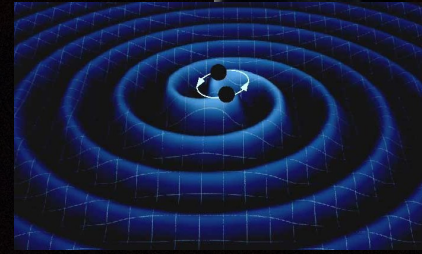
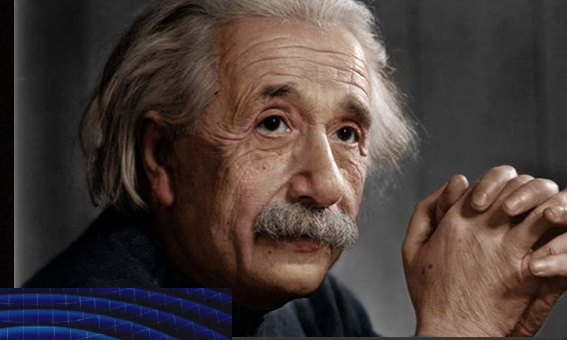


Paola Leaci

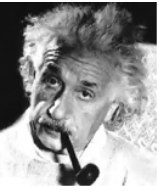


*Onde gravitazionali
ed astronomia
multimessenger nell'era
dei rivelatori avanzati*

