



# Cerimonia inaugurale dell'Anno Accademico

## 2017-2018

*XXXV dalla Fondazione*

---

15 dicembre 2017

Prolusione

**"La scienza senza frontiere:  
astrofisica, spazio e buchi neri"**

Dott. Francesco Tombesi

# La scienza senza frontiere: astrofisica, spazio e buchi neri

Dott. Francesco Tombesi

Buongiorno a tutti Voi, Presidente Tajani, Magnifico Rettore, illustri ospiti, studenti, colleghi e amici...

vorrei iniziare la mia presentazione provando ad ampliare un pò la nostra prospettiva rispetto al mondo in cui viviamo ed allargarla al contesto dell'Universo. Tutti noi viviamo le nostre vite sulla superficie del pianeta Terra, l'unico pianeta conosciuto che sia in grado di ospitare la vita. Ma la Terra è solo uno dei miliardi di pianeti che popolano la nostra galassia, la Via Lattea. Vorrei mostrarvi la fotografia scattata dalla sonda spaziale "Cassini", frutto della collaborazione internazionale tra la NASA, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Il nome della sonda è stato coniato in onore dell'astronomo italiano Giovanni Cassini, che fu uno dei primi studiosi di Saturno.

Mentre la sonda Cassini era in orbita tra gli anelli di Saturno nel 2013, la NASA ha deciso di far puntare il suo obiettivo verso la Terra e di scattare una foto, possiamo dire "un selfie", della Terra e di tutti noi da quella prospettiva. Come disse l'astrofisico americano Carl Sagan, da quella distanza la Terra appare solo come un "pallido pallino azzurro". Vorrei citare la frase che Carl Sagan ha scritto ispirandosi ad una foto simile scattata in precedenza da un'altra sonda NASA, la Voyager 1:

"Da questo distante punto di osservazione, la Terra può non sembrare di particolare interesse. Ma per noi è diverso. Guardate ancora quel puntino. E' qui. E' casa. Siamo noi. Su di esso, tutti coloro che amate, tutti coloro che conoscete, tutti coloro di cui avete mai sentito parlare, ogni essere umano che sia mai esistito, hanno vissuto la propria vita."

L'astronomia e la scienza moderna erano nate proprio qui in Italia nel Rinascimento, e possiamo considerare Galileo Galilei come il "padre" di entrambe. Galileo è stato infatti il primo ad adattare una innovazione dell'ottica del tempo, chiamata da lui "telescopio", per lo studio del cielo notturno. Questo ha dato il via a scoperte che nei secoli successivi hanno rivoluzionato la nostra percezione di noi stessi e dell'Universo. Il termine "telescopio" era stato coniato proprio qui a Roma, durante una cena in cui Galileo era stato invitato all'Accademia dei Lincei. Vorrei raccontare qui due aneddoti che uniscono proprio Tor Vergata, anche se l'Università è stata fondata secoli dopo, e l'astronomia di quel tempo. In particolare, la sede di Villa Mondragone. Il primo aneddoto è che il calendario che usiamo oggi in tutto il mondo, il calendario Gregoriano, fu proprio promulgato da Papa Gregorio XIII da Villa Mondragone nel 1582. Inoltre, per dimostrare la potenza del telescopio a dei cardinali romani, Galileo puntò proprio Villa Mondragone dalla collina del Gianicolo nel 1611 per mostrare tutti i dettagli che si potevano osservare.

L'uso del telescopio ci ha consentito di "ridurre" le distanze tra noi e l'Universo e di osservare fenomeni molto strani e affascinanti. Nell'ultimo secolo, le grandi innovazioni tecnologiche dei telescopi hanno consentito di spingere la conoscenza umana fino ai confini dell'Universo e a pochi attimi prima del "Big Bang".

Vorrei trarre un'analogia tra il telescopio e un altro "strumento" sociale che ha consentito degli avanzamenti quasi impensabili fino ad un secolo fa, la "collaborazione" tra nazioni. Su questo, l'Unione Europea è forse uno degli esempi più evidenti di collaborazione internazionale. La stabilità e la pace che ha garantito dal dopoguerra ad oggi le è valsa addirittura il Premio Nobel per la Pace nel 2012. Quindi, vorrei suggerire l'analogia del telescopio come "strumento" fisico e mentale, che ci avvicina, ci fa conoscere ed esplorare culture e società diverse.

