Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Tracing r-process nucleosynthesis in neutron star mergers with long-lived remnants

Eleonora Loffredo

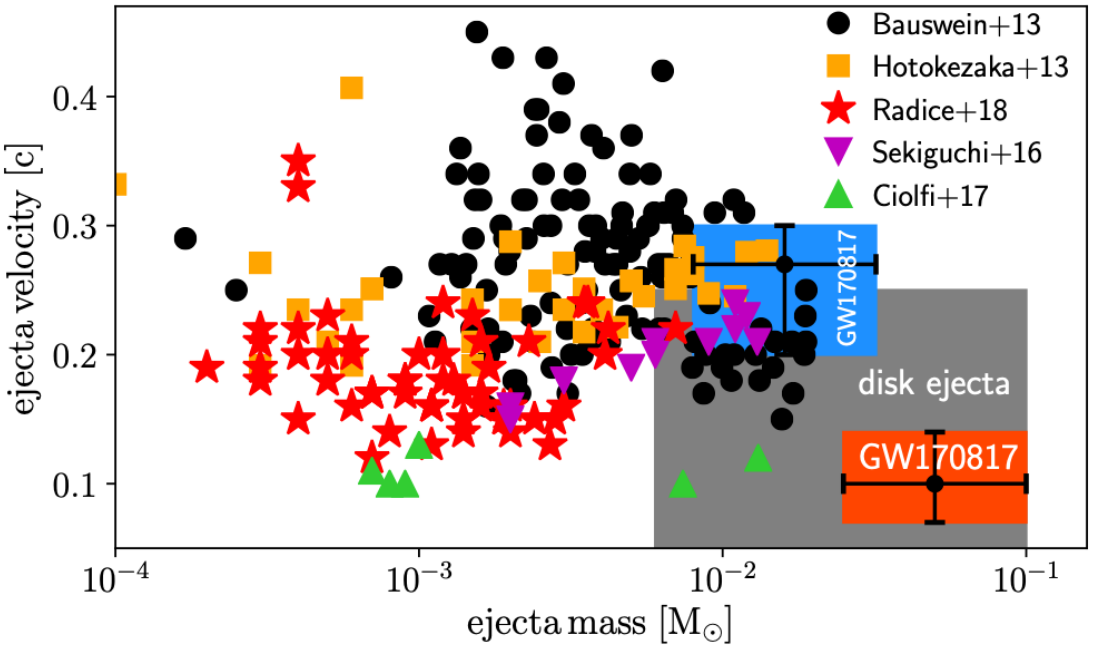
INAF OAAB & INFN LNGS

S. Cristallo, F. M. Guercilena, A. Perego, D. Vescovi

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

BNS & Kilonovae: some challenges

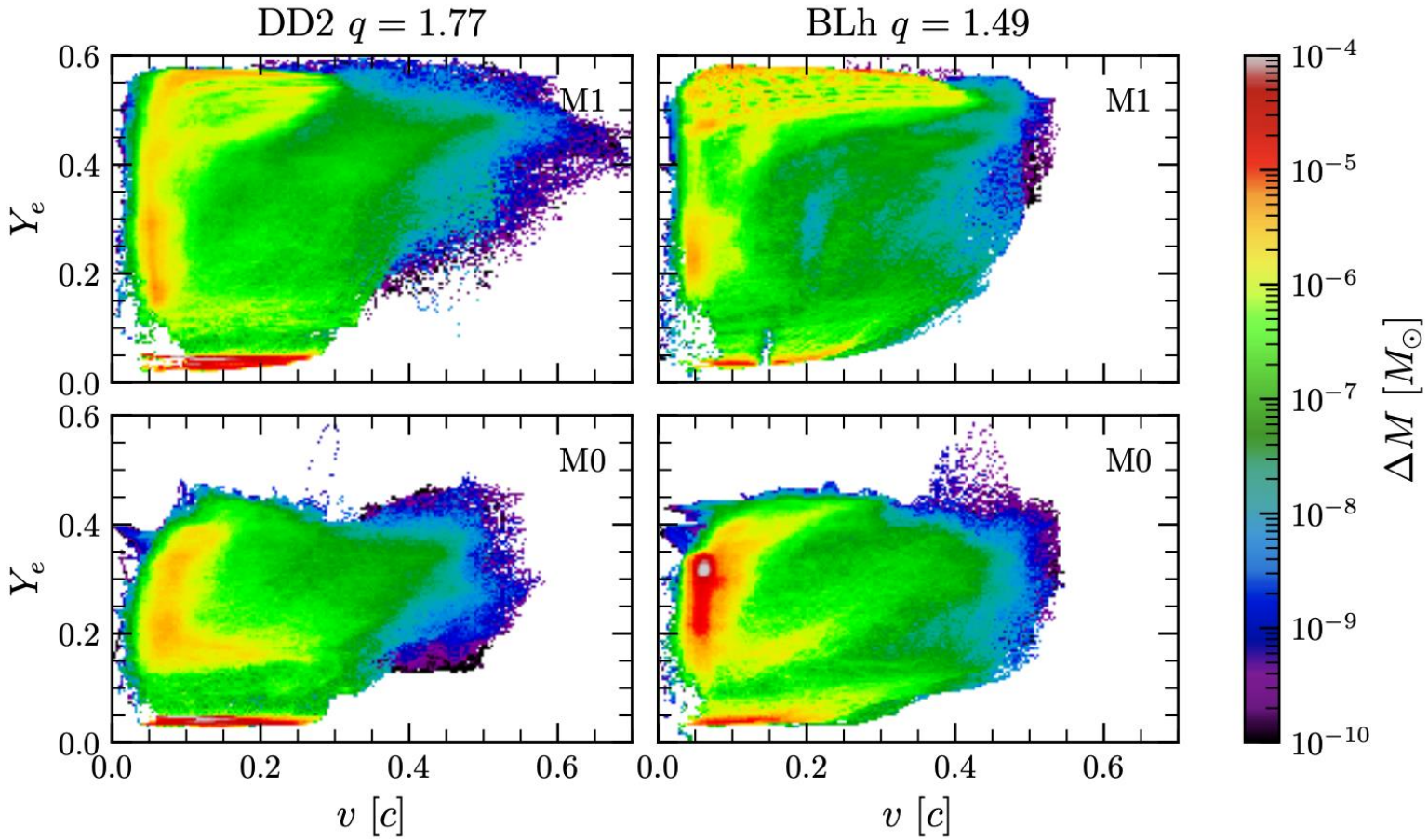
- BNS contribution to r-process
- AT2017gfo: ejecta, nucleosynthesis, spectra
- Kilonovae & long GRBs [Rastinejad+22; Troja+22; Mei+22; Levan+23]
- BNS merger population [Santoliquido+21; Mandel+22; Iorio+23]



Credits: Siegel, EPJA, 2019

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Impact of EOS and neutrino treatment



Credits: Bernuzzi et al, 2024

E.g. Foucart+16,20; Radice+22; Kiuchi+23; Just+23; Ricigliano+24; Bernuzzi+24; Sneppen+24; Jacobi+25

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Aims

- Investigate impact of neutrino winds on the nucleosynthesis
- Produce publicly available database of r-process yields varying BNS mass ratio and EOS

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Method

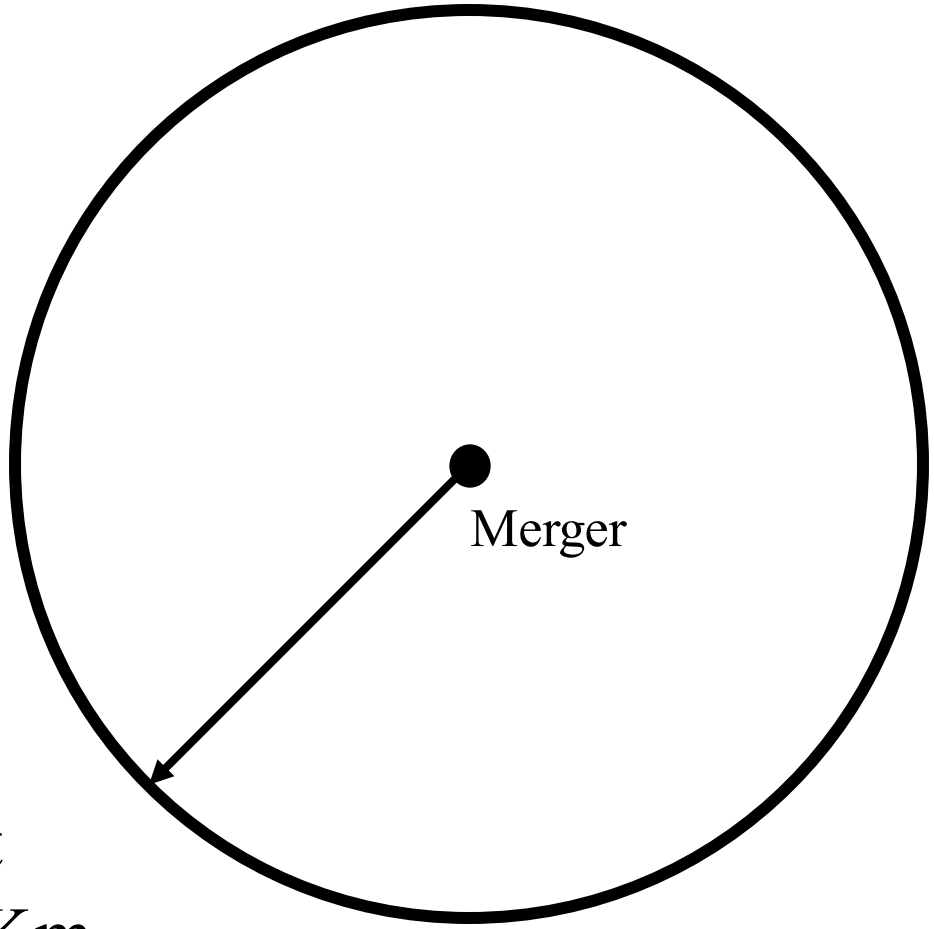
- Set of BNS merger simulations with long-lived remnants
- Neutrino treatment: M1 gray scheme [Radice+22]
- Extract tracer particles for ejecta
- Compute nucleosynthesis with WinNet [Reichert+23]

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Method

- Set of BNS merger simulations with long-lived remnants → SFHo EOS and unitary mass ratio
- Neutrino treatment: M1 grey scheme [Radice+22]
- Extract tracer particles for ejecta
- Compute nucleosynthesis with WinNet [Reichert+23]

