

Monica Colpi

Breve Curriculum Vitae

Monica Colpi è Professore Associato presso il Dipartimento di Fisica G. Occhialini dell'Università degli Studi di Milano Bicocca.

Ha conseguito il titolo di Dottore in Fisica (cum laude) nel 1982 e di Dottore di Ricerca in Fisica nel 1987, presso l'Università di Milano, lavorando su tematiche proprie dell'Astrofisica Teorica e della Fisica Relativistica. Nelle dissertazioni magistrali e di dottorato sono stati condotti studi sull'osservabilità di buchi neri in relazione alle importanti scoperte in Astronomia X iniziate alla fine degli anni settanta. In seguito, come Visiting Scientist presso Cornell University, negli Stati Uniti, ha lavorato con i relativisti Stuart Shapiro e Saul Teukolsky sulla natura delle stelle di bosoni e sull'esplosione di stelle di neutroni attorno alla massa minima. Dopo un periodo di tre anni come Post-Doctoral Fellow presso la Scuola Superiore di Studi Avanzati (Sissa) a Trieste è ritornata a Milano prima come Ricercatrice e dal 2000 come Professore Associato. Insegna presso l'Ateneo milanese i corsi di Astrofisica Stellare e di Astrofisica delle Alte Energie per il Corso di Laurea Magistrale in Astrofisica e Fisica dello Spazio di cui ne è referente.

Monica Colpi è esperta in Astrofisica delle Alte Energie con principale interesse nel campo della fisica dell'accrescimento su buchi neri e stelle di neutroni, e nel campo della dinamica galattica. In particolare si segnalano lavori su: modellizzazione di Soft X-Ray Transients in quiescenza, Low-Mass-X-Ray Binaries in galassie early-type, Ultra-Luminous X-Ray Sources in galassie star-forming, Millisecond Pulsars in ammassi globulari, stelle di neutroni isolate nella Via Lattea, kick natali di stelle di neutroni e buchi neri. In ambito dinamico, ha condotto simulazioni numeriche con i più grandi calcolatori per descrivere la dinamica di buchi neri in galassie in collisione.

La ricerca nel campo della Astrofisica Relativistica e Cosmologia si è concentrata negli ultimi cinque anni sullo studio delle sorgenti cosmiche di onde gravitazionali (come previste dalla teoria della Relatività Generale), e in particolare di eventi di coalescenza di buchi neri supermassivi, in galassie in collisione. La ricerca opera nell'ambito della Fisica Fondamentale, dell'Astrofisica e della Cosmologia e si è sviluppata all'interno del *Science Case* della missione eLISA/NGO dell'Agenzia Spaziale Europea ESA. eLISA/NGO, acronimo di evolved Laser Interferometer Space Antenna/New gravitational Wave Observatory, è una missione spaziale dell'ESA. La missione è sotto esame all'ESA come Large Mission L2 per il 2028 ed è dichiarata dagli esperti ESA come "revolutionary and transformational". La missione aprirà una nuova finestra sull'Universo.

Monica Colpi è a capo del Working Group-Astrophysical Black Holes dell'eLISA Consortium, membro dell'Advisory Board dell'eLISA Consortium in rappresen-

tanza dell'Italia insieme a S. Vitale. È inoltre membro dell'Advisory Board del Pauli Center for Theoretical Studies, ETH (Zurich) e afferisce agli Istituti Nazionali di Fisica Nucleare (INFN) e di Astrofisica (INAF).

Monica Colpi è alla guida della formulazione del *Science Case* della missione presentata nello Yellow Book dell'ESA, e del *Gravitational Universe Theme* in fase di studio, avendo negli ultimi anni condotto studi pilota sulla formazione ed evoluzione delle sorgenti di onde gravitazionali, centrali per la definizione degli obbiettivi scientifici della missione. Si consulti a tale scopo:

<http://www.elisa-ngo.org>

<http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?fobjectid=49839>

Collabora con il team del Prof. Vitale (Trento-INFN) nell'ambito della missione spaziale LISA-Pathfinder e in ambito scientifico/teorico con colleghi dell'Einstein Institute di Potsdam (Berlin), dell'Astro-Particle Centre di Parigi e con l'Institute of Theoretical Physics in Zurich. Collabora con molti studiosi dell'INAF, l'Istituto Nazionale di Astrofisica.

