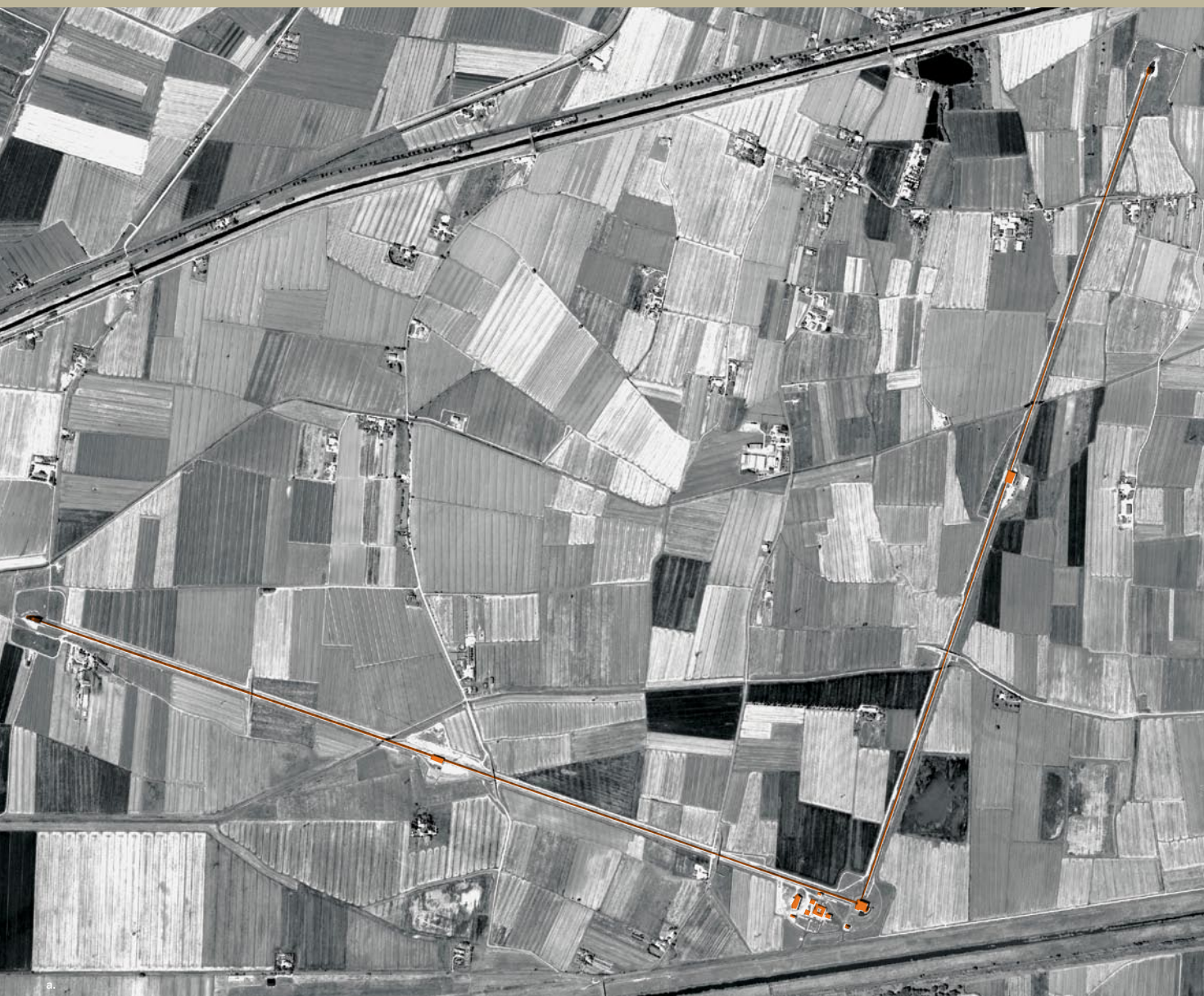
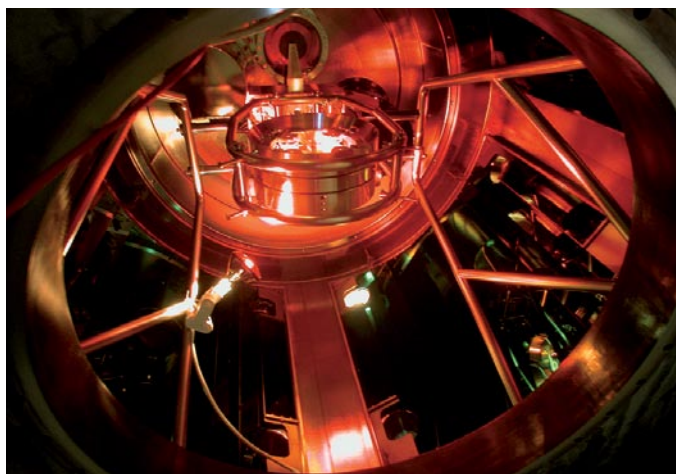