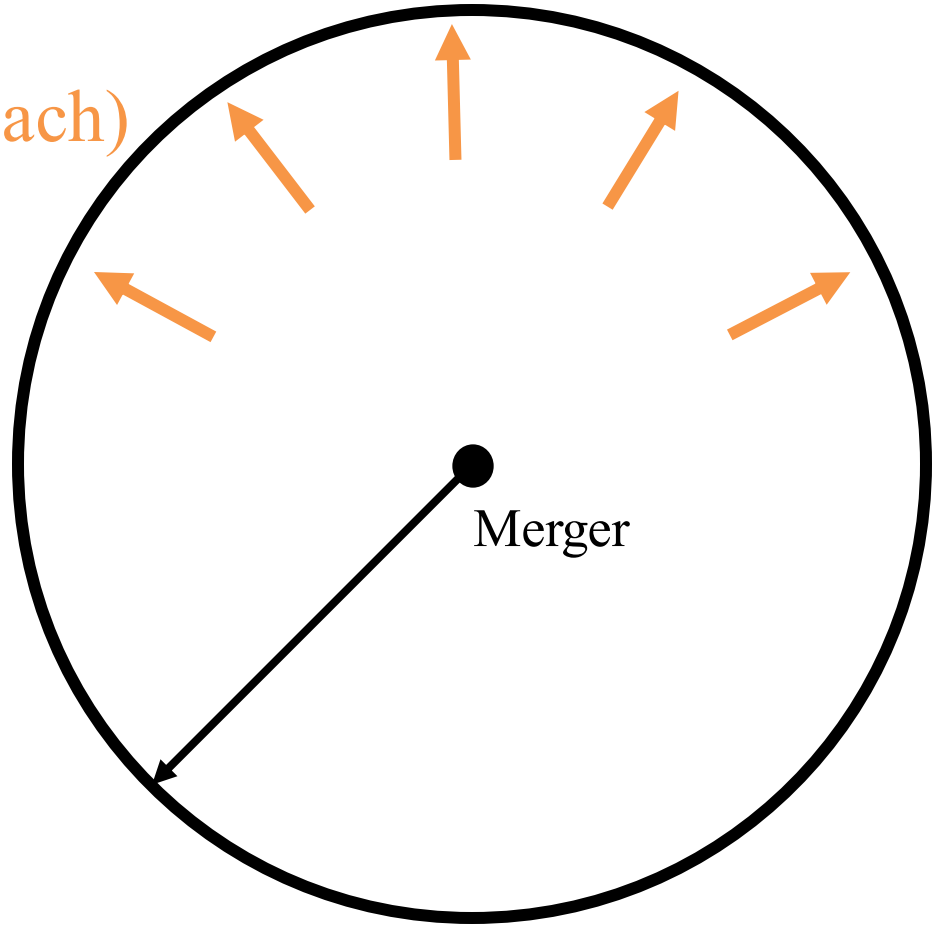
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo



Detector at
$R \cong 443$ Km

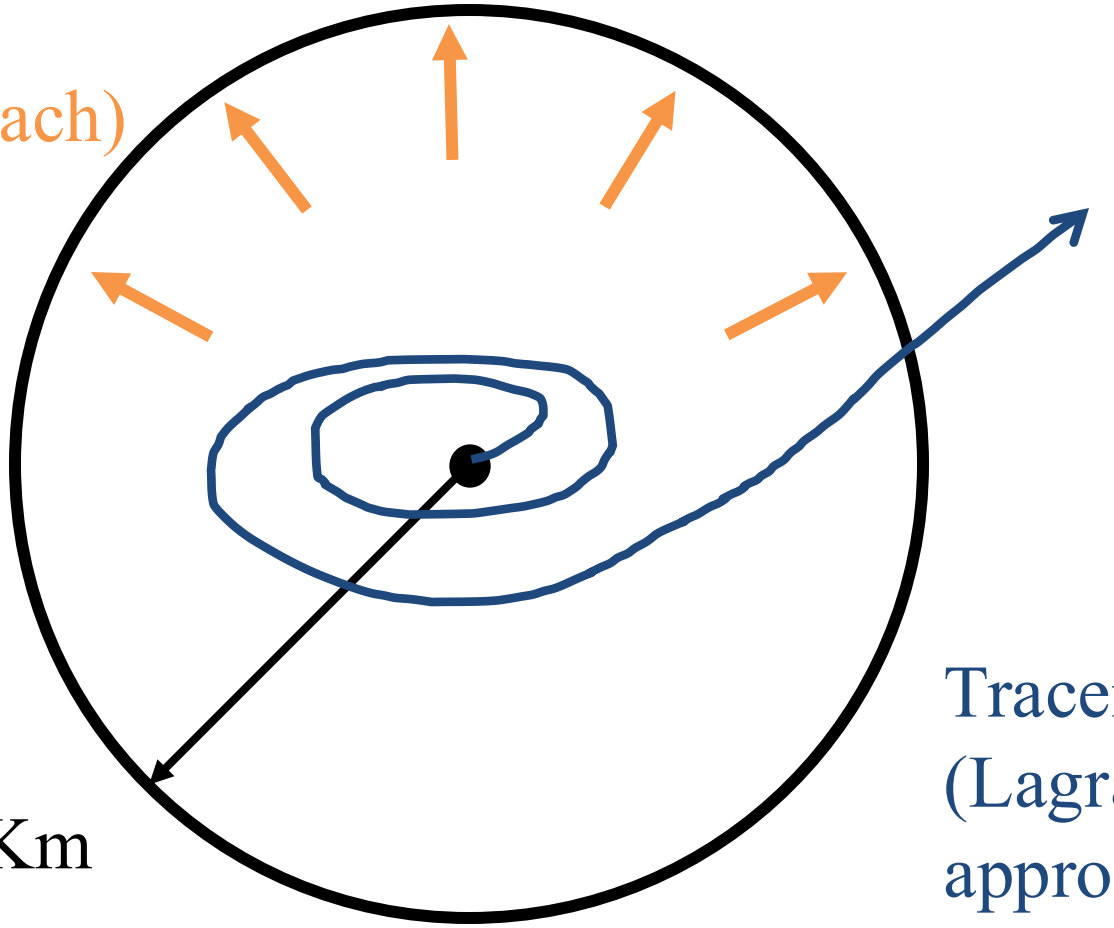
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Flux of ejected matter (Eulerian approach)



Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Flux of ejected matter (Eulerian approach)

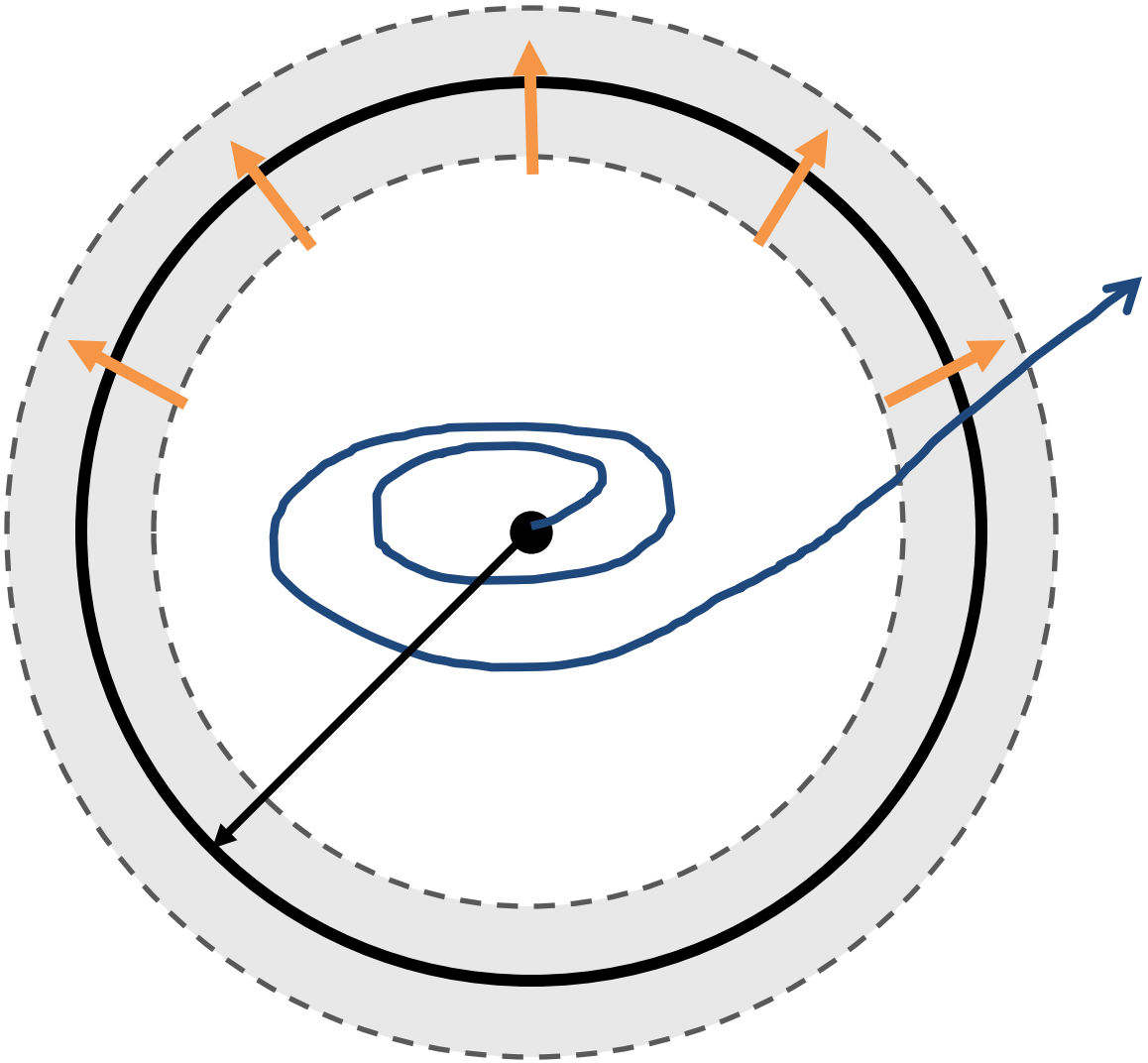


Tracer particles (Lagrangian approach)

$R \cong 443$ Km

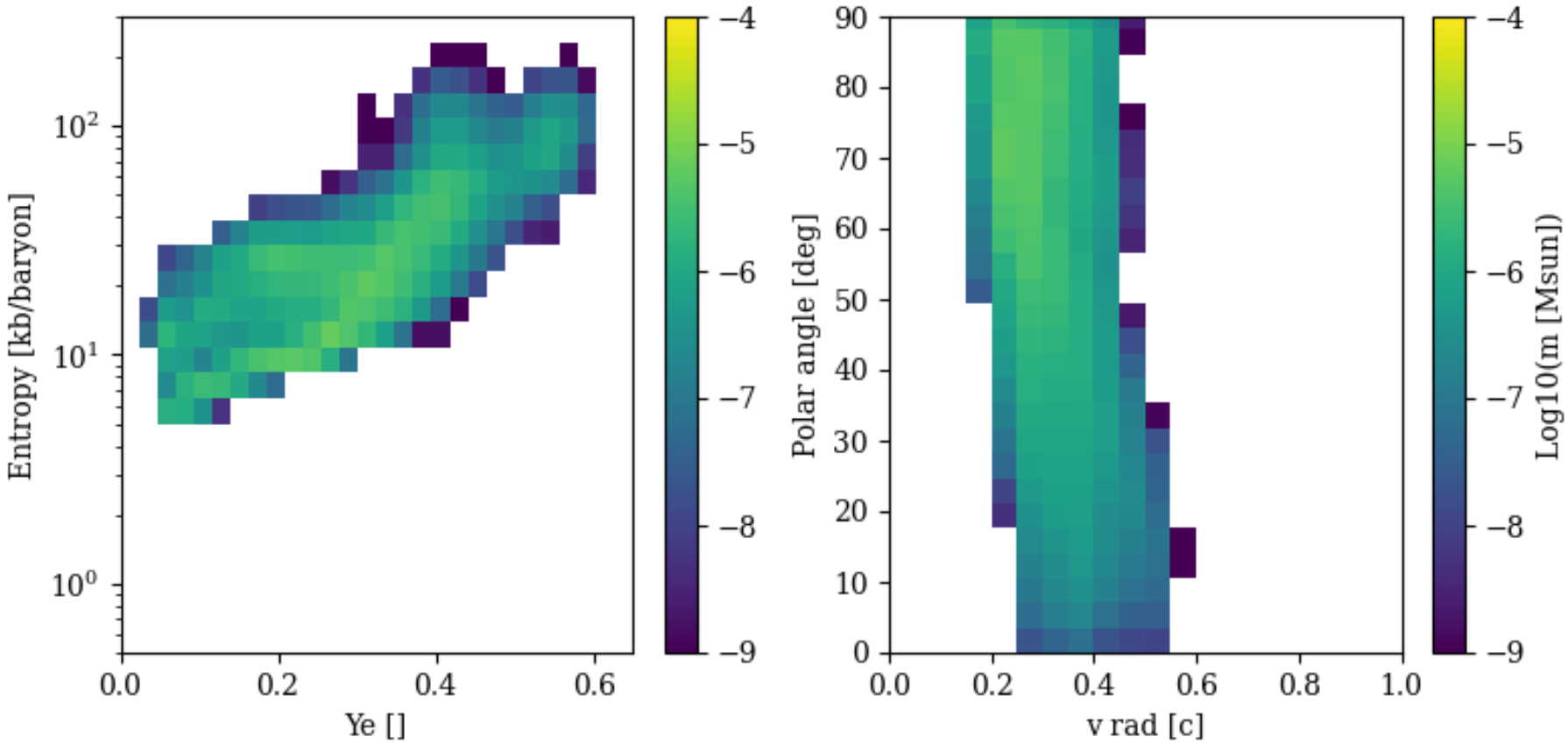
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Time windows $\Delta t_1, \ldots, \Delta t_n$



