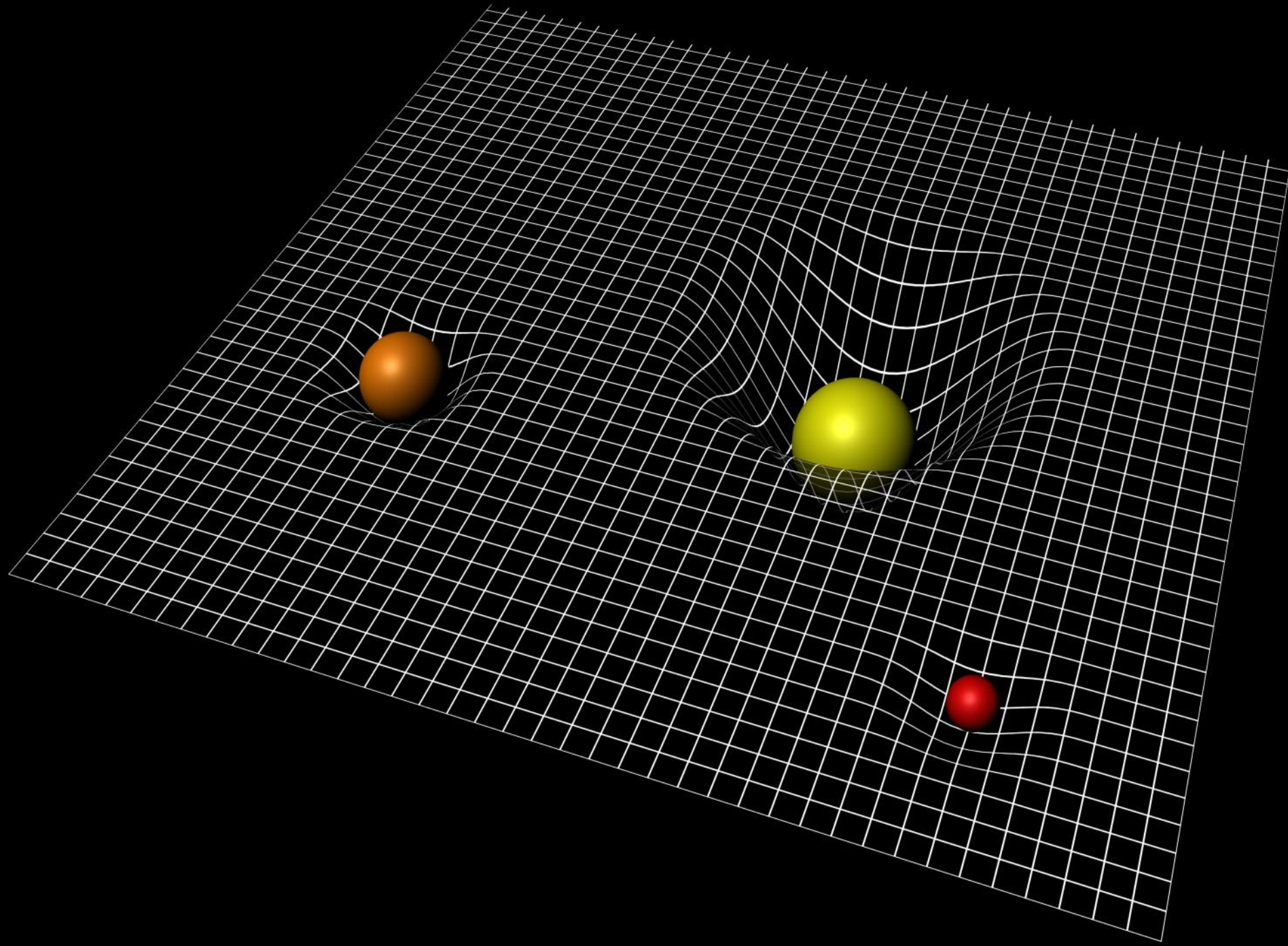


Le onde gravitazionali e la nascita di una nuova astronomia

Filippo Martelli

LIGO-Virgo Collaboration

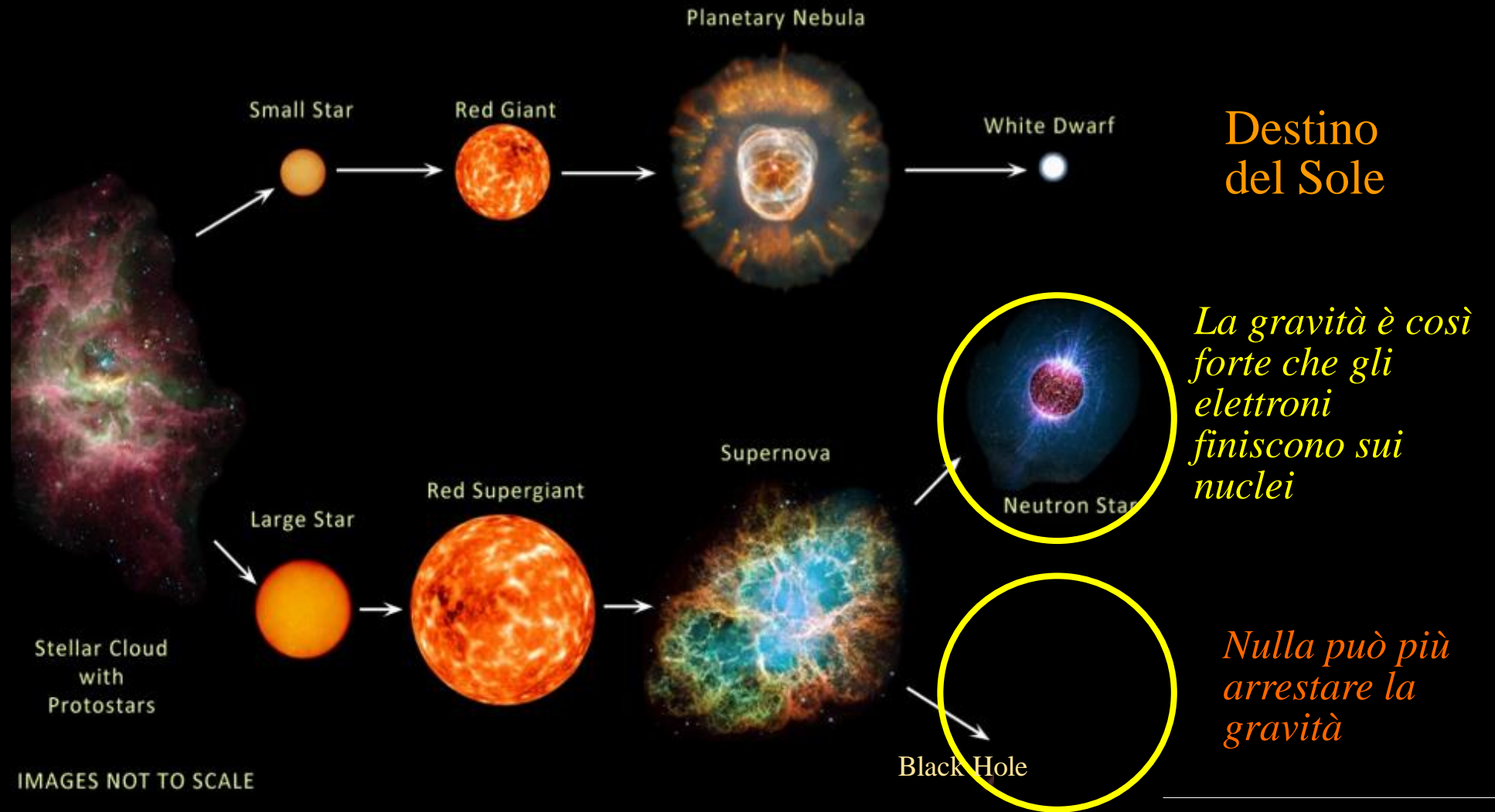
Gli ultimi
straordinari
risultati dalle
onde gravitazionali



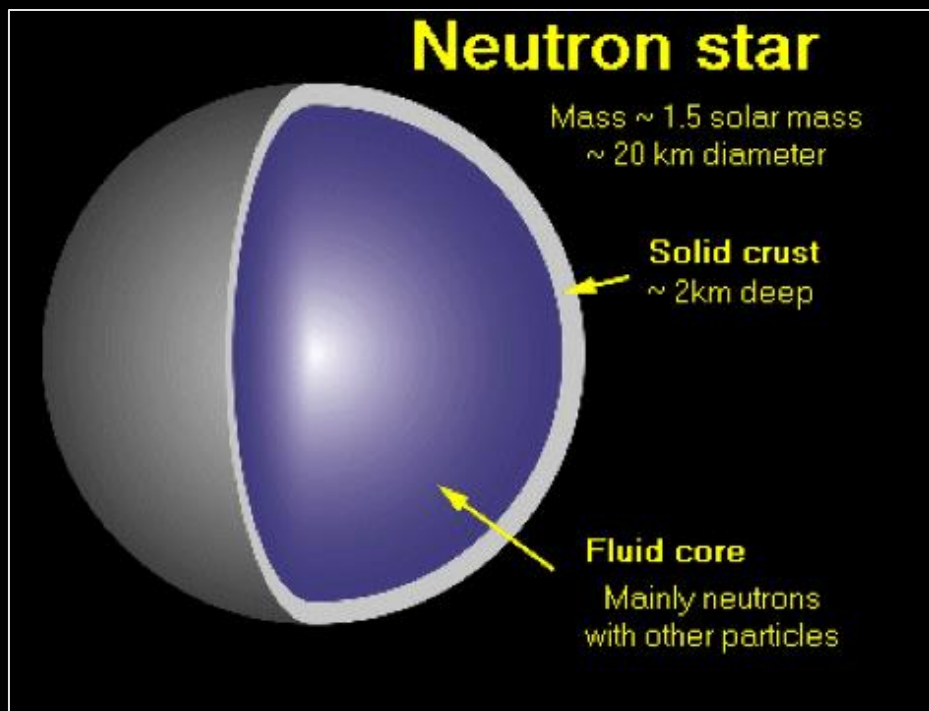




Quali sono gli oggetti con più massa?



Stelle di neutroni



Raggio = 15 km

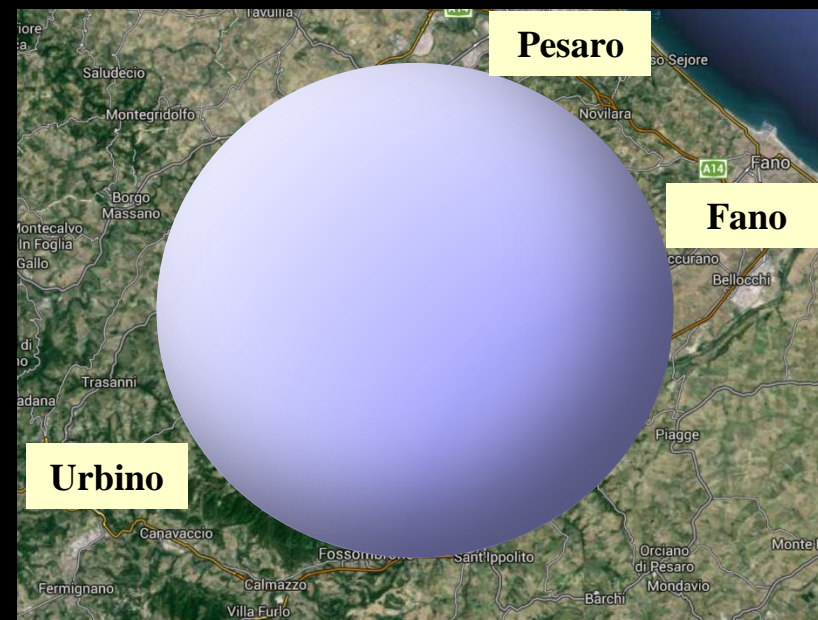
Massa = 1.4 massa del sole

Densità = Massa / Volume =
 10^{11} kg/cm^3

1 cm³ = 100 milioni di ton !!!

(marmo: 2.7 g/cm^3)

**Le stelle di neutroni hanno
massa sempre minore di
3 masse solari**



Se i buchi neri sono invisibili, esistono ?

Nel 1970 è stata misurata una massa maggiore di 3 masse solari per il sistema binario Cygnus X-1 che emette nei raggi X

I buchi neri da ipotesi teorica sono divenuti un'evidenza osservativa

Disco di accrescimento

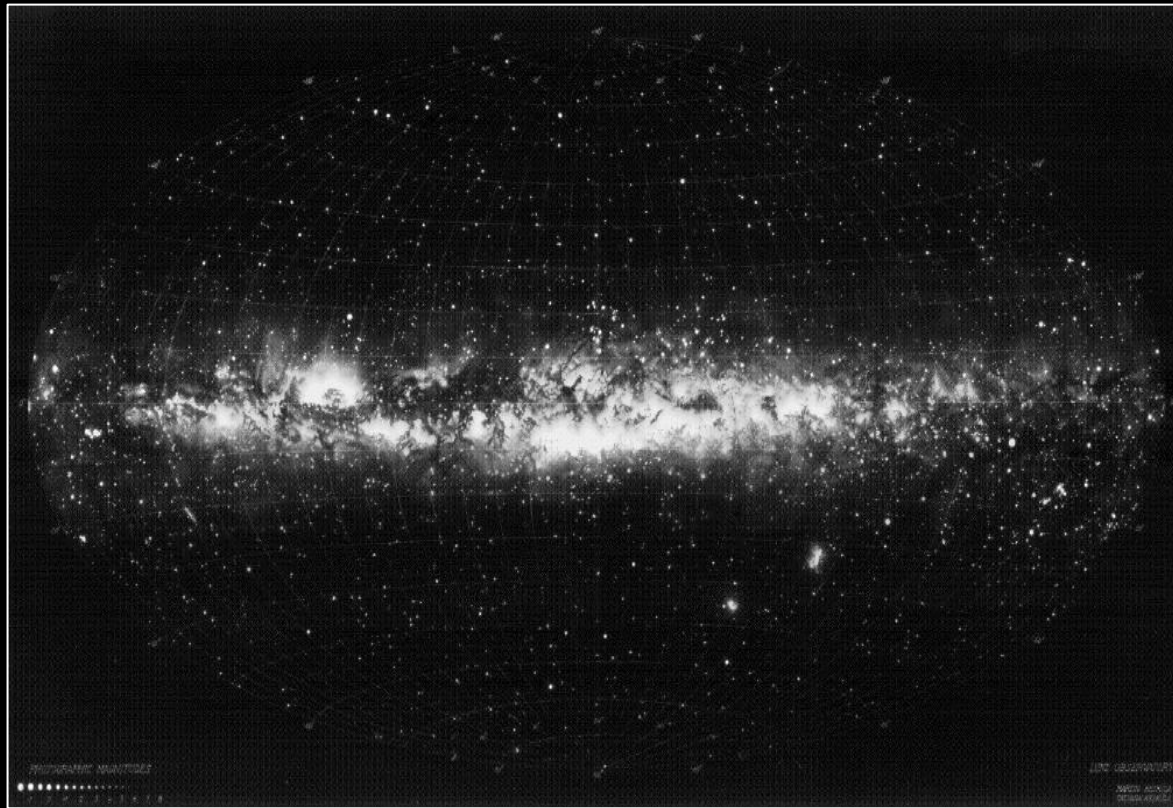
Immagine artistica di un buco nero

Ci sono 22 sistemi binari X per i quali è stata stimata la massa del buco nero

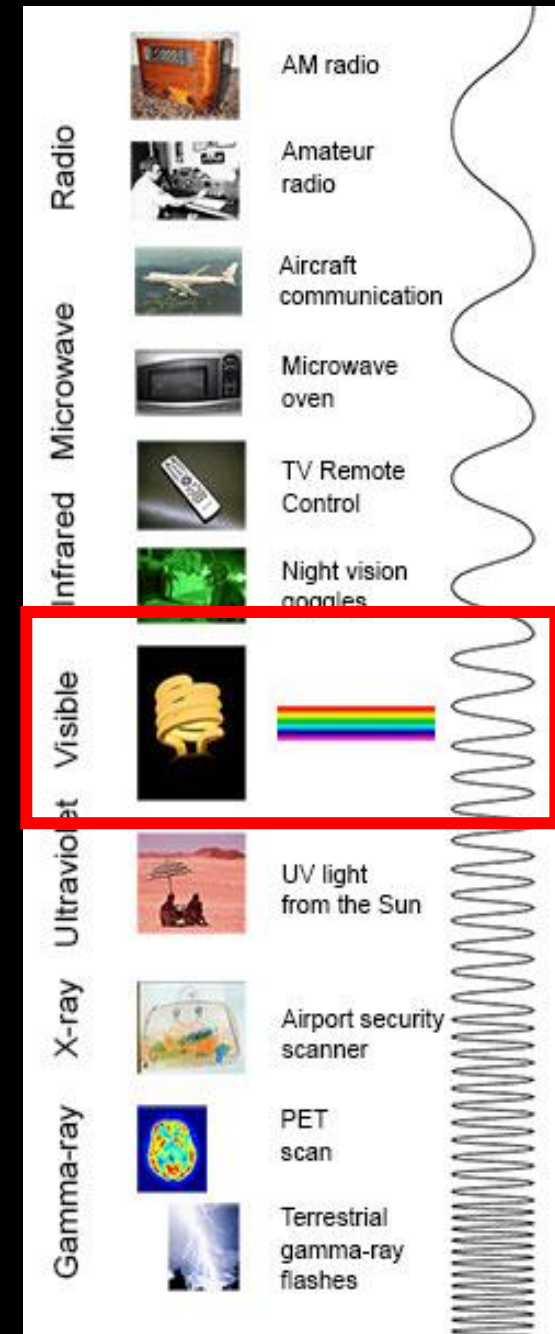
La loro massa: $5 M_{\odot} < M_{BH} < 20 M_{\odot}$

Perché cercare le Onde Gravitazionali ?