# A braccia aperte

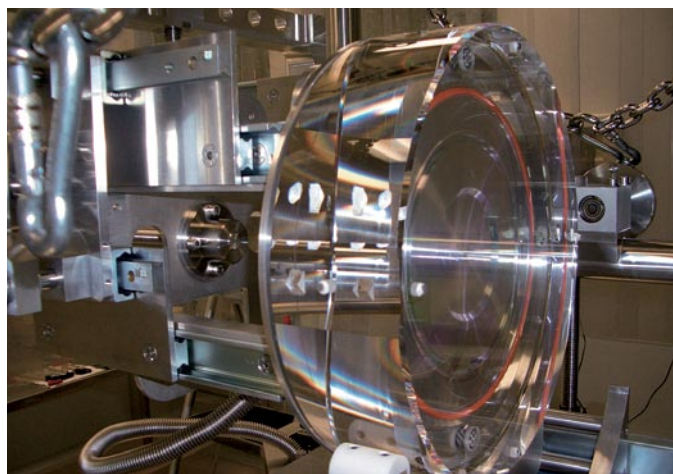
Grandi interferometri laser collaborano nella ricerca delle onde gravitazionali.

di Carlo Bradaschia





b.



c.

L'avventura di Virgo ebbe inizio negli anni '80, durante un congresso di relatività generale. In quella circostanza, infatti, Adalberto Giazotto, fisico dell'Infn con un interesse per le onde gravitazionali, che allora progettava prototipi di sospensioni per isolare dai movimenti sismici i dispositivi di test dei futuri rivelatori, ebbe l'occasione di incontrare Alain Brillet, un fisico francese anch'egli interessato alla rivelazione delle onde gravitazionali, ma con un bagaglio di esperienza completamente diverso: l'ottica e i laser. Da questo incontro di esperienze complementari, nacque l'idea di costituire una collaborazione italo-francese per realizzare il Progetto Virgo, un interferometro laser (vd. pp. 16-17, ndr) per rivelare l'eventuale passaggio di un'onda gravitazionale. Seguì circa un decennio di lavoro intensissimo, volto al completamento dei prototipi, alla stesura di un progetto e a ottenere l'approvazione e il finanziamento dell'Infn e del Cnrs, il centro nazionale per la ricerca scientifica francese. Oggi Virgo è diventato uno strumento molto potente. Esso ci permette di controllare con straordinaria precisione la differenza di lunghezza dei suoi due bracci ortogonali lunghi ben 3 km: ciò è fondamentale perché dalla variazione della lunghezza dei bracci possiamo ricavare l'ampiezza dell'onda che li ha investiti. Al loro passaggio, le onde gravitazionali, infatti, deformano alternativamente lo spazio in due direzioni perpendicolari, producendo così l'allungamento di un braccio e l'accorciamento

