
Luisa Bonolis

Colloquio con Margherita Hack

8 aprile 2003

["www.lamourfou - rivista di cultura.it"](http://www.lamourfou - rivista di cultura.it) • Settembre 2003



Colloquio con Margherita Hack - 8 aprile 2003

L. B. *L'astronomia rappresenta generalmente un elemento di grande suggestione fin dalla primissima giovinezza e spesso attira i giovani verso una carriera scientifica. A volte costituisce il primo segnale di un interesse in questa direzione.*

M. H. Per me non è stato così. Al liceo mi piaceva molto la matematica. Avevo nozioni di astronomia, mio padre leggeva libri di divulgazione di Camille Flammarion; il mio interesse era rivolto alla fisica, poi mi iscrissi a fisica all'Università di Firenze. Invece l'astrofisica la feci un po' per caso; volevo fare una tesi in elettronica e mi assegnarono un argomento di elettrostatica, roba vecchia; inoltre era una tesi compilativa e io invece volevo fare un lavoro sperimentale. A Firenze, l'unica possibilità di fare un lavoro sperimentale era in astrofisica e così cominciai a coltivare questo interesse. C'era Giorgio Abetti che era direttore dell'Osservatorio, ma chi mi seguì fu Mario Girolamo Fracastoro, che allora era suo assistente e che poi divenne direttore dell'osservatorio di Catania e più tardi di Pino Torinese. All'epoca furono Abetti e Fracastoro l'elemento forte nell'aprire una nuova via, erano entrambi fisici, in un ambiente, quello astronomico, in cui gli osservatori erano sempre diretti da matematici, meccanici celesti che facevano della ricerca completamente obsoleta. Anche se bisogna ricordare che la meccanica celeste ha avuto un grande rinnovamento grazie alle ricerche spaziali e in particolare in Italia grazie a Bepi Colombo, l'ideatore della tecnica del rimpallo gravitazionale, fondamentale per calcolare le orbite delle sonde interplanetarie, come Pioneer e Voyager.

L. B. *In Italia gli osservatori astronomici avevano una grande tradizione.*

M. H. La tradizione italiana risaliva all'Ottocento: nel 1801 Giuseppe Piazzi, all'Osservatorio di Palermo, scoprì Cerere, il primo pianetino, mentre Angelo Secchi verso la metà del secolo fu uno dei pionieri dell'astrofisica, la moderna astronomia, con lo studio sistematico degli spettri stellari. La prima rivista internazionale di astrofisica era stata proprio italiana: *Le memorie della Società degli spettroscopisti italiani*, fondata nel 1872, ci scrivevano al cinquanta per cento astronomi stranieri: francesi tedeschi, americani, oltre a Secchi, Schiaparelli, Riccò, Maggini, Cerulli. *L'Astrophysical Journal* comparve soltanto successivamente, nel 1894. Poi c'è stata un'eclissi dell'astrofisica e gli undici osservatori italiani (Torino, Milano, Padova, Trieste, Bologna, Firenze, Roma, Teramo, Napoli, Catania e Palermo), più la stazione di Carloforte, erano praticamente tutti diretti da matematici che oltre a fare una ricerca non più attuale, erano anche molto autocratici. Non lasciavano nessuna libertà di movimento ai loro ricercatori, come quella di andare in altri istituti; inoltre non c'era una vera e propria classe di giovani ricercatori. Le uniche eccezioni, a parte Giorgio Abetti ad Arcetri, erano Livio Gratton a Merate (succursale dell'Osservatorio di Brera), che prima della guerra emigrò in Argentina e al suo ritorno alla fine degli anni '50 è stato uno dei principali protagonisti dell'astrofisica italiana nel dopoguerra

insieme a Leonida Rosino, che quando è diventato direttore dell'osservatorio di Padova Asiago ne ha fatto uno dei maggiori centri di ricerca astrofisica e ha avuto molti studenti e poi ricercatori. Oggi moltissimi astronomi italiani provengono della scuola di Rosino, di Gratton, di Abetti e dei suoi allievi.

