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

Perspectives for kilonovae multimessenger detection from BNS mergers with next-generation GW detectors

Eleonora Loffredo

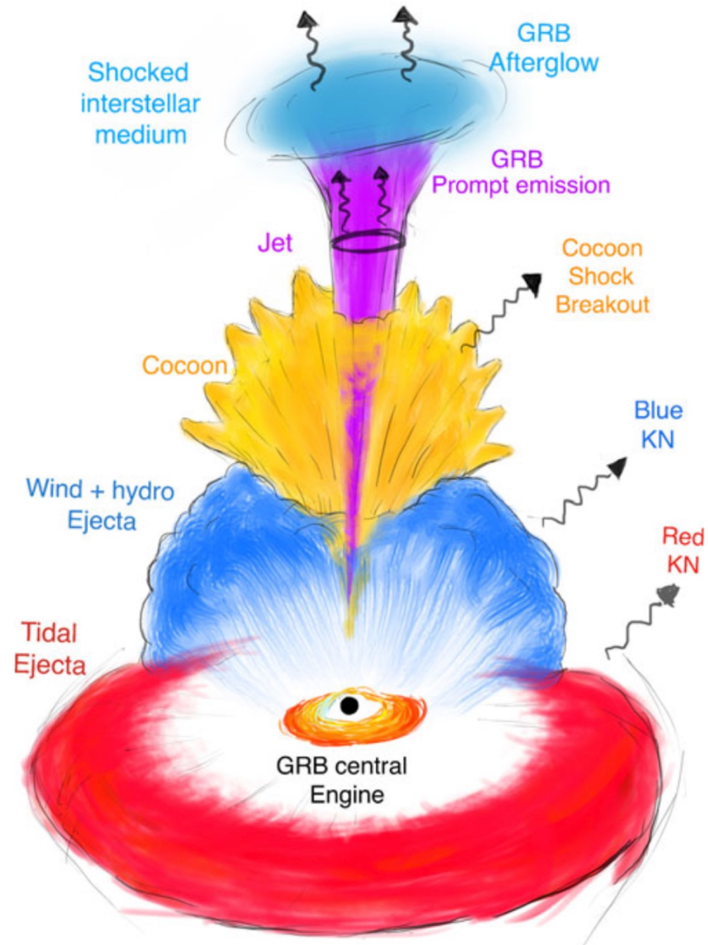
On behalf of
N. Hazra, U. Dupletsa, M. Branchesi, A. Perego, S. Ronchini, F. Santoliquido,

GSSI GRAN SASSO SCIENCE INSTITUTE SCHOOL OF ADVANCED STUDIES Scuola Universitaria Superiore
INAF ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
ET EINSTEIN TELESCOPE

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

The kilonova

- Ejection of neutron rich matter
- Heavy elements nucleosynthesis via rapid neutron capture
- Thermal EM emission powered by nuclear decay of freshly synthesized heavy elements *(Li & Paczynski 98, Metzger+10)*
- UV/optical/IR signal, faint & rapidly evolving (one week)
- Sky-localisation from GW signals key parameter for the follow-up with optical telescopes *(Branchesi+23)*



Credits: Ascenzi et al. 2021

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

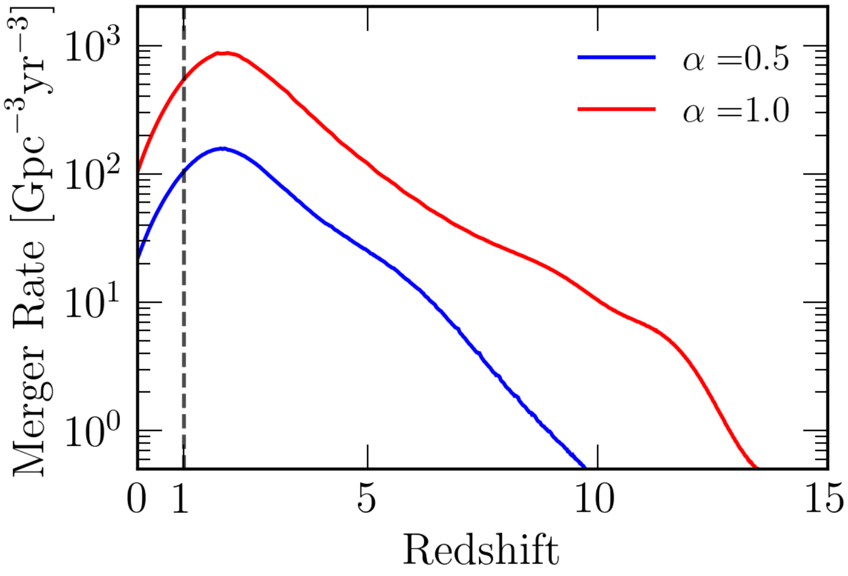
Prospects for GW/KN joint detections from BNS mergers