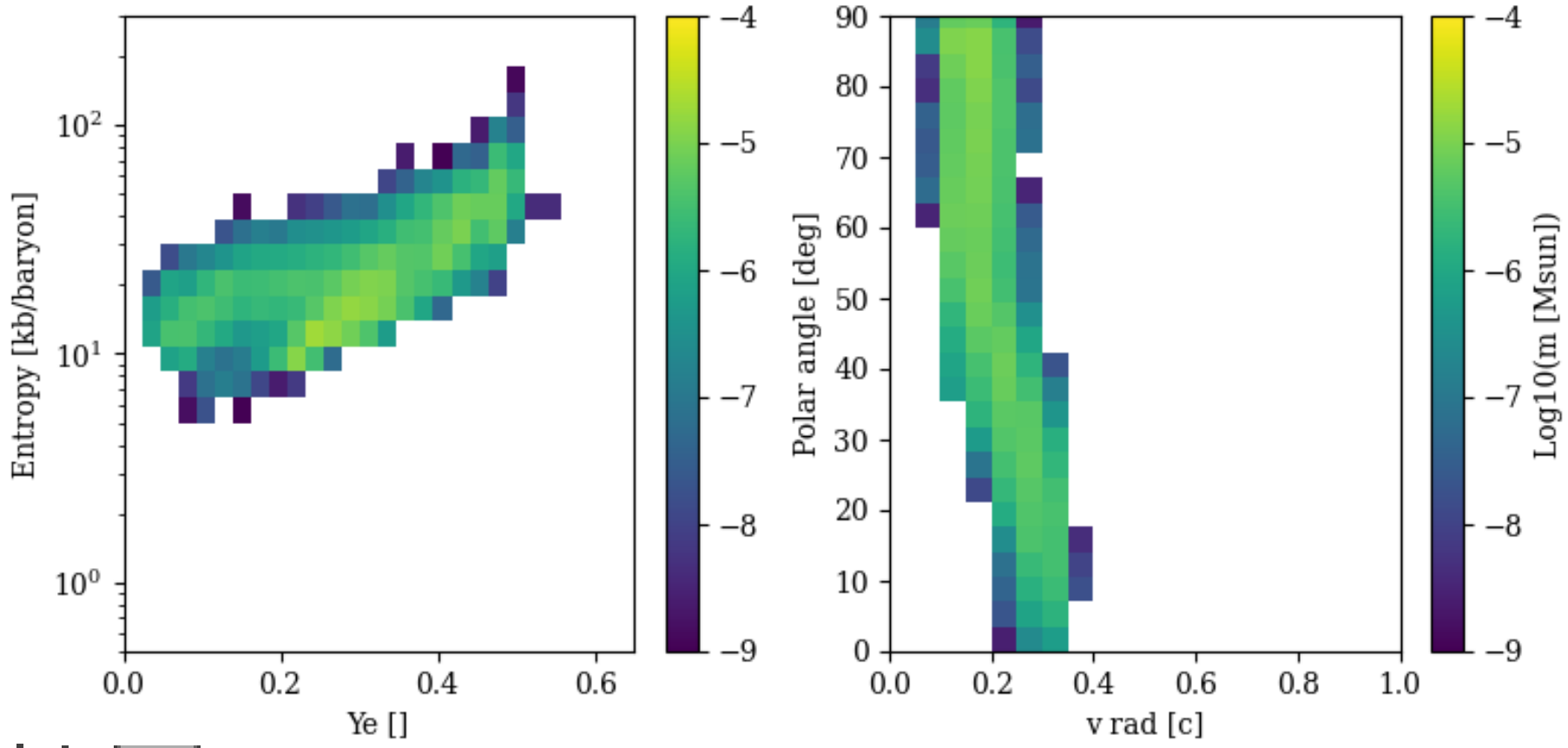
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Ejecta analysis



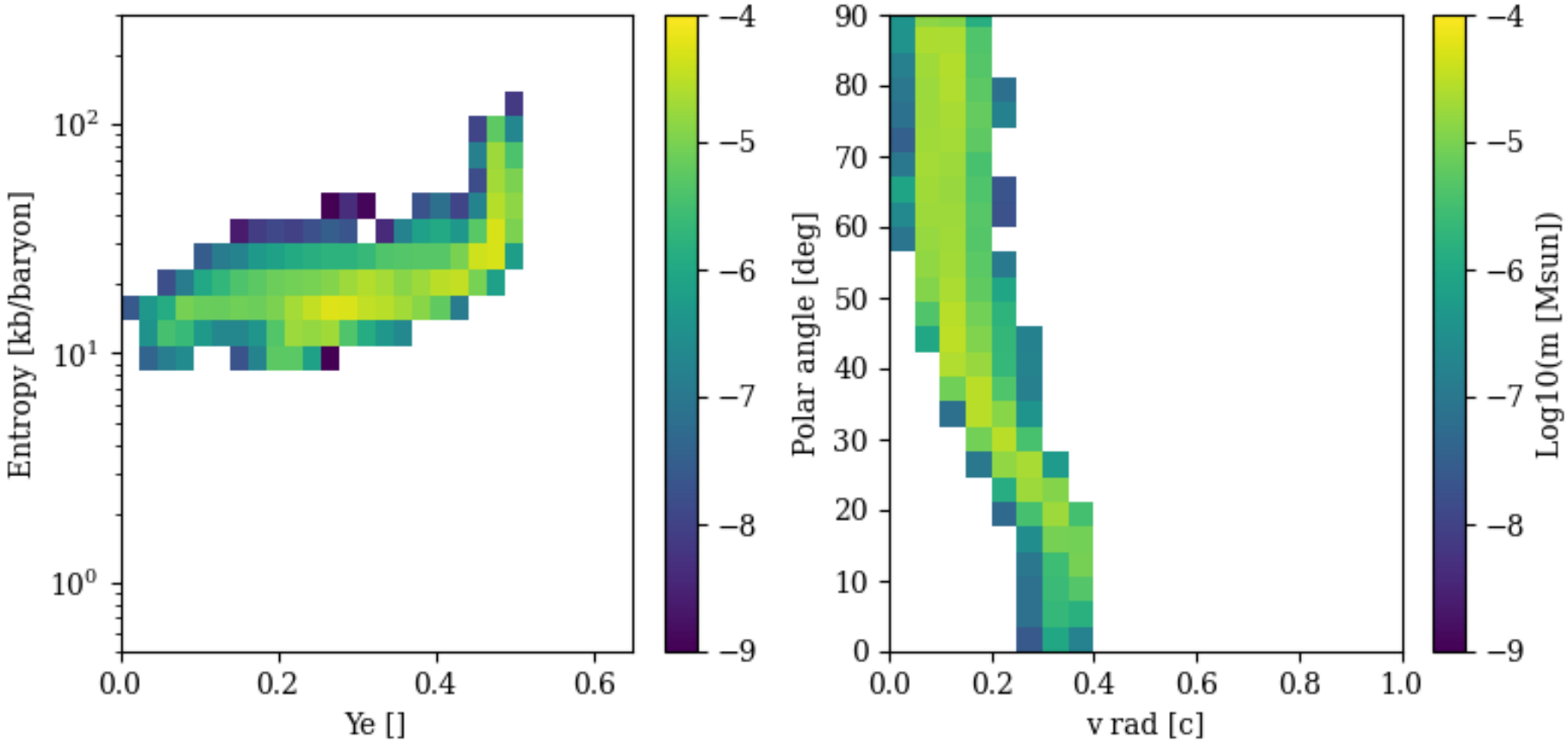
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Ejecta analysis



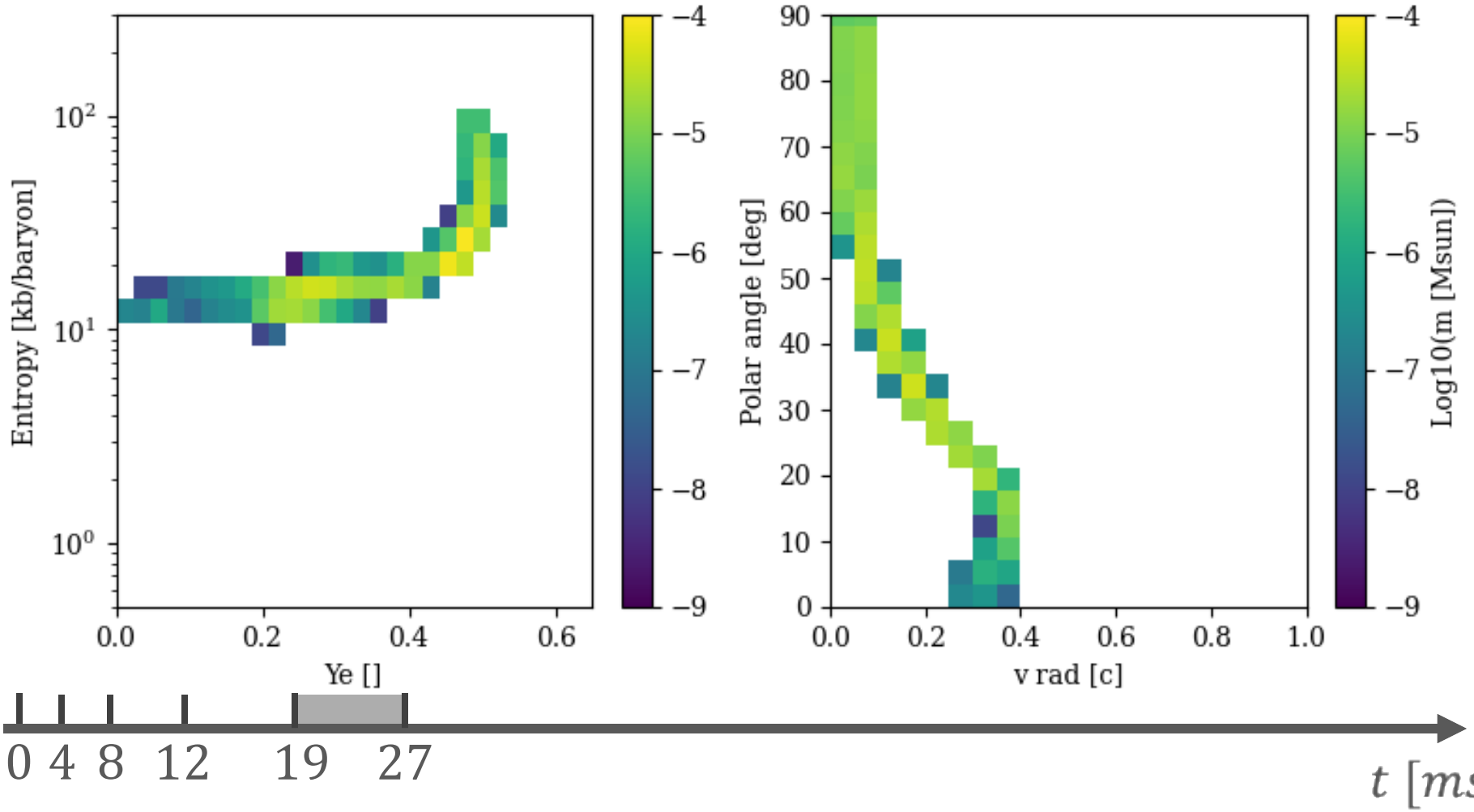
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Ejecta analysis