L. B. Qual era il contatto con le università?

M. H. Nelle università non si faceva nulla. Solo alcuni direttori di osservatorio, fra cui Abetti, avevano una cattedra universitaria, al massimo avevano un incarico, e quindi in facoltà avevano pochissima voce in capitolo; solo negli anni '50 furono equiparati a professori universitari di astronomia e in tutta Italia furono istituite 10 cattedre di astronomia. La maggior parte dei giovani che seguivano un corso di astronomia erano iscritti a matematica, e non erano quindi interessati a un'attività di ricerca. A Trieste, per esempio, facevano un corso di astronomia sferica che non mi interessava: si studiavano le posizioni delle stelle, le costellazioni, le misure delle parallassi. Di fisico non c'era niente, infatti l'astronomia la insegnavano come complementare soprattutto a matematica. In conclusione una moderna ricerca astrofisica si faceva solo ad Arcetri, dove c'era Abetti: il corso di astronomia era essenzialmente astrofisica. Abetti ha avuto parecchi allievi, tra cui Attilio Colacevich, che era ottico e bravo strumentista, divenuto direttore a Napoli, dove aveva cominciato a sviluppare il campo, ma andò in cattedra nel '48 e nel '53 purtroppo era già morto, non ebbe il tempo. Poi c'è stato Guglielmo Righini, un bravo fisico solare, poi diventato direttore di Arcetri nel 1952, che ha avuto diversi allievi, tra cui Mario Rigutti. Poi c'è Livio Gratton che ha avuto decine di allievi, tra cui Franco Pacini. C'era stato anche Mario Gerolamo Fracastoro, che è divenuto direttore dell'osservatorio di Catania nel 1954, e che negli anni '70 ha fatto costruire il telescopio sull'Etna, a Serra La Nave, dove ancora lavorano parecchio. Poi si è spostato a Pino torinese dove c'era una tradizione di ricerche astrometriche. Lui ha lasciato l'astrofisica per fare una astrometria moderna, ha lavorato alla progettazione dell'Hipparcos, ricerca astrometrica dallo spazio che ha portato enormi vantaggi nel campo della ricerca delle distanze delle stelle, che sono fondamentali. Mentre i risultati di mezzo secolo avevano portato alla determinazione delle parallassi di qualche migliaio di stelle, in anno di lavoro circa di Hipparcos si sono rilevate le parallassi di molte migliaia di stelle con una precisione dieci volte superiore.

L. B. Lei ha quindi vissuto in Italia questo momento di passaggio dall'astronomia all'astrofisica. Quali erano i temi interessanti quando ha cominciato a fare ricerca?

M. H. Ho avuto la fortuna di trovarmi a Firenze, l'unico posto dove si facesse astrofisica, altrimenti forse avrei fatto qualcos'altro, perché l'astronomia classica non mi interessava; si facevano lavori ripetitivi, che non avevano più nessun senso.

L. B. Quali erano i temi interessanti dell'epoca?

M. H. Allora ad Arcetri si faceva fisica solare, fisica stellare, mentre sulle galassie si faceva pochissimo, perché gli strumenti erano inadeguati per oggetti che emettevano segnali molto deboli. Quindi nel campo in cui ho poi lavorato, la spettroscopia stellare era l'argomento più fisico, perché si basava tutto sull'analisi degli spettri stellari, aveva a che fare con la spettroscopia, con la fisica dei gas e poi anche indirettamente con l'evoluzione stellare e quindi con la fisica nucleare, le reazioni nucleari, che sono

l'origine dell'energia irradiata dalle stelle. Bisogna ricordare che negli anni '20 fu costruita ad Arcetri la Torre solare, dotata di uno spettrografo e spettroeliografo; era uno strumento molto all'avanguardia, con il quale si sono ottenute diverse migliaia di immagini del Sole che hanno permesso di seguire l'evoluzione dei fenomeni di attività fotosferica e cromosferica e di studiare la composizione chimica della fotosfera solare. Le ricerche di spettroscopia stellare si svolgevano invece con un telescopio newtoniano da 30 centimetri e due prismi obiettivi; i risultati venivano pubblicati su riviste scientifiche internazionali.

