

Gli strumenti per rivelare le onde gravitazionali

Una rete globale di interferometri



Per poter localizzare nello spazio la sorgente dell'onda gravitazionale è necessario avere più interferometri in rete.

Oltre ai due LIGO negli Stati Uniti e Virgo in Italia, la rete di interferometri è costituita anche dal rivelatore KAGRA, in Giappone, e dal rivelatore GEO600, in Germania, meno sensibile ma che ha anche portato importanti contributi per lo sviluppo di nuove tecnologie. In India è in fase di costruzione il rivelatore IndIGO, gemello di LIGO.

Almeno tre rivelatori sono necessari per poter triangolare la posizione della sorgente. Una precisa localizzazione, consente di allertare gli altri strumenti, telescopi sia a terra sia nello spazio, e dare indicazioni su dove orientarsi per osservare altre eventuali emissioni di tipo elettromagnetico. Si realizza così un nuovo tipo di astronomia, la cosiddetta *astronomia multimessaggera*.

Gli interferometri

Rivelare le onde gravitazionali è un'impresa complessa perché l'interazione gravitazionale, tra le quattro forze conosciute in natura, è di gran lunga la più debole. Per studiare le onde gravitazionali, i fisici hanno progettato speciali rivelatori, la cui realizzazione ha richiesto soluzioni tecnologiche d'avanguardia.

Sono gli interferometri laser: costituiti da due bracci perpendicolari lunghi chilometri (4 km in LIGO e 3 km in Virgo), al cui interno sono fatti propagare fasci laser, riflessi da specchi per allungarne il percorso, e quindi ricombinati a formare una figura di interferenza.

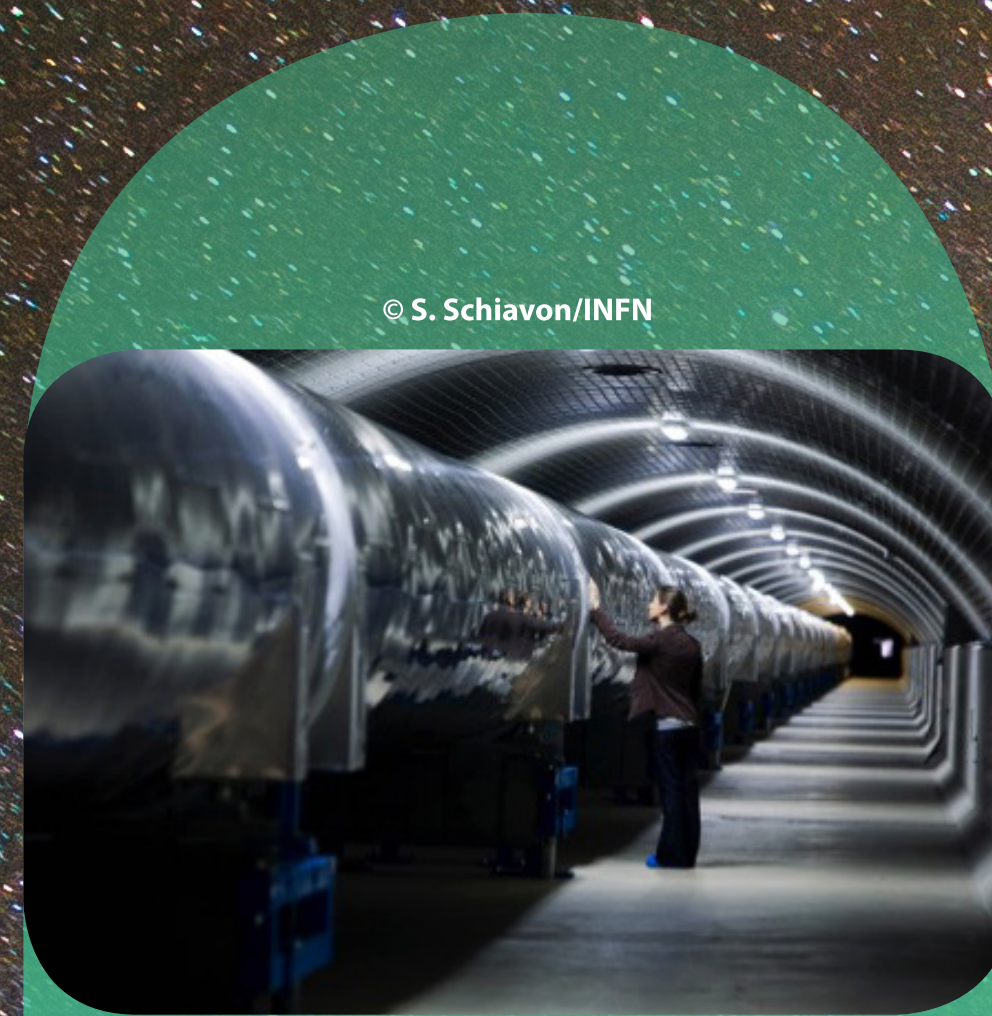
Quando un'onda gravitazionale attraversa l'interferometro produce una variazione nella lunghezza dei bracci: uno si allunga mentre l'altro si accorcia. Queste variazioni di lunghezza, che sono molto più piccole del diametro del nucleo di un atomo (inferiore a un milionesimo di milionesimo di metro), producono uno sfasamento della luce laser che viene osservato dal rivelatore.