Monica Colpi è autrice di più di cento lavori con Referee pubblicati su Riviste Internazionali con alto impact factor (4000 citazioni e H index 35), di più di novanta pubblicazioni presentate su invito a congressi internazionali e più di 50 partecipazioni a congressi di cui 15 su invito.

Colpi è Editor in Chief o co-Editor dei libri: *Dark Matter and Dark Energy: A Challenge for Modern Cosmology* (Springer, 2011); *Physics of Relativistic Objects in Compact Binaries: From Birth to Coalescence* (Springer, 2009); *Joint Evolution of Black Holes and Galaxies* (Taylor and Francis, 2007). È Referee delle più importanti riviste astronomiche. In ambito divulgativo, per *nottetempo* ha pubblicato *Buchi neri evanescenti*, e collabora con il Teatro No'hma di Teresa Pomodoro attraverso la scrittura e lettura di monologhi su tematiche di carattere scientifico.

L'attività scientifica è raccolta in pubblicazioni su riviste internazionali accessibili alla consultazione sul sito web:

<http://adsabs.harvard.edu/>

send query: Colpi

Ulteriori informazioni sono raccolte in:

<http://fisica.mib.infn.it/media/homepages/astrofisica/colpi/>

Ulteriori Informazioni

Sintesi dell'attività di Didattica

- CORSI DI LAUREA MAGISTRALE

2013-1996

Astrofisica delle Alte Energie

Corso di Laurea Specialistica in Fisica/Astrofisica e Fisica dello Spazio

2013-2000

Astrofisica Stellare

Corso di Laurea/Laurea Specialistica in Fisica/Astrofisica e Fisica dello Spazio

2008-2004

Dinamica Celeste

Corso di Laurea Specialistica in Fisica/Astrofisica e Fisica dello Spazio

1996-1994

Relatività Generale

Corso di Laurea in Fisica, Università dell'Insubria

1996-1990

Fisica II

Esercitazioni: Corso di Laurea in Scienze dell'Informazione

- CORSI DI DOTTORATO

2013-1994

Compact Objects

PhD School in Astrophysics, SISSA, Trieste: ciclo di 8 seminari

2011

Black holes: evidence of the horizon?

SIGRAV School in Contemporary Relativity, Como

2007

Scuola Nazionale di Astrofisica: Oggetti Compatti e Pulsar

1998

Gravità in sistemi a molti corpi

Dottorato di Ricerca in Fisica, Milano

1996

Scuola Nazionale di Astrofisica: Astrofisica delle Sorgenti X Galattiche

1993

Radiazione Materia e Gravità
Dottorato di Ricerca in Fisica, Milano

1993
Teoria dell'accrescimento
Dottorato di Ricerca in Fisica, Roma II

1990
Fisica degli Oggetti Compatti
Dottorato di Ricerca in Fisica, Milano

Attività di supervisione

Relatrice di 45 tesi di Laurea Magistrale , 8 di Dottorato.

Studenti di Laurea/PhD avviati alla ricerca:

A. Vecchio (Senior Lecturer, University of Birmingham)

A. Possenti (INAF, Direttore Osservatorio di Cagliari)

L. Mayer (Professor, Institute of Theoretical Physics, Zurich)

M. Dotti (Ricercatore, University of Milano Bicocca)

M. Mapelli (INAF, Osservatorio di Padova)

A. Gualandris (Lecturer, London University)

M. Volonteri (Associate Professor, Institute of Astrophysics, Paris)

S. Callegari (Post Doc, University of Zurich)

Sintesi dell'attività di Ricerca

Highlights:

- Dinamica di buchi neri supermassivi in galassie in interazione
- Dinamica/Fueling di buchi neri massivi in dischi circumnucleari
- Controparti elettromagnetiche di buchi neri in coalescenza in relazione a *LISA*
- Fondamenti della teoria della frizione dinamica in background autogravitanti
- Interazioni dinamiche e trasformazioni morfologiche: dwarfs- ring galaxies- LSBGs
- Stelle di neutroni isolate: accretors or coolers?
- Stelle di neutroni in Soft X-Ray Transients
- Magnetars
- (Sub-)Millisecond Pulsars
- Dinamica di Millisecond Pulsars in ammassi globulari: ricerca di buchi neri
- Dinamica di blue stragglers in ammassi globulari
- Stelle di neutroni e buchi neri: kick natali
- Esplosione di stelle di neutroni alla massa minima
- Boson Stars
- Ultra-Luminous X-Ray Sources: buchi neri di massa intermedia?
- High Mass X-Ray Binaries in Galassie Early Type
- Buchi neri in supernovae
- Processi radiativi su buchi neri