L. B. *Lei ha assunto la direzione dell'osservatorio di Trieste nel 1964, che situazione ha trovato?*

M. H. A Trieste non si faceva nulla di moderno, quando io sono arrivata. C'erano due astronomi, un tecnico e due impiegati. Il direttore faceva un corso che non aveva alcun interesse, non attirava nemmeno dal punto di vista dell'astrofilo, era una successione di formule di geometria sferica. Infatti c'erano pochissimi studenti. Era una situazione da rinnovare di sana pianta. Io ero nata astrofisica da Arcetri, poi ero stata a Merate, nella succursale dell'Osservatorio di Brera e lì ho avuto degli studenti, non molti, perché non avevo un insegnamento all'università. Soltanto negli ultimi anni ho avuto l'incarico, malgrado fossi libero docente, ho fatto dei corsi liberi e avevo anche parecchi fisici che seguivano, ma non avevo modo di far fare ricerca. Gli ultimi due anni ho avuto un incarico all'università di Milano e ho avuto degli studenti che sono venuti con me a Trieste. Poi a Trieste ho cominciato subito a fare un corso di astrofisica moderna e ho avuto diversi studenti. In pochi anni ho avuto una trentina di ricercatori e tecnici, da cinque persone dello staff iniziale siamo passati a una cinquantina, ora saranno 150 fra astronomi, ricercatori e tecnici.

L. B. *Molte donne hanno dato un grosso contributo all'astrofisica. Già verso la fine dell'Ottocento le cosiddette "donne computer" venivano impiegate dagli osservatori per analizzare i dati osservativi. Il lavoro comportava un estenuante lavoro di precisione per catalogare e classificare gli spettri di stelle, nebulose e altri oggetti di cui all'epoca non si conosceva ancora la natura, molti dei quali venivano fotografati per la prima volta. All'inizio del Novecento Henrietta Swan Leavitt scoprì circa 1770 nuove stelle variabili e nel corso di questa indagine scoprì una relazione tra il periodo di variazione della luminosità delle Cefeidi e la loro luminosità. Questa relazione si è poi rivelata fondamentale per la determinazione delle distanze di stelle presenti nelle galassie esterne alla Via Lattea, e per stabilire la loro velocità di recessione dalla nostra galassia, la chiave per capire l'espansione dell'Universo.*

M. H. All'epoca in cui Leavitt scopriva la relazione periodo luminosità delle Cefeidi, lavorava anche Annie Cannon, che ha fatto una classificazione di migliaia di spettri stellari, lavorando a una velocità fenomenale – tra il 1911 e il 1915 riuscì a classificare circa 5000 stelle al mese - raccogliendo questi dati su nove volumi pubblicati dall'Osservatorio di Harvard tra il 1918 e il 1924. Antonia Maury verso la fine dell'Ottocento aveva fatto uno studio degli spettri che era molto più significativo dei precedenti dal punto di vista fisico; il suo sistema di classificazione anticipò la connessione tra temperatura e luminosità che ora vediamo nel ben noto diagramma di Hertzsprung-Russell. Era una donna coltissima. La Cecilia Payne ha anche scritto due

testi fondamentali per la fisica stellare, sull'analisi chimica quantitativa degli spettri per la determinazione delle abbondanze dei diversi elementi. Prima si faceva solo analisi qualitativa (ci sono le righe o non ci sono) il suo lavoro, che fu del tutto innovativo nei primi anni '20, permise di capire che l'intensità di una riga dipende non solo dall'abbondanza, ma essenzialmente dipende dalle condizioni fisiche dell'atmosfera stellare: temperatura e densità.

