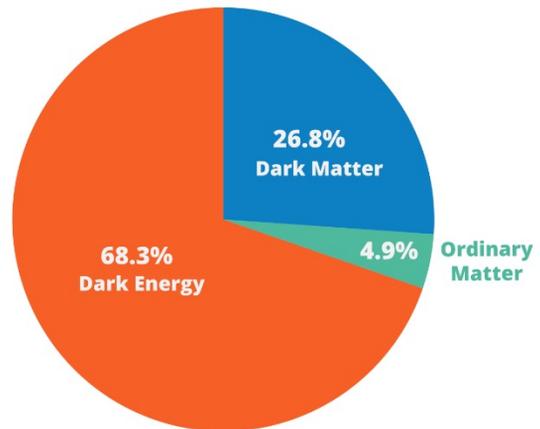


# LA MATERIA OSCURA ULTRALEGGERA CONTINUA A SFUGGIRCI

La materia oscura costituisce l'85% della materia totale dell'Universo, ma è completamente invisibile. E tuttavia possiamo misurare i suoi effetti su diversi oggetti celesti: vaga intorno ad ogni galassia e impedisce alle stelle di uscire dalle loro orbite, cambia la direzione dei raggi di luce che provengono da galassie lontane, guida la formazione delle strutture su grande scala nell'Universo, e lascia addirittura la sua impronta sulla [radiazione cosmica di fondo](#), l'immagine più remota e antica dell'Universo, catturata quando aveva solo poche centinaia di migliaia di anni.

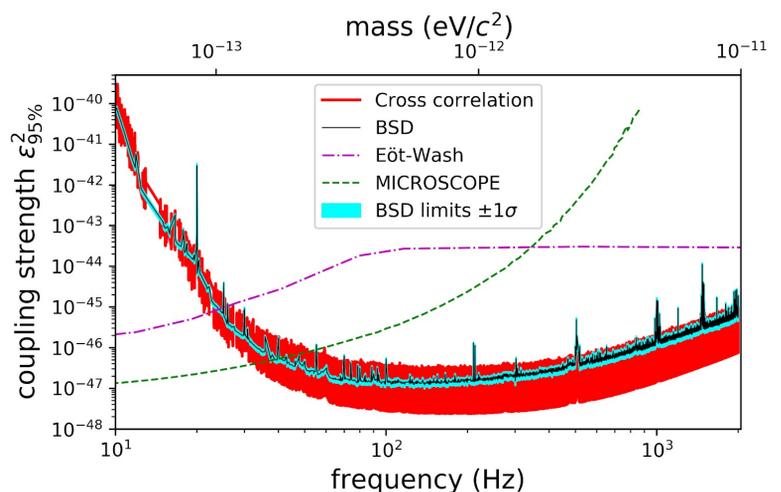
[LIGO](#), [Virgo](#), e [KAGRA](#) sono stati progettati per cercare onde gravitazionali che provengono dalla fusione di buchi neri e di stelle di neutroni, da [pulsar](#) rotanti e prive di simmetria assiale, da stelle che esplodono, e da combinazioni di tutte queste sorgenti. Tuttavia, questi rivelatori sono così sensibili che potrebbero essere in grado di osservare la materia oscura che interagisce direttamente con essi. Qui cerchiamo un tipo speciale di materia oscura, i fotoni oscuri, che potrebbero avere una massa di venti ordini di grandezza inferiore a quella degli elettroni. Sulla Terra queste particelle si muoverebbero a 300 km/s, e ce ne sarebbero così tante (dell'ordine di  $10^{50}$ ), che interagirebbero con i protoni e i neutroni, o solo i neutroni, negli specchi dei rivelatori, e causerebbero su di essi una forza dipendente dal tempo, oscillatoria. Gli specchi si trovano in posizioni diverse relativamente ai fotoni oscuri che incidenti, e sono tra loro distanti tre o quattro chilometri; così ogni specchio dovrebbe muoversi in modo leggermente diverso e produrre un segnale.