- LVK → expected to detect a few BNS mergers in O4 *(Abbott+20, Colombo+22)*
- ET and CE will detect $\sim 10^5$ BNS mergers per year up to redshift $\sim 5 - 10$ *(Ronchini+22, Branchesi+23)*
- ET→ hundreds BNS with sky-loc $\Delta\Omega < 100 \text{ deg}^2$ and ET+CE→ thousands BNS with sky-loc $\Delta\Omega < 10 \text{ deg}^2$
- Assessing perspectives for GW/KN joint detections with ET (alone or in a network) and the Vera Rubin Observatory
- Evaluating the impact of ET configuration on KN science
- Quantifying uncertainties due to BNS merger rate, NS mass distribution and Equation of State

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 – BNS merger populations

- Populations from population synthesis code with local merger rate $[23, 107]\mathrm{Gpc}^{-3}\mathrm{yr}^{-1}$ *(Iorio+23)*
- NS mass distribution: Gaussian and uniform
- NS EOS: APR4 (larger compactness) and BLh (smaller compactness)
- Total: 8 BNS merger populations
- For each population: 10 years of mergers randomly distributed in sky up to redshift 1



EL, N. Hazra, U. Dupletsa et al. in prep.

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

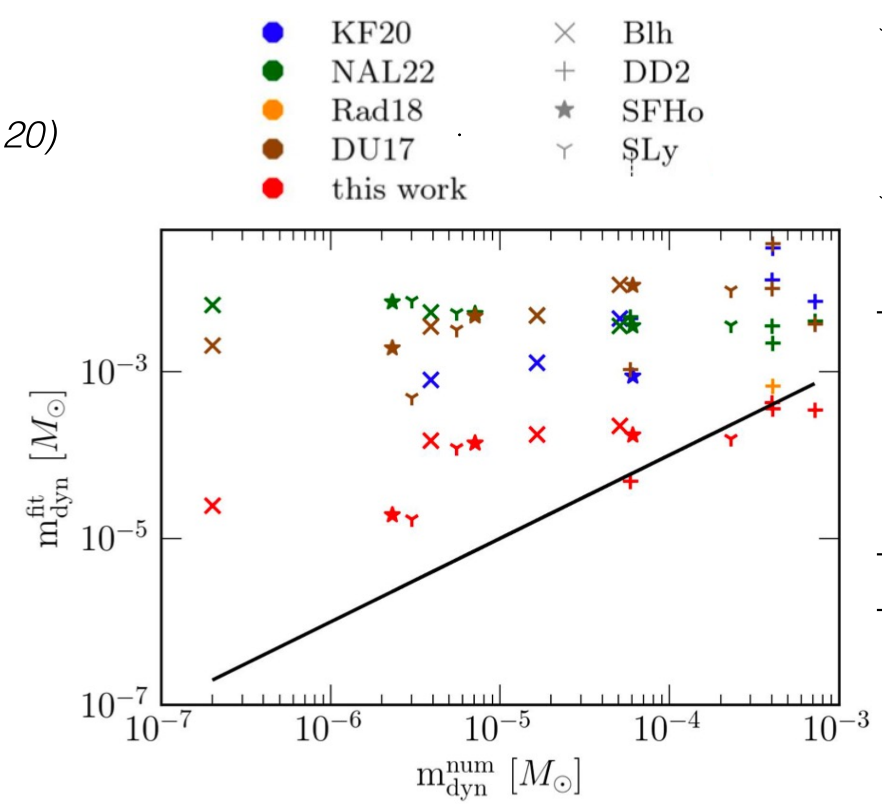
Method – GW simulations

- For each merger, inject GW signal approximant (IMRPhenomD_NRTidalv2)
- 2 ET configurations: Delta (10 km cryo) and 2L (15 km cryo)
- GW networks → ET, ET+LVKI, ET+1CE (40 km), ET+2CE (USA, Australia)
- Number of detected mergers and source parameters estimate with Fisher matrix approach – GWFish code *(Dupletsa+23)*
- 64 simulations for 10 years of mergers

EL, N. Hazra, **U. Dupletsa** et al. in prep.