L. B. *Nel 1925 alla Payne fu attribuito il primo Ph.D. in astronomia di Harvard; furono obbligati, visto che il Dipartimento di fisica rifiutava di concederglielo. Nella sua tesi aveva teorizzato che le stelle dovevano essere composte principalmente di idrogeno, ipotesi che all'epoca fu contestata perfino da un personaggio autorevole come Arthur Eddington, che pure in quegli anni si era adoperato perché venisse fatta una verifica sperimentale della teoria generale della relatività. All'inizio del Novecento si è diffusa in Europa la possibilità per le donne di potersi iscrivere regolarmente e frequentare l'università, anche se a livello di carriera la situazione si è mantenuta a lungo proibitiva. Basti pensare alla grandissima matematica Emmy Noether; perfino Einstein era scandalizzato del fatto che non avesse una collocazione adeguata ancora nei primi anni '30, quando era riconosciuta come una delle protagoniste della matematica dell'epoca, animatrice della più vivace scuola di giovani talenti di Göttingen. E alla fisica Lise Meitner, che all'inizio della sua carriera, a Berlino, doveva frequentare le lezioni clandestinamente, nascosta in uno spazio sotto la cattedra, perché le donne non erano ammesse. Quando cominciò a lavorare, doveva passare dalla porta di servizio e non poteva girare liberamente, dovette superare pregiudizio e misoginia prima di riuscire ad arrivare ad occupare una posizione direttiva, eppure il suo valore e il suo prestigio erano stati sempre ampiamente riconosciuti all'interno della comunità dei fisici nel corso degli anni '20/'30 del Novecento. Lei come ha vissuto la condizione femminile?*

M. H. La Cecilia Payne, malgrado fosse uno dei primi astrofisici della prima metà del secolo, ha avuto la cattedra quasi all'età della pensione, ormai negli anni '50, perché era una donna. Per avere la cattedra io ho dovuto avere molti più titoli e lavori rispetto ai miei colleghi; avevo più del doppio di pubblicazioni, ero stata due anni a Berkeley in California, ero molto conosciuta e avevo riconoscimenti che i miei colleghi non avevano. Se non avessi avuto questi titoli forse non avrei avuto la cattedra. A parte questo, grosse discriminazioni non le ho vissute, ho avuto un perfetto accordo con i colleghi giovani. Tuttavia in Italia è un po' diverso, in America c'è un ostracismo, anche oggi le donne si lamentano di essere escluse dal "clan". Nei paesi latini in generale questa discriminazione di cui parlano le colleghe americane, è quasi assente. In Messico e Turchia ci sono parecchie donne in posizioni importanti, come in Francia; a differenza, invece, dei paesi anglosassoni, Inghilterra e Germania. In Inghilterra c'è una coppia di astronomi: lui aveva il posto di ruolo e quindi lei non ha mai avuto perché, nonostante sia molto nota e abbia pubblicato tanti lavori, ha dovuto arrangiarsi proprio perché viene considerato immorale che marito e moglie lavorino nello stesso osservatorio; questa è un'altra forma di discriminazione. Fra le donne astrofisiche ce ne sono molte di fama, dicono di essere escluse da *Nature* e *Science*, dicono che non c'è cameratismo, ma a livello di rapporti umani la discriminazione in Europa non c'è.

L. B. *L'universo quasi statico a cui l'uomo era abituato fin dall'antichità, una volta osservato a tutte le lunghezze d'onda della radiazione elettromagnetica, ha cominciato a rivelare l'esistenza di eventi catastrofici, di corpi celesti di cui non si sospettava l'esistenza, come i quasar, oggetti comparsi quando l'Universo aveva meno di un miliardo di anni, che emettono radiazione con potenza superiore a 100 miliardi di stelle. perfino i buchi neri, previsti in via del tutto teorica negli anni '30, sono ormai una consolidata evidenza sperimentale, grazie alle osservazioni fatte a partire dagli anni '70 le quali mostrano che essi risucchiano la materia di una stella vicina. Insomma, un vero e proprio "Universo violento", come lei stessa lo ha definito nel titolo di un suo libro dei primi anni '80. Lei ha vissuto tutta l'epopea di queste scoperte.*