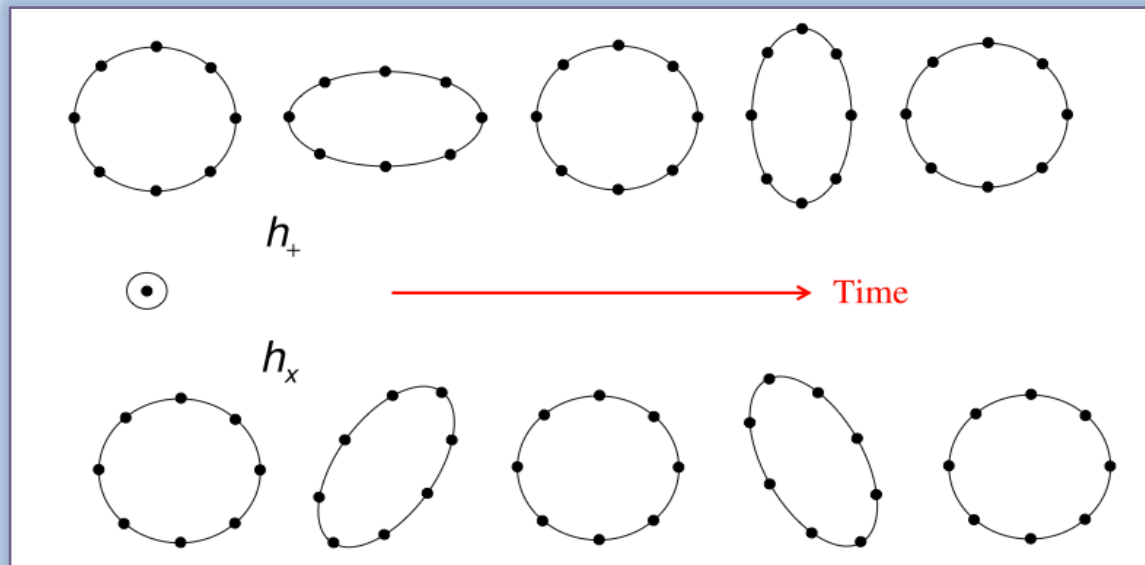


14/06/2016

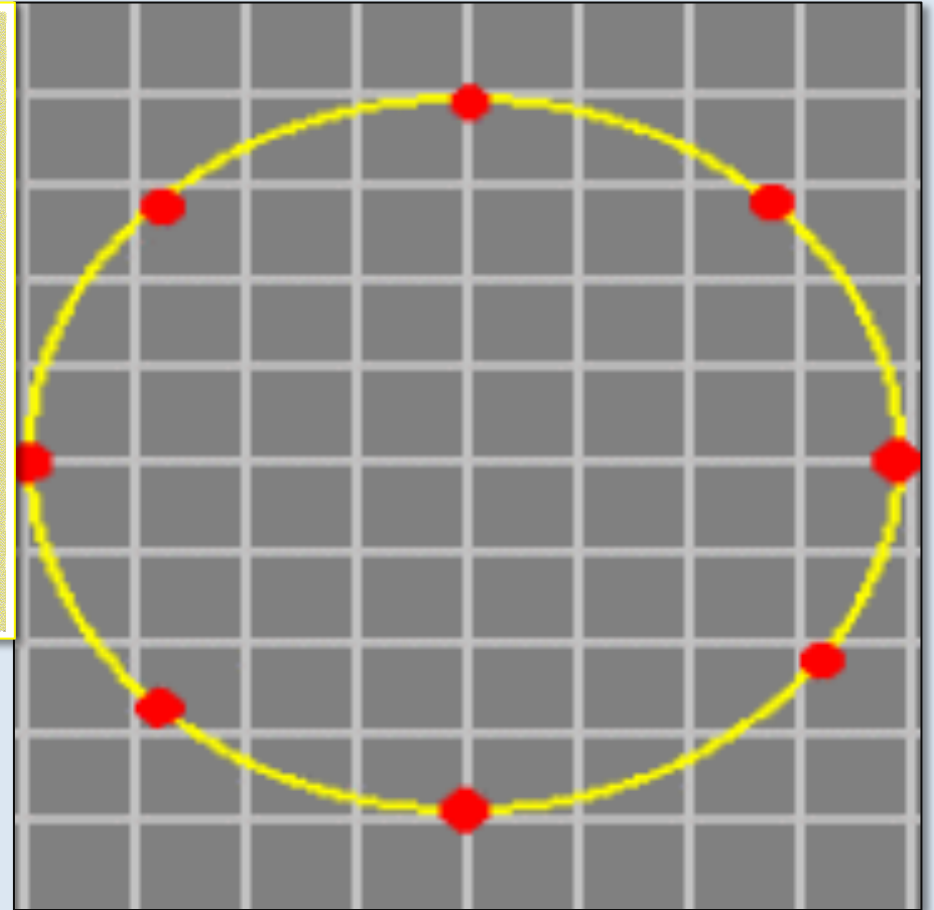
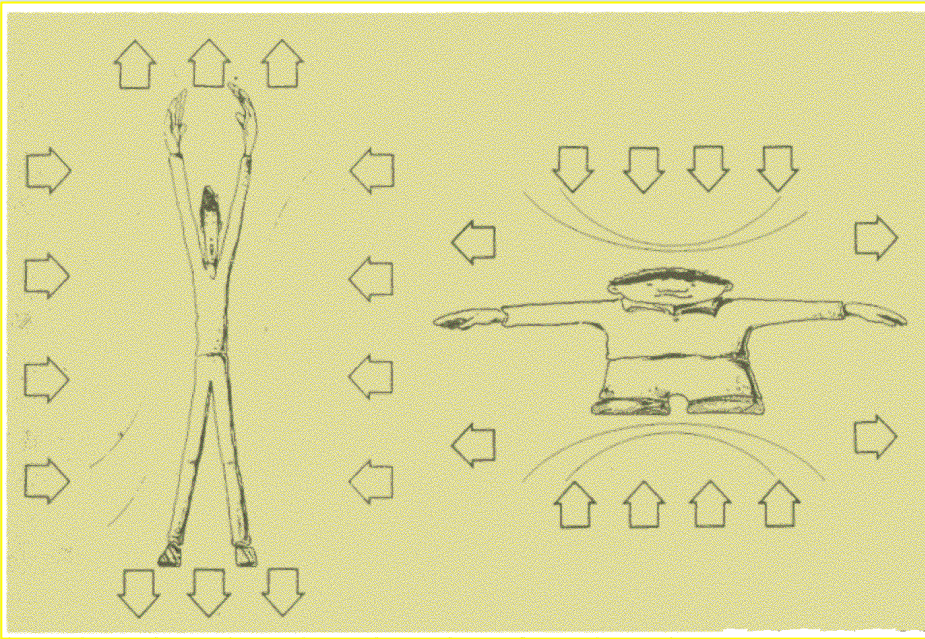
ONDE GRAVITAZIONALI (OG)



- ✓ Increspature dello spazio-tempo che si propagano a velocità della luce
- ✓ Sono prodotte da accelerazioni di massa a simmetria non sferica o non cilindrica
- ✓ Sono caratterizzate da due stati di polarizzazione :
+, x



DEFORMAZIONE PRODOTTA DA OG

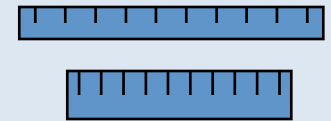


La deformazione
indotta (*strain*) e'
piccolissima $\sim 10^{-23}$!

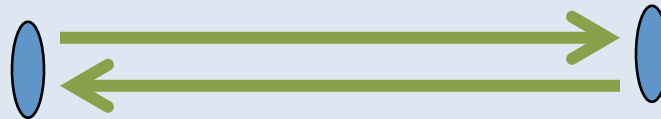
STRUMENTAZIONE: perchè l'interferometro?

Come possiamo renderci conto che stanno cambiando le proprietà geometriche dello spazio?

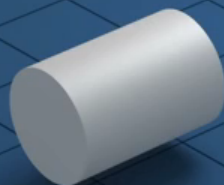
Anche il nostro metro campione si deforma!!



Noi possiamo però misurare il tempo che luce impiega a fare un viaggio di andata e ritorno tra due punti (gli specchi dell'interferometro), perchè la velocità della luce è sempre pari a c .