dell'altro. Ciò altera lo "sfasamento" tra i due fasci laser che dà luogo a un segnale luminoso sul fotodiodo rivelatore la cui intensità dipende dalla variazione di lunghezza dei bracci. Dal momento che queste deformazioni sono estremamente piccole, è necessario aumentare la sensibilità dello strumento di misura mettendo in pratica ogni possibile accorgimento. Il più naturale per un interferometro consiste nel dotarlo di bracci molto lunghi: quanto più grande è la lunghezza, infatti, tanto più grande è la sua variazione. Sulla Terra, però, si riescono a realizzare bracci rettilinei al massimo di qualche chilometro, considerando i costi, l'ambiente e la curvatura terrestre. Così, per allungarli virtualmente, alle loro estremità sono stati collocati degli specchi di precisione: l'effetto delle variazioni, quindi, viene moltiplicato facendo sì che i fotoni dei raggi laser percorrano avanti e indietro molte volte i bracci, prima di raggiungere il fotodiodo. In Virgo ci attendiamo così di poter misurare delle differenze di lunghezza di  $10^{-19}$  metri, un miliardo di volte più piccole del diametro di un atomo! Nel campo dell'ottica, Virgo utilizza una nuova generazione di laser ultrastabili, mentre per produrre specchi di qualità estrema è stato costruito, a Lione, un laboratorio *ad hoc* per la deposizione sotto vuoto dei vari strati riflettenti che compongono ciascuno specchio. È stata ottenuta una riflettività di oltre il 99,999%, e la superficie degli specchi è così levigata che le dimensioni di eventuali irregolarità sono

a.  
Virgo visto da Pamela: immagine satellitare dell'interferometro Virgo, vicino a Cascina (Pisa). Oltre all'apparato sperimentale Pamela per lo studio dei raggi cosmici (vd. Asimmetrie 4), il satellite russo Resurs ospita una potente strumentazione fotografica, grazie alla quale è stato realizzato questo scatto.

b.  
Lo specchio separatore sospeso nella sua campana da vuoto, visto dal basso.

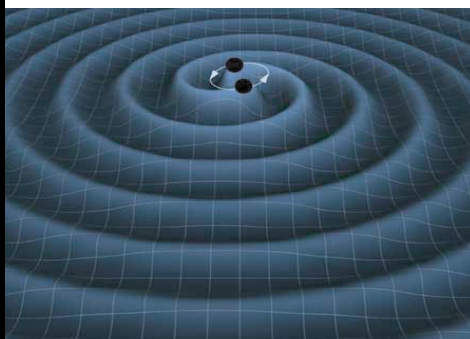
c.  
Uno degli specchi di Virgo in fase di preparazione.

[as]

# Un'antenna larga mezzo mondo per catturare il "fantasma" previsto da Einstein

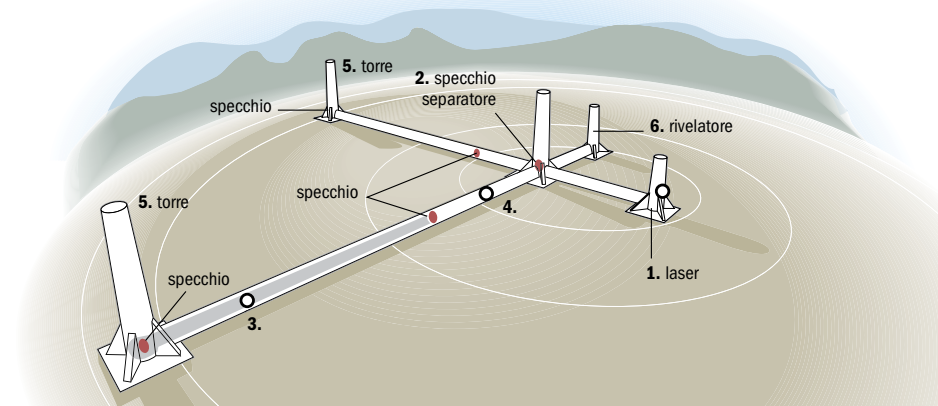
## Le onde gravitazionali

Stelle doppie, stelle ruotanti, supernovae e, in generale, ogni collasso gravitazionale producono rapidi cambiamenti nello spaziotempo che si propagano alla velocità della luce: le onde gravitazionali. Queste onde, al contrario di quelle elettromagnetiche, possono viaggiare e trasportare energia su grandi distanze senza essere assorbite dalle stelle. Ma la forza gravitazionale è la più debole dell'Universo, quindi è difficilissimo "vederle".