Questo è il cielo nella banda visibile dello spettro elettromagnetico (dove è sensibile l'occhio umano)



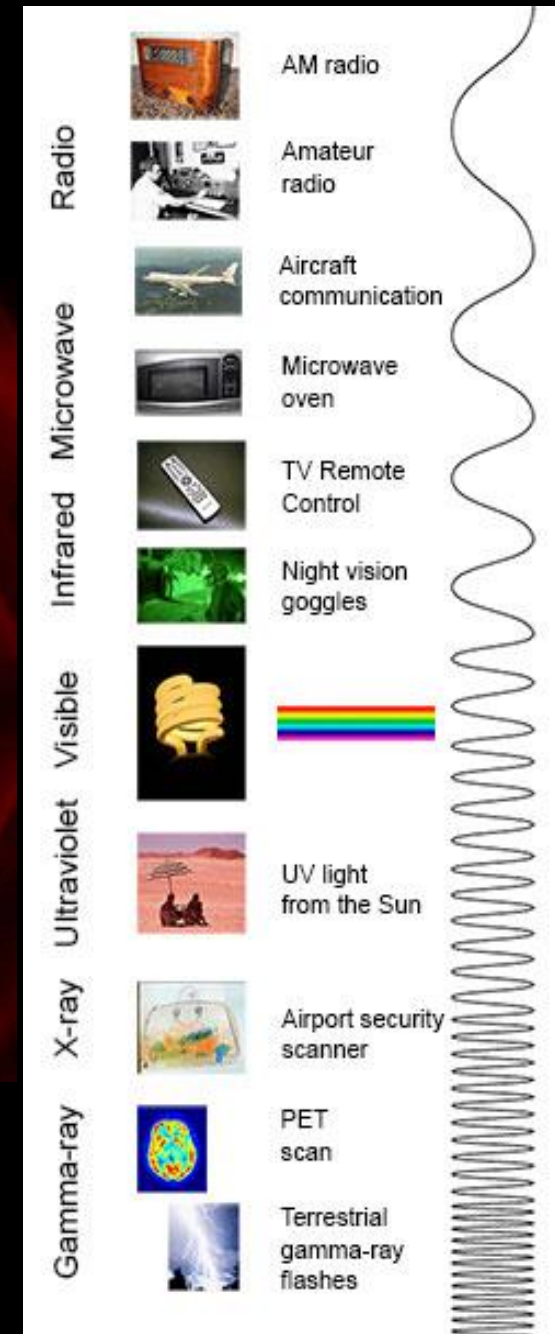
Per migliaia di anni l'uomo ha potuto vedere "questo" cielo



La nostra conoscenza dell'universo è basata solo su indagini condotte attraverso la radiazione elettromagnetica

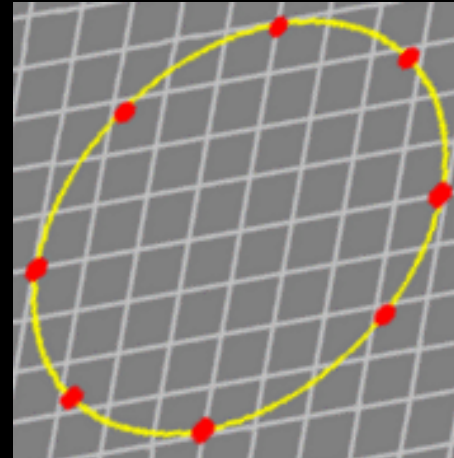
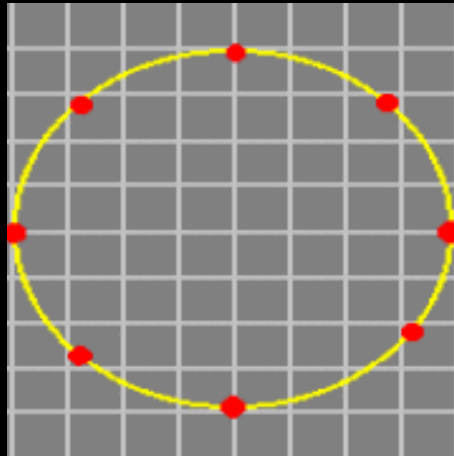


Le onde gravitazionali hanno varie lunghezze d'onda, proprio come lo spettro elettromagnetico



Che effetto producono ?

Le onde gravitazionali cambiano la distanza tra i punti dello spazio



L



Ampiezza

$$h = \frac{\Delta L}{L}$$

$$h \approx 10^{-22}$$

∅ capello / stella più vicina



LIGO

Hanford (LA)



Livingstone (WA)

Virgo





Tanto, tanto spazio vuoto

La più grande
camera da vuoto
in Europa

7000 m³

in cui la luce viaggia
senza essere disturbata
da polvere o gas

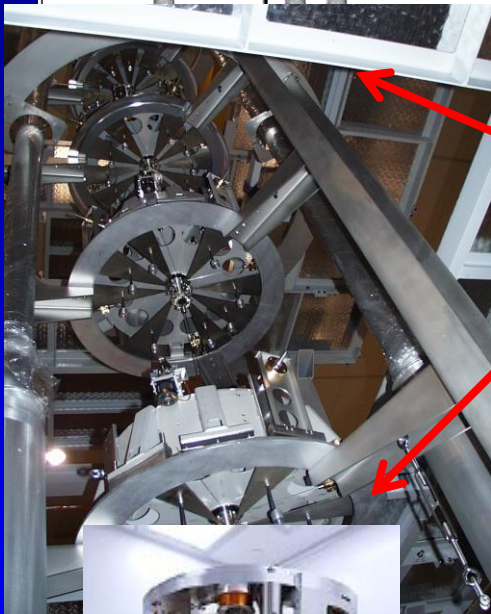
Specifiche:

- 10^{-9} mbar per H₂, 10^{-14} mbar per gli idrocarburi
- 10^{-6} mbar nelle camere delle sospensioni

