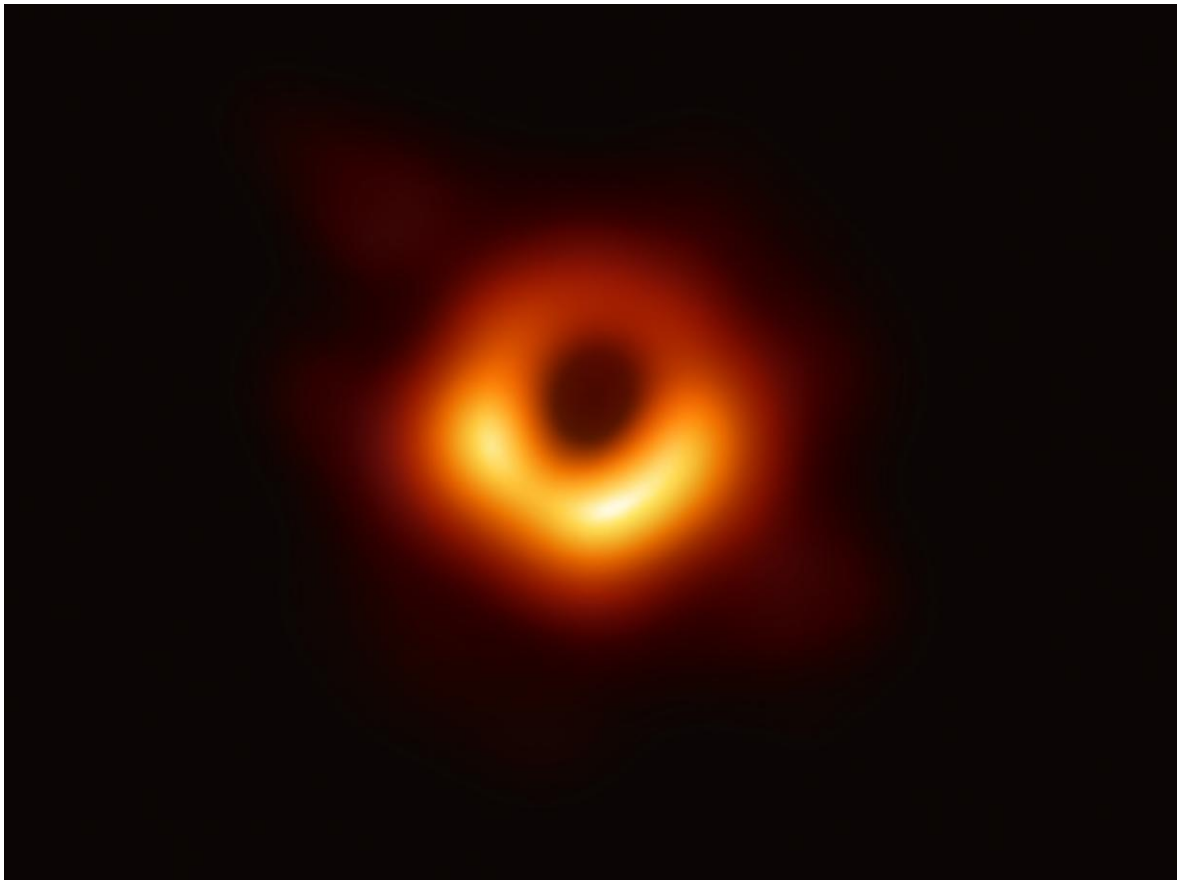


*** NOVA ***

N. 1511 - 11 APRILE 2019

ASSOCIAZIONE ASTROFILI SEGUSINI

EVENT HORIZON TELESCOPE: PRIMA IMMAGINE DI UN BUCO NERO



Il buco nero supermassiccio al centro di Messier 87. Crediti: The Event Horizon Telescope

Riportiamo la notizia della Collaborazione EHT (*Event Horizon Telescope*) – v. *Nova* n. 269 del 21 gennaio 2012 e n. 1498 del 18 marzo 2019 – sulla ripresa diretta dei dintorni del buco nero al centro della Galassia M87 nell'ammasso della costellazione della Vergine. I dati radio utilizzati per l'immagine sono stati raccolti ben due anni fa da 8 sistemi di radiotelescopi nel mondo con varie risoluzioni ma usando tempi precisissimi. L'interferometria "mondiale" ha raggiunto i 20 micro-arcosecondi di risoluzione astrometrica, visualizzando l'ombra sull'orizzonte degli eventi della voragine spazio-temporale creata dal buco nero nella galassia. Vediamo la nascita di una nuova branca astronomica, resa possibile da supercomputer processanti un'enorme quantità di dati osservativi. Ed è proprio questo database il prodotto principale scientifico, prima ancora della bella foto pubblicata.

NEWSLETTER TELEMATICA APERIODICA DELL'A.A.S. PER SOCI E SIMPATIZZANTI - ANNO XIV

La *Nova* è pubblicazione telematica aperiodica dell'A.A.S. - Associazione Astrofili Segusini di Susa (TO) riservata a Soci e Simpatizzanti.

È pubblicata senza alcuna periodicità regolare (v. Legge 7 marzo 2001, n. 62, art. 1, comma 3) e pertanto non è sottoposta agli obblighi previsti dalla Legge 8 febbraio 1948, n. 47, art. 5. I dati personali utilizzati per l'invio telematico della *Nova* sono trattati dall'AAS secondo i principi del *Regolamento generale sulla protezione dei dati* (GDPR - Regolamento UE 2016/679).

www.astrofilisusa.it

Presentiamo in queste pagine il Comunicato stampa scientifico dal sito dell'European Southern Observatory (ESO) e un articolo tratto, con autorizzazione, da *MEDIA INAF* del 10 aprile 2019.