Uno dei due esperimenti ad aver rivelato onde gravitazionali è Virgo, un interferometro laser di tipo Michelson costruito per cercare le onde gravitazionali, che si trova a Cascina nella piana di Pisa presso l'Osservatorio Gravitazionale EGO, fondato nel 2000 dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e dal Centre National de la Recherche Scientifique francese (CNRS).



© M. Perciballi/Virgo-INFN

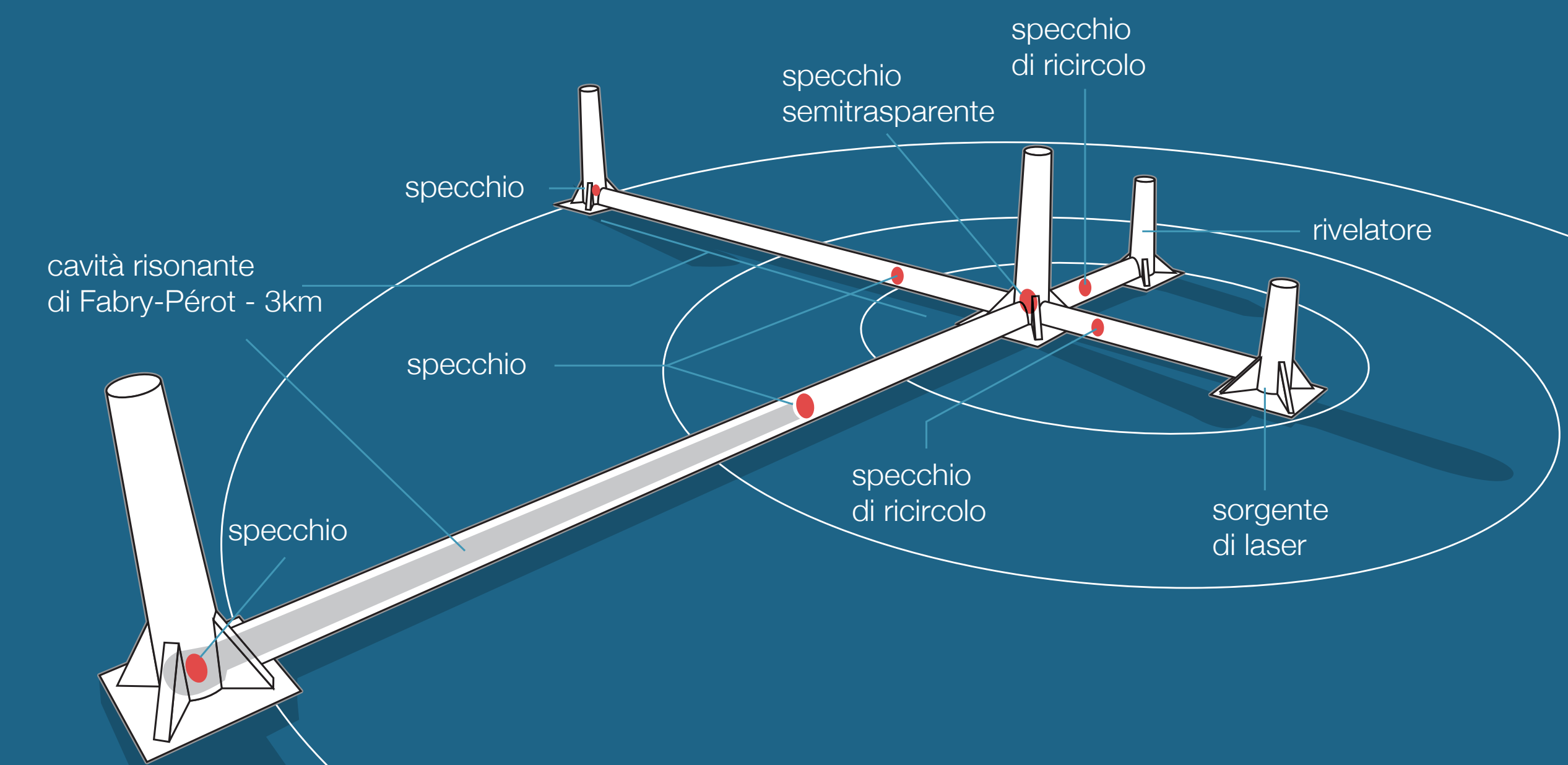
Uno degli specchi ad alta tecnologia dell'interferometro per onde gravitazionali Virgo.



