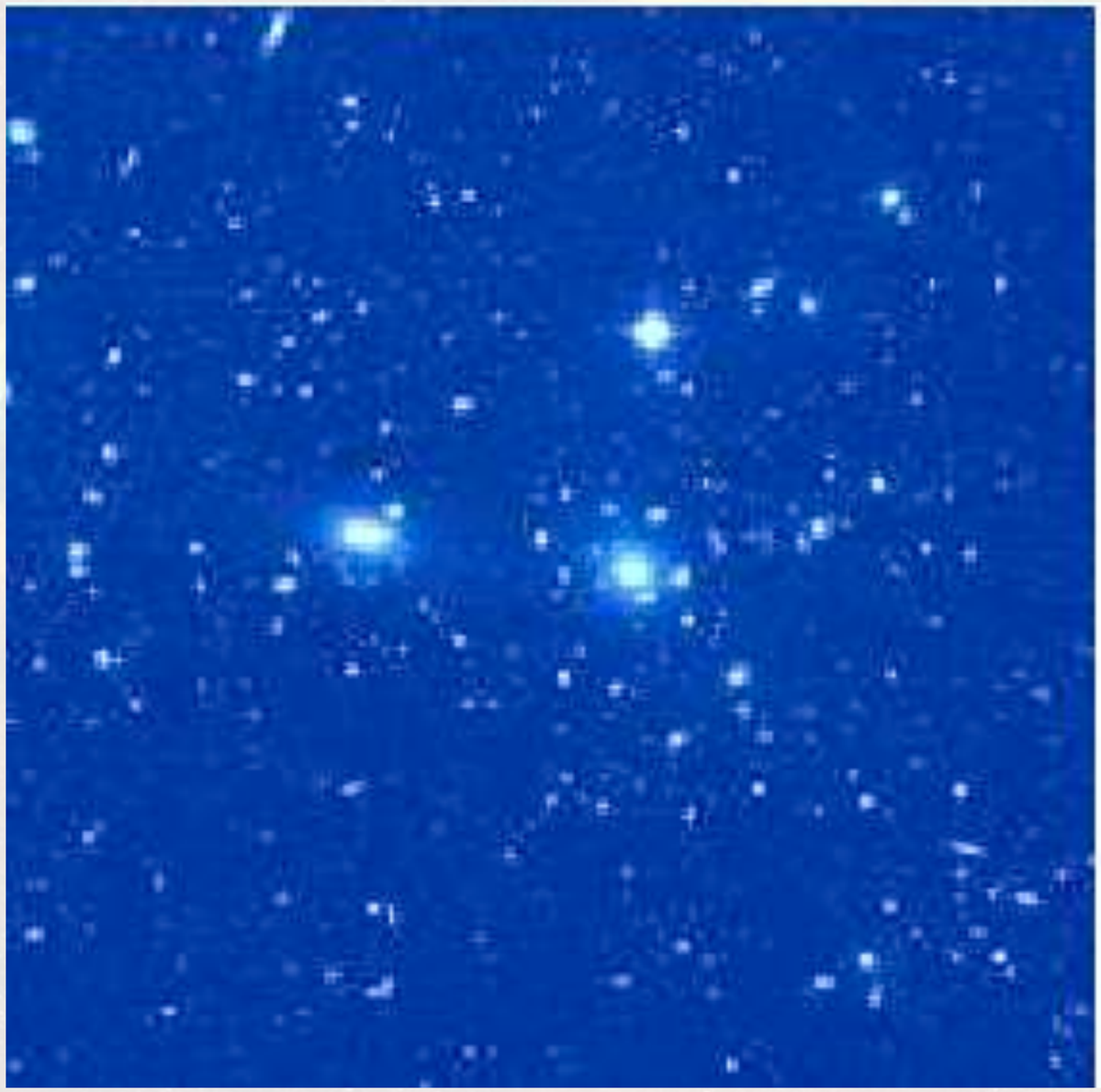
—> visibile in banda X !

2) MATERIA OSCURA

—> non visibile

Ammassi di galassie

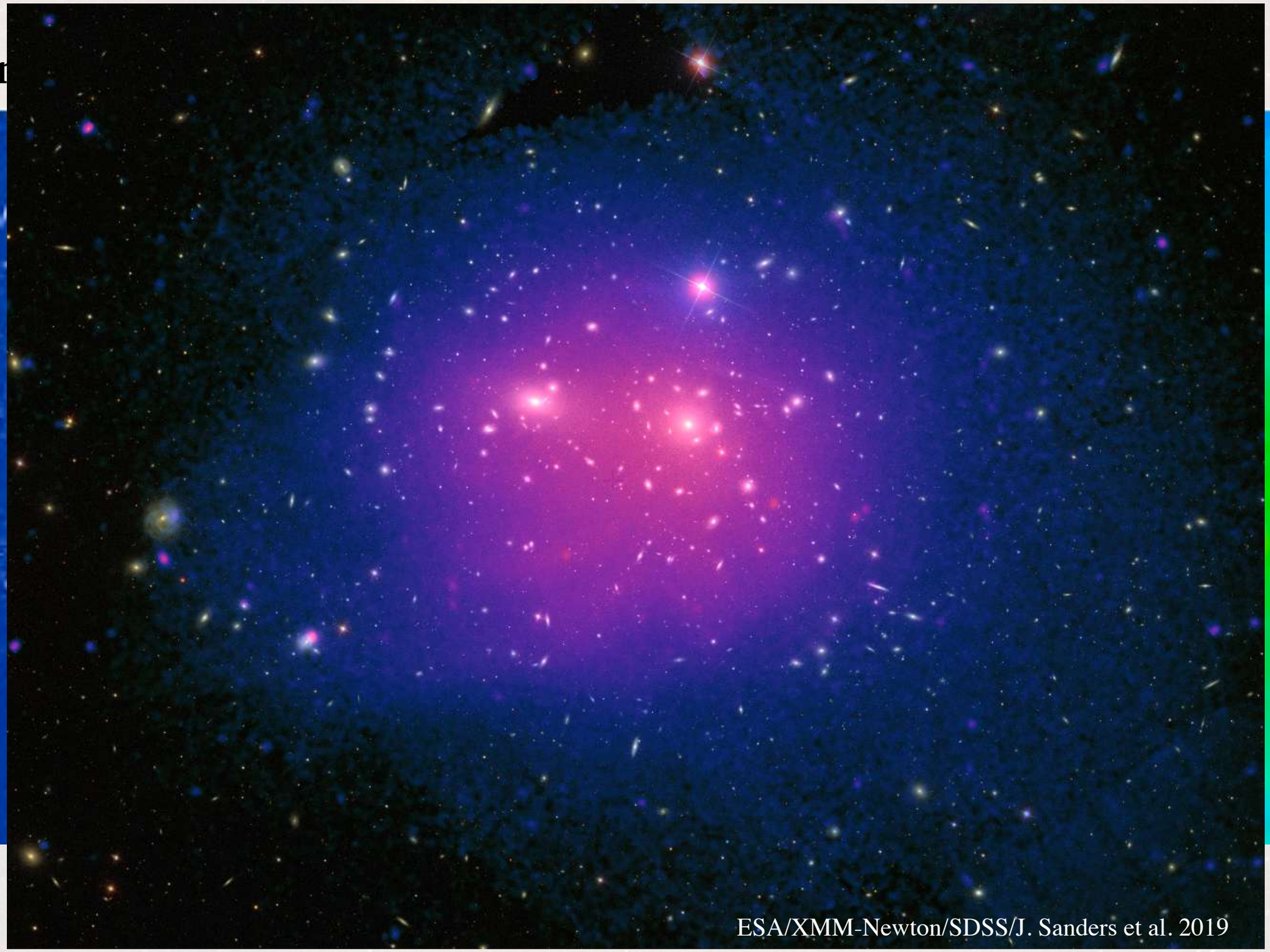
Ammasso di Coma - banda OTTICA



Galassie

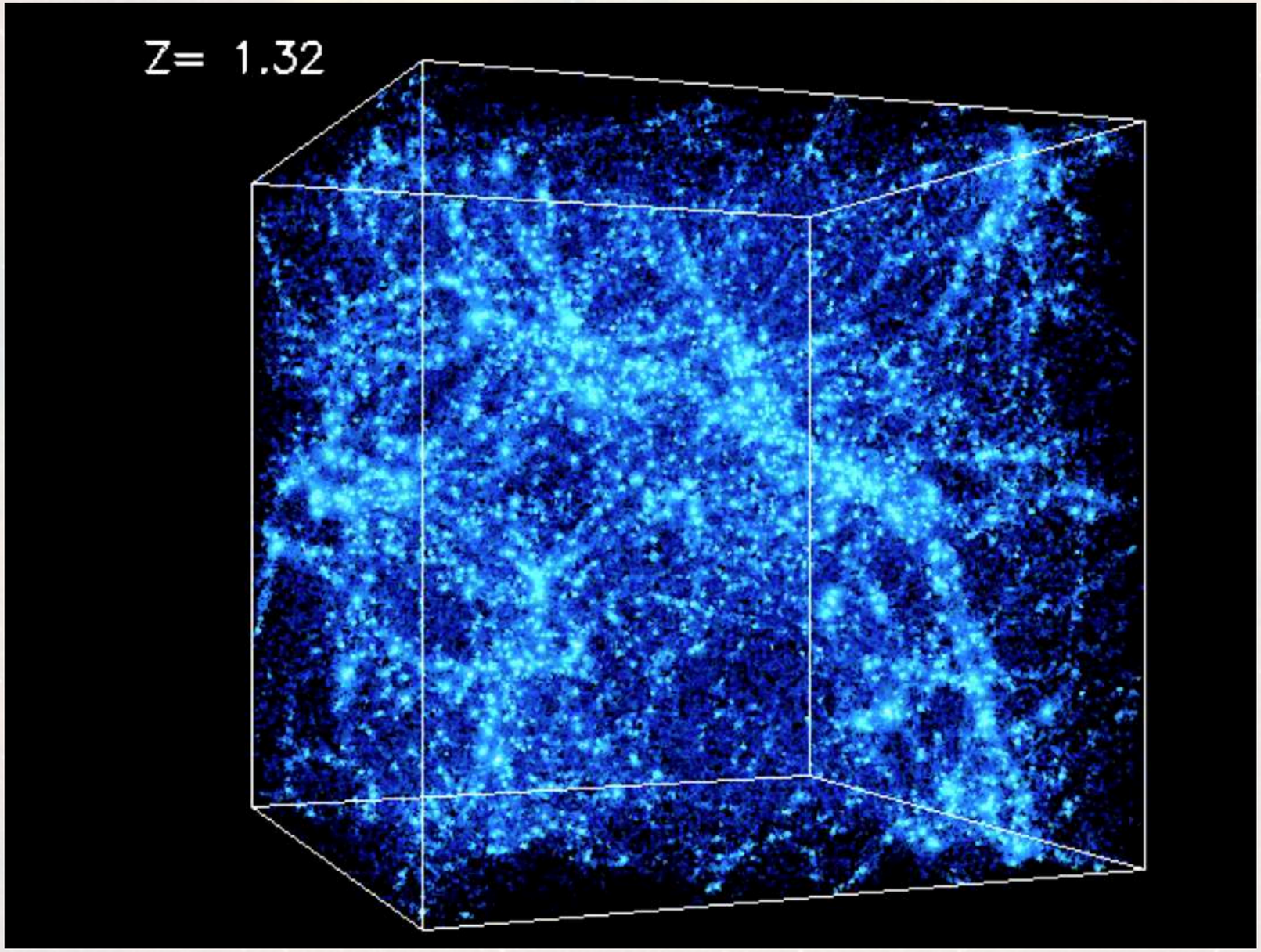
Ammassi di galassie

Amm



X

Ammassi di galassie
e la struttura dell'Universo

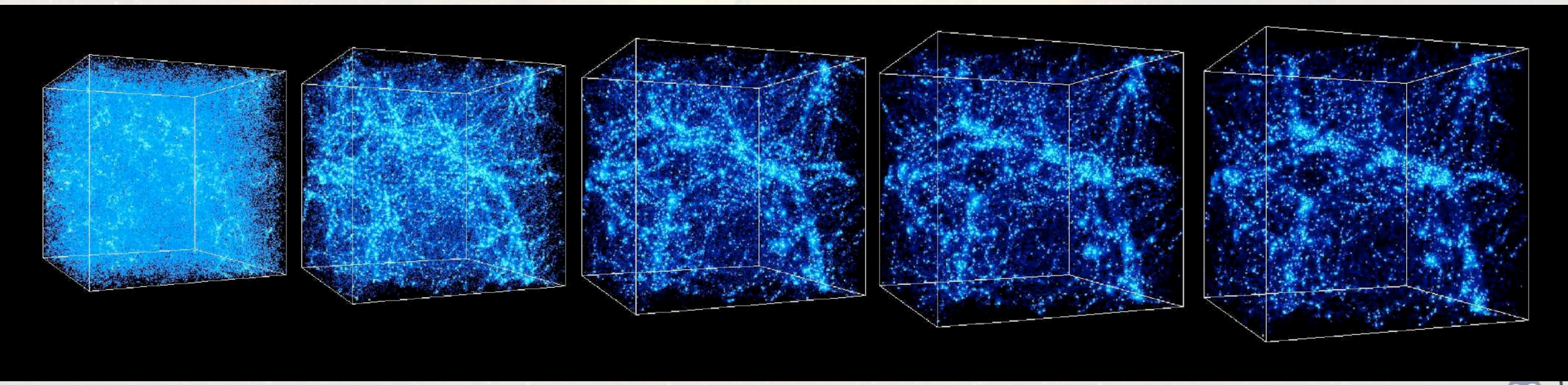


Ammassi di galassie
e la struttura dell'Universo

La **quantità** e la **natura** della materia oscura determina la distribuzione su grande scala di Galassie e ammassi di Galassie

La distribuzione nello spazio tridimensionale degli ammassi di galassie cambia nel tempo (l'Universo si espande!)

13.5 miliardi di anni fa | **12 miliardi di anni fa** | **8 miliardi di anni fa** | **5 miliardi di anni fa** | **Oggi**



Costituenti del cielo X: cosa *vediamo*?

1) **(Resti di) Esplosioni di Supernova:**
   mezzo interstellare riscaldato a temperature di milioni di gradi
   facili da riconoscere nelle immagini X
   (sorgenti molto estese e luminose)

2) **Accrescimento su buchi neri (stellari e supermassicci):**
   materia in caduta riscaldata a temperature di milioni di gradi
   facili da riconoscere nelle immagini X
   (sorgenti puntiformi e molto comuni)

3) **Ammassi di galassie:**
   gas caldo con temperature di milioni, decine di milioni di gradi
   facili da riconoscere nelle immagini X
   (sorgenti estese e luminose)

Costituenti del cielo X: cosa *impariamo*?

1) **(Resti di) Esplosioni di Supernova:**
   meccanismi di accelerazione di particelle a ~ velocità della luce
   interazione con il mezzo interstellare (onda d'urto)

2) **Accrescimento su buchi neri (stellari e supermassicci):**
   materia in condizioni estreme
   test della relatività generale
   formazione ed evoluzione delle galassie

3) **Ammassi di galassie:**
   quantità di materia nell'universo
   materia oscura
   energia oscura

Radiazione X

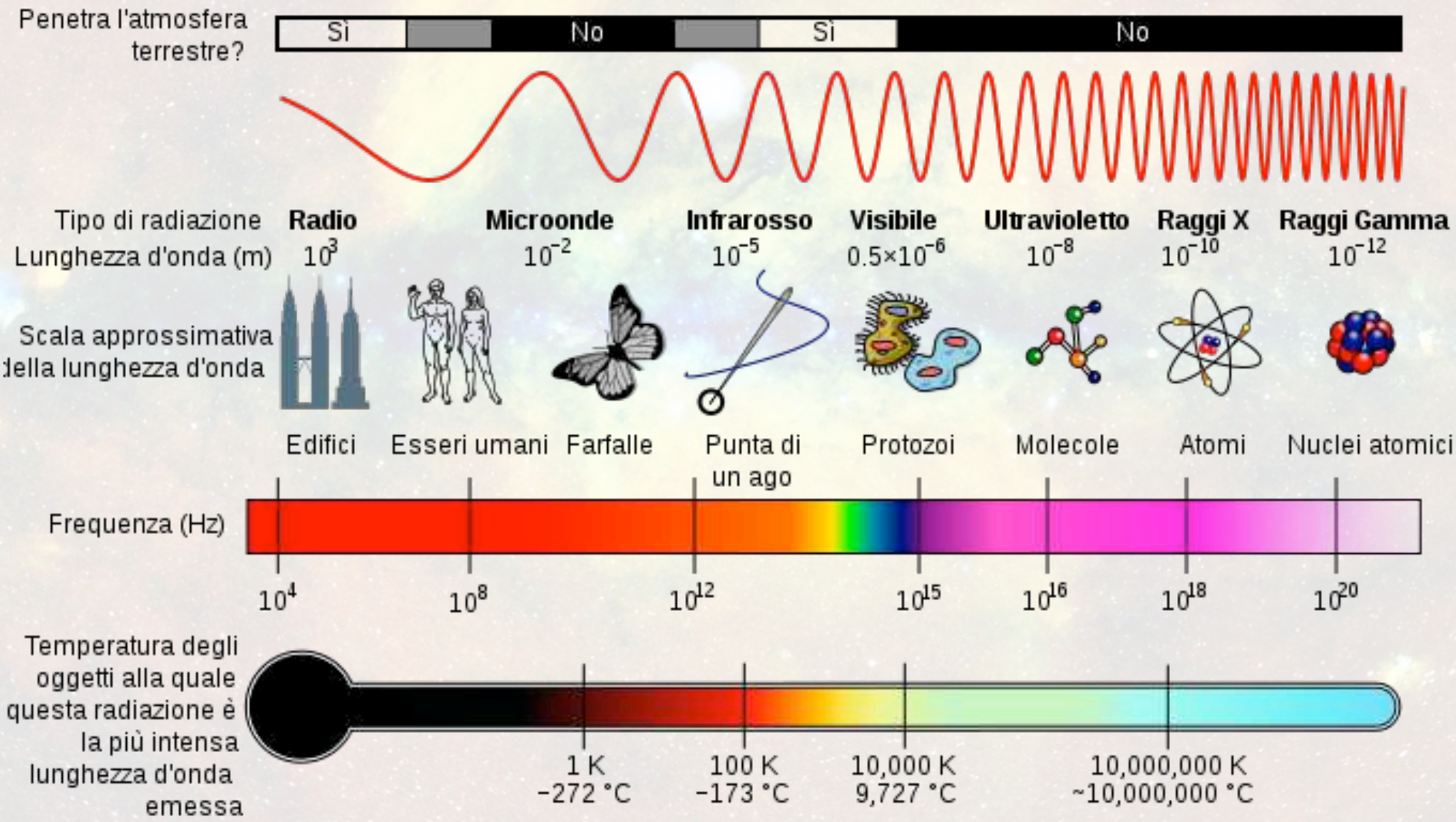
Il telescopio eROSITA

Galleria di immagini

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

Telescopi spaziali

Le osservazioni in **banda X** sono possibili solo utilizzando **telescopi spaziali**



eROSITA

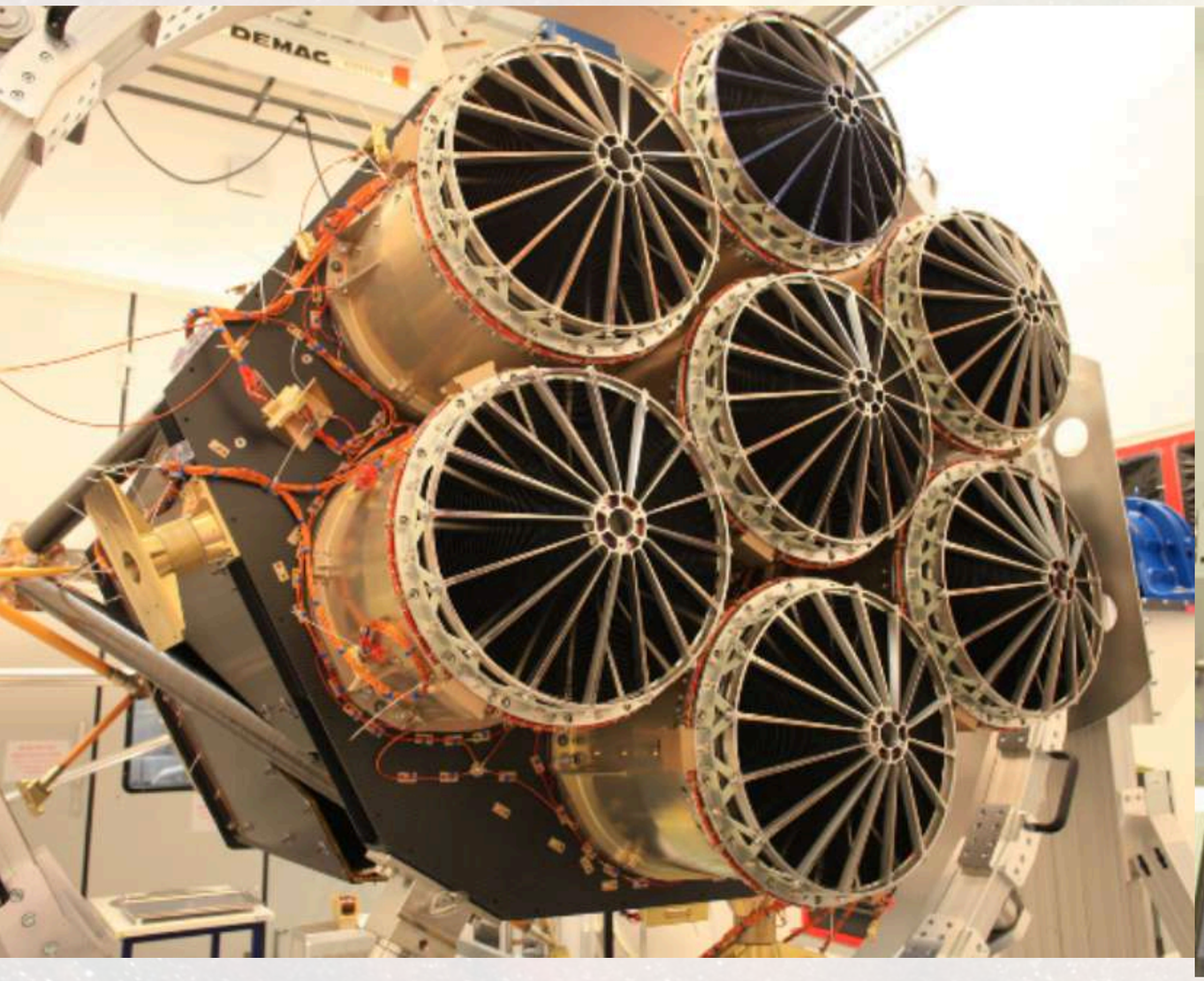
eROSITA: extended ROentgen Survey with an Imaging Telescope Array