Funzionamento di un interferometro



Interferometria e OG

I

- Il segnale d'uscita di un interferometro Michelson dipende dalla differenza dei tempi di transito della luce nei due bracci, ovvero dalla differenza di lunghezza dei due bracci.
- La variazione di lunghezza di un braccio è
$$\Delta L \sim h * L$$
- A parità di h , quanto più è grande L tanto più è grande la variazione ΔL

Interferometria e OG

II



Big Scary Laser

**Do not look Into beam
with remaining eye**



- ✓ I piu' grandi sistemi di vuoto esistenti al mondo
- ✓ Sofisticati sistemi di sospensione per isolare dalle vibrazioni esterne
- ✓ Specchi a basso assorbimento e trattati per avere superfici senza difetti
- ✓ Laser molto potenti !

RETE DI RIVELATORI

LIGO Livingston (LA, USA): 4 km



GEO600 (Hanover, GE): 600 m



VIRGO (Cascina, IT): 3 km



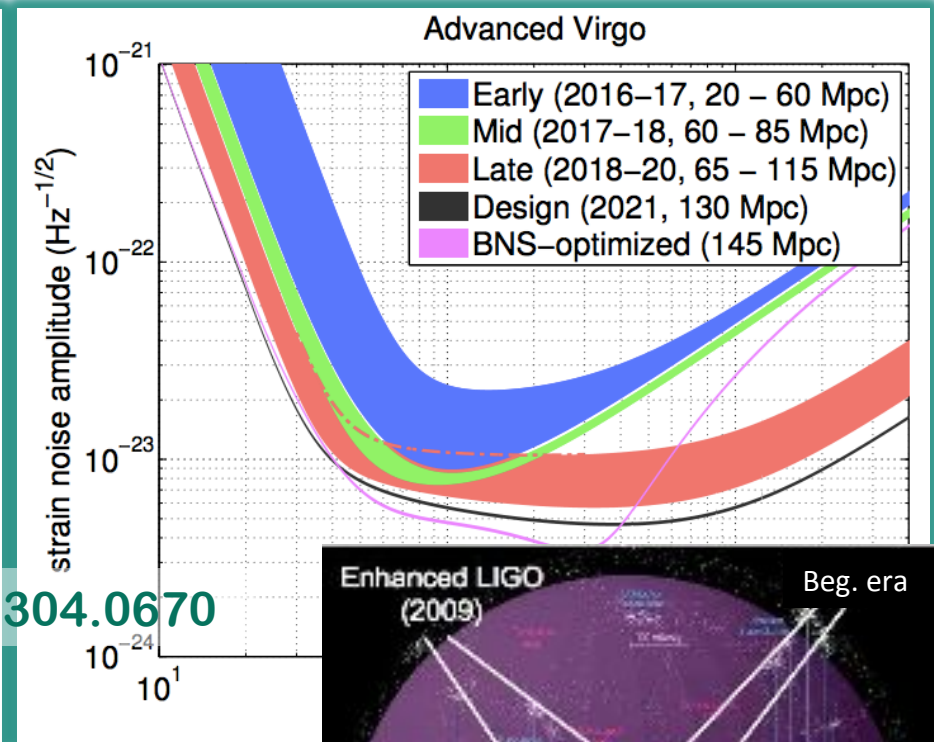
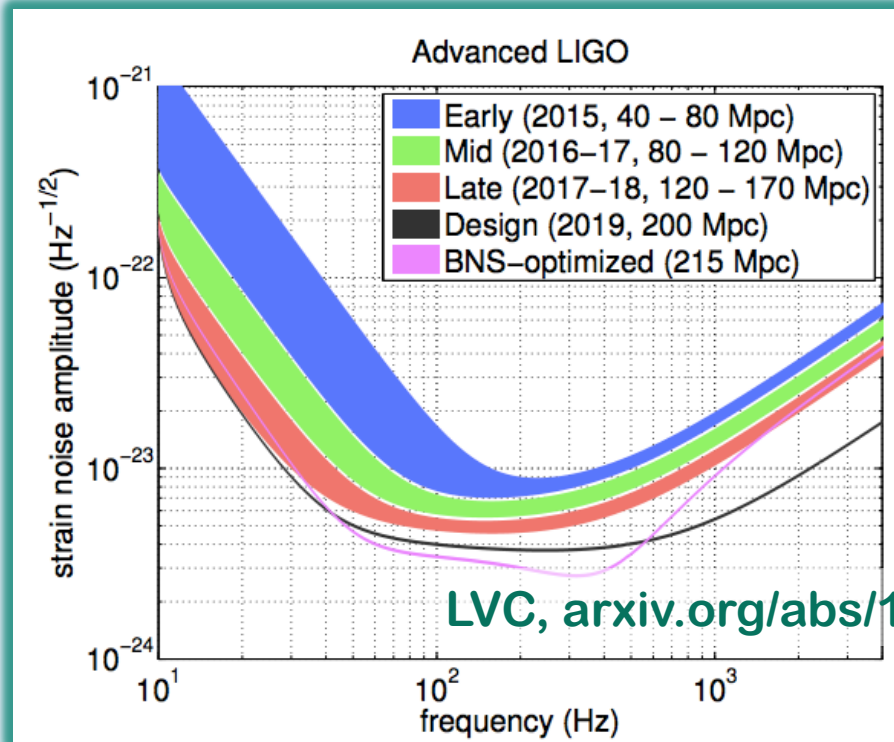
LIGO Hanford (WA, USA):
4 km