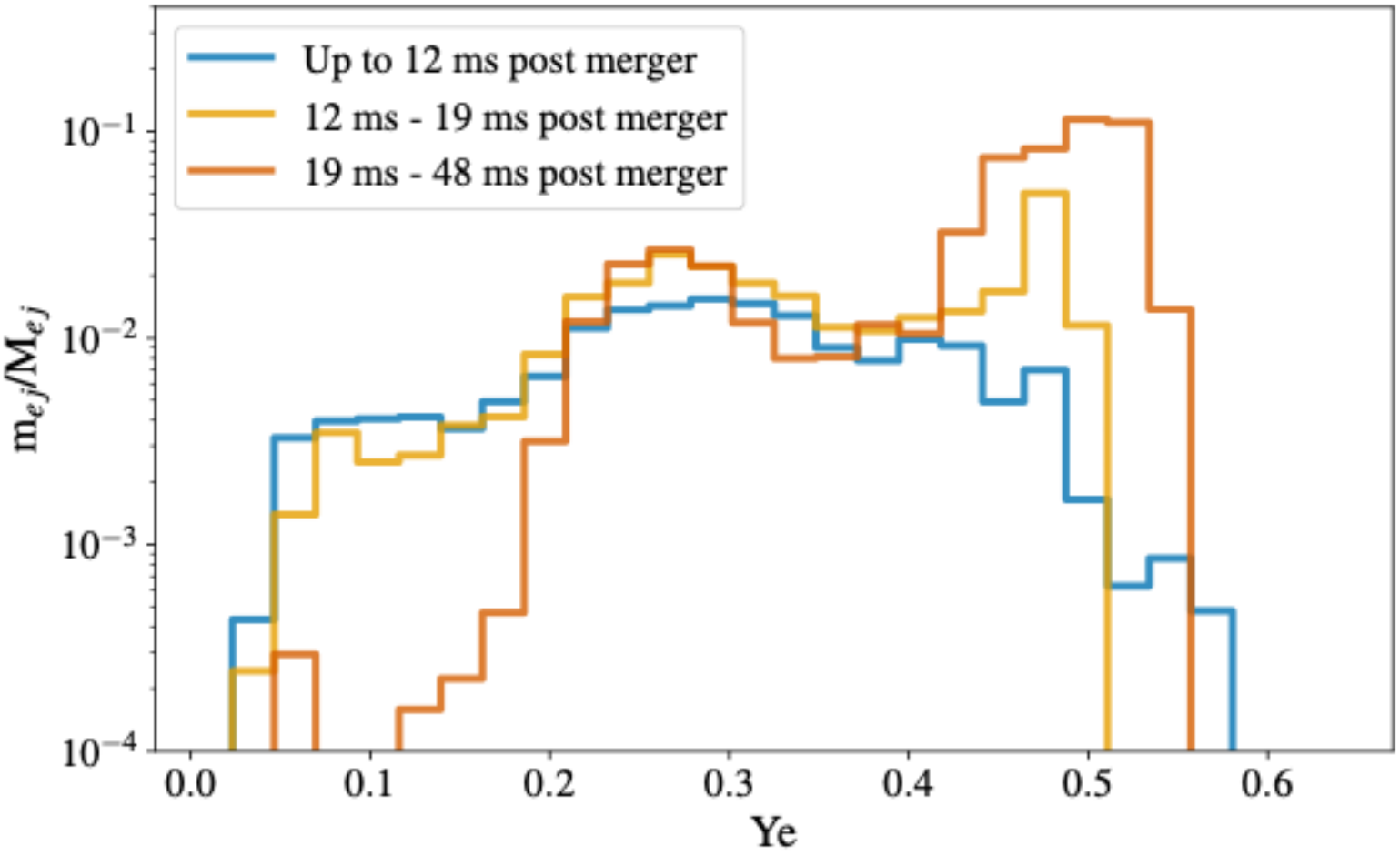
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Ejecta analysis



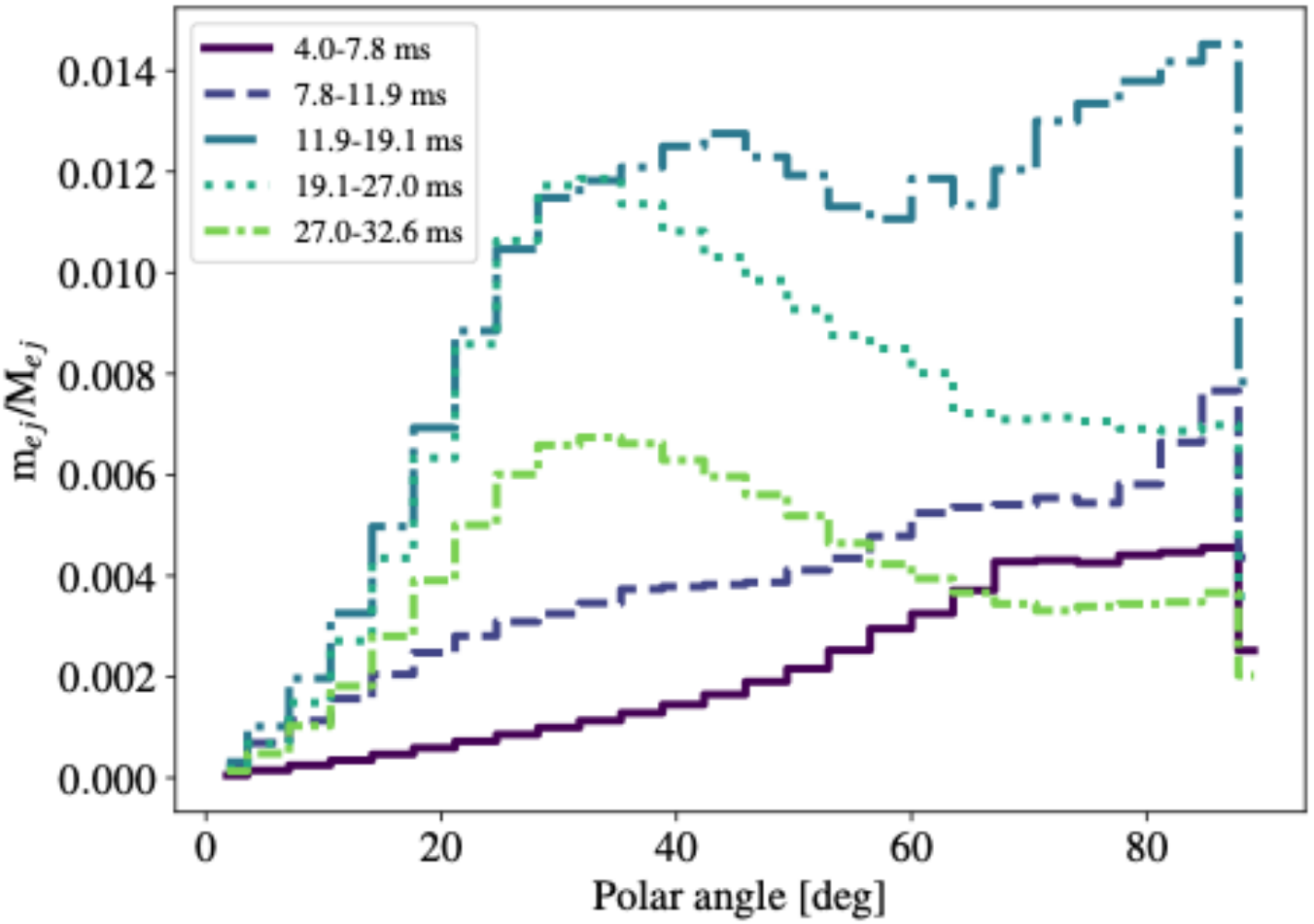
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Ejecta analysis: Ye distribution



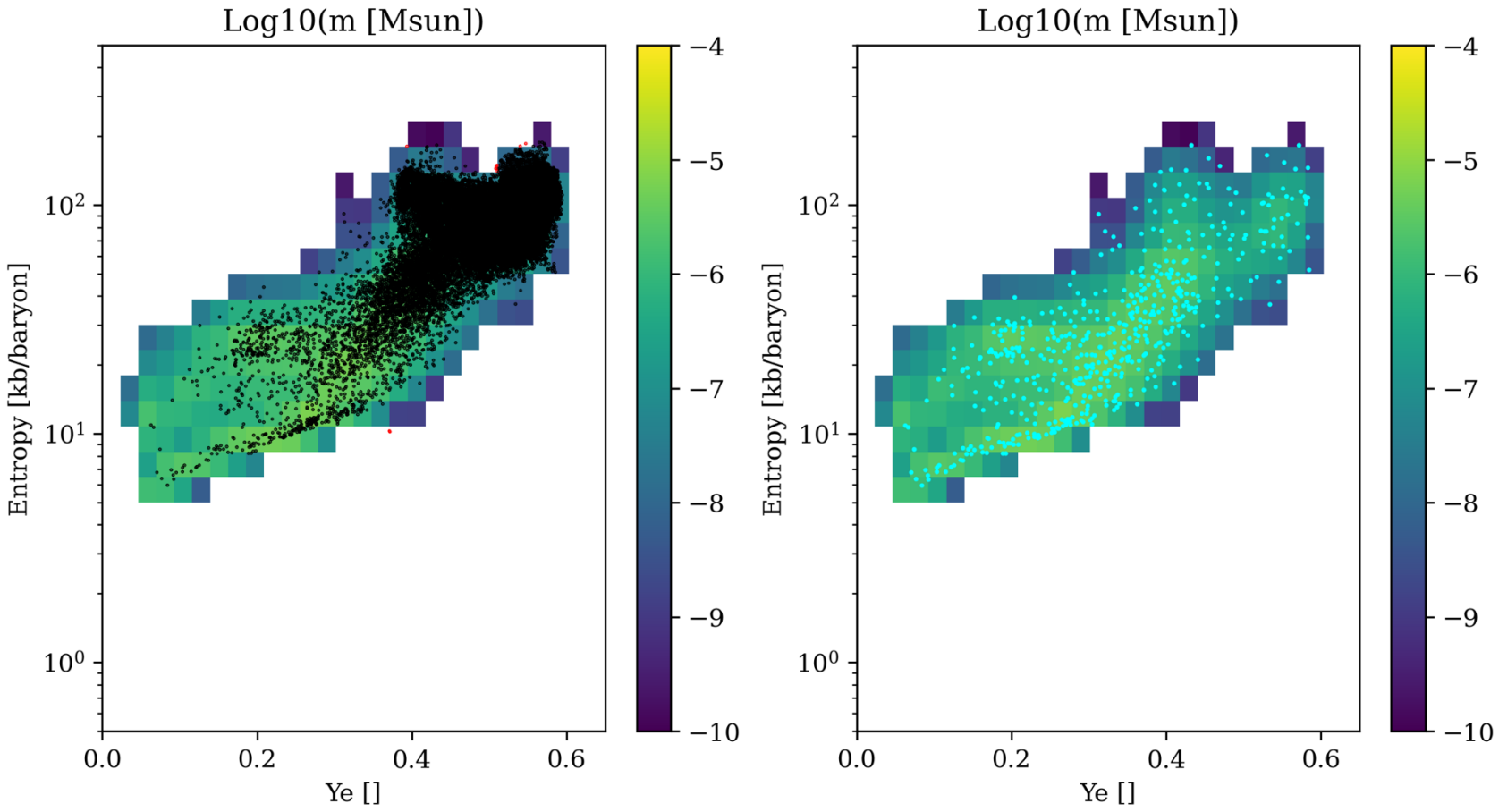
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Ejecta analysis: angular distribution



Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

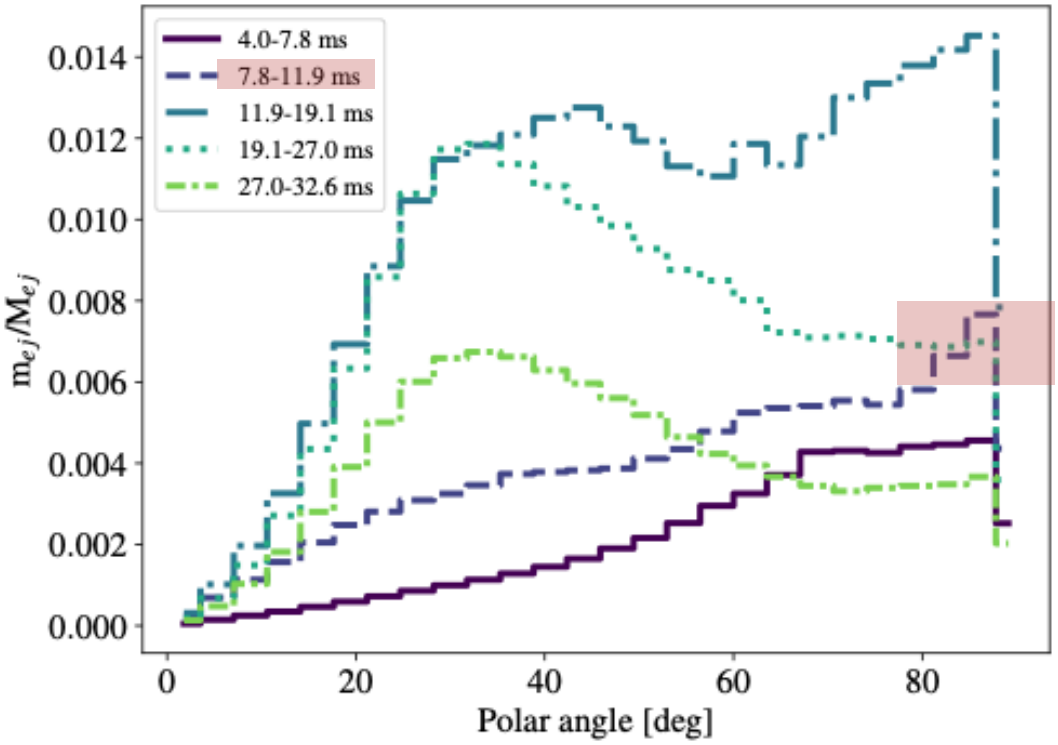
Tracer extraction

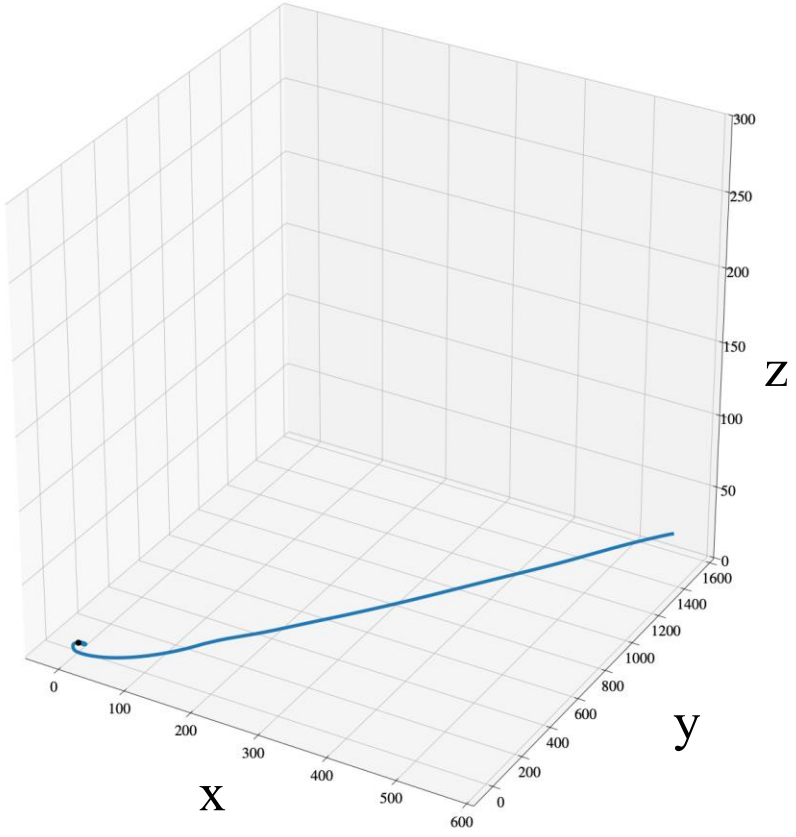


From 2.6×10^5 to 3×10^3 tracers: mass weighted extraction per time window

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

$$Y_e(t_{merger}) = 0.10$$

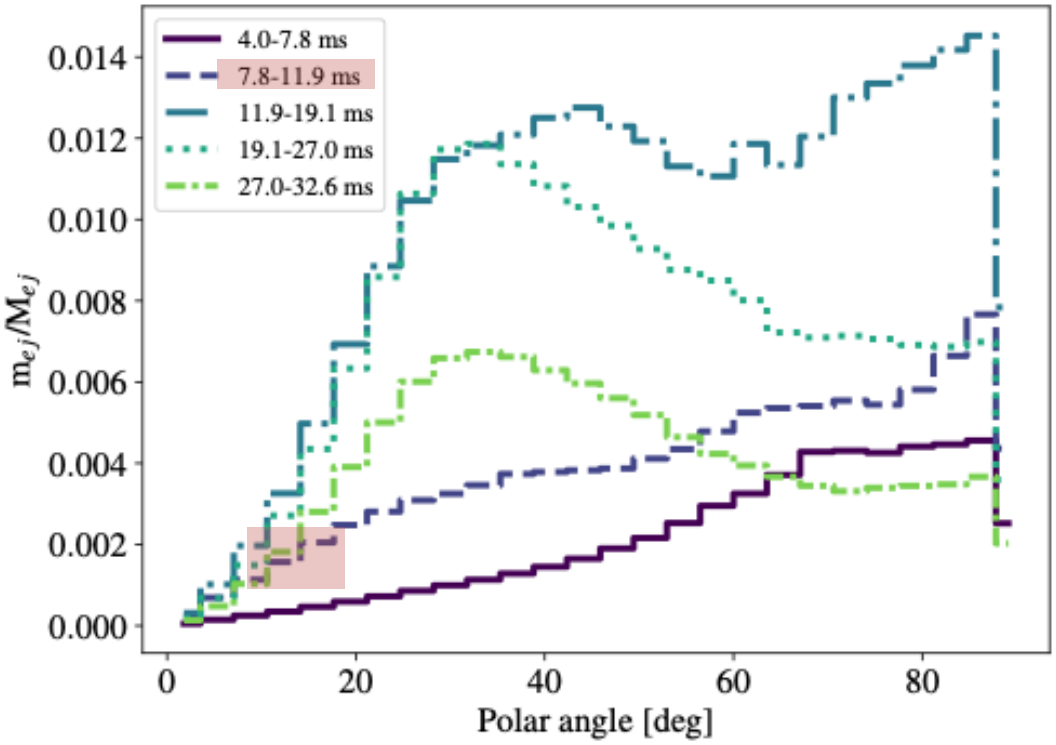


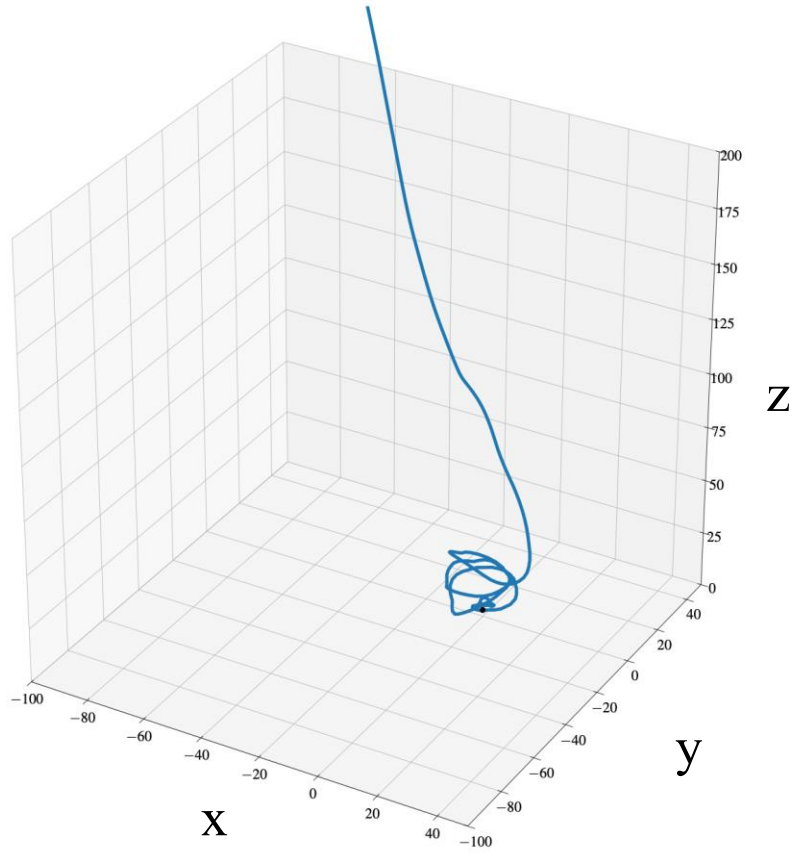


$$Y_e(t_{fin}) = 0.06$$

