

EGO E IL FUTURO DELLA RICERCA SULLE ONDE GRAVITAZIONALI IN EUROPA



Intervista con Massimo Carpinelli, professore all'Università di Milano Bicocca e ricercatore INFN, dal 1° gennaio 2023 direttore di EGO.

Fondato nel 2000 dall'INFN e dal CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, il Consorzio EGO, lo European Gravitational Observatory, è oggi tra i protagonisti della scena internazionale della ricerca sulle onde gravitazionali grazie ai successi dell'interferometro Virgo. EGO, infatti, è il sito, alle porte di Pisa, di uno dei tre interferometri al mondo che ad oggi hanno osservato le minuscole vibrazioni dello spaziotempo previste da Albert Einstein nella Relatività Generale e le cui scoperte, premiata con il Nobel nel 2017, ha

portato alla nascita dell'astronomia gravitazionale e dell'astronomia multimessaggera, due modi completamente nuovi di studiare l'universo. La missione di EGO è assicurare l'operatività, il mantenimento e il potenziamento dell'interferometro di Virgo, e promuovere la ricerca nel campo delle onde gravitazionali in Europa. Il consorzio EGO ha costruito negli anni forti legami con il territorio, grazie anche all'impegno nella diffusione della cultura scientifica, in particolare accogliendo le migliaia di studenti e studentesse che ogni anno visitano Virgo. Presto Virgo riprenderà a operare, dopo importanti lavori di potenziamento. Ma, guardando ancora oltre, la comunità internazionale delle onde gravitazionali ha lanciato una nuova importante sfida: la realizzazione in Europa di un rivelatore di onde gravitazionali di terza generazione, ET Einstein Telescope. Dopo oltre vent'anni di storia, EGO si troverà quindi ad affrontare nei prossimi anni sfide decisive per il futuro della fisica gravitazionale europea e mondiale, sfide su cui si concentrerà il mandato del direttore del centro, Massimo Carpinelli, professore all'Università di Milano Bicocca e ricercatore INFN, entrato in carica il 1° gennaio 2023, succedendo a Stavros Katsanevas, prematuramente scomparso nel novembre dello scorso anno.

Lei ha appena assunto la carica di direttore di EGO, succedendo a Stavros Katsanevas, che lo guidava dal 2018 e che ci ha prematuramente lasciati poco prima della fine del suo mandato.

Mirabile era l'entusiasmo con cui Stavros Katsanevas ha affrontato la sua attività di ricerca e la sua intera vita, che lui sapeva essere, negli ultimi anni, minata dal male che purtroppo lo ha portato via troppo presto. In particolare, di Stavros due aspetti mi hanno sempre colpito. Il primo è la capacità che lo contraddistingueva di saper guardare molto lontano e di lavorare sempre con uno sguardo rivolto al futuro, non soffermandosi mai sull'oggi. Il secondo riguarda invece il prezioso contributo che ha fornito alla fisica delle onde gravitazionali. Stavros aveva compreso quanto questo settore fosse importante non solo per le conoscenze scientifiche, ma anche per l'impatto che può avere sulla società. E aveva capito il forte interesse da parte del pubblico nel conoscere questo tipo di ricerche, che sono un incredibile attrattore per una serie di altri interventi culturali, artistici e filosofici.

Che cos'è EGO oggi? Su quali tematiche e attività si concentrerà l'inizio del suo mandato?

La funzione e gli scopi di EGO non sono essenzialmente cambiati rispetto al passato, e si concentrano sul dare supporto, come infrastruttura di ricerca, all'interferometro gravitazionale Virgo. La nostra missione, che perseguirò nel mio ruolo di direttore, continua perciò a essere quella di garantire che l'attività del rivelatore si svolga al massimo della sensibilità. Tra le responsabilità di EGO c'è poi mantenere le relazioni con le istituzioni scientifiche che fanno parte del consorzio o che vorrebbero entrare a farne parte. Una delle novità più importanti rispetto al passato riguarda l'ingresso dell'Istituto nazionale olandese per la fisica subatomica, Nikhef, in veste di socio del Consorzio. Fino a tempi recenti EGO è stata essenzialmente un'impresa italo-francese. Le due nazioni, attraverso l'INFN e il CNRS, hanno contribuito alla maggior parte dei finanziamenti necessari e, grazie ad Adalberto Giazotto e Alain Brillet, alle idee che hanno portato allo sviluppo delle tecnologie di Virgo e alla fondazione del Consorzio. Solo da qualche anno le modifiche apportate allo statuto di EGO hanno reso possibile l'ingresso come soci di altre istituzioni scientifiche, consentendo l'adesione di Nikhef e un'apertura nei confronti di tutti gli enti che vorranno in futuro farne parte.