LA PRIMA IMMAGINE DI UN BUCO NERO

ESO, ALMA e APEX contribuiscono alle osservazioni rivoluzionarie

(Comunicato stampa scientifico ESO del 10 aprile 2019)

L'EHT (Event Horizon Telescope) – una schiera di otto radiotelescopi dislocati su tutta la Terra, costruiti attraverso una collaborazione internazionale – è stato progettato per catturare l'immagine dei buchi neri. Oggi, in varie conferenze stampa coordinate in tutto il mondo, i ricercatori dell'EHT rivelano il loro primo successo, svelando la prima prova visiva diretta di un buco nero supermassiccio e della sua ombra.

La scoperta rivoluzionaria è stata annunciata oggi con una serie di sei articoli, pubblicati in un numero speciale di *The Astrophysical Journal Letters*. L'immagine rivela il buco nero al centro di Messier 87 [1], una massiccia galassia nel vicino ammasso di galassie della Vergine. Il buco nero si trova a 55 milioni di anni luce dalla Terra e ha una massa pari a 6,5 miliardi di volte quella del Sole [2].

L'EHT collega telescopi in tutto il mondo per formare un telescopio virtuale senza precedenti, di dimensioni pari a quelle della Terra [3]. L'EHT offre agli scienziati un nuovo modo di studiare gli oggetti più estremi dell'Universo previsti dalla relatività generale di Einstein, proprio nel centenario dell'esperimento storico che per primo ne ha confermato le teorie [4].

"Abbiamo catturato la prima immagine di un buco nero", ha commentato il direttore del progetto EHT Sheperd S. Doeleman del Center for Astrophysics di Harvard & Smithsonian. "Questa è una straordinaria impresa scientifica realizzata da una squadra di oltre 200 ricercatori".

I buchi neri sono straordinari oggetti cosmici con enormi masse ma dimensioni relativamente compatte. La presenza di questi oggetti influenza il loro ambiente in modi estremi, deformando lo spazio-tempo e surriscaldando la materia circostante.

"Se è immerso in una regione brillante, come un disco di gas incandescente, ci aspettiamo che un buco nero crei una regione scura simile a un'ombra: ciò è previsto dalla relatività generale di Einstein, ma non l'abbiamo mai visto prima", ha spiegato il presidente del Consiglio scientifico dell'EHT Heino Falcke della Radboud University, Paesi Bassi. "Questa ombra, causata dalla deviazione gravitazionale e dalla cattura della luce dall'orizzonte degli eventi, ci può rivelare informazioni utili sulla natura di questi oggetti affascinanti e ci ha permesso di misurare l'enorme massa del buco nero di M87".

Numerose tecniche di calibrazione e di produzione delle immagini hanno rivelato una struttura ad anello con una regione centrale scura – l'ombra del buco nero – un risultato persistente su più osservazioni EHT indipendenti.

"Quando siamo stati sicuri di aver catturato l'ombra, abbiamo potuto confrontare i nostri risultati con una vasta libreria di modelli a computer che includono la fisica dello spazio deformato, della materia super-riscaldata e dei campi magnetici molto intensi. Molte caratteristiche dell'immagine osservata corrispondono nel dettaglio alle nostre ipotesi teoriche", osserva Paul T.P. Ho, membro del consiglio di amministrazione di EHT e direttore dell'Osservatorio dell'Asia orientale [5]. "Ciò ci rende fiduciosi sull'interpretazione delle nostre osservazioni, compresa la stima della massa del buco nero".

"Il confronto tra teoria e osservazioni è sempre un momento drammatico per un teorico: è stato un sollievo ma anche una fonte di orgoglio rendersi conto che le osservazioni combaciavano perfettamente con le nostre previsioni", ha commentato Luciano Rezzolla, della Goethe Universität, in Germania, membro del consiglio di amministrazione dell'EHT.



Lo sviluppo dell'EHT è stata una sfida formidabile che ha richiesto l'aggiornamento e il collegamento di una rete mondiale di otto telescopi preesistenti dispiegati in una varietà di siti ad alta quota, per nulla facili da gestire. Queste località includevano vulcani in Hawai'i e in Messico, picchi in Arizona e nella Sierra Nevada spagnola, il deserto cileno di Atacama e l'Antartide.

Le osservazioni di EHT utilizzano una tecnica chiamata interferometria a lunghissima base (VLBI) che sincronizza i telescopi in tutto il mondo e sfrutta la rotazione del nostro pianeta per formare un enorme telescopio, di dimensioni pari a quella della Terra, che osserva a una lunghezza d'onda di 1,3 mm. Il VLBI consente all'EHT di raggiungere una risoluzione angolare di 20 micro-secondi d'arco, sufficiente per leggere un giornale a New York seduti in un bar a Parigi [6].

I telescopi che hanno contribuito a questo risultato sono stati ALMA, APEX, il telescopio IRAM da 30 metri, il James Clerk Maxwell Telescope, il Large Millimeter Telescope Alfonso Serrano, il Submillimeter Array, il Submillimeter Telescope e il South Pole Telescope [7]. Petabyte di dati grezzi dai telescopi sono stati combinati da supercomputer altamente specializzati ospitati negli istituti Max Planck Institute for Radio Astronomy e MIT Haystack Observatory.

Le strutture e i finanziamenti europei hanno svolto un ruolo cruciale in questo sforzo mondiale, con la partecipazione di telescopi europei avanzati e il sostegno del Consiglio europeo della ricerca, in particolare con una sovvenzione di 14 milioni di euro per il progetto BlackHoleCam [8]. Anche il supporto di ESO, IRAM e Max Planck Society è stato fondamentale. *"Questo risultato si basa su decenni di esperienza europea nell'astronomia millimetrica"*, ha commentato Karl Schuster, direttore dell'IRAM e membro del consiglio di amministrazione dell'EHT.

La costruzione dell'EHT e le osservazioni annunciate oggi rappresentano il culmine di decenni di lavoro osservativo, tecnico e teorico. Questo esempio di lavoro di squadra globale ha richiesto una stretta collaborazione da parte di ricercatori di tutto il mondo. Tredici istituzioni partner hanno collaborato per creare l'EHT, utilizzando sia infrastrutture preesistenti che il supporto di varie agenzie. Il finanziamento principale è stato fornito dalla US National Science Foundation (NSF), dal Consiglio europeo della ricerca (ERC) e dalle agenzie di finanziamento in Asia orientale [8].