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

$$Y_e(t_{merger}) = 0.10$$

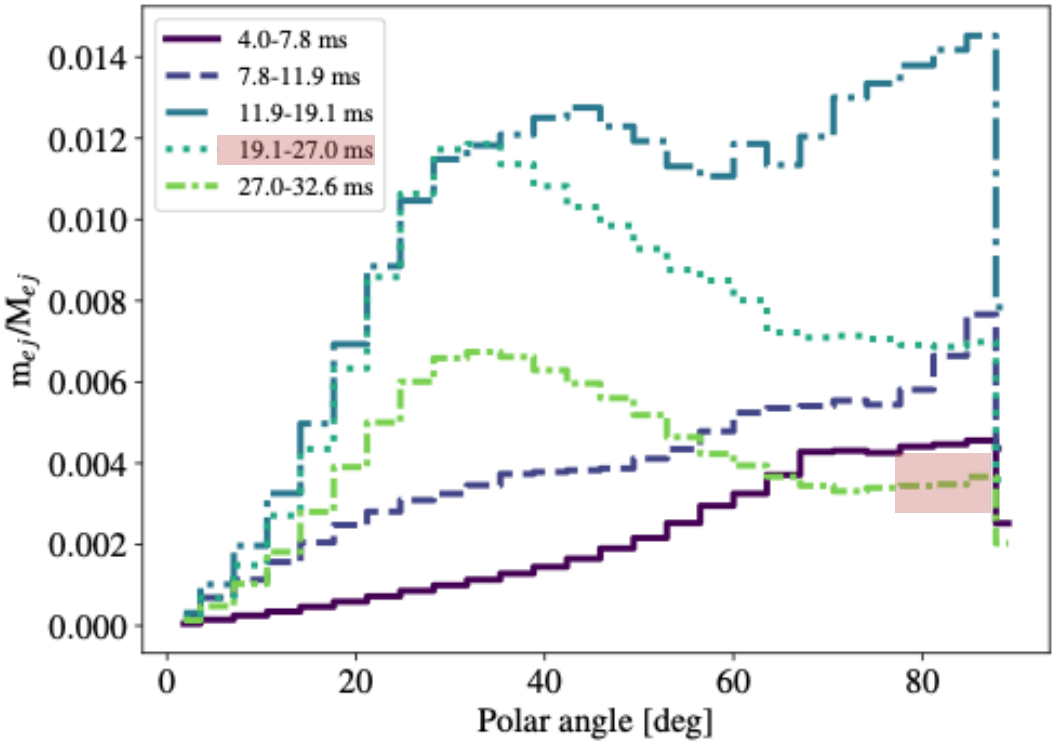


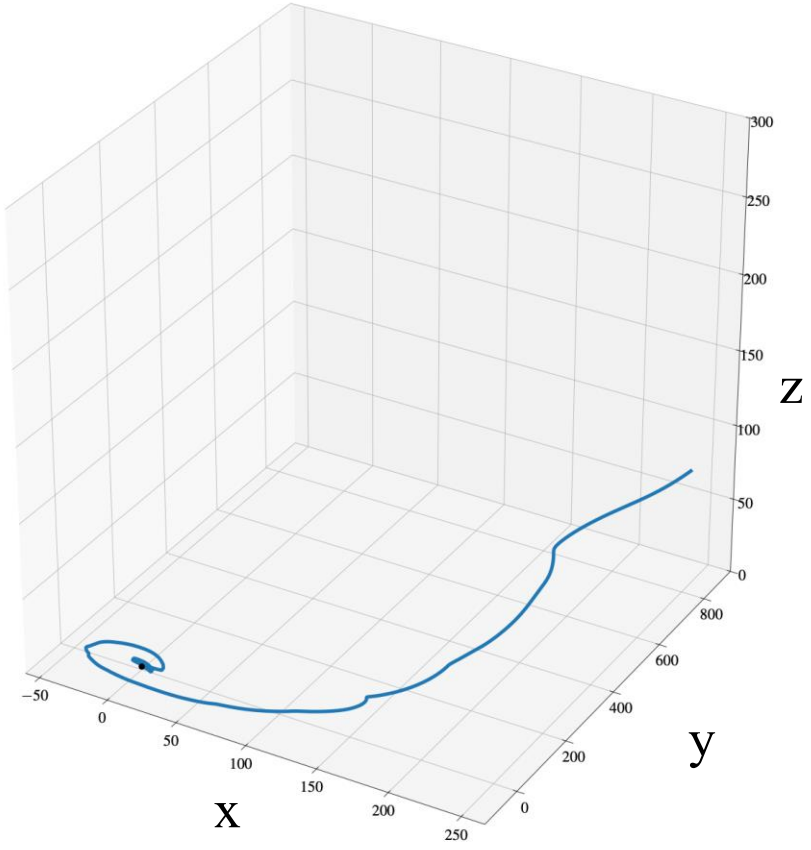


$$Y_e(t_{fin}) = 0.49$$

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

$$Y_e(t_{merger}) = 0.10$$

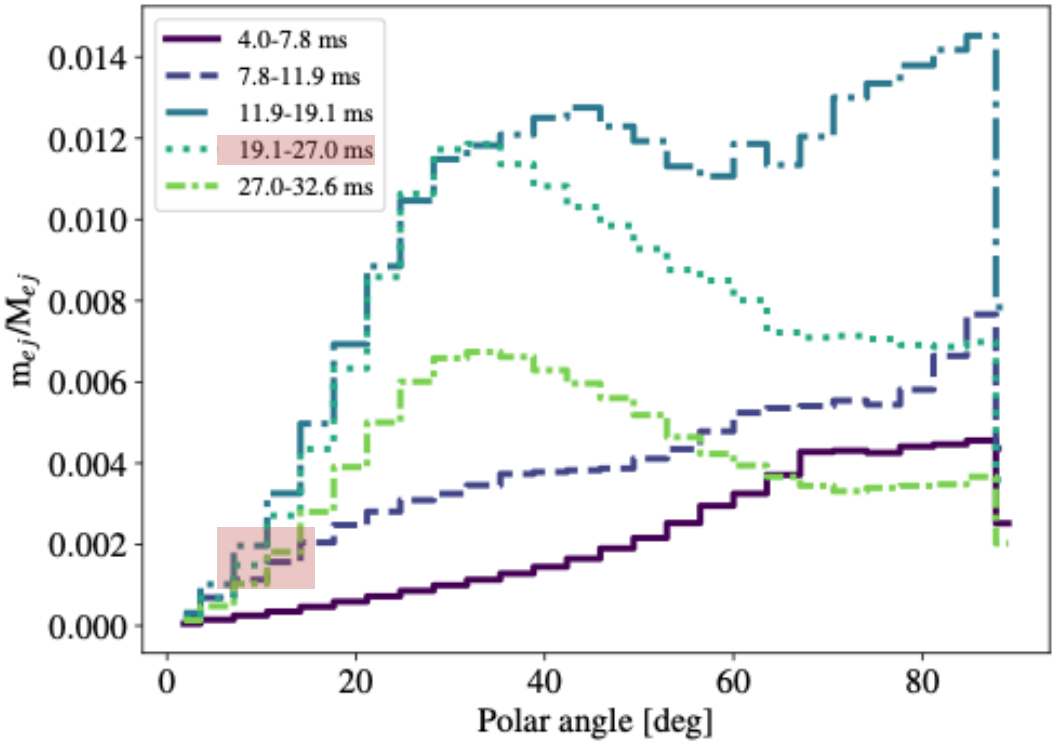


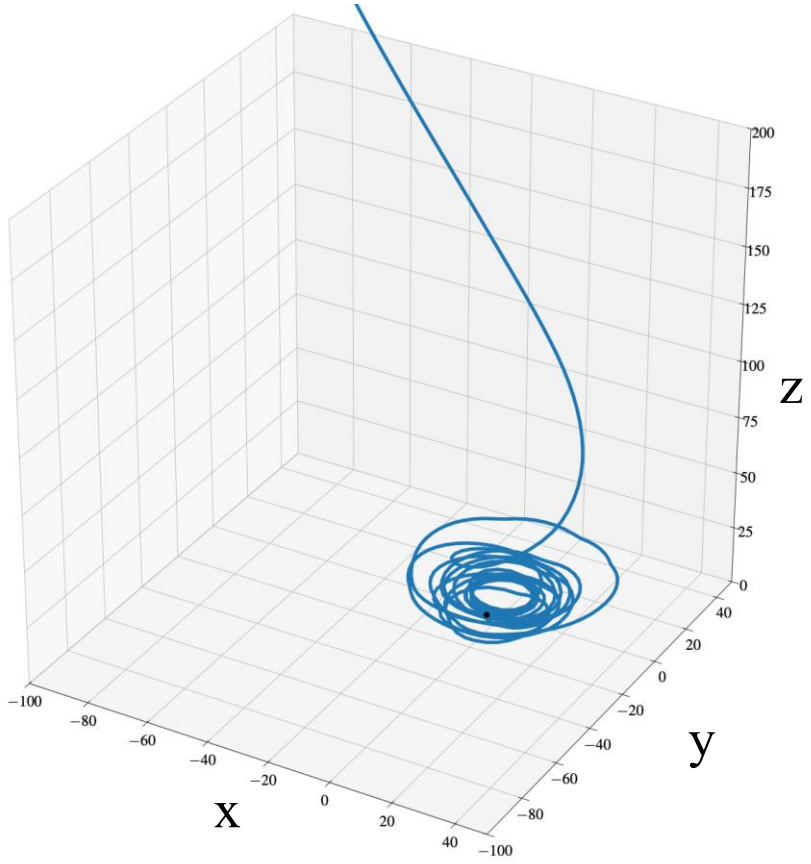


$$Y_e(t_{fin}) = 0.29$$

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

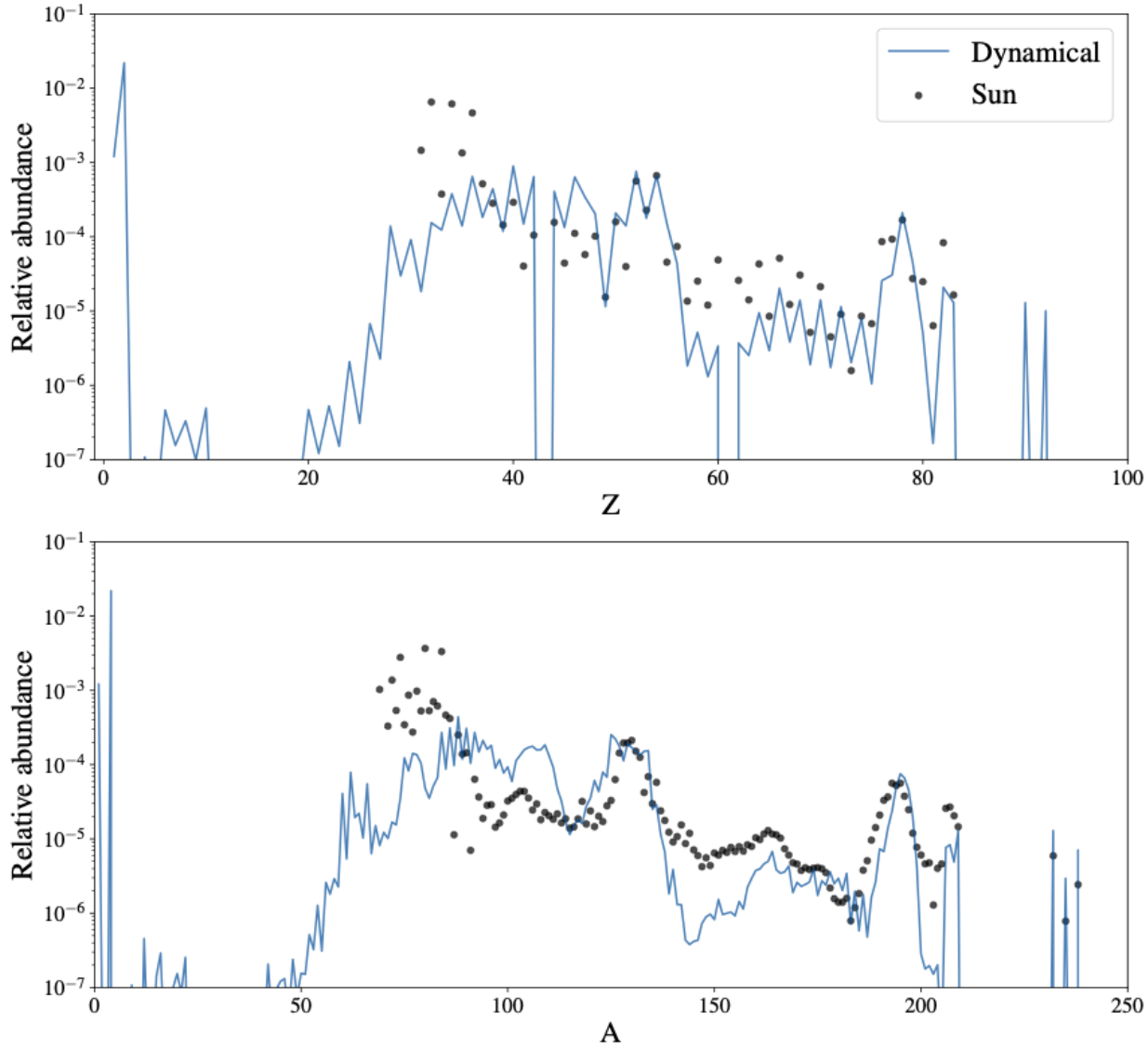