Il mio argomento di studio sono i buchi neri. Possiamo dire che buchi neri sono gli oggetti più "oscuri" dell'Universo, questo perché nulla può sfuggire dal loro orizzonte degli eventi, neanche la luce. Infatti, la velocità di fuga all'orizzonte degli eventi dei buchi neri è proprio pari alla velocità della luce. Però, i buchi neri possono essere "osservati" attraverso gli effetti gravitazionali che esercitano sull'ambiente circostante. In particolare, quando del gas cade verso un buco nero, questo si può scaldare così tanto da rilasciare una grandissima quantità di energia gravitazionale prima di essere inghiottito nell'orizzonte degli eventi. Infatti, i buchi neri in accrescimento possono essere considerati come i "motori" più efficienti della natura nella produzione di energia attraverso la loro attrazione gravitazionale. Se consideriamo per esempio la fusione nucleare, che produce l'energia del Sole, l'efficienza di conversione di massa in energia è dello 0.7%. Per un buco nero in accrescimento, il valore di efficienza può raggiungere e superare anche il 30%!

In astrofisica possiamo distinguere tre tipi di buchi neri a seconda della loro massa. I buchi neri "stellari" di massa tra circa 3 e 10 volte quella del Sole, che sono creati nel collasso di stelle dopo l'esplosione in supernovae. I buchi neri "intermedi", con masse tra circa 100 e 10.000 volte quella del Sole, i quali sono ancora molto difficili da scovare, ma la recente detezione di onde gravitazionali dalla fusione di buchi neri stellari potrebbe darci indicazione sulla loro origine. Infine, i buchi neri "supermassicci", con massa tra un milione e un miliardo di volte quella del Sole. Per dare un'idea della loro dimensione, il loro orizzonte degli eventi è grande come la distanza che separa la Terra dal Sole!

Recentemente, gli astronomi hanno scoperto che i buchi neri supermassicci si trovano al centro di tutte le galassie. Questi possono essere osservati come "quasar" quando accrescono molto gas, perché la loro luminosità può diventare così elevata da superare la somma delle luminosità di tutte le stelle nella loro galassia ospite. I buchi neri supermassicci in accrescimento al centro delle galassie si chiamano anche "Nuclei Galattici Attivi" (AGN). La mia ricerca scientifica è focalizzata proprio sullo studio degli "AGN".

Il gas che circonda i buchi neri può diventare così caldo da essere luminoso nei raggi X. Infatti, il miglior modo per osservare i buchi neri è proprio nella banda dei raggi X, che vengono prodotti quando il gas si trova nelle vicinanze dell'orizzonte degli eventi. Se potessimo guardare il cielo di notte con degli occhi sensibili ai raggi X, non vedremmo più le stelle, ma un Universo costellato da buchi neri in accrescimento! Le osservazioni nei raggi X ci offrono una "radiografia" delle galassie, come quelle che possiamo fare del nostro corpo e del nostro scheletro in ospedale. Per le galassie, quello che si osserva nei raggi X è il buco nero supermassiccio in accrescimento nel loro centro e delle grandi quantità di plasma molto caldo e diffuso. Combinando immagini da telescopi in diverse bande energetiche, nella radiazione ottica vediamo di nuovo tutte le stelle, a frequenze radio possiamo vedere dei getti relativistici accelerati nelle vicinanze del buco nero ed infine in

specifiche righe spettrali, come quella dell'idrogeno, possiamo rilevare una grandissima quantità di gas freddo che rappresenta il "serbatoio" per la futura formazione di nuove stelle o di "carburante" che andrà ad alimentare il buco nero.

Dato che l'emissione dei raggi X dai buchi neri in accrescimento proviene proprio dalle vicinanze dell'orizzonte degli eventi, essi possono essere usati anche per investigare la teoria della gravità in condizioni estreme. Per esempio, studiando la deformazione dell'emissione proveniente da righe atomiche del ferro nelle parti più vicine del disco di accrescimento intorno ai buchi neri possiamo investigare le variazioni nello spazio-tempo causate dal fortissimo campo gravitazionale.

Sfortunatamente per gli astronomi, ma fortunatamente per tutti noi, i raggi X provenienti dalle sorgenti nell'Universo non raggiungono la superficie terrestre, ma vengono assorbiti dalla ionosfera. Quindi, per poterli captare, dobbiamo portare i nostri strumenti nello spazio in orbita intorno alla Terra. L'astronomia a raggi X ebbe inizio proprio con l'era spaziale negli anni '60 grazie ai lavori pionieristici di due scienziati italiani negli Stati Uniti, Bruno Rossi e Riccardo Giacconi. Giacconi vinse il Premio Nobel in Fisica nel 2002 proprio per la scoperta dell'astronomia a raggi X. Inoltre, il primo satellite scientifico dedicato all'astronomia X, chiamato "U-huru", fu frutto di una collaborazione tra l'Italia e gli Stati Uniti e fu lanciato in orbita dalla piattaforma di lancio "San Marco" a largo del Kenia il 12 Dicembre 1970.