I. Buchi neri supermassivi

A) *Dinamica di buchi neri supermassivi nel contesto LISA/cosmologico*

- (i) Formazione di buchi neri binari in galassie in collisione
- (ii) Dinamica/Fueling di buchi neri massivi in dischi circumnucleari

Il progetto ESA-NASA *LISA*, acronimo di *Laser Interferometer Space Antenna*, è disegnato al fine di rivelare direttamente onde gravitazionali emesse in eventi di coalescenza da buchi neri binari (con masse comprese fra $10^{3-7} M_{\odot}$). Masse e spin dei buchi neri potranno essere determinate con straordinaria accuratezza, permettendo in tale modo di tracciare la loro evoluzione cosmica e di evidenziare il ruolo dell'aggregazione gerarchica nella formazione delle strutture cosmiche. Lo studio della dinamica di formazione di buchi neri binari in galassie in interazione, così cruciale per realizzare un evento *LISA*, è diventato argomento centrale della ricerca negli ultimi quattro anni. Condotta con tecniche SPH/N-Body fra le più avanzate al mondo, la ricerca ha portato ai seguenti risultati:

(i) Formazione di buchi neri binari in galassie in collisione

- Simulazioni di “minor e major mergers” sono state in grado di stabilire a livello quantitativo la sensibilità del processo di accoppiamento dinamico (pairing) dei buchi neri su scale superiori ai 100 pc, in funzione dell'ambiente, della dinamica dell'incontro, del rapporto di massa e dello stato termodinamico del gas.

- Simulazioni di major mergers (le più accurate in letteratura) con buchi neri massivi hanno catturato per la prima volta il momento di formazione di una “binaria Kepleriana” immersa in un disco circumnucleare massivo.

- Simulazioni di major mergers hanno indicato il ruolo centrale delle instabilità gravitazionali (tides and bar instabilities), della formazione stellare e del feedback radiativo (a) nella dinamica di pairing di buchi neri su scale dal kpc al parsec; (b) nella crescita in massa del buco nero in relazione con la dispersione di velocità stellare della galassia relitto ($M_{\text{BH}} - \sigma$ relation).

(ii) Dinamica/Fueling di buchi neri massivi in dischi circumnucleari

L'azione dissipativa delle onde gravitazionali su binarie di buchi neri avviene sulla scala del milliparsec, tre ordini di grandezza inferiore rispetto alla scala di formazione della binaria Kepleriana (pc). È quindi necessario individuare i processi fisici primari che conducono al restringimento della binaria fino a distanze rilevanti per l'emissione *LISA*. Fra essi: frizione dinamica gassosa e stellare, instabilità gravitazionali, migrazione type II (remnescente della planet migration). Simulazioni SPH/N-body di buchi neri in dischi circumnucleari autogravitanti sono state condotte al fine di dimostrare:

- Il ruolo della frizione dinamica in dischi dominati dalla rotazione nell'indurre il restringimento orbitale e la circolarizzazione della binaria di buchi neri.

- La dipendenza dei processi di accrescimento dai dettagli dell'orbita.

- La formazioni in “volo” di dischi di accrescimento attorno ai singoli buchi neri.
- Studio critico delle controparti elettromagnetiche di eventi *LISA*.

B) *Dinamica galattica*

- (i) Fondamenti della teoria della frizione dinamica in background autogravitanti
- (ii) Interazioni dinamiche e trasformazioni morfologiche: dwarfs-ring galaxies-LSBGs

I risultati significativi in questo campo sono:

- (i) Fondamenti della teoria della frizione dinamica in background autogravitanti

- Lo sviluppo e applicazione di un nuovo formalismo (Teoria della Risposta Lineare) per lo studio del processo di attrito dinamico in sistemi non collisionali autogravitanti. La teoria rappresenta un concreto superamento rispetto al formalismo dedotto da Chandrasekhar.