**Figura 1:** Il contenuto stimato attualmente di materia ed energia nell'Universo. Il contributo dominante viene dalla cosiddetta "energia oscura" (dark energy, in inglese), che fa accelerare l'espansione dell'Universo. Il contributo restante, che vale circa un terzo del totale, viene dalla [materia oscura](#) (dark matter, in inglese) e dalla materia ordinaria (ordinary matter, in inglese; sono gli atomi), con la materia oscura che vale circa l'85% del contenuto totale in massa (Crediti dell'immagine: ATLAS Experiment, CERN)

## FIGURE TRATTE DALLA PUBBLICAZIONE

Per ulteriori informazioni su queste figure e su come sono state prodotte, leggi gratuitamente [l'articolo](#).



**Figura 2** (Figura 3 nell'[articolo](#)): [Limiti superiori](#) sulla [costante di accoppiamento](#) dei fotoni oscuri con gli specchi degli interferometri, in funzione della frequenza del segnale. (Anche se la ricerca ha usato anche i dati del rivelatore Virgo, questi limiti superiori sono calcolati soltanto per i due rivelatori LIGO.) I valori della costante di accoppiamento maggiori rispetto alle linee rosse e blu/nera sono stati esclusi da questo studio: più il limite è basso e più forte è il vincolo posto dalle nostre ricerche. Abbiamo usato due metodi (uno chiamato "correlazione incrociata", e l'altro "BSD") per cercare materia oscura costituita da fotoni oscuri, e i risultati dei due metodi concordano. Questi limiti migliorano di un fattore 10–100 quelli di altri esperimenti sulla materia oscura (MICROSCOPE e Eot-Wash) su un largo intervallo di frequenza. La costante di accoppiamento del fotone oscuro è espressa in termini di frazione della costante di accoppiamento elettromagnetica.

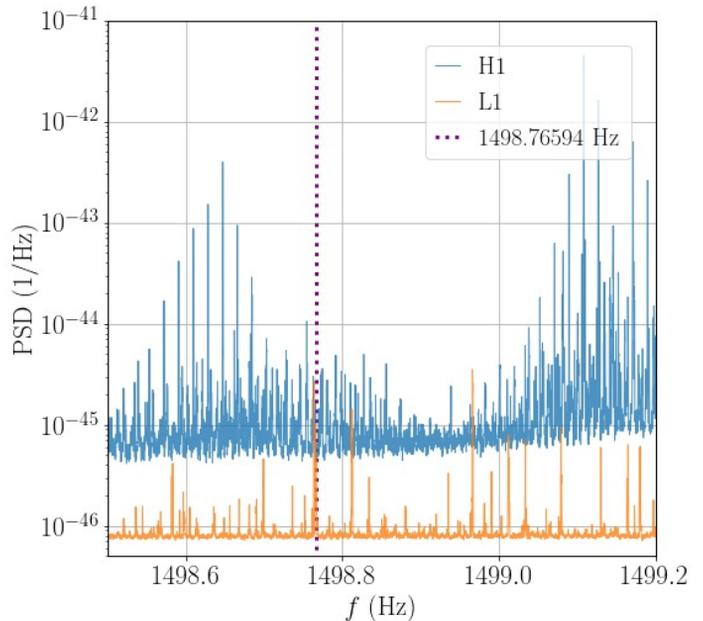
Il segnale dovrebbe avere una frequenza all'incirca costante e determinata dalla massa di ciascun fotone oscuro. Inoltre la materia oscura fluisce continuamente attraverso i rivelatori, e questo significa che i fotoni oscuri dovrebbero interagire continuamente con le particelle che costituiscono gli specchi. Perciò il segnale dovrebbe essere continuo, cioè senza interruzioni, e avere una frequenza quasi fissa. In pratica la frequenza del segnale dovrebbe variare di poco in modo casuale nel tempo, perché ogni fotone oscuro viaggia a velocità diversa quando interagisce con il rivelatore.