"L'ESO ha l'onore di aver contribuito in modo significativo a questo risultato attraverso la sua leadership europea e il suo ruolo chiave in due dei telescopi componenti di EHT, che si trovano in Cile - ALMA e APEX", ha commentato il Direttore Generale dell'ESO Xavier Barcons. *"ALMA è la struttura più sensibile dell'EHT e le sue 66 antenne ad alta precisione sono state fondamentali nel rendere l'EHT uno strumento di successo."*

"Abbiamo realizzato qualcosa che si pensava impossibile solo una generazione fa", ha concluso Doeleman. *"Le innovazioni tecnologiche, le connessioni tra i migliori osservatori radio del mondo e gli algoritmi innovativi hanno collaborato per aprire una finestra completamente nuova sui buchi neri e sull'orizzonte degli eventi"*.

Note

[1] L'ombra di un buco nero è la cosa più vicina a un'immagine del buco nero stesso, un oggetto completamente oscuro da cui nemmeno la luce può sfuggire, a cui possiamo aspirare. Il confine di questo buco nero – l'orizzonte degli eventi, da cui l'EHT prende il nome – è circa 2,5 volte più piccolo dell'ombra che proietta e misura poco meno di 40 miliardi di km.

[2] I buchi neri supermassicci sono oggetti astronomici relativamente piccoli: il che li ha resi impossibili da osservare direttamente fino a oggi. Poiché la dimensione dell'orizzonte degli eventi di un buco nero è proporzionale alla sua massa, maggiore è la massa del buco nero, e più grande è l'ombra. Grazie alla sua enorme massa e relativa vicinanza, si prevedeva che il buco nero di M87 fosse uno dei più grandi visibili dalla Terra, rendendolo un obiettivo perfetto per l'EHT.

[3] Sebbene i telescopi non siano fisicamente collegati, sono in grado di sincronizzare i loro dati registrati con orologi atomici – maser di idrogeno – che segnano esattamente il tempo delle osservazioni. Queste osservazioni sono state raccolte a una lunghezza d'onda di 1,3 mm durante una campagna globale del 2017. Ogni telescopio



dell'EHT ha prodotto enormi quantità di dati – circa 350 terabyte al giorno – che sono stati archiviati su dischi rigidi a elio ad alta prestazione. Questi dati sono stati trasferiti a supercomputer altamente specializzati – noti come correlatori – al Max Planck Institute for Radio Astronomy e al MIT Haystack Observatory per essere combinati. Sono stati poi faticosamente convertiti in un'immagine utilizzando nuovi strumenti computazionali sviluppati dalla collaborazione.

[4] 100 anni fa, due spedizioni partirono per l'Isola Principe al largo delle coste dell'Africa e per Sobral in Brasile per osservare l'eclissi solare del 1919, con l'obiettivo di testare la relatività generale verificando se la luce stellare si sarebbe piegata attorno al bordo del Sole, come previsto da Einstein. In un'eco di queste osservazioni, l'EHT ha inviato i membri del team ad alcune delle strutture radio più alte e isolate del mondo per verificare nuovamente la nostra comprensione della gravità.

[5] L'Osservatorio dell'Asia orientale (EAO), partner nel progetto EHT, rappresenta molte regioni dell'Asia, tra cui Cina, Giappone, Corea, Taiwan, Vietnam, Thailandia, Malesia, India e Indonesia.

[6] Le osservazioni future dell'EHT avranno una sensibilità notevolmente maggiore grazie alla partecipazione dell'Osservatorio NOEMA dell'IRAM, del Telescopio della Groenlandia e del Kitt Peak Telescope.

[7] ALMA è una partnership tra l'ESO (European Southern Observatory: per l'Europa, in rappresentanza dei suoi stati membri), l'NSF (US National Science Foundation) e il NINS (National Institutes of Natural Sciences) del Giappone, insieme con il National Research Council (Canada), il Ministero della Scienza e della Tecnologia (MOST, Taiwan), l'ASIAA (Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics, Taiwan) e il KASI (Korea Astronomy and Space Science Institute, Repubblica di Corea), in collaborazione con la Repubblica del Cile. APEX è gestito dall'ESO, il telescopio da 30 metri è gestito dall'IRAM (le organizzazioni partner dell'IRAM sono MPG (Germania), CNRS (Francia) e IGN (Spagna)), il James Clerk Maxwell Telescope è gestito dall'EAO, il Large Millimeter Telescope Alfonso Serrano è gestito da INAOE e UMass, il Submillimeter Array è gestito da SAO e ASIAA, mentre il Submillimeter Telescope è gestito dall'Arizona Radio Observatory (ARO). Il South Pole Telescope è gestito dall'Università di Chicago con strumentazione EHT specializzata fornita dall'Università dell'Arizona.

[8] BlackHoleCam è un progetto finanziato dall'UE per l'immagine, la misura e la comprensione dei buchi neri astrofisici. L'obiettivo principale di BlackHoleCam e dell'Event Horizon Telescope (EHT) è di realizzare le prime immagini del buco nero da miliardi di masse solari nella vicina galassia M87 e del suo cugino più piccolo, Sagittario A*, il buco nero supermassiccio al centro della Via Lattea. Ciò consente di determinare con estrema precisione la deformazione dello spazio-tempo causata da un buco nero.

Ulteriori Informazioni

Questa ricerca è stata presentata in una serie di sei articoli pubblicati oggi in un numero speciale di *The Astrophysical Journal Letters*.