KAGRA (Hida-city, JP): UNDER CONSTRUCTION (2019+)

LIGO-India (IndIGO): PLANNED (2022+)

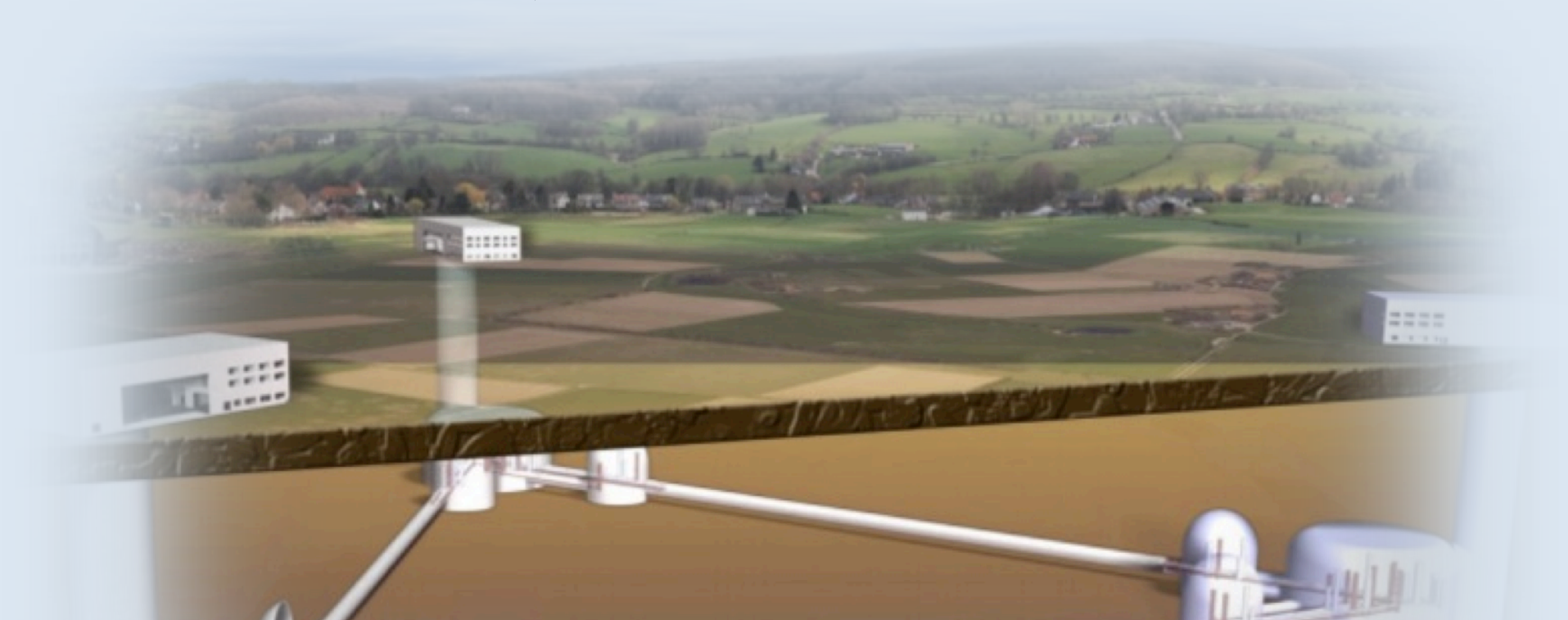
Miglioramenti attuali e futuri



Primi risultati attesi già raggiunti!!