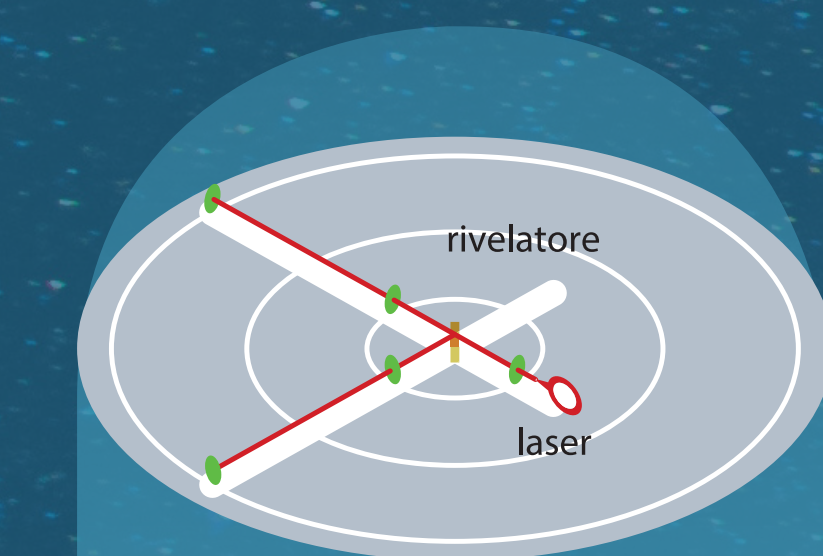
© S. Schiavon/INFN

L'interno di uno dei due bracci di Virgo. Ogni braccio è lungo 3 km. All'interno del tubo circola la luce del laser e viene creato un vuoto molto spinto, di poco superiore a quello interstellare, allo scopo di ridurre gli effetti di dispersione sulla luce che le molecole di aria potrebbero causare distruggendo la misura.

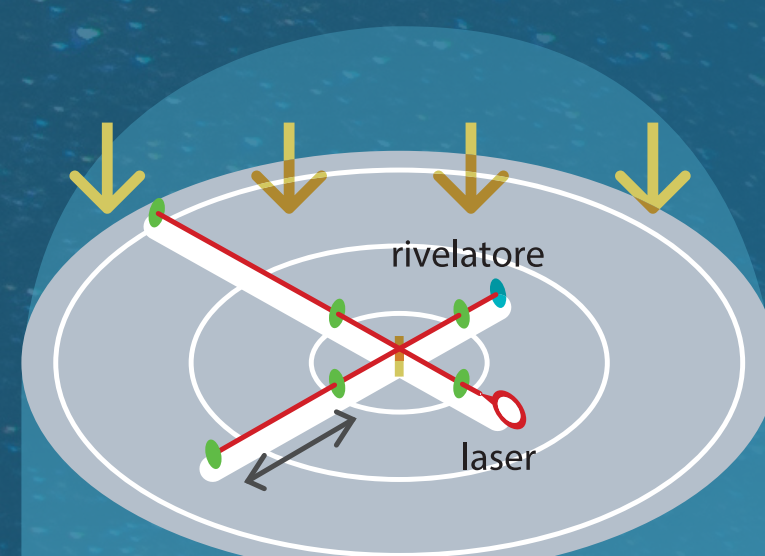
Schema dei componenti dell'interferometro VIRGO.