La collaborazione EHT coinvolge oltre 200 ricercatori provenienti da Africa, Asia, Europa, Nord e Sud America. La collaborazione internazionale sta lavorando per catturare le immagini del buco nero più dettagliate di sempre creando un telescopio virtuale di dimensioni pari a quelle della Terra. Sostenuto da considerevoli investimenti internazionali, l'EHT collega i telescopi esistenti usando nuovi sistemi, creando uno strumento fondamentalmente nuovo con il più alto potere risolutivo angolare che sia mai stato raggiunto.

I singoli telescopi coinvolti sono; ALMA, APEX, il Telescopio da 30 metri IRAM, l'Osservatorio NOEMA di IRAM, il James Clerk Maxwell Telescope (JCMT), il Large Millimeter Telescope (LMT), il Submillimeter Array (SMA), il Submillimeter Telescope (SMT), il Polo Sud Telescope (SPT), il telescopio Kitt Peak e il Greenland Telescope (GLT).

Il consorzio EHT è composto da 13 Istituti partecipanti; l'Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics, l'Università dell'Arizona, l'Università di Chicago, l'Osservatorio dell'Asia orientale, Goethe-Universität Frankfurt, Institut de Radioastronomie Millimétrique, Large Millimeter Telescope, Max Planck Institute for Radioastronomy, MIT Haystack Observatory, l'Osservatorio astronomico nazionale del Giappone, il Perimeter Institute for Theoretical Physics, la Radboud University e lo Smithsonian Astrophysical Observatory.

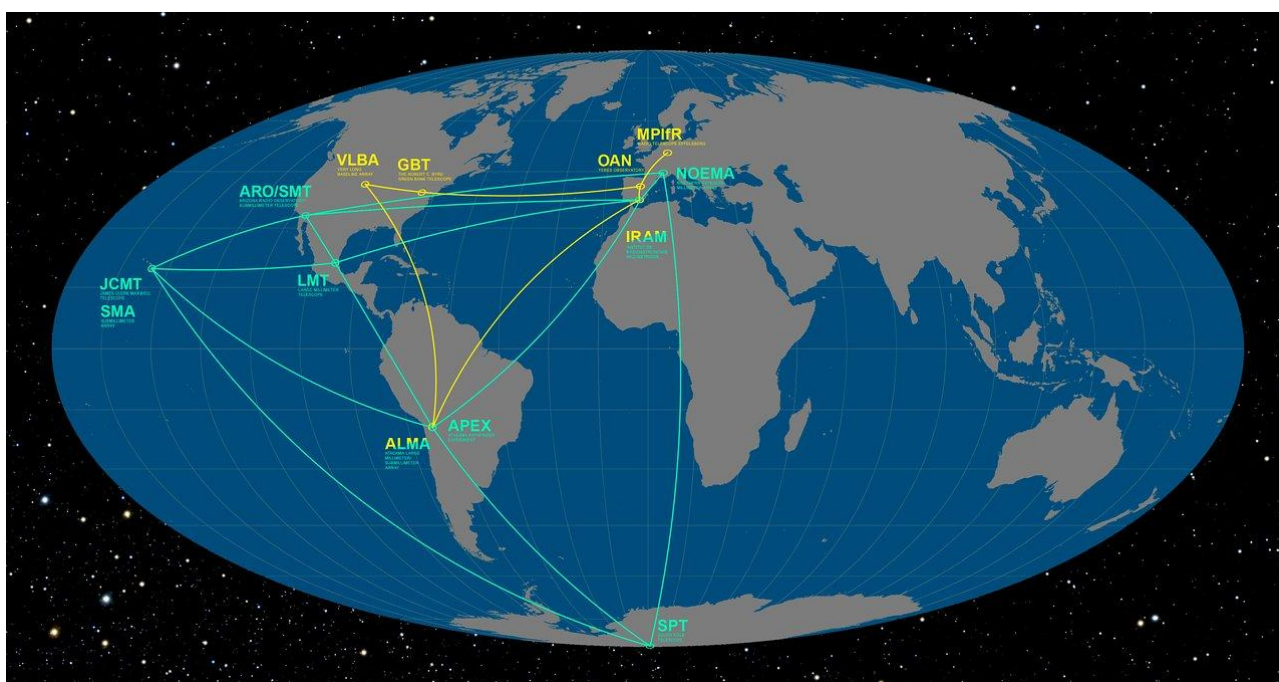


LA PRIMA FOTO DI UN BUCO NERO

(Articolo redazionale da MEDIA INAF del 10 aprile 2019)

L'Event Horizon Telescope (EHT) è un gruppo di otto radiotelescopi da terra che opera su scala planetaria, nato grazie a una collaborazione internazionale e progettato con lo scopo di catturare le immagini di un buco nero. Oggi, in una serie di conferenze stampa coordinate in contemporanea in tutto il mondo, i ricercatori dell'EHT annunciano il successo del progetto, svelando la prima prova visiva diretta mai ottenuta di un buco nero supermassiccio e della sua ombra.

Questo incredibile risultato viene presentato in una serie di sei articoli pubblicati in un numero speciale di *The Astrophysical Journal Letters*. L'immagine rivela il buco nero al centro di Messier 87, un'enorme galassia situata nel vicino ammasso della Vergine. Questo buco nero dista da noi 55 milioni di anni luce e ha una massa pari a 6,5 miliardi e mezzo di volte quella del Sole.



La rete di radiotelescopi di EHT. Crediti: ESO / O. Furtak

L'EHT collega gli otto radiotelescopi dislocati in diverse parti del pianeta dando vita a un telescopio virtuale di dimensioni pari a quelle della Terra, uno strumento con una sensibilità e una risoluzione senza precedenti. L'EHT è il risultato di anni di collaborazione internazionale e offre agli scienziati un nuovo modo di studiare gli oggetti più estremi dell'universo previsti dalla teoria della relatività generale di Einstein, proprio nell'anno del centenario dell'esperimento storico che per primo ha confermato questa teoria.

«Quello che stiamo facendo è dare all'umanità la possibilità di vedere per la prima volta un buco nero, una sorta di 'uscita a senso unico' dal nostro universo», spiega il direttore del progetto EHT Sheperd Doeleman del Center for Astrophysics della Harvard University. «Questa è una pietra miliare nell'astronomia, un'impresa scientifica senza precedenti compiuta da un team di oltre 200 ricercatori».