M. H. Solo negli anni '20 hanno cominciato a scoprire che l'universo è in espansione. Quando ho cominciato, tutto l'interesse era centrato sul sole e meno sulle stelle, perché gli strumenti non avevano la sensibilità necessaria. La rivoluzione è cominciata con la radioastronomia, le prime osservazioni sono state fatte per caso nel 1932, da Karl Guthe Janski; lui lavorava alla Bell Telephone Company e ha scoperto che dalla galassia arrivano le radioonde. Di radioastronomia, quando io facevo gli esami, non se ne parlava assolutamente, si è cominciato a parlarne solo dopo la guerra all'inizio degli anni '50 e si sono trovate delle cose straordinarie, inaspettate. Gli astronomi avevano passato sotto silenzio la scoperta di Janski, intanto perché nello spettro visibile sono le stelle che dominano il cielo, le galassie a occhio nudo non si vedono, le stelle in radioastronomia non emettono, sono sorgenti molto deboli, invece sono le galassie, e le nubi di gas, che sono forti emettitori, il cielo visto in quella zona dello spettro è molto diverso da quello ottico. Le stelle, invece, emettono come corpi neri, la distribuzione delle righe spettrali è indipendente dalla temperatura; per spiegare le emissioni radio dagli spazi interstellari bisogna attribuire delle temperature enormi, mentre invece si sapeva che era vicino allo zero assoluto. Poi si è capito che il meccanismo era completamente diverso, non era termico, era il meccanismo sincrotrone e un grosso contributo allo sviluppo della radioastronomia l'ha dato un fisico sovietico, che ha scritto il primo libro di radioastronomia. Per me è stato estremamente importante. Negli anni '60 il *clou* delle scoperte fatte tutte tramite la radioastronomia, nel '63 si sono scoperte le quasar, che poi s'è capito che non erano stelle ma galassie lontanissime, si è scoperta la radiazione a 3 k che era stata prevista nel '48 ma scoperta solo nel '65 per caso e che ha dato il colpo di grazia all'ipotesi del modello stazionario, poi nel '67 le pulsar a cui ha dato un grosso contributo Pacini, che aveva studiato la fisica delle stelle di neutroni prima che fossero scoperte le pulsar. Erano oggetti di cui non si sospettava l'esistenza, e poi sono state scoperte le molecole interstellari, le molecole complesse che sono piccole radiotrasmittenti, il decennio degli anni sessanta ha quindi avuto una serie di grandissime scoperte grazie alla radioastronomia. Poi, alla fine degli anni '60 sono cominciate le ricerche spaziali. I primi satelliti astronomici la scoperta delle sorgenti X la scoperta dei fenomeni che avvengono nell'ultravioletto, che non si sospettavano dalle osservazioni ottiche, e poi i satelliti nell'infrarosso. Tutti gli aspetti del cielo che sono diversi nelle diverse bande dello spettro elettromagnetico. Io ho avuto l'occasione dopo l'interesse per la radioastronomia di occuparmi molto di ricerche spaziali nell'ultravioletto. Ho cercato di fare proseliti, facendo anche diversi convegni e sono riuscita ad ottenere che molti giovani ricercatori se ne occupassero.

L. B. *Che cosa si capiva dall'esame di questa zona dello spettro?*

M. H. Per l'astrofisica stellare si è trovato inaspettatamente che molte stelle che nell'ottico sembravano delle stelle completamente tranquille, presentavano dei fenomeni di super-ionizzazione delle righe nell'estremo ultravioletto che indicavano temperature molto più alte di quelle indicate dallo spettro ottico. Fenomeni in un certo senso paragonabili a quelli della corona solare, in stelle che non la avevano. La corona è presente in stelle che hanno una temperatura da 6000 gradi in giù, che hanno delle correnti convettive in superficie. Stelle più calde non si supposeva assolutamente che avessero delle corone, o meglio delle atmosfere esterne molto più eccitate di quelle che si osservavano nell'ottico. E poi venti stellari, cioè che questi gas avevano delle velocità di migliaia di km al secondo e quindi una perdita di massa notevole, il che dalle osservazioni ottiche non era minimamente sospettabile. Direi che queste sono state le cose più importanti dall'ultravioletto per le stelle. Per il mezzo interstellare si è visto che la composizione chimica sembrava diversa da quella delle stelle, il che era strano perché le stelle si formano dal mezzo interstellare. Poi si è capito che in realtà molti elementi che sembravano in difetto nel mezzo interstellare lo erano solo apparentemente, perché diventavano solidi, diventavano polvere a temperature... Poi si è visto che il mezzo interstellare può contenere sia righe di bassa eccitazione, che si formano per es molecole di idrogeno e molecole formate da un atomo di idrogeno e uno di deuterio che si formano a temperature inferiori al centinaio di gradi. Nelle stesse regioni c'erano zone di alta eccitazione con righe di carbonio ionizzato e silicio ionizzato anche tre o quattro volte che si formano a temperature di 500000 - 600000 gradi. Una convivenza di regioni molto fredde e di regioni torride il che si vede solo nell'ultravioletto. I primi satelliti non erano abbastanza potenti per studiare le galassie.

