



Osservatorio Astronomico di Brera

Rapporto sulle attività in corso



In copertina sono riportate immagini delle due sedi dell'Osservatorio Astronomico di Brera (colonna di destra: sede di Merate; colonna di sinistra: sede di Milano).
Diverse fotografie presenti nel rapporto sono state scattate dal collega Mario Carpino.

Razionale del presente documento

In un istituto di ricerca è buona norma fare, di tanto in tanto, il punto della situazione per avere consapevolezza delle proprie potenzialità e, quindi, focalizzare e pianificare meglio il futuro. Questa buona norma è particolarmente indicata e utile nei momenti in cui si verifica un cambio di Direzione, come quello avvenuto il primo gennaio 2021.



Portale dell'OAB

Nelle pagine che seguono è riportato uno spaccato succinto di quello che è oggi l'Osservatorio Astronomico di Brera. Vengono descritte le principali attività di ricerca, sia teorica e osservativa che tecnologica e strumentale (con i connessi laboratori), l'importante patrimonio storico, le attività di comunicazione della scienza, i rapporti che l'istituto ha saputo instaurare negli anni con il suo circondario (Università, enti pubblici e privati, industrie, etc.), l'innovazione tecnologica e le collaborazioni internazionali.

L'Osservatorio è uno degli istituti di ricerca dell'Istituto Nazionale di Astrofisica ed è quindi naturale che il rapporto riguardi, e focalizzi, la ricerca e le attività a essa connesse. È tuttavia doveroso fare presente che tutte queste attività sono rese possibili grazie al costante, duraturo e fondamentale supporto sia del personale che si occupa degli aspetti informatici (dalla rete internet, all'installazione e mantenimento dei software applicativi, al mantenimento della pagina web) che del personale amministrativo (che si prodiga per aiutare il ricercatore "quadratico medio" a superare la complessità della burocrazia).

Il rapporto, a cui tutto il personale dell'Osservatorio ha contribuito, mostra un istituto in ottime condizioni, frutto delle passate lungimiranti Direzioni, e rappresenta uno stimolo a fare del nostro meglio per consolidare e migliorare la posizione nazionale e internazionale acquisita.

Aprile 2021,

Roberto Della Ceca

Sommario

1	Introduzione	5
2	Ricerca	8
2.1	Ricerca e studio dei pianeti extrasolari	8
2.2	Astronomia extragalattica e cosmologia	10
2.3	Astrofisica delle alte energie e relativistica	15
2.4	Sviluppo di tecnologie e strumentazioni per Astrofisica da Terra e dallo Spazio	18
3	Laboratori	23
4	Patrimonio Storico	24
4.1	MusAB - Museo Astronomico di Brera	24
4.2	La Biblioteca e l'archivio storico	27
4.3	Telescopi	29
5	Public Outreach and Education	31
5.1	Attività locali	31
5.2	Attività nazionali	32
5.3	Attività internazionali	34
6	Rapporti con Università, enti presenti sul territorio e IASF-MI	35
7	Collaborazioni internazionali	38
8	Innovazione Tecnologica e Rapporto con le Industrie	39
9	Link di progetti/attività, divulgativi e didattici menzionati	40
10	Elenco Acronimi	43

1 Introduzione

L'Osservatorio Astronomico di Brera (da qui in poi sinteticamente l'Osservatorio) è la più antica istituzione scientifica milanese ancora attiva. L'Osservatorio sorse all'interno del Collegio gesuita di Brera; le prime osservazioni risalgono al 1760 e nel 1764, su progetto di padre Ruggero Boscovich, venne costruita la prima specola; dopo la soppressione dei Gesuiti, nel 1773, l'Osservatorio divenne una istituzione statale. Dal 1946 è entrato a far parte delle istituzioni scientifiche della Repubblica Italiana e nel 1999 è confluito nell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF)¹. All'Osservatorio fanno riferimento due sedi: la sede "storica", sita in Palazzo Brera al centro di Milano e la sede "osservativa" presso Villa San Rocco, a Merate (Lecco), in Brianza, attiva dal 1923 e dove sono ora collocati anche i laboratori. Tra gli astronomi che lavorarono all'Osservatorio ricordiamo Barnaba Oriani, Giovanni Virginio Schiaparelli, che ne fu direttore dal 1862 al 1900 e il suo successore, Giovanni Celoria. L'Osservatorio ha annoverato inoltre, tra le fila degli astronomi, Margherita Hack, che lavorò presso la sede di Merate dal 1954 al 1964, anno in cui divenne professore ordinario presso l'Istituto di Fisica Teorica dell'Università degli Studi di Trieste e, prima donna in Italia, direttrice dell'Osservatorio Astronomico di Trieste.

L'Osservatorio è un istituto di ricerca d'eccellenza, riconosciuto a livello mondiale, con ricerche "di punta" in entrambe le sedi. Lo staff (aprile 2021) è costituito da 70 persone, ripartite tra personale di ricerca e tecnico-scientifico (48) e personale amministrativo e informatico (22). Attualmente frequentano l'Osservatorio anche una quindicina di giovani collaboratori/collaboratrici, tra Post-doc e Assegnisti, mentre una quindicina di ex-dipendenti in quiescenza continuano a collaborare e interagire con il personale di ricerca e gli studenti.

Le astronome e gli astronomi dell'Osservatorio si occupano di ricerche che vanno dai pianeti (sia solari che extrasolari) alle stelle, dai buchi neri alle galassie, dai lampi di raggi gamma alla cosmologia. L'Osservatorio è inoltre fortemente impegnato nella ricerca tecnologica applicata alla strumentazione astronomica ed è tra i leader mondiali nello sviluppo di ottiche per l'astronomia X e, in generale, sia di strumentazione leggera per missioni spaziali che di strumentazione per i più grandi telescopi ottici da terra. Tutti i principali progetti di ricerca (sia osservativi e interpretativi che tecnologici) sono condotti in collaborazione con importanti

¹ La storia dell'Osservatorio di Brera è raccontata in numerosi testi, tra cui: F. Zagar, *L'Osservatorio Astronomico di Milano nella storia*, in *Atti del Convegno per il 250° anniversario della nascita di R.G. Boscovich e per il 200° anniversario della fondazione dell'Osservatorio di Brera, Milano, 1962*, ripubblicato nei «Contributi dell'Osservatorio astronomico di Milano-Merate», N.S., n. 201, Milano, Arti grafiche E. Milli, 1963; *Da Brera a Marte. Storia dell'osservatorio astronomico di Milano*, pubblicazione del Nuovo Banco Ambrosiano, Novara, I.G.D.A., 1983; E. Miotto, G. Tagliaferri, P. Tucci, *La strumentazione nella storia dell'Osservatorio astronomico di Brera*, Milano, Unicopli, 1989; G. Buccellati (a cura di), *I cieli di Brera. Astronomia da Tolomeo a Balla*, Milano, Università degli Studi di Milano-Hoepli, 2000. Per la storia più recente dell'Osservatorio rimando a A.M. Lombardi, A. Mandrino, *Ricerca, istruzione e divulgazione all'Osservatorio astronomico di Brera*, in E. Canadelli (a cura di) *Milano scientifica 1875-1924. Vol. 1. La rete del grande Politecnico*, Milano, Sironi, 2008, pp. 95-116 e A. Mandrino, F. Bònoli, *Il secolo breve dell'Osservatorio astronomico di Brera* in G. Trinchieri, S. Sandrelli (a cura di), *L'Osservatorio astronomico di Brera nel XX secolo. Le persone, i luoghi, la scienza*, Trieste, Scienza Express, 2015, www.scienzaexpress.it, *L'Osservatorio Astronomico di Brera. Breve storia attraverso i suoi strumenti*, Mario Carpino, 2011, Edizioni Scienza Express, www.scienzaexpress.it. Infine, sul sito del Museo astronomico <http://museoastronomico.brera.inaf.it/> vengono pubblicati con regolarità brevi articoli di presentazione o di approfondimento di particolari episodi della storia dell'Osservatorio.

istituti, sia nazionali che internazionali. La sede di Merate ospita inoltre uno dei tre centri di gestione scientifica del satellite “Neil Gehrels” Swift, collaborazione tra USA, Italia e UK, dedicato allo studio dei lampi di raggi gamma (*gamma-ray bursts*), filone di indagine in cui il nostro istituto è diventato un punto di riferimento internazionale.

L’Osservatorio conserva un’importante collezione di strumenti astronomici antichi visitabile presso la sede di Milano utilizzati localmente nel corso dei secoli. Questi formano una raccolta museale riconosciuta da Regione Lombardia: il Museo Astronomico di Brera (MusAB, che dal 2015 è diventato un museo dell’INAF), gestito in collaborazione con l’Università degli Studi di Milano. Grazie a due finanziamenti, di Regione Lombardia e della Fondazione CARIPLO, l’attuale esposizione degli strumenti è in fase avanzata di ristrutturazione con una disposizione più “immersiva” ed efficace per il grande pubblico. Numerosi strumenti antichi di proprietà dell’Osservatorio sono anche depositati presso il Museo Nazionale della Scienza e Tecnologia “Leonardo Da Vinci” di Milano, esposti nella sezione dedicata all’astronomia. Due cupole completamente ristrutturate, la cupola “Zagar” o “cupola fiore” (chiamata così per il suo meccanismo di apertura che la faceva assomigliare, appunto, a un fiore) e la cupola “Schiaparelli” (al suo interno il telescopio Merz in ottimo stato e perfettamente funzionante), vengono utilizzate per conferenze pubbliche, conferenze stampa, convegni, visite diurne e laboratori didattici. Presso la sede di Merate sono mantenuti i telescopi storici Zeiss e Ruths, strumenti di riferimento per l’astronomia italiana nel corso del ‘900. Le passate due Direzioni dell’Osservatorio sono anche riuscite a completare il restauro del telescopio Merz-Repsold usato da Schiaparelli per i suoi studi su Marte, trovandogli una degna collocazione presso il Museo Nazionale della Scienza e Tecnologia di Milano. Infine, la sede di Milano ospita il prezioso archivio storico (oltre quindicimila lettere di astronomi come Laplace, Herschel, Secchi, Schiaparelli, ma anche di Cesare Beccaria e Napoleone I) e una biblioteca antica di circa 30000 volumi di importanza fondamentale, tra le più rilevanti nel paese e del mondo; a tale riguardo basta citare una copia originale del *Sidereus Nuncius* di Galileo Galilei (1610) e l’atlante stellare di Johannes Hevelius (1690), considerato uno dei più bei libri illustrati di ogni tempo. Presso la sede di Merate è presente, inoltre, una biblioteca che raccoglie oltre 6000 libri, per la maggior parte del XX secolo, di astronomia e materie correlate.



*Benemerenzia Civica
comune di Merate.*

L’Osservatorio è stato uno dei primi istituti di ricerca italiani a dotarsi, fin dal 1999, di personale specializzato e professionale per la comunicazione della scienza; vi è quindi un forte impegno per la valorizzazione del patrimonio storico e culturale dell’Osservatorio e per le attività di divulgazione scientifica, con più persone preposte a queste attività. Le visite, le lezioni alle scuole, le attività di divulgazione e le osservazioni notturne al telescopio Ruths (1,3 m) portano all’Osservatorio migliaia di visitatori ogni anno in entrambe le sedi. Inoltre, le conferenze “I cieli di Brera” e il corso di astronomia (sia di base che avanzato) “Universo in Fiore”, sono diventate un appuntamento fisso per i cittadini lombardi, e non solo.

Eccellenti sono anche i rapporti istituzionali e le collaborazioni che l’Osservatorio ha saputo instaurare negli anni con gli enti presenti sul territorio dei due Comuni (e due Province), con le Università locali (e non solo), con la struttura INAF “gemella” nella città di Milano, l’Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica di Milano (IASF-MI), e con le industrie, non solo come committente, ma spesso agendo come incubatore di tecnologie poi ingegnerizzate.



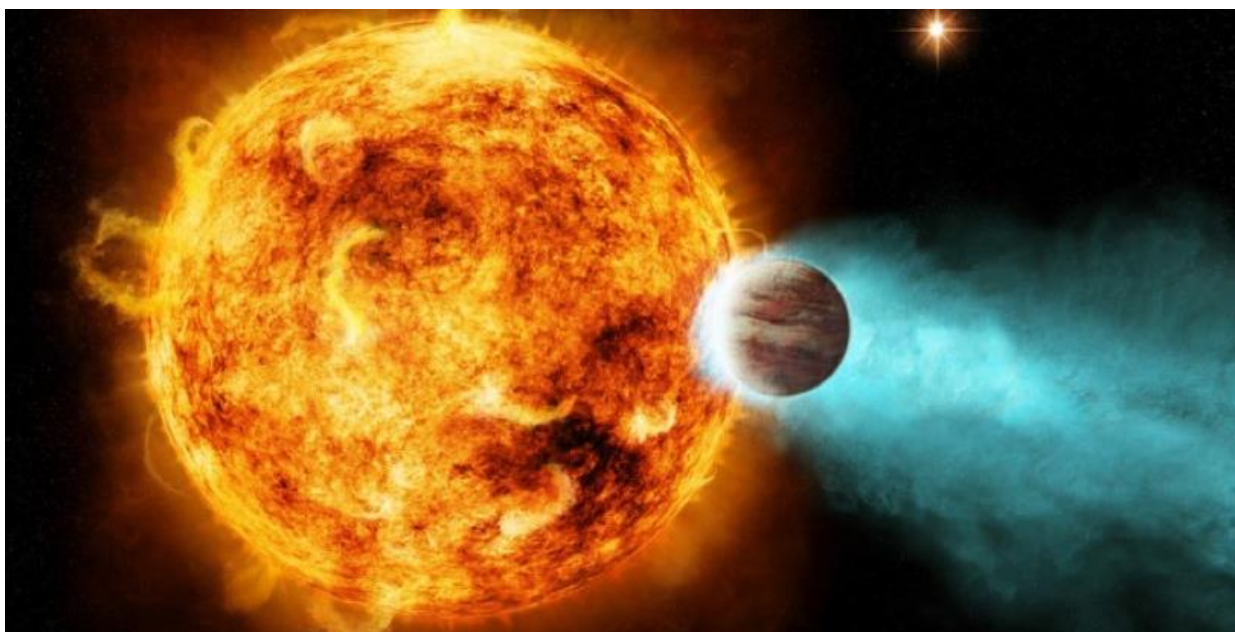
*Ambrogino d’Oro
per Brera*

Il 7 dicembre 2012 il Comune di Milano ha assegnato l'Ambrogino d'Oro di Civica Benemerenzza all'Osservatorio Astronomico di Brera per i suoi 250 anni di storia. Analoga onorificenza era stata assegnata nel 2011 dal Comune di Merate (LC).

2 Ricerca

L'attività di ricerca, condotta usualmente in collaborazione con istituti nazionali ed internazionali, è pienamente in vigore in entrambe le sedi dell'Osservatorio. Quattro i settori di ricerca principali sviluppati negli ultimi decenni: ricerca e studio dei pianeti extra-solari, astronomia extragalattica e cosmologia, astrofisica delle alte energie e relativistica, e sviluppo di tecnologie e strumentazioni per Astrofisica da terra e dallo spazio. Riportiamo di seguito quali sono i quesiti principali a cui stanno cercando di dare risposte i ricercatori e le ricercatrici dell'Osservatorio in questi settori.