Method – KN modelling

- BNS masses and EOS → KN ejecta properties via numerical-relativity (NR) informed fits *(e.g. Radice+18, Krüger & Foucart 20)*
- State-of-the-art fitting formulas disagree outside of calibration region, limited to GW170817 *(Henkel+23)*
- Develop new fits calibrated on GW190425 targeted NR simulations *(Camilletti+22)*
- For each merger, compute prompt collapse mass threshold *(Perego+22)*

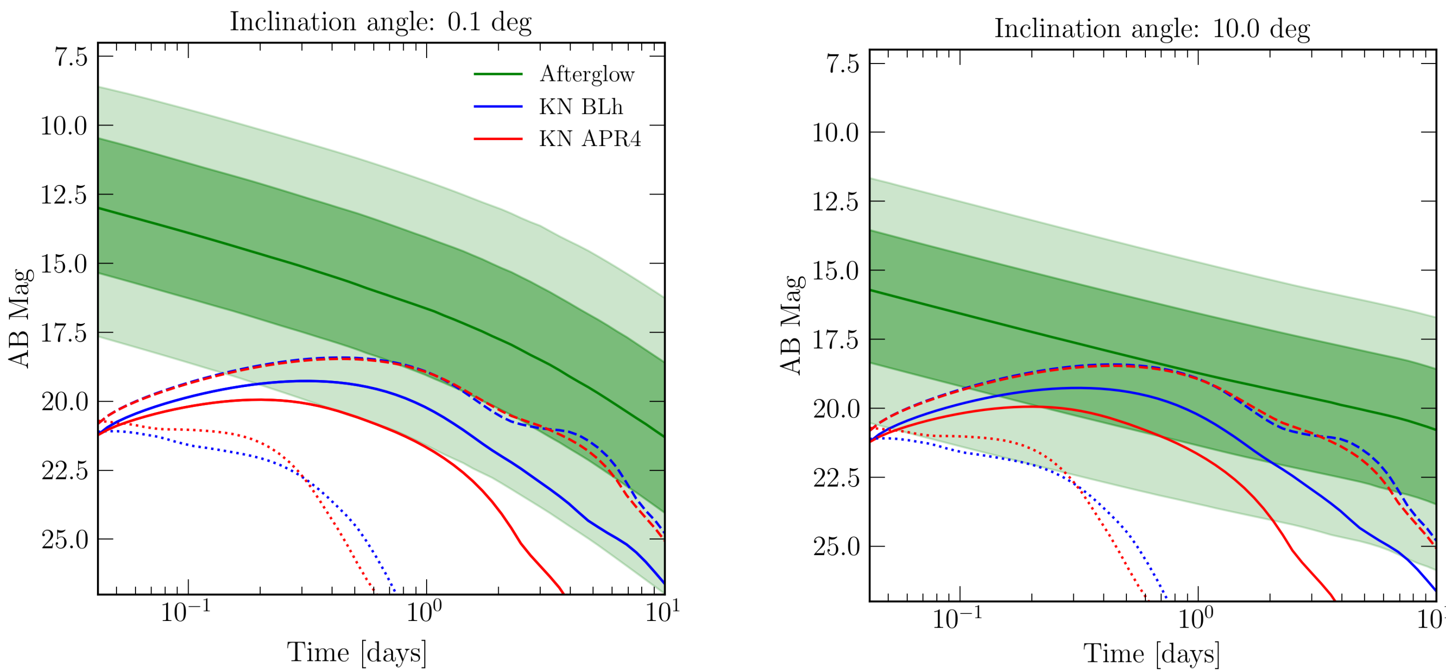


EL, N. Hazra, U. Dupletsa et al. in prep.

- Below prompt-collapse: state-of-the-art fitting formulas calibrated on GW170817
- Above prompt-collapse: our new fitting formulas calibrated on GW190425

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 – GRB optical afterglow



- GRB optical afterglow distribution compared to KN lightcurves
- Luminosity distance: 100 Mpc

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

Observational Strategy with Vera Rubin Obs.