## L'interferometro Virgo

Per cercare di rivelare questo tipo di onde, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare italiano (Infn) e il Centre National de la Recherche Scientifique francese (Cnrs) hanno creato presso Cascina (Pi) l'Osservatorio Gravitazionale Europeo (Ego). Qui è stato costruito l'interferometro Virgo.



## Com'è fatto Virgo

Virgo è un interferometro laser di tipo Michelson con due bracci di 3 km disposti ad angolo retto.

## Sorgente del fascio laser [1.]

## Specchio separatore [2.]

È uno specchio semitrasparente che divide il fascio laser incidente in due componenti uguali mandate nei due bracci dell'interferometro.

## Cavità risonante Fabry-Pérot [3.]

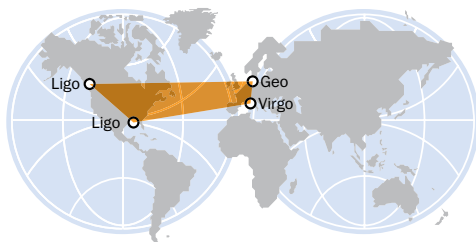
Formata da due specchi, estende la lunghezza ottica in ogni braccio da 3 a circa 100 km per via delle riflessioni multiple della luce. Serve ad amplificare l'effetto del passaggio dell'onda gravitazionale.

## Tubi a ultra alto vuoto [4.]

Siccome la presenza di gas residuo perturberebbe la misura, il percorso del fascio di luce tra gli specchi deve trovarsi alla pressione estremamente bassa di  $10^{-12}$  atmosfere: cioè in ultra alto vuoto.

## Collaborazione

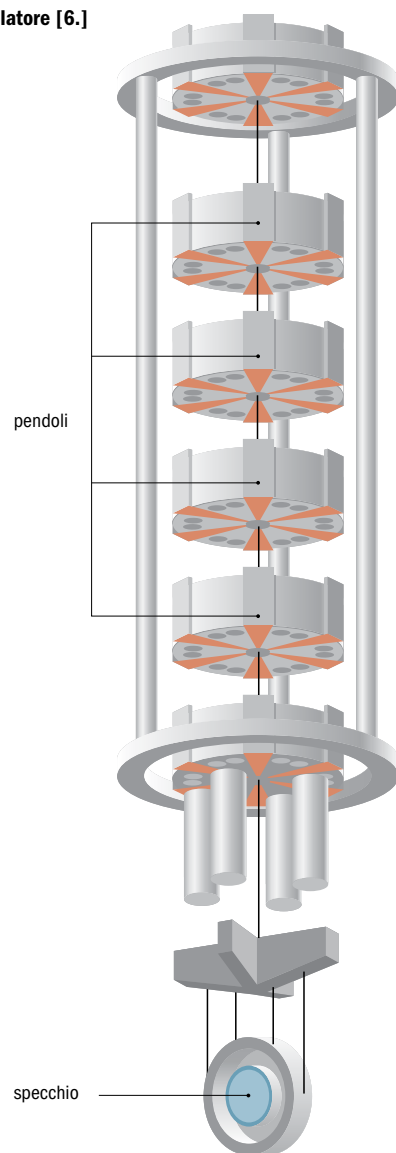
La collaborazione fra Virgo e Ligo (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) dà vita ad un unico grande osservatorio che attraversa l'Atlantico, dall'Europa al Golfo del Messico e arriva fino alle coste del Pacifico. Ne fanno parte Virgo, i due osservatori di Ligo, uno in Louisiana, l'altro nello stato di Washington e Geo600, l'interferometro anglo-tedesco vicino ad Hannover. Sarà così più facile capire se un segnale captato da un'antenna gravitazionale è davvero dovuto ad un'onda di passaggio.



## Le torri [5.]

Proteggono al loro interno gli specchi. Ogni specchio è sospeso a un sistema di isolamento sismico realizzato con una catena di pendoli.