Attualmente ci sono quattro principali osservatori spaziali in grado di scandagliare l'Universo dei raggi X. Il satellite XMM-Newton dell'ESA, il satellite Chandra della NASA, il satellite Swift frutto di una collaborazione tra NASA, ASI e Regno Unito, e NuSTAR frutto della collaborazione tra la NASA e il California Institute of Technology, con anche un contributo dell'Italia.

Vorrei mostrare il recente lancio in orbita di un nuovo osservatorio a raggi X della NASA, chiamato NICER, che è stato costruito nel centro NASA Goddard Space Flight Center con cui collaboro. Questo strumento è stato lanciato nel Giugno 2017 con il vettore spaziale privato Falcon 9 di SpaceX dal Kennedy Space Center in Florida. Il lancio è spettacolare perché per la prima volta si è recitata la navetta "Dragon" che contiene il carico e il primo stadio del missile è riatterrato a terra in automatico provenendo dallo spazio. Dopo un viaggio di qualche giorno la sonda Dragon è poi giunta sulla Stazione Spaziale Internazionale e NICER è stato agganciato all'esterno da un braccio robotico.

Vorrei mostrare anche il lancio del satellite "Lisa Pathfinder" dell'ESA effettuato con il vettore spaziale Vega nel 2015 dalla base spaziale europea in Guyana Francese. Questo satellite ha dimostrato la fattibilità della tecnologia per la rilevazione delle onde gravitazionali dallo spazio ed ha aperto la strada alla progettazione del grande osservatorio spaziale per onde gravitazionali Lisa a guida Europea e con un contributo dalla NASA. Il vettore spaziale Vega è stato ideato e costruito in Italia, proprio vicino Roma, negli stabilimenti dell'AVIO a Colferro. L'Italia è uno dei paesi al mondo che si trova all'avanguardia nella tecnologia spaziale ed è in grado di poter sviluppare completamente dei vettori spaziali autonomi, che poi vengono messi a disposizione dell'Agenzia Spaziale Europea o di aziende spaziali private.

Tornando allo studio dei buchi neri in astrofisica, negli ultimi decenni si è scoperto che non solo quasi tutte le galassie ospitano un buco nero supermassiccio al loro

centro, che può essere attivo o dormiente, ma che esistono delle relazioni di scala tra buchi neri e galassie. Per esempio, esiste una relazione che indica che più grande è la massa del buco nero supermassiccio, più grande è anche la velocità media con cui le stelle si muovono nella parte centrale della galassia ospite. Inoltre, studiando la distribuzione della massa totale in stelle nelle galassie, si è notato che bisogna invocare un qualche fenomeno che sia in grado di poter rallentare la formazione di nuove stelle, altrimenti le galassie sarebbero più grandi di quello che osserviamo. Dopo varie indagini e l'esclusione di altri fenomeni, sembra che solo l'azione del buco nero supermassiccio durante la fase di massimo accrescimento di gas possa sviluppare un'energia tale da poter influenzare gran parte della galassia in cui risiede.

Intuitivamente, questo sembra molto improbabile perché il buco nero supermassiccio è così compatto che il raggio del suo orizzonte degli eventi è solo un milionesimo del raggio della galassia in cui risiede. È come comparare la dimensione di una moneta da un euro con tutto il nostro pianeta. Inoltre, la sua massa rappresenta meno dell'1% della massa totale in stelle e materia oscura che compongono la galassia ospite. Però, è la sua energia gravitazionale che conta. Infatti, l'energia potenziale gravitazionale di un buco nero supermassiccio è così elevata da essere comparabile all'energia di legame gravitazionale che tiene insieme tutte le stelle nelle galassie. Quindi, se si riuscisse ad estrarre questa energia, si potrebbero avere degli effetti molto importanti sull'evoluzione galattica.