eROSITA 2019
(0.2-5 keV)
60-2.4 Å

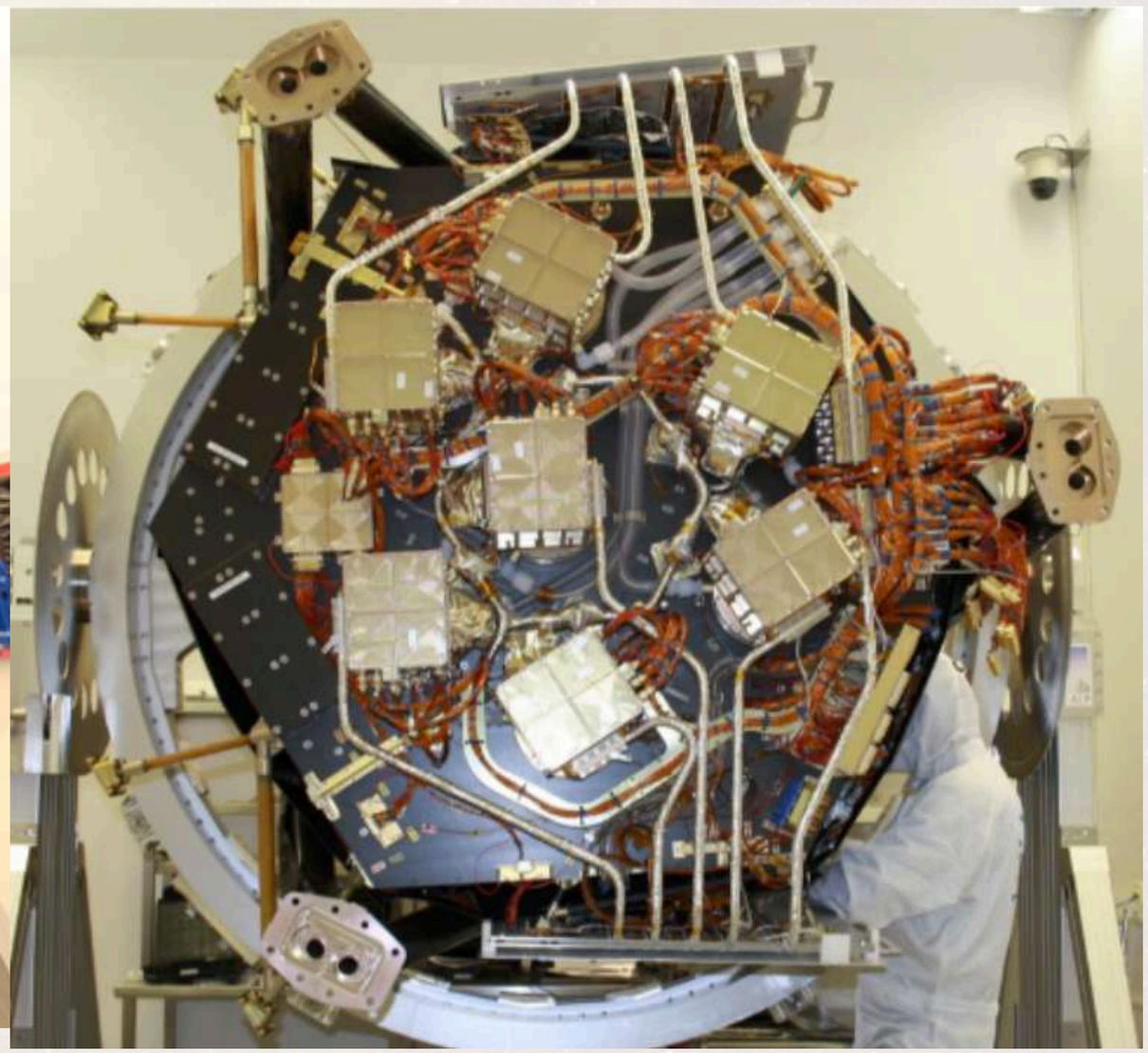
Telescopio *tedesco* su una missione *Russo/Tedesca*
Spektrum Roentgen Gamma(SRG)

eROSITA
il telescopio

Fronte



Retro



Specchio
(7 moduli identici)

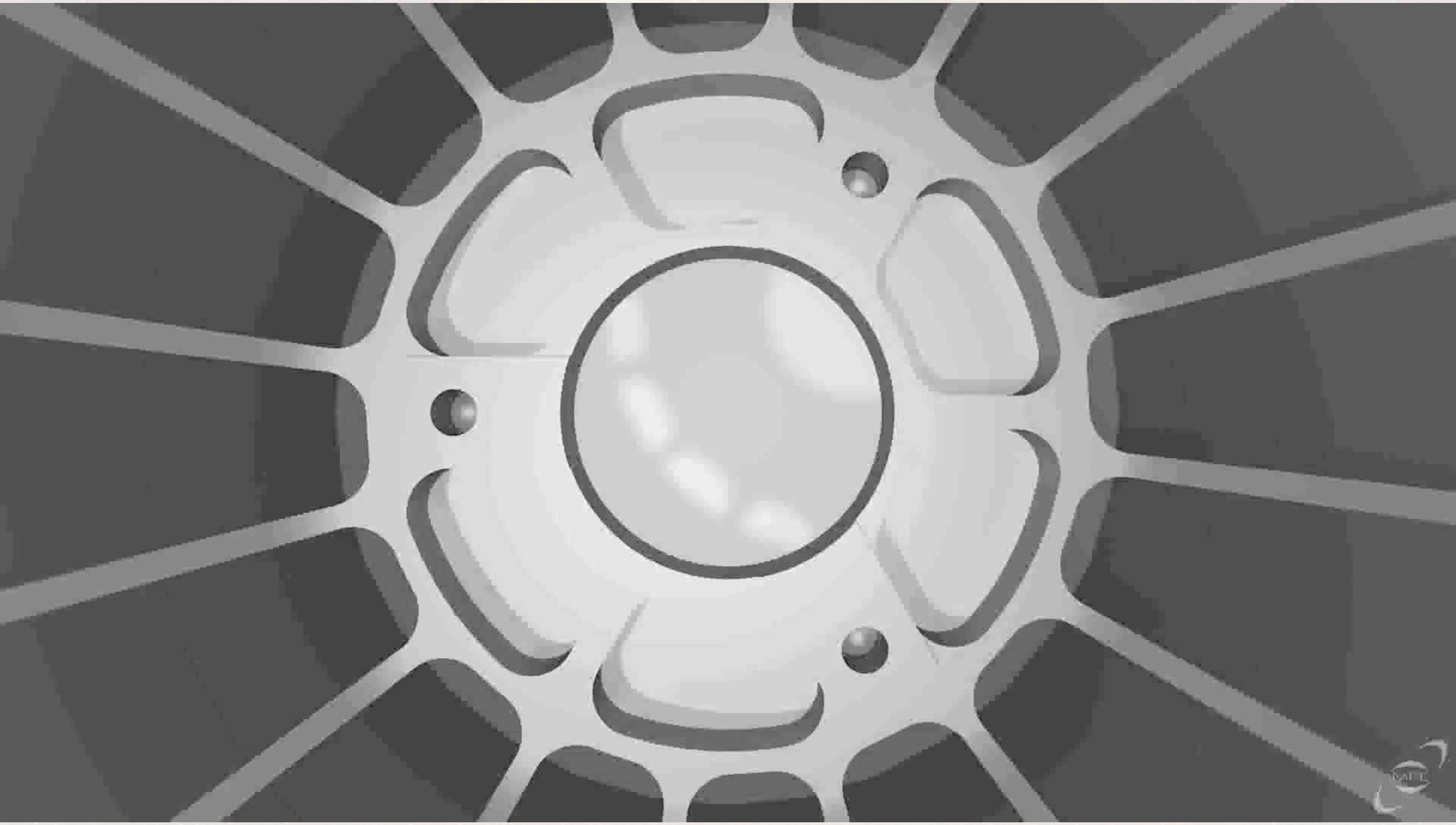
Rivelatori
(7 CCDs identici)

eROSITA
zoom sullo “specchio”

eROSITA

54 “shells” (fogli)
spessore: ***0.5mm***
diametro: ***36 cm***
lunghezza focale: ***1.6 m***
materiale: **Nickel**
Oro (copertura)

eROSITA



Animated Model of eROSITA (credit: D. Pietschner, MPE)
available on eROSITA webpage

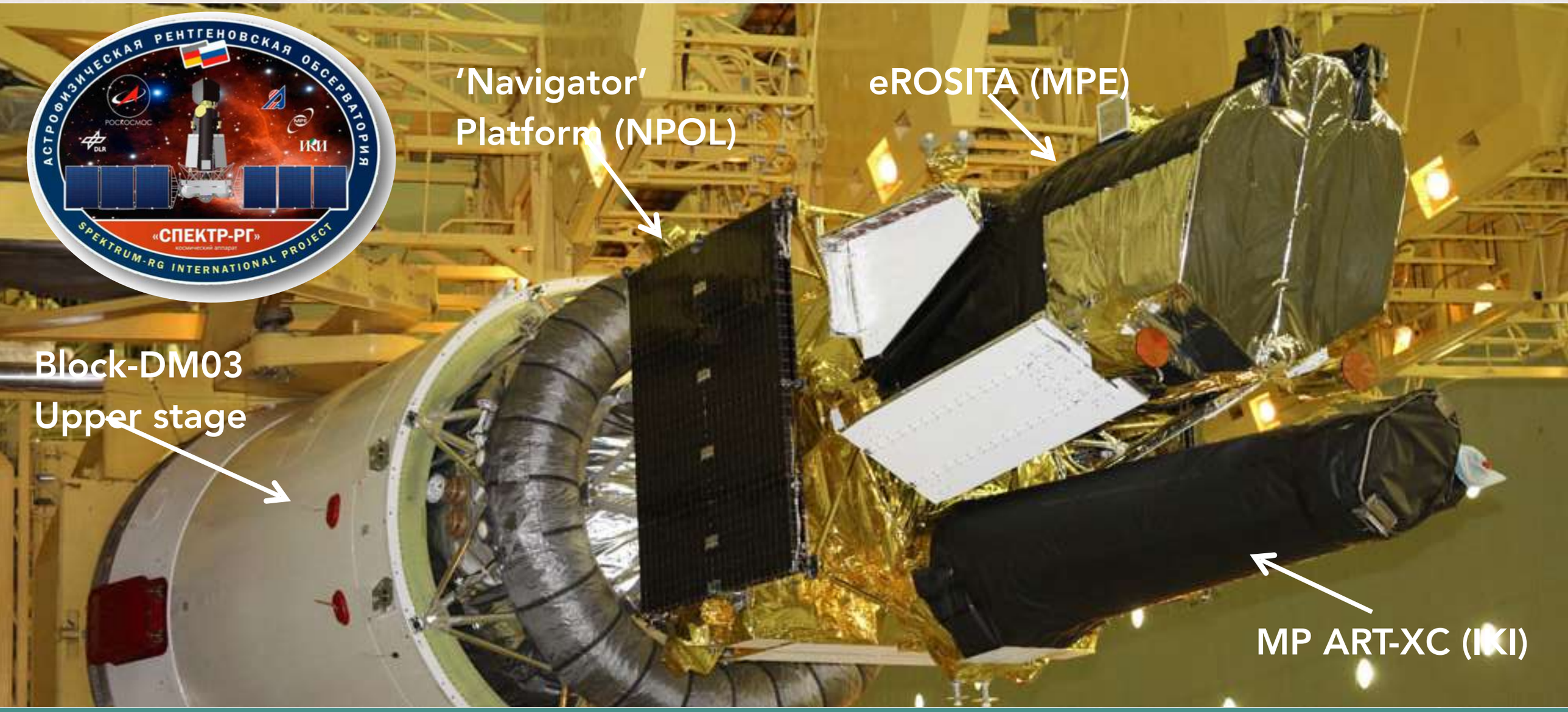
eROSITA
il telescopio

PI: Andrea Merloni (MPE)
Peter Predehl (MPE)

consorzio di ~10 istituti/università
guidato dal Max Planck Institute
für Extraterrestrische Physik

eROSITA

il satellite SRG (Spektrum Roentgen Gamma)



Source: Roscosmos

A. Merloni, SRG/eROSITA EDR 28.06.2021

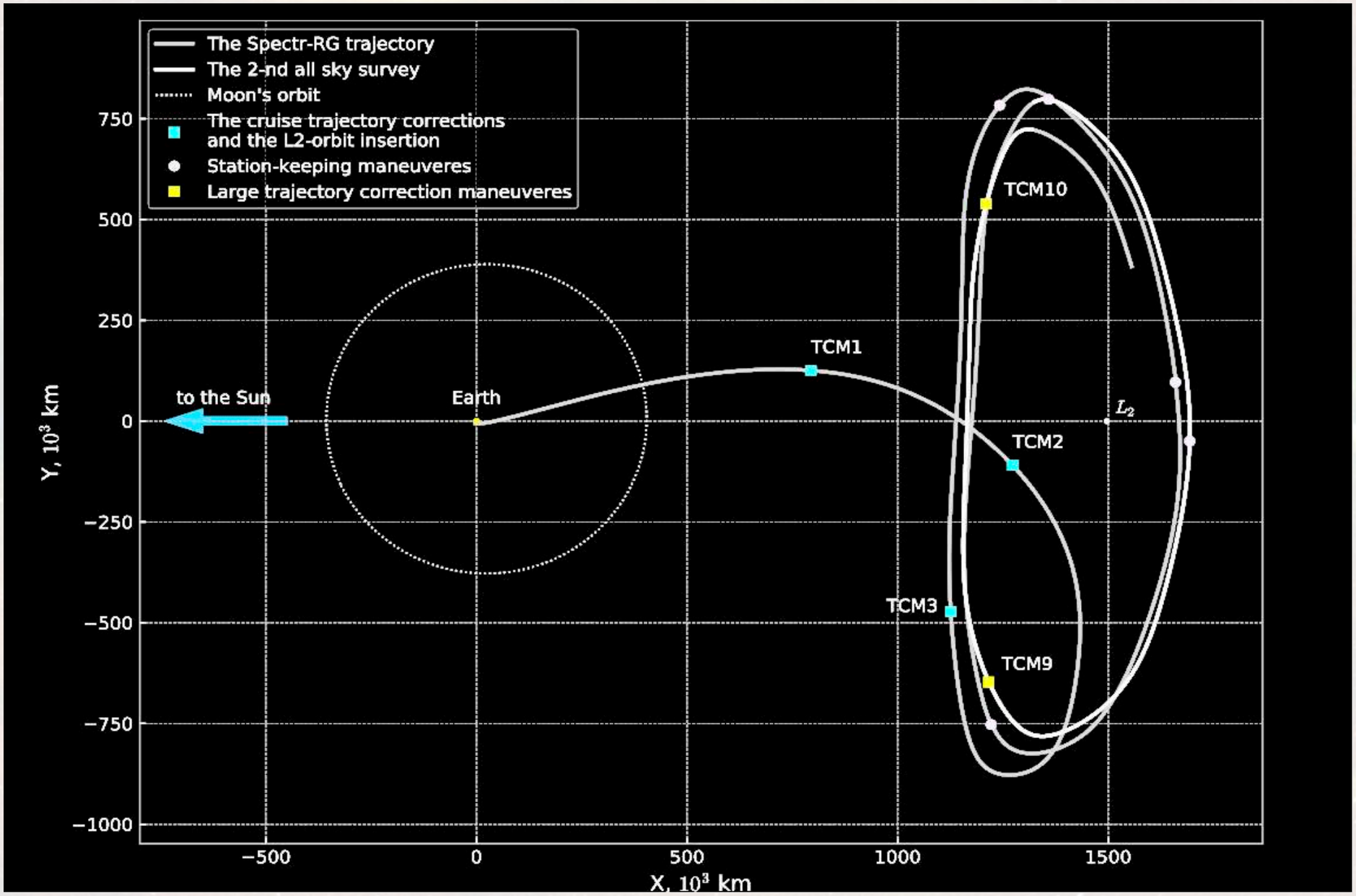
SRG ospita anche un telescopio Russo
Michail Pavlinsky ART-XC (5-100 keV)

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

eROSITA
il lancio

eROSITA

eROSITA
dove si trova?



Punto Lagrangiano L2 del sistema Terra-Sole
1.5 milioni di km dalla Terra (insieme a Herschel, Planck, Gaia, JWST,..)

eROSITA
dove si trova?

Punto Lagrangiano L2 del sistema Terra-Sole
1.5 milioni di km dalla Terra (insieme a Herschel, Planck, Gaia, JWST,..)

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

La forza di eROSITA:

il "grande campo"

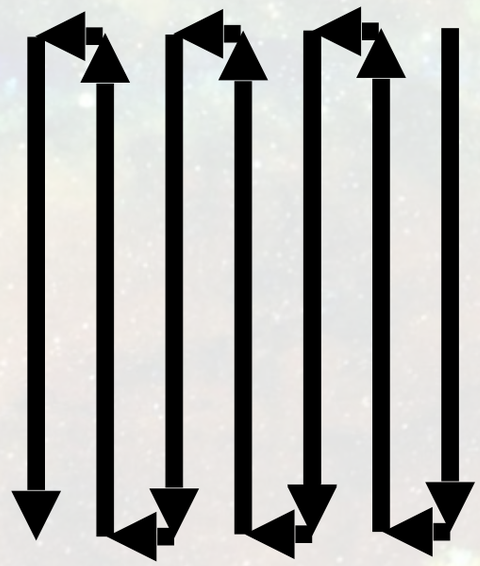
Diametro della Luna
30 arcmin

XMM-Newton
Campo di vista ~ 30 arcmin

Chandra
Campo di vista ~ 17 arcmin

eROSITA
Campo di vista ~ 62 arcmin

+



Strategia di osservazione "scan"

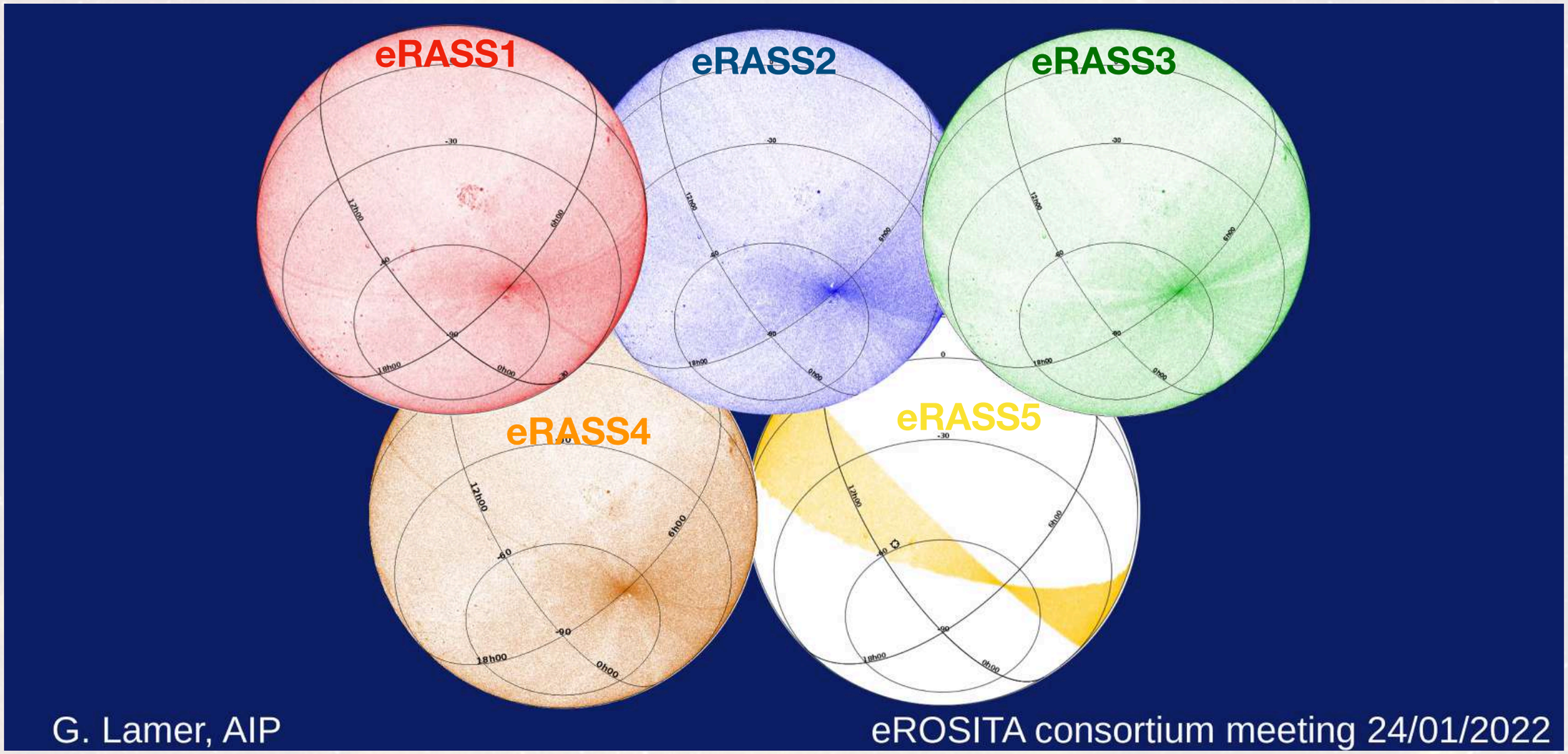
eROSITA
un grandangolo per il cielo X

video available on eROSITA webpage

4 anni di osservazioni dedicate ad osservare tutto il cielo
2 nuove “mappe” all’anno
Prima mappa rilasciata il 19 giugno 2020

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

eROSITA
un grandangolo per il cielo X



4 anni di osservazioni dedicate ad osservare tutto il cielo
2 nuove "mappe" all'anno —> 2 *censimenti* all'anno!
Prima mappa rilasciata il 19 giugno 2020

Radiazione X

Il telescopio eROSITA

Galleria di immagini

(selezione personale, c'è *molto* di più)