- Studio congiunto dei processi di frizione dinamica e di perdita di massa mareale nell’aggregazione di aloni satellite in aloni primari.

- (ii) Interazioni dinamiche e trasformazioni morfologiche

- Simulazioni N-body/SPH hanno messo in evidenza la fragilità dei dischi stellari di galassie nane in accrescimento su aloni Milky Way-like, mostrando come il campo mareale della primaria sia in grado di indurre perdite di massa e instabilità gravitazionali (bar and bending instabilities) capaci di trasformare “low surface brightness dwarfs” in “dwarf spheroidals” e “high surface brightness dwarfs” in “dwarf ellipticals”.

- Modellizzazione di collisioni ad alta velocità fra galassie per la ricostruzione dinamica della galassia Cartwheel finalizzato allo studio della dinamica di buchi neri di alone riconducibili a sorgenti ULXs.

- Spiegazione nel contesto cosmologico della natura enigmatica delle “Giant Low Surface Brightness Galaxies” (GLSBG): simulazioni di collisioni “Cartwheel-like” protratte su tempi scala di alcuni Gyr indicano la formazione di galassie estese le cui dimensioni e curve di rotazione sono in grado di riprodurre i dati osservativi delle GLSBGs (si veda l’editoriale su *Nature*).

II. Stelle di neutroni e buchi neri stellari

A) *Stelle di Neutroni: gravità, spin e magnetismo*

- (i) Stelle di neutroni isolate: accretors or coolers?

(ii) Magnetars

(iii) Stelle di neutroni in sistemi binari transienti: SXRTs

(iv) (Sub)-Millisecond Pulsars

Le osservazioni di stelle di neutroni sia “isolate” che in interazione in “sistemi binari” hanno permesso (a) di determinare parametri fisici fondamentali quali massa (M), spin, e campo magnetico superficiale B_s e (b) di stabilire uno schema evolutivo dei parametri in relazione all’ambiente e a possibili processi fisici interni. L’analisi critica delle diverse manifestazioni fenomenologiche (Radio Pulsars, AXPs, SGRs, HMXBs, LMXBs), nell’arco dei quaranta anni dalla scoperta della prima radio Pulsar, ha condotto alla definizione di una pittura il più possibile unificata ma ancora incompleta dei processi fisici responsabili dell’evoluzione. In questo ambito si segnalano alcuni importanti contributi.

(i) Stelle di neutroni “isolate”: accretors or coolers?

Nel contesto evolutivo delle stelle di neutroni isolate, si è suggerita la possibilità di osservare, successivamente alla fase di “ejector” (i.e. radio-pulsar), stelle di neutroni nello stato secolare di “accretor” [8], ossia in accrescimento dal mezzo interstellare, o nello stato di “cooler”, in cui la stella rilascia radiazione X-soffice per raffreddamento termico. Tali studi hanno motivato/condotto all’identificazione ottica di sette deboli sorgenti X, note in letteratura come “magnificent seven”, e alla loro identificazione come “coolers” fortemente magnetizzate e in lenta rotazione. Nei lavori si sono discussi:

- Criteri di osservabilità di stelle di neutroni in fase accretor affrontati sia con l’analisi dettagliata delle proprietà spettrali che con modelli di sintesi di popolazione in grado di fornire il primo “censimento”, combinando la loro dinamica nel disco galattico con l’evoluzione intrinseca del periodo di rotazione e di B_s .

- Vincoli osservativi che permettono di ottenere stime autoconsistenti sulla distribuzione di velocità delle stelle di neutroni alla nascita e su possibili scenari di evoluzione del campo magnetico.

(ii) Magnetars:

Negli ultimi anni, Soft Gamma Ray Repeaters (SGRs) e Anomalous X-Ray Pulsars (AXPs) appaiono essere manifestazioni diverse di uno stesso fenomeno fisico a cui ci si riferisce come “magnetar”, la cui energetica è legata al decadimento di un campo magnetico di elevatissima intensità $B_s > 10^{15-16}$ G, sostenuto da flussoidi quantizzati all’interno del liquido neutronico superconduttore.

In tale ambito si segnalano alcuni importanti contributi:

- L’interpretazione del “period clustering” osservato nelle AXPs, SGRs in relazione al decadimento di un campo “magnetar” ad opera di processi non

lineari quali la diffusione ambipolare (nei modi irrotazionali e solenoidali), e l'effetto Hall operante anche nella crosta della stella di neutroni.