## Il rivelatore [6.]

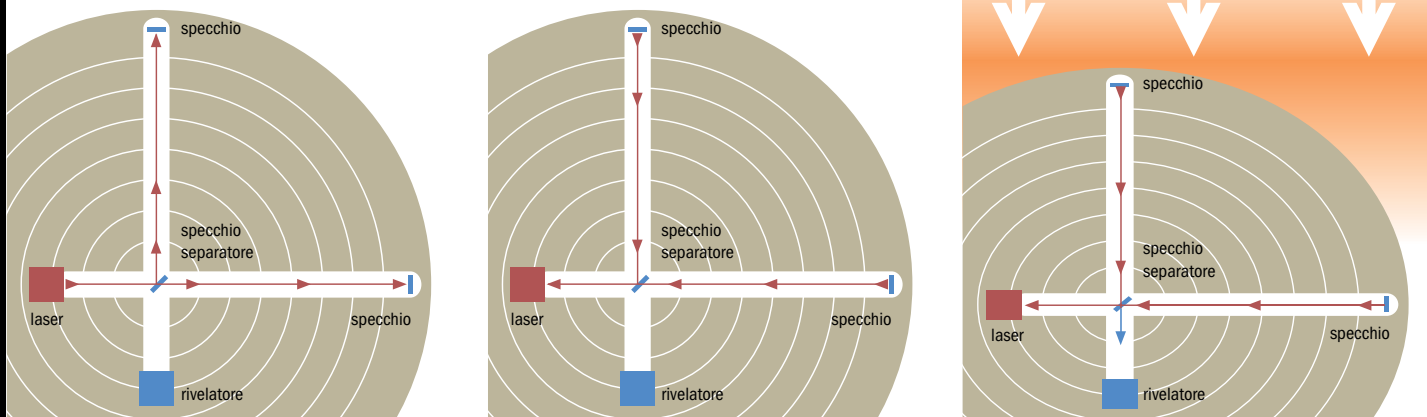


### Come funziona l'interferometro

I due fasci di luce laser, provenienti dai due bracci, vengono ricombinati (in opposizione di fase) in maniera che, normalmente, non arrivi luce sul rivelatore.

Quando un'onda gravitazionale arriva produce un'infinitesima variazione (più piccola del nucleo di un atomo) della lunghezza dei due bracci (uno si allunga e l'altro si accorcia).

La variazione, causata dalla distanza tra gli specchi, induce uno sfasamento tra i fasci di luce e quindi dell'intensità di luce osservata dal rivelatore. Il segnale che il rivelatore osserva è correlato all'ampiezza dell'onda gravitazionale.



dell'ordine del nanometro, cioè del milionesimo di metro. La vera sfida da vincere, però, è isolare lo strumento da tutti i possibili fenomeni che possano coprire gli effetti delle onde gravitazionali.

Le vibrazioni sismiche, sempre presenti sulla crosta terrestre, sono miliardi di volte più grandi degli spostamenti dovuti alle onde gravitazionali. Per isolare gli specchi dal sisma, sono stati messi a punto i "superattenuatori", giganteschi ammortizzatori che sostengono gli specchi mediante complesse catene di pendoli, all'interno di campane da vuoto alte 11 m. Le eccezionali prestazioni dei superattenuatori permettono di estendere la sensibilità di Virgo a basse frequenze, fino a 10 Hz, mentre gli altri interferometri a terra non possono scendere al di sotto di 50 Hz. Ciò dà a Virgo l'esclusività per esplorare un intervallo di frequenze potenzialmente molto interessante, dove si potrebbero "vedere" onde gravitazionali prodotte da pulsar e da stelle binarie coalescenti. Un'altra fonte importante di disturbi sarebbe costituita dalle fluttuazioni dell'indice di rifrazione dell'aria, lungo il cammino dei fasci

di luce. A questo effetto si rimedia in modo concettualmente semplice: facendo propagare i raggi laser nel vuoto. Nella pratica la necessità di un vuoto estremamente spinto ( $10^{-12}$  atmosfere), all'interno di due tubi di 1,2 m di diametro e 3 km di lunghezza, ha richiesto la realizzazione di quello che è, di gran lunga, il più grande sistema da ultra-alto-vuoto d'Europa.