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

il cielo in banda ottica

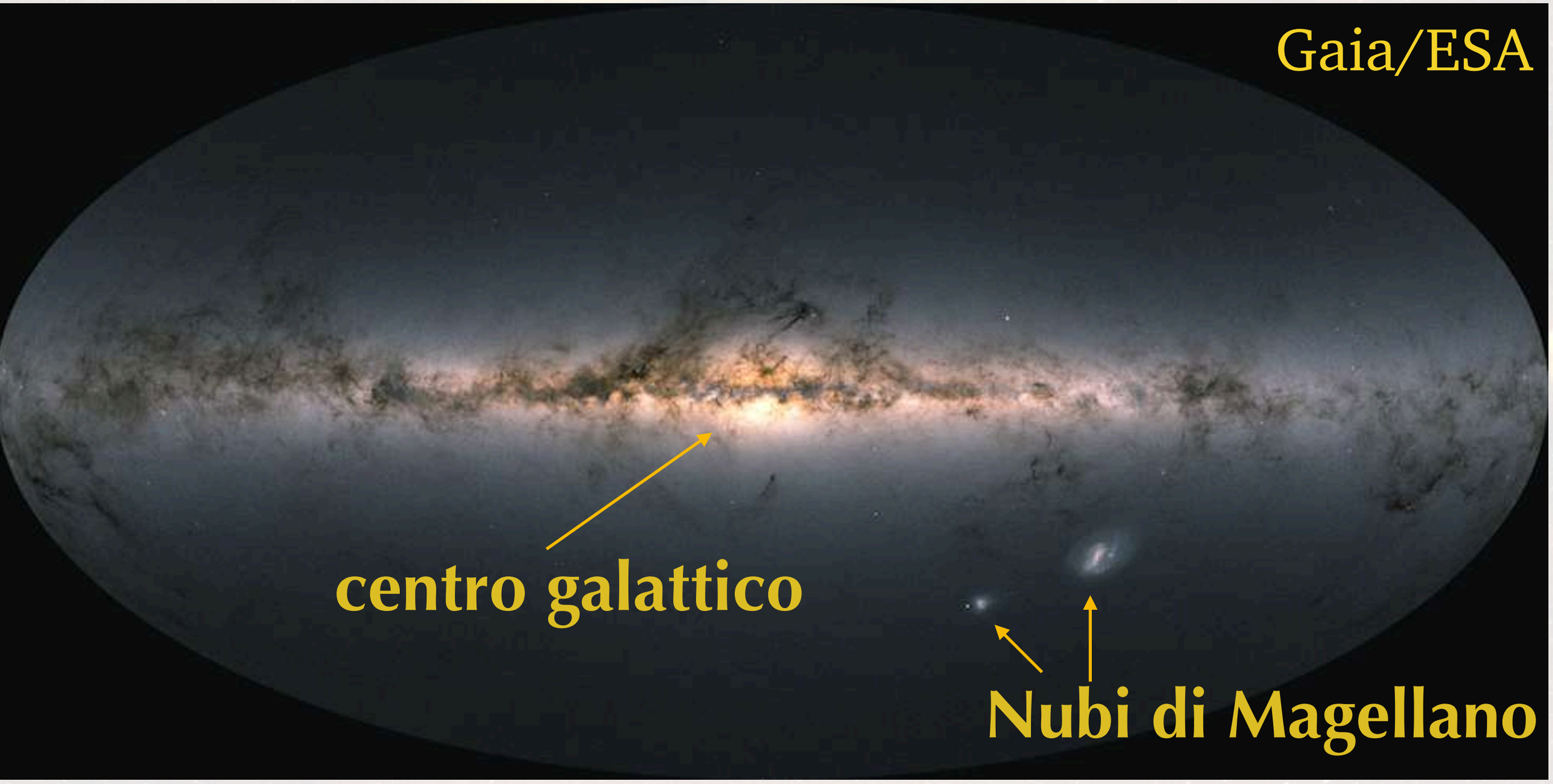


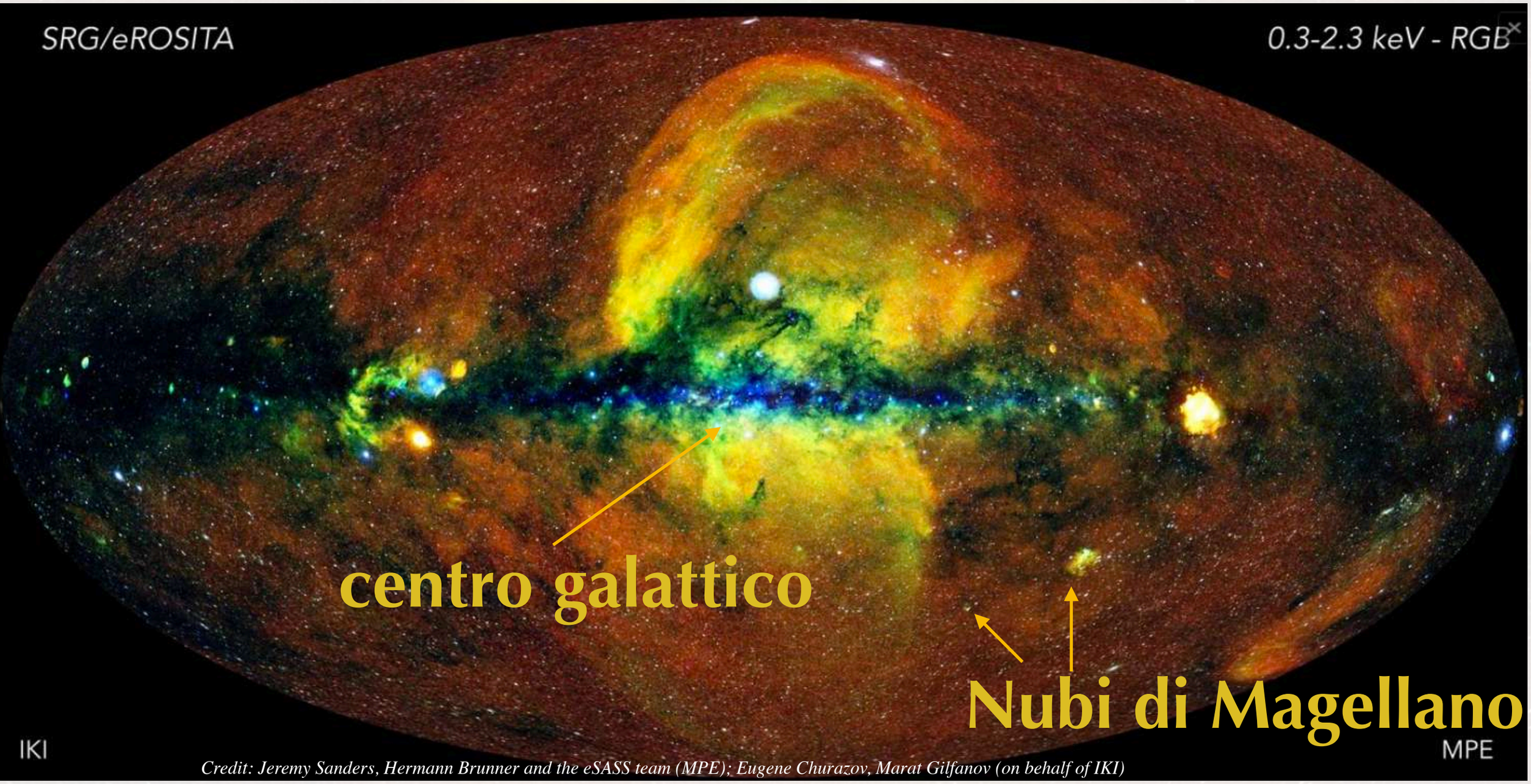
Image credit: ESA / Gaia / DPAC / CC BY-SA 3.0 IGO / A. Moitinho - Hammer Projection

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

La prima mappa del cielo di eROSITA

eRASS1 - eROSITA All Sky Survey 1

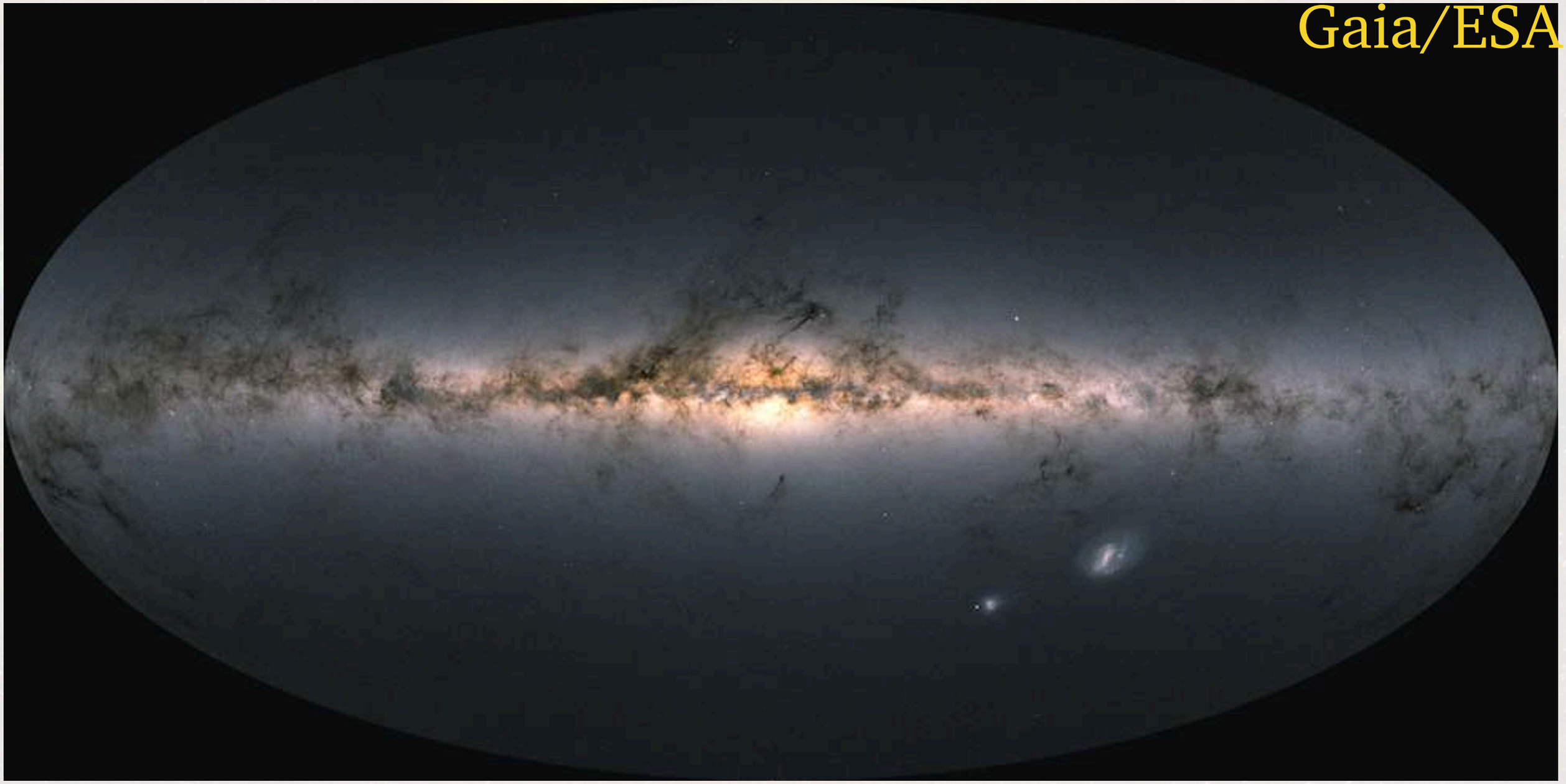
6 mesi di osservazioni continue tra dicembre 2019 e giugno 2020



Credit: Jeremy Sanders, Hermann Brunner and the eSASS team (MPE); Eugene Churazov, Marat Gilfanov (on behalf of IKI)

La mappa disponibile precedente era del 1990! (ROSAT)

il cielo in banda ottica

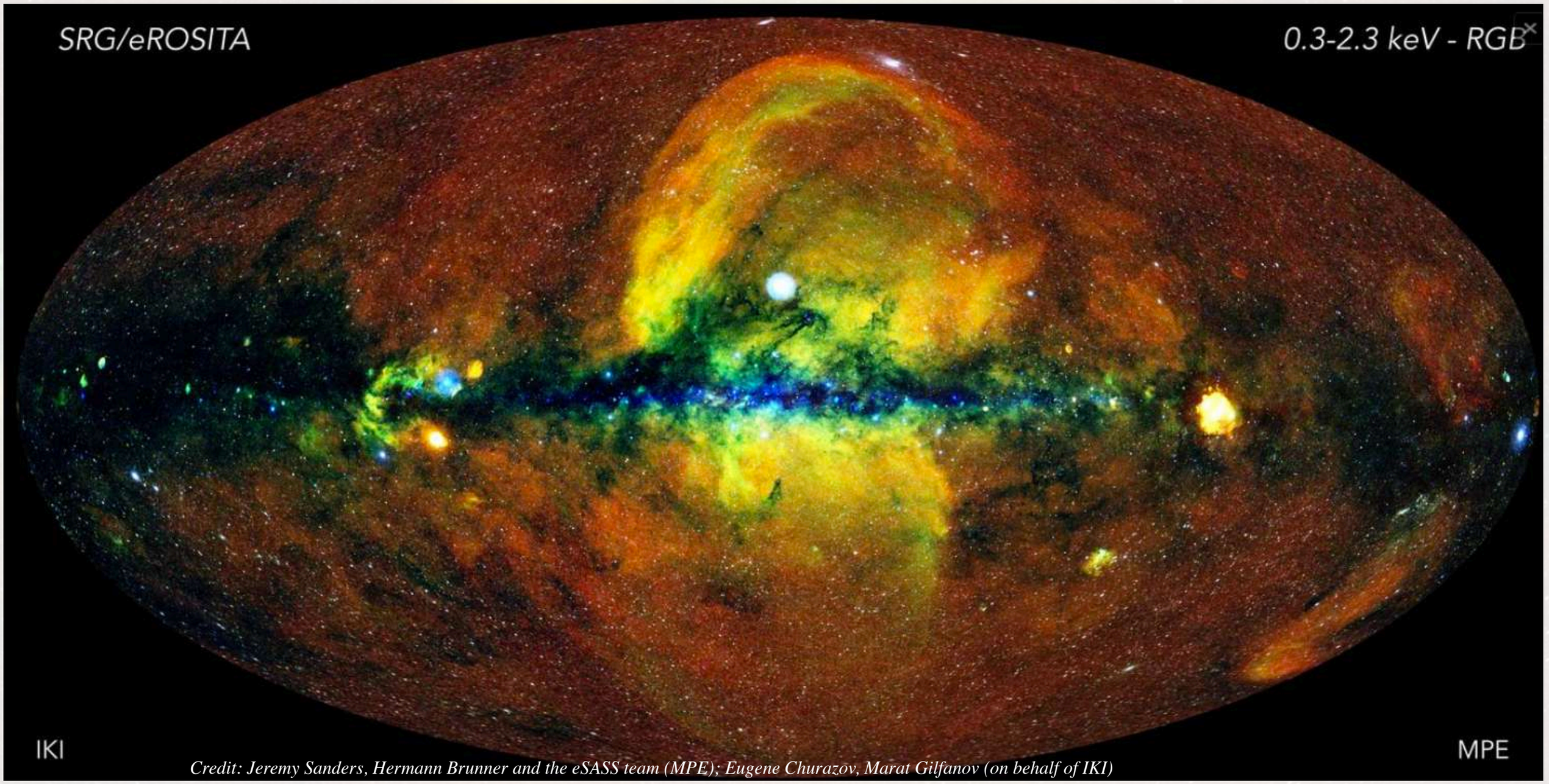


Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

La prima mappa del cielo di eROSITA

eRASS1 - eROSITA All Sky Survey 1

6 mesi di osservazioni continue tra dicembre 2019 e giugno 2020



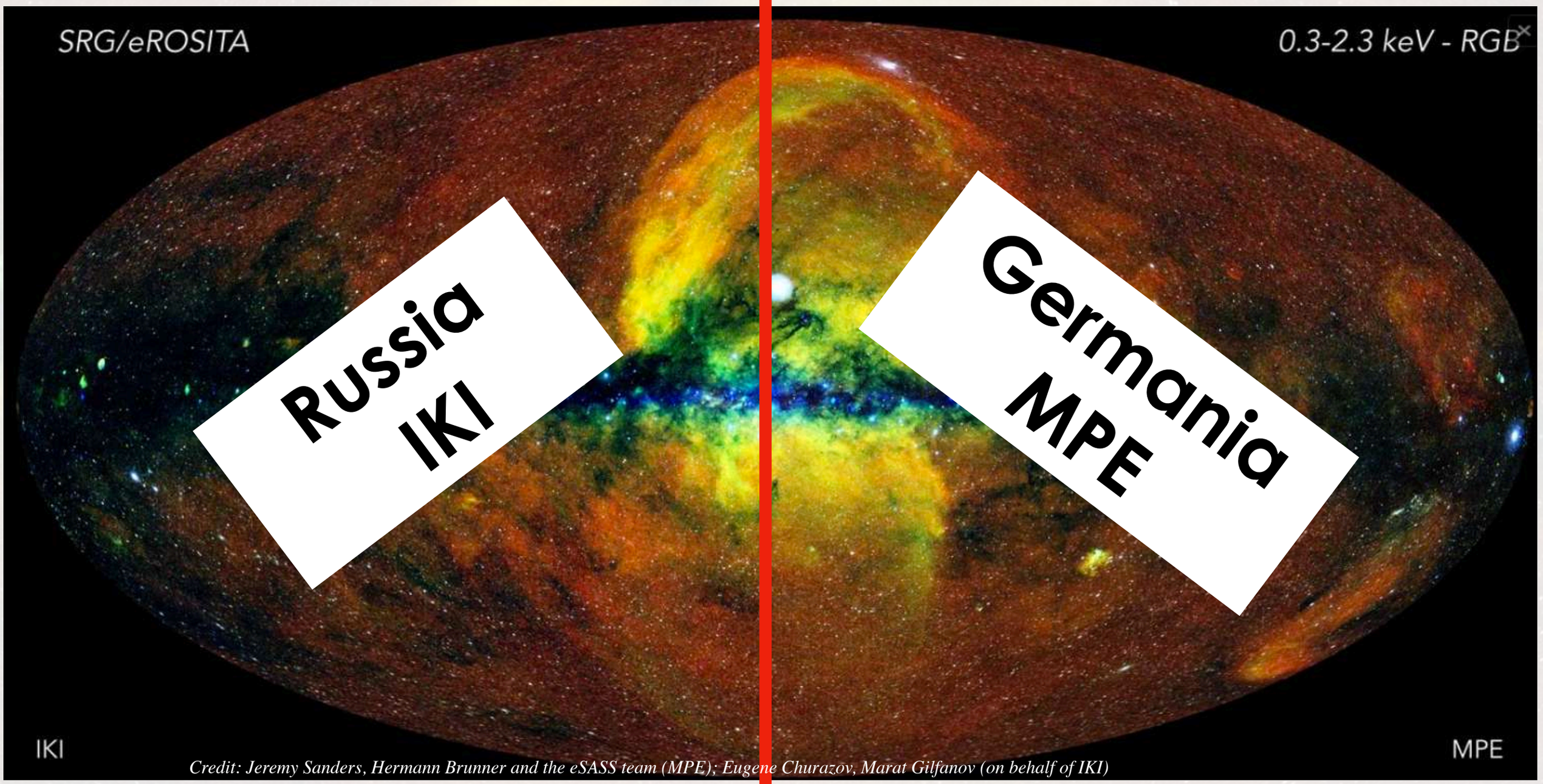
Credit: Jeremy Sanders, Hermann Brunner and the eSASS team (MPE); Eugene Churazov, Marat Gilfanov (on behalf of IKI)