$$Y_e(t_{merger}) = 0.10$$



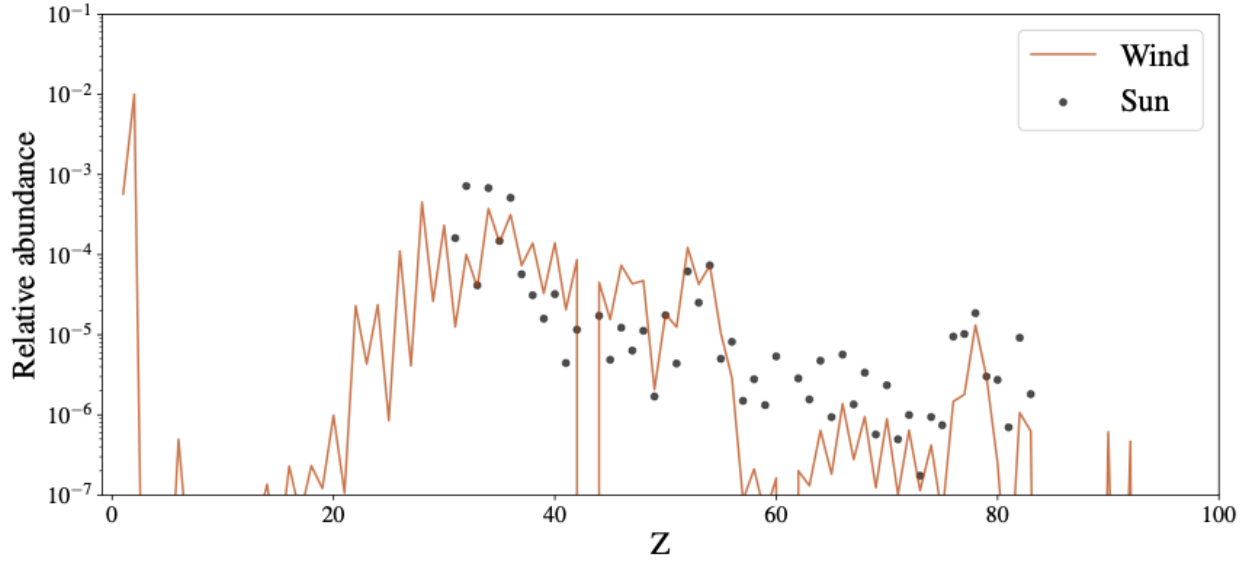


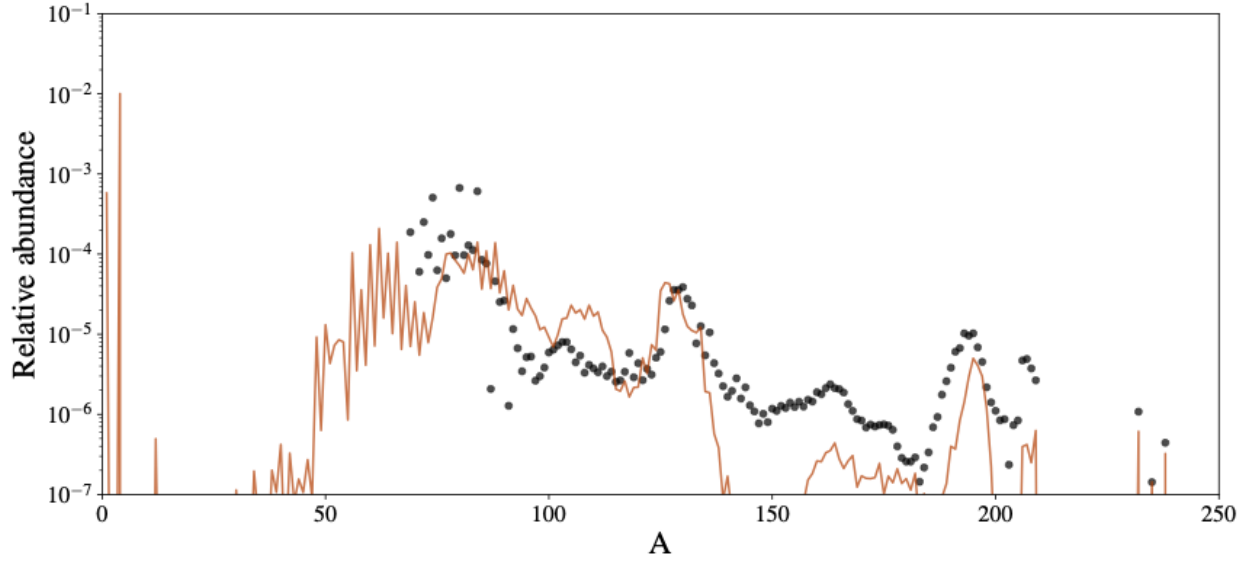
$$Y_e(t_{fin}) = 0.5$$

Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF
ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

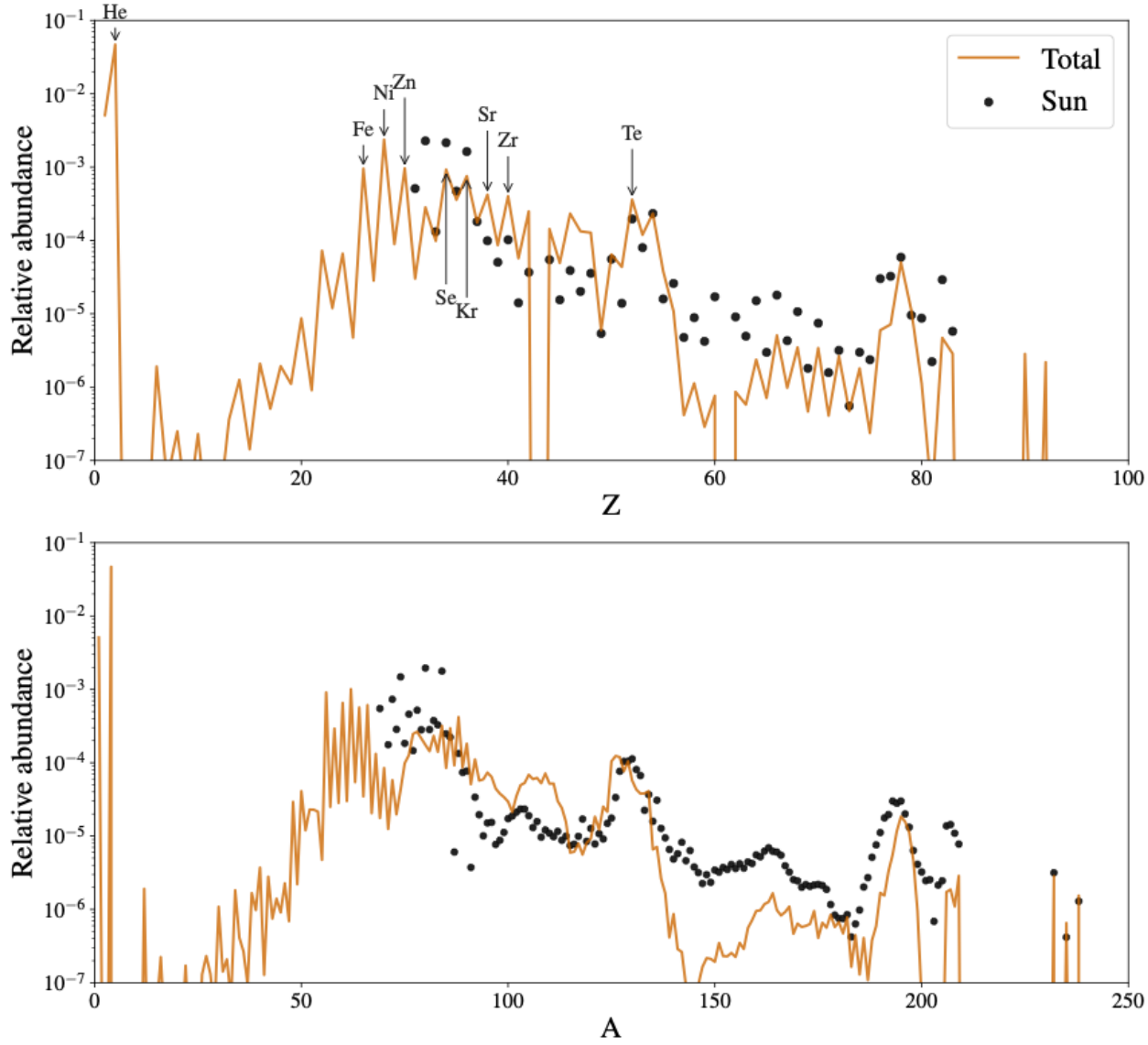


Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF
ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
Osservatorio Astronomico d'Abruzzo