Queste e altre esigenze hanno spinto i ricercatori e i tecnici coinvolti nel progetto a sviluppare le più avanzate tecnologie in numerosi campi. Queste tecnologie sono ora a disposizione di altri campi di ricerca e dell'industria.

Grazie a un accordo raggiunto recentemente con i gruppi di lavoro di altri interferometri, i due Ligo negli Stati Uniti e Geo600 in Germania, non ci si limiterà a cercare coincidenze temporali fra i vari rivelatori ma, scambiandosi i dati originali, si effettueranno analisi multiple e coerenti di tutti i dati, migliorando così la statistica e l'affidabilità dei risultati. Virgo, che ha raggiunto una sensibilità paragonabile a quella dei due interferometri Ligo, dallo scorso 18 maggio ha iniziato a prendere dati a pieno tempo e continuerà fino a settembre.

[as]

## La collaborazione Virgo ed Ego

La collaborazione Virgo è costituita da 150 ricercatori, provenienti dall'Infn e da alcuni laboratori del Cnrs francese (Centre National de la Recherche Scientifique), a cui recentemente si è aggiunto un gruppo del Nikhef di Amsterdam.

Ego, l'Osservatorio Gravitazionale Europeo, è il laboratorio creato nel 2001 sotto forma di consorzio fra Cnrs e Infn, al fine di prendersi cura di tutte le infrastrutture necessarie al buon funzionamento di Virgo. Attualmente Ego ha raggiunto la sua dimensione di regime, con poco più di 50 dipendenti, fra cui la squadra di operatori che consente il funzionamento dell'interferometro, in particolare durante la raccolta dei dati. Numerosi dipendenti di Ego contribuiscono anche alla messa a punto e al miglioramento del rivelatore.



L'interesse di raccogliere dati in coincidenza con gli altri interferometri è duplice: riconoscere e scartare la maggior parte dei segnali spuri, che hanno origine locale e non possono quindi dare coincidenze temporali fra rivelatori in continenti diversi, contrariamente ai segnali di onde gravitazionali che investono tutta la Terra; inoltre, mediante la differenza di tempo d'arrivo dell'onda ai vari rivelatori, si può individuare la sorgente, così come noi utilizziamo le due orecchie ai lati della nostra testa per individuare la sorgente di un suono.

La previsione del numero di eventi rivelabili è molto difficile e incerta. Se ci limitiamo ai fenomeni prevedibili con maggiore attendibilità, le coalescenze di stelle binarie, stimiamo che i

rivelatori attuali abbiano una probabilità del 1% di vedere un evento in un anno di presa dati continua. Per questo motivo, l'accordo fra Virgo, Ligo e Geo600 prevede un programma coordinato di miglioramento di tutti i rivelatori in due passi: Virgo+, in cui, mediante tecnologie già in uso, le sensibilità saranno migliorate a tal punto che il numero di eventi rivelabili diverrà dell'ordine di uno all'anno, a partire dal 2010; e in seguito Virgo Advanced, in cui, grazie a tecnologie in fase di sperimentazione, si prevede un miglioramento complessivo della sensibilità di circa 10 volte e il numero di eventi attesi sarà di qualche decina all'anno, a partire dal 2014. Sarà questo l'inizio dell'astronomia gravitazionale.

### Biografia

**Carlo Bradaschia** è dirigente di ricerca all'Infn di Pisa. Fino al 1988 si è occupato di fisica sperimentale delle particelle elementari, successivamente si è dedicato a pieno tempo alla realizzazione di Virgo, contribuendovi dalle fasi iniziali del progetto alla raccolta dei dati, attualmente in corso.

### Link sul web

[www.ego-gw.it/virgodescription/](http://www.ego-gw.it/virgodescription/)

[www.einstein-online.info/en/](http://www.einstein-online.info/en/)

[www.ligo.caltech.edu](http://www.ligo.caltech.edu)

*Per un video sul Progetto Virgo*

<http://tv.unipi.it/ricerca/>