2.1 Ricerca e studio dei pianeti extrasolari



L'atmosfera dei pianeti Gioviniani caldi è sottoposta a condizioni di radiazione estreme, e tende a evaporare formando anche code simili a quelle cometarie. Crediti: NASA

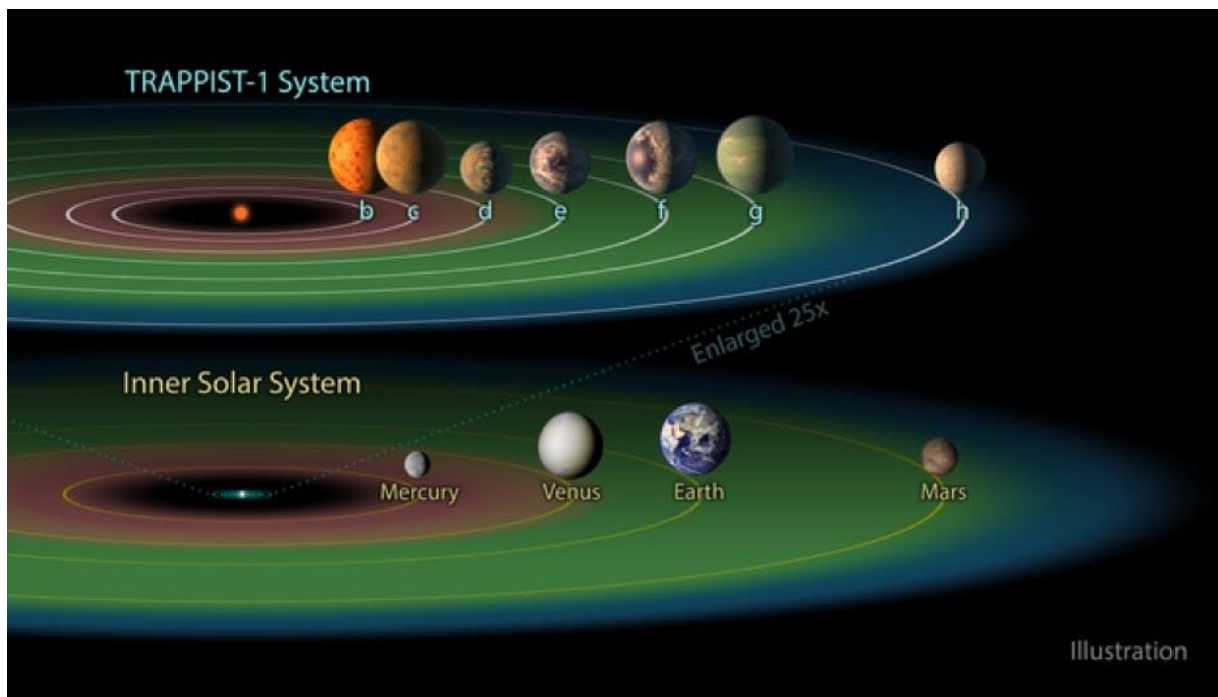
Nel 1995 viene scoperto 51 Pegasi b, il primo pianeta extrasolare (o esopianeta) orbitante intorno a una stella di tipo solare, scoperta premiata con il premio Nobel per la Fisica 2019 ai due astronomi svizzeri Mayor e Queloz. Da quella prima scoperta, il campo di ricerca dei pianeti extrasolari è letteralmente esploso, grazie al suo enorme impatto culturale (argomento che ha sempre incuriosito l'umanità) e scientifico. Con la rivoluzione copernicana, l'uomo ha perso la sua centralità e ha iniziato a porsi la domanda: siamo soli nell'Universo? La ricerca e la caratterizzazione dei pianeti extrasolari è il primo e fondamentale passo verso una possibile (e auspicabile) risposta. Fino a ora ne sono stati scoperti e "certificati" più di 4000, e migliaia di altri candidati sono in attesa di essere confermati, con un numero di candidati che sta crescendo esponenzialmente negli ultimi anni, grazie a molte ricerche sia da terra che dallo spazio, che sfruttano diversi metodi di rivelazione. Per via degli attuali limiti osservativi si trovano, al momento, principalmente pianeti che orbitano vicino alla propria stella ma si è scoperto che i sistemi planetari extrasolari sono molto diversi dal nostro Sistema solare: tanti



*Aria pesante
sull'esopianeta?*

planeti delle dimensioni di Giove con periodo orbitale di pochi giorni e moltissimi sistemi compatti con pianeti la cui dimensione più frequente è quella di super-Terre (esopianeti rocciosi con masse tra 2 e 10 masse terrestri), una classe non presente nel Sistema solare. Tutto ciò avviene attorno a stelle dei più svariati tipi, anche molto diverse dal Sole.

Ora che l'esistenza dei pianeti extrasolari e la loro abbondanza nella nostra Galassia sono punti fermi, l'attenzione della comunità scientifica si sta muovendo in due direzioni: la ricerca di pianeti sempre più piccoli e particolari (per esempio orbitanti nella cosiddetta Zona Abitabile, dove la temperatura del pianeta permetterebbe la presenza di acqua allo stato liquido, con scopo finale la scoperta di un pianeta gemello della Terra) e la caratterizzazione dei sistemi planetari, dagli studi sulla loro formazione alle caratteristiche delle loro atmosfere.



Il sistema Trappist-1 ospita almeno 7 pianeti di tipo terrestre, tutti con un periodo orbitale molto più piccolo rispetto a quello di Mercurio nel Sistema solare. Tre di questi orbitano comunque all'interno della Zona Abitabile, essendo la stella molto più piccola e fredda del Sole. Crediti: JPL/Caltech.

Seguendo il solco tracciato dalle ricerche di astrofisica stellare, l'Osservatorio si è subito posto in prima linea nello studio dei pianeti extrasolari, con il principale interesse rivolto agli studi delle atmosfere eso-planetarie, tramite l'analisi dei dati e della loro successiva interpretazione di osservazioni spettroscopiche ad alta risoluzione. L'obiettivo finale è quello di individuare la presenza di atomi/molecole, nubi/nebbie, venti, etc. Tra i principali progetti e attività in questo campo, spesso in collaborazione con diversi gruppi a livello nazionale e internazionale, citiamo:

- a) progetto GAPS (*Global Architecture of Planetary Systems*): lo studio delle atmosfere, dell'orientamento tra i piani orbitali dei pianeti e dell'asse di rotazione delle stelle, la scoperta e caratterizzazione di sistemi planetari giovani e delle interazioni stella-pianeta possibili grazie agli spettrografi ad alta risoluzione HARPS-N (ottico) e GIANO-B (infrarosso) al Telescopio Nazionale Galileo (isola di La Palma, Canarie);
- b) lo studio delle atmosfere di pianeti Gioviniani e Nettuniani caldi, grazie all'utilizzo dello spettrografo ESPRESSO montato al *Very Large Telescope* dell'ESO in Cile, attualmente il miglior strumento del suo genere (l'Osservatorio ha avuto un ruolo fondamentale nella sua



realizzazione). L'obiettivo è quello di sfruttare al massimo le potenzialità dello strumento e migliorare le tecniche di analisi per arrivare a osservare le atmosfere di super-Terre, molto più piccole e difficili da vedere.



*Elio bollente
nell'atmosfera
di Hd 189733b*

L'Osservatorio è inoltre coinvolto nelle fasi preparatorie della missione spaziale PLATO, una missione ESA (lancio previsto nel 2026) che ha come obiettivo principale la scoperta di pianeti terrestri in Zona Abitabile attorno a stelle simili al Sole. Infine si sta studiando l'estrema attività ultravioletta di particolari tipi di stelle "nane", che essendo piccole permettono di trovare più facilmente pianeti nella loro zona abitabile. Per questo tipo di stelle è importante comprendere se, e come, l'intensa attività ultravioletta possa influenzare l'atmosfera dei loro pianeti e l'eventuale formazione della vita.



2.2 Astronomia extragalattica e cosmologia

Galassie

Le galassie sono sistemi di stelle, gas e polvere legati insieme dalla gravità. Possono contenere da centinaia di milioni a centinaia di miliardi di stelle e avere una forma irregolare, sferoidale o a spirale come la Via Lattea, la galassia di cui fa parte il nostro Sistema solare. Come si sono formate? Quali processi fisici sono intervenuti nel corso del tempo per determinarne le proprietà che oggi osserviamo? Per rispondere a queste domande, il personale di ricerca dell'Osservatorio studia le proprietà fisiche (come età e composizione chimica) in galassie via via più distanti e, pertanto, più lontane nel tempo, nel tentativo di ricostruirne l'evoluzione, dalla loro formazione a oggi, 13,8 miliardi di anni dopo il Big-Bang.

L'Osservatorio è attualmente coinvolto in alcuni progetti, che potrebbero permettere tale ricostruzione temporale tramite il confronto delle proprietà di particolari tipi di galassie nell'Universo locale (un tipico esempio è la galassia Cartwheel, la cui forma anomala si pensa possa essere la conseguenza di un urto con altre galassie avvenuto in tempi passati), con quelle di circa 25000 galassie (progetto StePS con lo strumento WEAVE) a una distanza da noi corrispondente a 7 miliardi di anni dopo il Big Bang (quando l'Universo aveva circa il 50% dell'età attuale) per finire con le proprietà di galassie di grande massa in epoche ancora più remote. È questo il caso, ad esempio, di C1-23152, una galassia già formata quando l'Universo aveva meno del 13% dell'età attuale. Le osservazioni estremamente profonde condotte con il *Large Binocular Telescope* (LBT) in Arizona (di cui INAF è proprietario) hanno permesso di ricostruire la sua genesi ponendo in discussione addirittura alcuni aspetti dei modelli di formazione delle galassie attualmente accettati.



*Quella galassia s'è
fatta tutta da sé*

Buchi neri supermassicci

Il recente premio Nobel 2020 per la Fisica è stato assegnato per studi sui “buchi neri”², la cui realtà fisica, grazie alle molte evidenze osservative e alla recente rivelazione delle onde gravitazionali (argomento del premio Nobel per la Fisica 2017), è oramai assodata. L’Osservatorio ha raggiunto, negli ultimi anni, importanti risultati in ricerche relative alla formazione ed evoluzione dei buchi neri supermassicci, ovvero dei buchi neri con masse che vanno da un milione a un miliardo di volte la massa del nostro Sole. Questi “mostri” si trovano al centro di molte (forse tutte) le galassie, tra cui anche la nostra Via Lattea.

Le domande chiave a cui rispondere sono: come si sono formati questi giganti? Accrescendo sempre più materia partendo da un buco nero di massa più piccola o dalla fusione di due o più buchi neri precedenti? Che ruolo hanno (o stanno avendo) nell’evoluzione delle galassie che li ospitano? Sono diversi i filoni di ricerca in corso all’Osservatorio in questo ambito.

Buchi neri supermassicci nell’Universo primordiale

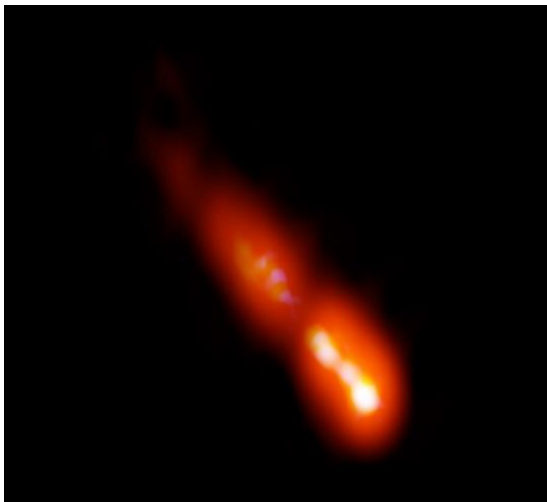


Immagine radio presa dal telescopio americano VLBA delle zone centrali della galassia primordiale PSOJ0309+27. Crediti: Spingola et al.; Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF.

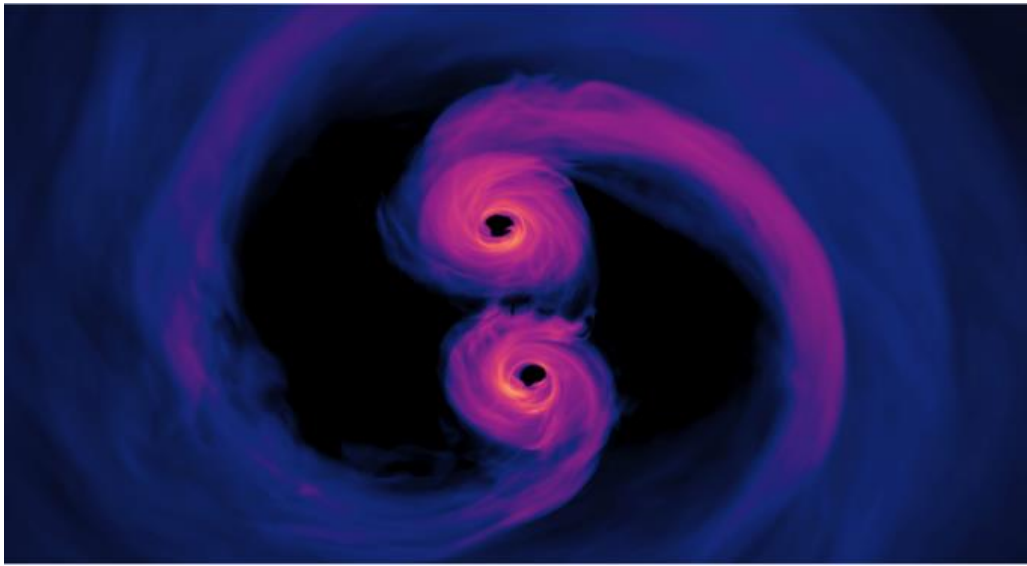
Come erano fatti i buchi neri supermassicci presenti nelle galassie primordiali, ovvero quelle galassie che esistevano quando l’Universo aveva meno del 10% dell’età attuale? In figura è riportata un’immagine presa nelle onde radio di una di queste galassie “primordiali”, scoperta dai ricercatori dell’Osservatorio nel 2020. Il buco nero, non direttamente visibile nell’immagine, si trova in corrispondenza della zona più brillante in basso a destra e ha una massa di circa 500 milioni di masse solari. L’esistenza di buchi neri così massicci in epoche primordiali è difficile da conciliare con le attuali teorie, che necessitano quindi una profonda revisione.



Ritratto del blazar più lontano che c’è.

²Un buco nero è un corpo celeste con un campo gravitazionale così intenso da non lasciare sfuggire né la materia né la radiazione elettromagnetica (cioè la luce) essendo la velocità di fuga superiore alla velocità massima fisicamente e teoricamente possibile, la velocità della luce.

Coppie di buchi neri supermassicci



*Immagine riprodotta al computer del balletto cosmico di due buchi neri.
Crediti: NASA's Goddard Space Flight Center*

Secondo la teoria cosmologica standard, le galassie vengono assemblate nel tempo mediante scontri parossistici che hanno come risultato la formazione di una galassia più grande. Ma cosa succede ai buchi neri centrali durante tali scontri? Si cerca di rispondere a questa domanda con osservazioni condotte nella banda infrarossa con il telescopio LBT in Arizona e nei raggi X con il satellite *Neil Gehrels* Swift. L'obiettivo è quello di identificare coppie di buchi neri supermassicci, in diverse fasi di avvicinamento reciproco, la cui fusione finale dovrebbe dare vita a un buco nero ancora più grande. Il loro "balletto cosmico", prodromo alla fusione, dovrebbe produrre onde gravitazionali che potranno essere rivelate da future missioni spaziali in via di studio, quali la missione ESA *Laser Interferometer Space Antenna* (LISA, lancio previsto nel 2037) o la missione *Lunar Gravitational Wave Antenna* (LGWA, studio delle onde gravitazionali per mezzo di sismografi lunari); in quest'ultimo progetto l'Osservatorio è coinvolto fin dalle sue fasi iniziali.



*L'abbraccio fatale
di una coppia di mostri*

Impatto dei buchi neri sulla vita delle galassie

Studiando le proprietà dell'ambiente immediatamente circostante ai buchi neri supermassicci (attraverso osservazioni principalmente in banda X) e delle galassie che li ospitano (attraverso osservazioni nella banda millimetrica), si è riusciti a dimostrare che, in casi estremi, il buco nero centrale può rimuovere parte del gas della galassia attraverso la produzione di venti con velocità prossime a quelle della luce. Questi fenomeni, fondamentali da capire per comprendere la successiva evoluzione delle galassie, possono sia ridurre temporaneamente l'attività stellare sia agire da "regolatori" della crescita del buco nero centrale. A sua volta la galassia funge da calamita gravitazionale, attraendo nuovo gas dall'esterno e canalizzandolo in parte verso il buco nero centrale, in un ciclo continuo di espulsione e accrescimento di gas. Gli studi condotti fino a ora rivelano quindi un ruolo fondamentale dei buchi neri centrali nell'evoluzione delle galassie e suggeriscono che senza di essi le galassie sarebbero molto diverse da quelle che conosciamo oggi.