Superattenuatore di Virgo



Pendolo
invertito

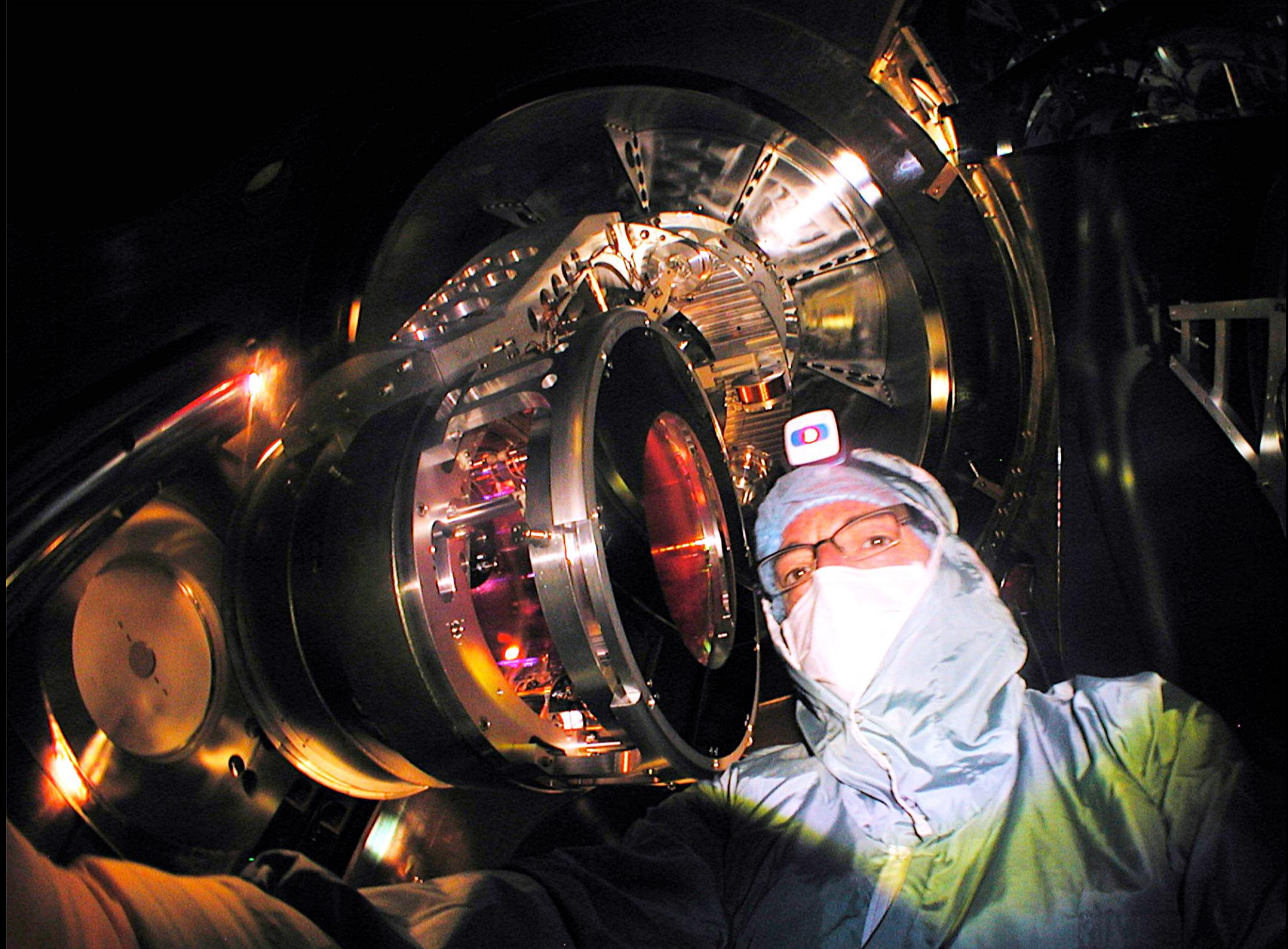


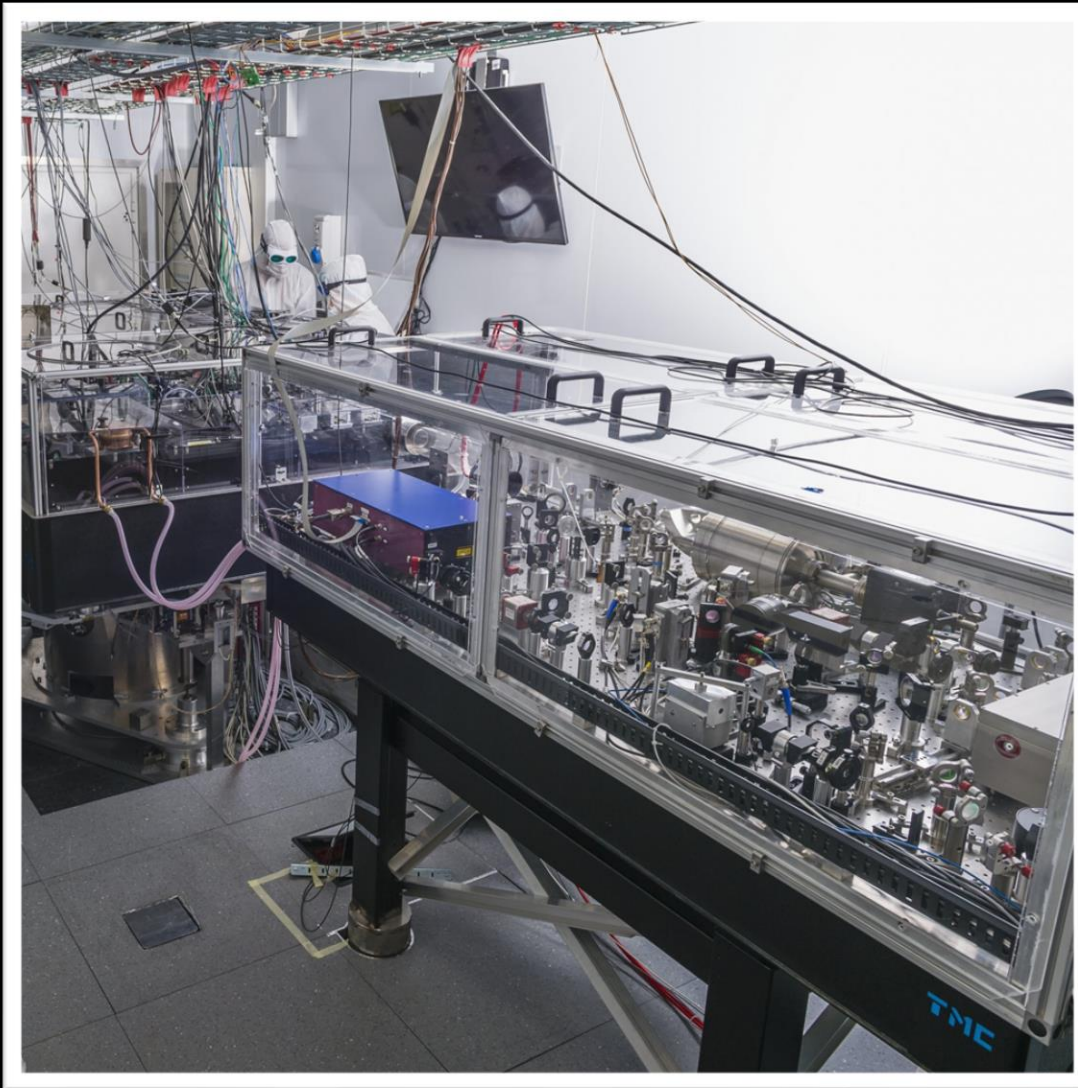
Filtri
sospesi



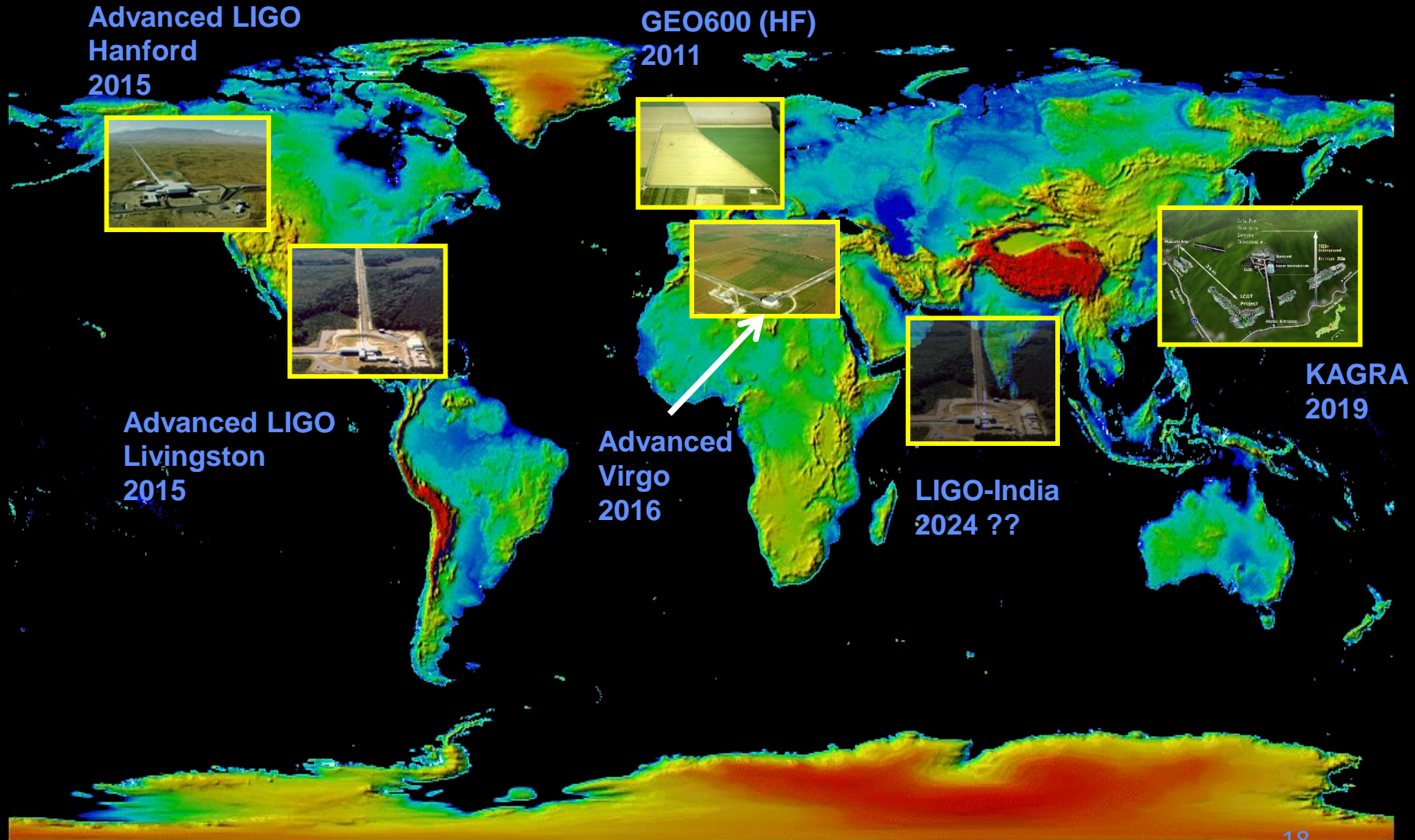
Specchio

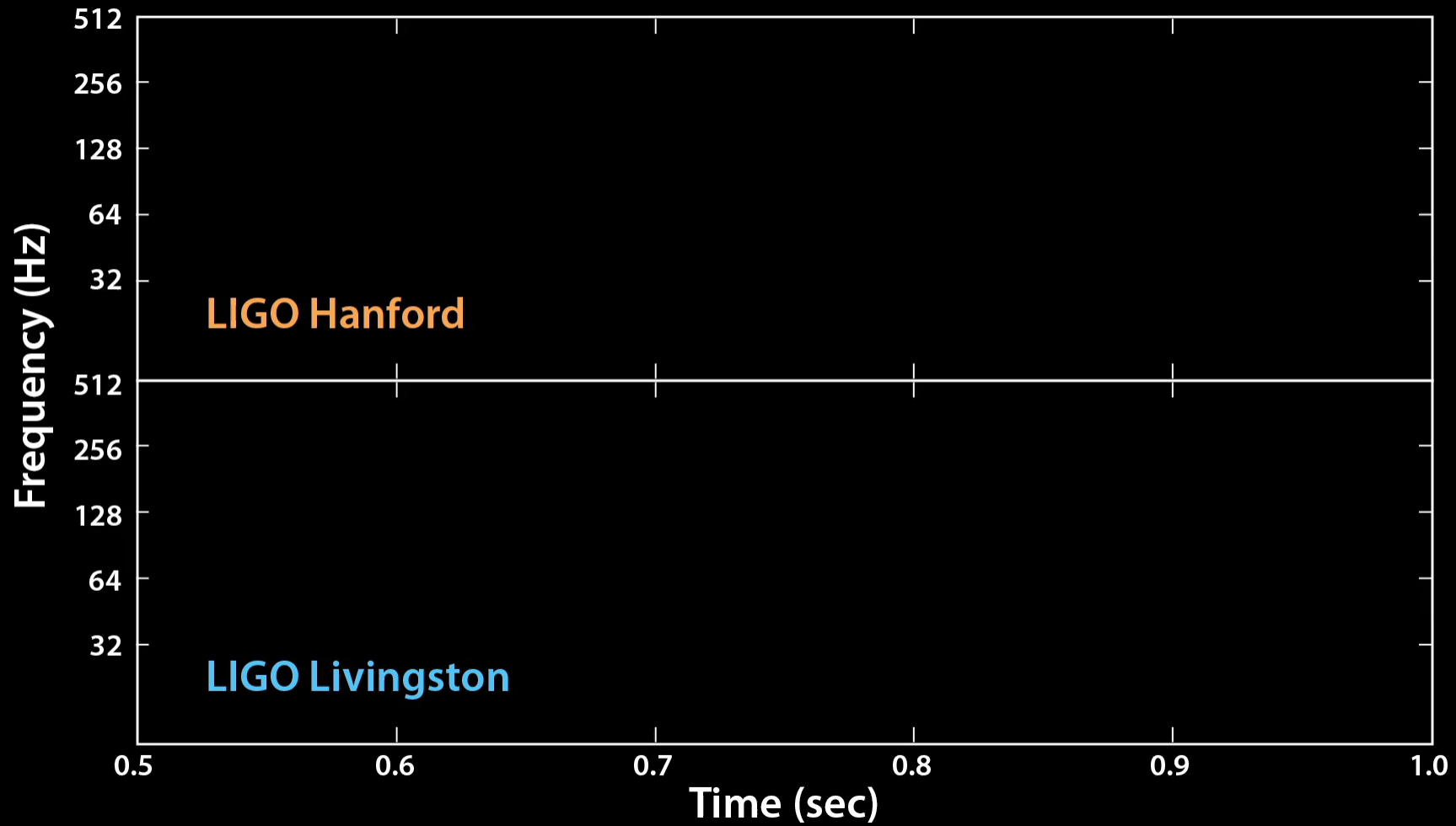




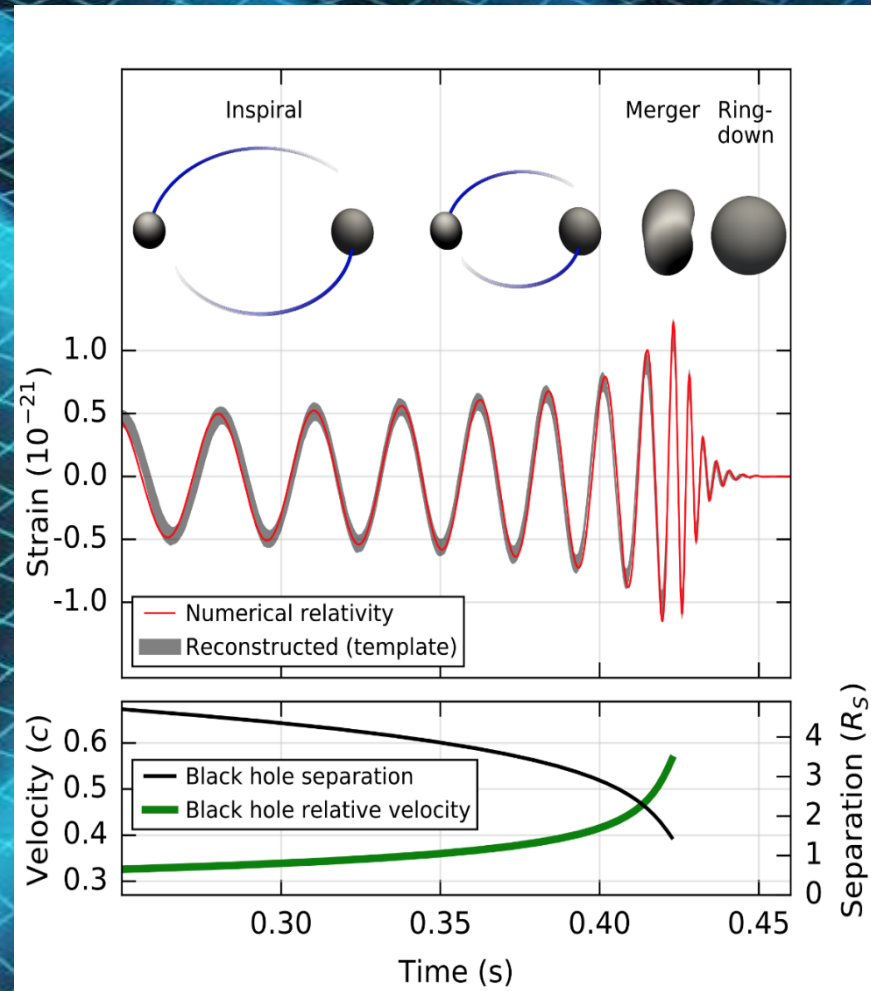
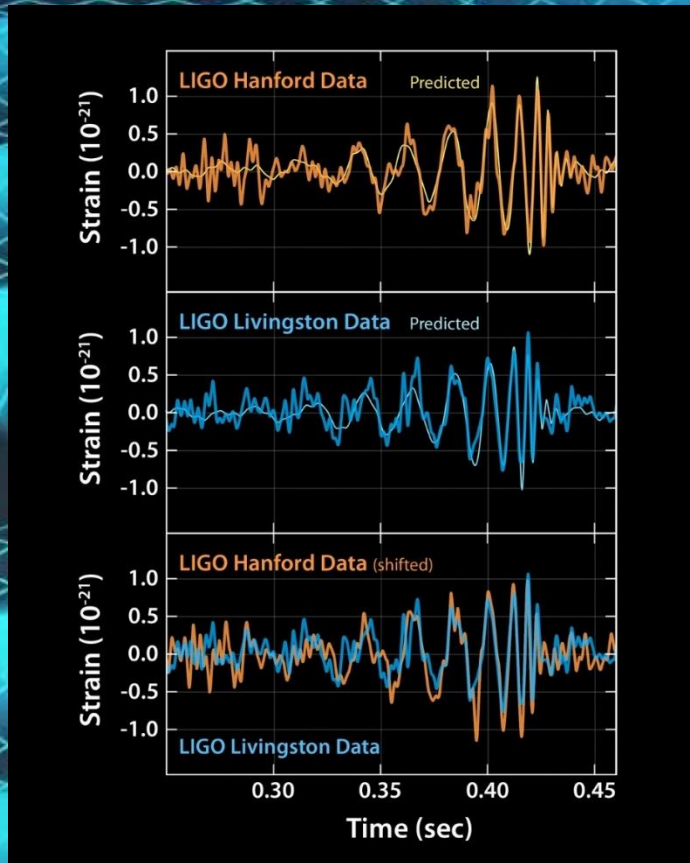


The advanced GW detector network: 2015-2025



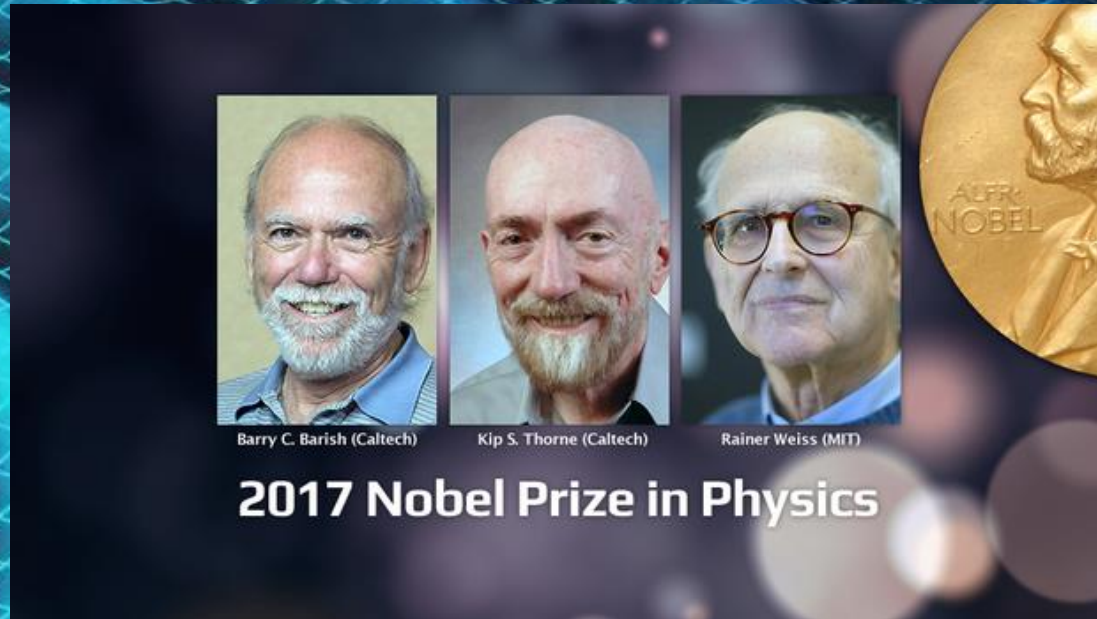
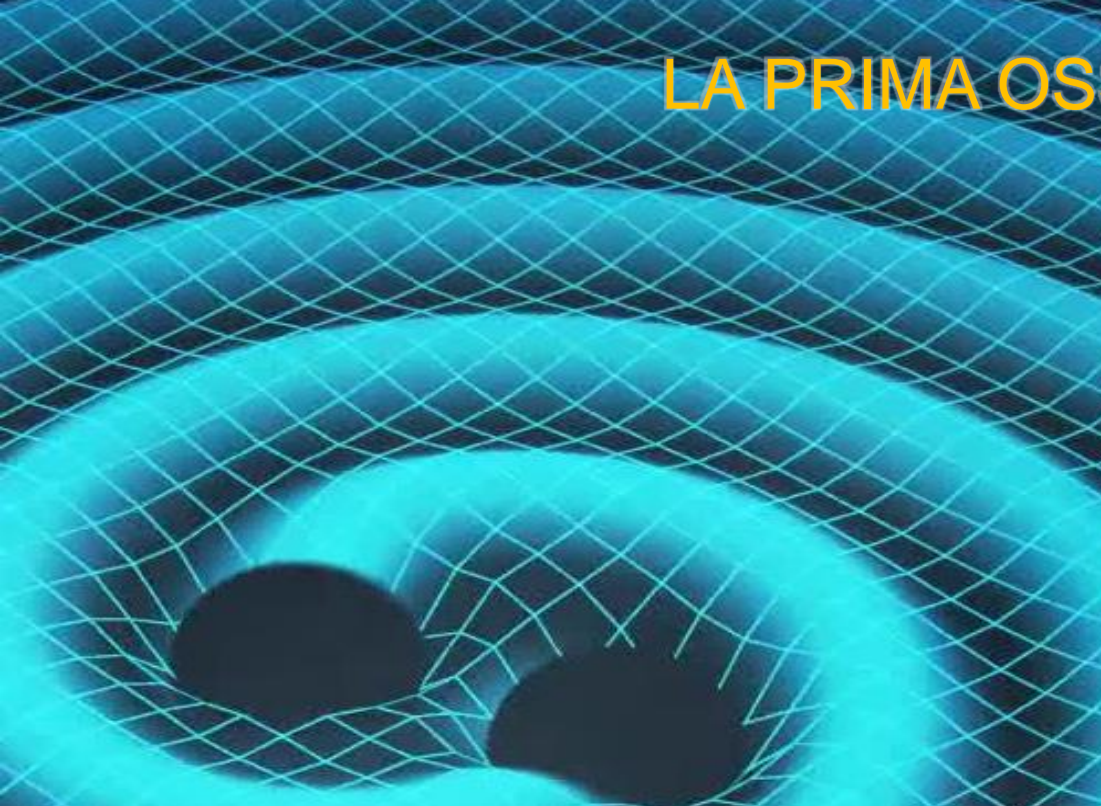


LA PRIMA OSSERVAZIONE: GW150914

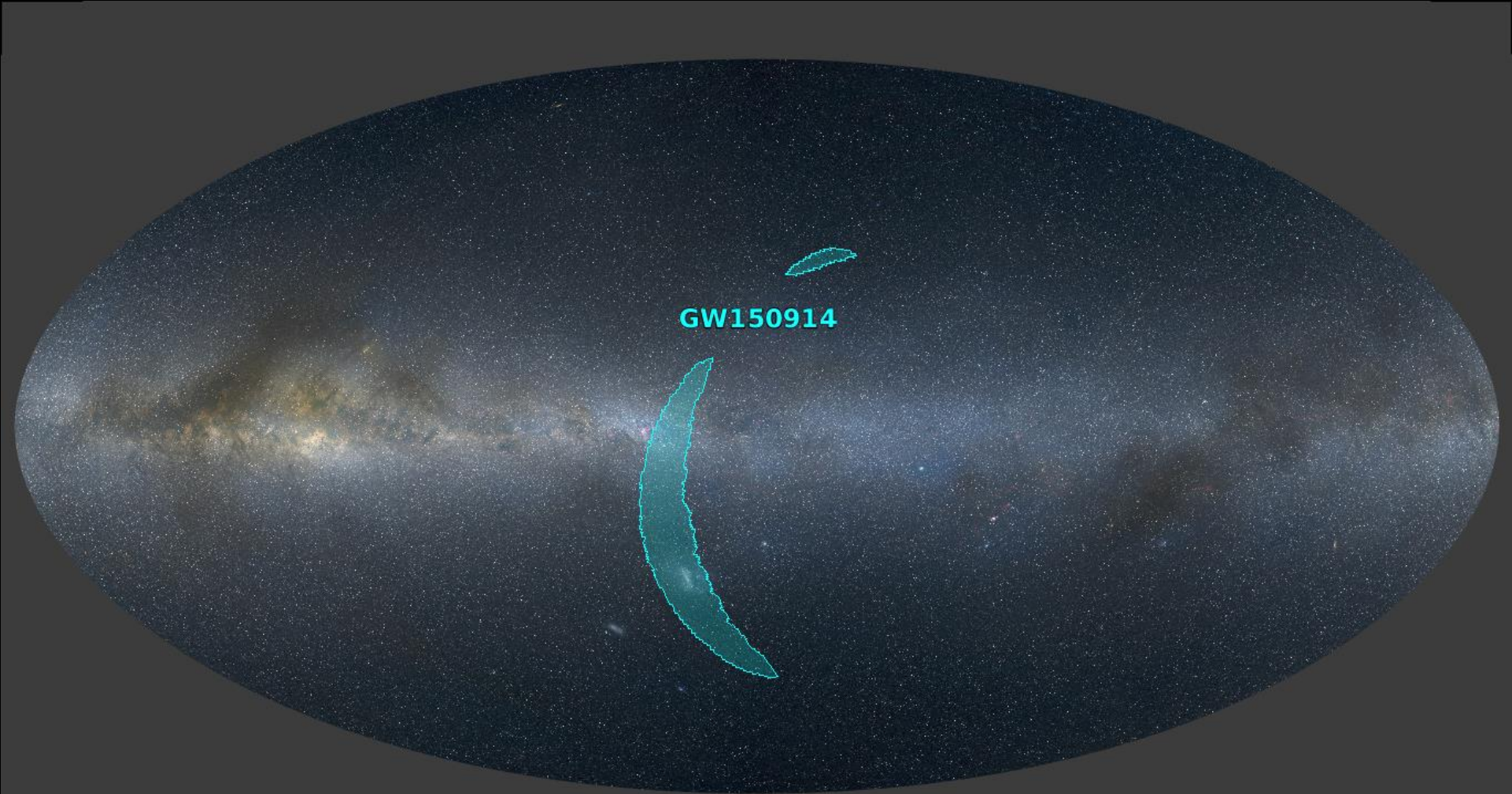


Massa primo BH: 36 Msolari
Massa secondo BH: 29 Msolari
Massa BH finale: 62 Msolari
3 Masse solari in energia delle OG