L. B. *Nell'ultimo decennio l'Italia ha dato dei contributi assolutamente notevoli alla ricerca in questo settore, il primo riguarda il sorprendente fenomeno dei lampi gamma, scoperti per caso da satelliti americani che avevano il compito di rivelare eventuali esplosioni di bombe atomiche. Da circa 30 anni sono uno dei più fitti misteri dell'Universo.*

M. H. Quando si è capito che questi lampi provenivano da tutte le regioni del cielo - potevano essere quindi di qualsiasi origine, a partire dal nostro sistema planetario, fino allo spazio esterno alla nostra galassia - ci si è posti il problema di scoprire quali oggetti celesti fossero responsabili di questa emissione di raggi gamma molto energici, un interrogativo durato più di vent'anni. Per capire quale potesse essere l'energia emessa durante il lampo e era necessario capire quali erano gli oggetti che la producevano. Una difficoltà nasceva dalla limitata capacità dei rivelatori di raggi gamma di stabilire la direzione di provenienza: quando viene individuato un raggio gamma in un angolo anche piccolo, di tre o quattro gradi, contemporaneamente in quella apertura sono visibili migliaia e migliaia di stelle e di galassie! Questo problema è stato risolto con successo all'inizio degli anni '90 dal satellite italo-olandese BeppoSax, così chiamato in onore di Giuseppe Occhialini, detto Beppo, uno dei maggiori promotori della ricerca astrofisica nel dominio delle alte energie. Il vantaggio di BeppoSax sui precedenti satelliti consisteva nella capacità di passare rapidamente dal modo di osservazione a raggi gamma al modo di osservazione a raggi

X, che è molto più direzionale e consente di restringere a qualche secondo d'arco la regione di provenienza del lampo gamma. Una volta individuata la sorgente a raggi X di intensità rapidamente decrescente, l'informazione viene passata ai telescopi ottici. Si è visto che si trattava di *iper-novae* molto molto massicce che esplodono come delle *super-supernovae* in galassie lontanissime, da otto a dieci miliardi di anni luce. Nota la distanza è stato possibile calcolare la formidabile energia emessa nei pochi secondi di durata del lampo: 100 volte superiore a quella che può emettere il Sole nei 10 miliardi di anni di durata della sua vita!

L. B. *Il meccanismo in grado di indurre l'esplosione di queste stelle non è ancora chiaro, secondo alcuni modelli recenti il processo esplosivo può essere innescato dall'energia immagazzinata nell'intorno di un buco nero. BeppoSax è un satellite olandese, ma è giusto sottolineare che il contributo principale è stato certamente quello dell'Italia. Un altro notevolissimo successo italiano è stato l'esperimento BOOMERANG, il risultato di una collaborazione internazionale guidata da Paolo De Bernardis, con la collaborazione di sua moglie Silvia Masi, entrambi allievi di Francesco Melchiorri. Lavorano all'Università "La Sapienza" di Roma, dove lo strumento è stato progettato e costruito.*

M. H. BOOMERANG è nato con l'obiettivo di ripetere le misure della radiazione del fondo cosmico a microonde, residuo del *Big Bang*, fatte dal satellite COBE, ma con una risoluzione spaziale molto maggiore. COBE poteva risolvere solo dettagli uguali o maggiori di 7 gradi, mentre BOOMERANG aveva un potere risolutivo di 10 primi d'arco. Poiché si osserva la struttura dell'Universo che risale ad appena 400000 anni circa dal *Big Bang* e tenendo presente che le distanze vengono misurate in anni-luce, stiamo in realtà osservando la struttura dell'Universo distante circa 14 miliardi di anni-luce. Perciò dettagli di 7 gradi visti da una distanza simile corrispondono a una dimensione lineare di 1,7 miliardi di anni luce, molto maggiore delle strutture più grandi che si conoscano, come i super-ammassi di galassie. 10 primi invece corrispondono a una dimensione di circa 40 milioni di anni-luce, cioè le dimensioni di un ammasso di galassie. BOOMERANG era montato su un pallone stratosferico che ha osservato e misurato la radiazione fossile per 11 giorni orbitando a 37 km di altezza intorno al Polo Sud. Queste osservazioni hanno permesso di stabilire che lo spazio è piano, obbedisce cioè alla geometria euclidea. Questi risultati sono stati poi pienamente confermati dal satellite WMAP. Ulteriori osservazioni del fondo cosmico con risoluzione ancora migliore, 5 primi d'arco, saranno fatte dal satellite europeo PLANCK, alla cui progettazione e realizzazione stanno attualmente lavorando numerosi gruppi di ricercatori italiani.