Terza generazione di rivelatori di OG

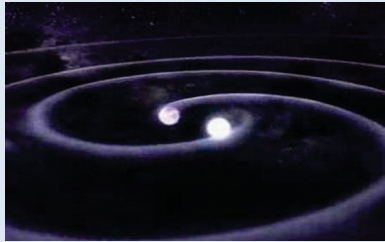
- ✧ 2006-2010: presa dati a livelli di sensibilità mai raggiunta prima
- ✧ 2015-2022: rete di cinque rivelatori operativi



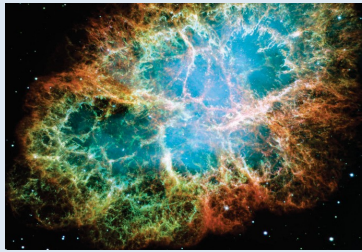
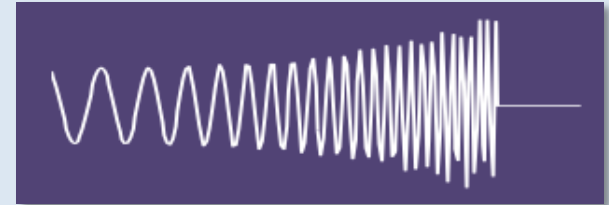
- ✧ Einstein Telescope (2018-2020): lunghezza dei bracci pari a 10 km, rivelatore criogenico sotterraneo triangolare
- ✧ LIGO Voyager (2025-2030): criogenico; miglioramento in sensibilità superiore di tre volte rispetto ai rivelatori avanzati
- ✧ LIGO Cosmic Explorer (2030+): lunghezza dei bracci pari a 40 km

DA COSA SONO
PRODOTTE LE
OG?

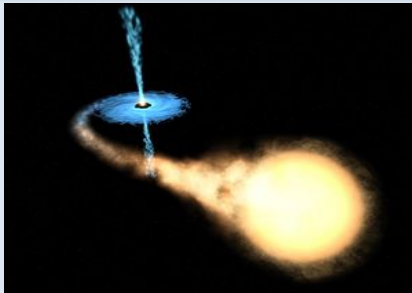
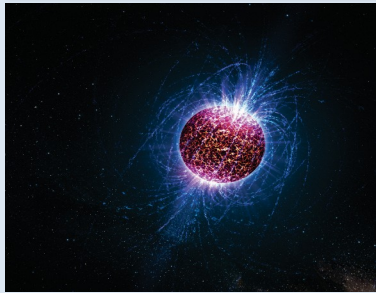
SORGENTI DI OG



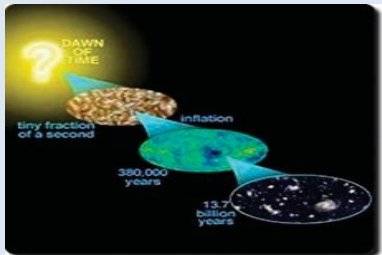
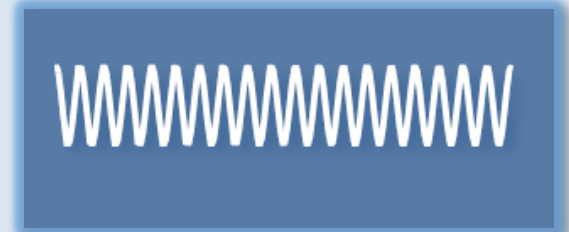
Sistemi binari coalescenti