LA PRIMA OSSERVAZIONE: GW150914

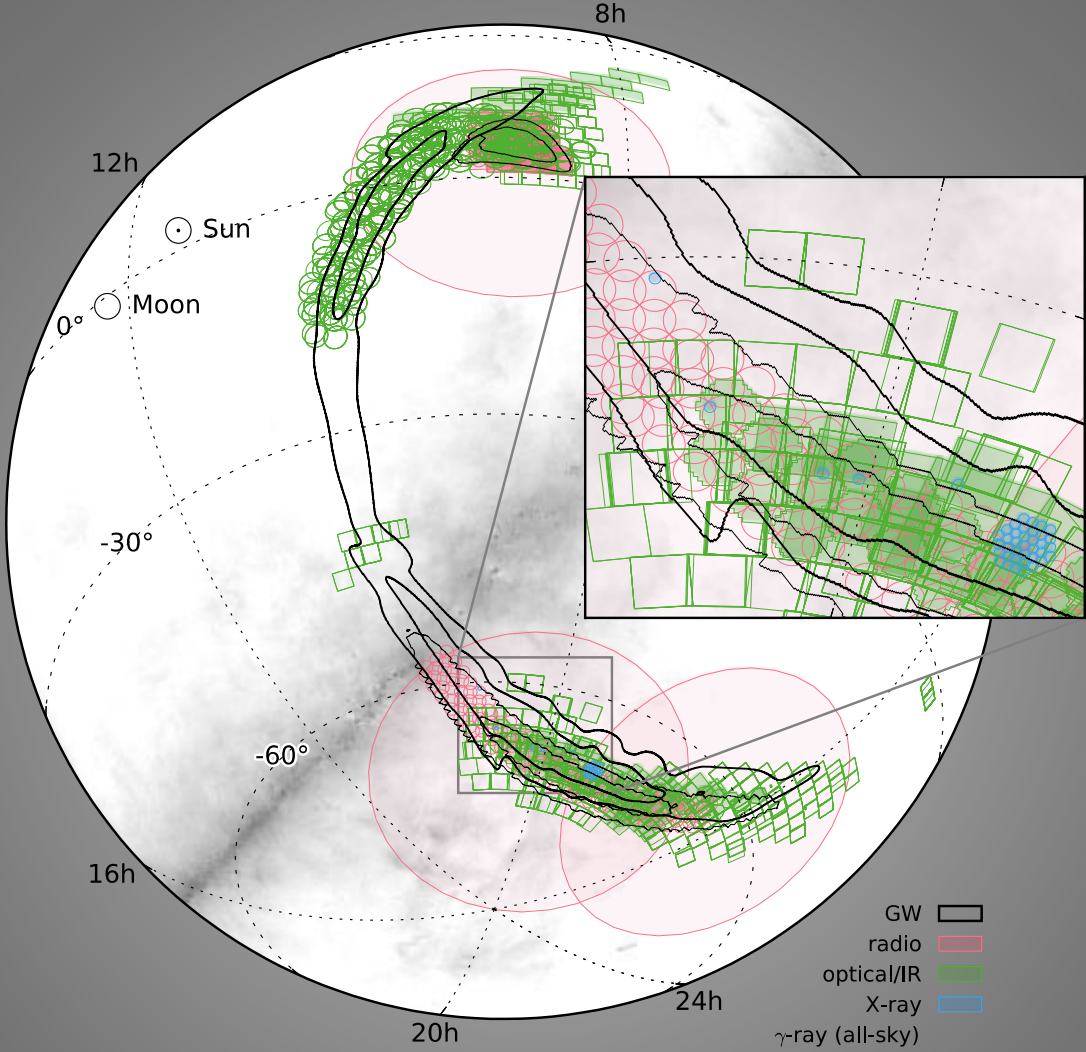


**Special Breakthrough Prize in
Fundamental Physics 2016**



GW150914

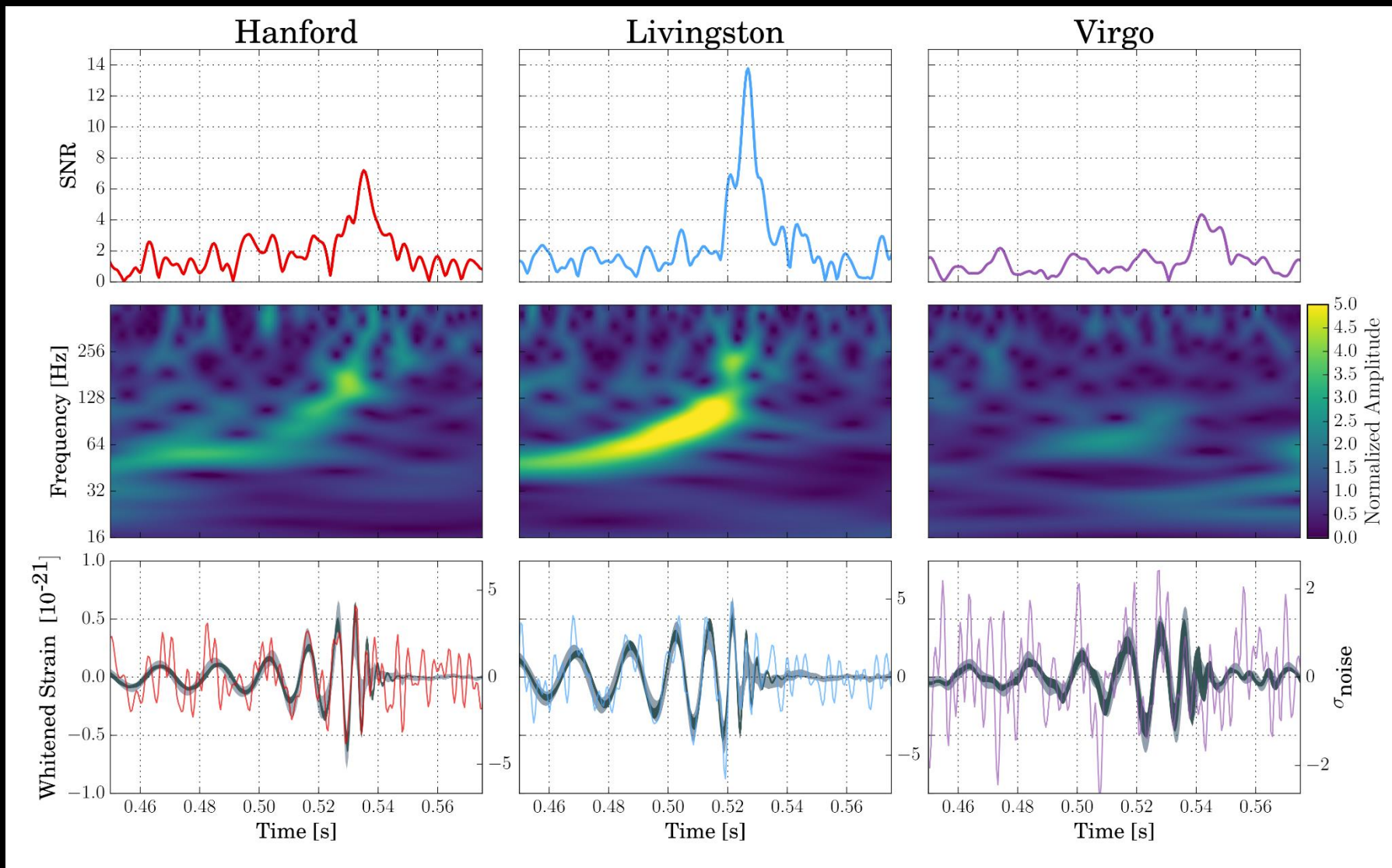
Copertura dell'area di cielo corrispondente a GW150914

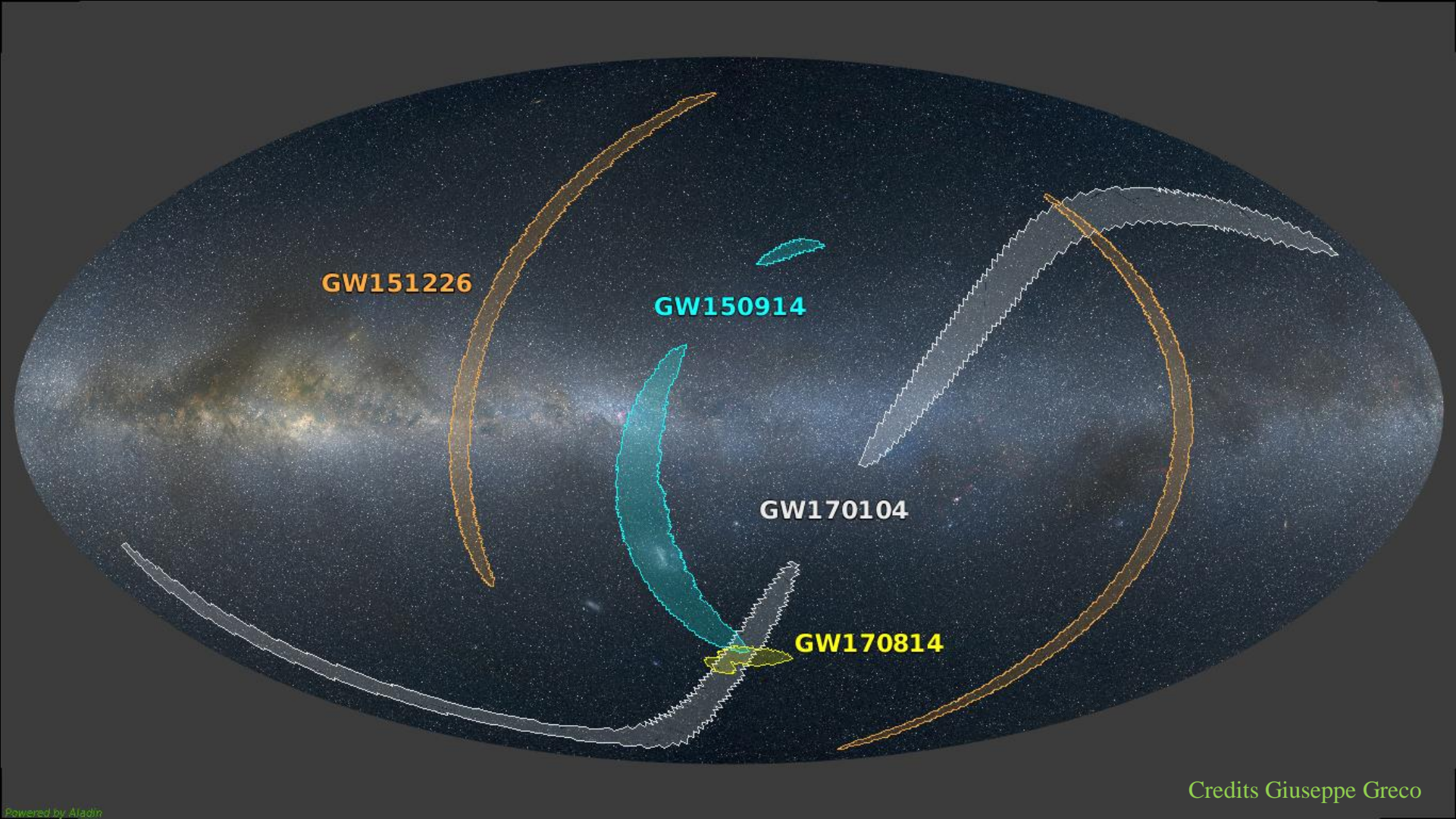


AdV best BNS range from May 7 (C8) to July 30 (ER12)



e il 14 agosto 2017...