Ma, ritornando all'importante contributo di chi mi ha preceduto e alla costruzione di una attiva presenza di EGO anche al di fuori del campo della fisica della onde gravitazionali, una delle eredità di Stavros Katsanevas, che sarà certamente portata avanti nel prossimo futuro, riguarda la collaborazione con le comunità di ricerca interessate a utilizzare i dati relativi al rumore ambientale o antropico che noi dobbiamo conoscere per rendere possibile l'osservazione delle onde gravitazionali.

La collaborazione scientifica Virgo si sta preparando al nuovo ciclo di presa data, dopo importanti lavori di potenziamento dell'interferometro.

Il nuovo ciclo di presa dati di Virgo, chiamato O4, dovrebbe prendere il via prima della prossima estate. Attualmente, siamo in quella che viene definita fase di commissioning, cioè di collaudo dei miglioramenti tecnici e tecnologici già effettuati sull'interferometro. Lavoro che va in parallelo con quello dei due rivelatori statunitensi LIGO, anch'essi sottoposti negli ultimi due anni a interventi di upgrade. Questo perché l'alternanza tra periodi di presa dati e periodi dedicati al miglioramento degli strumenti è ormai concordata dalla collaborazione mondiale di cui fanno parte Virgo, LIGO e l'interferometro giapponese KAGRA. Molti sono stati gli upgrade implementati su Virgo, tra cui l'installazione di una sorgente laser più potente, un elemento necessario per ridurre un particolare tipo di rumore denominato shot noise. Altri miglioramenti sono stati ottenuti tramite l'inserimento di un risonatore ottico aggiuntivo, che ha la funzione di permettere il riciclo del segnale ottico aumentando la larghezza di banda a cui sarà sensibile il rivelatore. E la costruzione di ottiche aggiornate, in grado di ridurre l'effetto della cosiddetta luce parassita, ovvero la dispersione della luce all'interno dell'interferometro. È stata inoltre implementata una rete di sensori che hanno l'obiettivo di ridurre il cosiddetto rumore newtoniano alle basse frequenze. L'intervento tecnologicamente più rilevante ha infine riguardato lo squeezing, una configurazione ottica quantistica che permette di ridurre al minimo l'accoppiamento del rumore dovuto alla pressione di radiazione e quello dovuto al sopramenzionato short noise. Tutti questi interventi si tradurranno in una maggiore sensibilità di Virgo, che sarà in grado di sondare lo spazio alla ricerca di eventi di coalescenza di sistemi binari composti da buchi neri, stelle di neutroni, o da coppie miste di questi oggetti, a distanze maggiori rispetto al passato. Ciò comporterà ovviamente anche un aumento del volume di spazio osservabile e del numero di segnali che saranno rivelati.

Dalla scoperta delle onde gravitazionali nel 2015 ad oggi è stato un susseguirsi di nuove misure e osservazioni. La ricerca sulle onde gravitazionali si dimostra determinante per il progresso delle nostre conoscenze. Perché queste ricerche fanno la differenza?

Con l'aumento della risoluzione, prevediamo che il tasso di eventi registrati da Virgo crescerà dal massimo di due ogni settimana a uno al giorno. La crescita del numero di eventi che ci aspettiamo di osservare sarà di fondamentale importanza perché consentirà di iniziare a effettuare studi di popolazione delle sorgenti coinvolte. Un aspetto rilevante che riguarda O4 è, inoltre, la decisione di allungare il periodo di presa dati da un anno a 18 mesi. Tra le motivazioni quella

di riuscire a rivelare nuovamente un evento multimessaggero. Fino a oggi c'è stata infatti una sola osservazione di un evento simile, in cui l'onda gravitazionale associata ha un corrispettivo di tipo elettromagnetico. L'evento in questione fa riferimento alla fusione di due stelle di neutroni osservata da Virgo e LIGO nell'agosto del 2017. La fisica multimessaggera è estremamente interessante perché permette di studiare questi fenomeni in varie frequenze – non solo attraverso le onde gravitazionali, ma anche nelle bande dello spettro elettromagnetico – e di ricavare informazioni molto accurate sul tipo di sorgenti. L'astrofisica multimessaggera rappresenta quindi un fondamentale strumento per riuscire a fare luce sulle questioni ancora aperte che concernono le sorgenti astrofisiche estreme. Un settore su cui anche l'INFN sta investendo molto, come dimostrano progetti come l'osservatorio sottomarino KM3NeT, che avrà tra i suoi obiettivi affiancare e integrare l'attività degli interferometri gravitazionali attraverso lo studio dei neutrini, messaggeri cosmici che possono trasportare informazioni sulle sorgenti astrofisiche d'interesse.