Esplosione di supernovae



Stelle di
neutroni rotanti
isolate e
binarie

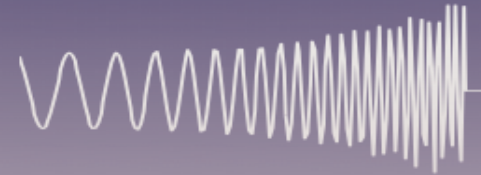


Fondo stocastico di OG



SORGENTI DI OG

Sistemi binari coalescenti



SEGNALI TRANSIENTI

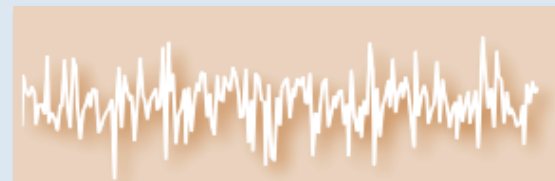
Esplosione di supernovae



Stelle di
neutroni rotanti
isolate e
binarie

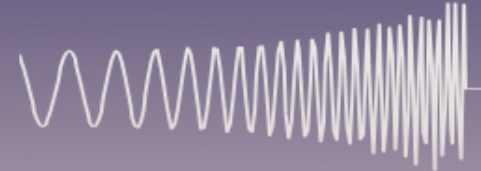


Fondo stocastico di OG



SORGENTI DI OG

Sistemi binari coalescenti



SEGNALI TRANSIENTI

Esplosione di supernovae



Stelle di
neutroni rotanti
isolate e
binarie



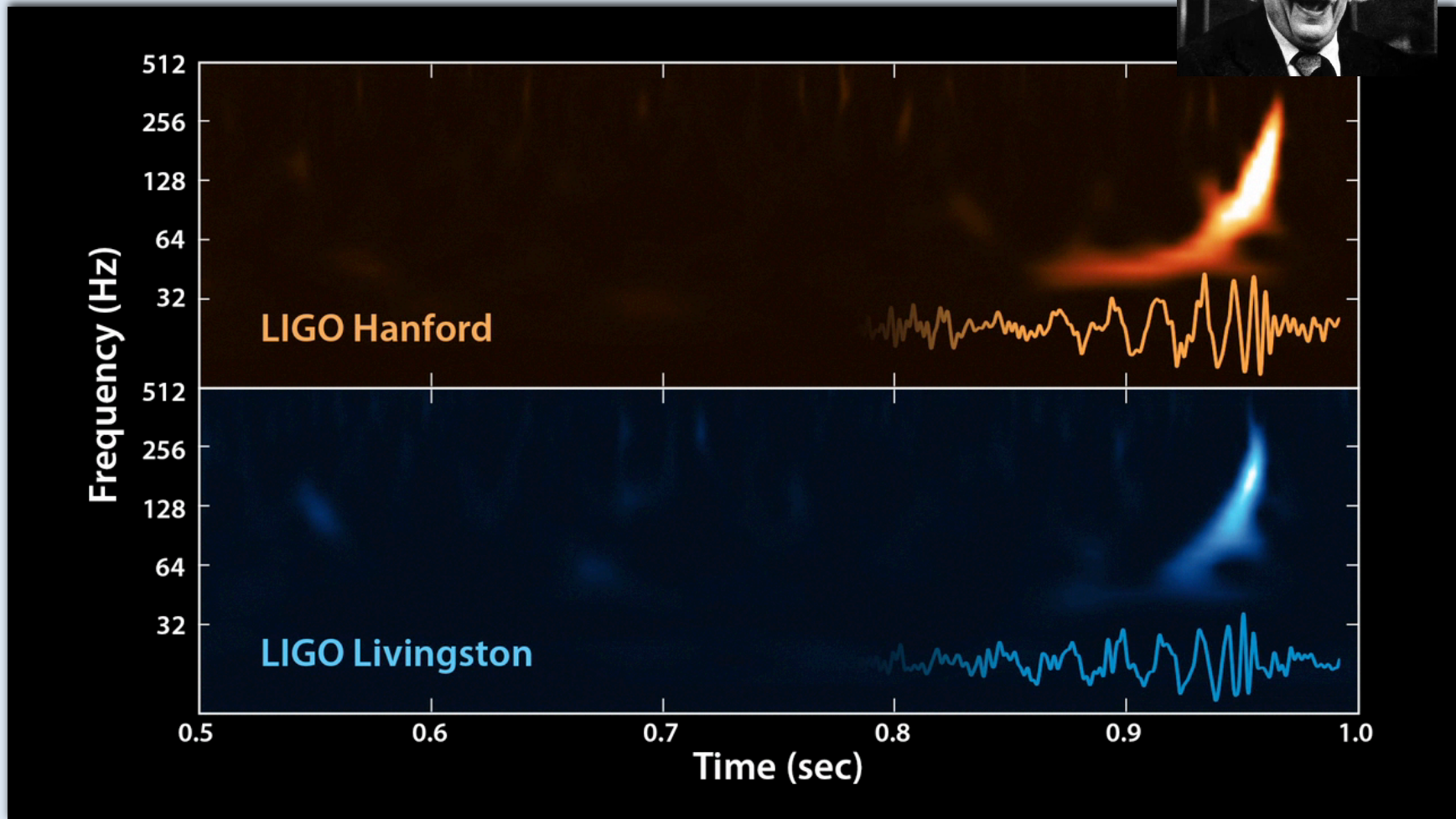
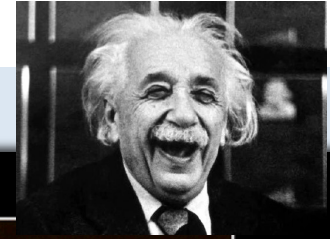
SEGNALI CONTINUUI

Fondo stocastico di OG



Il suono della prima rivelazione di OG: 14 Settembre 2015

<http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.116.061102>

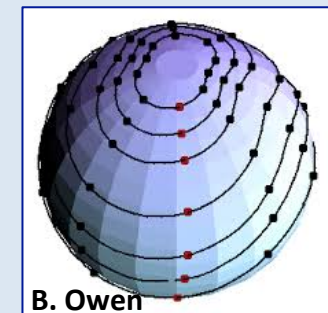
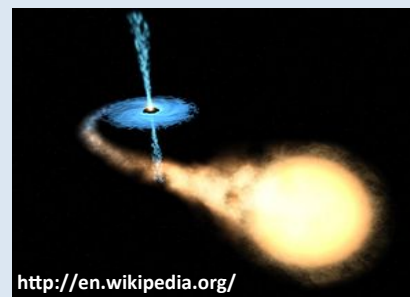
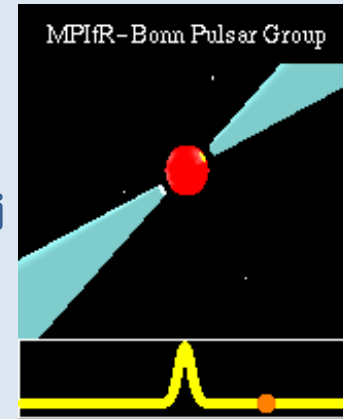


QUALI ALTRI SEGNALI
DI OG CI ASPETTIAMO
DI RIVELARE?