- La “prima” evidenza osservativa, in 1E161348-5055, della formazione di una stella di neutroni di tipo magnetar in un sistema binario Low-Mass all'interno di un giovanissimo resto di supernova RCW 103.

(iii) Stelle di neutroni in sistemi binari: Soft X-Ray Transients (SXRTs)

SXRTs costituiscono una classe di sorgenti X in cui l'emissione nasce in eventi sporadici in cui materia fornita da una stella compagna di piccola massa accresce sulla stella di neutroni. Essi costituiscono un laboratorio per lo studio del processo di accrescimento su un intervallo dinamico straordinariamente ampio: in una stessa sorgente la luminosità varia di almeno 4 ordini di grandezza. Proprietà spettrali e curve di luce possono fornire indicazioni precise non solo sulle proprietà del disco di accrescimento ma anche sulla rotazione della stella di neutroni e sulla massa, dando informazioni importanti sulla equazione di stato della materia nucleare. Si individuano in questo ambito i seguenti contributi che hanno anticipato la stretta connessione evolutiva fra SXRTs e le Rotation-Powered Millisecond Pulsars (MSPs in seguito), queste ultime “riciclate” nella fase di accrescimento SXRT a periodi del millisecondo. I risultati più significativi sono:

- La connessione evolutiva fra SXRTs e MSPs: l'analisi dell'emissione X durante il decadimento dell'outburst e nella fase di quiescenza viene utilizzata come diagnostica per dedurre parametri fisici fondamentali quali il periodo ed il campo magnetico.

- Lo studio del trasporto/emissione di energia in stelle di neutroni in accrescimento ricorrente dovuto a reazioni piconucleari nella crosta e la connessione con la luminosità X di quiescenza. Tale studio ha permesso di stabilire una stretta correlazione fra massa e luminosità, grazie alla sensibile dipendenza dei processi di raffreddamento neutrinico all'equazione di stato.

(iv) (Sub)-Millisecond Pulsars/ Rotation Powered Pulsars

Le MSPs osservate sono caratterizzate da un rapporto fra energia rotazionale e gravitazionale modesto, sebbene il periodo minimo osservato sia $P = 1.39$ ms. È noto che il periodo critico al di sotto del quale si innescano instabilità dinamiche varia, in dipendenza dall'equazione di stato, fra 0.7 ms e 1.3 ms. Si ritiene quindi che la ricerca di sub-MSPs possa avere un impatto enorme nell'ambito della fisica delle interazioni forti, essendo in grado di selezionare tramite la determinazione del periodo minimo, l'equazione di stato della materia nucleare. In tale area si individuano:

- Il primo contributo allo sviluppo di modelli Monte Carlo di sintesi di popolazione per la formazione di sub-MSPs riciclate.

- Correlazione fondamentale fra minima massa barionica accresciuta e spin, in sub-MSPs.

- Correlazione fra Luminosità X e Luminosità di spin-down per il campione di rotation powered/X-ray selected pulsars.

B) *Fisica degli Oggetti Collassati*

(i) Stelle di neutroni: Instabilità idrodinamiche

(ii) Stelle relativistiche

(i) Stelle di neutroni: instabilità idrodinamiche

Lungo la sequenza di equilibri gravitazionali (Massa-Raggio) che congiunge le nane bianche con le stelle di neutroni si individuano tre punti critici: L'instabilità alla massa di Chandrasekhar (responsabile della transizione nana bianca \rightarrow stella di neutroni), l'instabilità alla massa massima per stelle di neutroni (responsabile della transizione stella di neutroni \rightarrow buco nero), e infine l'instabilità dinamica alla massa minima ($0.1 M_{\odot}$) per una stella di neutroni. In questo contesto si segnala l'importante contributo:

- Lo studio dell'instabilità idrodinamica di stelle di neutroni nella configurazione di massa minima. Si dimostra come tale instabilità porti alla completa esplosione della stella sull'arco di tempo di qualche secondo, accompagnata da un intenso flusso di antineutrini e radiazione. Il processo può essere messo in connessione con la fisica delle sorgenti LIGO/VIRGO.