La comunità scientifica internazionale sta già lavorando per il futuro interferometro di terza generazione ET. Quali sono le principali sfide che questo nuovo rivelatore pone per la sua realizzazione?

Rispetto ai rivelatori di seconda generazione, ET dovrà migliorare ulteriormente la risoluzione, soprattutto alle basse frequenze. Gli osservatori gravitazionali possiedono infatti una curva di sensibilità che varia con le frequenze, che sono a loro volta associate a fenomeni astrofisici diversi. La regione delle basse frequenze è particolarmente interessante perché, qualora riuscissimo a esplorarla, saremmo in grado di osservare le cosiddette onde gravitazionali primordiali, ovvero quelle che si sono prodotte insieme al Big Bang. Tuttavia, rimane una regione molto difficile da rivelare perché il rumore a bassa frequenza può avere molte sorgenti: tutt'oggi stiamo studiando per capire come implementare soluzioni per eliminarlo. Ciò rappresenterà sicuramente la sfida principale per la realizzazione di ET, per superare la quale sarà necessario sviluppare nuove tecnologie. Dobbiamo inoltre considerare anche l'aspetto legato alle difficoltà ingegneristiche e costruttive che i nuovi rivelatori pongono. A differenza degli attuali osservatori, caratterizzati da bracci della lunghezza di 3 chilometri, i prossimi interferometri possiederanno bracci con lunghezze che, a seconda dei progetti, andranno dai 10 ai 20 chilometri, allo scopo di aumentare la sensibilità alle medie e alte frequenze. Per esplorare invece le basse frequenze, la nostra proposta per ridurre al minimo il rumore ambientale, è stata quella di posizionare ET sottoterra.

Lei è stato rettore dell'Università di Sassari e durante il suo mandato è stato tra i promotori della candidatura a ospitare ET della Sardegna.

L'idea che la Sardegna fosse il posto ideale per ospitare un osservatorio gravitazionale non è recente: può essere fatta risalire al padre di Virgo e dell'interferometria gravitazionale, Adalberto Giazotto. Già all'epoca del mio trasferimento da Pisa a Sassari, Giazotto mi chiese infatti di attivarmi per promuovere il progetto, perché anche lui riteneva che la Sardegna fosse il posto giusto. Le ragioni sono valide ancora oggi e sono le stesse alla base della candidatura a ospitare ET nella regione: la limitata attività sismica che contraddistingue l'area, tra le più basse d'Europa, e l'altrettanto limitata presenza di rumore prodotto dalle attività umane. In particolare, il sito poi individuato, l'ex miniera di Sos Enattos, si trova nel comune di Lula, caratterizzato da una delle più basse densità di popolazione di tutto il territorio europeo. A ciò si aggiungono anche le caratteristiche geologiche dell'area, che si prestano alla realizzazione di ET. Il merito di aver compreso per primo che la Sardegna sarebbe potuta diventare il luogo ideale in cui osservare e studiare le onde gravitazionali va quindi a Giazotto, senza il quale la fisica di cui ci occupiamo non esisterebbe: è stato lui, in maniera molto visionaria, a proporre la tecnica che ha reso possibile la nascita di questo settore. Sulla base del suggerimento fornitomi da questo grande scienziato, una volta diventato rettore dell'Università di Sassari, e grazie alla maggiore capacità di intercedere presso le istituzioni nazionali e locali che il ruolo mi consentiva, ho perciò iniziato grazie all'INFN, che ha fornito la guida scientifica, a sottoporre la proposta. Pur nella speranza che ET potrà effettivamente essere ospitato in Italia, il solo fatto di essere riusciti a portare avanti la candidatura ha rappresentato un risultato non del tutto ovvio, perché il territorio di riferimento, proprio per la sua bassa antropizzazione, presenta difficoltà logistiche.

Perché è rilevante ospitare una grande infrastruttura di ricerca?