GW151226

GW150914

GW170104

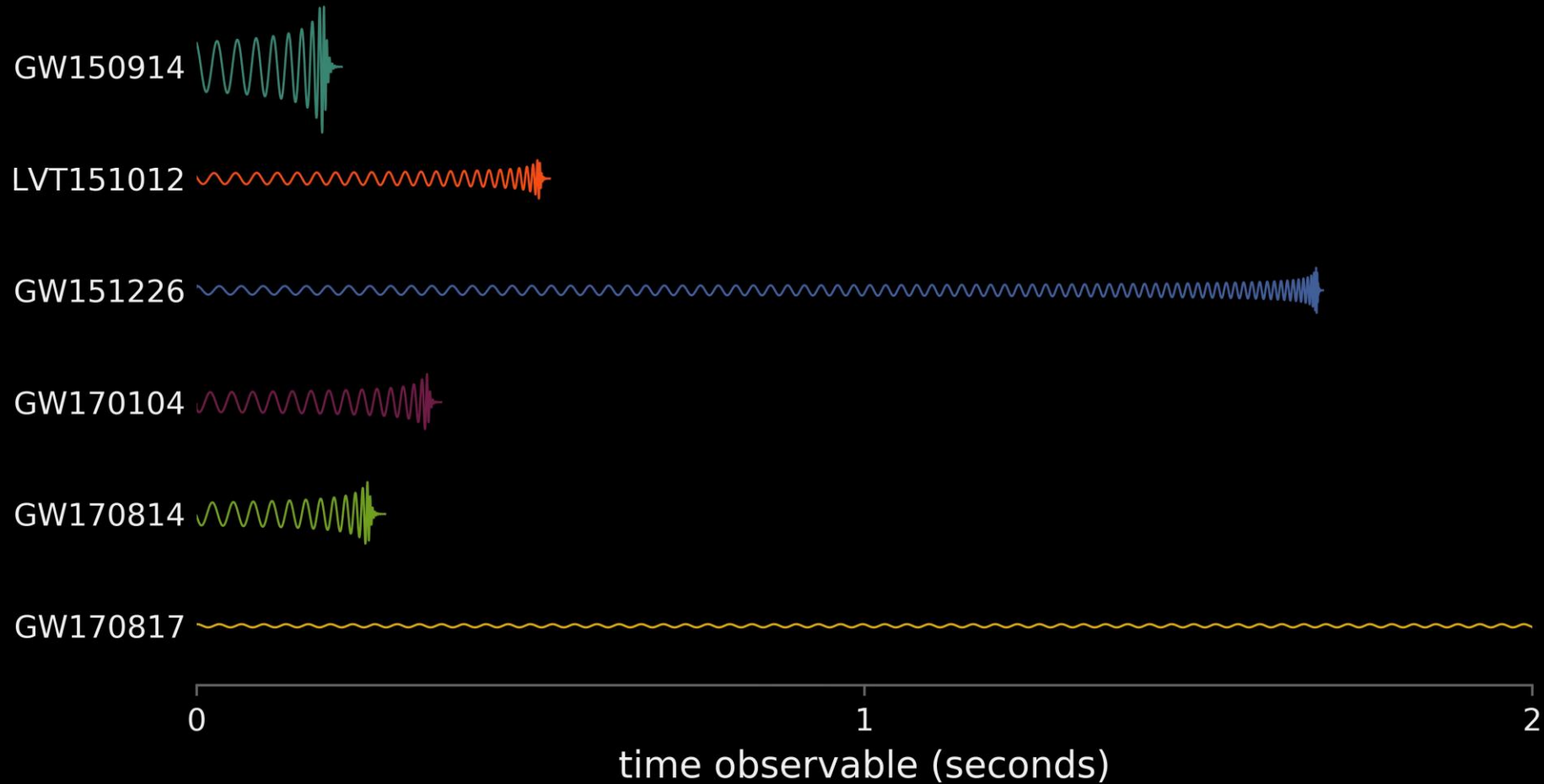
GW170814

...tre giorni dopo

17 agosto 2017

m $1.17 \div 1.6 M_{\odot}$

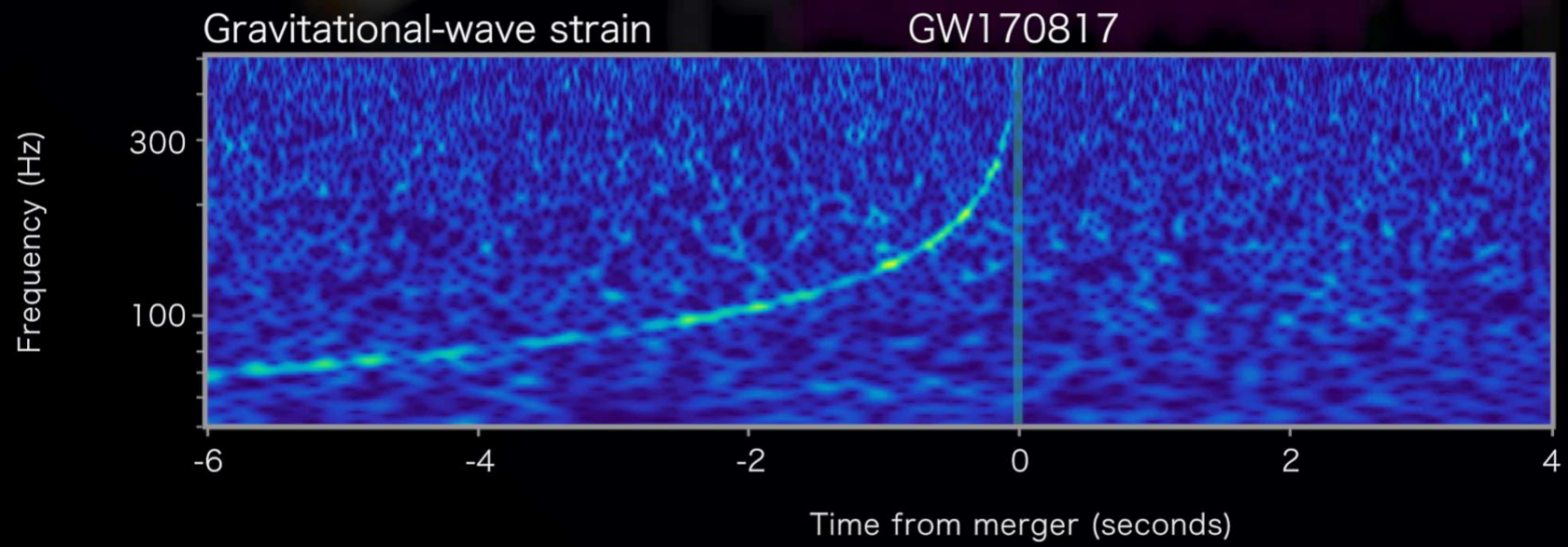
d 130 MLY

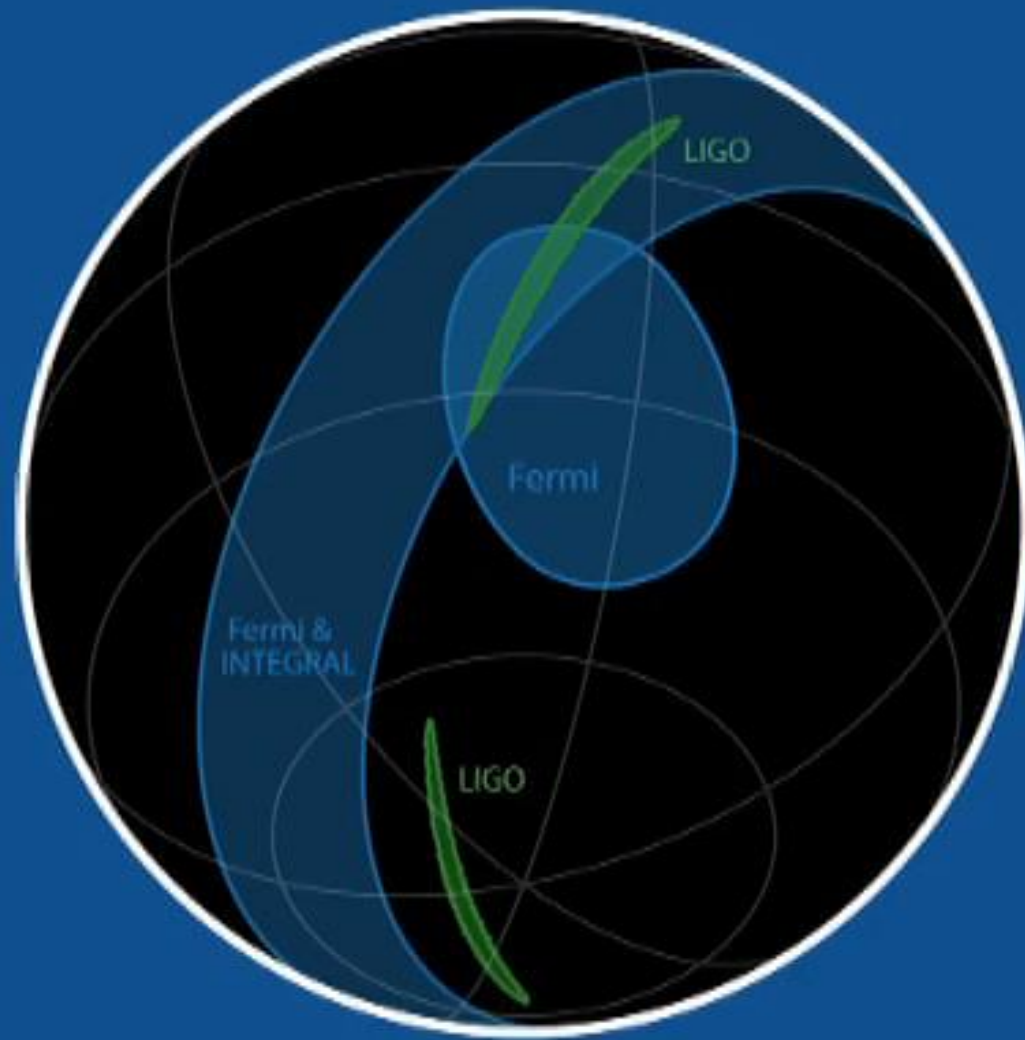


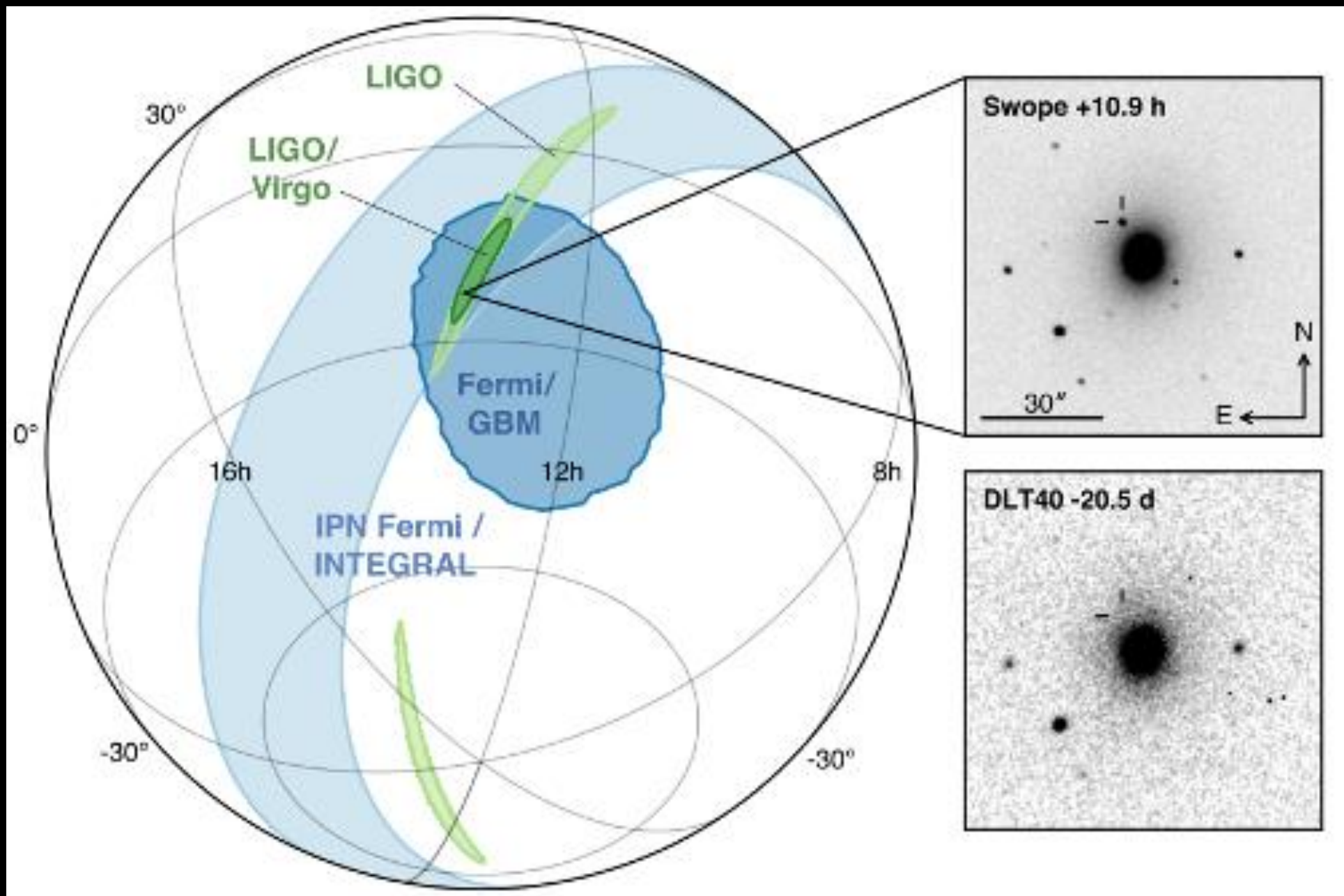
Gamma rays, 50 to 300 keV

GRB 170817A

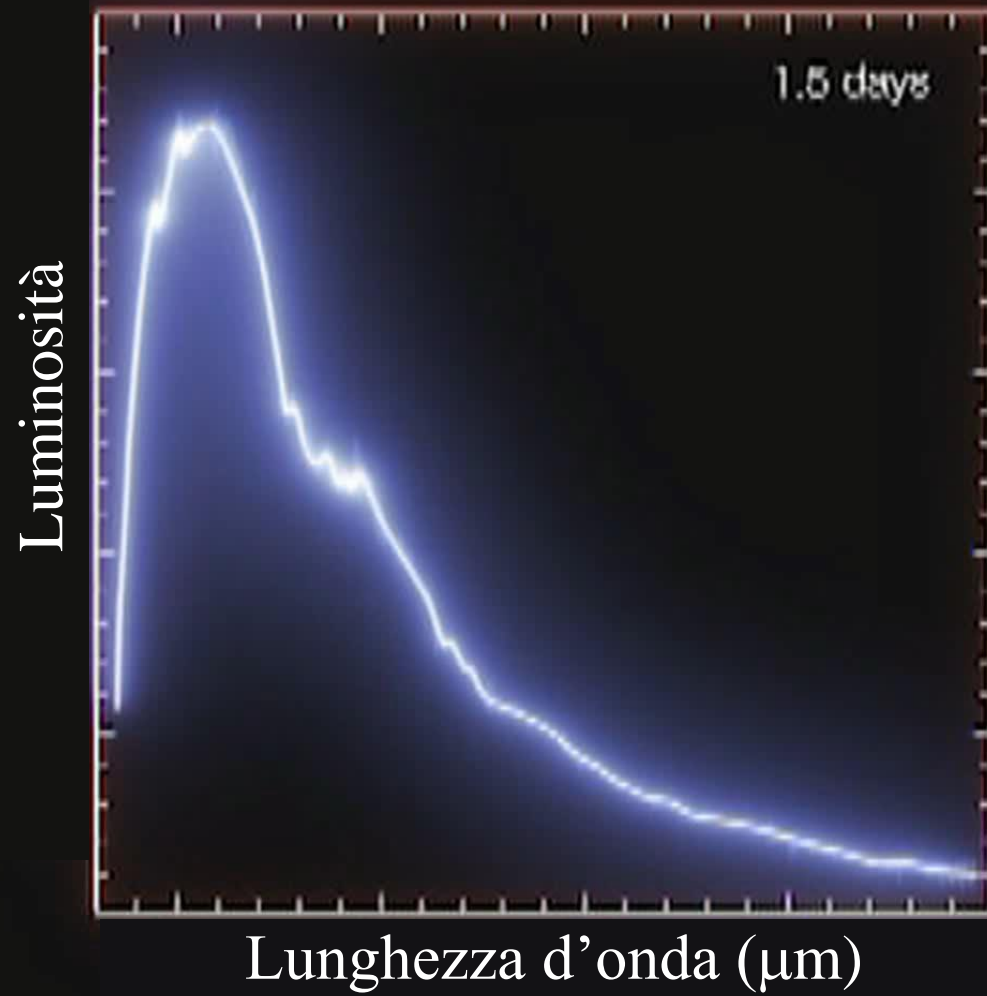






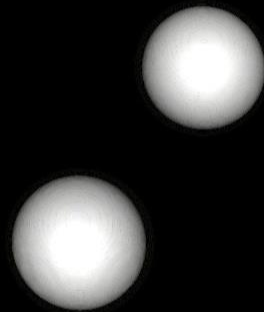


E' finalmente nata
l'astronomia
multi-messaggera



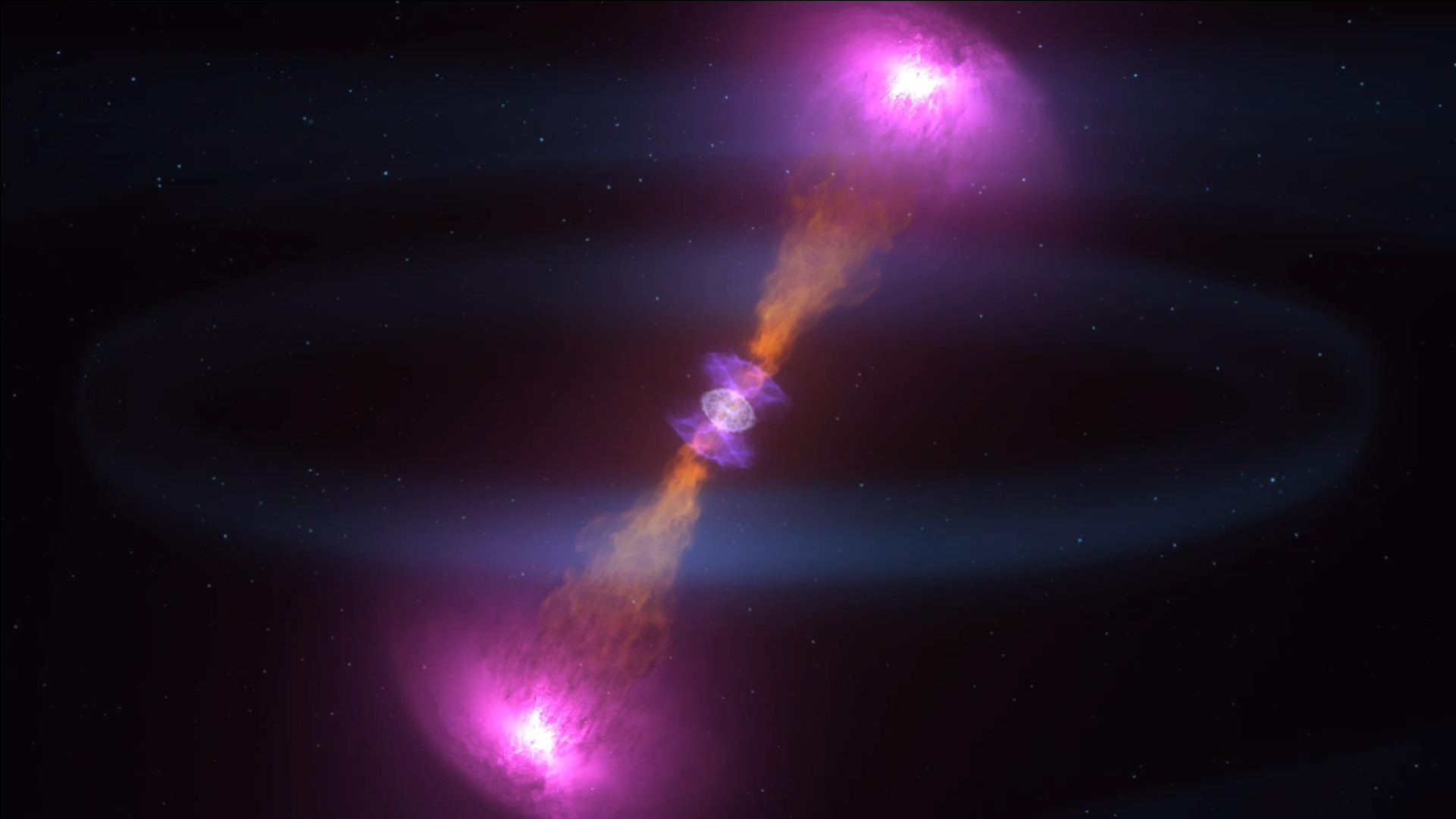
ESO-VLT/X-Shooter

$t = 10.3 \text{ ms}$









$t = 16.6 \text{ ms}$





The Origin of the Solar System Elements

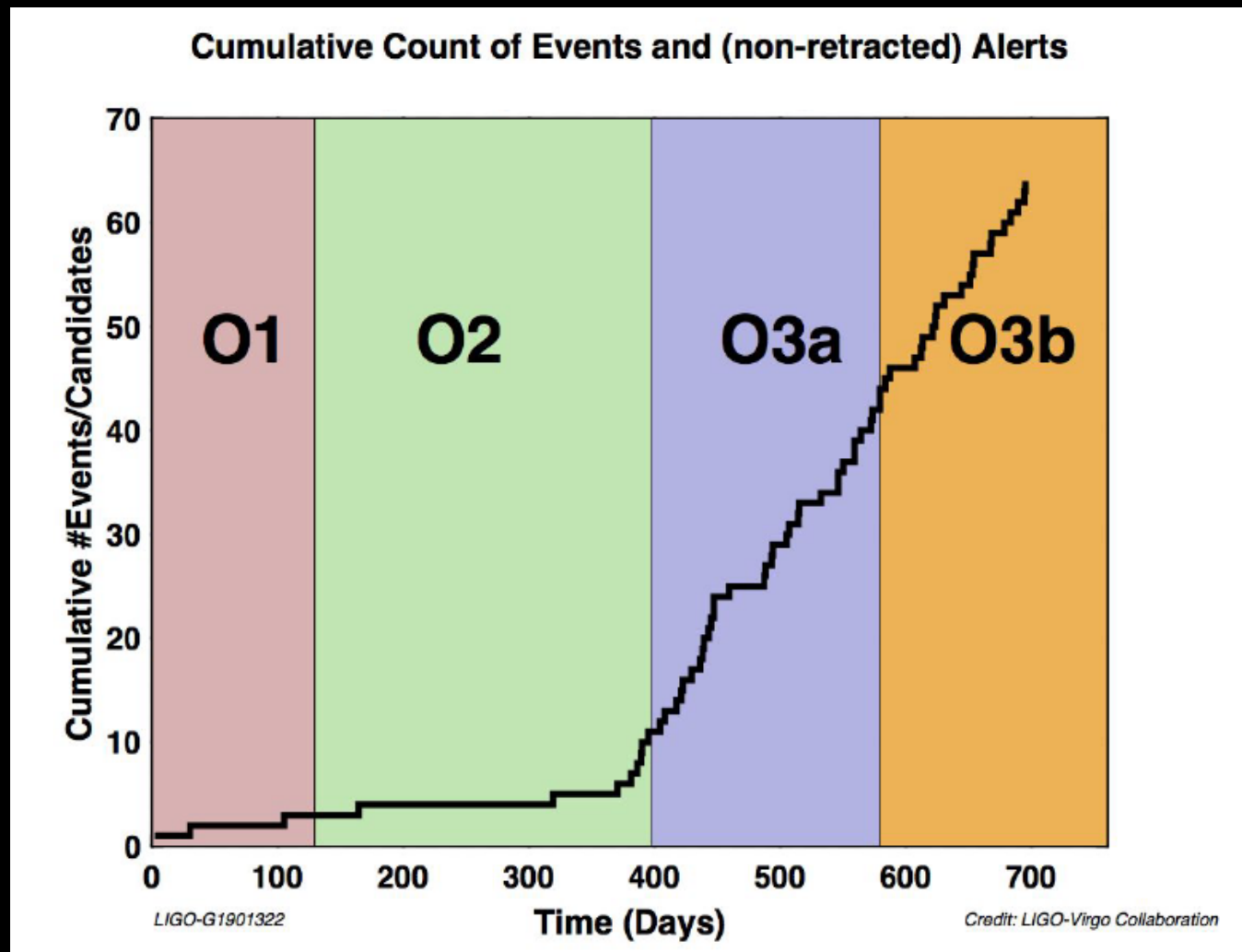
1 H	big bang fusion 										cosmic ray fission 					2 He						
3 Li	4 Be	merging neutron stars 										exploding massive stars 					5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	dying low mass stars 										exploding white dwarfs 					13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr					
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe					