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

La prima mappa del cielo di eROSITA

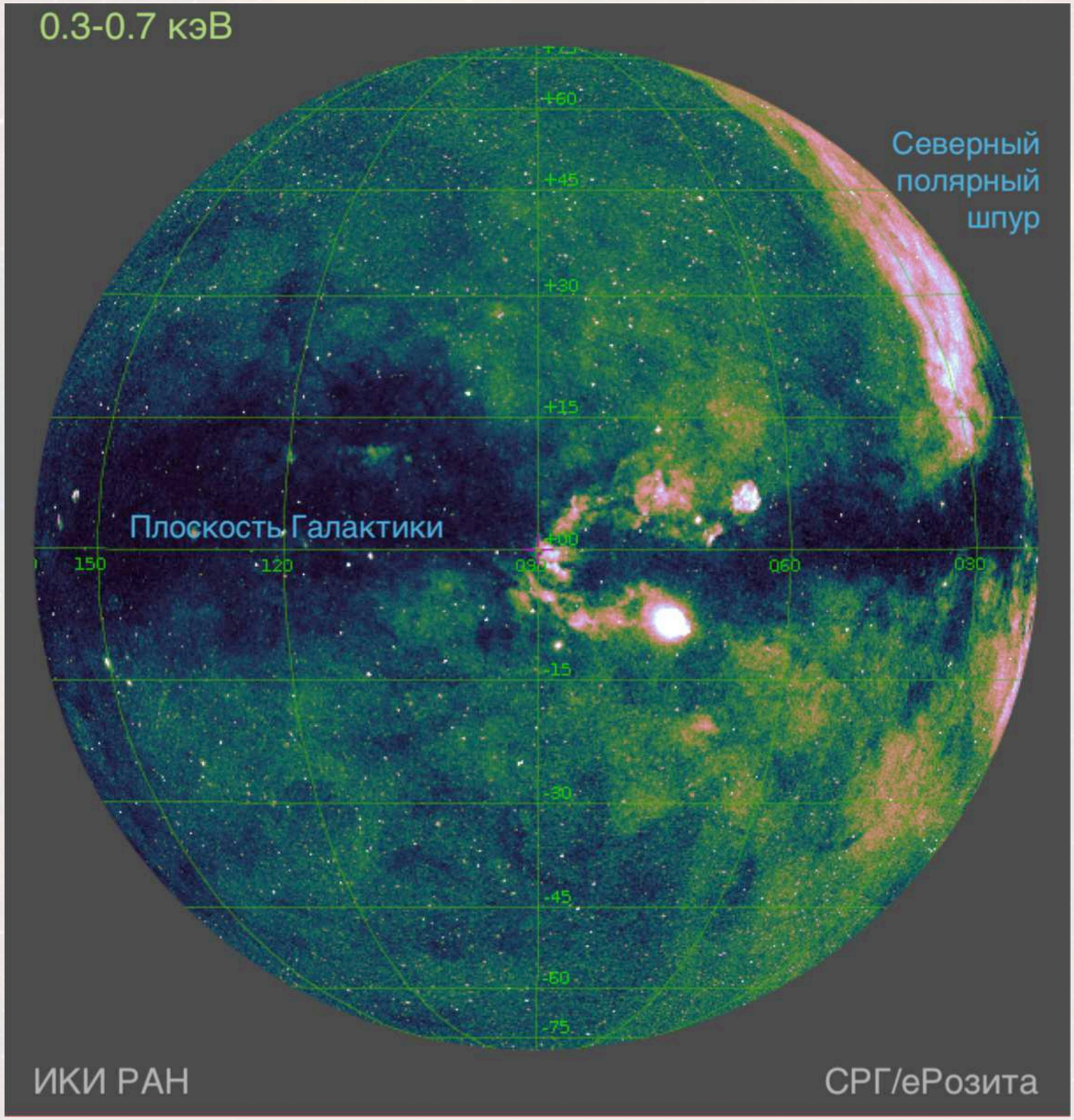
eRASS1 - eROSITA All Sky Survey 1

6 mesi di osservazioni continue tra dicembre 2019 e giugno 2020



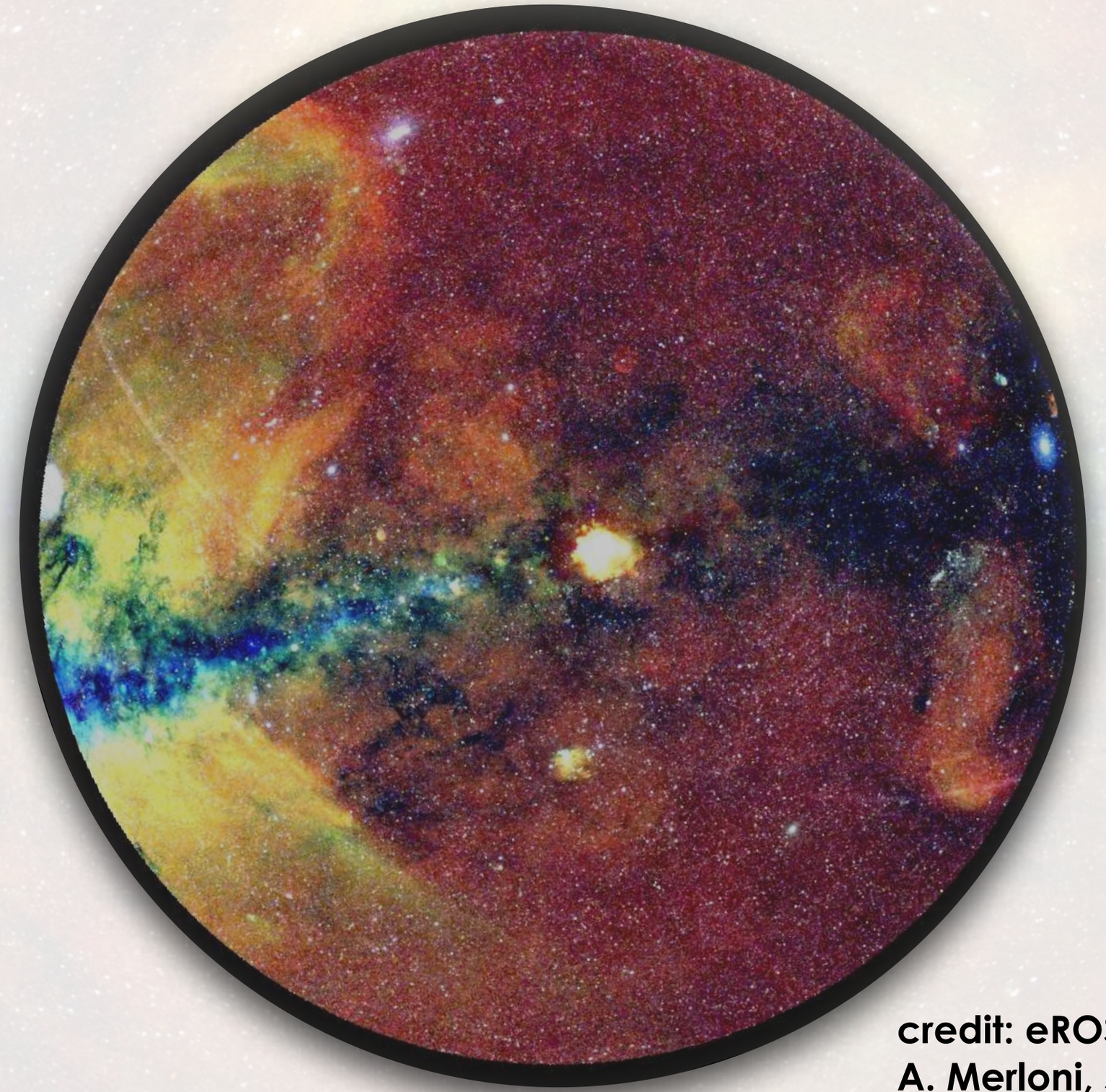
Credit: Jeremy Sanders, Hermann Brunner and the eSASS team (MPE); Eugene Churazov, Marat Gilfanov (on behalf of IKI)

La metà russa…



https://www.tellerreport.com/tech/2020-07-17-%22first-map%22--russian-astrophysicist---on-a-review-of-the-entire-sky--neutron-stars-and-x-ray-navigation.ryr9BJ-kxw.html

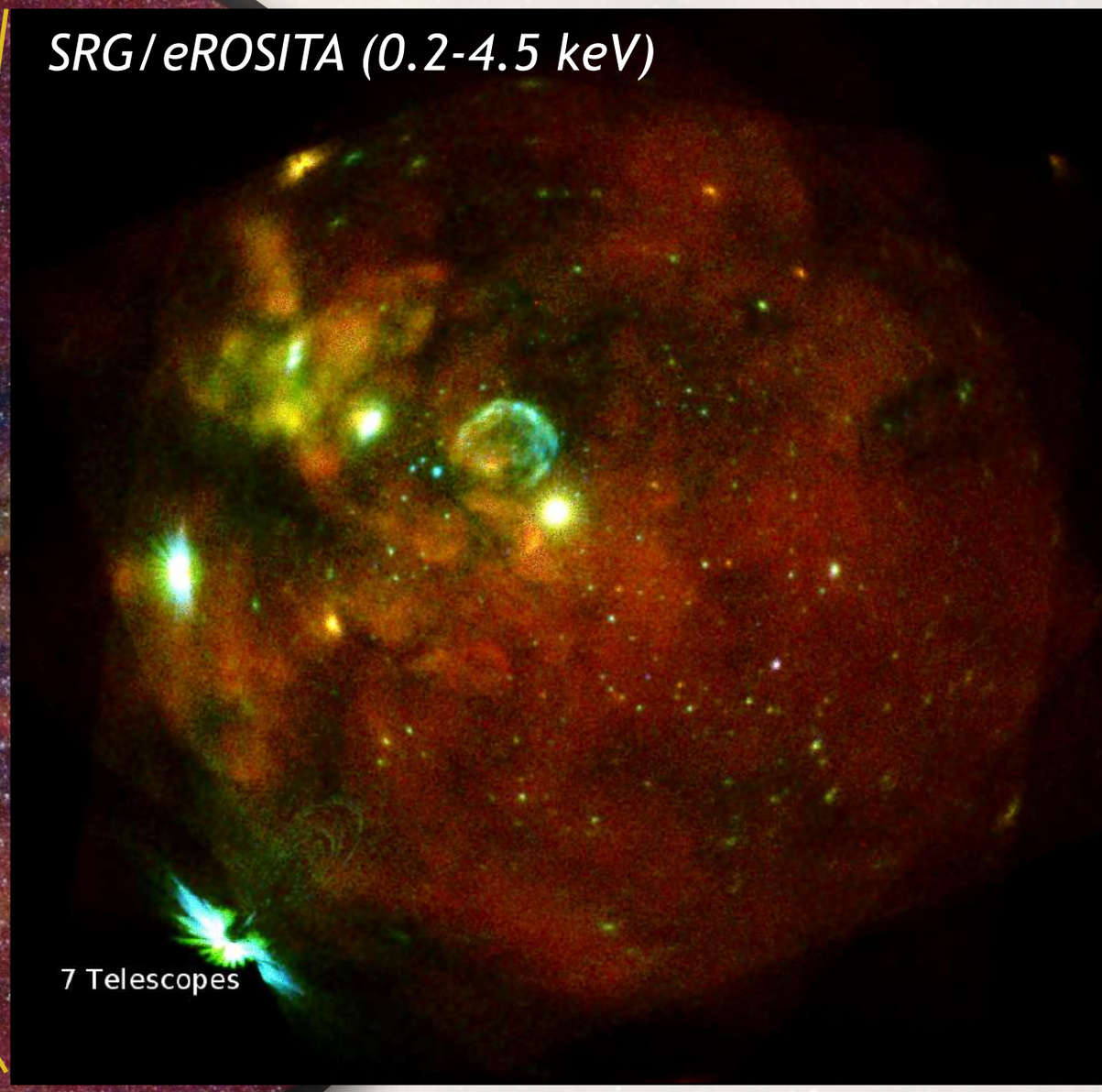
… la metà tedesca



credit: eROSITA MPE team /
A. Merloni, J. Sanders

La “prima luce” di eROSITA

La “prima luce”
di eROSITA

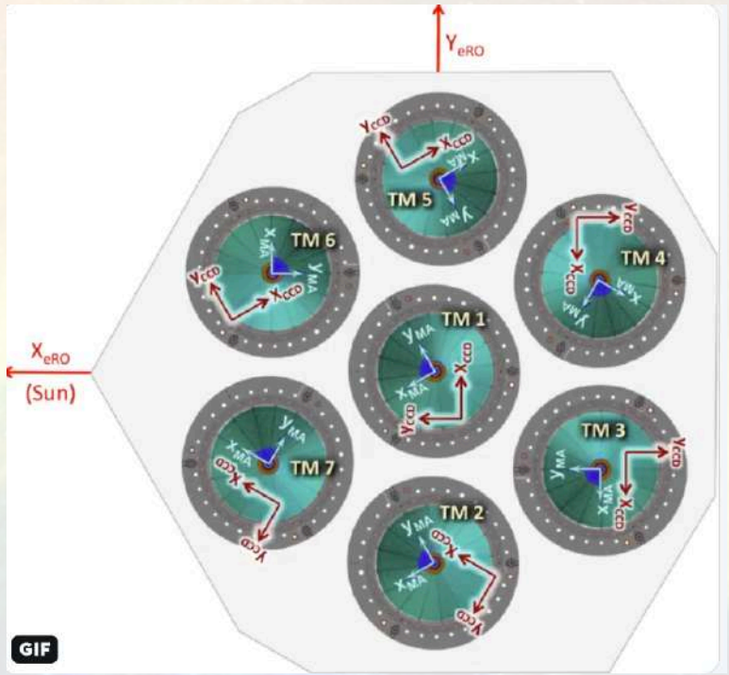


Credit:
F. Haberl,
M. Freyberg,
C. Maitra

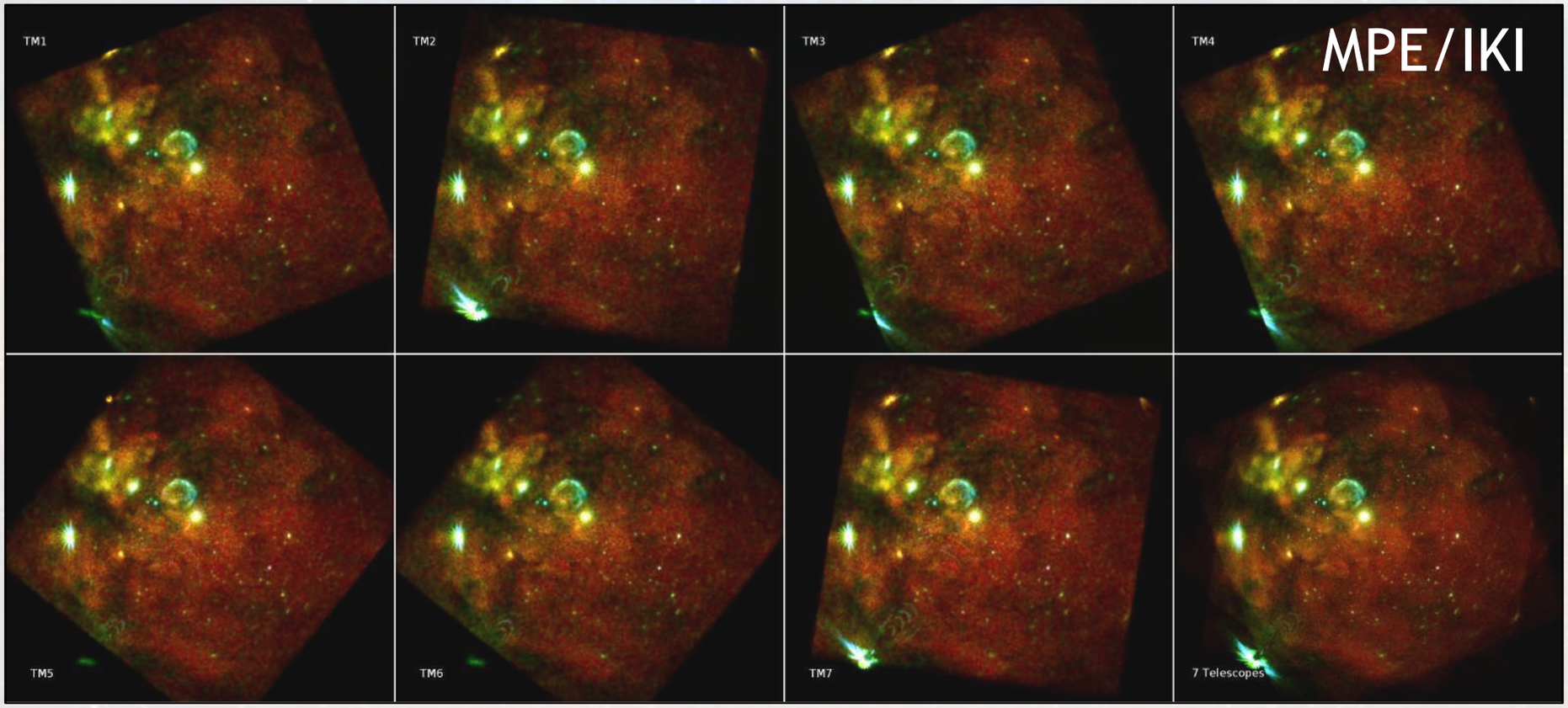
La grande nube di Magellano (LMC)

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

La grande nube di Magellano (LMC)

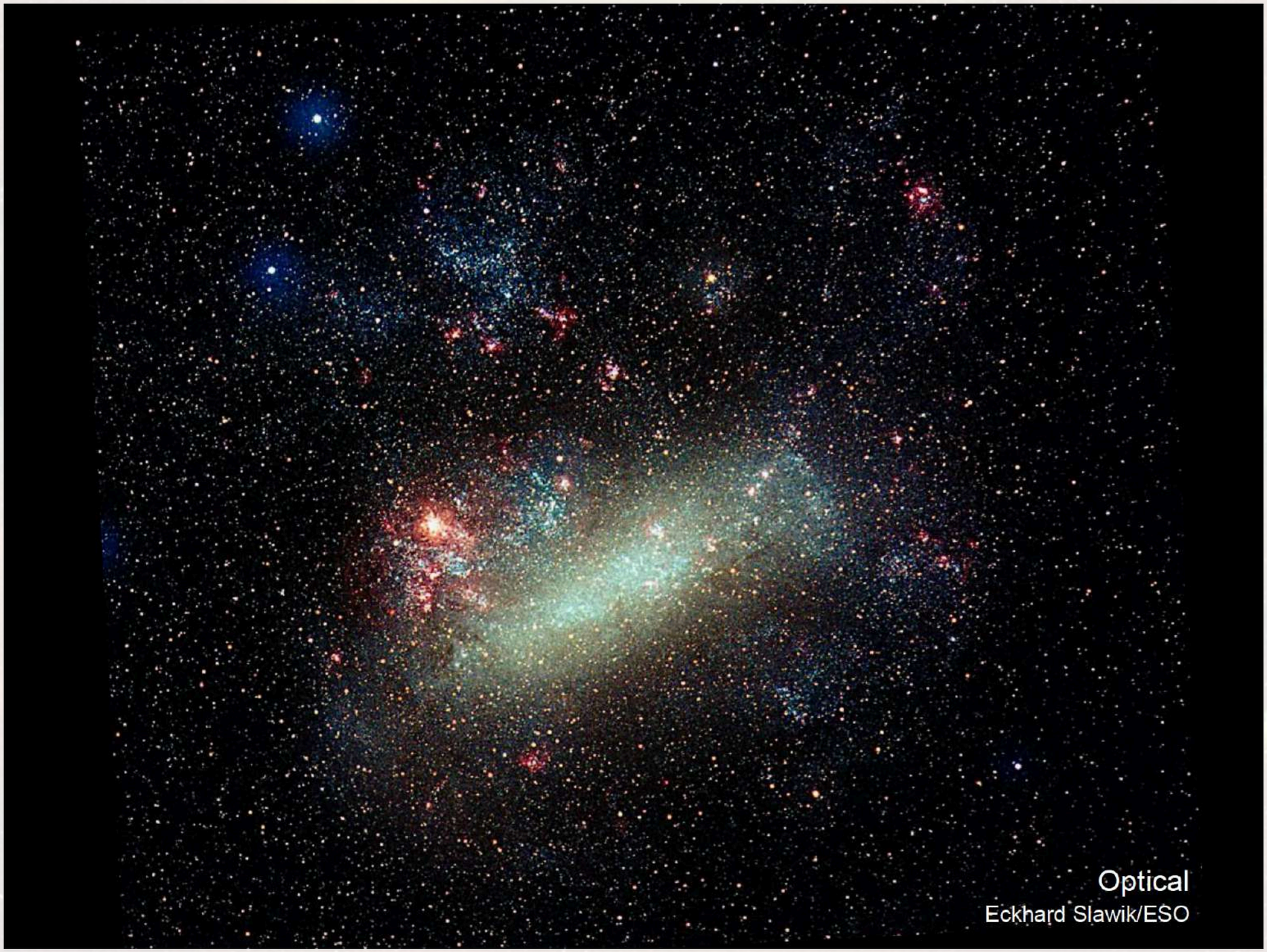


7 telescopi
7 immagini diverse
(orientate in maniera appena diverse)

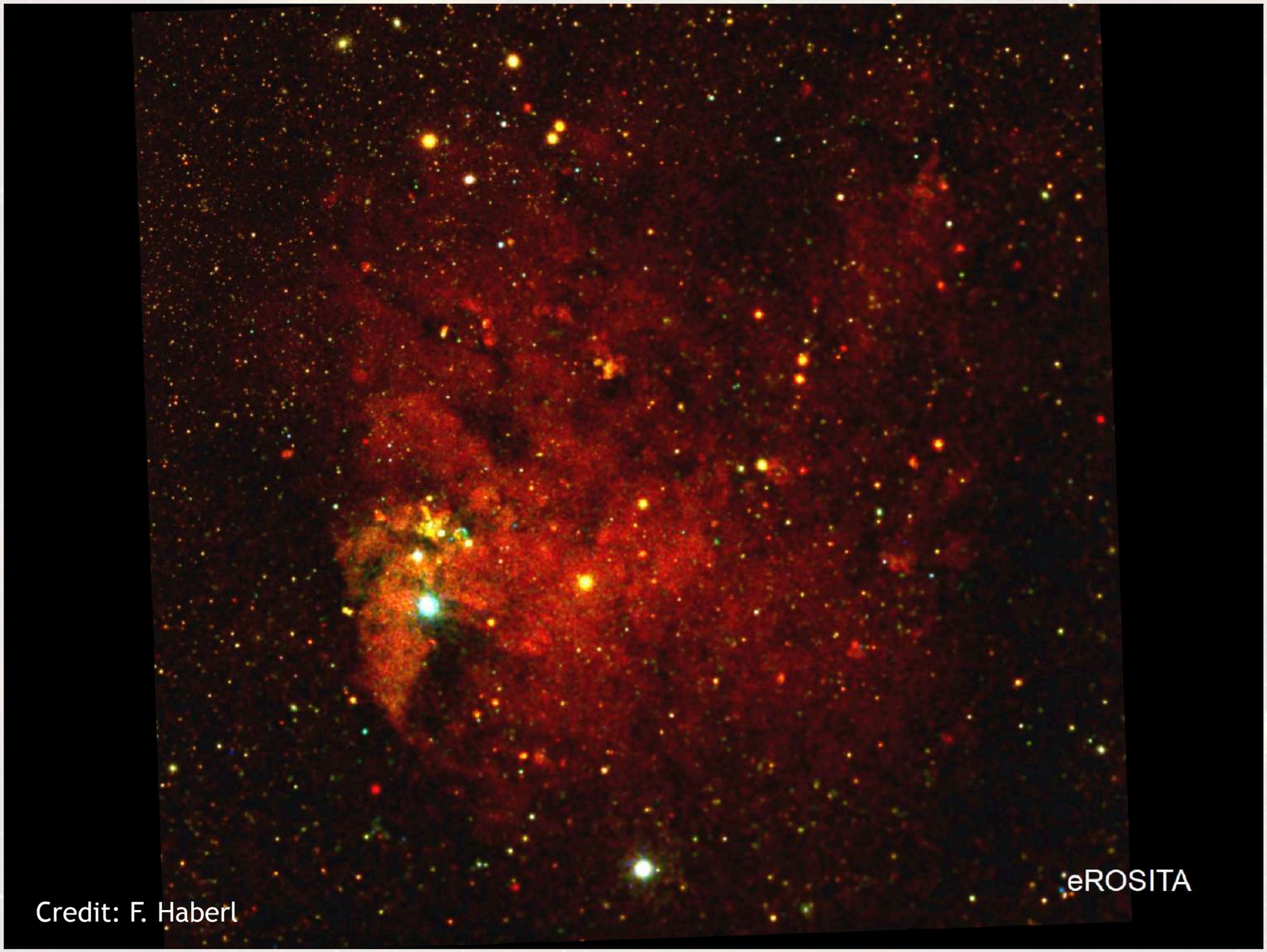


Credit:
F. Haberl,
M. Freyberg,
C. Maitra

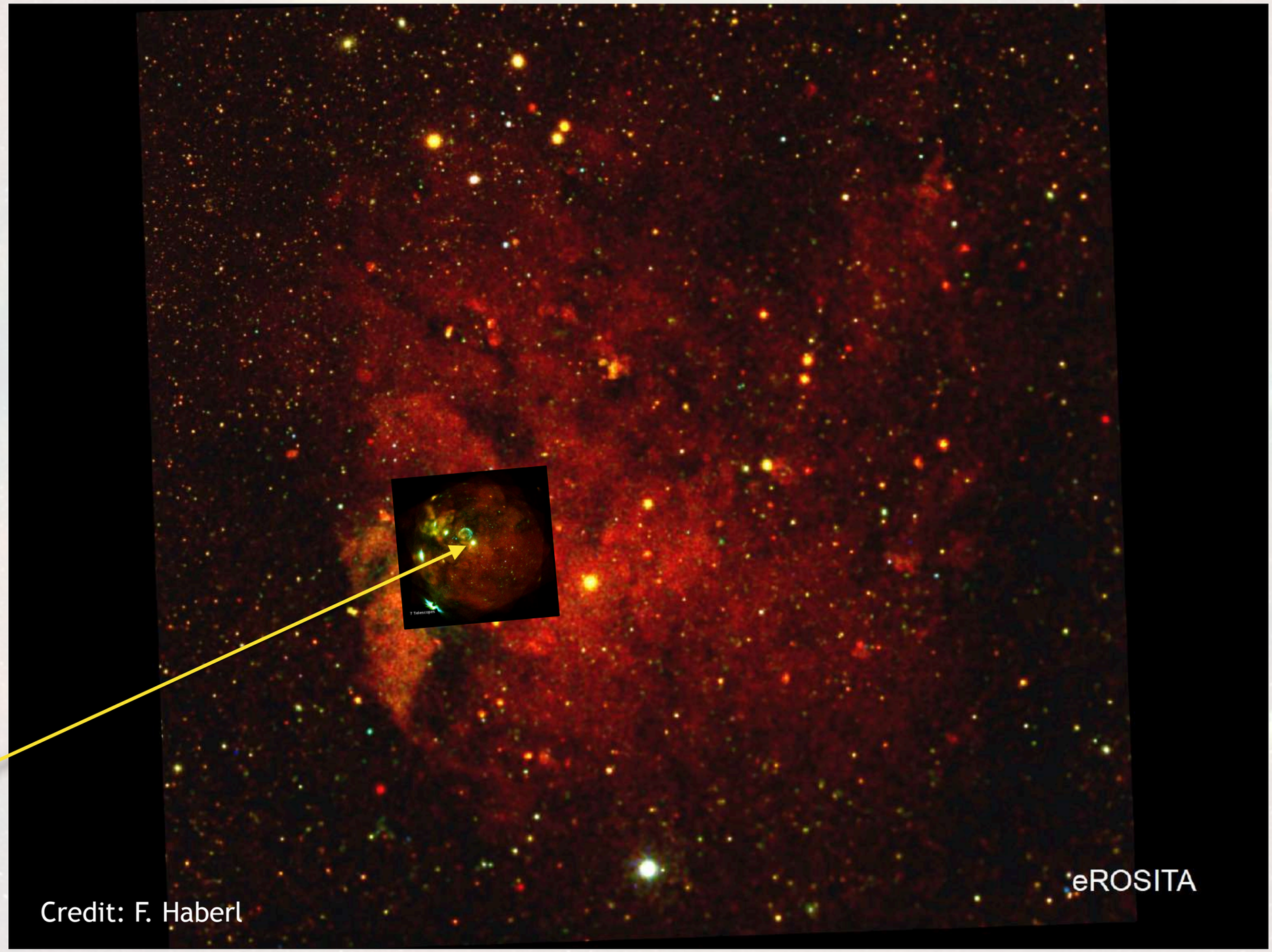
La grande nube di Magellano (LMC)