Giganti golosi



*Immagine della galassia ad anello
NGC922 osservata con telescopi
spaziali*

Oltre ai buchi neri supermassicci appena discussi esistono buchi neri più piccoli, di massa circa stellare. Tutti crescono “catturando” la materia circostante, attraverso una struttura a disco o direttamente dalla stella compagna, come nel caso di alcuni sistemi binari; capire la velocità con cui accrescono materia è uno dei tasselli mancanti per la loro comprensione. Un altro tassello mancante è l'apparente assenza, nelle osservazioni condotte fino a ora, di buchi neri di taglia intermedia (con masse da centinaia a migliaia di masse solari) che, dal punto di vista teorico-modellistico, agevolerebbero la formazione dei giganteschi buchi neri primordiali. Per indagare questi fenomeni, ricercatrici e ricercatori dell'Osservatorio studiano un sottoinsieme di galassie estreme e spettacolari: le galassie ad anello, prodotte da una collisione violenta tra due galassie. Queste contengono numerose sorgenti

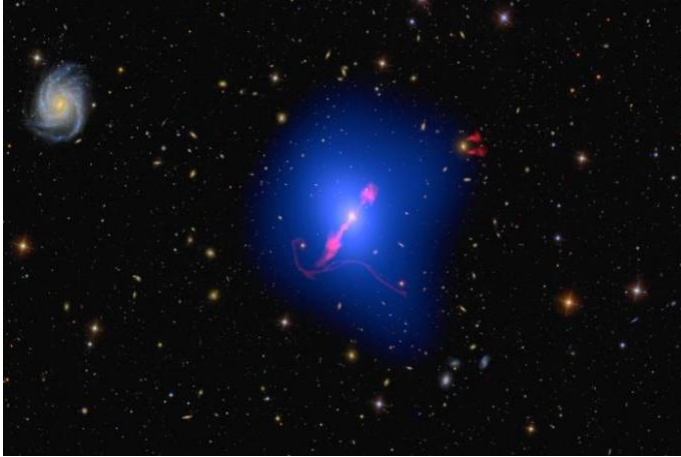
estremamente luminose (chiamate ULX): stelle binarie che producono un'emissione di raggi X, dovuta all'accrescimento, molto superiore a quanto ci aspetterebbe, violando così il cosiddetto limite di Eddington³. Lo studio delle ULX è uno dei campi di indagine più promettenti per comprendere se (e come) questo stato di “ingordigia” dei buchi neri possa aver prodotto anche i buchi neri supermassicci primordiali.

Ammassi di galassie

Gli ammassi di galassie sono le strutture cosmiche più grandi legate dalla gravità che si conoscono al momento; si formano per aggregazione di gas, galassie e materia “oscura”, che si muovono al loro interno e interagiscono vicendevolmente. Coprono dimensioni enormi, dell'ordine del milione di pc⁴, ossia lo spazio percorso dalla luce in circa 3.3 milioni di anni, con masse totali di centinaia di migliaia di miliardi di masse solari. Gli ammassi sono laboratori ideali dove studiare l'evoluzione del gas caldo che li permea e dell'interazione tra (e con) le galassie. Per poter comprendere come si siano formati ed evoluti nel corso del tempo cosmico, diverse linee di ricerca all'Osservatorio sono indirizzate alla scoperta e catalogazione di ammassi di galassie a distanze via via sempre maggiori, e quindi, via via più giovani di età. I mezzi utilizzati sono dati osservativi in varie bande dello spettro elettromagnetico (ottico, infrarosso e nei raggi X) ottenute usando i più grandi e moderni telescopi da terra e dallo spazio disponibili al momento. Fino al 2020 la scoperta dell'ammasso più lontano conosciuto (JKCS041), e quindi osservato durante la sua primissima infanzia, si deve a personale di ricerca dell'Osservatorio, così come la caratterizzazione delle sue componenti principali osservabili (gas e galassie).

³Il limite di Eddington è un limite naturale alla luminosità di un corpo sferico, come per esempio una stella, in equilibrio tra la forza di gravità (attrattiva) e la pressione di radiazione (cioè della luce) che tenderebbe a farlo espandere.

⁴ 1 pc equivale a 3.26 anni luce, cioè alla distanza percorsa dalla luce in 3.26 anni, 3.08×10^{16} metri.



L'ammasso di galassie CL2015 al centro dell'immagine (a sinistra si vede anche la galassia NGC 309). Crediti: NASA/Swift, NCRA/Gmrt, SDSS, B. Franke, S. Andreon

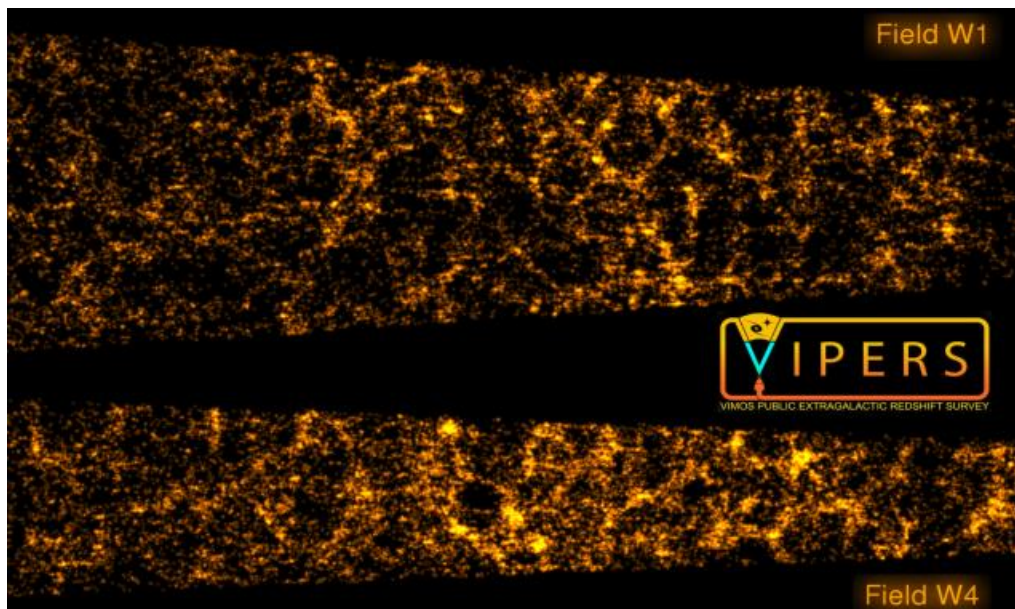
Le indagini dell'Osservatorio sugli ammassi di galassie non si esauriscono con la ricerca e studio di singoli oggetti, ma sono arricchite dalle investigazioni sulle loro proprietà medie; di particolare rilevanza lo studio di campioni rappresentativi di ammassi di galassie al fine di determinare la temperatura, pressione del gas e contenuto in elementi chimici presenti nelle diverse zone dell'ammasso, dal centro alla periferia.

Questi studi hanno beneficiato sia di nuovi strumenti di analisi nell'ambito dell'astro-statistica sia dello sfruttamento di dati appositamente presi con satelliti ad energie X, quali XMM-Newton (ESA) e *Neil Gehrels* Swift. Attualmente l'attenzione si sta anche concentrando sulle proprietà di ammassi sfuggiti ai grandi censimenti astronomici condotti fino a ora per capire perché, quanto e in cosa essi si differenziano dagli altri.



Scoperto un ammasso insolitamente depresso

Struttura dell'Universo a grande scala e Cosmologia



Mappa della distribuzione delle galassie così come era 8 miliardi di anni fa e che mostra la "ragnatela" cosmica. Crediti: A. Iovino e VIPERS Team

L'Osservatorio è stato ed è attualmente coinvolto in grandi progetti per mappare la struttura a grande scala dell'Universo e comprenderne l'origine. Grazie al progetto VIPERS è stato

possibile ricostruire una mappa dettagliata della distribuzione delle galassie così come era 8 miliardi di anni fa, quando l'Universo era a meno di metà del suo percorso evolutivo dopo il Big Bang. La grande area di cielo osservata (125 volte l'area coperta in cielo dalla Luna) ha permesso di descrivere in dettaglio la “ragnatela cosmica” sulla quale si distribuiscono le galassie, i cui nodi sono occupati dagli ammassi di galassie, e le enormi regioni vuote tra di essi. Questa ricchezza di strutture è plasmata dalla quantità totale di energia e materia presenti nell'Universo ed è quindi un preciso indicatore del ruolo giocato dalla materia oscura ed energia oscura. Nello specifico, le misure statistiche della distribuzione spaziale delle galassie in VIPERS hanno mostrato che il tasso di crescita delle strutture cosmiche è in linea con le previsioni della relatività generale. Nel contempo, grazie alla sua combinazione unica di profondità e grande volume, VIPERS ha misurato con grande precisione come sono evolute le galassie di grande massa negli ultimi 9 miliardi di anni di storia dell'Universo. L'Osservatorio è coinvolto, fin dalla sua ideazione iniziale, nel progetto Euclid, la prossima missione cosmologica dell'ESA. Il satellite Euclid, il cui lancio è previsto nel 2022, costruirà in sei anni una mappa della materia oscura e delle galassie nell'Universo grazie ad un simultaneo mosaico di immagini e spettroscopia su più di 1/3 del cielo. Le misure di Euclid permetteranno di rispondere a domande chiave del modello cosmologico standard, con profonde implicazioni anche per la fisica fondamentale: come si sono formate le grandi strutture nell'Universo? quale



Euclid. Crediti: ESA

è la natura della materia oscura? Cosa provoca l'accelerazione cosmica? È la famosa costante cosmologica di Einstein, oppure un campo di energia che evolve nel tempo? Quale è la massa dei neutrini? Quale era la natura delle fluttuazioni primordiali da cui hanno avuto origine le galassie?

2.3 Astrofisica delle alte energie e relativistica

Negli ultimi anni l'astrofisica è stata protagonista di una nuova stagione esaltante. “Non solo fotoni”, potremmo chiamarla. Il 14 settembre 2015, infatti, sono state finalmente rivelate le onde gravitazionali, oscillazioni del “tessuto” spazio-tempo, prodotte dalla fusione di due buchi neri e solo due anni dopo, il 17 agosto 2017, si è assistito alla fusione di due stelle di neutroni, osservando simultaneamente sia le onde gravitazionali che quelle elettromagnetiche.



Un buco nero supermassiccio al centro di una galassia espelle un getto relativistico che incanala verso di noi fotoni, neutrini e raggi cosmici



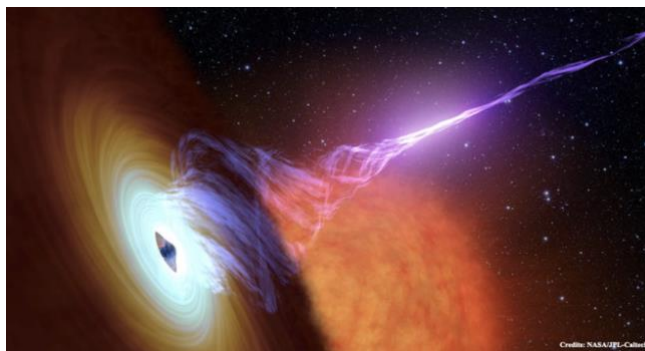
*Getto relativistico
dopo l'onda
gravitazionale*

Un mese dopo, uno strumento immerso nei ghiacci dell'Antartide (progetto ICEcube) è riuscito a identificare con precisione la direzione di provenienza di un neutrino super-energetico, aprendo la caccia al corpo celeste dal quale proveniva. Con queste scoperte è cominciata una nuova era, quella dell'astronomia "multi-messaggera", foriera di nuove inimmaginabili scoperte e che permetterà di investigare le zone più oscure del cosmo, grazie a onde gravitazionali e neutrini, che riescono a viaggiare indisturbati e senza essere assorbiti dal materiale presente lungo il percorso. Le energie in gioco sono colossali e l'Universo stesso diventa il nostro laboratorio per sperimentare la nostra comprensione della Fisica fondamentale.

Il nostro Osservatorio partecipa a questo filone di ricerca da indiscusso protagonista, riconosciuto a livello internazionale.

Seconda vita delle stelle, dischi di accrescimento e getti

Le stelle molto massicce terminano la loro vita con un'esplosione di supernova dando origine a oggetti estremamente densi e "compatti", come stelle di neutroni e buchi neri. Quando questo avviene in un sistema binario l'oggetto compatto può strappare materia alla stella compagna e accrescere, dando luogo all'emissione di raggi X di alta energia. Il fenomeno dell'accrescimento è simile per i buchi neri e le stelle di neutroni; questa similitudine si estende anche su scale molto più grandi con l'accrescimento sui buchi neri super-massicci al centro delle galassie "attive" di cui abbiamo già parlato.



Il processo di accrescimento su un buco nero genera una forte emissione nei raggi X

Non tutto il gas in accrescimento finisce tuttavia sulla superficie della stella di neutroni o oltre l'orizzonte degli eventi del buco nero. Sotto certe condizioni, una frazione anche considerevole di questo gas viene espulsa dal sistema sotto forma di getti di materia (elettroni, nuclei atomici, i cosiddetti raggi cosmici, e neutrini) accelerata a velocità prossime a quella della luce. Quale è il processo che porta all'espulsione, accelerazione e collimazione di questi getti? Quali sono i possibili effetti di questi "getti cosmici" quando puntano dei pianeti abitabili da distanze ravvicinate? Sono capaci di sterilizzare qualsiasi forma di vita?

L'Osservatorio è impegnato, attraverso l'analisi dei dati e l'interpretazione teorica, su tutti i fronti sopra accennati, sia per lo studio dell'emissione proveniente dalla materia in accrescimento (in sistemi binari o al centro di galassie) sia per quello dei getti di materia.

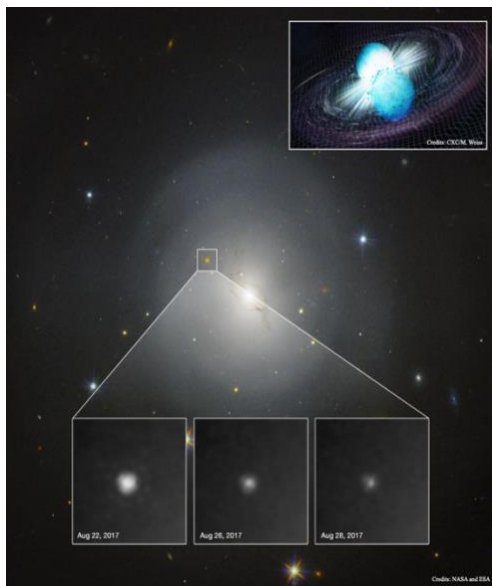


*La stele di Rosetta
dei lampi gamma*

Acceleratori di particelle

L'osservazione del cielo con strumenti sensibili ai raggi gamma (cioè fotoni di alta energia) e alle particelle energetiche (elettroni, nuclei atomici e neutrini) sta rivelando l'esistenza di potentissimi "motori" cosmici capaci di portare le particelle a energie enormi. Le energie misurate sono ordini di grandezza superiori a quanto è possibile raggiungere con gli strumenti costruiti dall'uomo per investigare il mondo subatomico. Infatti, l'acceleratore più potente in funzione, il "Large Hadron Collider" al CERN di Ginevra, costruito con le tecnologie più avanzate oggi disponibili, permette al massimo di portare nuclei atomici a energie che sono comunque miliardi di volte più piccole di quelle associate ai raggi cosmici più energetici. L'Universo contiene acceleratori naturali molto più efficaci! Ma qual è la natura di queste sorgenti di particelle? E quali sono i meccanismi fisici grazie ai quali riescono a incanalare tanta energia in una singola particella? Un ruolo rilevante potrebbe essere giocato dai getti di plasma associati ai buchi neri supermassicci nei nuclei delle galassie attive. Grazie alla lunga esperienza acquisita nello studio dei getti relativistici, l'Osservatorio si trova in prima linea in questo campo di indagine, sia riguardo alla parte teorica/interpretativa (elaborazione di modelli) che osservativa, attraverso l'uso di telescopi in grado di rivelare raggi gamma di altissima energia, indizio della presenza di particelle estremamente energetiche.

Fusioni Cosmiche



La fusione di due stelle di neutroni ha prodotto un'onda gravitazionale (riquadro in alto) e una kilonova, la sua controparte elettromagnetica

2017, il nostro Osservatorio è pronto per la nuova sfida: la caccia alla luce prodotta dalla fusione di una stella di neutroni e di un buco nero, mai vista finora, sfruttando i satelliti in orbita, fra cui *Neil Gehrels* Swift e Fermi, e i più grandi telescopi sulla terra, per esempio LBT in Arizona o VLT dell'ESO in Cile.