Sono stati condotti studi per valutare l'impatto di una grande infrastruttura di ricerca internazionale come ET e questi hanno mostrato come per ogni euro speso ci si aspetta un ritorno sei o sette volte superiore, di cui una parte rimarrebbe nel territorio. Ci sarebbe quindi un vantaggio immediato in termini economici legato all'indotto generato dai servizi necessari al funzionamento dell'infrastruttura di ricerca. Aspetto forse ancora più importante è che la realizzazione di ET in Sardegna garantirebbe inoltre la crescita complessiva di tutto il tessuto tecnologico locale e nazionale, e del capitale di competenze, attraverso la formazione che i giovani ricercatori potrebbero ricevere non solo nel campo della fisica gravitazionale, ma anche in tutti quei settori scientifici e applicativi necessari a rendere possibili le attività di un avanzato centro di ricerca. L'insieme di tutti questi fattori potrebbe così contribuire a rallentare il fenomeno dello spopolamento che sta gravando su tutte le regioni depresse d'Italia come le aree della Sardegna scelte per ospitare ET.

A prescindere da dove sarà costruito, EGO sostiene la realizzazione in Europa del progetto ET. Qual è il contributo che può portare al nuovo progetto? E qual è il contributo che la comunità scientifica italiana può portare?

Va detto che il contributo principale che sarà fornito al progetto ET concerne il ruolo esclusivo che EGO oggi svolge in Europa come centro per la fisica delle onde gravitazionali. Il solo centro in Europa in cui sia oggi possibile per un giovane maturare e acquisire competenze nel settore delle onde gravitazionali rimane Virgo: l'unico laboratorio europeo in cui è possibile fare esperienza diretta di questa fisica e sperimentare le nuove soluzioni tecnologiche cui faranno ricorso i prossimi osservatori. EGO e Virgo rappresentano quindi la scuola all'interno della quale saranno formati gli scienziati che lavoreranno su ET. Presso il nostro laboratorio possono inoltre essere studiate le fonti di rumore in grado di disturbare la rivelazione delle onde gravitazionali alle basse frequenze e si sta lavorando sulle tecnologie che saranno sviluppate per ET, come quelle del vuoto, di ottica o delle sospensioni. Una funzione fondamentale che EGO e Virgo potranno svolgere potrà essere, infine, quella di traghettare e mantenere attiva la comunità della fisica delle onde gravitazionali, per non correre il rischio che si disperda, in attesa della realizzazione di ET, che potrebbe richiedere anche 15 anni. Al termine dei periodi di presa dati O4 e O5 già programmati, noi potremmo infatti ospitare un ulteriore miglioramento di Virgo, il progetto Virgo Next, che potrà colmare le lunghe tempistiche che ancora ci separano dalla partenza delle attività scientifiche di ET.

Anche negli Stati Uniti si sta lavorando alla prossima generazione di interferometri, Cosmic Explorer. Perché una rete globale di interferometri è determinante per il successo di queste ricerche?

La differenza tra la fase iniziale di nascita della fisica delle onde gravitazionali, in cui è stata dimostrata sperimentalmente l'esistenza di queste perturbazioni dello spaziotempo, e quella attuale, che è caratterizzata dallo studio approfondito dei segnali gravitazionali, è la capacità di localizzare con precisione nello spazio le sorgenti degli eventi osservati grazie a più osservatori in grado di triangolare i segnali. Oltre a garantire informazioni indispensabili per lo studio delle onde gravitazionali, avere a disposizione una rete estesa di interferometri ha un secondo importante vantaggio, rappresentato dal fatto che, lavorando in sincrono, gli interferometri possono ridurre il rumore di fondo, aumentando l'accuratezza e la sensibilità complessiva delle misure. Questo è il motivo per cui sarebbe necessario iniziare a pensare alla ricerca sulle onde gravitazionali come un'attività coordinata a livello globale, che consenta di ottimizzare le risorse disponibili e quelle future, compreso l'interferometro spaziale LISA.

Cosa prevede e si augura per il futuro di EGO?

Dal punto di vista di EGO, una questione legata a un aspetto contingente che mi trovo a dover affrontare è il ritorno alla normalità dopo la pandemia. Mi auguro quindi che nel 2023 si possa tornare ad avere un'affluenza massiccia di ricercatori nel nostro centro. Tra gli obiettivi che mi sono prefisso per il mio mandato c'è proprio quello di rendere EGO ancora più accogliente dal punto di vista logistico e dei servizi disponibili.