La grande nube di Magellano (LMC)



La grande nube di Magellano (LMC)

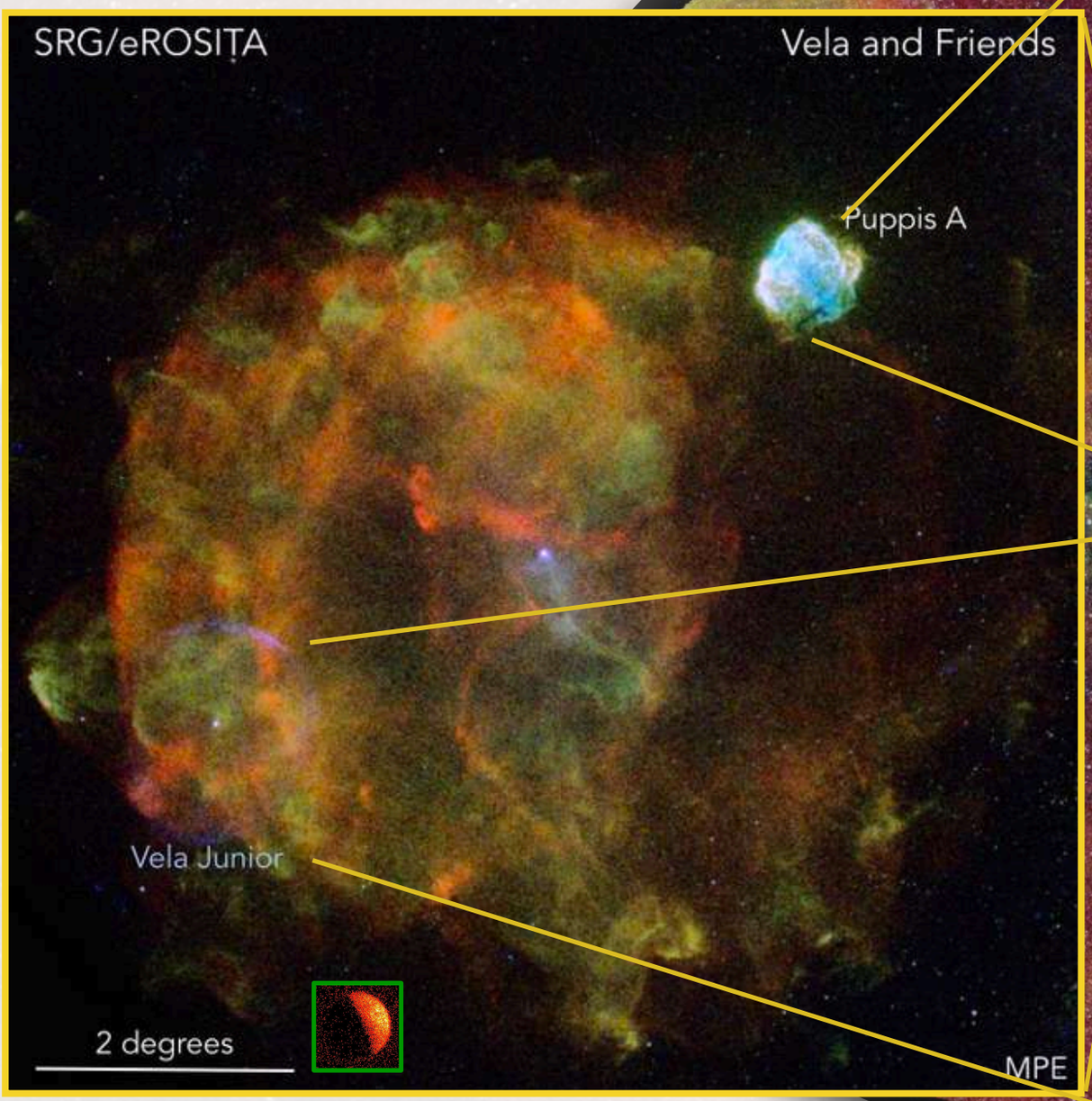


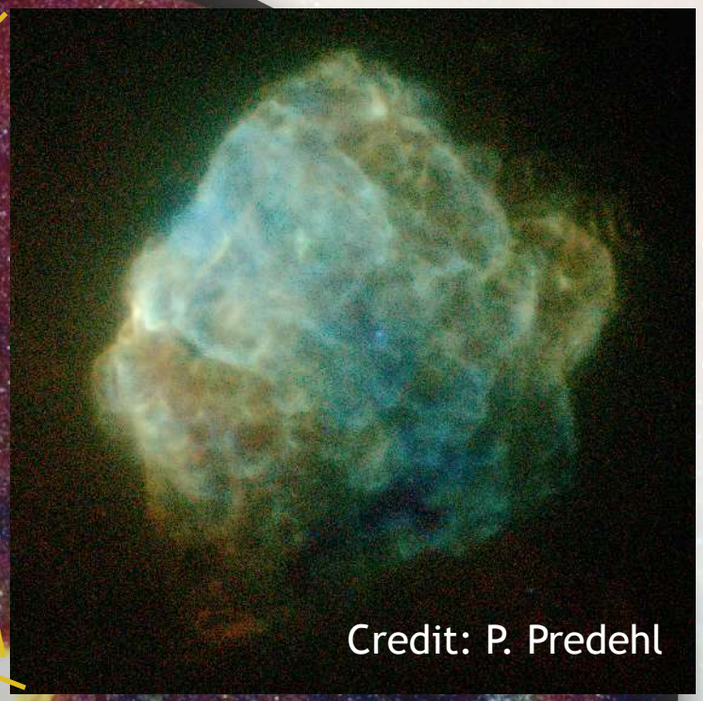
SN1987A
(esplosa 35 anni fa!)

Resti di Supernova

Tre in uno!

Vela:
- distanza: ~800 anni luce
- dimensioni: ~50 anni luce
- età: ~10.000 anni



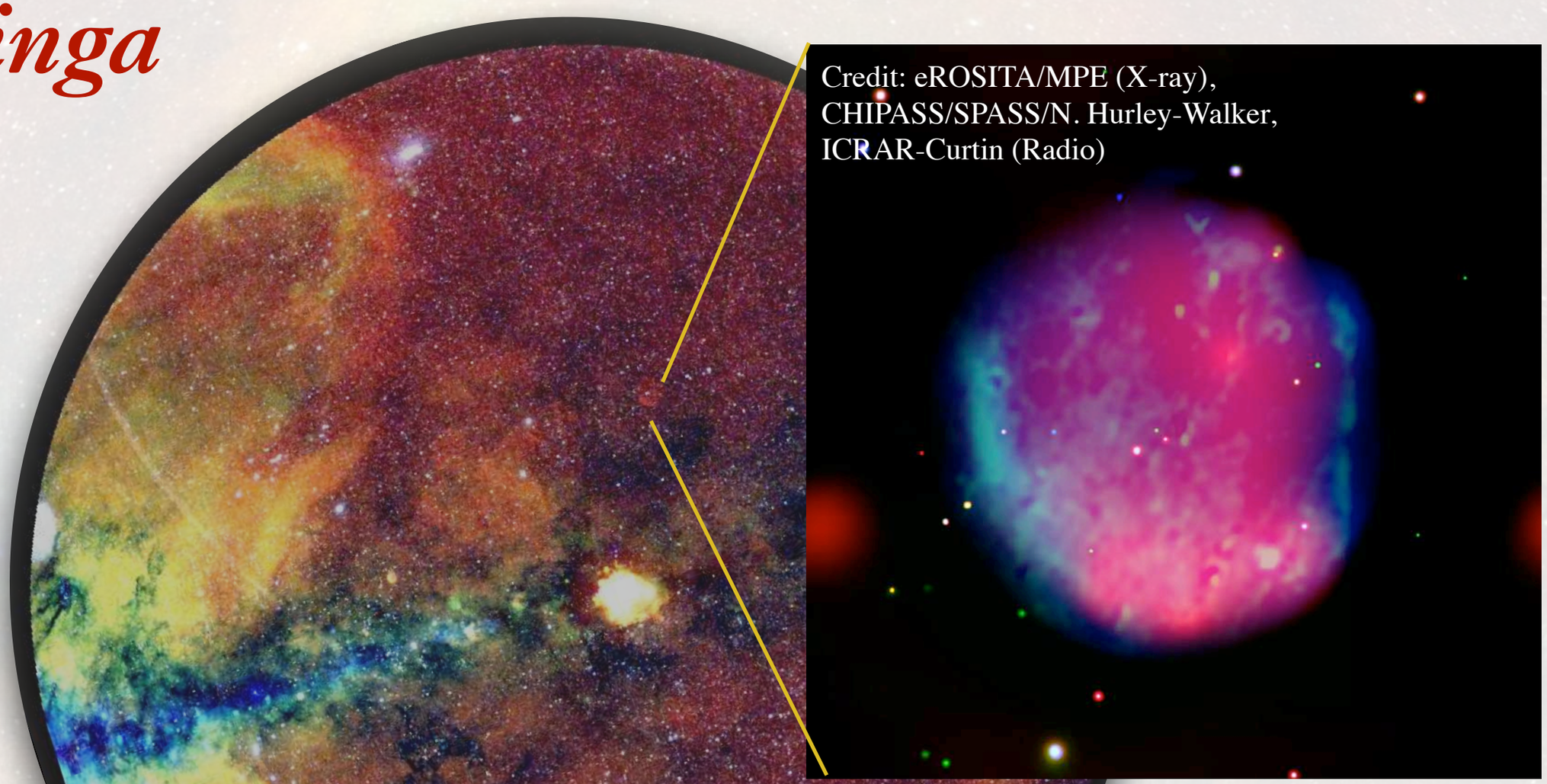


Puppis A:
- distanza: ~7000 a.l.
- dimensioni: ~50 a.l.
- età: ~3.700 anni

Vela Junior:
- distanza: ~700 a.l.
- dimensioni: ~10 a.l.
- età: ~800 anni

Resti di Supernova

Hoinga

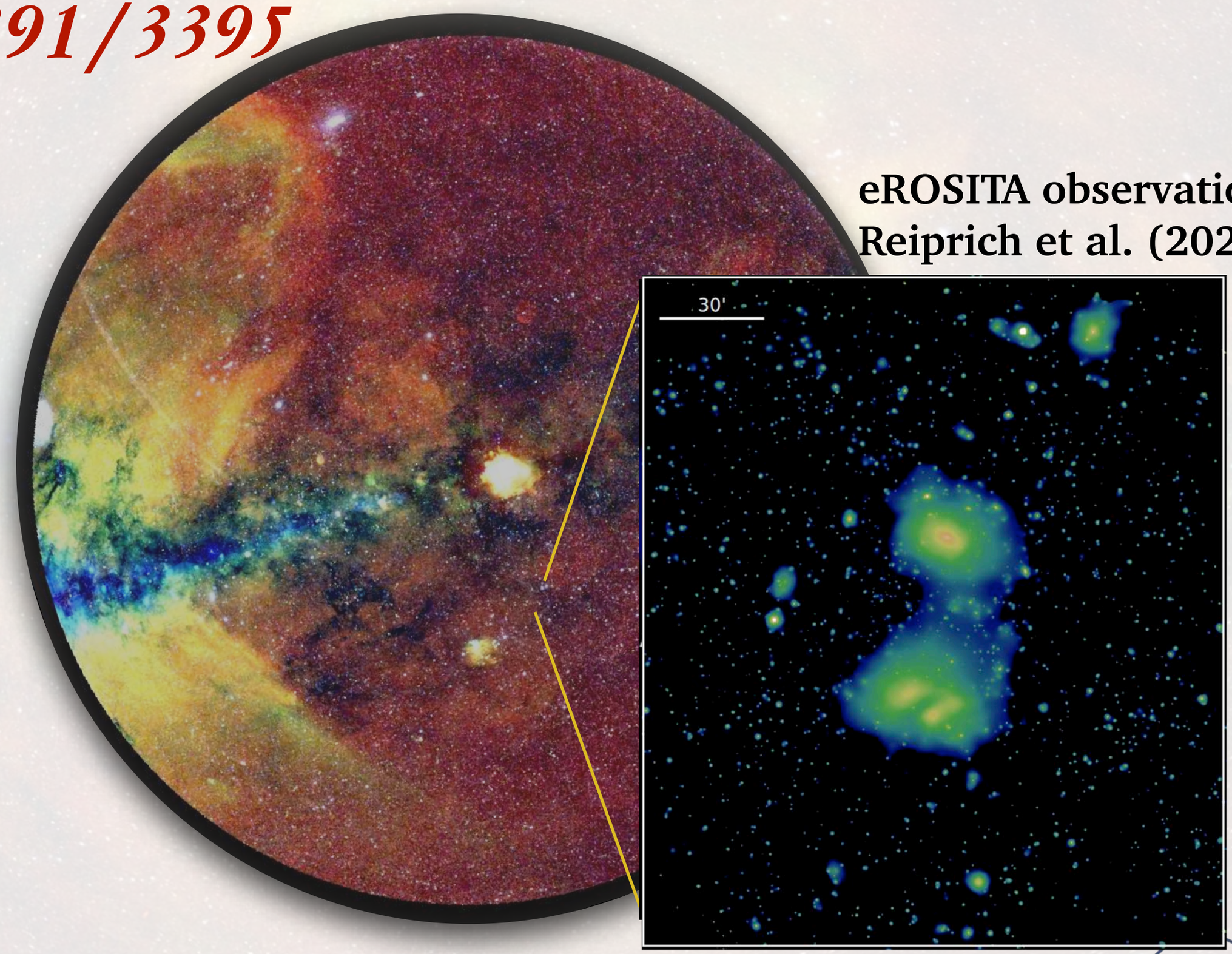


Hoinga (G249.5+24.5)
- **distanza: ~1600 a.l.**
- **dimensioni: ~50-100 a.l.**
- **età: ~10000 anni**

https://www.media.inaf.it/2021/03/03/erosita-hoinga/

Ammassi di galassie

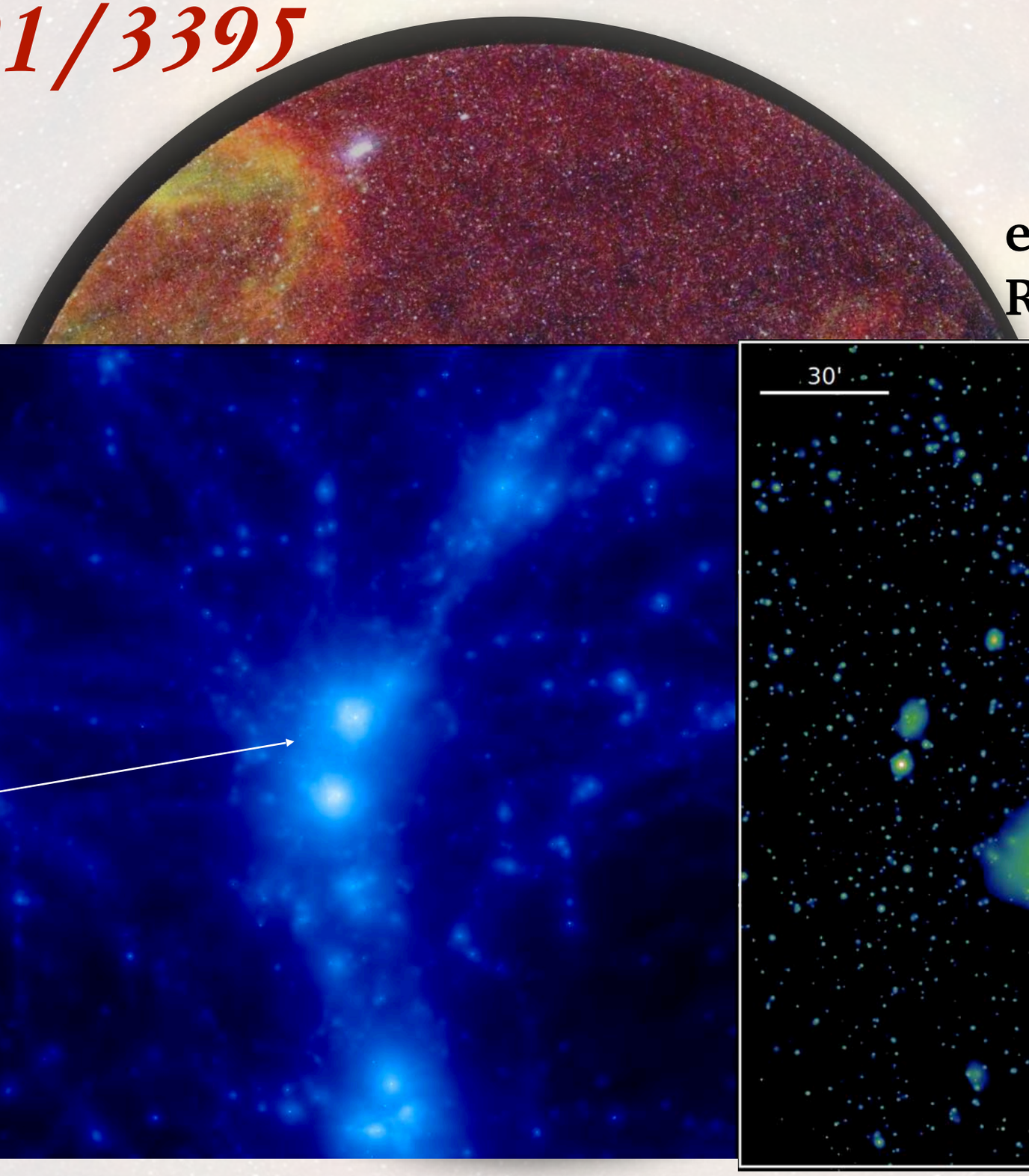
Abell 3391/3395



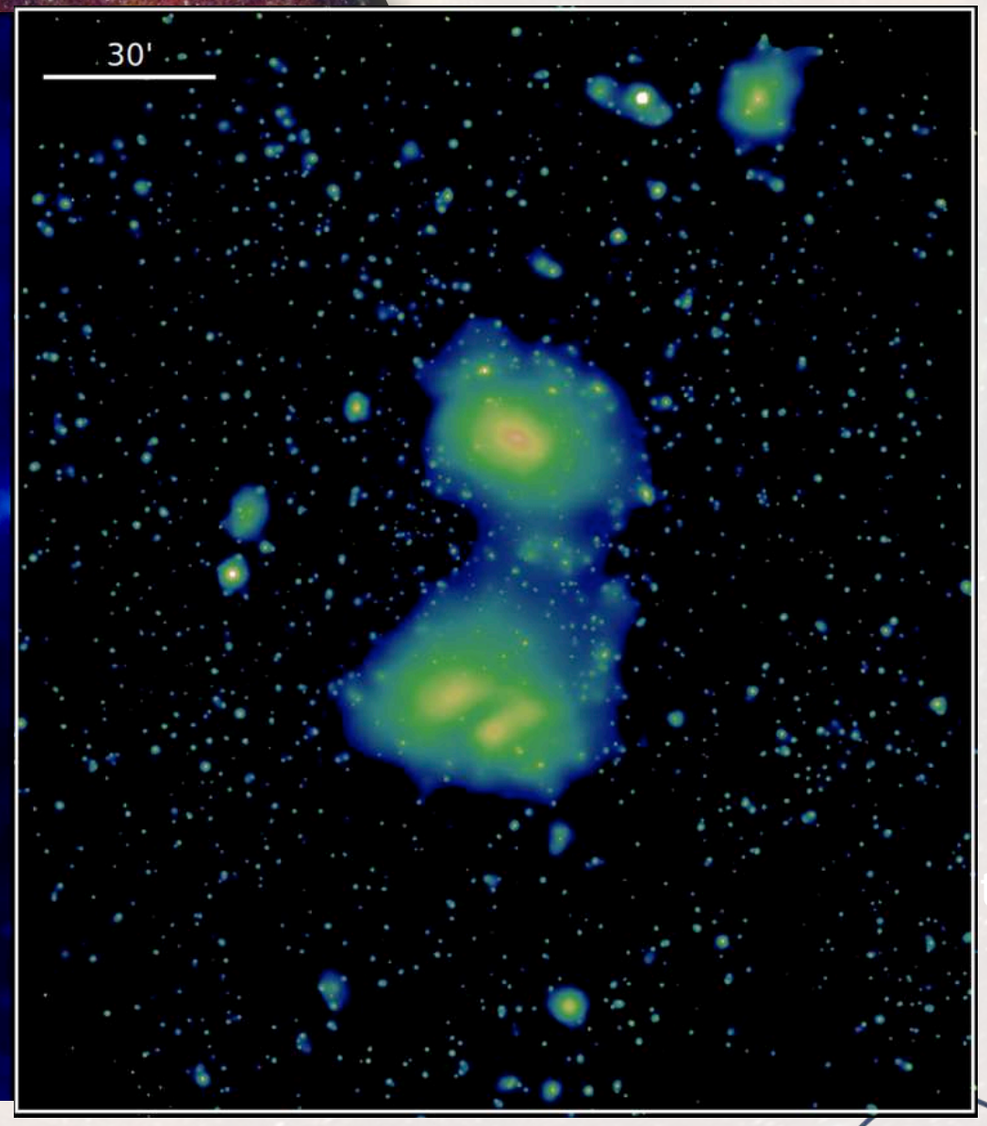
eROSITA observation
Reiprich et al. (2021)