55 Cs	56 Ba	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn						
87 Fr	88 Ra	100-200 Masse della Terra di Oro !!!!																				

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U											

Graphic created by Jennifer Johnson

Astronomical Image Credits:
ESA/NASA/AASNova

1 aprile 2019
inizia la terza
presa dati
scientifica O3



O3 è stato diviso in due parti

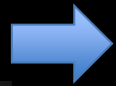
1 aprile 19 - 30 settembre 19
O3a



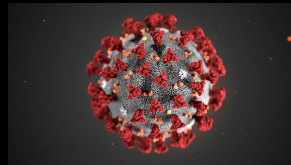
39 eventi

Manutenzione e miglioramenti
in Virgo e LIGO

1 novembre 19 - ~~27~~ marzo 20
O3b



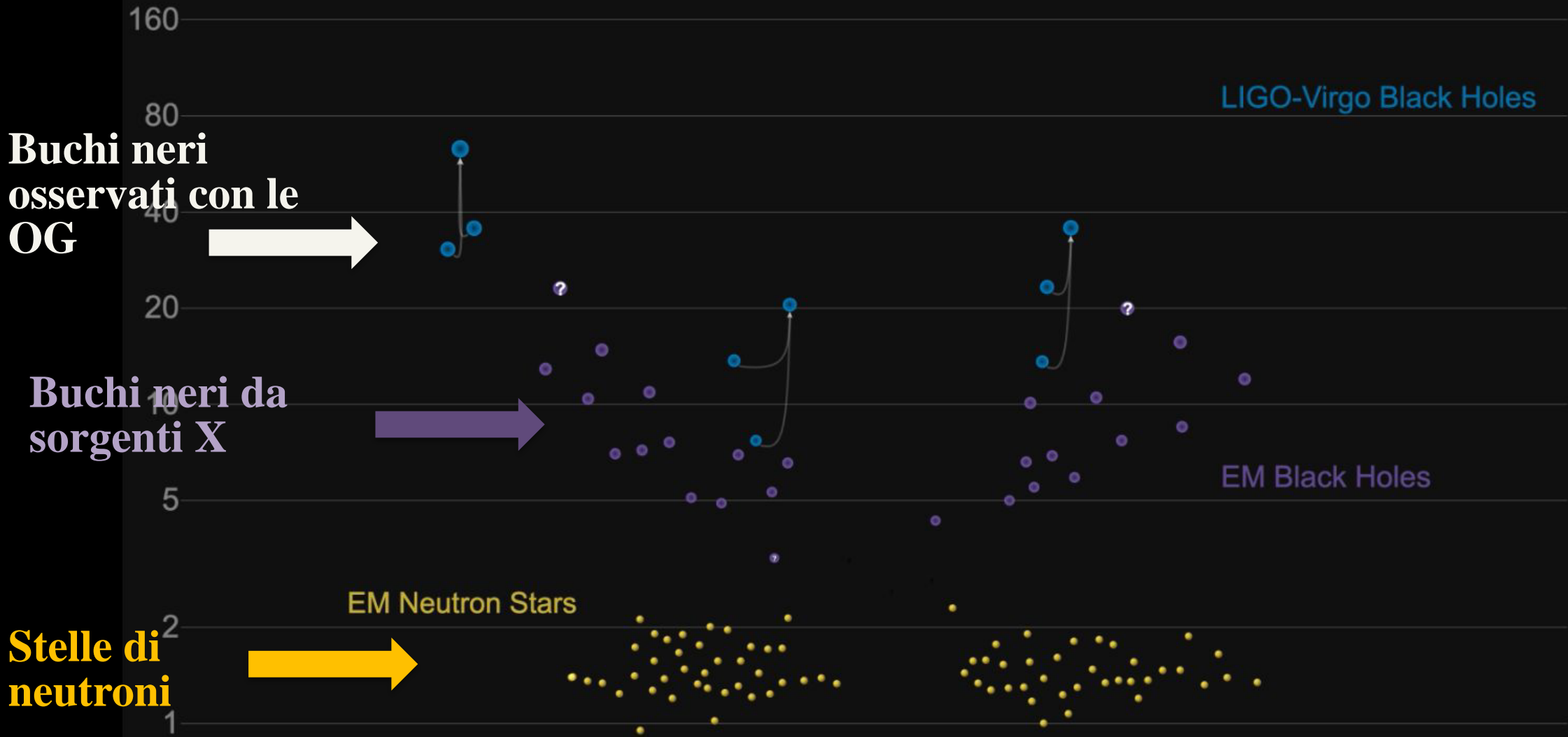
Almeno 20 candidati



ATTENZIONE: sono solo candidati
Per essere promossi a EVENTI devono essere
analizzati in modo molto dettagliato

Masses in the Stellar Graveyard

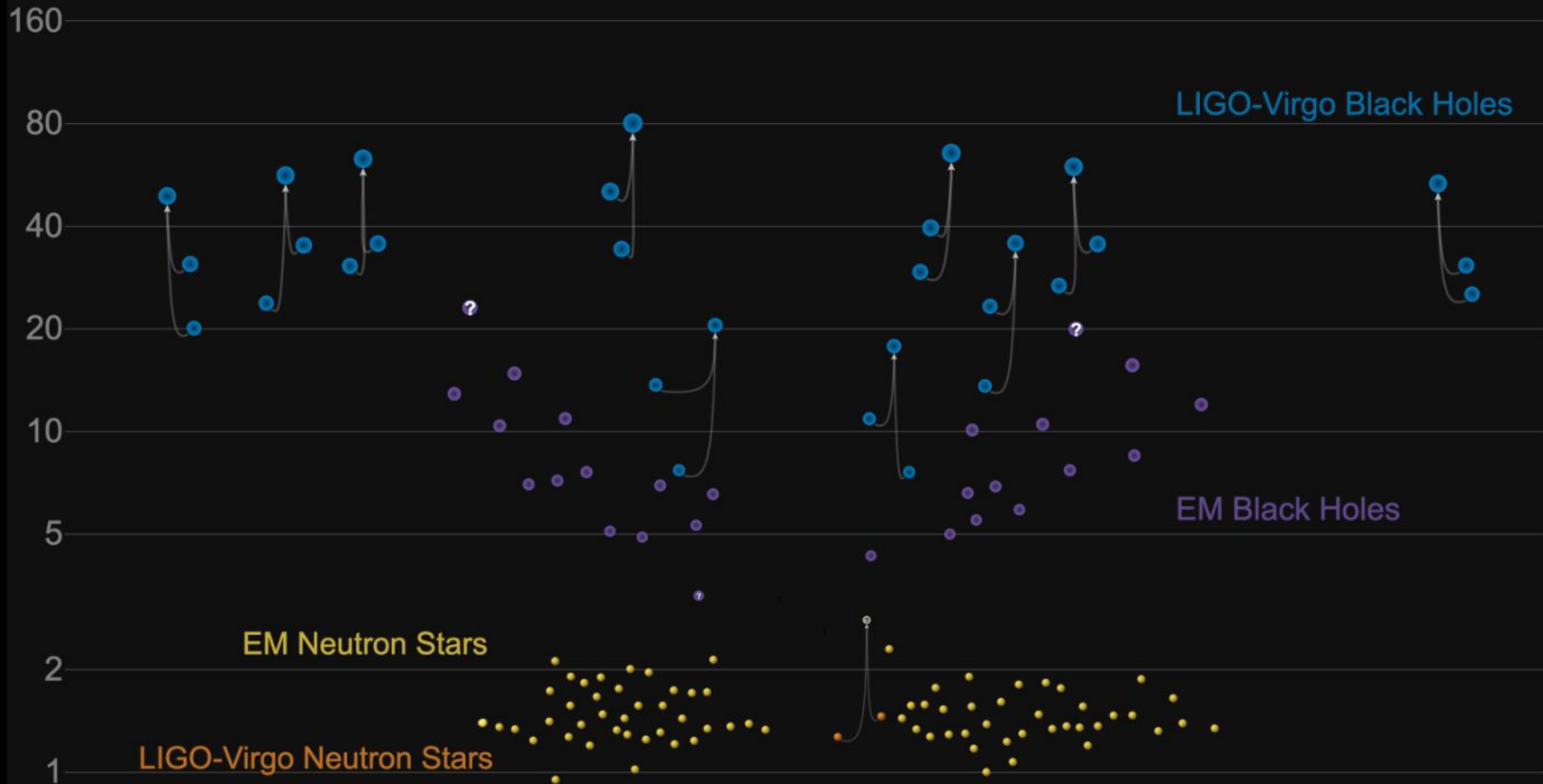
in Solar Masses



O1

Masses in the Stellar Graveyard

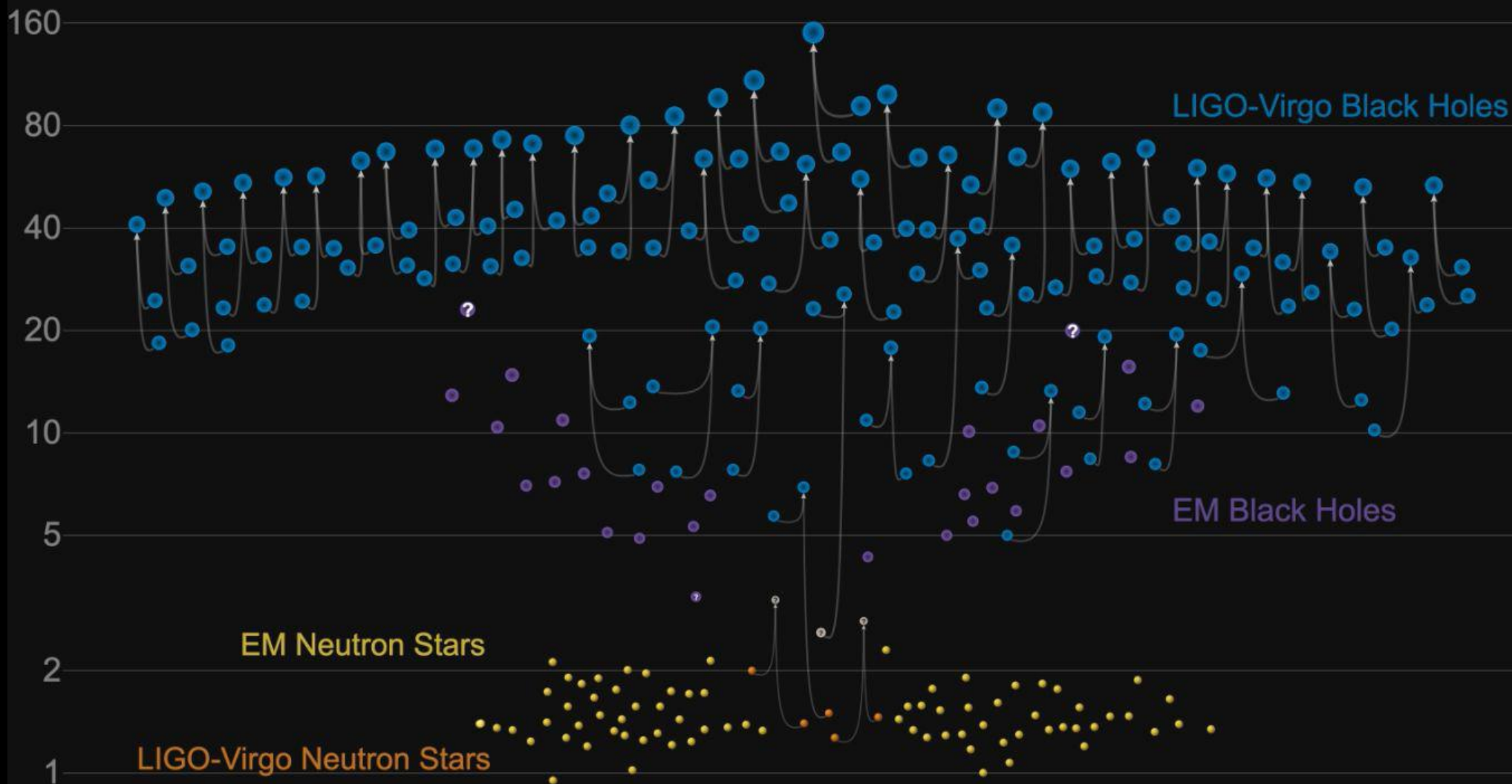
in Solar Masses



O2

Masses in the Stellar Graveyard

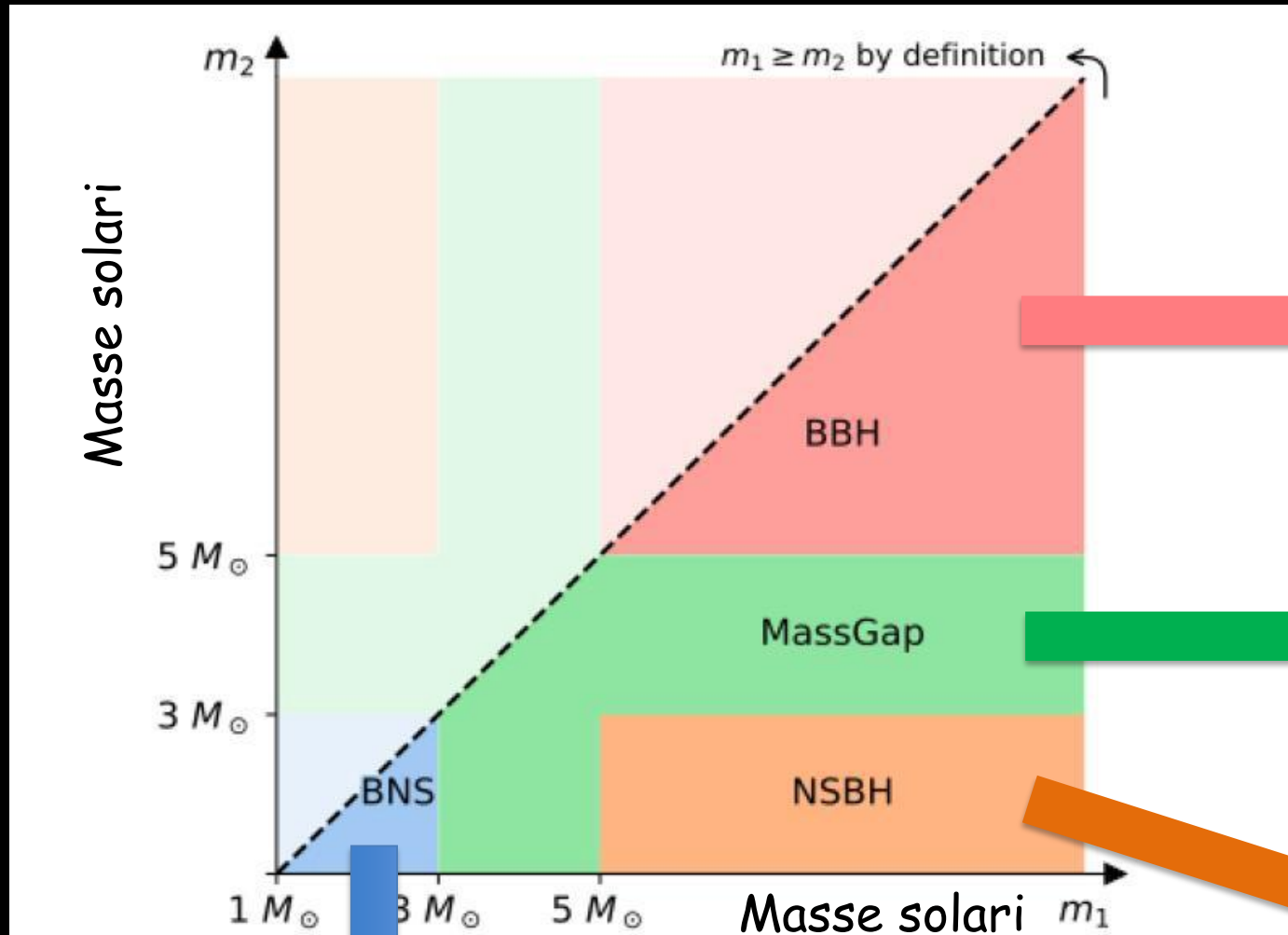
in Solar Masses



O3a

Cosa cerchiamo ?