- Consider events in a sky-region accessible to Rubin and localized better than a certain threshold $\Delta\Omega$
- Correct KN light curves for galactic extinction
- KN follow-up in *g* (lim mag 26.53) and *i* (lim mag 25.59) bands by scanning the error region divided into a mosaic (600s for each pointing)
- Two epochs of observations over two/three nights (11-hour nightly window)
- Compute time required for observations (including filter swapping and slewing time)

EL, **N. Hazra**, U. Dupletsa, et al. in prep.

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

Results - GW detections

- ET alone → up to 25k detections per year ($z < 1$). Increase by 70-90% for ET+1-2 CEs
- Uncertainties: population normalization (factor 5), NS mass distribution (20-25%), NS EOS (max 5%)
- ET2L → 30% more detections than ETT
- ET+LVKI → up to 10k events per year within 100deg^2
- ET+1CE (2CE) → up to 2k (17k) events per year within 10deg^2 up to redshift 0.9 – 1
- ET2L → 2.4 more events than ETT localised within 100deg^2

EL, N. Hazra, U. Dupletsa, et al. in prep.

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

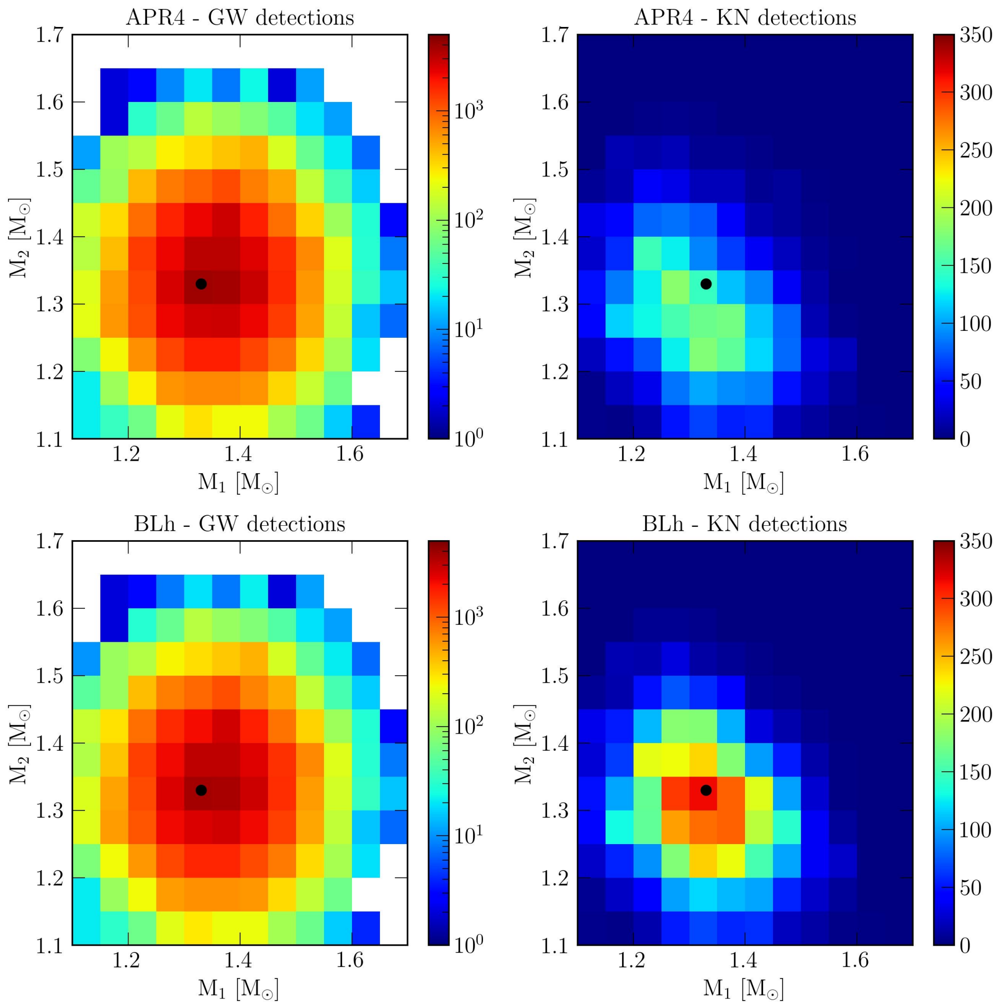
Results – Joint GW/KN detections

- ET alone → 10 – 100 KN detections per year
- ET2L outperforms ETT when operating as a single observatory or with LVKI. Not significant difference when operating with CE
- Uncertainty dominated by merger rate (factor 5), then ET configuration, then NS mass distribution and EOS
- If Gaussian NS mass distr. → BLh yields 20-60% more detections than APR4
- If uniform NS mass distr. → APR4 yields 10-20% more detections than BLh
- ET in a network → several hundreds joint detections per year
- If GRB afterglow included → 5-30% (10-50%) increase in the number of detections for the fiducial (pessimistic) population