E COME?

Segnali CONTINUI che ci aspettiamo di rivelare

- Più di 2500 stelle di neutroni osservate (la maggior parte pulsar), ma ci aspettiamo che ne esistano nella Galassia circa $10^8 - 10^9$
- Più della metà delle pulsar osservate nel radio (con frequenze tali da emettere plausibilmente nella banda più sensibile dei rivelatori LIGO-Virgo) si trovano in sistemi binari
- Affinché una stella di neutroni emetta onde gravitazionali continue deve avere un certo grado di asimmetria che si può originare da
 - deformazione dovuta a stress elastici o al campo magnetico
 - deformazione dovuta a materia in accrescimento (es. LMXB)
 - eccitazione di oscillazioni sulla parte superficiale della stella (r-modes)
 -



Ricerche di onde gravitazionali CONTINUE

IL modo in cui si effettuano tali ricerche dipende da quante informazioni abbiamo sulla sorgente

✓ Ricerche **MIRATE** per stelle di neutroni note, per le quali si conoscono accuratamente posizione nel cielo ed evoluzione in frequenza (es. Crab e Vela)



✓ Ricerche **DIRETTE** a stelle di neutroni per le quali si conosce solo la posizione nel cielo (es. Centro galattico, Scorpius X1, Cassiopeia A)



.....



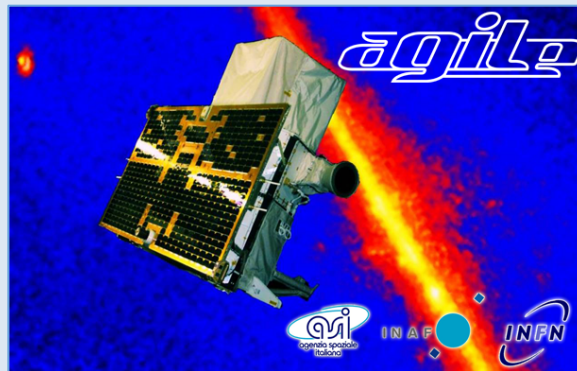
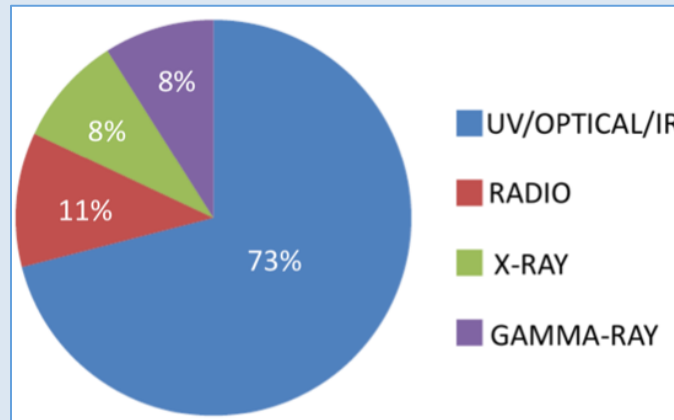
✓ Ricerche **SU TUTTO IL CIELO** per le quali non si ha alcuna informazione



ASTRONOMIA MULTIMESSENGER con ricerche di OG

I

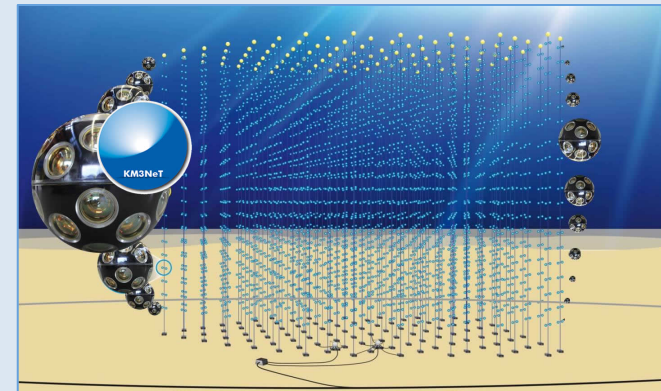
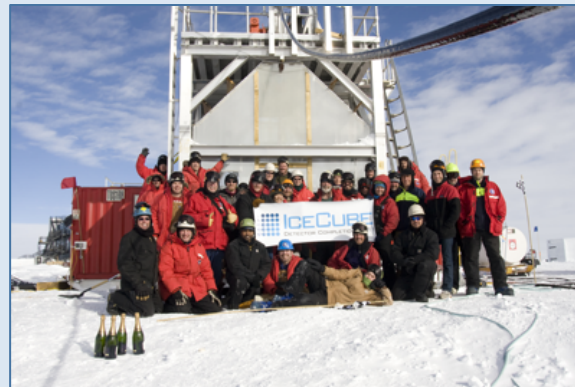
- Più di 60 partners da 19 PAESI
- Circa 150 strumenti che coprono l'intero spettro EM, dal radio ai raggi gamma