Se una stella di neutroni orbita attorno a un'altra stella (o a un'altra stella di neutroni), esse perdono energia, si avvicinano e quindi si fondono. La fusione finale produce una quantità colossale di energia sotto varie forme: una frazione rilevante va in onde gravitazionali, come quelle rivelate nell'agosto 2017, mentre un'altra parte si pensa possa servire per accelerare materia in due getti che viaggiano quasi alla velocità della luce. Una piccola parte della massa del sistema viene tuttavia espulsa andando a formare una kilonova (simile a una supernova, ma meno brillante), arricchita dagli elementi più pesanti (tra cui oro, argento e platino), appena creati nella fusione delle due stelle. Quali sono i processi fisici alla base dell'esplosione? Come evolve successivamente il sistema? Oltre ad aver partecipato attivamente, e con successo, agli studi dell'evento dell'agosto



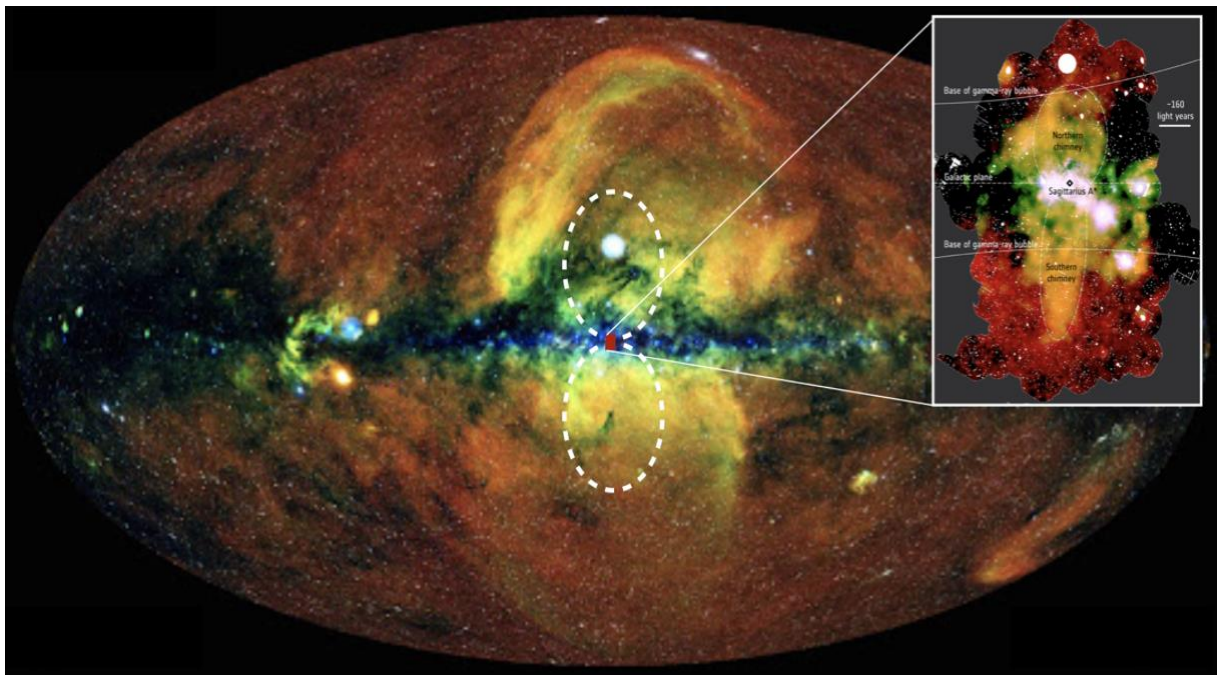
Spaghetti di stella per il buco nero

Raggi X dalla Via Lattea



*Sterminata clessidra di
gas caldo nella Via
Lattea*

Un filone di indagine in Osservatorio ha recentemente ricevuto un importante finanziamento dal Consiglio della Ricerca Europea (ERC). Il fine principale del progetto è quello di studiare il gas caldo presente nella nostra galassia utilizzando le mappe di tutto il cielo fatte dallo strumento per l'astronomia X eROSITA. Il filone, estremamente promettente, ha già rivelato due bolle enormi di gas caldo che raggiungono scale dell'ordine di 15000 pc, e quindi con dimensioni paragonabili all'intera Via Lattea. Ci si aspetta molto ancora da scoprire nei prossimi anni...



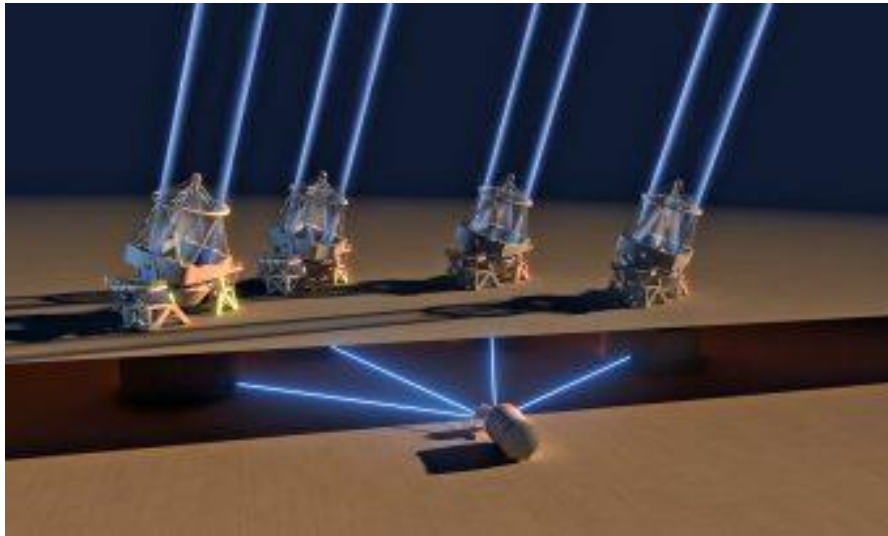
La mappa in banda X della nostra Galassia, osservata dal satellite eROSITA, ha rivelato la presenza di plasma caldo che avvolge la Via Lattea. Lo studio dettagliato della zona centrale della Galassia evidenzia la presenza di una colonna di gas caldo (vento) che si crea nelle zone più interne della Via Lattea, come rivelato in precedenza sulla base di osservazioni condotte con il satellite dell'ESA XMM-Newton, su scale dell'ordine di 100-200 pc. Crediti: MPE/IKI. Inset: ESA/XMM-Newton/G. Ponti et al

2.4 Sviluppo di tecnologie e strumentazioni per Astrofisica da Terra e dallo Spazio

La produzione di risultati scientifici di eccellenza è strettamente legata alla qualità e versatilità della strumentazione a disposizione della comunità astronomica, sia su telescopi da terra che dallo spazio. Da molti anni l'Osservatorio collabora, spesso ricoprendo posizioni di leadership, con consorzi internazionali per l'ideazione, la progettazione, la costruzione e l'integrazione di strumentazione innovativa, rivestendo al contempo anche ruoli di management e di supporto all'industria italiana. Tutte le attività tecnologiche sotto descritte, e che a volte necessitano di supporti economici rilevanti, sono state sostenute negli anni da finanziamenti dedicati da parte dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), dell'Osservatorio Europeo Australe (ESO), dell'Unione Europea (UE), del Ministero dell'Università e Ricerca (MUR) e/o di INAF, di Regione Lombardia e Fondazione Cariplo e altre ancora.

Strumentazione e attività per astronomia da Terra

L'Osservatorio, particolarmente attivo nella produzione di strumenti per spettroscopia a bassa e alta risoluzione nelle bande spettrali dall'ultravioletto all'infrarosso, ultimamente si sta impegnando anche nella realizzazione di sistemi di supporto per le ottiche adattive⁵ (per esempio lo strumento MAORY per ESO-ELT), diventando un punto di riferimento per la comunità astronomica nazionale e internazionale nella realizzazione di sistemi innovativi per astronomia ottica da Terra. Tutte queste competenze garantiscono un contributo significativo agli astronomi, ai quali è chiesto di far fronte alle nuove sfide scientifiche che caratterizzano le maggiori linee di ricerca internazionali.



Rappresentazione schematica di come la luce raccolta dai quattro telescopi del VLT dell'ESO viene combinata nello strumento ESPRESSO, che si trova al di sotto della piattaforma del VLT. Crediti: ESO/L. Calçada

Come esempio rappresentativo citiamo lo strumento ESPRESSO, uno spettrografo⁶ ottimizzato per l'osservazione di esopianeti, alla cui realizzazione l'Osservatorio ha contribuito in maniera fondamentale sin dalle prime, importanti, fasi iniziali. Il principale obiettivo dello strumento ESPRESSO, sintesi tra le aspettative scientifiche e le possibilità tecnologiche, era realizzare un sistema con stabilità mai raggiunte prima in ambito astronomico: capace di caratterizzare l'orbita di un esopianeta attorno alla sua stella misurando lo spostamento dell'immagine dispersa con precisioni mai raggiunte prima. L'Osservatorio ha coordinato le attività sia nell'ambito della progettazione che dell'ingegneria di sistema, curando con particolare attenzione tutti gli aspetti di interfaccia con la controparte "scientifica" per assicurare che tutti i requisiti propriamente scientifici venissero soddisfatti. Un ruolo significativo è stato giocato nella progettazione, acquisizione e integrazione di alcune parti optomeccaniche e mecatroniche, sia di grandi dimensioni (specchi) che di dimensioni molto piccole (fibre ottiche). L'integrazione dell'intero strumento è avvenuta a Ginevra presso il locale Osservatorio (parte dell'Università di Ginevra, l'altro partner strategico del progetto), con un



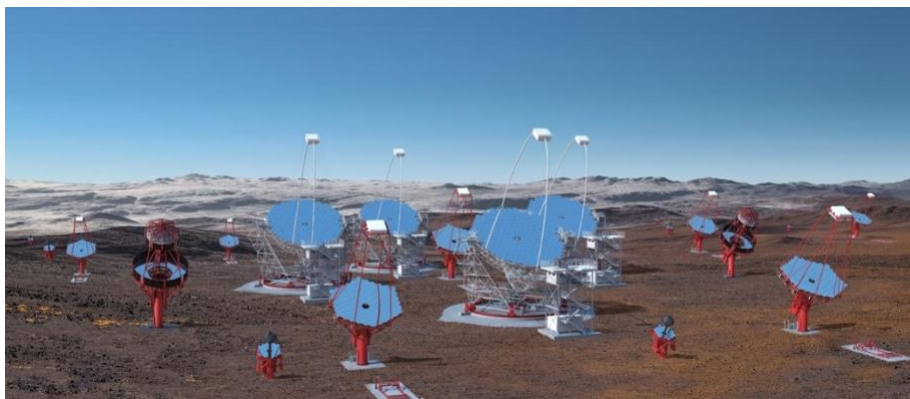
*Esopianeti, un
Espresso vi
stanerà*

⁵ Una delle moderne tecniche, in cui l'Italia è all'avanguardia, utilizzate dai telescopi terrestri per contrastare l'effetto della turbolenza atmosferica che degrada le immagini limitando il potere risolutivo del telescopio.

⁶ Uno spettrografo è uno strumento capace di analizzare la luce in base alle sue frequenze, grazie alla presenza di elementi ottici in grado di disperdere la radiazione luminosa (prismi, reticoli di diffrazione, etc..).

supporto costante da parte del personale dell'Osservatorio. Tale supporto è poi proseguito durante l'installazione finale di ESPRESSO al *Very Large Telescope* dell'ESO in Cile. ESPRESSO è attualmente lo strumento osservativo più grande al mondo poiché capace di combinare simultaneamente la luce dai 4 telescopi VLT dell'ESO e il gruppo di esoplanetologia dell'Osservatorio ha potuto quindi accedere a dati scientifici attualmente all'avanguardia.

Continuando nella tradizione degli spettrografi, l'Osservatorio è ora fortemente coinvolto nello spettrometro ad alta risoluzione HIRES per ESO-ELT, nello spettrografo WEAVE per il WHT-Telescope alle Canarie e nello sviluppo dello spettrografo SOXS (il responsabile scientifico dello strumento è un ricercatore dell'Osservatorio e lo sviluppo dello spettrografo è coordinato in loco con il contributo di altri istituti INAF) che verrà montato al telescopio ESO-NTT a La Silla.



Rappresentazione artistica del CTA

La partecipazione scientifica e tecnologica ai progetti che studiano fotoni gamma ad altissime energie (nella regione dei TeV, 10^{12} eV), tramite telescopi che sfruttano l'effetto Cherenkov⁷, è diventata una forte priorità per l'Osservatorio. Insieme alla ditta Media Lario di Bosisio Parini, l'Osservatorio ha sviluppato una tecnologia per la realizzazione di specchi di materiale composito (fogli di vetro insieme a una struttura a nido d'ape in alluminio) tramite processo di formatura a freddo; con questa tecnologia sono stati già realizzati gli specchi dei telescopi Cherenkov MAGIC I e II. L'istituto ha inoltre coordinato lo sviluppo del prototipo ASTRI-Horn (ora pienamente funzionante presso Serra La Nave-CT, alle pendici dell'Etna) e sta ora coordinando la fase implementativa del progetto ASTRI Mini Array, una schiera di telescopi Cherenkov in costruzione a Tenerife (Isole Canarie). Questi progetti stanno assumendo un ruolo sempre più importante nell'ambito del più ambizioso progetto CTA, soprattutto per quanto riguarda l'implementazione dei *Small Size Telescopes* (almeno 40 telescopi di 4 metri di diametro ciascuno), con un impegno delle strutture INAF, tra cui l'Osservatorio e IASF-MI, molto rilevante.



Astri Mini-Array

⁷ Questo effetto consiste nell'emissione di una radiazione luminosa di un caratteristico colore azzurro e avviene quando particelle subatomiche viaggiano a velocità maggiori di quelle della luce nel mezzo.



ASTRI-Horn presso Serra La Nave, alle pendici dell'Etna



ASTRI-Horn

Strumentazione e attività per astronomia dallo Spazio

L'Osservatorio è da alcuni decenni impegnato nello sviluppo di progetti di astrofisica dallo spazio. In particolare, ha una tradizione più che trentennale di ricerca e sviluppo in astronomia nei raggi X, tradizione derivante dal rapporto "privilegiato" che l'Osservatorio ha avuto con Riccardo Giacconi, uno dei padri di questo filone astronomico e premio Nobel per la Fisica nel 2002. Le ricerche dallo spazio in astronomia delle alte energie sono di grande impatto, scientifico e mediatico, perché permettono di studiare sia fenomeni relativistici specifici di oggetti compatti (stelle di neutroni, buchi neri) e resti di supernova in espansione sia aspetti cosmologici non facilmente evidenti in altre bande spettrali, come la distribuzione della materia barionica presente negli ammassi di galassie. In diverse missioni in banda X di successo il contributo dell'Osservatorio è stato fondamentale, se non determinante. L'Osservatorio in collaborazione con ASI, la ditta Media Lario di Bosisio Parini e l'Istituto IASF-MI di Milano ha messo a punto la tecnica di replica di specchi in nichel⁸, prima utilizzata per la missione nazionale Beppo-SAX, e successivamente per la missione ESA XMM-Newton. L'ottica del telescopio per raggi X a bordo del satellite NASA *Neil Gehrels* Swift è stata realizzata con questa tecnologia sotto la responsabilità dell'Osservatorio. L'Osservatorio sta inoltre partecipando all'implementazione delle ottiche a pori in silicio per ATHENA, la futura missione dell'ESA dedicata all'astronomia in raggi X, forse la missione più complessa mai realizzata dall'Agenzia Spaziale Europea. A questo riguardo sta fornendo a ESA il supporto per le attività di progettazione, simulazioni e calibrazioni. Degno di nota il fatto che ESA abbia incaricato l'Osservatorio di progettare e implementare due apparati (BEaTriX, e Vert-X) per la calibrazione degli specchi X di ATHENA, entrambi realizzati su concetti innovativi del nostro osservatorio atti a fornire un fascio di raggi X collimato, integrati dalle attività di SIMPOSIUM, una software suite per la simulazione delle prestazioni del telescopio ATHENA. In particolare BEaTriX è in fase avanzata di realizzazione presso i laboratori di Merate. Lo specchio parabolico è stato realizzato a Merate con tecniche sofisticate di lavorazione degli specchi in cui l'Osservatorio è all'avanguardia a livello internazionale. Grazie al supporto di ESA, di ASI e INAF si stanno al momento anche studiando tecniche realizzative - basate sulla formatura a caldo e a freddo di fogli di vetro con spessore pari a una frazione di millimetro e lavorazioni ottiche dirette applicate su substrati monolitici e segmentati - in vista di future missioni come eXTP (CNSA), LYNX (NASA) e NGHXT (JAXA).



ATHENA allo specchio

⁸ <http://www.inaf.it/it/notizie-inaf/il-presidente-dell2019inaf-in-visita-a-media-lario#null>



L'apparato BEaTriX in fase di realizzazione a Merate

Oltre alle attività legate all'astronomia in banda X, l'Osservatorio è impegnato nello sviluppo di missioni spaziali che operano nelle bande del visibile e infrarosso. A questo proposito, Euclid, missione ESA con lancio previsto nel 2022, è stata realizzata anche grazie al contributo dell'Osservatorio, che ne ha concepito lo spettrometro. Altri progetti, svolti in collaborazione con l'ASI e la Regione Lombardia, mirano a trasferire tecnologie sviluppate per l'astrofisica alle applicazioni di osservazione della Terra, come per esempio monitorare i ghiacciai delle Alpi.

Tecnologie Astronomiche

Le tecnologie costituiscono l'elemento chiave della competitività e avere strumentazione all'avanguardia, spesso realizzata con tecniche innovative, è fondamentale per favorire collaborazioni scientifiche.