I buchi neri sono oggetti estremamente compatti, nei quali una quantità incredibile di massa è compressa all'interno di una piccola regione. La presenza di questi oggetti influenza l'ambiente che li circonda in modo estremo, distorcendo lo spazio-tempo e surriscaldando qualsiasi materiale intorno.

«Se immerso in una regione luminosa, come un disco di gas incandescente, ci aspettiamo che un buco nero crei una regione scura simile a un'ombra, un effetto previsto dalla teoria della relatività generale di Einstein che non abbiamo mai potuto osservare direttamente prima», aggiunge il presidente dell'EHT Science Council Heino Falcke della Radboud University, nei Paesi Bassi. «Quest'ombra, causata dalla curvatura gravitazionale e dal fatto che la luce viene trattenuta dall'orizzonte degli eventi, rivela molto sulla natura di questi affascinanti oggetti e ci ha permesso di misurare l'enorme massa del buco nero di M87».

Vari metodi di calibrazione e di *imaging* hanno rivelato una struttura ad anello con una regione centrale scura – l'ombra del buco nero – risultato che ritorna nelle molteplici osservazioni indipendenti fatte dall'EHT.

Le osservazioni dell'EHT sono state possibili grazie alla tecnica nota come Very-Long-Baseline Interferometry (VLBI) che sincronizza le strutture dei telescopi in tutto il mondo e sfrutta la rotazione del nostro pianeta per andare a creare un enorme telescopio di dimensioni pari a quelle della Terra in grado di osservare ad una lunghezza d'onda di 1,3 mm. La tecnica VLBI permette all'EHT di raggiungere una risoluzione angolare di 20 micro secondi d'arco. Un livello di dettaglio tale da permetterci di leggere una pagina di giornale a New York comodamente da un caffè sul marciapiede di Parigi.

I telescopi che hanno contribuito a questo risultato sono stati Alma, Apex, il telescopio IRAM da 30 metri, il telescopio James Clerk Maxwell, il telescopio Alfonso Serrano, il Submillimeter Array, il Submillimeter Telescope e il South Pole Telescope. L'enorme quantità di dati grezzi – misurabile in petabyte, ovvero milioni di gigabyte – ottenuta dai telescopi è stata poi ricombinata da supercomputer altamente specializzati ospitati dal Max Planck Institute for Radio Astronomy e dal MIT Haystack Observatory.

La costruzione dell'EHT e le osservazioni annunciate oggi rappresentano il culmine di decenni di lavoro osservativo, tecnico e teorico. Un esempio di lavoro di squadra globale che ha richiesto una stretta collaborazione da parte di ricercatori di tutto il mondo. Tredici istituzioni partner hanno lavorato insieme per creare l'EHT, utilizzando sia le infrastrutture preesistenti che il supporto di diverse agenzie. I principali finanziamenti sono stati forniti dalla US National Science Foundation (NSF), dal Consiglio europeo della ricerca dell'UE (ERC) e da agenzie di finanziamento in Asia orientale.

«L'ESO ha l'onore di aver contribuito in modo significativo a questo risultato attraverso la sua leadership europea e il suo ruolo chiave in due dei telescopi componenti di EHT, che si trovano in Cile, ALMA e APEX», commenta il direttore generale dell'Eso Xavier Barcons. «Alma è la struttura più sensibile dell'EHT e le sue 66 antenne ad alta precisione sono state fondamentali per questo successo», conclude Ciriaco Goddi, segretario del consiglio scientifico del consorzio EHT, che si è occupato della calibrazione Alma per l'EHT.

L'INAF può vantare un importante coinvolgimento nella rivoluzionaria osservazione come parte del progetto europeo BlackHoleCam (BHC), di cui lo stesso Goddi è il *project scientist*. Elisabetta Liuzzo e Kazi Rygl dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (all'IRA di Bologna) sono due ricercatrici del nodo italiano dell'Alma Regional Centre, uno dei sette che compongono la rete europea che fornisce supporto tecnico-scientifico agli utenti di Alma, e che è ospitato proprio presso la sede dell'INAF di Bologna. Nel 2018 entrambe sono entrate a far parte del progetto BHC finanziato dall'Erc come partner del progetto EHT, e fanno a tutti gli effetti parte dell'Event Horizon Telescope Consortium, in cui sono membri dei gruppi di lavoro che si occupano di calibrazione e *imaging*.

«La calibrazione dei dati EHT è stata una grande sfida: i segnali astronomici sono deboli nella banda millimetrica, e distorti per effetto dell'atmosfera, che varia molto velocemente a queste frequenze», sottolinea Liuzzo, che insieme a Rygl ha partecipato allo sviluppo di uno dei tre software usati per la calibrazione dei dati EHT.