Sistemi binari



Sono così tanti che li raccogliamo ormai in un catalogo

Non si conoscono per ora stelle di neutroni così grandi, né buchi neri così leggeri

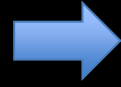
Qualche candidato c'è...

GW170817 la scoperta

GW190425 nuovo evento !!!

GW190425: seconda osservazione BNS

L'evento è stato visto solo da LIGO-Livingstone

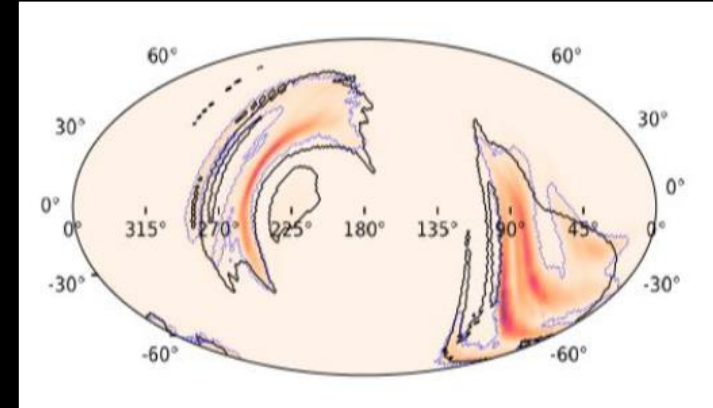


Pessima localizzazione

La sorgente è molto distante: 520 MLY contro i 130 MLY del primo evento



Segnale debole



Nessuna osservazione EM associata

m1: 1.61 - 2.52
m2: 1.12 - 1.68 masse solari

Buchi neri ??? Sarebbero i più piccoli mai visti

La massa del sistema però è 3.4 masse solari

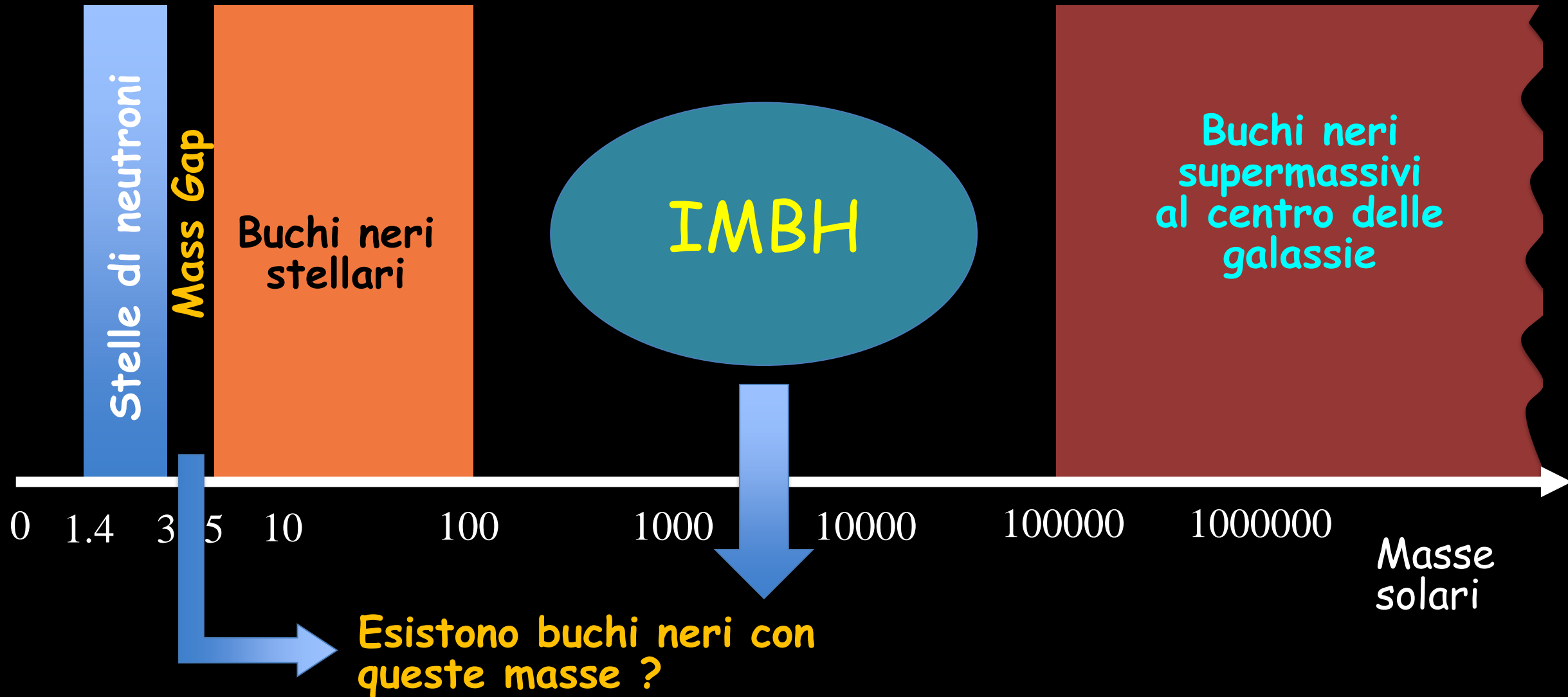
E' molto più grande di qualunque sistema di NS conosciuto

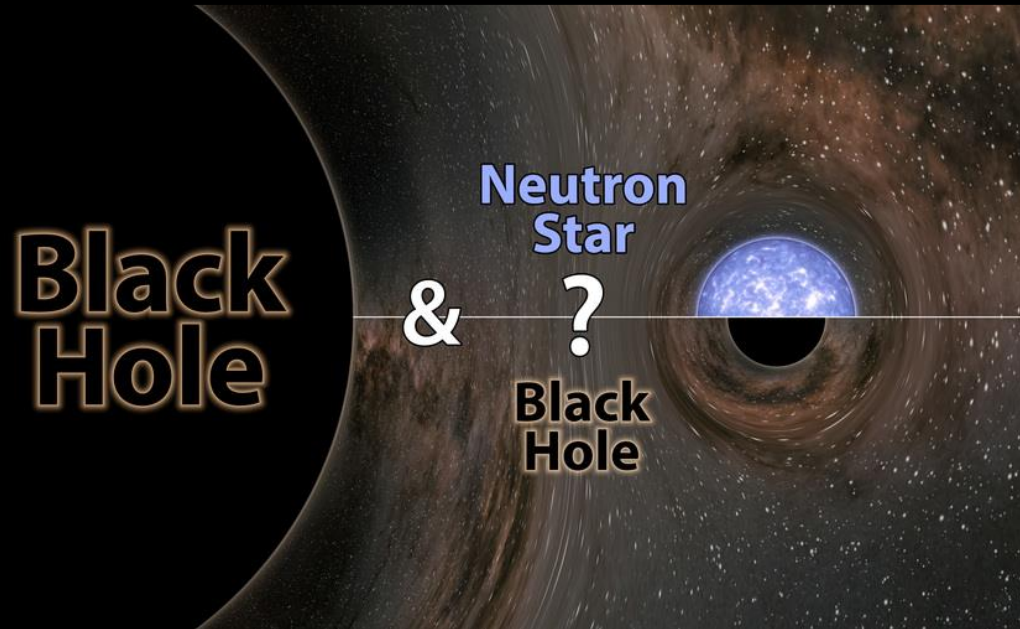
Come si sarà formato?



Quanti sistemi come questo ci sono, non visibili con altri sistemi?

Ma i buchi neri sono ancora interessanti?