Grazie allo studio dei buchi neri supermassicci nei raggi X recentemente abbiamo scoperto che dei "venti" molto potenti vengono sprigionati dal disco di accrescimento formato dal materiale in caduta. Questi venti, che in un mio studio del 2010 abbiamo chiamato in inglese "Ultra-Fast Outflows", sono osservabili attraverso delle righe spettrali in assorbimento del ferro altamente ionizzato, indicanti un plasma molto caldo che si muove ad una velocità elevatissima, che può essere anche superiore al 10% della velocità della luce. Ancora non sappiamo bene l'origine di tali fenomeni, ma da stime iniziali della loro elevatissima energia cinetica si può stimare che potrebbero essere in grado di influenzare anche il mezzo interstellare nelle galassie ospiti.

Lo scenario che si sta delineando tra gli astrofisici è quello di un ciclo di "feedback" tra il buco nero supermassiccio centrale e il gas nella galassia ospite tramite l'accrescimento e la produzione di venti. Il gas della galassia ospite cadendo verso il buco nero forma una sorta di vortice chiamato disco di accrescimento. Date le alte temperature ed energie in gioco, dal disco si sprigionano dei venti che espellono parte del gas. Questi venti possono interagire con parte del materiale in caduta e rallentare o addirittura arrestare temporaneamente l'accrescimento stesso. Quindi, nel tempo, si instaura un meccanismo che permette al buco nero di auto-regolare la sua crescita.

Combinando dei dati nei raggi X e nella banda infrarosso ottenuti da due satelliti spaziali, il primo chiamato Suzaku e frutto della collaborazione tra NASA e Giappone e l'altro Herschel dell'ESA e NASA, il mio gruppo di ricerca è riuscito a mostrare la connessione tra i venti potentissimi sprigionati dalle vicinanze del buco nero supermassiccio in accrescimento in una galassia chiamata IRAS F11119 e venti molecolari freddi situati a grandi distanze. Per la prima volta questo studio ha dimostrato che i buchi neri supermassicci possono limitare la formazione di nuove stelle andando ad influenzare il gas freddo da cui si potrebbero formare. Data

l'importanza di aver dimostrato che i venti accelerati dai buchi neri influenzano l'evoluzione delle galassie, questo studio è apparso sulla copertina dell'edizione del 26 Marzo 2015 di Nature, una delle riviste scientifiche più autorevoli al mondo. Inoltre, ci sono stati diversi comunicati stampa congiunti della NASA, ESA, University of Maryland, Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e agenzia spaziale giapponese (JAXA).

Questo risultato mi è valso diversi premi, come: il "Goddard Honor Award" dal NASA Goddard Space Flight Center nel 2015, la medaglia di riconoscimento per l'eccezionale risultato scientifico conferitami dalla NASA nel 2016 e recentemente il premio Aspen Institute Italia per la collaborazione scientifica tra Italia e Stati Uniti nell'Ottobre 2017 a Roma.

Con l'aiuto del laboratorio di grafica computerizzata del NASA Goddard Space Flight Center, abbiamo sviluppato anche una animazione grafica della nostra scoperta scientifica. In questo video si può vedere come un buco nero supermassiccio al centro di una galassia sia inizialmente oscurato da una grande quantità di gas e polveri. Nel tempo, questo gas forma un disco di accrescimento da cui si sprigiona una grande luminosità e dei venti molto potenti che vanno a generare un'onda d'urto con il mezzo interstellare della galassia ospite. Questa onda d'urto si propaga nella galassia e va a rimuovere gran parte del gas freddo che si stava condensando in nuove stelle. L'effetto dei venti accelerati dai buchi neri supermassicci quindi influenza l'evoluzione galattica e dovremmo pensarli come ad un sistema in "simbiosi".

Ma dove si trova il buco nero supermassiccio più vicino a noi? È proprio al centro della nostra galassia, la Via Lattea! Esso si trova ad una distanza di circa 20.000 anni luce da noi e fortunatamente adesso è "dormiente". Infatti, è molto difficile da osservare data la limitata quantità di gas che sta risucchiando dall'ambiente circostante. La prova più diretta della sua esistenza è stata ricavata osservando il moto di alcune stelle nel centro della nostra galassia e ricostruendone le orbite. Le orbite di queste stelle sono governate da un oggetto invisibile, compatto, la cui massa è stimata essere di circa 4 milioni di volte quella del nostro Sole. Il "nostro" buco nero supermassiccio!

Per nostra fortuna, il buco nero supermassiccio al centro della Via Lattea attualmente è "dormiente". Però, ci sono diverse evidenze che indicano come in passato abbia avuto periodi di forte attività. Per esempio, delle osservazioni nei raggi Gamma effettuate con il satellite Fermi, frutto di una collaborazione internazionale tra NASA e ASI, hanno mostrato l'esistenza di enormi bolle di plasma estremamente caldo che si estendono perpendicolarmente dal centro galattico fino a distanze di 50.000 anni luce. Queste bolle, in inglese chiamate "Fermi Bubbles", possono essere considerate come un fossile astronomico del fatto che il nostro buco nero fosse stato molto attivo circa 6 milioni di anni fa e che possa aver formato queste enormi bolle attraverso dei venti o getti di particelle estremamente potenti.