L. B. *Una immagine incredibilmente dinamica dell'Universo, lontanissima da quella che ne avevano gli antichi, che riuscivano appena ad osservare i movimenti dei pianeti e il lento ruotare della "volta celeste" nel corso dell'anno. Se erano fortunati ogni tanto registravano la comparsa di una supernova o di una cometa, eventi eccezionali vissuti spesso come minacciosi. La cosmologia sperimentale osservativa ha rivoluzionato completamente l'aspetto dell'Universo, dove si è visto che materia oscura e energia oscura giocano un ruolo enorme.*

M. H. Grazie alla radioastronomia si è scoperto che effettivamente gli oggetti più periferici della nostra galassia, nubi di molecole di carbonio, che emettono nelle onde radio, sono costituiti prevalentemente da materia oscura, invisibile a qualunque telescopio o ad altri mezzi di osservazione: la massa gravitazionale calcolata è risultata dieci volte maggiore della massa visibile. Questo fenomeno riguarda anche gli ammassi di galassie, è su scala universale. La nebulosa di Andromeda rivela la presenza di materia oscura grazie al moto dei bracci esterni, che ruotano intorno al centro galattico più rapidamente di quanto ci si aspetterebbe se la materia visibile, luminosa, della galassia ne costituisse tutta la massa o quasi. Proprio le osservazioni di BOOMERANG hanno permesso di arrivare alla conclusione stupefacente che la materia che si vede – quella che costituisce le stelle e i pianeti – rappresenta solo il 4%, la materia oscura il 23%, mentre il 73% è rappresentato dall'energia del vuoto, che è responsabile della recente scoperta che l'espansione dell'Universo ne risulta accelerata. C'è una enorme percentuale di materia presente sotto forma di materia oscura, e quindi, dall'equivalenza tra massa e energia, sotto forma di energia del vuoto. Questa accelera l'espansione dell'universo che si riteneva fosse rallentata per effetto di gravitazione

ella materia pre stabilire che la normale materia barionica che costituisce le stelle e i pianeti rappresenta solo il 4%, la materia oscura (non barionica) il 23%, mentre il 73% è rappresentato dall'energia del vuoto, che è responsabile della recente scoperta che l'espansione dell'Universo è accelerata. Della materia presente Poiché questa agisce sia sulla materia barionica che sulla materia oscura, mentre la forza di gravità agisce solo sulla materia barionica, è possibile stabilire il contributo delle due componenti alla densità di materia presente nell'universo. Le osservazioni indicano l'esistenza di due forze agenti sul plasma primordiale: la forza di gravità che tende a comprimere il gas fino a che la pressione esercitata dalla radiazione inverte il moto.

Grazie alle osservazioni radio si è scoperta la materia oscura degli oggetti più periferici della nostra galassia che erano nubi di molecole di C₂, molecole che emettono nelle onde radio, anche lì un contributo della radioastronomia ha mostrato che la massa gravitazionale calcolata è dieci volte maggiore della massa che si vede. Si è trovato che era anche negli ammassi di galassie, su scala universale. Oggi si arriva alla conclusione stupefacente che la materia che si vede rappresenta appena il 4 per cento. Anche map lo ha confermato, della materia presente e quindi c'è una enorme percentuale di materia presente sotto forma di materia oscura o, dall'equivalenza tra massa e energia, sotto forma di energia del vuoto, quella accelera l'espansione dell'universo che si riteneva fosse rallentata, per effetto di gravitazione

L. B. In questo panorama perfino i buchi neri stanno diventando oggetti celesti quasi familiari, che troviamo dietro l'angolo!