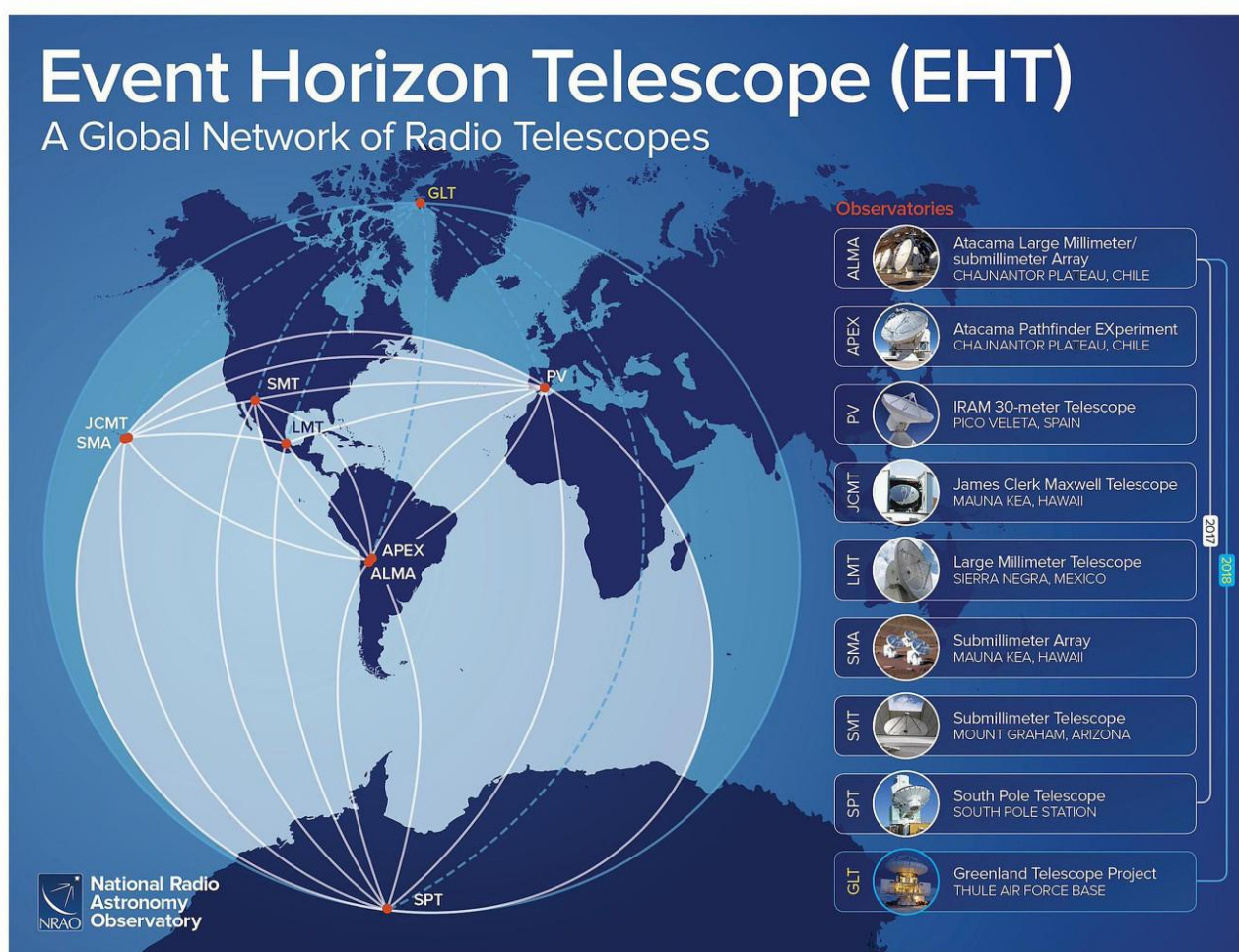
Pur operando come un unico strumento che abbraccia il globo l'EHT, infatti, rimane una miscela di stazioni con design e operazioni diverse. Questo ed altri fattori, insieme alle sfide associate alla VLBI, hanno dato impulso allo sviluppo di tecniche specializzate di elaborazione e calibrazione. «Tre diversi gruppi di ricerca, ognuno dei quali ha utilizzato un diverso software di calibrazione, hanno convalidato in modo incrociato questi dati e hanno trovato risultati coerenti», specifica Rygl, aggiungendo che «è estremamente gratificante vedere come i dati calibrati possano essere tradotti in fisica dei buchi neri».

«Il progetto Black Hole Cam è partito nel 2014 con l'obiettivo di misurare, comprendere e 'vedere' i buchi neri e fare test sulle principali previsioni della teoria della relatività generale di Einstein», aggiunge Ciriaco Goddi. «Nel 2016 il progetto è entrato a far parte, insieme ad altri partner internazionali, dell'Event Horizon Telescope Consortium visto il comune obiettivo: ottenere la prima immagine di un buco nero».

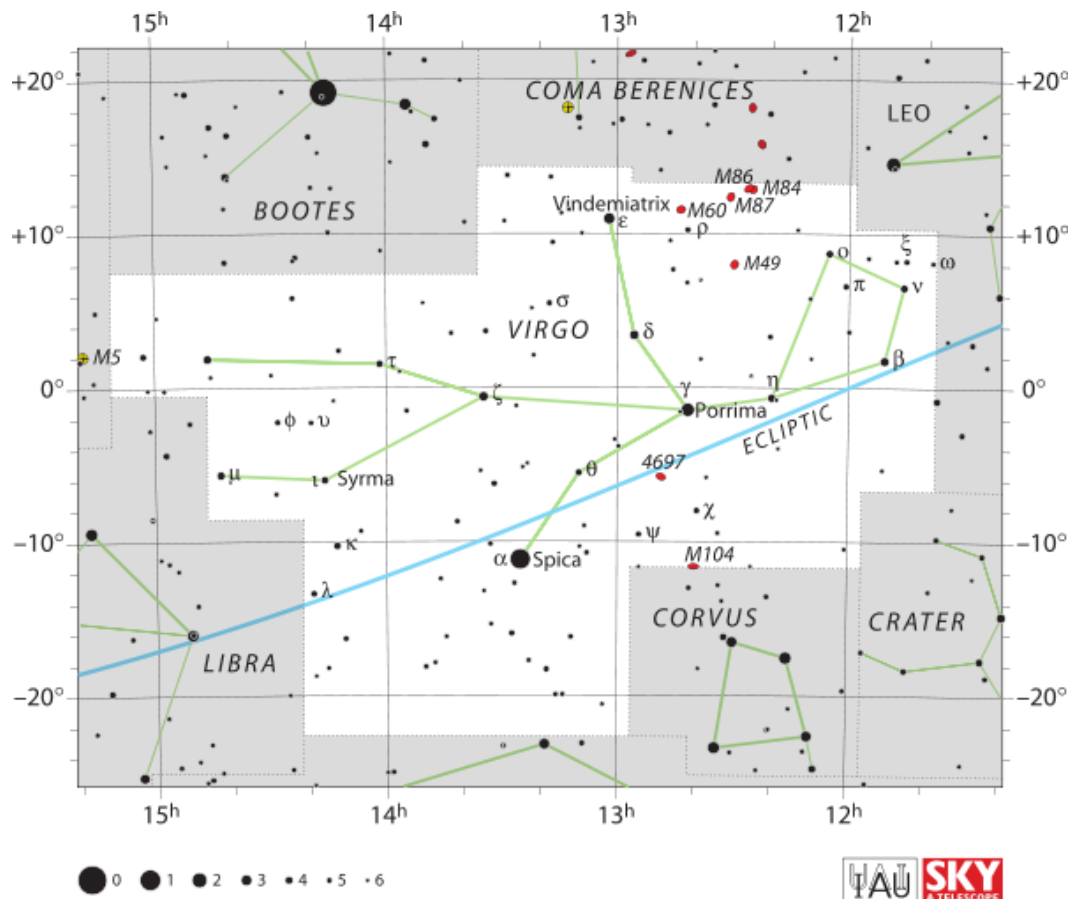
«Abbiamo raggiunto un risultato che solo una generazione fa sarebbe stato ritenuto impossibile», conclude Doeleman. «I progressi tecnologici e il completamento dei nuovi radiotelescopi nell'ultimo decennio hanno permesso al nostro team di assemblare questo nuovo strumento, progettato per vedere l'invisibile».