Ammassi di galassie

Abell 3391/3395



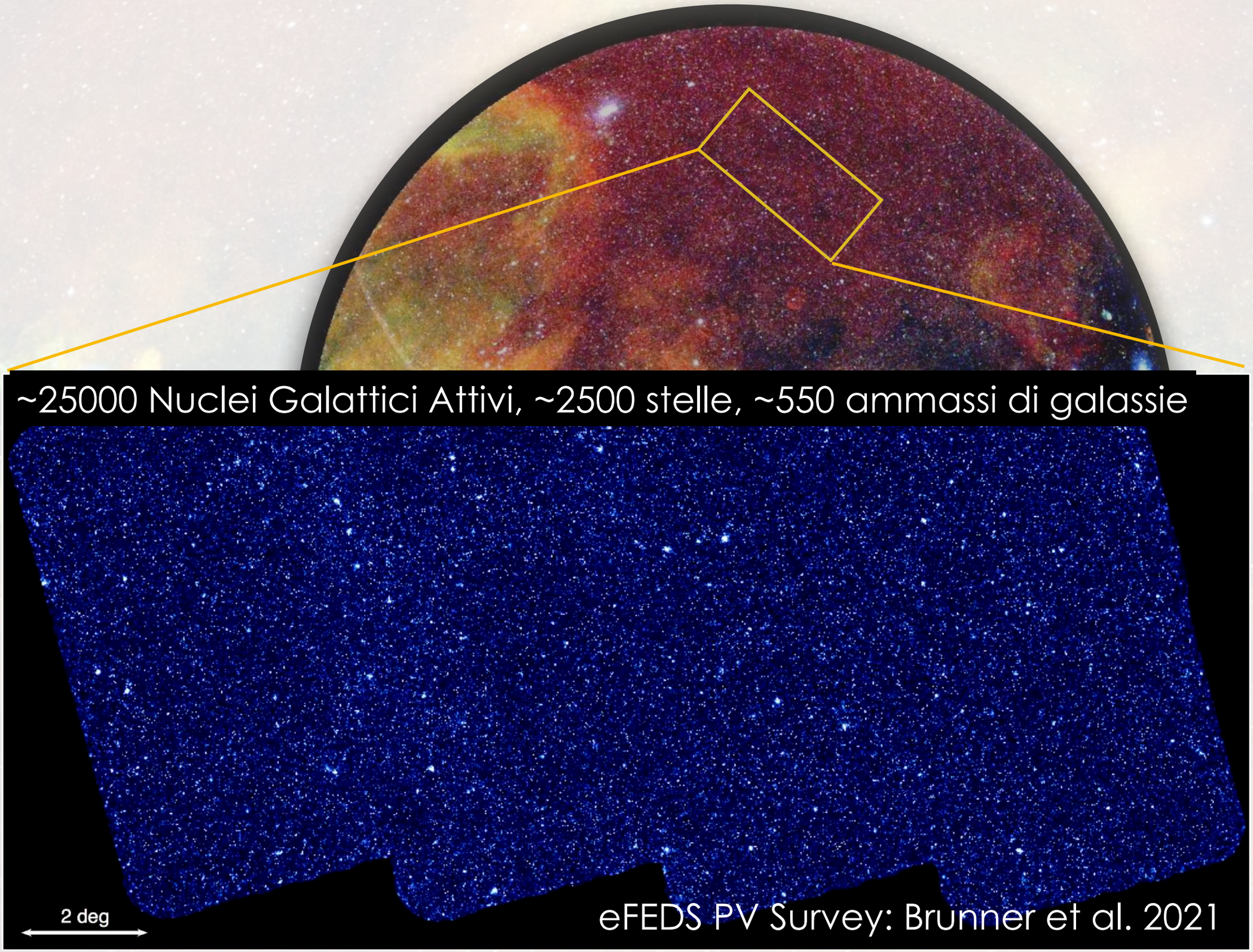
Simulazioni cosmologiche, Biffi et al. (2021)



eROSITA, Reiprich et al. (2021)

Gas caldo, milioni di gradi

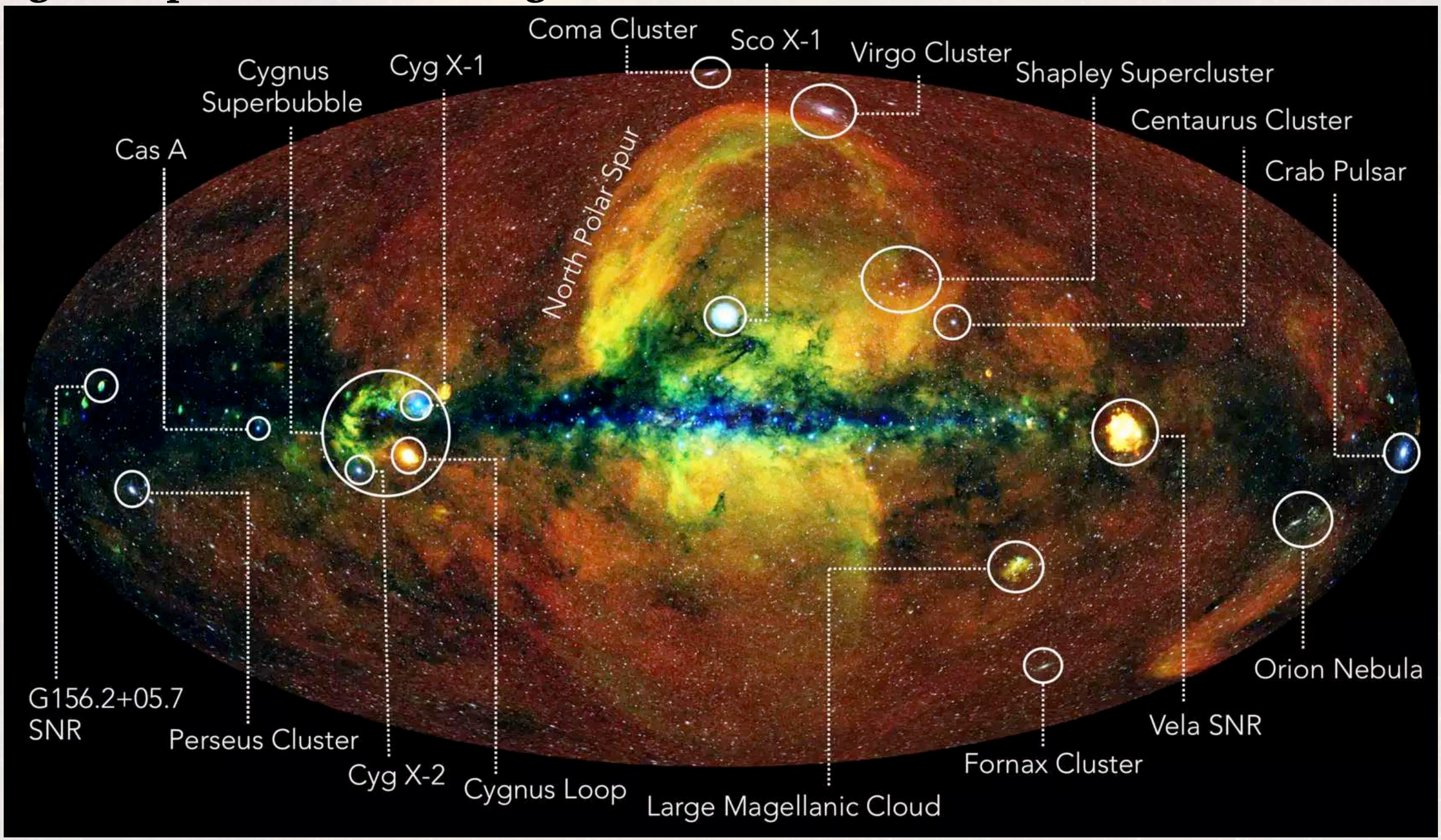
Una “preview” della survey finale



Il cielo di eROSITA

1 Milione di oggetti che emettono in banda X! (in soli 6 mesi…)

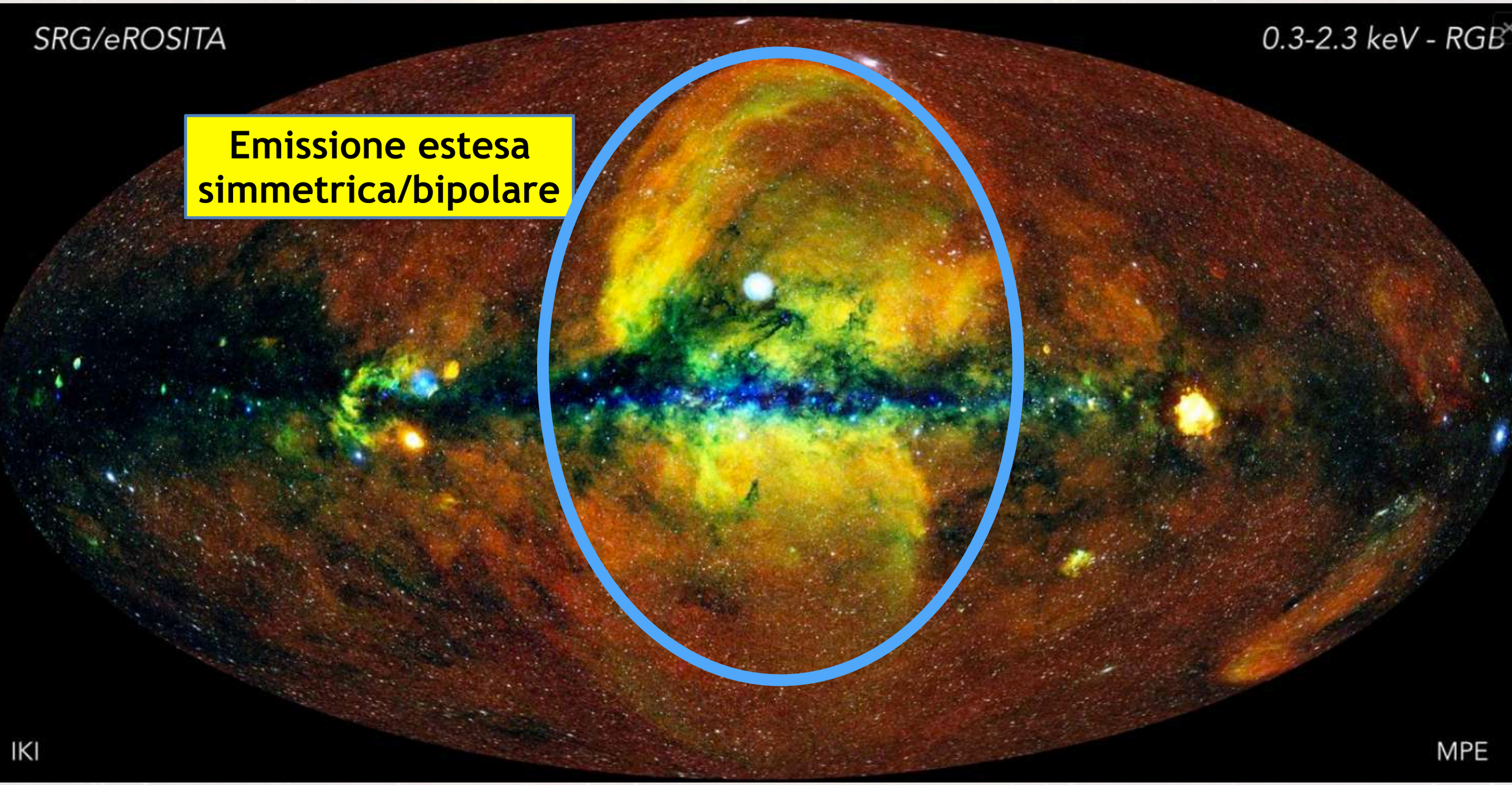
Sorgenti "puntiformi" e sorgenti "estese"



ROSAT aveva censito ~100.000 oggetti —> eROSITA dieci volte di più!

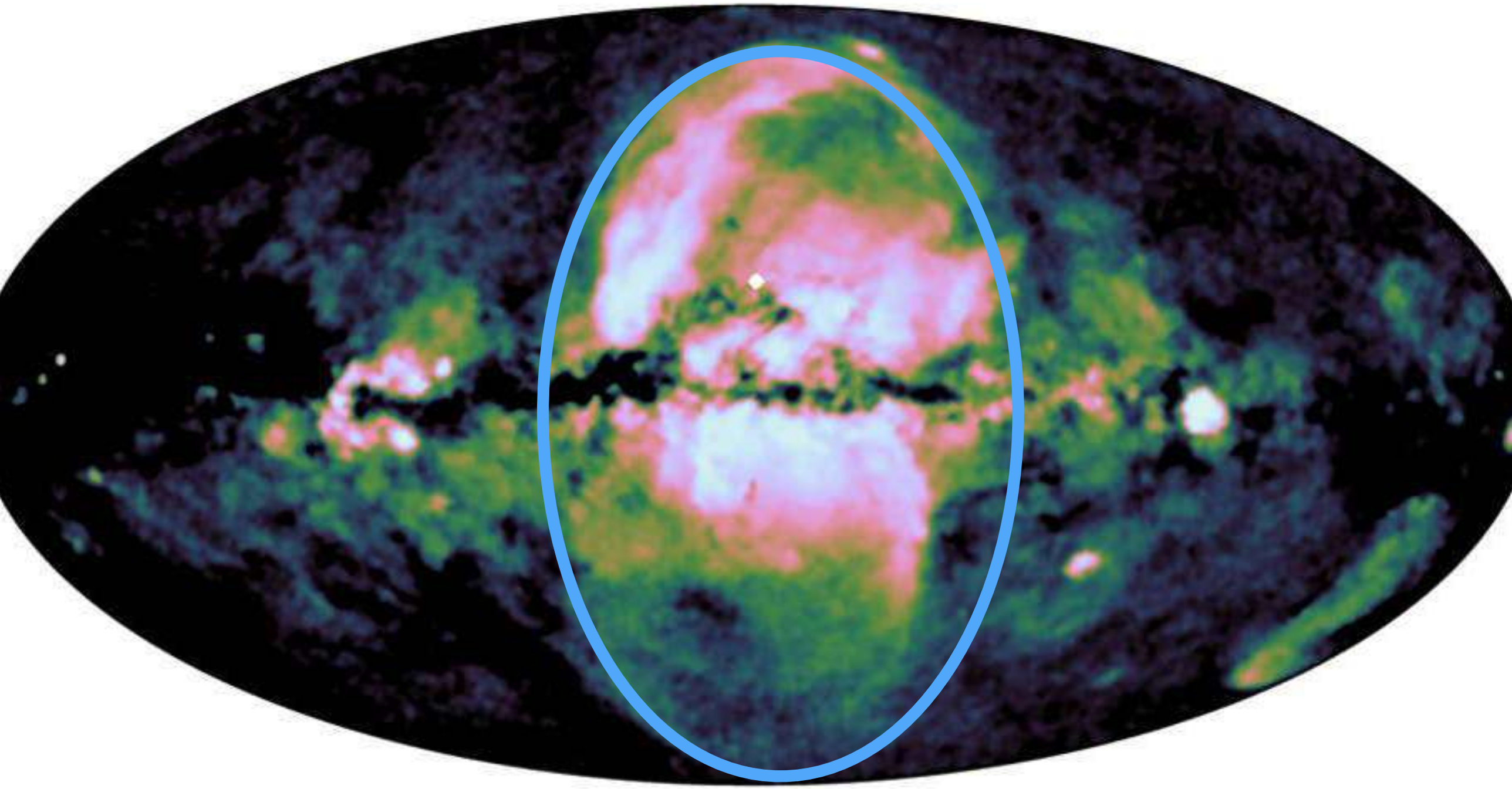
Il cielo di eROSITA

1 Milione di oggetti che emettono in banda X! Rivelati in soli 6 mesi…
Sorgenti "puntiformi" e sorgenti "estese"



Le eROSITA "Bubbles"

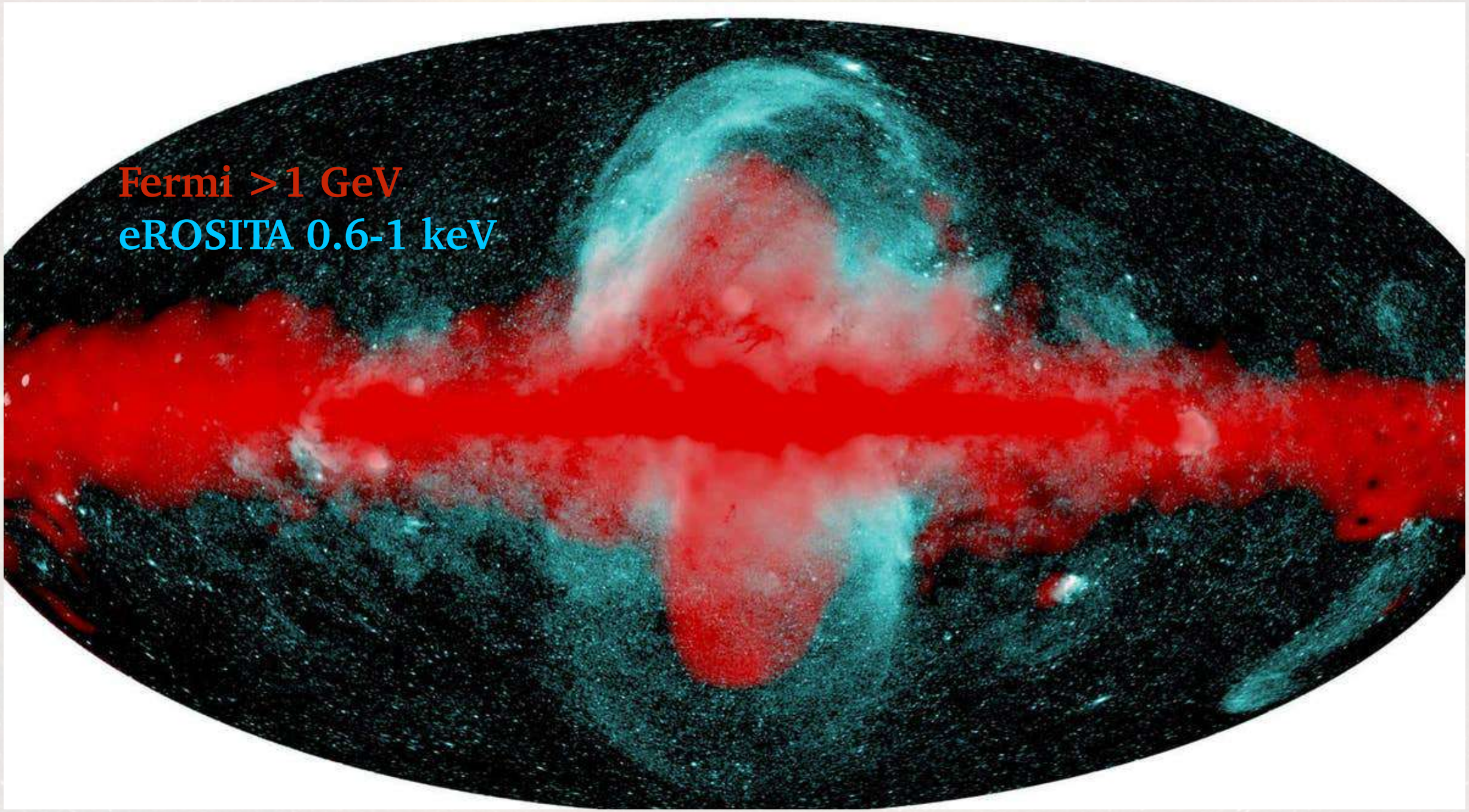
Mappa della sola emissione "estesa"



Predehl et al. 2020, Nature

Le eROSITA "Bubbles"

Mappa della sola emissione "estesa"