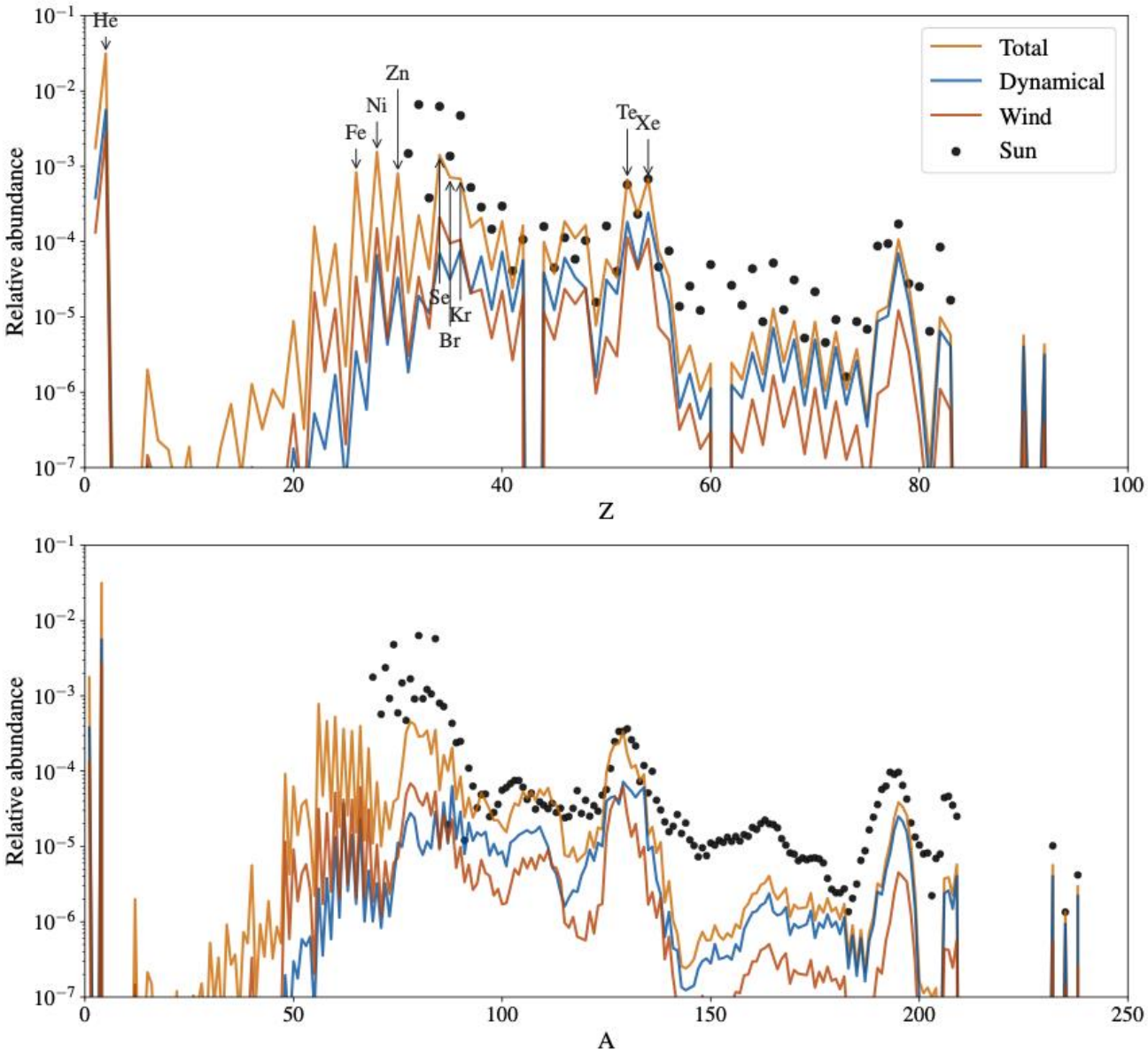


Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani
PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF
ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
Osservatorio Astronomico d'Abruzzo



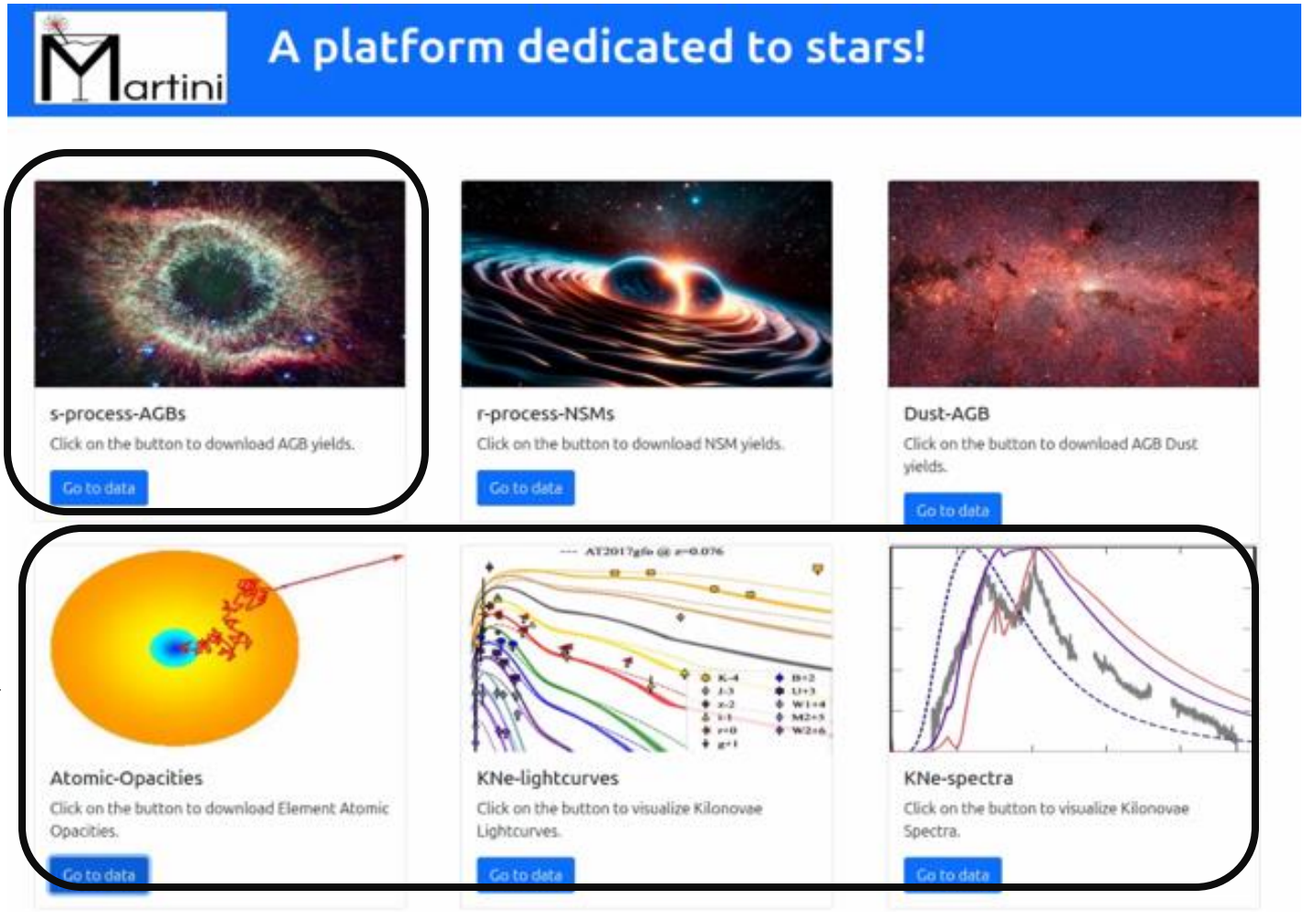
Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

DD2 EOS, unitary mass ratio



Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

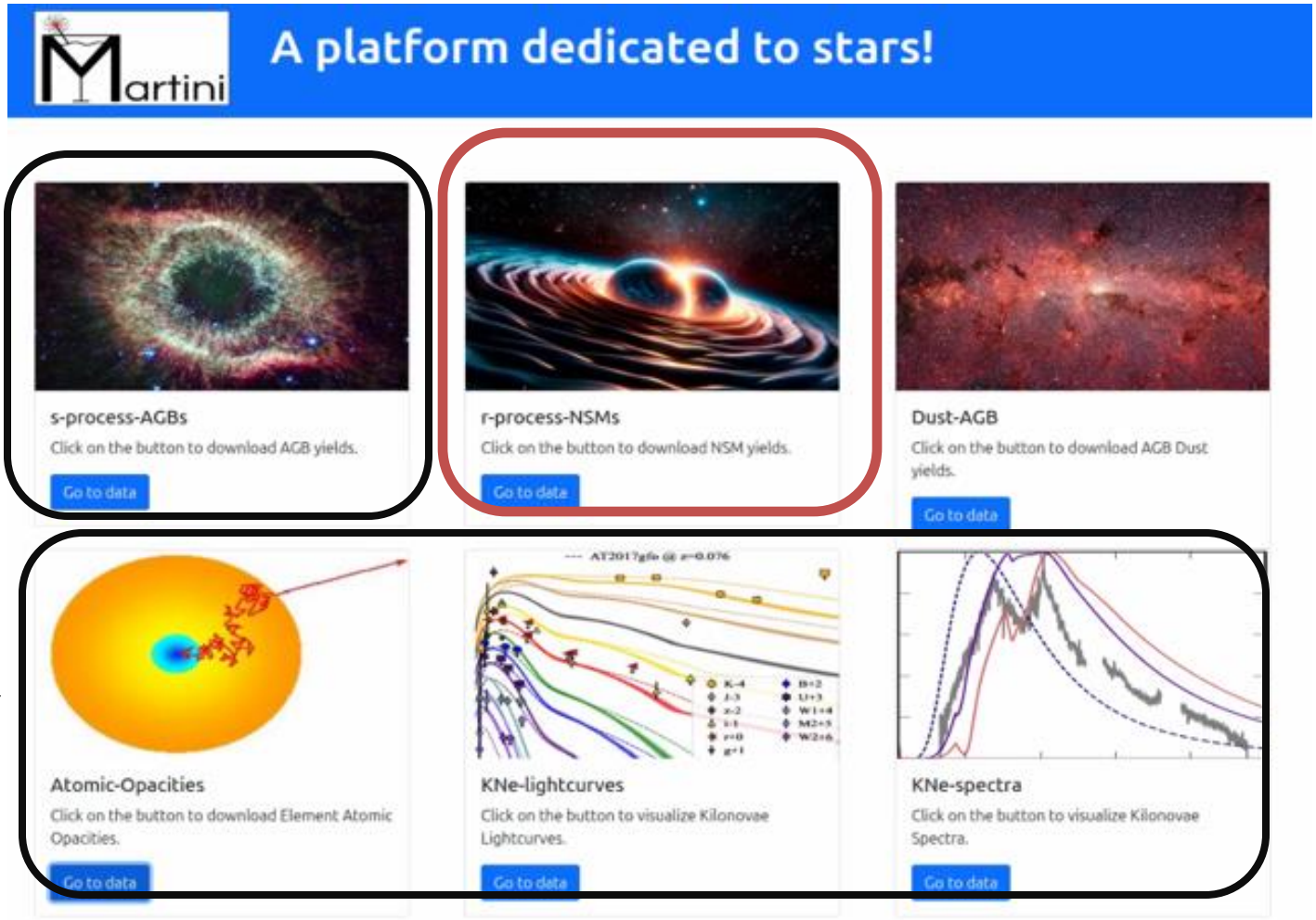
F.R.U.I.T.Y.



See Bezmalinovich's talk

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

F.R.U.I.T.Y.



See Bezmalinovich's talk

Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU
Ministero dell'Università e della Ricerca
Italiadomani PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA Osservatorio Astronomico d'Abruzzo

Conclusions

- Dynamical ejecta: production of elements in 2nd and 3rd peak.
- Neutrino wind: production of lighter elements.
- Iron group elements among the most abundant irrespective of the EOS.
- Nuclear input physics?
- Asymmetric mass ratios?
- Role of oscillations?