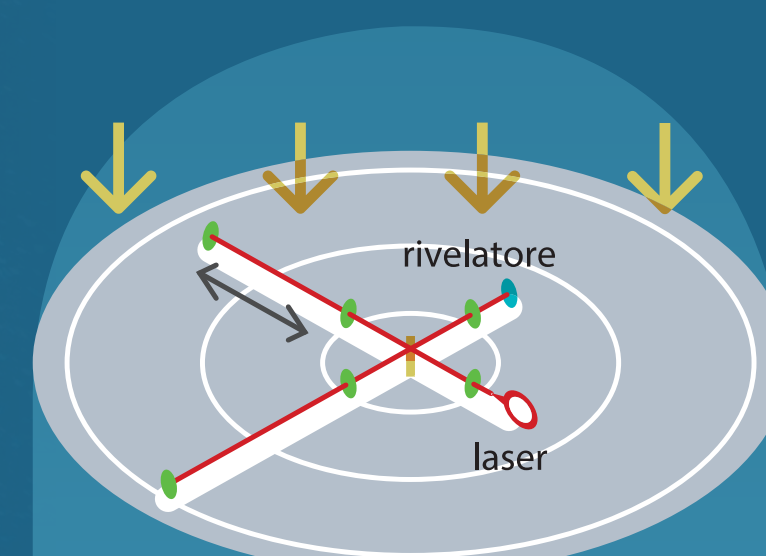
Come funziona un interferometro



I due fasci di luce laser, provenienti dai bracci, vengono ricombinati (in opposizione di fase) in maniera che non si formi un segnale di luce nel rivelatore.



L'onda gravitazionale attraversa l'interferometro producendo un'infinitesima variazione dei bracci.



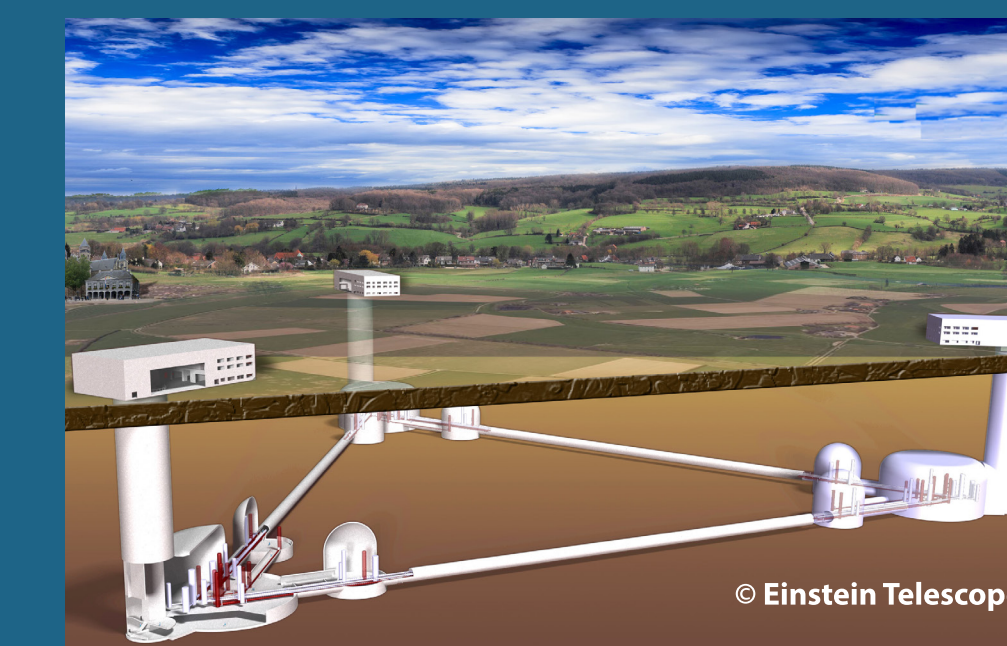
La variazione induce uno sfasamento dei due fasci di luce che viene osservato dal rivelatore. Il segnale che il rivelatore misura è correlato all'ampiezza dell'onda gravitazionale.