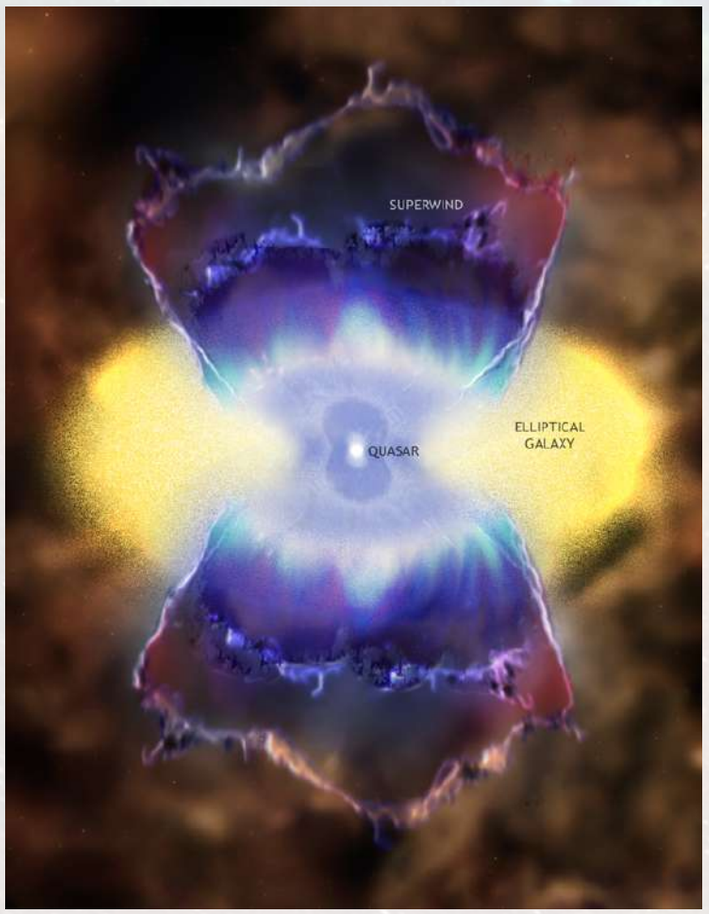


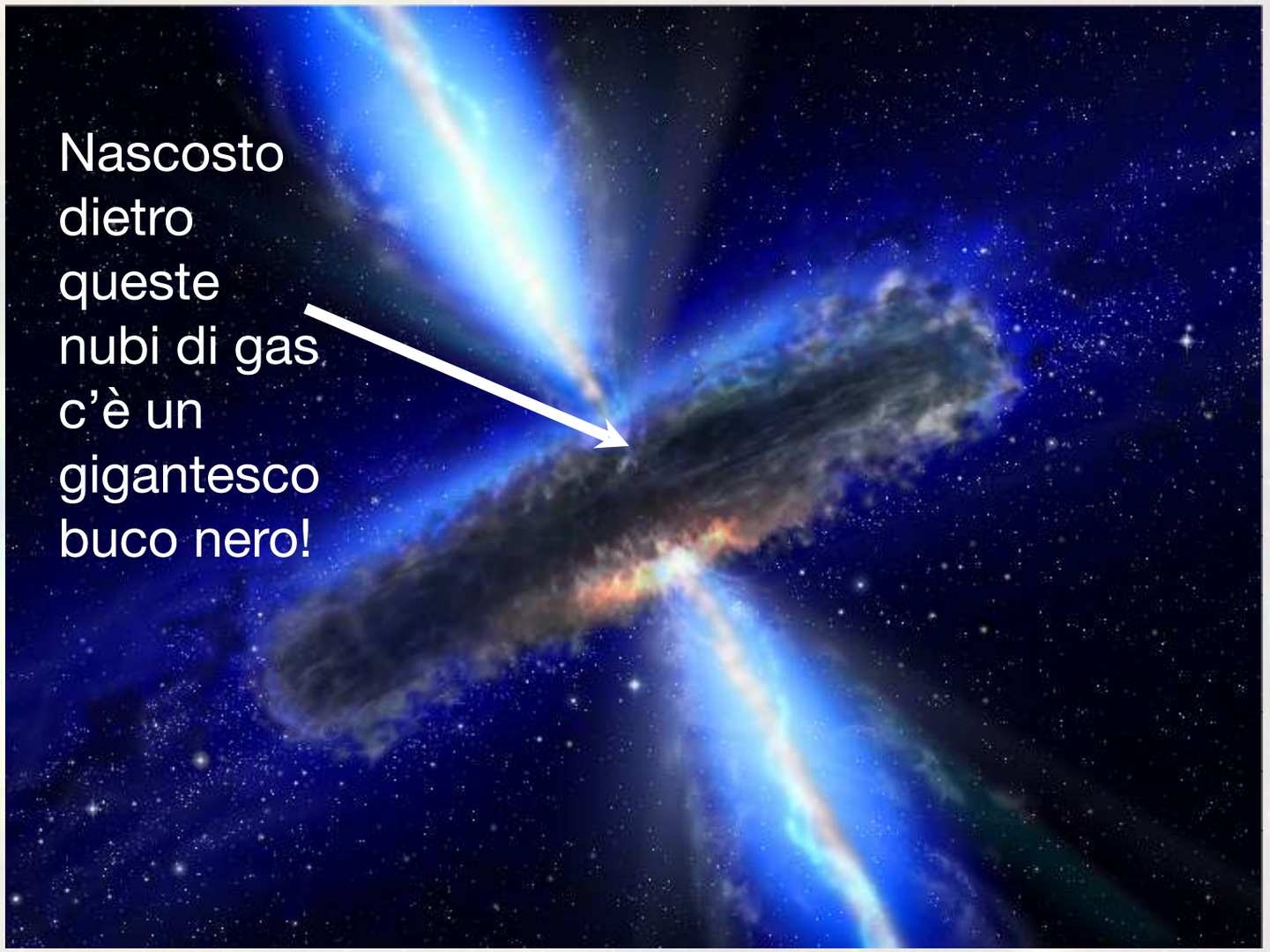
Predehl et al. 2020, Nature

Le eROSITA “Bubbles”

quale e’ l’origine?

Il buco nero centrale durante l’accrescimento **libera una gran quantità di energia che può venire “espulsa” sotto forma di vento**





Per saperne di più:

Conferenza alla Specola (Maggio 2014)

https://www.oas.inaf.it/it/seminari/info-evento/?id=92

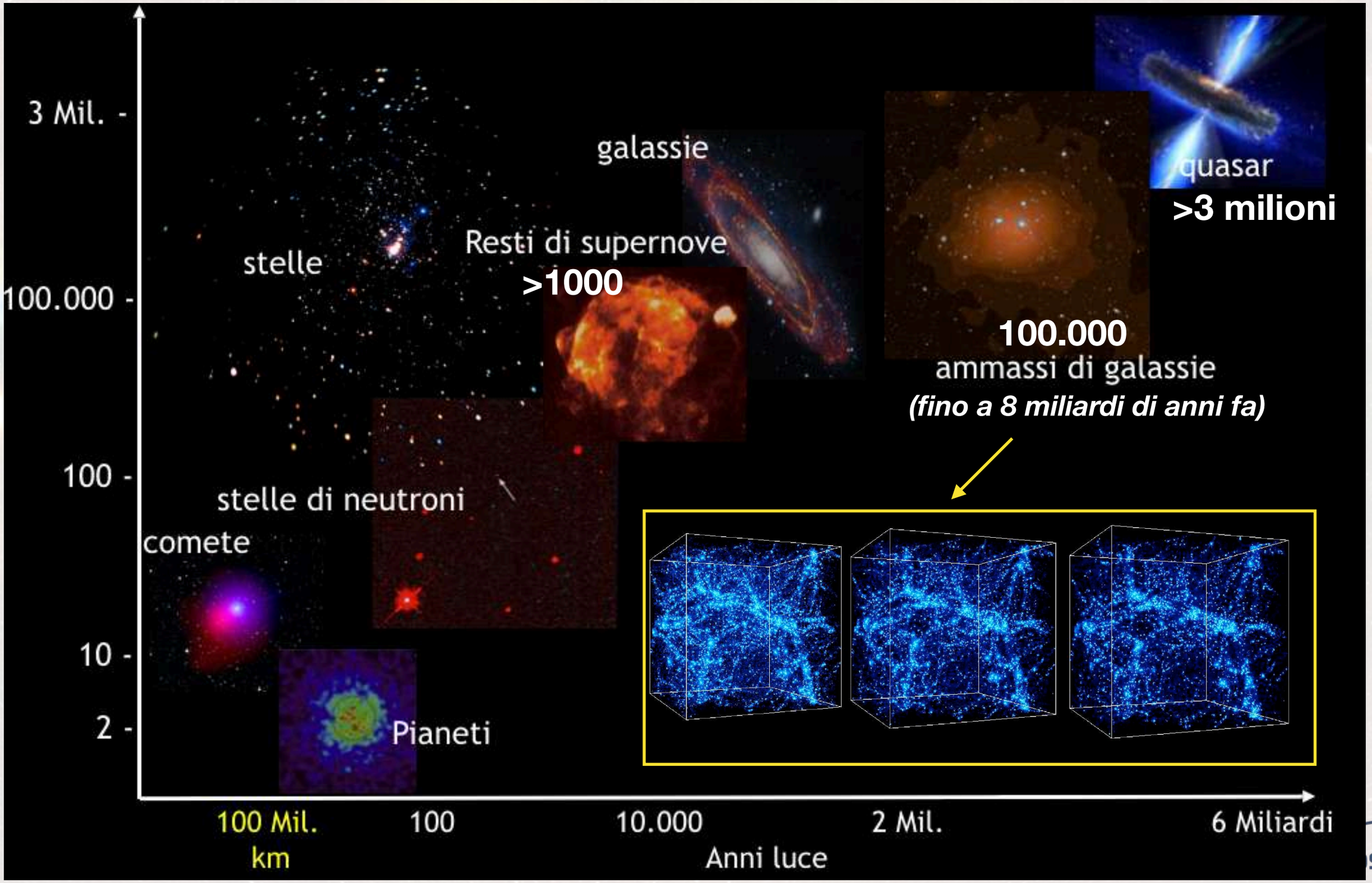
Conferenza dell’Associazione Astronomica del Rubicone

https://www.youtube.com/watch?v=zsyMtGpOL9Y

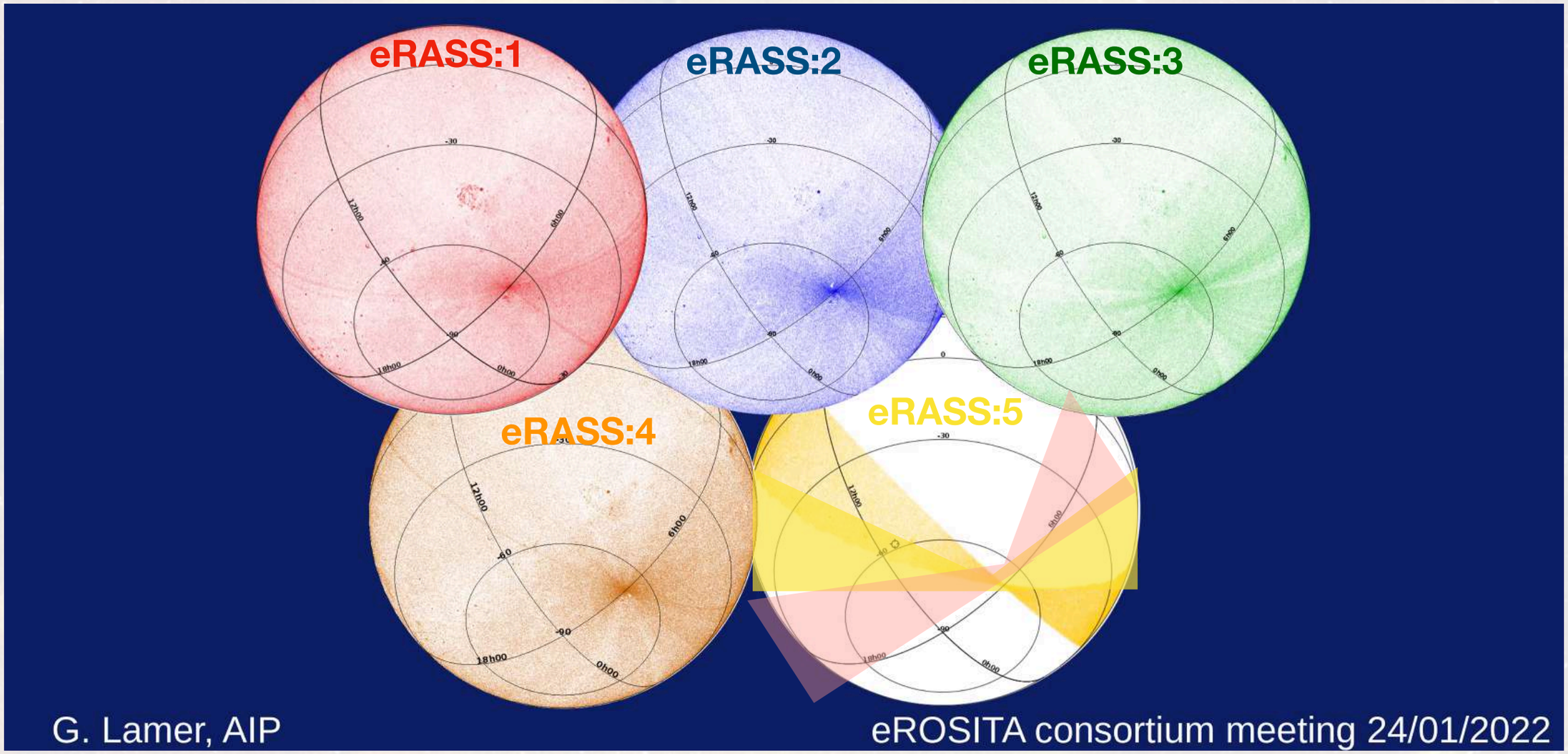
La forza di eROSITA: i grandi numeri

1 Milione di oggetti che emettono in banda X! Rivelati in soli 6 mesi…

Diversi milioni predetti in 4 anni !



eROSITA
un grandangolo per il cielo X



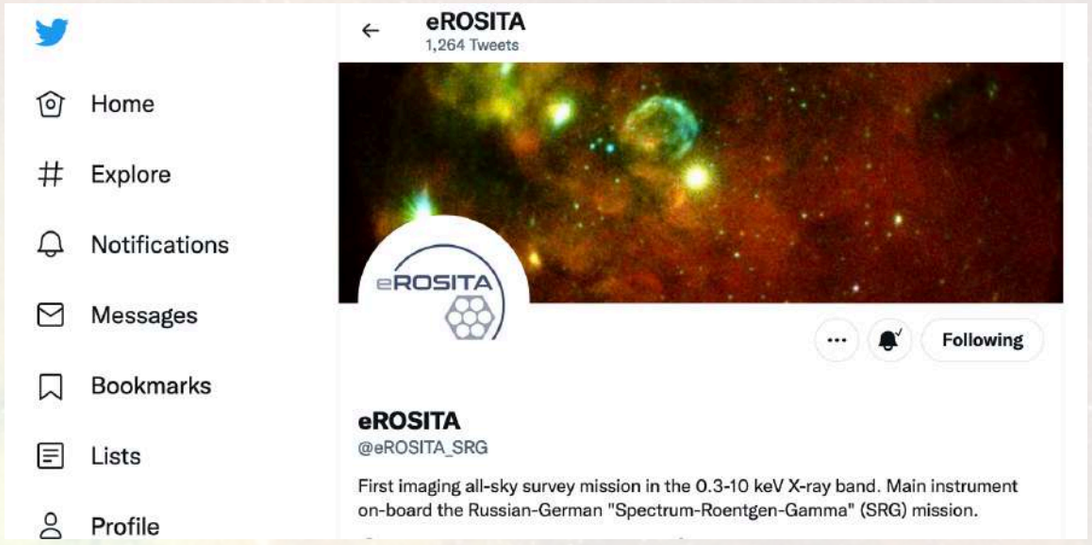
dal 26/02/2022 la survey eRASS:5 e' *sospesa* a causa della guerra in Ucraina…..
eROSITA e' in "safe mode" (acceso, ma non osserva/prende dati)

Video MediaInaf: https://www.youtube.com/watch?v=TV0LVE-5bLA

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

Per approfondire

https://twitter.com/erosita_srg



Sito di eROSITA

https://www.mpe.mpg.de/eROSITA
https://www.mpe.mpg.de/7604815/gallery

Press release “first light”

https://www.mpe.mpg.de/7362095/news20191022

Press release “first all sky survey”

https://www.mpe.mpg.de/7650552/news20210628
https://www.mpe.mpg.de/7650561/news20210628-team

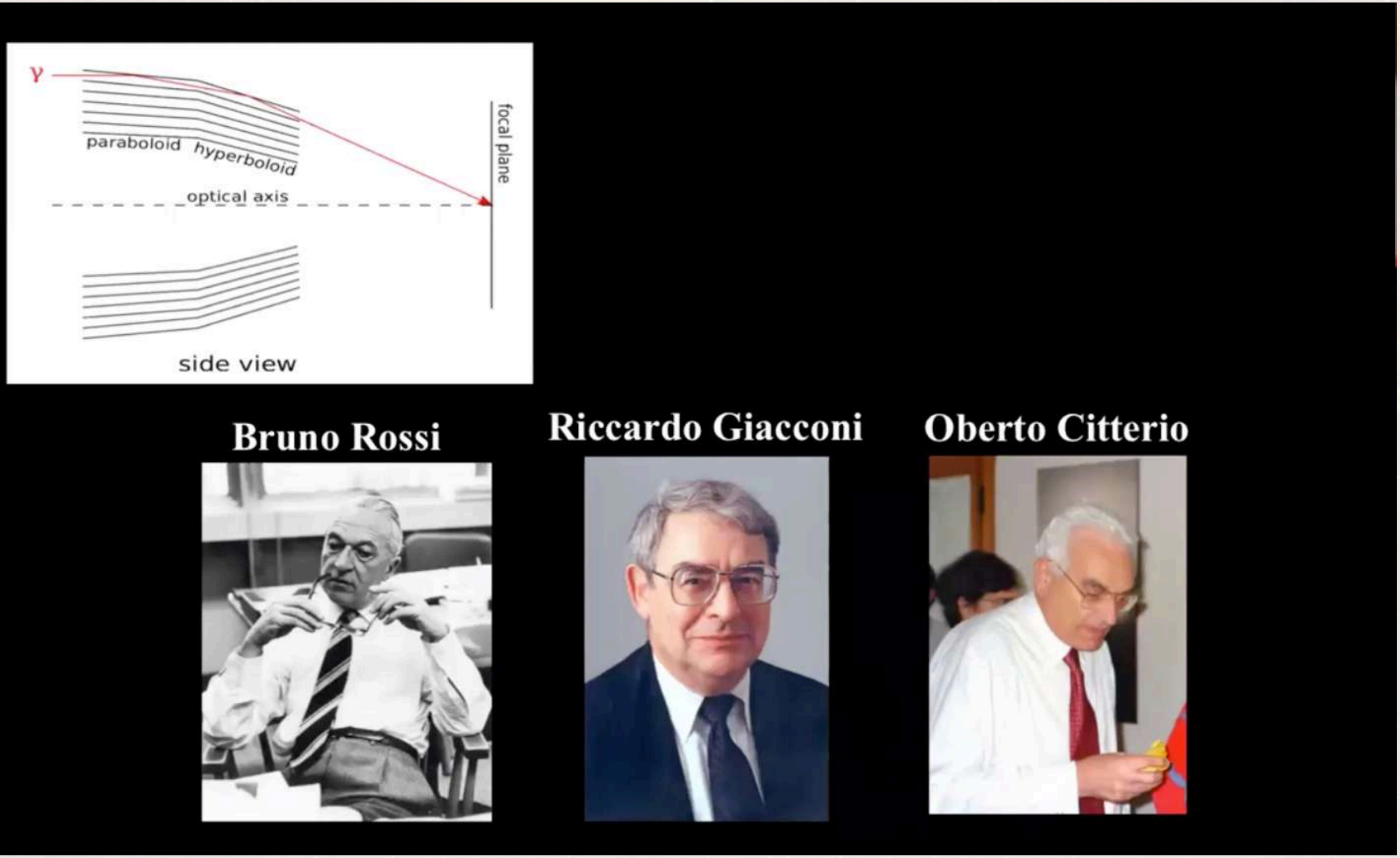
Articoli in italiano

https://www.media.inaf.it/2021/06/29/un-assaggio-del-cielo-di-erosita/
https://www.media.inaf.it/2019/10/22/erosita-le-prime-immagini-prometto-molto-bene/
https://magazine.unibo.it/archivio/2021/06/29/il-cielo-secondo-erosita-pubblicati-i-primi-dati

Grazie
per l'attenzione!