Ma il buco nero supermassiccio al centro della Via Lattea avrebbe potuto avere effetti sullo sviluppo della vita? In un recentissimo studio pubblicato sulla rivista Scientific Reports il 30 Novembre 2017, insieme al Prof. Amedeo Balbi del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", abbiamo stimato che la radiazione ionizzante prodotta dal nostro buco nero supermassiccio nella sua fase

di massima attivita' avrebbe espulso l'atmosfera di pianeti terrestri e inibito la formazione di vita a distanze anche maggiori di 5.000 anni luce dal centro galattico! Forse non e' proprio un caso che ci sia vita qui sulla Terra, la quale si trova ad una distanza di "sicurezza" di circa 20.000 anni luce. Questo e' uno studio molto innovativo che ha attirato anche l'attenzione della NASA e mette in luce la qualita' e l'originalita' della ricerca che si fa in astrofisica a Tor Vergata al pari di lavori pubblicati da gruppi in universita' internazionali molto rinomate, come la Harvard University negli Stati Uniti.

Una "rivoluzione" epocale arrivera' nell'astrofisica a partire dai prossimi anni. Infatti, entreranno in funzione dei grandissimi telescopi terrestri e spaziali che aumenteranno enormemente le nostre capacita' osservative. Per esempio, il telescopio spaziale per raggi X chiamato Athena; il successore di Hubble chiamato James Webb Space Telescope; lo European Extremely Large Telescope (E-ELT), il quale sara' un telescopio ottico enorme, con uno specchio primario di circa 40 metri di diametro in costruzione in Cile; e ALMA, una grandissima rete di telescopi che osservano nelle microonde, anche quest'ultimo in fase di ultimazione sulle montagne delle Ande in Cile.

Si deve poi ricordare anche l'entrata in funzione degli osservatori per onde gravitazionali LIGO negli Stati Uniti e Virgo proprio in Italia, che ci hanno consentito per la prima volta di osservare direttamente le onde gravitazionali, cioe' la propagazione della perturbazione dello spazio-tempo che e' stata causata dalla fusione di due buchi neri molto lontani da noi.

Data la grande complessita' e gli elevati costi, e' importante notare come tutti questi nuovi progetti sono il frutto di collaborazioni internazionali, sia tra gli stati membri dell'Unione Europea, che con gli Stati Uniti e molti altri paesi nel mondo. Quindi, anche la scienza del 21esimo secolo si sta sempre piu' globalizzando e puo' rappresentare un importante motore per la collaborazione internazionale.

Considerando la rivoluzione scientifica che arrivera' nei prossimi anni, il campus dell'Universita' di Roma "Tor Vergata" si trova in una posizione potenzialmente molto avvantaggiata per poter usufruire al massimo di questa nuova ondata di innovazione. Infatti, il campus si trova in un contesto scientifico quasi unico in Europa e con pochi rivali nel mondo, avendo molti centri di ricerca di fisica, astrofisica e spazio, come: l'Agenzia Spaziale Italiana, l'Istituto di Astrofisica e Planetologia Spaziali, il CNR, l'ESRIN dell'Agenzia Spaziale Europea, i laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Frascati, i laboratori ENEA di Frascati e l'Osservatorio Astronomico di Roma. Potenziando al massimo le sinergie tra l'Universita' e questi istituti si potra' creare un polo unico sia per l'insegnamento che per la ricerca.

Infine, mi ha colpito lo slancio verso il futuro e l'innovazione dell'Universita' di Roma "Tor Vergata", che e' anche scritto nel suo motto: "Oggi, l'Ateneo di Domani". Questo mi ha fatto notare delle similitudini con lo spirito di innovazione e esplorazione del centro NASA Goddard Space Flight Center dove ho lavorato per gli ultimi sette anni e dove continuo ad avere molte collaborazioni. Questo centro e' stato intitolato a Robert H. Goddard, pioniere del volo spaziale americano, che aveva affermato: "E' difficile dire cosa sia impossibile, perche' il sogno di ieri e' la speranza di oggi e la realta' di domani".

Buon Anno Accademico a tutti!

Università di Roma



## **Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"**

*Oggi, l'Ateneo del domani*