L'Osservatorio è impegnato nell'utilizzo di metodi innovativi per la lavorazione ottica di specchi e lenti di grande dimensione con strumentazione all'avanguardia presente in Osservatorio implementata tramite finanziamenti specifici del Ministero dell'Università e Ricerca. Nell'ambito delle ottiche per raggi gamma soffici, da utilizzare in ambito spaziale, l'Osservatorio sta anche sviluppando, in collaborazione con l'Università di Ferrara, lenti basate sulla diffrazione da cristalli naturali in trasmissione (le lenti di Laue).

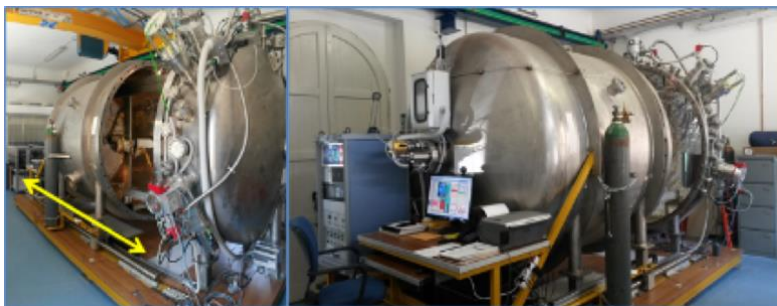


Ologrammi hi-tech per studiare le stelle, e non solo.

È anche attiva una linea di ricerca che mira allo studio di nuovi materiali per applicazioni in ottica con particolare riguardo al loro possibile utilizzo in strumentazione astronomica. Si studiano materiali per olografia, mediante i quali sono stati già realizzati sistemi disperdenti montati sui diversi spettrografi di piccole e medie dimensioni. In collaborazione con il Politecnico di Milano si stanno studiando materiali innovativi (fotocromici e fotopolimerici) per la realizzazione di elementi olografici riscrivibili (*Computer Generated Hologram*) e reticoli di diffrazione (*Volume Phase Holographic Gratings*) che trovano applicazione nella metrologia di sistemi ottici complessi e in molti spettrografi astronomici. Tali ricerche, di grande rilevanza in ambito astronomico viste le loro possibili applicazioni, sono state finanziate dal progetto europeo OPTICON (Eu FP-7 e H2020), da ESO e da diversi progetti industriali legati alla Regione Lombardia.

3 Laboratori

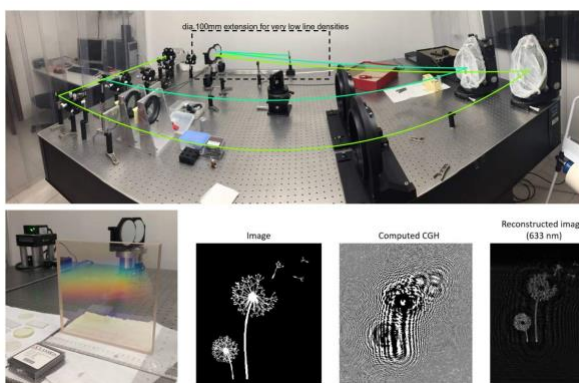
Come già detto le tecnologie, specialmente se di nuova concezione, costituiscono l'elemento chiave della competitività, e avere strumentazione scientifica all'avanguardia è fondamentale per favorire collaborazioni bilaterali con altri paesi. Per svolgere le attività richieste l'Osservatorio si è dovuto dotare negli anni di apparecchiature e strumentazione di laboratorio di elevata qualità, diventando così la sede di uno dei laboratori meglio forniti all'interno dell'INAF; in particolare sono a disposizione, nella sua sede di Merate, camere a vuoto, camere pulite, laboratori ottici di olografia, macchine per lavorazioni di ottiche, strumenti di metrologia, un laboratorio chimico e una officina meccanica⁹. La gran parte di queste apparecchiature e strumentazioni, realizzate e acquisite nell'ambito di programmi finanziati con fondi MUR, ASI, INAF, ESA, NASA, hanno caratteristiche peculiari e/o sono di difficile reperimento anche a livello internazionale. Per esempio, la partecipazione a molti progetti legati allo sviluppo di ottiche, di interesse di diverse altre strutture INAF, enti e Università italiane, è stata resa possibile grazie all'accoppiamento di una macchina Zeeko (con capacità di lavorazione fine assai spinta) e di una macchina *Ion Beam Figuring*. Questo accoppiamento in uno stesso luogo fisico, unico nel suo genere, dà la capacità di lavorare con altissima precisione superfici ottiche fino a dimensioni di 1,4 m di lato, permettendo di giocare un ruolo di punta nello sviluppo di ottiche sia nell'ambito dell'astronomia X che di quella ottico/infrarosso vicino, in particolare per il progetto *Extremely Large Telescope* (ELT) dell'ESO.



Facility per Ion Beam Figuring



Macchina Zeeko



Setup olografico per scrivere reticoli olografici di volume. Esempio di reticolo di grandi dimensioni. Registrazione di un Computer Generated Hologram (CGH) e sua ricostruzione.

⁹Si veda il documento “*Apparecchiature e strumentazioni locate nelle strutture dello Istituto Nazionale di Astrofisica utilizzabili nell'ambito dei programmi spaziali*” a cura di Della Ceca, Argan ed Esposito reperibile al link <https://openaccess.inaf.it/handle/20.500.12386/30845>

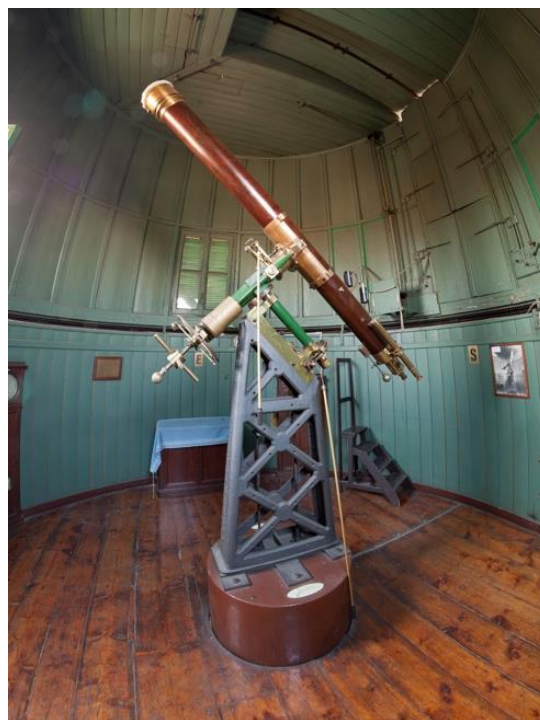
4 Patrimonio Storico

4.1 MusAB - Museo Astronomico di Brera



MusAB

Il Museo Astronomico di Brera (MusAB), situato all'interno della galleria di accesso all'Osservatorio, è una collezione degli strumenti più significativi usati dagli astronomi dell'Osservatorio nel corso dei suoi 250 anni di storia. Dal 2015 questa raccolta museale, riconosciuta anche da Regione Lombardia, è diventata parte della rete dei musei dell'INAF. Del MusAB fa parte anche la "Cupola Schiaparelli", dove è tuttora collocato il telescopio Merz, in ottimo stato e perfettamente funzionante, acquistato da Giovanni Virginio Schiaparelli con fondi ottenuti nel 1878 dall'appena costituito nuovo parlamento italiano. Da qui Schiaparelli iniziò a osservare il pianeta Marte e ne disegnò le prime mappe, dando così inizio a una nuova era di indagine del pianeta *rosso* e gettando le basi di una nuova scienza, la planetologia comparata, per lo studio dei pianeti e dei corpi del Sistema Solare. Il MusAB, collaborazione tra l'Università degli Studi di Milano e l'Osservatorio, è gestito e curato dal personale dell'Osservatorio. Il MusAB mantiene inoltre viva la sua storica collaborazione con l'Orto Botanico e si adopera all'integrazione con le altre realtà di Palazzo Brera, integrazione che si spera possa essere intensificata nei prossimi anni secondo una progettualità evolutiva.



Telescopio Merz presso la cupola Schiaparelli

In epoca "pre-pandemica", la galleria degli strumenti era aperta al pubblico nei giorni feriali e, grazie a una convenzione con il Touring Club Italiano nell'ambito del progetto *Aperti per voi*, anche la seconda domenica di ogni mese; nel corso delle aperture domenicali erano offerti eventi speciali: conferenze tematiche o exhibits. La cupola "Schiaparelli" era invece accessibile solo con una visita guidata condotta dal personale dell'Osservatorio. Nel 2019 il totale dei visitatori è stato di oltre 10000 persone, di cui 7000 circa nelle sole domeniche aperte al pubblico. Nel sito del MusAB, oltre a informazioni sull'accesso al museo e sulla collezione, si trovano rubriche di approfondimento (lo sapevi che..., i protagonisti, audioguide, conversazioni con il conservatore, il riallestimento) e progetti specifici (cartoline dalla luna, quando siamo andati sulla luna), molti dei quali disponibili anche in inglese e distribuiti anche attraverso i canali social dell'Osservatorio (Facebook, Instagram, YouTube, LinkedIn); il sito MusAB ha una media di 7000 visitatori all'anno.

Un nuovo ponte tra cielo e terra. Il riallestimento del MusAB

Grazie a un finanziamento ottenuto da Regione Lombardia, nell'ambito di una iniziativa regionale volta al miglioramento dei luoghi della cultura, il corridoio del museo è stato recentemente oggetto di riallestimento. Si è voluta migliorare la fruibilità della galleria raccontando il cammino che caratterizza la disciplina astronomica, valorizzando il ruolo dell'Osservatorio nel contesto della città di Milano, dell'astronomia italiana e internazionale.



Veduta d'insieme del corridoio museale

Valorizzazione non solo come luogo di cultura, ma anche come fornitore di servizi per la società civile, tra cui la determinazione del tempo locale e la misura di parametri meteorologici. Attraverso una narrazione (grazie al materiale espositivo e/o alle visite guidate) che interseca la storia degli strumenti esposti con quella dei personaggi illustri dell'Osservatorio è possibile ripercorrere il cammino dell'Astronomia, del lavoro dell'astronomo, o, più in generale, della scienza. *Osservare, scoprire, misurare, rappresentare* e naturalmente *interpretare*, un ciclo di azioni che si incrociano, si rincorrono e si fondono nella lunga strada che porta alla conoscenza. Le didascalie degli strumenti sono state rinnovate per dare le informazioni necessarie sul loro uso e scopo e per inquadrarli in un contesto che congiunga il loro ruolo nel passato ai nuovi, più potenti, strumenti in uso ora.



Il circolo moltiplicatore Reichenbach nella sezione "osserva"



Il circolo meridiano Ertel parla al visitatore

Il percorso museale risponde a molte domande tipiche dell'astronomia, ripercorrendone l'evoluzione nel corso dei secoli. Nella rinnovata galleria espositiva non mancano tuttavia le sorprese: perché le mappe geografiche sono parte del patrimonio storico degli astronomi? Perché l'Osservatorio era coinvolto nelle misure del campo magnetico terrestre? O delle condizioni meteorologiche, fino ad avere tra i suoi documenti una delle più lunghe serie ininterrotte di dati, a partire dal 1763? Perché gli astronomi scandivano l'ora dando il segnale di "mezzo giorno" alla società civile?

MARSS: MusAB in "Augmented Reality from Science to Society"

Il nuovo percorso museale sarà a breve rafforzato dalla disponibilità di una visita coinvolgente e "immersiva", grazie all'utilizzo di due diverse tecnologie digitali: la Realtà Aumentata (AR) e la Realtà Virtuale (VR). Questo percorso, sviluppato grazie al finanziamento di Fondazione Cariplo e in collaborazione con il Politecnico di Milano, è iniziato a settembre 2020 e sarà completato in 2 anni. L'obiettivo principale del progetto è lo sviluppo di un'applicazione per dispositivi mobili da cui accedere, attraverso l'AR, alla visione ravvicinata degli strumenti e a informazioni aggiuntive sul loro uso e sulla scienza che erano preposti fare. L'applicazione permetterà anche di individuare alcuni luoghi significativi sulla mappa del territorio milanese, creando "un museo diffuso" che esalti lo stretto, duraturo e solido legame tra il MusAB e il territorio lombardo (come anche testimoniato, in ultima analisi, dai finanziatori di MusAB...). Grazie alla VR si potrà "raggiungere" anche la cupola Schiaparelli, di accesso per sé difficile e limitato, protagonista di primo piano dei passati studi su Marte e essere catapultati sul pianeta rosso guardando attraverso il telescopio.

A conclusione del progetto MusAB diventerà, grazie anche alle moderne tecnologie digitali, uno straordinario luogo di testimonianza e di didattica multidisciplinare in cui scienza, storia e innovazioni tecnologiche si intersecano, illustrando le grandi conquiste fatte dall'umanità negli ultimi 250 anni e il relativo contributo dato dal personale appartenuto all'Osservatorio Astronomico di Brera.

4.2 La Biblioteca e l'archivio storico

L'Osservatorio custodisce una biblioteca e un archivio storico estremamente preziosi. La biblioteca raccoglie oltre 35.000 volumi: presso la sede in palazzo Brera è conservato il nucleo più antico, mentre la sede di Merate raccoglie, per la maggior parte, testi a partire dal secolo scorso. Le prime informazioni sulla biblioteca le troviamo nel *Piano per la Specola*, una sorta di regolamento interno dell'Osservatorio, risalente al 1772 e attribuito a Ruggero Boscovich. Nel *Piano* possiamo leggere: “*Il Collegio di Brera, prima d'ogni altra provvista e spesa, penserà all'acquisto di un buon assortimento di libri matematici, astronomici e fisici, da ritenere stabilmente in una delle camere della Specola, per comodo degli astronomi, ed altri; tra questi libri sembra indispensabile la raccolta degli atti delle più celebri Accademie, ne' quali sono depositate le più grandi scoperte, tanto d'astronomia che di fisica, e dove si trova una preziosa raccolta d'informazioni*”. I libri erano quindi, per gli astronomi, veri e propri strumenti di lavoro: “strumenti di carta” invece che di legno e metallo, come i telescopi.



Biblioteca

I primi volumi della biblioteca provenivano da quella del Collegio gesuita braidense e la dotazione continuò a essere arricchita nei secoli. I testi trattano essenzialmente di astronomia, ma anche di discipline correlate come fisica, meteorologia, matematica, filosofia. Gli astronomi non si limitarono ad acquistare o acquisire, per via di scambio, i libri più recenti in circolazione, ma procurarono per la biblioteca alcuni capisaldi della dottrina astronomica precedente la fondazione dell'Osservatorio. Per questo sugli scaffali troviamo oggi alcuni rari incunaboli¹⁰ ed edizioni cinque e seicentesche delle opere di Tolomeo, Copernico, Keplero, Galilei e Newton.

Tra i tanti volumi preziosi è d'obbligo ricordare tre titoli, cominciando con *l'Epytoma in Almagestum Ptolemaei* di Giovanni Regiomontano, stampata a Venezia nel 1496: un'edizione in latino commentata e migliorata dell'*Almagesto* di Tolomeo, l'opera nella quale l'astronomo alessandrino spiegava i moti delle stelle, dei pianeti e della Luna secondo il modello geocentrico. Il volume, che conserva l'originale rilegatura rinascimentale, è ancora più prezioso per i commenti manoscritti a margine, dovuti a un precedente proprietario, Michael Maestlin, che fu maestro di Keplero. Un libro che non ha bisogno di presentazione è il *Sidereus Nuncius* di Galileo (l'unica copia esistente a Milano e una delle poche rimaste della tiratura originale di 550 volumi), pubblicato nel marzo del 1610 per rendere pubblico il risultato delle strabilianti osservazioni fatte dall'autore con il suo cannocchiale. La scoperta dei satelliti di Giove e della natura della Via Lattea, le migliaia di stelle viste per la prima volta, i disegni della superficie della Luna così simile a quella della Terra spalancarono le porte a una nuova era della scienza. Infine, ricordiamo un atlante stellare, il *Firmamentum Sobiescianum* del birraio-astronomo polacco Johannes Hevelius, stampato postumo a Danzica nel 1690 e considerato, per le meravigliose tavole delle costellazioni, uno dei libri illustrati più belli mai pubblicati, e non solo nel campo astronomico. In questo volume il mondo celeste si rivela, infatti, in una miriade di dettagli, in pagine di rara bellezza in cui si fondono scienza, mito e arte. Non mancano in biblioteca gli atti delle più importanti accademie del mondo o le più moderne riviste che, più rapidamente di un libro, servivano a comunicare le novità del settore. La biblioteca dell'Osservatorio conta migliaia di titoli, a partire da quello che è considerato uno dei primi periodici scientifici, gli *Acta Eruditorum*, pubblicati a Lipsia a partire dal 1682.