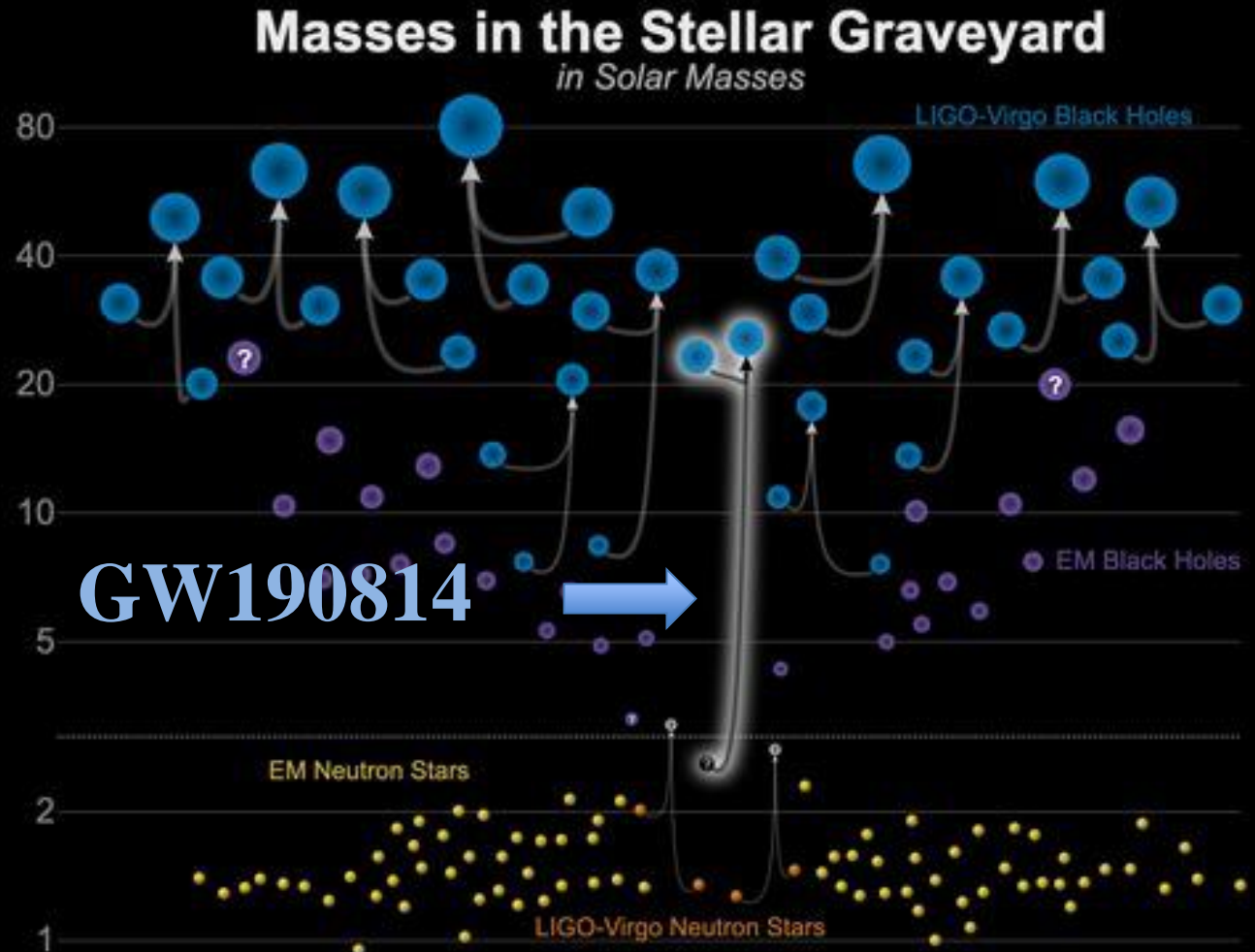


2.6 masse solari

Non si osservano effetti mareali

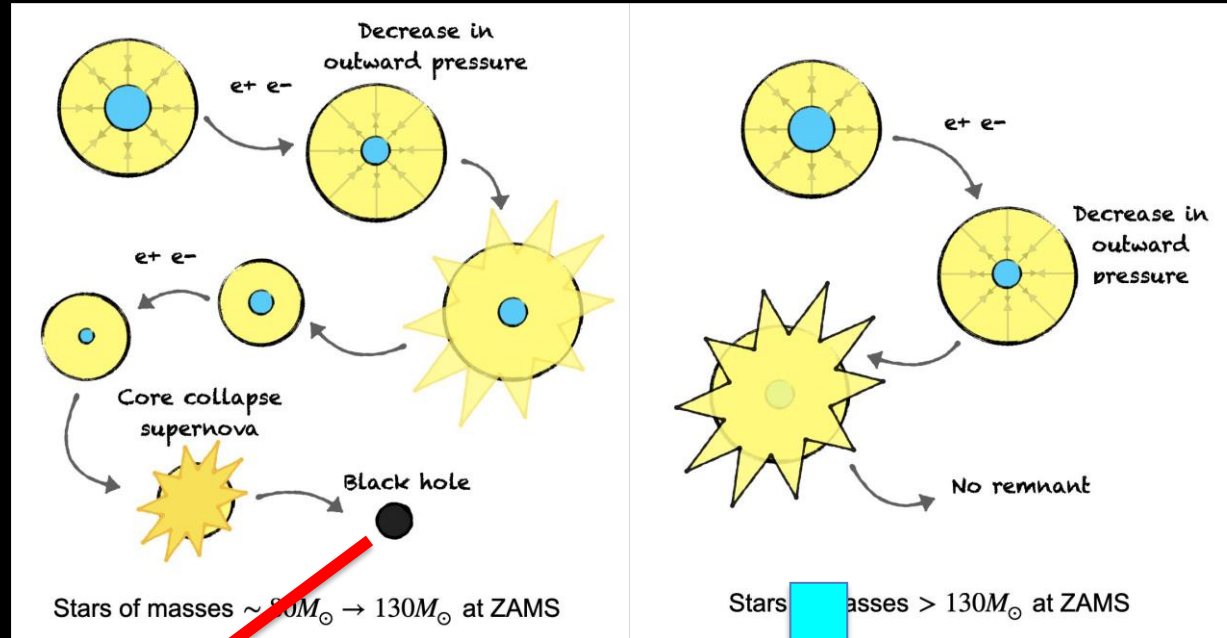
Non si è vista la controparte EM

E' compatibile con NSBH o BBH



Pair Instability Gap

Pulsational Pair Instability



Pair Instability

Buchi neri stellari

Perdita di massa

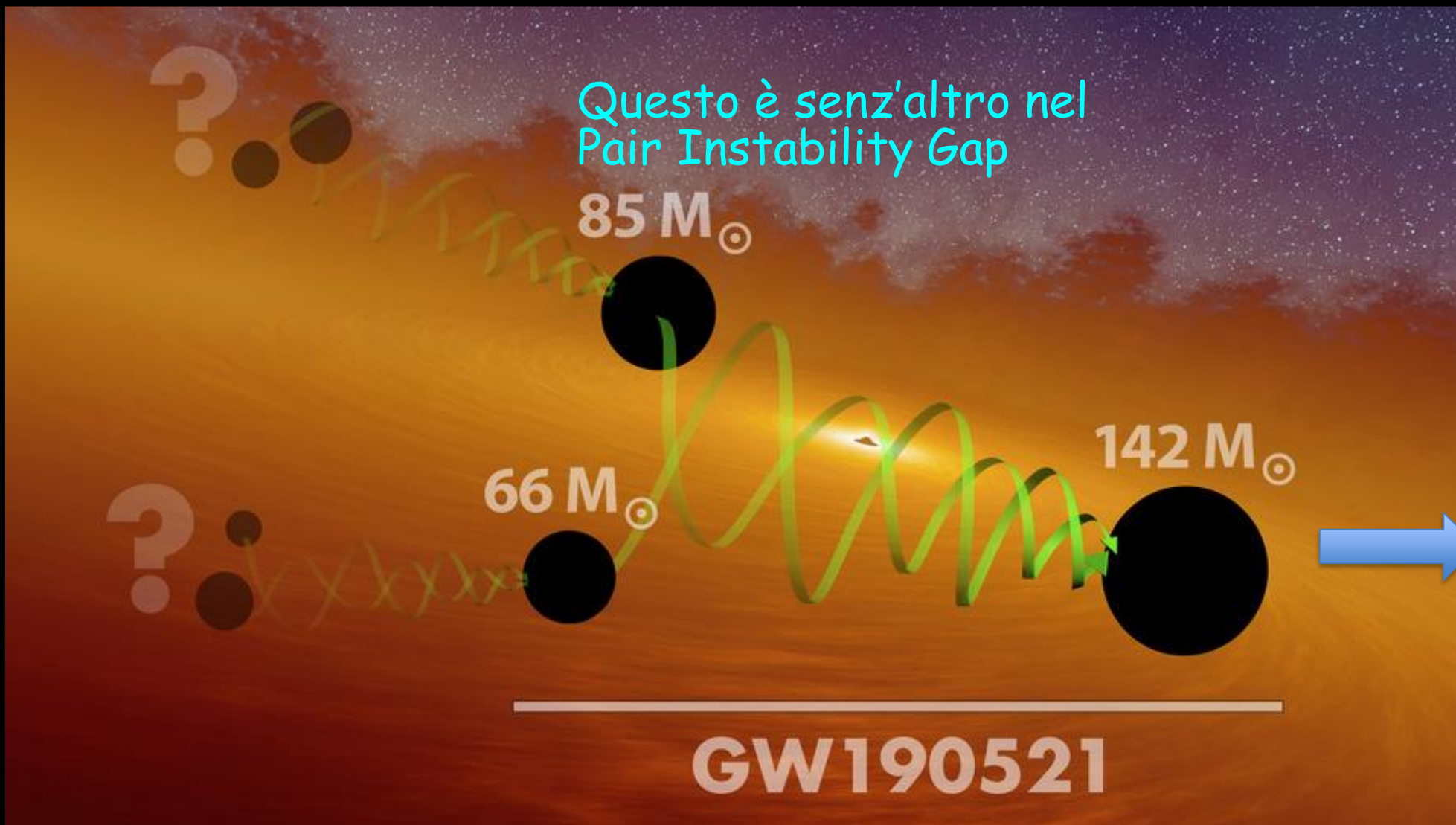
Non rimane nulla

IMBH

65

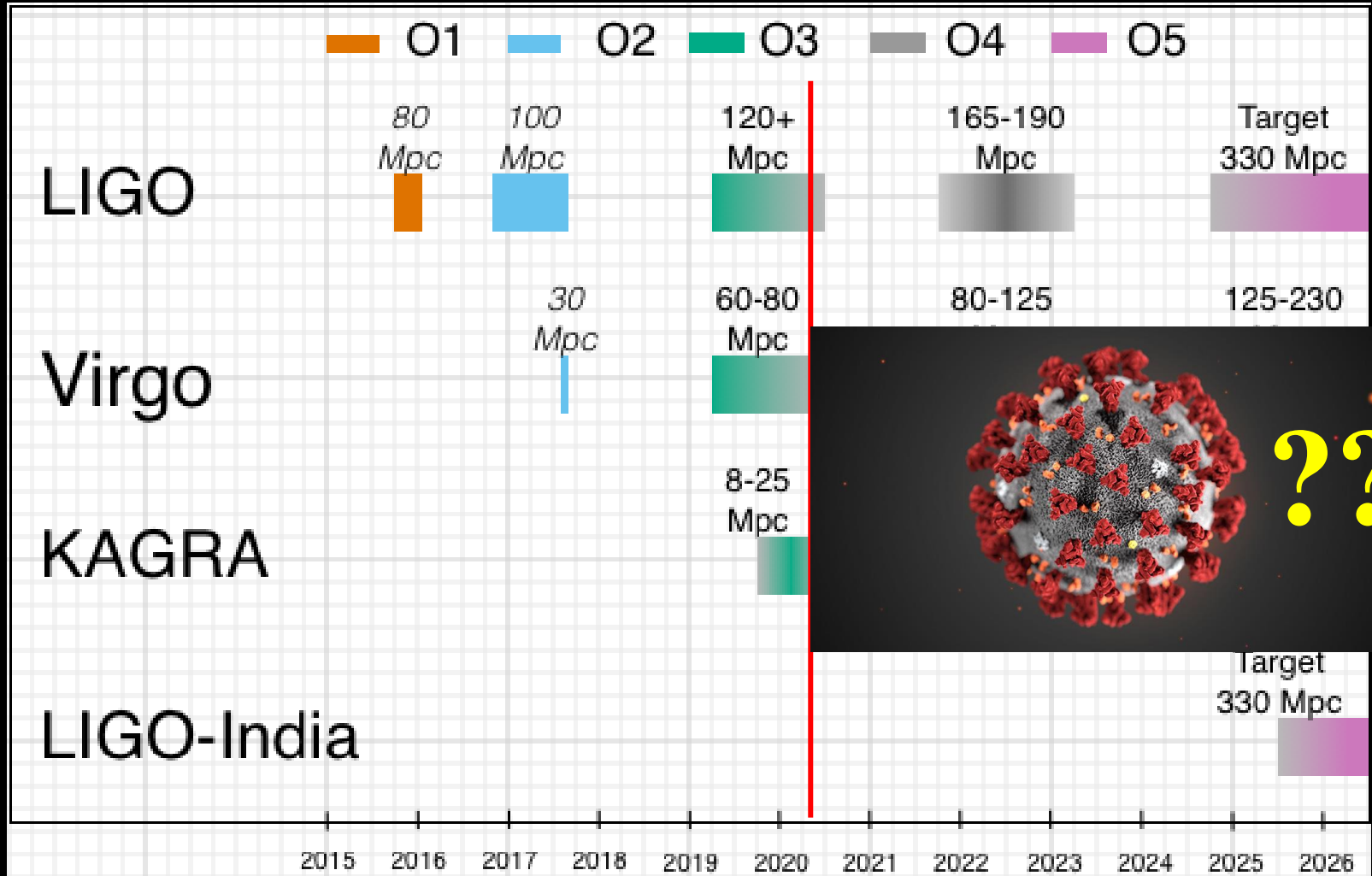
130

(Masse solari)



La prima
osservazione
della formazione
di un IMBH

Il futuro...



Courtesy of R. Flaminio

Il futuro...

- Fase I **O4**

- Specchio aggiuntivo di Signal recycling
- Laser più potente (40 W invece degli attuali 26 W)
- Nuova configurazione ottica (Frequency dependent squeezing)
- Sottrazione del rumore Newtoniano

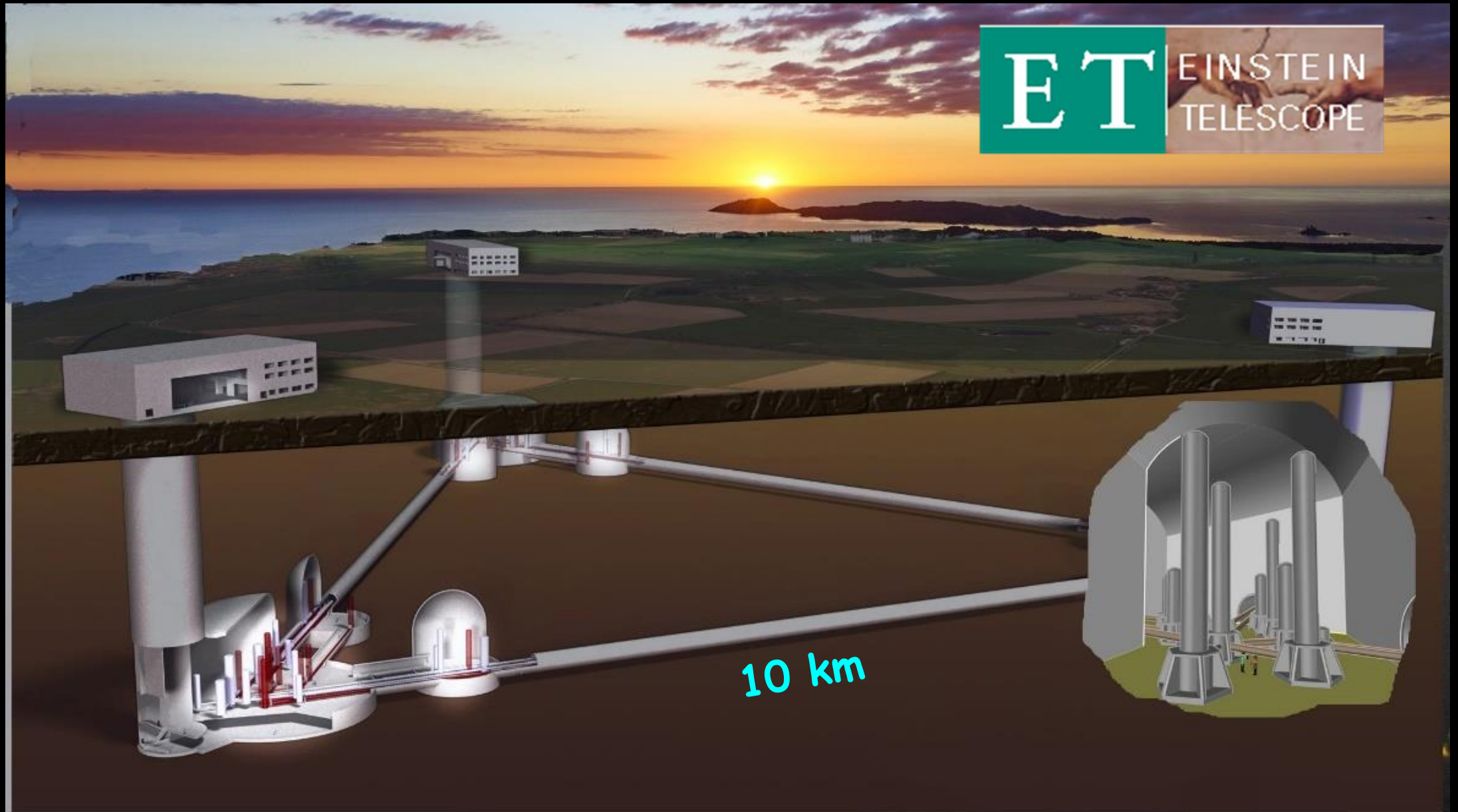
- Fase II **O5**

- Ulteriore aumento della potenza del laser (> 60 W)
- Fasci più larghi sugli specchi terminali
 - Specchi più grandi (~ 100 kg)
- Strati riflettenti che riducano il rumore termico

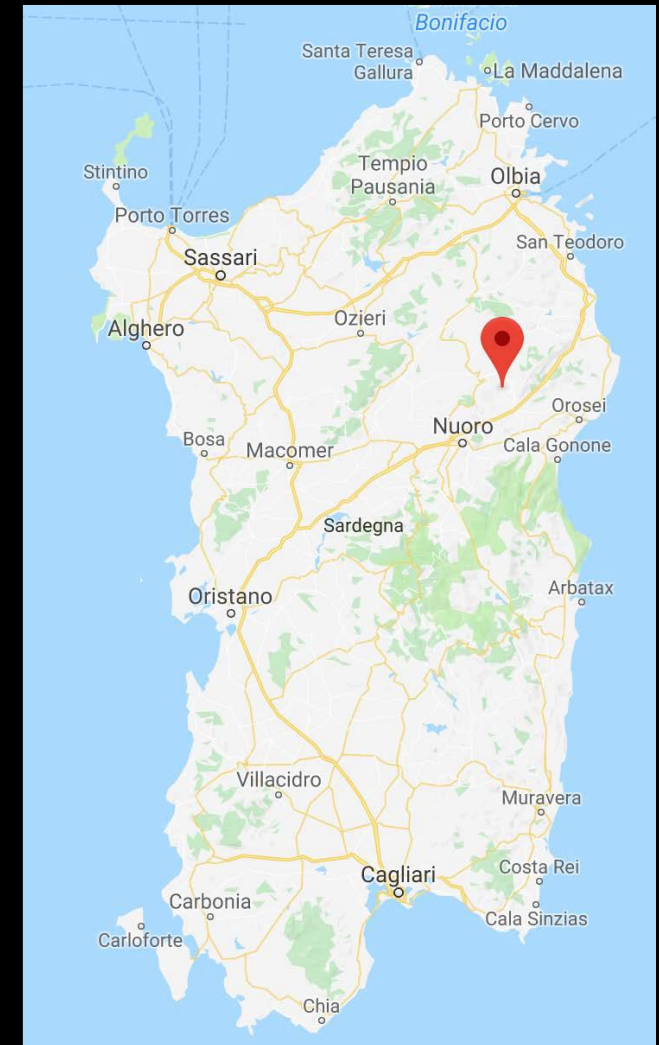
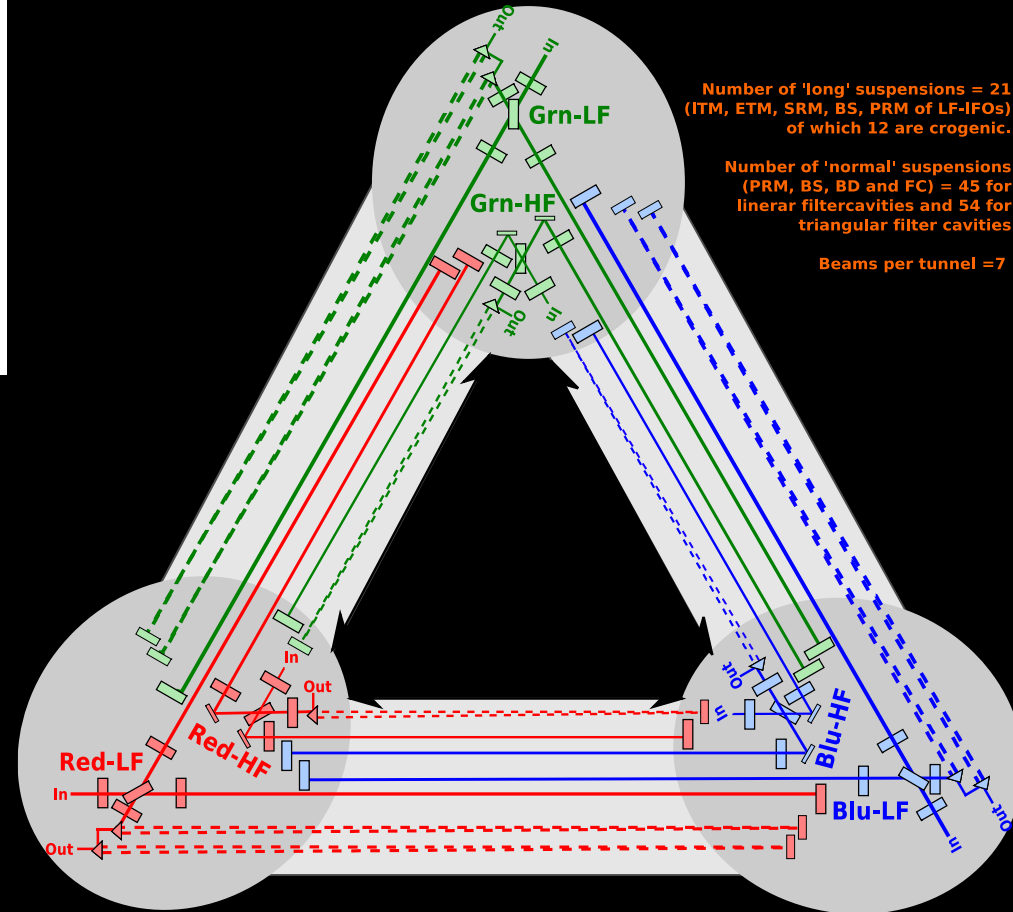
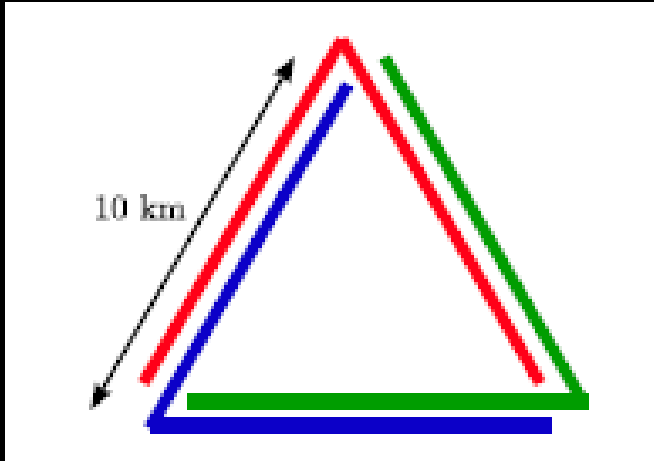
Il futuro...remoto



Il futuro...remoto



Il futuro...remoto



Siamo stati come spettatori di un meraviglioso film muto. Ora, d'un tratto, abbiamo anche il sonoro. E la nostra comprensione potrà enormemente ampliarsi, in quanto potremo finalmente ascoltare la voce dello spazio e del tempo, il canto delle stelle lontane, il brusio del Big Bang, la musica nascosta dell'universo.



Adalberto Giazotto, La musica nascosta dell'Universo, Einaudi