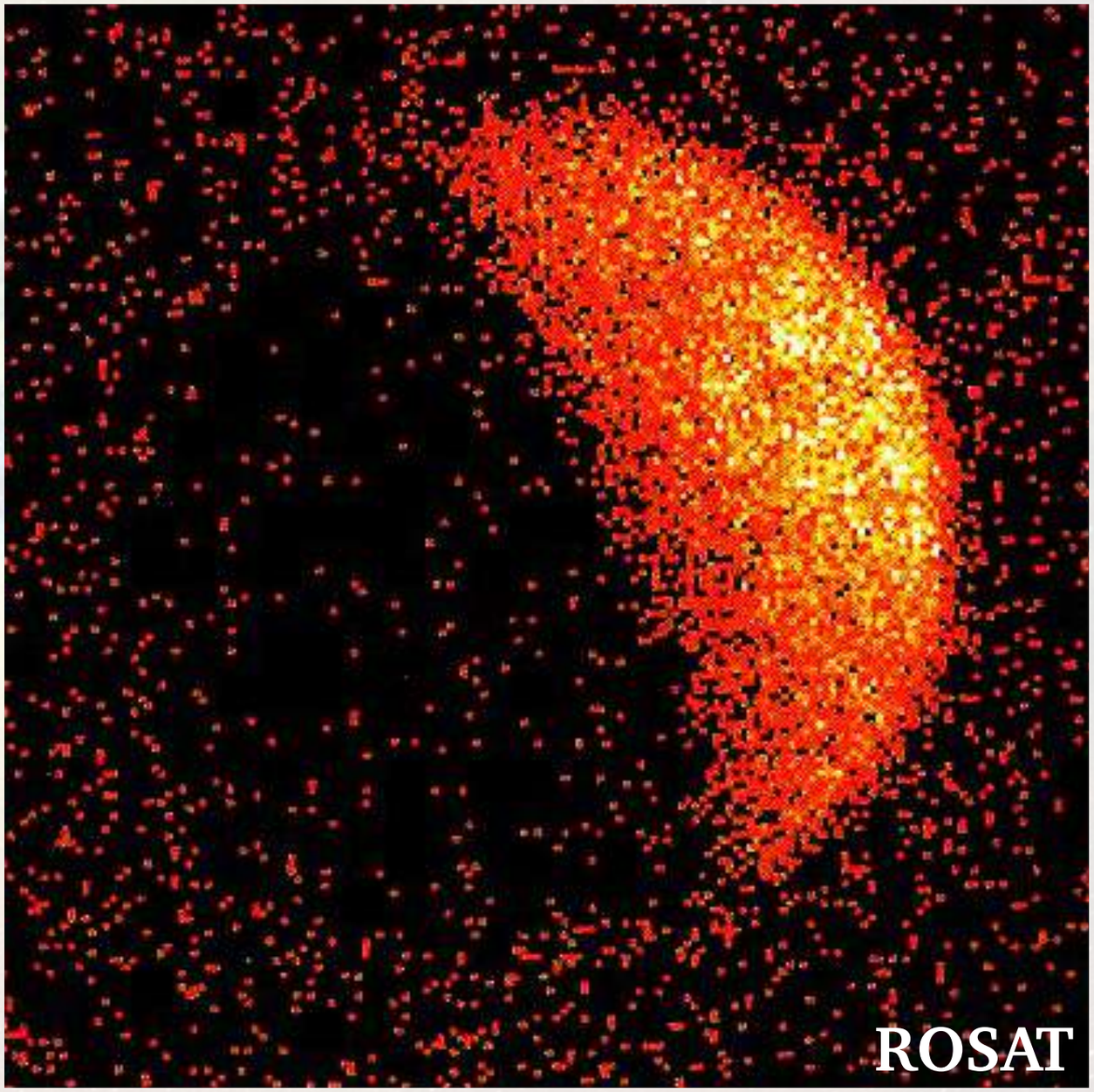
Extra slides

Raggi X - telescopi e attori



https://www.mpe.mpg.de/7604815/gallery

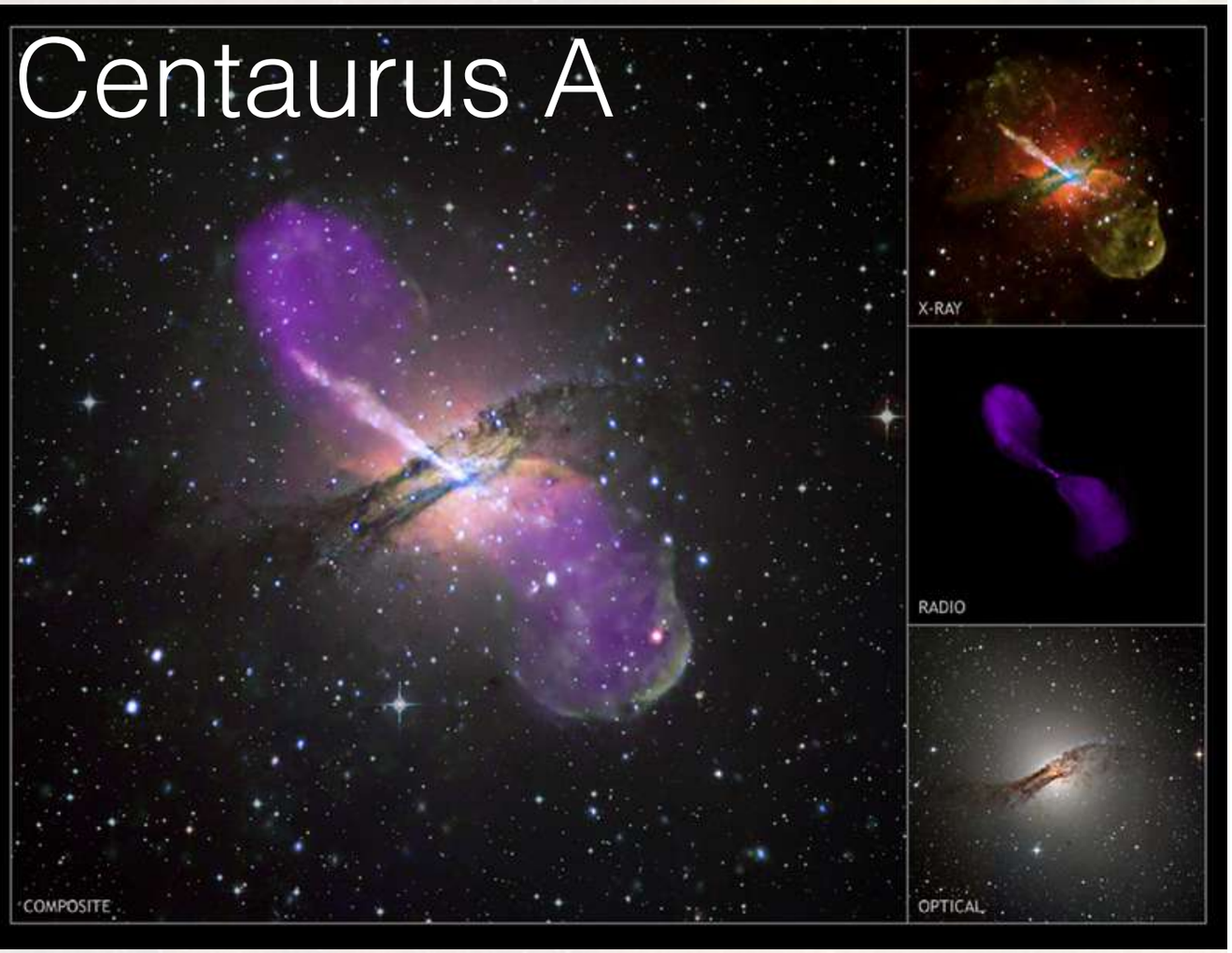
Confronto tra il cielo X e il cielo “visibile”
La Luna

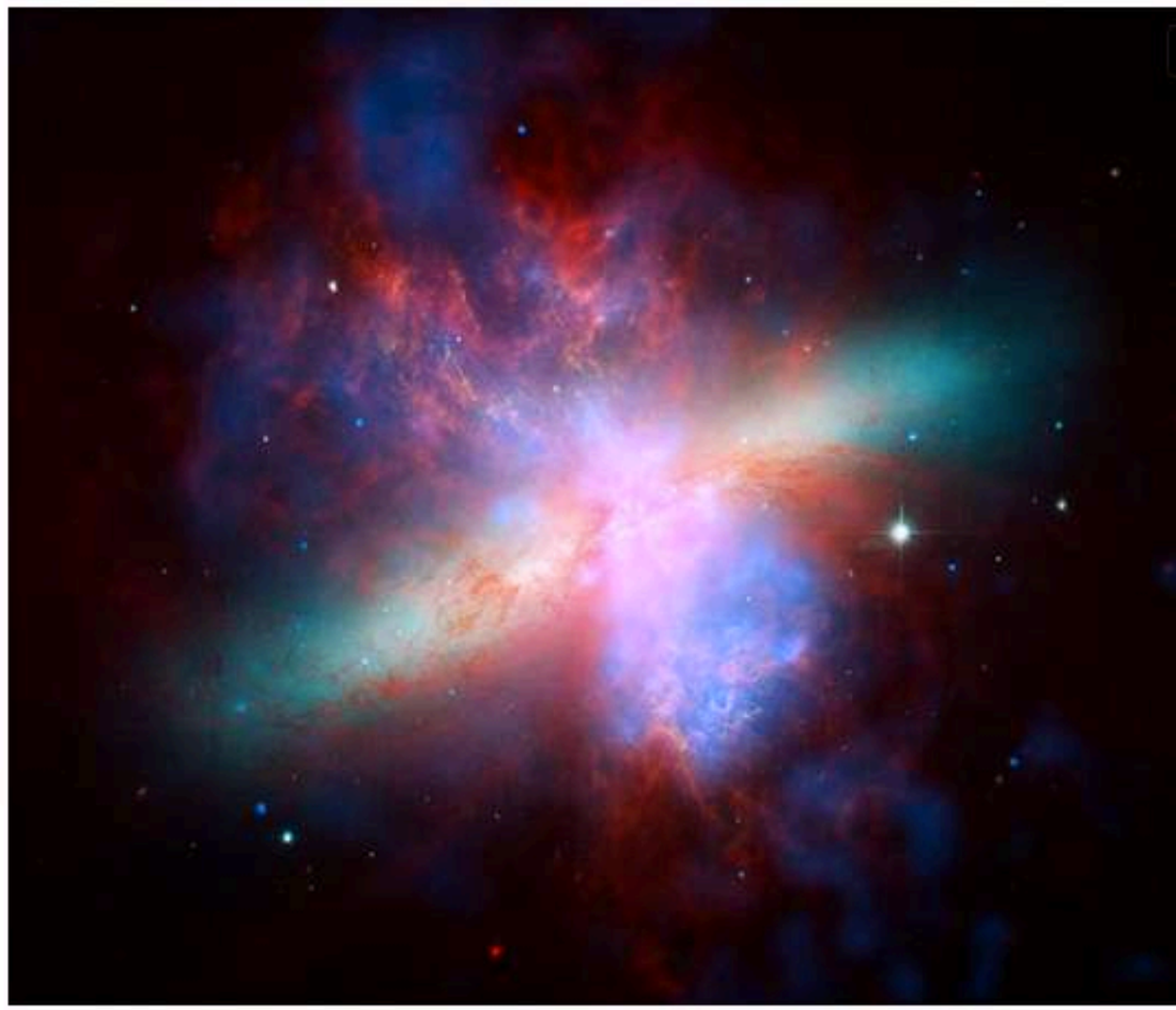


L’astronomia X e’ nata nel 1962 —- 60 anni!

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

Altri esempi di venti

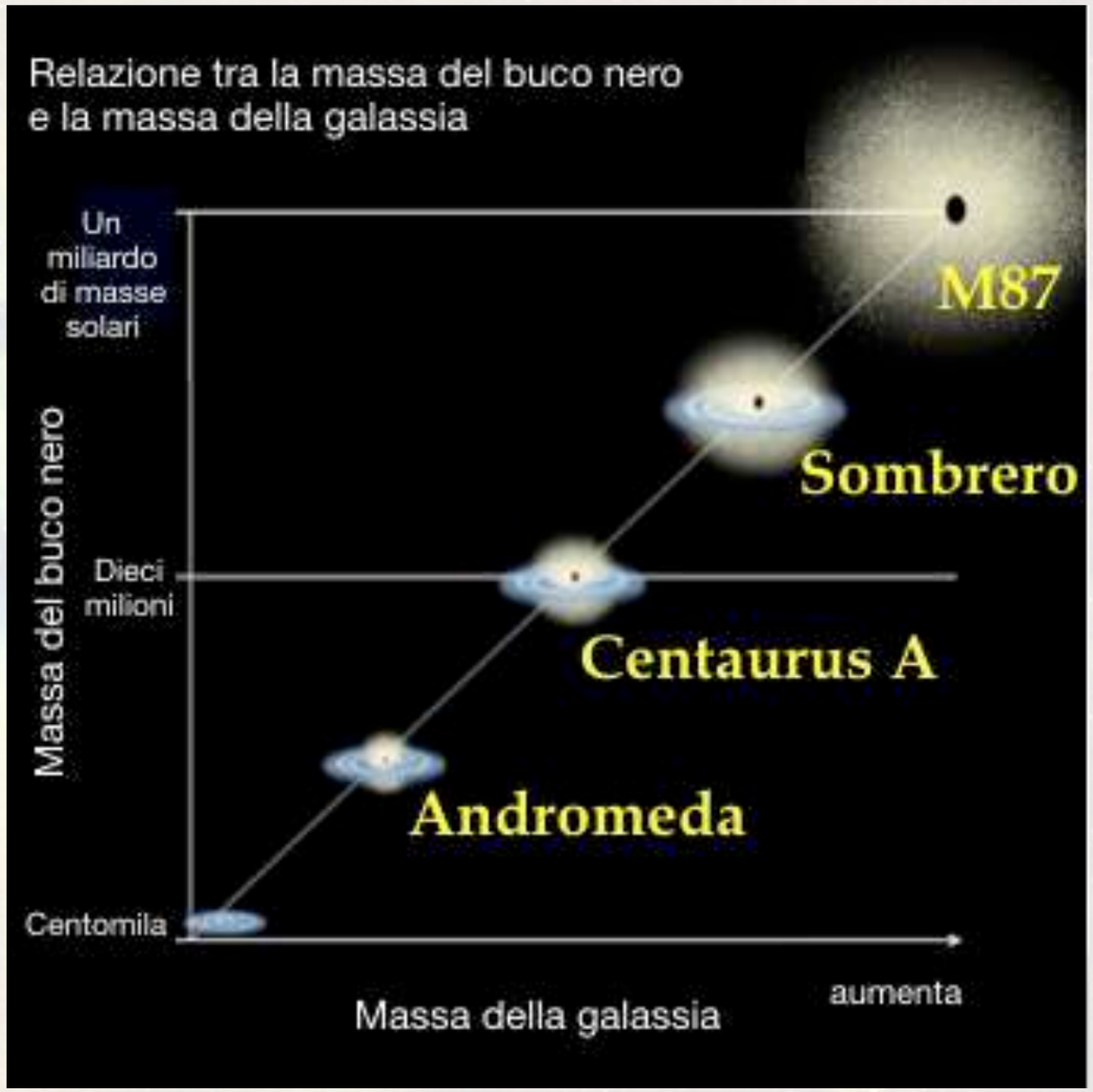




M82 (HST+Chandra+Spitzer)

Feedback da AGN

Esiste una relazione fra
la **massa del Buco Nero** e
la **massa della galassia** che lo ospita
(Magorrian et al. 1998)



Il Buco Nero regola la
crescita della galassia,
impedendole di ingrassare
più velocemente di lui

eROSITA in Italia

1) Università di Bologna
   Marcella Brusa
   Blessing Musiimenta

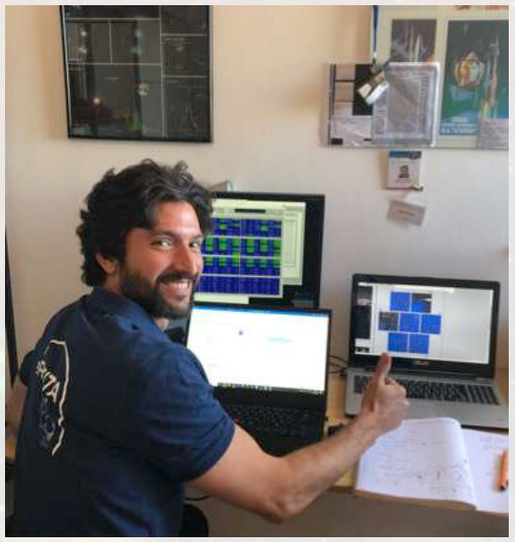
2) Istituto Nazionale di Astrofisica (Milano)
   Gabriele Ponti

3) Istituto Nazionale di Astrofisica (Trieste)
   Veronica Biffi

4) Istituto Nazionale di Astrofisica (Palermo)
   Beate Stelzer

\+ *Ottiche*
Media Lario (Milano)

Guidare eROSITA.. da casa!



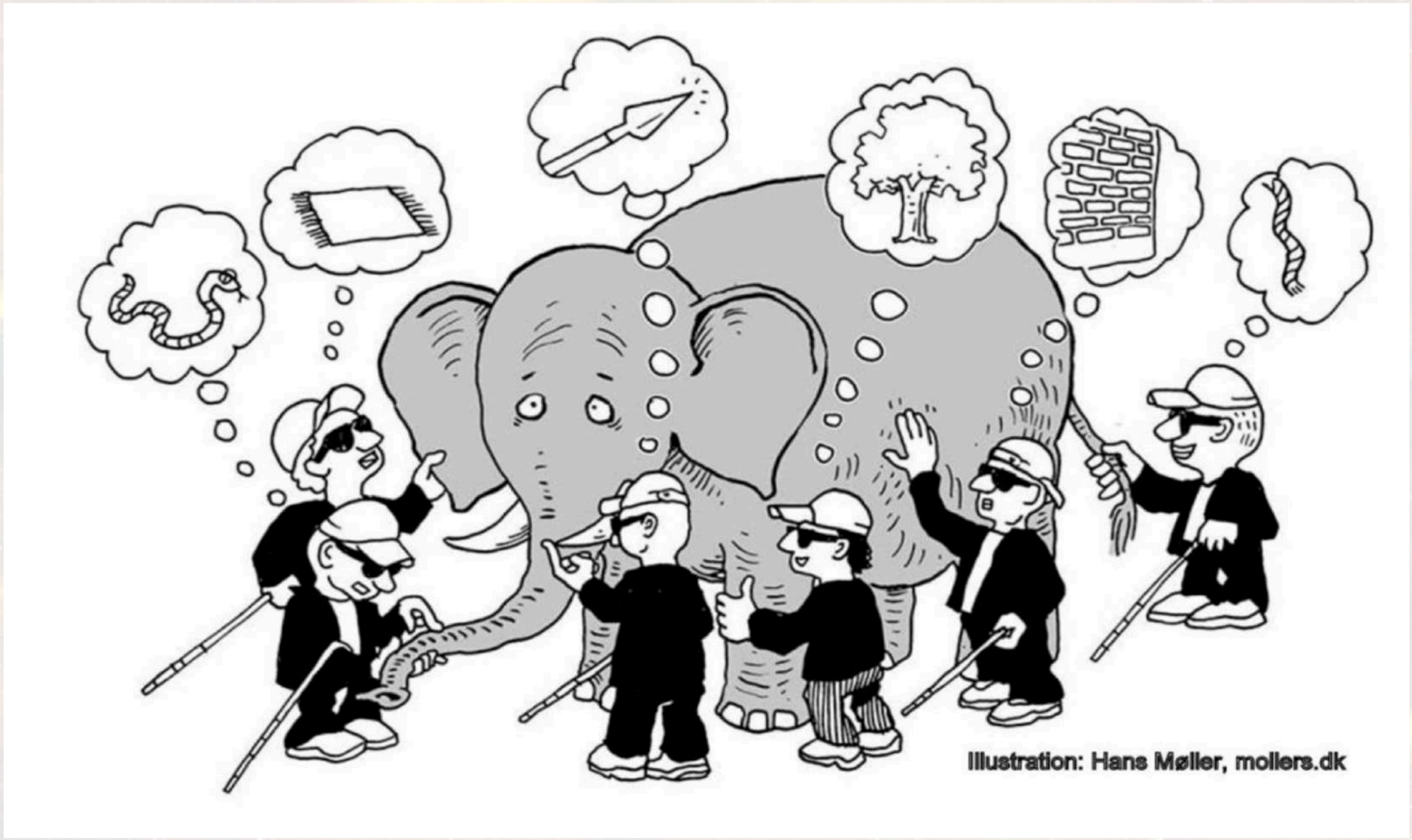
Operations @Home
April 2020 (and continuing…)

A. Merloni, SRG/eROSITA EDR 28.06.2021

durante la pandemia di COVID-19

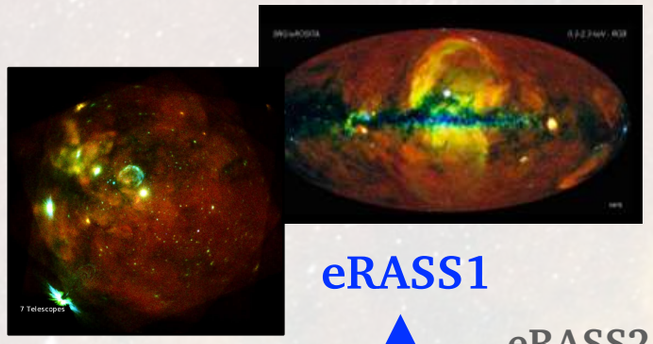
Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***

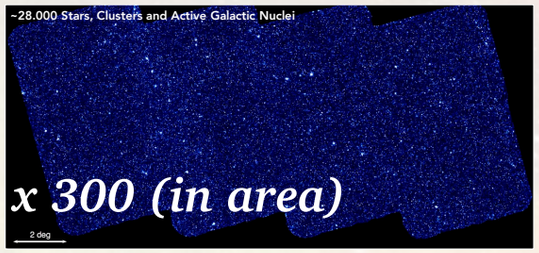
L'importanza dell'osservazione mulifrequenza

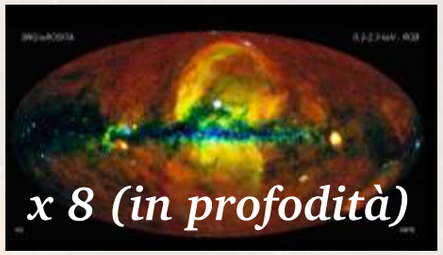


Timeline

eROSITA_DE







CalPV

eRASS1

eRASS2

eRASS3

eRASS4 **eRASS5**

eRASS6

eRASS7

eRASS8
All-sky survey

3-years pointed observations
GO phase

2019 **2020** **2021** **2022** **2023** **2024** **2025** **2026**

Launch

Astrophysics community

EdR
CalPV data

DR1
eRASS1

DR2
eRASS3

DR3
eRASS8
All-sky survey

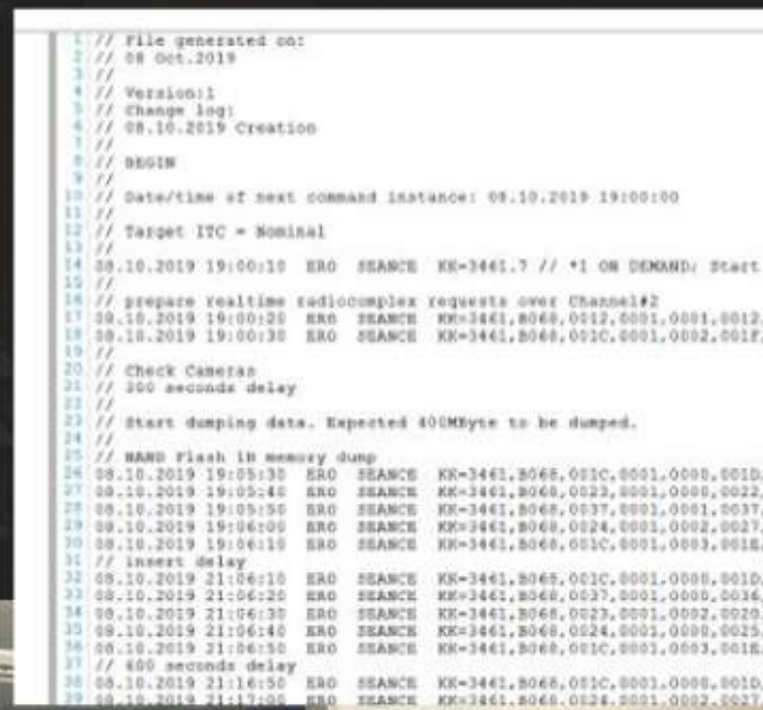
TODAY

eROSITA operation center

Courtesy of D. Coutinho

eROSITA Operations – eROSITA Control Room and operations

- Operations take place on a daily basis, 365 days per year
- 4h to 5h per day
- 2 responsible eRO operators per ground contact
- Pool of 10 people in shifts work as eRO operators
- Enabled remote access and control for “special periods”



Tavolo di lavoro
(progettazione della missione)

Marcella Brusa (DIFA, INAF-OAS)— ***Conferenza alla Specola, Marzo 2022***