Un risultato incredibile, che prometta di essere un punto non di arrivo ma di partenza nella strada per la comprensione del nostro universo.

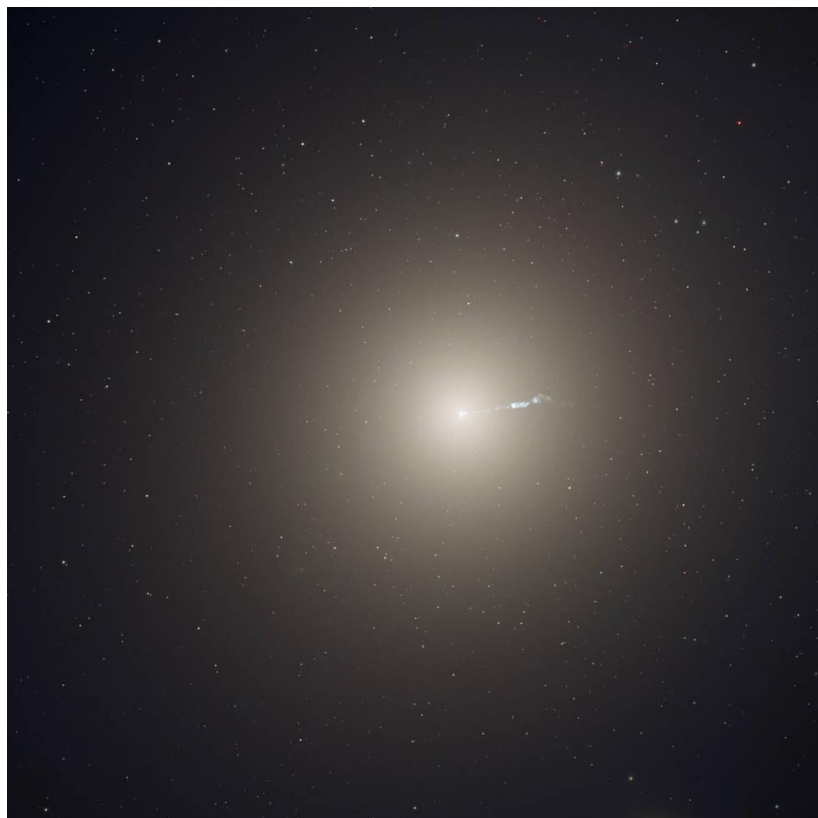
<https://www.media.inaf.it/2019/04/10/prima-foto-buco-nero/>



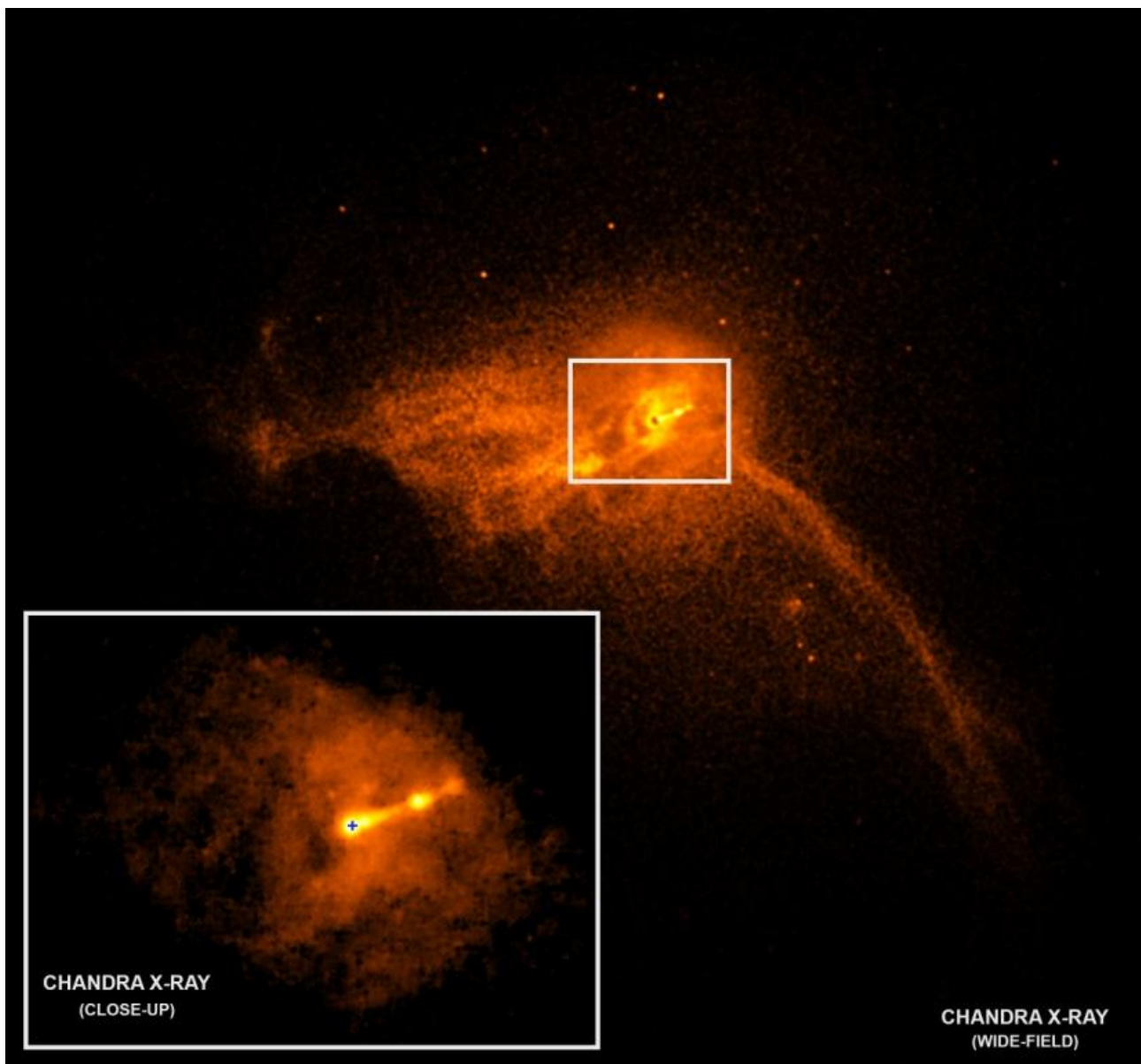
Crediti: NRAO – National Radio Astronomy Observatory