Il nostro lavoro usa i dati del terzo [periodo osservativo](#) di Advanced LIGO e Advanced Virgo per determinare se e con quale intensità i fotoni oscuri possano interagire con gli interferometri. Benché non si sia osservato alcun segnale, possiamo mettere un [limite superiore](#) alla [costante di accoppiamento](#), in funzione della possibile massa del fotone oscuro. In questa analisi, abbiamo trovato che la costante di accoppiamento tra fotoni oscuri e i rivelatori interferometrici di onde gravitazionali è almeno  $10^{40}$  volte minore della [costante di accoppiamento elettromagnetica](#) per tutte le masse ultraleggeri che abbiamo considerato, e questo fattore diventa addirittura  $10^{47}$  per alcune masse! I nostri vincoli sono circa 10–100 volte migliori di quelli ottenuti da alcuni esperimenti progettati specificamente per la materia oscura. Le nostre misure della costante di accoppiamento dei fotoni oscuri con LIGO e Virgo ci danno un'idea di come la materia oscura influenzi l'Universo attuale e di come potrebbe essersi formato.

### SCOPRI DI PIÙ:

Visita i nostri siti web: [www.ligo.org](http://www.ligo.org), [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu), [gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)

Leggi gratuitamente [qui](#) l'articolo completo.



*Figura 3 (Figura 2 nell'[articolo](#)): Inizialmente avevamo trovato dei possibili segnali che sembravano corrispondere a quelli cercati, ma sono stati tutti scartati perché dovuti al rumore degli strumenti. Per esempio, questa figura mostra una misura della qualità dei dati (lo [spettro di potenza](#)) ottenuto con i due rivelatori LIGO: sono evidenti delle strutture nel rivelatore di Hanford ("H1"), e uno stretto picco nel rivelatore di Livingston ("L1"), che derivano entrambi da noti problemi strumentali. Ciò ha originato un apparente segnale alla frequenza indicata dalla linea verticale, che però poi è stato scartato come segnale di materia oscura.*

### Visita i nostri siti web:

[www.ligo.org](http://www.ligo.org)

[www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)

[gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)



### GLOSSARIO

**LIGO:** Il Laser Interferometric Gravitational-Wave Observatory (LIGO) è una coppia di rivelatori di onde gravitazionali che si trova negli Stati Uniti. Uno si trova vicino a Livingston, Louisiana, e l'altro vicino a Hanford, Washington. Entrambi i rivelatori sono grandi interferometri laser, con due bracci perpendicolari lunghi 4 km, che tentano di misurare qualunque cambiamento nella lunghezza relativa dei bracci dovuto al passaggio di un'onda gravitazionale.

**Virgo:** Un rivelatore di onde gravitazionali che si trova vicino a Pisa, in Italia. Anch'esso è un interferometro laser, ma con bracci di 3 km.

**KAGRA:** Un rivelatore di onde gravitazionali sotterraneo situato vicino a Toyama, in Giappone. Anch'esso è un interferometro laser, ma con bracci di 3 km e con specchi raffreddati a temperature criogeniche.

**Sensibilità:** Una descrizione della capacità che un rivelatore ha di rivelare un segnale. Rivelatori con un basso livello di rumore riescono a rivelare segnali più deboli e si dice quindi che hanno un'alta sensibilità.

**Periodo osservativo:** Un periodo in cui i rivelatori di onde gravitazionali prendono dati.

**Limite superiore:** una stima del massimo valore che una certa quantità può avere mantenendo compatibilità con i dati. Qui usiamo questo concetto per mettere dei vincoli alla costante di accoppiamento del fotone oscuro alle diverse frequenze. Usiamo un livello di credibilità del 95%, vale a dire che con i dati che abbiamo c'è una probabilità del 95% che la costante di accoppiamento sia al di sotto di questo limite.

**Costante di accoppiamento:** intensità dell'interazione tra particelle.

**Costante di accoppiamento elettromagnetica:** la costante di accoppiamento tra particelle cariche.

**Pulsar:** stelle morte, ruotanti, composte principalmente da neutroni; sono dei fantastici orologi perché ruotano rapidamente e irradiano luce verso di noi ad intervalli regolari, come un faro.