¹⁰Si chiamano così i volumi stampati tra l'invenzione della stampa, nella seconda metà del Quattrocento, e l'anno 1500.

Anche l'archivio dell'Osservatorio trova la sua origine nel Settecento, laddove nell'ultimo articolo del *Piano* di Boscovich, ricordato sopra, si legge “Dovrà il Soprintendente della Specola mettersi in regolare carteggio con alcuni de' più importanti Osservatori d'Europa, come quello di Greenwich, Parigi, Bologna”. Fin dalle origini della Specola iniziò, dunque, a formarsi quel complesso documentario che oggi rende l'archivio dell'Osservatorio uno dei più importanti in Europa e nel Mondo.



Archivio storico

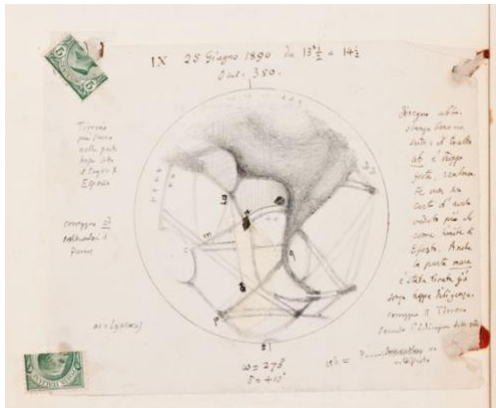


La costellazione del Toro nell'atlante stellare di J. Hevelius del 1690

I carteggi degli astronomi non sono una semplice collezione di autografi, anche se i corrispondenti variano da Napoleone Bonaparte a Umberto Nobile. Infatti, per lungo tempo, in epoche in cui le riviste scientifiche erano poche e con lunghi tempi di pubblicazione, scrivere ha costituito il più rapido e, spesso, l'unico mezzo per informare la comunità scientifica delle ricerche in corso, dei risultati ottenuti, delle nuove scoperte. Gli scambi epistolari avvenivano con tutti gli astronomi del mondo, ma sono da ricordare, tra gli altri, i carteggi del 1781, che portarono al riconoscimento di Urano (scoperto proprio in quell'anno) come pianeta e quelli del 1801, relativi alla scoperta palermitana di Cerere, il primo degli asteroidi.

La documentazione dell'archivio è sterminata: oltre ai carteggi troviamo le carte amministrative, risultato dei contatti ufficiali tra l'Osservatorio e i vari uffici governativi, indispensabili per ricostruire i rapporti tra uomini di scienza e potere politico; troviamo poi tutta la documentazione, sia scientifica che privata, lasciata dagli astronomi alla loro morte o al loro trasferimento, come diari di osservazioni, appunti scientifici, incarti di calcoli, bozze di articoli, disegni, note di spesa, attestati scolastici, carte familiari, fotografie; troviamo ancora le lunghe serie di osservazioni che ci danno oggi la misura del lavoro paziente degli astronomi nei secoli. Per la loro particolare importanza scientifica, spicca la serie dei registri delle osservazioni meteorologiche, cominciate nel 1763 e proseguite fino ad oggi e che, proprio per la loro durata e sistematicità, costituiscono oggi una fonte indispensabile per gli studi sul cambiamento climatico. Sono al momento in corso le pratiche per fare registrare l'Osservatorio come uno degli Istituti storici a livello internazionale nel campo della meteorologia. Si segnala, infine, il fondo personale intestato a Giovanni Virginio Schiaparelli, direttore dell'Osservatorio di Brera dal 1862 al 1900 e una delle maggiori glorie dell'astronomia italiana. Attraverso le carte, è possibile ripercorrere ogni fase della carriera scientifica del nostro illustre direttore: la sua formazione giovanile a Torino, Berlino e San Pietroburgo, documentata in uno splendido diario, la scoperta dell'asteroide *Hesperia* nel 1861 e quella della vera natura delle stelle cadenti nel 1867, gli studi sull'astronomia antica, con le carte scritte in caratteri cuneiformi. A partire dal 1877 Schiaparelli inizia il suo studio di Marte, e l'archivio si arricchisce con i suoi diari di osservazione, che raccolgono un'infinità di meravigliosi schizzi, disegni, mappe del pianeta

rosso. Immagini stupende, che ancora oggi ci affasciano, parlandoci di un mondo lontano e misterioso, che sarà forse la nostra prossima frontiera.



Uno schizzo di G. Schiaparelli del pianeta Marte del 25 giugno 1890

La biblioteca (sia nella sede di palazzo Brera che in quella di villa San Rocco a Merate) e l'archivio storico fanno oggi parte della rete delle biblioteche e archivi storici dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, condividendone gli strumenti per la gestione e la valorizzazione attraverso il portale web "Polvere di stelle"¹¹. Oltre a fornire servizi al personale interno (per esempio, rendendo disponibili gli accessi on-line alla letteratura scientifica contemporanea che, per la maggior parte, non è più su carta), sia la biblioteca che l'archivio storico sono aperti agli studiosi esterni su appuntamento. Il catalogo della biblioteca e l'inventario dell'archivio sono consultabili on-line. Vengono, inoltre, effettuati prestiti di volumi e

documenti d'archivio per mostre nazionali e internazionali, visite guidate e lezioni sul patrimonio librario e archivistico, progetti di PCTO (Percorso per le Competenze Trasversali e Orientamento, ex alternanza scuola-lavoro) per le scuole.

4.3 Telescopi



Sede di Merate

La sede di Merate ospita nel suo parco due telescopi ancora attivi, il telescopio Ruths e lo Zeiss.

Il primo è collocato dai primi anni Sessanta all'interno della cupola donata all'Osservatorio nel 1935 dalla società Edison dove ha sostituito il telescopio Merz da 49 cm (ora esposto al Museo Nazionale Scienza e Tecnologia "Leonardo Da Vinci" di Milano). Il Ruths è stato per un breve

periodo il più grande telescopio Italiano e la cupola, la prima in Europa dotata di piano mobile. Lo specchio primario originale (diametro 134 cm), primo al mondo in alluminio massiccio, venne sostituito a fine anni '90 con uno in vetroceramica proveniente da S. Pietroburgo grazie al contributo della Fondazione Cariplo; lo specchio originale si trova esposto nell'atrio di ingresso della cupola.



Telescopio Ruths
Manutenzione
straordinaria

Il telescopio è visitato¹² dalle scolaresche a conclusione del programma didattico per le scuole ma viene principalmente utilizzato per le osservazioni notturne dedicate al pubblico. Queste serate, circa tre o quattro ogni mese organizzate sulla base delle prenotazioni ricevute, si svolgono sempre attorno al primo quarto di Luna. La richiesta supera da sempre di gran lunga l'offerta che è vincolata dalle restrizioni di sicurezza sulla capienza della cupola (35 persone per sera) e dalle notti astronomicamente utilizzabili durante i vari mesi. Ogni serata prevede una prima parte di presentazione storica e dell'attività scientifico-tecnologica dell'Osservatorio da parte



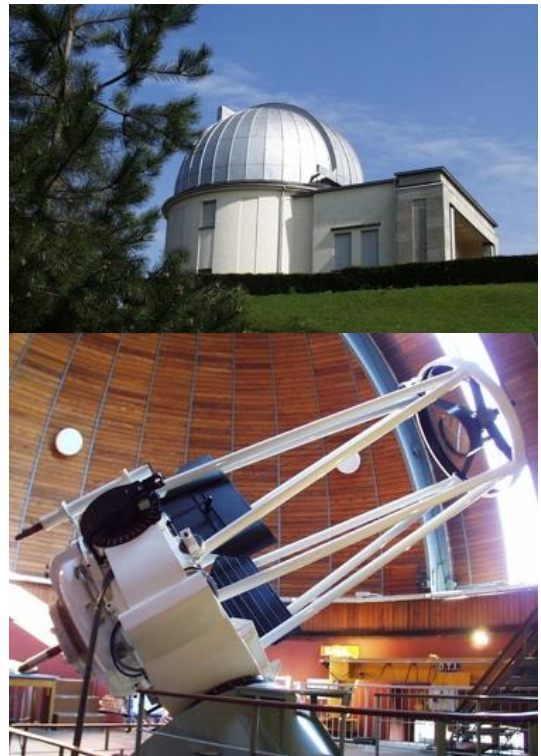
Telescopio Ruths

¹¹ <https://www.beniculturali.inaf.it/biblioteche/>

¹² Quanto riportato è ovviamente riferito al periodo pre-pandemico.

dell'astronoma/o di turno, che viene fatta solitamente nella sala conferenze POE di Merate, e una seconda parte (ovviamente quando il “meteo” lo permette) di osservazione diretta al telescopio degli oggetti astronomici più significativi visibili nel periodo. Le serate, svolte grazie alla partecipazione di personale tecnico, di ricerca, laureandi e dottorandi (appositamente formati per movimentare il telescopio) e una o due unità esterne che collaborano con l'Osservatorio da diversi anni, raggiungono una media annuale di circa 1500 partecipanti. Il telescopio è stato inoltre utilizzato per laboratori con studenti di scuole superiori in collaborazione con il Politecnico di Milano (Dipartimento di Matematica) per i programmi del progetto “effediesse” e viene tuttora utilizzato dal personale dell'Osservatorio coinvolto in attività di laboratorio rivolte a studenti provenienti da diversi atenei lombardi.

Nell'anno 2019-2020 il sistema di puntamento del telescopio Ruths è stato completamente rinnovato e dotato di una camera CCD, applicata all'astrografo (con possibilità di spostarla anche al fuoco del primario), che renderà disponibili sul monitor di cupola le immagini della porzione di cielo visibile in diretta. Questo aggiornamento, fondamentale per superare le restrizioni alla presenza del pubblico in cupola dovute al periodo pandemico in corso, una volta riprese le serate dedicate in presenza renderà inoltre fruibili le osservazioni a un pubblico più ampio da una piattaforma in streaming, seppure togliendo una parte del fascino dell'osservazione diretta.



Telescopio Ruths



Telescopio Zeiss

Il secondo telescopio, lo Zeiss, venne assegnato all'Italia nel 1922 in conto riparazioni dei danni di guerra per l'interessamento di Benito Mussolini e del senatore Luigi Mangiagalli. Il 20 settembre del 1926, l'astronomo Emilio Bianchi effettuò la prima osservazione del cielo da Colle S. Rocco presso Merate, sito osservativo dell'Osservatorio, dove è locato il telescopio. Lo Zeiss, a quel tempo il secondo d'Europa in ordine di grandezza, aveva una precisione ottica e meccanica uniche per l'epoca. Il telescopio non è mai stato munito di un sistema di puntamento a guida elettronica (anche per preservarne la struttura originale) ma rimane ancora oggi un

ottimo strumento dal punto di vista ottico. Lo specchio primario è costituito da un blocco in vetro di 107 cm di diametro dello spessore di circa 16 cm, che viene revisionato periodicamente in loco dallo staff dell'Osservatorio. Per la sua peculiarità il telescopio Zeiss non viene utilizzato per le visite serali mensili, ma per occasioni ed eventi particolari o progetti specifici; dal 2003 al 2015, è stato utilizzato per lo studio di stelle doppie. Nel 1988 la cupola Zeiss è stata oggetto di alcune riprese per il film del 1988 “I ragazzi di via Panisperna”.

5 Public Outreach and Education

L'Osservatorio è stato uno dei primi istituti di ricerca italiani a dotarsi, fin dal 1999, di personale specializzato e professionale per la comunicazione della scienza (l'ufficio Public Outreach and Education, POE), con attività che sono diventate via via sempre più rilevanti e coinvolgenti a tutti i livelli, dal livello locale per scuole (studenti e docenti) e pubblico, fino al livello nazionale e internazionale, come dettagliato di seguito. L'Osservatorio è attivo anche nell'alta formazione, formando studenti universitari, di dottorato e di master universitari di I e II livello.

L'Osservatorio ha inoltre attive tre newsletter con target differenti (news: 2750 membri, scuole: 518 membri; media: 84 membri) e, oltre al sito ufficiale, un sito di supporto alle iniziative per il pubblico e le scuole (poefactory) e gestisce il profilo @astrobrera su [Facebook](#) [Instagram](#) [Twitter](#) [YouTube](#) [Linkedin](#) (con 2800, 1400, 400, 540, 670 follower rispettivamente a aprile 2021). Da sottolineare la collaborazione ventennale con *il Corriere della Sera* e *la Repubblica* e con i loro inserti locali, con il *Giornale di Merate*, *Merateonline* e tutte le testate locali. A Merate, inoltre, il Comune, la Civica Biblioteca e la ProLoco contribuiscono alla pubblicizzazione delle iniziative nei loro spazi e canali.



POE Factory

5.1 Attività locali

Sia nella sede milanese che in quella meratese, l'Osservatorio offre, da più di venti anni, un ampio ventaglio di iniziative culturali per scuole di ogni ordine e grado e per il pubblico generico.



OAB per le scuole

Scuole: Presso la sede di Merate è attivo il ciclo di incontri e laboratori *Magie in Cielo e in Terra* che, dal 2012, è arricchito anche da lezioni astronomico-musicali con l'esecuzione dal vivo di brani musicali inerenti all'argomento trattato; al suo interno comprende anche la sezione "IL PONTE", dedicata in particolare a persone con disabilità psicofisiche o problematiche sociali. Nella sede milanese è invece attivo il ciclo di incontri e laboratori *Il filo della scienza nell'astrofisica contemporanea* a cui è associabile una visita al MusAB. La media annua di partecipazione, tra Milano e Merate, è di circa 4000 studenti provenienti da tutta la Lombardia, da altre regioni e dall'estero. Dal 2003 sono inoltre attive, in entrambe le sedi, delle Attività di Percorso per le Competenze Trasversali e Orientamento (PCTO; ex formazione-orientamento o alternanza scuola-lavoro); i percorsi offerti, calibrati opportunamente in base all'utenza, sono di comunicazione social, di divulgazione, di supporto alla didattica, di validazione di progetti, di catalogazione di documenti storici, e di tecnologia e di ricerca sia nel campo della formazione scolastica sia in quello astrofisico.



Magie in Cielo e in Terra

Pubblico: La cupola Ruths e la cupola Zeiss, presso la sede di Merate, costituiscono un'ambientazione ideale e suggestiva per eventi culturali di vario tipo periodicamente organizzati all'interno del programma di offerta al pubblico. È possibile partecipare a serate di osservazione con il telescopio Ruths (circa 1500 persone all'anno), alle serate di *Open Night* di

apertura al pubblico dei laboratori tecnologici, oltre che ai percorsi *Costellazioni nel Parco* e *Turismo Lunare*. Sono periodicamente realizzate mostre d'arte figurativa (*Arte in Cupola*), spettacoli teatrali (*Teatro in Cupola*), musicali (collaborazione pluriennali con SuoniMobili). Dal 2015 vengono proposte nell'Auditorium del Comune di Merate, con il patrocinio del Comune, conferenze-concerto del ciclo "Not(T)e di..." con esecuzioni dal vivo di brani musicali strettamente legati alle tematiche trattate. Annualmente costituiscono tappa di passaggio e breve visita per eventi organizzati da terze parti come Pro Loco, FAI etc.. Da anni è inoltre attiva la collaborazione *MerAteneo*, associazione sul territorio di proposta della cultura e coesione sociale patrocinata dal Comune di Merate.



La sede milanese offre al pubblico (dal 2009) sia il ciclo di incontri mensili *I Cieli di Brera*¹³ (dedicato alle frontiere della ricerca e tenuti da esperti nel campo, con un'affluenza di circa 100 persone a incontro) che il corso su prenotazione di astronomia, rinnovato nei contenuti ogni anno, denominato *L'Universo in fiore* (circa 100 persone in presenza e più di 200 nella versione on-line). L'Osservatorio aderisce inoltre alle principali iniziative cittadine (*Bookcity, Milano Digital week, Le domeniche di carta*, ecc.) con incontri e conferenze a tema e collabora con realtà culturali milanesi come *Pacta dei Teatri* e *Orchestra Verdi* per iniziative multidisciplinari. In collaborazione con la rete museale metropolitana (Mudec, Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica, Museo di Storia Naturale, etc.) il POE organizza e partecipa alla realizzazione di mostre a tema. Il personale OAB inoltre collabora storicamente con il Planetario "U. Hoepli" di Milano e il Planetario di Lecco.