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

Gaussian mass distribution

GW detections



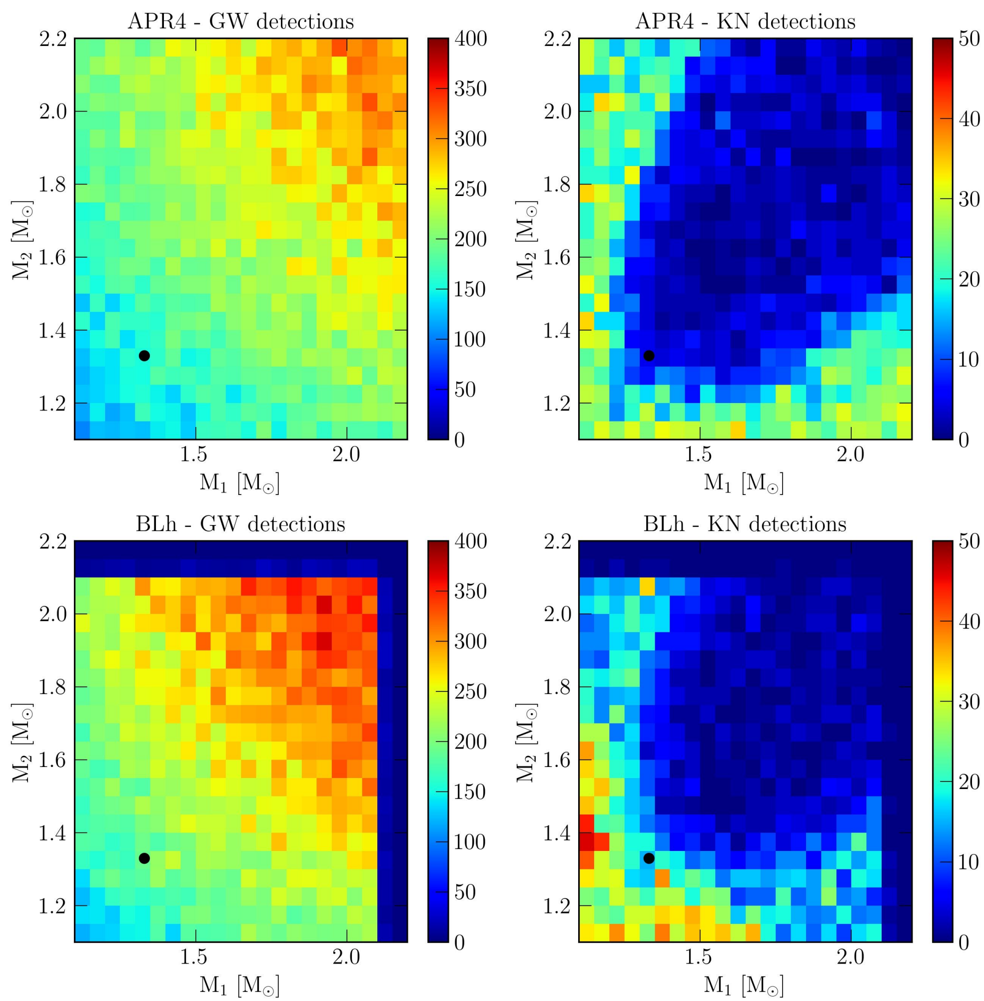
GW/KN joint detections

EL, N. Hazra, U. Dupletsa, et al. in prep.

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

Uniform mass distribution

GW detections



GW/KN joint detections

EL, N. Hazra, U. Dupletsa, et al. in prep.

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

- ET as single observatory allows the joint detection of 10 – 100 KNe per year
- ET in a network of current and next-generation detectors will reach from a few to several hundred KNe detections per year
- For KN science, ET2L outperforms ETT if operating as single observatory or with LVKI
- Uncertainties on number of detections dominated by merger rate, followed by NS mass distribution and EOS
- Perspectives for KNe from Black Hole – Neutron Star mergers? → Colombo's talk
- Implications for spectroscopy? → Bisero's talk