ASTRONOMIA MULTIMESSENGER con ricerche di OG

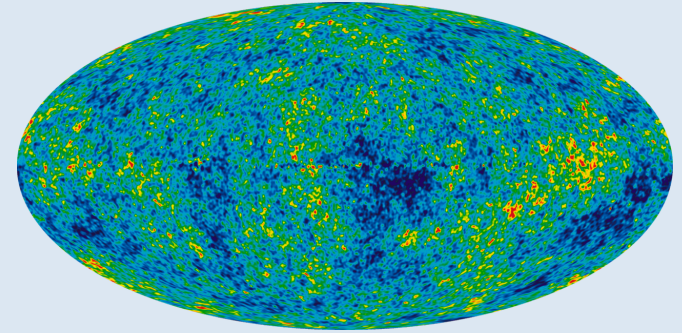
II

- Grazie ad **osservazioni elettromagnetiche** possiamo conoscere (con elevata precisione) i **parametri rotazionali** di molte stelle di neutroni, in particolare **radio pulsar** (=> ricerche **MIRATE per OG**)
- **Ricerche di OG in coincidenza con neutrini** (ANTARES, IceCub e il futuro **KM3NeT**): utili per migliorare la localizzazione di una sorgente di OG



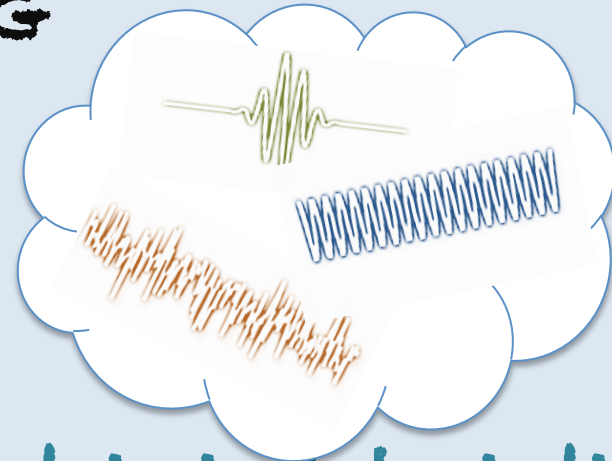
La radiazione cosmica di fondo

- Radiazione EM residua prodotta dal Big Bang e che permea l'Universo
- Scoperta da Penzias & Wilson nel 1964
- I modi B (una delle polarizzazioni di questa radiazione) sono un tipo di segnale proveniente dall'inflazione cosmica e sono determinati dalla densità di OG primordiali
- **Planck Satellite** --- > <http://www.cosmos.esa.int/web/planck>
- **LSPE** --- > <http://planck.roma1.infn.it/lspe/>
- **OLIMPO** --- > <http://planck.roma1.infn.it/olimpo/>



PROSPETTIVE FUTURE

- ✓ Analizzare i rimanenti mesi del primo run osservativo dei rivelatori avanzati: potrebbero esserci altri segnali di OG



- ✓ Migliorare la sensibilità dei rivelatori di OG per poter guardare sempre più lontano
- ✓ Migliorare gli algoritmi di ricerca per poter rivelare segnali sempre più deboli

A COSA SERVONO LE OG



AMBITO SCIENTIFICO

- ✓ Convalidare la TEORIA DELLA RELATIVITA' GENERALE di Einstein
- ✓ Permetterci di osservare l'Universo diversamente da come abbiamo fatto finora
- ✓ Avere accesso ai primissimi istanti di vita dell'Universo, ~ 13.8 MILIARDI di anni fa
- ✓ Conoscere l'equazione di stato della materia a densità sopranucleari
- ✓ Conoscere il grado di asimmetria tipico di una stessa stella di neutroni
- ✓ Avere informazioni demografiche ed evolutive dei sistemi binari oggetto di studio
- ✓ ecc...

A COSA SERVONO LE OG



AMBITO TECNOLOGICO E PRATICO

- ✓ La **TEORIA DELLA RELATIVITA'** ha fornito un contributo essenziale alla messa a punto e al grado di precisione ottenibile dalle reti satellitari **GPS**
- ✓ Tecniche di estrazione del segnale gravitazionale analoghe a quelle impiegate nel campo della video-sorveglianza
- ✓ Tecnologia superiore basata sulle unità di elaborazione grafica utilizzata per l'analisi dati di **OG**, l'elaborazione di immagini scientifiche, l'esplorazione petrolifera e perfino in ambito finanziario



GRAZIE!

A 100 anni dalle previsioni di Einstein ha inizio l'astronomia gravitazionale