5.2 Attività nazionali

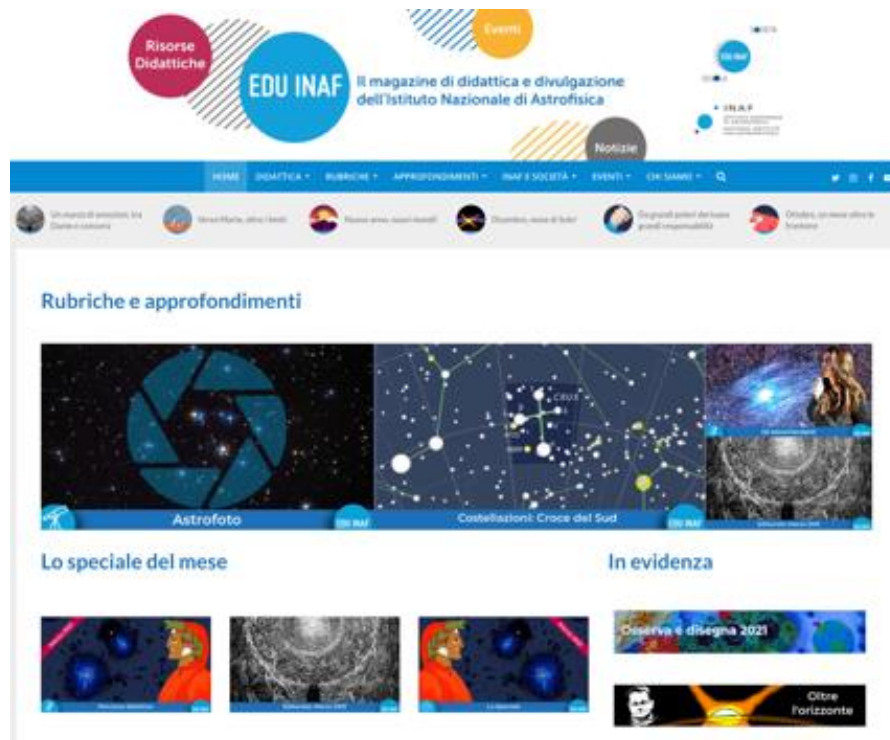
L'Osservatorio partecipa in modo molto attivo alla produzione e al coordinamento delle attività di didattica e di divulgazione a livello nazionale e internazionale.

A livello nazionale il POE dell'Osservatorio coordina il gruppo *Laboratori didattici con metodologia innovativa dati astronomici* e partecipa come membro ai diversi altri gruppi di

¹³In collaborazione con la Pinacoteca di Brera e con l'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere.

lavoro (*Inclusione; Laboratori didattici con metodologia innovativa coding; Laboratori con metodologia innovativa-tinkering; PCTO; Storie; Festival e grandi eventi*).

D&D INAF: Il portale EduINAF è la piattaforma online per la didattica e la divulgazione dell'INAF o, per meglio dire, per le attività di *Public Engagement* (PE). Nato nel 2014 e finanziato dal MIUR, nel 2017 si è evoluto, sotto la direzione di un ricercatore dell'Osservatorio (all'epoca responsabile nazionale D&D INAF) in un portale web con la partecipazione di tutti gli uffici di Didattica e Divulgazione dislocati nelle sedi INAF sul territorio nazionale. Oggi nell'ambito della rivista online EduINAF, un ricercatore dell'Osservatorio svolge la funzione di vicedirettore (editorial board) e una ricercatrice quella di curatrice delle newsletter.



Olimpiadi Italiane di Astronomia: Dal 2009 la Società Astronomica Italiana (SAIT) e l'INAF collaborano con successo alla realizzazione delle Olimpiadi Italiane di Astronomia promosse dal Ministero dell'Istruzione nell'ambito della valorizzazione delle eccellenze scolastiche; i vincitori delle Olimpiadi vengono iscritti all'*Albo nazionale delle eccellenze* del Ministero dell'Istruzione. Dal 2009 al 2015, il POE ha ospitato la Presidenza del Comitato olimpico nazionale mentre, sempre dal 2009, diversi ricercatori e ricercatrici dell'Osservatorio si sono succeduti/e nella presidenza della giuria lombarda. La competizione ha visto crescere il numero di adesioni di studenti di scuole lombarde fino a raggiungere quasi 350 iscritti nello scorso anno, con una partecipazione femminile superiore al 30%.

Il POE coinvolge l'Osservatorio in numerose collaborazioni con altri enti italiani e all'estero, come per esempio: a) Il *Game Science Research Center*, centro inter-universitario fondato nel 2019 da Scuola IMT Altı Studi Lucca e Università di Modena-Reggio Emilia con lo scopo di supportare la ricerca scientifica nel settore del *Game Science*; b) *Engage* - per la comunicazione della scienza, collaborazione fra INAF, Scuola Normale Superiore e Vis s.r.l. per la realizzazione di un workshop annuale di formazione a livello nazionale; c) *MEETmetonight*, evento legato alla notte europea dei ricercatori in collaborazione con diverse Università distribuite sul territorio nazionale; d) il progetto *Astronomy for equity, diversity and inclusion*

che propone lo sviluppo di un approccio basato sull'equità di tutte le attività INAF, tenendo conto delle diverse necessità dei soggetti coinvolti.

5.3 Attività internazionali

Già dal 2015, su iniziativa del POE, è stata realizzata l'edizione italiana della piattaforma ad accesso gratuito astroEDU, una rivista online, peer reviewed, di attività didattiche di astronomia, pubblicata a livello internazionale da un consorzio di Università, in collaborazione con l'Unione Astronomica Internazionale (IAU). La rivista è stata premiata a livello europeo con lo *Scientix Prize*. L'Editor-in-Chief della edizione italiana è uno dei membri del POE, mentre una ricercatrice dell'Osservatorio fa parte della redazione.

Nel 2019, la IAU ha costituito l'*Office of Astronomy for Education* (OAE), con sede presso la Haus der Astronomie di Heidelberg. OAE e IAU hanno approvato la costituzione in Italia dell'*I-OAE Centre for Children and the Mediterranean*, proposto da una rete italiana guidata da INAF, che comprende SAIT e Università di Tor Vergata. L'I-OAE, che lavorerà secondo il principio della complementarità e della sussidiarietà con OAE, sarà il centro di riferimento a livello globale per la formazione nella scuola primaria. Svolgerà inoltre il ruolo di centro per facilitare il dialogo sulla formazione scolastica dei paesi che si affacciano sul Mediterraneo. Il POE, che ha coordinato i lavori della costituzione della I-OAE fin dalle sue fasi iniziali, ne coordinerà le attività.



Una ricercatrice dell'Osservatorio è la responsabile per l'Italia della rete ESON, la rete di divulgazione scientifica che promuove la missione dell'Osservatorio Europeo Australe (ESO) e diffonde i risultati raggiunti e coordina la divulgazione per INAF nell'ambito delle attività dei progetti CTA e ASTRI Mini-Array.



6 Rapporti con Università, enti presenti sul territorio e IASF-MI

L'Osservatorio ha saputo instaurare negli anni importanti rapporti istituzionali con gli enti presenti sul territorio dei due comuni (e due province). A Milano di particolare rilevanza è il rapporto con gli altri enti presenti in Palazzo Brera: la Pinacoteca, la Biblioteca Braidense, l'Orto Botanico, l'Università degli Studi di Milano, l'Accademia di Belle Arti e l'Istituto Lombardo di Scienze ed Arti. A Lecco di particolare rilevanza è la partecipazione a Univerlecco, un'associazione costituita dalla Camera di Commercio, dal Comune di Lecco e dalle associazioni imprenditoriali e sindacali di categoria del territorio lecchese, che ha l'obiettivo di favorire la presenza di centri di ricerca e alta formazione sul territorio, in particolare Politecnico di Milano, CNR e INAF.

L'Osservatorio vanta inoltre stretti rapporti di collaborazione, attraverso convenzioni appositamente predisposte, con le più importanti università Lombarde (e non solo) sia per quanto riguarda le attività di ricerca (ambito astrofisico e di sviluppo tecnologico) che per l'intensa collaborazione in ambito didattico, contribuendo a fornire un'adeguata formazione a studenti che decidono di avvicinarsi al mondo della ricerca durante il loro percorso universitario. In particolare presso il nostro Istituto si svolgono tesi di tipo astrofisico o tecnologico, sia per corsi di laurea triennale che magistrale, nonché di dottorato. Nell'ultimo decennio abbiamo avuto una media annuale di una decina di laureandi per tesi di laurea triennale o magistrale e di due-tre studenti di dottorato. Di seguito alcuni dettagli per le Università con cui collaboriamo maggiormente.

Università degli Studi di Milano (UniMI). Con UniMI vi è una collaborazione storica che prosegue da diversi decenni. Negli anni ricercatrici e ricercatori dell'Osservatorio hanno tenuto dei corsi a UniMI e parecchi loro studenti si sono laureati con tesi svolte presso il nostro Istituto. Attualmente la collaborazione ricopre vari aspetti. Per quanto riguarda la didattica, presso l'Osservatorio si tiene un laboratorio di tecniche osservative e analisi dati ottici ottenuti con i telescopi della sede di Merate (8 ore di lezioni frontali più 3-4 serate osservative). Per quanto riguarda le attività di ricerca in astrofisica la collaborazione si sviluppa su un ampio ventaglio di argomenti, dallo studio dei pianeti extrasolari a quello della cosmologia. In quest'ultimo ambito, in particolare, vi è una stretta collaborazione nella preparazione e il coordinamento scientifico della missione Euclid, con sviluppo di simulazioni e strumenti per l'analisi dei dati e la loro interpretazione teorica, anche attraverso progetti di tesi magistrali e di Dottorato. UniMI e l'Osservatorio hanno anche sviluppato una stretta collaborazione e stipulato una convenzione specifica per la gestione del Museo Astronomico di Brera, MusAB.

Università degli Studi di Milano-Bicocca (UniMiB). Con UniMiB è sempre esistita una stretta collaborazione nell'ambito della ricerca astrofisica e della didattica. A riprova di ciò la constatazione che, nell'ultimo decennio, il maggior numero di studenti che hanno svolto tesi di laurea triennale e/o magistrale presso l'Osservatorio provengono da questa sede universitaria. Personale appartenente all'Osservatorio è stato per anni responsabile di alcuni corsi quali "Fisica dello Spazio", "Processi Radiativi", "Astrofisica Applicata" e "Cosmologia" con l'incarico di Professore a contratto. Alcuni ricercatori e alcune ricercatrici dell'Osservatorio fanno parte del gruppo di lavoro denominato "AstroBlack", coordinato da UniMiB, e legato allo studio dei buchi neri supermassicci con le onde gravitazionali (per esempio con la missione LISA, ma non solo). Altri sono stati riconosciuti come "Cultori della materia" (in campo astrofisico) dal Consiglio di Coordinamento Didattico dell'Ateneo. Vi è anche una stretta

collaborazione nel campo della comunicazione e divulgazione dell'astrofisica: dal 2014 il corso "Astrofisica e Comunicazione" è tenuto da un nostro ricercatore (totalmente dedicato a queste attività) e alcuni ricercatori sono docenti nel Master in Comunicazione della Scienza e dell'Innovazione Sostenibile (MaCSIS) formando studenti universitari, di dottorato e di master universitari di I e II livello.

Università degli Studi dell'Insubria. Con questa giovane Università ci sono rapporti molto stretti di collaborazione fin dalla sua fondazione, avvenuta nel 1998, soprattutto per quanto riguarda il corso di Dottorato in Fisica e Astrofisica. Numerosi dottorandi di questa università hanno conseguito il loro dottorato presso l'Osservatorio, che è coinvolto sia nel processo di selezione dei candidati che nel processo di formazione, valutazione e indirizzo (per esempio astrofisico, tecnologico, etc.) degli stessi. Per questo da anni si è attivata una convenzione di collaborazione fra i due enti: convenzione che dal 2020 è stata ampliata con un coinvolgimento diretto di ricercatori dell'Osservatorio allo svolgimento di attività didattiche per il Dipartimento di Scienza e Alta Tecnologia (DiSAT). In particolare dall'anno accademico 2020-2021 l'Osservatorio collabora con il DiSAT per il Corso di Laurea Magistrale in Fisica, curriculum di Astrofisica, denominato "*Data Science for Astrophysics*" con alcuni corsi tenuti da personale dell'Osservatorio. L'Osservatorio inoltre partecipa direttamente al Consiglio dei docenti con proprio personale.

Politecnico di Milano (PoliMi). Negli anni si è stabilita una collaborazione sempre più stretta anche con il PoliMi sia per quanto riguarda le attività didattiche che le attività di ricerca e sviluppo tecnologico, con particolare riferimento allo studio delle caratteristiche meccaniche e chimico-fisiche dei materiali, alla progettazione e sintesi di materiali innovativi per applicazioni in strumentazione astronomica, allo sviluppo di applicazioni innovative in ambito astronomico sia terrestre che spaziale. Personale afferente all'Osservatorio tiene da alcuni anni il corso "*Microstructural Characterization of Materials*" e altre lezioni ed esercitazioni in 3 corsi. Negli anni è anche aumentato il numero di studenti che hanno svolto il loro lavoro di tesi (Laurea o Dottorato) presso l'Osservatorio. Con il PoliMi è inoltre iniziata recentemente una collaborazione atta a potenziare, per mezzo della Realtà Aumentata e Virtuale, il MusAB.

Oltre alle collaborazioni con le Università lombarde il personale afferente all'Osservatorio sta tenendo (o ha tenuto nel recente passato) dei corsi presso la SISSA di Trieste, l'Università degli Studi di Genova e l'Università di Helsinki; intensi rapporti sono mantenuti anche con il Master in Comunicazione della Scienza "Franco Pratico" della SISSA di Trieste, con il Master in comunicazione della scienza di Ferrara, con il Master in comunicazione della scienza di Padova. Per finire l'Osservatorio è stato la sede negli scorsi anni della scuola estiva di dottorato in astrostatistica.

Le collaborazioni scientifiche con tutte le Università sopra menzionate sono di ottimo livello, come testimoniato dai numerosi articoli scientifici con co-autori dell'Osservatorio e delle Università lombarde. Di particolare nota, nel corso della pandemia di SARS-COV-2, sono i progetti dove la tecnologia in ambito astrofisico è stata riadattata a supporto dell'emergenza sanitaria e che hanno visto, in primo piano, la stretta collaborazione tra ricercatori afferenti all'Osservatorio, all'UniMI, all'Istituto Nazionale dei Tumori di Milano e alla IRCCS Fondazione Don Gnocchi.



*Lampade UV-C
inibiscono il
virus Sars-Cov-2*

Per quanto riguarda la Struttura INAF “gemella” IASF-MI, il livello di collaborazione e osmosi tra le attività, sia scientifiche che tecnologiche, è molto stretto, e di vitale importanza per entrambi gli istituti. Da menzionare il progetto ASTRI nel quale i due istituti sono leader a livello nazionale e giocano un ruolo decisivo anche nel consorzio internazionale CTA. Vanno poi menzionati tra gli altri la missione *Neil Gehrels* Swift per le alte energie, e i progetti VIPERS ed Euclid per la cosmologia.



Rappresentazione artistica di Astri

L'Osservatorio inoltre rappresenta l'INAF nel Cluster Aerospaziale Lombardo, organizzazione di riferimento per la Regione Lombardia per le attività aerospaziali, in cui sono rappresentate le industrie del settore, gli enti di ricerca e le Università lombarde.

Per finire, personale afferente (o che afferiva nel vicino passato ma ora in quiescenza) all'Osservatorio ricopre (o ha ricoperto in passato) posizioni di responsabilità istituzionale entro l'INAF e non solo, quale per esempio Presidente INAF, Direttore Scientifico INAF, responsabile attività spaziali INAF, responsabile INAF Didattica e Divulgazione, membro di comitati paritetici ASI-INAF, Advisor INAF presso lo Science Programme Committee dell'ESA, Presidente della *National Committee for Astronomy* della IAU, Presidente della SAIT, etc...

7 Collaborazioni internazionali

L'Osservatorio è per sua natura una struttura che vive anche di collaborazioni internazionali. Queste permettono sia di costituire team di progettazione con competenze d'eccellenza, per rimanere un punto di riferimento nella comunità scientifica, sia di beneficiare di accordi per l'uso di strutture e di strumentazioni tra le più competitive al mondo nell'ambito della ricerca astronomica. I nostri principali interlocutori sono l'Osservatorio Europeo Australe (ESO) dove l'Europa ha posto i suoi grandi telescopi per la parte ottica e l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) per i progetti spaziali. Spesso, a loro volta, questi progetti con ESO ed ESA sono portati avanti da collaborazioni internazionali tra più istituti dove il nostro Osservatorio è il capofila (ad esempio REM, SOXS, ASTRI). Si tratta di costruire strumenti per i telescopi di nuova generazione (con uno specchio anche di 40 m di diametro equivalente) come HIRES e MAORY, o nuovi satelliti per l'astronomia delle alte energie, come ATHENA. Oltre a queste collaborazioni durature, sono in essere collaborazioni occasionali con diverse Università ed enti di ricerca internazionali, con la NASA e l'agenzia spaziale inglese per il satellite *Neil Gehrels Swift* o collaborazioni che vengono create ex novo come per la costruzione dell'osservatorio internazionale per l'altissima energia (*Cherenkov Telescope Array*), con l'Agenzia Spaziale Cinese per quanto concerne eXTP (missione concepita per studiare lo stato della materia in condizioni estreme di densità, gravità, e campo magnetico) e con la neonata Agenzia Spaziale Australiana per un possibile progetto futuro denominato SkyHopper, un piccolo telescopio nel vicino infrarosso a bordo di un nano-satellite di tipo Cubesat.