La costellazione della Vergine con la galassia M87. Crediti: IAU / Sky & Telescope



La galassia M87. Crediti: NASA, ESA e The Hubble Heritage Team (STScI / AURA);
 Acknowledgment: P. Cote (Herzberg Institute of Astrophysics) e E. Baltz (Stanford University)
<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/messier-87> - https://en.wikipedia.org/wiki/Messier_87



Primo piano del nucleo della galassia M87 del Chandra X-ray Observatory. Crediti: NASA / CXC / Villanova University / J. Neilsen



Immagini per ciascun giorno osservativo: l'orizzonte degli eventi rimane uguale perché la massa del buco nero rimane uguale.

Crediti: EHT Collaboration, Paper IV, 2019

(da una slide della Conferenza stampa italiana INAF del 10 aprile 2019, <https://www.youtube.com/watch?v=uEhpiDjifGM>)

Articoli originali, pubblicati su *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 875, Number 1, 2019 April 10,
<https://iopscience.iop.org/issue/2041-8205/875/1>:

First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole

https://iopscience-event-horizon.s3.amazonaws.com/article/10.3847/2041-8213/ab0ec7/The_Event_Horizon_Telescope_Collaboration_2019_ApJL_875_L1.pdf

First M87 Event Horizon Telescope Results. II. Array and Instrumentation

https://iopscience-event-horizon.s3.amazonaws.com/article/10.3847/2041-8213/ab0c96/The_Event_Horizon_Telescope_Collaboration_2019_ApJL_875_L2.pdf

First M87 Event Horizon Telescope Results. III. Data Processing and Calibration

https://iopscience-event-horizon.s3.amazonaws.com/article/10.3847/2041-8213/ab0c57/The_Event_Horizon_Telescope_Collaboration_2019_ApJL_875_L3.pdf

First M87 Event Horizon Telescope Results. IV. Imaging the Central Supermassive Black Hole

https://iopscience-event-horizon.s3.amazonaws.com/article/10.3847/2041-8213/ab0e85/The_Event_Horizon_Telescope_Collaboration_2019_ApJL_875_L4.pdf

First M87 Event Horizon Telescope Results. V. Physical Origin of the Asymmetric Ring

https://iopscience-event-horizon.s3.amazonaws.com/article/10.3847/2041-8213/ab0f43/The_Event_Horizon_Telescope_Collaboration_2019_ApJL_875_L5.pdf

First M87 Event Horizon Telescope Results. VI. The Shadow and Mass of the Central Black Hole

https://iopscience-event-horizon.s3.amazonaws.com/article/10.3847/2041-8213/ab1141/The_Event_Horizon_Telescope_Collaboration_2019_ApJL_875_L6.pdf

Links:

<https://eventhorizontelescope.org/>

<https://www.eso.org/public/italy/news/eso1907/>

<https://www.media.inaf.it/2019/04/10/singularita-immagine-storica/>

<https://www.media.inaf.it/2019/04/11/foot-buco-nero-rezzolla/>

<https://www.youtube.com/watch?v=JqRYTBMtmjs>

<https://www.youtube.com/watch?v=gK-R6U5KCjE>

https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/news/black-hole-image-makes-history

<https://www.space.com/first-black-hole-photo-by-event-horizon-telescope.html>

[...] Subito dopo che Einstein aveva scritto le sue equazioni di campo, nello stesso anno, il 1915, Karl Schwarzschild trovò una soluzione che suggeriva una configurazione di materia molto strana. Solo circa cinquant'anni dopo risultò che tale configurazione esiste realmente. Si tratta del prodotto degli ultimi stadi evolutivi di stelle molto massicce, ciò che ora chiamiamo buco nero. Com'è possibile che le equazioni sappiano qualcosa che verrà effettivamente scoperto solo cinquant'anni dopo? Questo è esattamente ciò che spesso succede. [...]

George V. Coyne e Michael Heller, *"Un Universo comprensibile"*
(traduz. di Corrado Lamberti), Springer-Verlag Italia editore, Milano 2009, p. 117

da Nova n. 269 - 21 gennaio 2012, p. 2