M. H. Un gruppo europeo che faceva osservazioni con un telescopio da otto metri di diametro ha scoperto che al centro della galassia c'è effettivamente un buco nero. Sono stati in grado di misurare la velocità orbitale di una stella a diciassette ore luce dal centro; dalla velocità si può misurare la massa contenuta entro diciassette ore luce che è risultata una massa di circa di tre milioni di masse solari: una massa così grande in un volume così piccolo, è difficile di parlare di qualcosa di diverso da un buco nero. Con HST, un telescopio spaziale, hanno visto che intorno al centro di alcune galassie esterne c'è un anello a una distanza di circa trecento anni luce. Con lo spettrografo

hanno misurato la velocità dell'anello e quindi dall'uguaglianza tra forza centrifuga e forza gravitazionale hanno potuto calcolare che la massa contenuta entro due o trecento anni luce è di qualche miliardo di masse solari. Anche qui è difficile pensare che non si tratti di buchi neri, oggetti collassati con un'attrazione gravitazionale talmente intensa che nulla può sfuggirne, neppure la luce. All'inizio sembravano effettivamente degli oggetti puramente teorici e invece ora si sta toccando con mano la loro presenza al centro delle galassie. Ci sono dei casi in cui si può dire che si tratta di stelle ridotte a buco nero, stelle di neutroni. Ma se la massa supera le tre masse solari non può essere una stella di neutroni, si comincia a pensare che ci possa essere una forma più compatta di materia, una stella di quark.

L. B. Oggetti celesti sempre più esotici. Lei è stata molto generosa nel scrivere moltissimi libri divulgativi accanto alla sua produzione scientifica.

M. H. Ho anche curato la rivista *Astronomia* e ora mi occupo di una nuova rivista, *Le stelle*, che è la continuazione di quella, come linea scientifica; fondamentalmente ci lavora Corrado Lamberti. Ha avuto la funzione di attirare molti giovani e anche gruppi di astrofili che fanno lavoro utile scientificamente, come la ricerca di pianetini, comete, *novae*, *supernovae*; serve a creare un collegamento, un aggancio con il mondo della ricerca. Hanno tutti i rivelatori, i computer, fanno anche lavoro scientificamente utile. E' qualcosa di particolare, tipico di questa disciplina, nelle altre discipline non esiste questo aggancio, ci sono centinaia di gruppi di astrofili, molti hanno agganci con osservatori, e fanno anche attività didattica. Ci si può accostare a questa scienza anche attraverso telescopi amatoriali, a volte finanziati dai comuni.

Oggi i centri italiani quali sono, non c'è più un osservatorio vero e proprio, si analizzano di i dati da satelliti, sono centri di ricerca in cui si collabora, ora c'è anche l'INAF. Asiago-Padova, Firenze-Arcetri, Roma-Frascati con Livio Gratton sono i centri che si sono poi diramati in tutta Italia. Da Arcetri sono partiti quelli che hanno creato una scuola a Catania, Napoli, Trieste e Torino. Dalla scuola di Gratton sono partiti quelli di Bologna, di Roma. Leonida Rosino ha fatto scuola ad Asiago e per la parte teorica c'era Nicolò Dallaporta. C'è anche Pisa con Vittorio Castellani, un allievo di Gratton. Oggi si collabora facilmente con computer ci sono gruppi che si interessando degli stessi problemi.

La fase astrofisica si è diramata da Arcetri, il vecchio osservatorio di Galileo, che ha dato origine all'astrofisica italiana moderna. Oggi l'Astrofisica italiana è una delle migliori, non ha nulla da invidiare a quella americana, c'è la possibilità di usare le strumentazioni dell'ESA e dell'ESO, oltre al telescopio Nazionale Galileo alle Canarie. poi c'è il grosso radiotelescopio Croce del Nord vicino a Bologna, collegato con le due parabole in Sardegna e Sicilia e inserito nella rete degli interferometri intercontinentali, poi c'è il telescopio TIRGO nell'infrarosso, che si trova sul Gornergrat, a 3200 metri: la strumentazione italiana è tra le migliori del mondo. Ci vogliono finanziamenti adeguati. Alla celebrazioni dei fasti italiani ci vorrebbe un adeguato riscontro in campo di finanziamenti!