Il satellite Swift



Rappresentazione artistica del satellite SWIFT

8 Innovazione Tecnologica e Rapporto con le Industrie

L'Osservatorio ha una lunga tradizione di collaborazione con le industrie, non solo come committente, ma spesso agendo da incubatore di tecnologie poi sviluppate e ingegnerizzate dalle industrie. Data la natura unica e particolare della strumentazione astronomica, la produzione dei componenti ottici e meccanici necessari alla sua realizzazione coinvolge tipicamente 30-40 diverse aziende specializzate nel settore. In alcuni casi la produzione richiesta è a elevatissimo contenuto tecnologico e un'intensa attività congiunta di ricerca e sviluppo è richiesta per soddisfare i requisiti scientifici. Questa attività è tipicamente svolta sfruttando e combinando le esperienze, le strumentazioni e le infrastrutture dell'Osservatorio con quelle aziendali. I componenti così realizzati sono caratterizzati da prestazioni e caratteristiche non ottenibili in prodotti commerciali, mentre le imprese coinvolte possono incrementare il loro *know-how* per un eventuale sviluppo commerciale delle tecniche e tecnologie studiate. Particolarmente importanti sono (e sono state) le collaborazioni con Media Lario, TAS-I (Torino e Milano), CGS (ex-Gavazzi Space), ADS Int., Tomelleri srl, Leonardo e EIE group. Tra i risultati più importanti vi sono:

- lo spin-off per ulteriori miglioramenti della tecnologia di Ni-electroforming, già sviluppata per gli specchi X di BeppoSAX, poi utilizzata per XMM-Newton, più recentemente per eROSITA e che ora si vuole utilizzare per i telescopi di eXTP;
- gli specchi per telescopi Cherenkov sviluppati per il telescopio MAGIC insieme a Media Lario, poi utilizzati per il prototipo ASTRI e ora diventati la baseline per il progetto CTA;
- lo sviluppo di polimeri riscrivibili per la realizzazione di reticoli versatili e maschere olografiche, per cui è nata una collaborazione con PoliMi e CGS;
- lo sviluppo della tecnologia di “*ion-figuring*” per lavorazioni ottiche di estrema precisione che permette di ottenere precisioni estremamente difficili da ottenere con i normali sistemi di lucidatura, aprendo nuove possibilità di collaborazione con le industrie in diversi progetti;
- la collaborazione con Officine Stellari, Pecchioli, Dell'oro, Criotec, Kirana per lo strumento SOXS (spettrografo per lo studio dei fenomeni astrofisici transienti);
- sviluppo di capacità di integrazione di sistemi ottici complessi realizzati anche con industrie quali ADS (per esempio spettrografi X-Shooter ed Espresso per i VLT dell'ESO, specchio M3 di ELT dell'ESO).

Un ambito di particolare rilevanza per la collaborazione con l'industria italiana è costituito dallo sviluppo e realizzazione degli specchi del grande telescopio spaziale ATHENA dell'ESA, della missione eXTP, e del grande telescopio ottico ELT di ESO. Per quanto riguarda ATHENA fondamentali i progetti BEaTriX (apparato in costruzione a Merate per i test di accettazione dei singoli moduli ottici del telescopio), Vert-X (un laboratorio per la calibrazione dell'intero telescopio di ATHENA, attualmente in fase di studio, da implementare presso Media-Lario), e SIMPOSIUM (un'attività di messa a punto di una software suite per la simulazione delle prestazioni del telescopio ATHENA, in collaborazione con la Denmark Technical University), progetti di cui l'Osservatorio ha la responsabilità primaria.

Per finire l'Osservatorio è stato protagonista di una importante sinergia industriale con la società Amazon e relativi partners italiani (quali VMEngine e ITDM), nel contesto del calcolo accelerato e basato sulle più recenti tecnologie Cloud. Come primo Ente di Ricerca Europeo, l'INAF per tramite l'Osservatorio ha presentato, su invito al Summit di Washington di Amazon dedicato al settore governativo, *education* e della pubblica amministrazione, i risultati ottenuti nell'applicazione delle tecnologie offerte dalla compagnia americana in strumentazione astronomica di grande rilievo europeo e internazionale, quale il Cherenkov Telescope Array (CTA) e lo spettrografo HIRES per il più grande telescopio ottico del mondo (ESO ELT).

9 Link di progetti/attività, divulgativi e didattici menzionati

Di seguito vengono riportati dei link di utilità per approfondire argomenti trattati nel report.

Pagine ufficiali dell'INAF-Osservatorio Astronomico di Brera

Pagina WEB Osservatorio Astronomico di Brera: <http://www.brera.inaf.it>

Facebook OABrera: <https://www.facebook.com/astrobrera>

Instagram OABrera: <https://www.instagram.com/astrobrera/>

Twitter OABrera: <https://twitter.com/astrobrera>

Youtube OABrera: <https://www.youtube.com/c/INAF-OsservatorioAstronomicodiBrera>

Linkedin: <https://www.linkedin.com/company/inaf-osservatorio-astronomico-di-brera>

Archivio storico, Museo e Biblioteca

Museo Astronomico di Brera (MusAB): <http://museoastronomico.brera.inaf.it/>

Archivio Storico OABrera: <http://www.brera.inaf.it/?page=infoarchivio>

Biblioteca di OABrera: <http://www.brera.inaf.it/?page=infobiblio>

Progetti e attività

Progetto ASTRI: <http://www.astri.inaf.it/>

Progetto Beatrix: <http://ahead.astropa.inaf.it/index.php/infrastructures-ahead-2020/beatrixinaf-oab-ahead-2020/>

Progetto CHEX-MATE: <http://xmm-heritage.oas.inaf.it/>

Progetto CTA: <https://www.cta-observatory.org/>

Progetto ESPRESSO: <https://www.eso.org/sci/facilities/paranal/instruments/espresso.html>

Progetto eXTP: <https://www.isdc.unige.ch/extp/>

Progetto Euclid: <https://sci.esa.int/web/euclid>

Progetto HIRES: <http://arcetri.astro.it/hires/>

Progetto Hot Milk - The Hot phase of the Milky Way: <http://www.brera.inaf.it/hotmilk/>

Telescopio REM: <http://www.rem.inaf.it/>

Progetto MAORY: <http://www.maory.oabo.inaf.it/>

Progetto SOXS: http://www.brera.inaf.it/~campana/SOXS/Son_of_X-Shooter.html

Progetto Vert-X: <https://openaccess.inaf.it/handle/20.500.12386/30431>

Progetto VIPERS: <http://vipers.inaf.it/>

Progetto WEAVE: <https://ingconfluence.ing.iac.es:8444/confluence//display/WEAV/Science>

Satellite *Neil Gehrels* SWIFT: <http://www.brera.inaf.it/~swift/SWIFT/>

Progetto X-COP: <https://dominiqueeckert.wixsite.com/xcop/about-x-cop>

Divulgativi e Didattici

POE Factory: <http://poefactory.brera.inaf.it/>

OABrera per le scuole: <http://www.brera.inaf.it/scuole/>

I Cieli di Brera: <http://poefactory.brera.inaf.it/cieli-di-brera-happy-astro-hour/>

L'Universo in fiore: <http://poefactory.brera.inaf.it/luniverso-in-fiore-online-2020-base/>

Astronomy Picture of the Day (APOD): <http://www.brera.mi.astro.it/apod/>

Sede di Merate: <http://www.brera.inaf.it/StoriaOAB/merate.html>

Magie in Cielo e in Terra: http://www.brera.inaf.it/POE_Merate_Current_Year.pdf

Il filo della scienza nell'astrofisica contemporanea: <http://poefactory.brera.inaf.it/>

Turismo Lunare: <http://www.brera.inaf.it/TurismoLunare/>

Le Mostre in Cupola: http://www.brera.inaf.it/?page=mostre_poe

Open Night Merate: <http://www.brera.inaf.it/OpenNightMerate/>
Costellazioni nel Parco: <http://www.brera.inaf.it/stelleraccontano/>
“Not(T)e di...”: <http://www.brera.inaf.it/ConferenzeConcertoOsservatorio/>
Manutenzione Straordinaria Telescopio Ruths:
<https://www.youtube.com/watch?v=rScbGcp7ouE>
Benemerenzza Civica Comune di Merate:
<https://www.merateonline.it/articolo.php?idd=15234>

Attività di PCTO

Merate: <http://www.brera.inaf.it/Alternanza/>
Brera: <https://edu.inaf.it/pcto/osservatorio-astronomico-di-brera/>

Il portale EduINAF <https://edu.inaf.it/>

MEETmetonight: <http://poefactory.brera.inaf.it/meetmetonight-2020/>
Olimpiadi Italiane di Astronomia: <http://www.olimpiadiastronomia.it/>
Albo nazionale delle eccellenze: <https://www.indire.it/eccellenze/>

MaCSIS Bicocca: <https://www.unimib.it/didattica/master-universitari/area-umanistico-sociale-aa-201920/comunicazione-della-scienza-e-dellinnovazione-sostenibile-macsis>
GSRC Lucca: <https://www.imtlucca.it/it/ricerca/laboratori/game-science-research-center>
Engage: <https://engage.vis-sns.com/>

ESO Science Outreach Network: <https://www.eso.org/public/italy/outreach/eson/>
CTA Observatory, sezione Education: <https://www.cta-observatory.org/outreach-education/>

astroEDU: <https://astroedu.iau.org/it/>
Office of astronomy for education: <https://www.haus-der-astronomie.de/OAE>

Il Portale “Polvere di Stelle” delle Biblioteche INAF
<https://www.beniculturali.inaf.it/biblioteche/>

Articoli su Media INAF menzionati nel documento

Ambrogino d’oro per Brera (30/12/2012):
<https://www.media.inaf.it/2012/11/30/ambrogino-doro-per-brera/>

Quella volta che scoprimmo una supernova (20/05/2017):
<https://www.media.inaf.it/2017/05/20/sn2017eaw-ngc6946-merate/>

Esopianeti, un Espresso vi stonerà (06/12/2017):
<https://www.media.inaf.it/2017/12/06/prima-luce-espresso/>

Gli “Astri” di Guido Horn D’Arturo a Catania:
<https://www.media.inaf.it/2018/11/07/horn-astri-catania/>

Getto relativistico dopo l’onda gravitazionale (21/02/2019):
<https://www.media.inaf.it/2019/02/21/getto-relativistico-gw170817/>

Scoperto un ammasso insolitamente depresso (26/09/2019):

<https://www.media.inaf.it/2019/09/26/ammasso-depresso/>

Aria pesante sull'esopianeta? Te lo dice Harps-N (27/09/2019):

<https://www.media.inaf.it/2019/09/27/harps-kelt-9b/>

Ologrammi hi-tech per studiare le stelle, e non solo (18/11/2019):

<https://www.media.inaf.it/2019/11/18/ologrammi-di-volume/>

La stele di Rosetta dei lampi gamma (20/11/2019):

<https://www.media.inaf.it/2019/11/20/grb-1901414c-nava/>

Elio bollente nell'atmosfera di Hd 189733b (09/06/2020):

<https://www.media.inaf.it/2020/06/09/elio-bollente-nellatmosfera-di-hd-189733b/>

Lampade Uv-C inibiscono il virus Sars-Cov-2 (15/06/2020)

<https://www.media.inaf.it/2020/06/15/lampade-uvc-inibiscono-sars-cov-2/>

Spaghetti di stella per il buco nero (12/10/2020):

<https://www.media.inaf.it/2020/10/12/spaghetificazione-stella/>

L'abbraccio fatale d'una coppia di mostri (16/10/2020):

<https://www.media.inaf.it/2020/10/16/coppia-di-buchi-neri-supermassicci/>

Athena allo specchio (07/12/2020):

<https://www.media.inaf.it/2020/12/07/athena-vert-x/>

Sterminata clessidra di gas caldo nella Via Lattea (09/12/2020):

<https://www.media.inaf.it/2020/12/09/clessidra-erosita/>

Quella galassia s'è fatta tutta da sé (10/12/2020):

<https://www.media.inaf.it/2020/12/10/galassia-vega/>

Ritratto del blazar più lontano che c'è (23/12/2020):

<https://www.media.inaf.it/2020/12/23/ritratto-blazar-lontano/>

10 Elenco Acronimi

ASI	= Agenzia Spaziale Italiana
ASTRI	= Astrofisica con Specchi a Tecnologia Replicante Italiana. Progetto relativo alla prossima generazione di IACT (<i>Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope</i>)
ATHENA	= <i>Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics</i> . Missione ESA in preparazione per Astronomia nei raggi X
BEaTriX	= <i>Beam Expander Testing X-ray facility</i> . Facility per la calibrazione degli specchi di ATHENA
CTA	= <i>Cherenkov Telescope Array</i> . Telescopio per raggi gamma nella regione dei TeV
ESA	= <i>European Space Agency</i> – Agenzia Spaziale Europea
ESO	= <i>European Southern Observatory</i> – Osservatorio Europeo Australe
eROSITA	= Telescopio spaziale per osservazioni nei raggi X
ELT	= <i>Extremely Large Telescope</i> che sarà costruito dall'ESO sulle Ande cilene
ESPRESSO	= <i>Echelle SPectrograph for Rocky Exoplanets and Stable Spectroscopic Observations</i> . Spettrografo installato al VLT dell'ESO in Cile
eXTP	= <i>The enhanced X-ray Timing and Polarimetry mission</i> . Missione per astronomia in banda X a responsabilità cinese
LYNX	= Missione per astronomia nei raggi X in studio negli USA
GAPS	= <i>Global Architecture of Planetary Systems</i> .
GIANO	= Spettrografo al telescopio Telescopio Nazionale Galileo alle isole Canarie
HARPS-N	= <i>High Accuracy Radial velocity Planet Searcher</i> al Telescopio Nazionale Galileo alle isole Canarie
HIRES	= <i>ELT High Resolution Spectrograph</i> . Spettrografo per ELT dell'ESO
IASF-MI	= Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica cosmica Milano dell'INAF
IAU	= Unione Astronomica Internazionale
INAF	= Istituto Nazionale di Astrofisica
LBT	= <i>Large Binocular Telescope</i> . Telescopio della classe dei 10 metri in Arizona
LGWA	= <i>Lunar Gravitational Wave Antenna</i>
LISA	= <i>Laser Interferometer Space Antenna</i>
MAGIC	= <i>Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov</i>
MAORY	= <i>Multi-conjugate Adaptive Optics Relay for E-ELT</i> . Modulo di ottica adattiva per ELT dell'ESO
MUR	= Ministero Università e Ricerca
MusAB	= Museo Astronomico di Brera
NGHXT	= Missione per astronomia nei raggi X in studio in Giappone
NTT	= <i>New Technology Telescope</i> . Telescopio della classe dei 4 metri dell'ESO in Cile
OAE	= <i>Office for Astronomy and Education</i> della Unione Astronomica Internazionale
PCTO	= Percorso per le Competenze Trasversali e Orientamento

PLATO	=	<i>PLANetary Transits and Oscillations of stars</i> . Telescopio spaziale in corso di progettazione da parte dell'ESA per lo studio di pianeti extrasolari
POE	=	Ufficio <i>Public Outreach and Education</i> dell'Osservatorio Astronomico di Brera
PoliMi	=	Politecnico di Milano
REM	=	<i>Rapid Eye Mount</i> . Piccolo telescopio automatico sulle Ande cilene
SAIT	=	Società Astronomica Italiana
SIMPOSiuM	=	<i>SIMulation of Pore Optics in SILicon and Modelling</i>
SOXS	=	<i>Son Of X-Shooter</i> . Spettrografo in preparazione per NTT
UniMI	=	Università degli Studi di Milano
UniMiB	=	Università degli Studi di Milano-Bicocca
ULX	=	Ultra Luminous X-ray sources
Vert-X	=	Facility per la calibrazione degli specchi X di ATHENA
VIPERS	=	<i>VIMOS Public Extragalactic Redshift Survey</i>
VLT	=	<i>Very Large Telescopedell'ESO</i> in Cile. Telescopio classe di 10 metri sulla Ande cilene
WEAVE	=	WHT Enhanced Area Velocity Explorer al telescopio William Herschel alle Canarie