Intorno al 2030 saranno operativi dei rivelatori di onde gravitazionali più sensibili di quelli attuali.

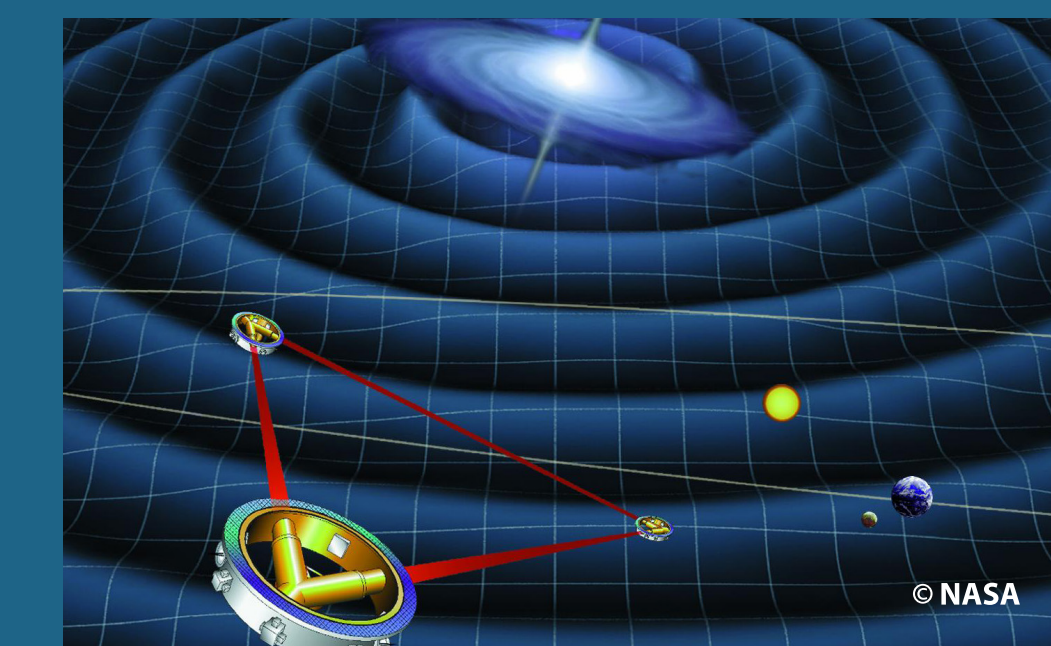
Saremo pertanto in grado sia di ascoltare un Universo molto più lontano che di ampliare la categoria di possibili sorgenti di onde gravitazionali osservabili. L'Einstein Telescope (ET), un progetto europeo, e Cosmic Explorer, un progetto americano, saranno operativi a terra e sono la naturale evoluzione di LIGO e Virgo.

LISA, il primo interferometro per la misura di onde gravitazionali nello spazio, con bracci formati da satelliti distanti fra loro 2,5 milioni di km e in orbita eliocentrica, potrà fare misure diverse e complementari rispetto ai rivelatori terrestri. La rete sarà pertanto, nel suo complesso, in grado di coprire efficacemente tutto il possibile spettro di onde gravitazionali.

Il futuro: ET e LISA



Una possibile rappresentazione artistica dell'interferometro di terza generazione Einstein Telescope. I tre tunnel percorsi dalla luce laser sono nel sottosuolo, per ridurre l'effetto del rumore sismico. Gli specchi sono raffreddati a temperature di pochi kelvin, per abbattere il rumore termico.



Rappresentazione artistica del rivelatore spaziale LISA. Tre interferometri laser misurano continuamente le distanze fra tre coppie di masse di prova che galleggiano liberamente all'interno di tre satelliti. Il sistema orbita intorno al Sole alla stessa distanza a cui si trova la Terra.