(ii) Stelle relativistiche

Alcune teorie in fisica delle particelle e in cosmologia hanno formulato l'esistenza di bosoni esotici (assioni) che possono contribuire alla massa cosmologica mancante. In tale ambito:

- È stata esaminata la possibilità di costruire configurazioni “stabili” di equilibrio gravitazionale con materia bosonica fredda. Nel caso di bosoni non interagenti, queste ipotetiche configurazioni rappresentano stati quantistici macroscopici in cui il termine di pressione deriva dal principio di indeterminazione di Heisenberg. In un successivo lavoro, l'analisi di tali configurazioni è stata estesa al caso in cui bosoni autointeragenti tramite un potenziale repulsivo $\lambda\phi^4$ (si veda l'editoriale su *Nature*). Massa del bosone e costante di accoppiamento λ (parametri liberi della teoria) aprono la possibilità di costruire equilibri con masse $\sim 10^6 M_{\odot}$: in questo contesto tali stelle sono state recentemente discusse come alternativa all'ipotesi “buco nero” per Sgr A*, nel centro Galattico.

C) *Buchi neri stellari e di massa intermedia*

(i) Kick natali

(ii) Buchi neri di massa intermedia: MSPs e ULXs

(iii) Processi radiativi e accrescimento in esplosioni di supernova

(i) Kick natali

Stringenti evidenze osservative su Pulsars isolate e in sistemi binari indicano la presenza di “kick” natali, ossia dell’insorgere di velocità peculiari (fino a 1000 km s^{-1}) al momento di formazione della stella di neutroni. I kick segnalano particolari asimmetrie nel collasso che possono realizzarsi anche nel processo di formazione dei buchi neri (nel caso di “delayed collapse” preceduto dalla formazione di una proto-stella di neutroni) In questo ambito la ricerca ha condotto:

- Prima evidenza osservativo/teorica di elevato kick natale asimmetrico (200 km s^{-1}) per il Black hole in XTEJ 1118+480 grazie alla accurata modellizzazione dell’evoluzione del sistema binario che ha inoltre permesso di escludere uno scenario di “ejection” da ammasso globulare.

(ii) Buchi neri di massa intermedia (IMBH): MSPs e ULXs

L’esistenza di buchi neri con masse superiori a $100 M_{\odot}$ è attesa da diverse teorie sulla formazione dei buchi neri supermassivi (pop III stars/seed black holes from collapsing gasous discs). Siti ideali per la loro formazione sono ammassi stellari densi. In tre ammassi globulari (G1, NGC 6752, e M15) è stata segnalata la presenza di materia non luminosa ($\sim 1000 M_{\odot}$) riconducibile alla presenza di un IMBH centrale. Inoltre, molte sorgenti enigmatiche note come Ultra-Luminous X-Ray sources (ULXs), osservate in regioni di elevata formazione stellare [62], sono interpretate come IMBHs in accrescimento in sistemi binari. La ricerca di IMBHs in diversi contesti ha motivato lo sviluppo di alcuni studi:

- La possibilità di utilizzare le proprietà di timing di MSPs in ammassi globulari per rivelare accelerazioni anomale dovute a IMBH centrale.

- L’interpretazione delle posizioni/accelerazioni anomale di PSR-A e PSR-C in NGC 6752 come risultato di interazioni a 3 e 4 corpi con IMBH binari.

- La possibilità di utilizzare proprietà di timing di Pulsar per rivelare IMBH in ammassi stellari giovani: studio dell’evoluzione di IMBH in sistemi binari con stelle massive (riconducibili alla fase ULX) e formazione di sistemi binari IMBH-Pulsar..

- L’interpretazione di ULXs in Cartwheel come IMBHs in accrescimento dal mezzo interstellare, simulando la dinamica di formazione di Cartwheel con una popolazione di IMBHs di alone.

- Lo studio della dinamica a 3 e 4 corpi in ammassi globulari ha inoltre innescato una serie di lavori sulla natura enigmatica delle “blue stragglers” attraverso la modellizzazione dinamica (con tecniche numeriche di simulazione Monte Carlo/Fokker Planck) di popolazioni di binarie, rivelando l’origine bimodale di queste stelle anomale: primordiale alla periferia dell’ammasso e di origine collisionale nel core dello stesso.

(iii) Processi radiativi e accrescimento in esplosioni di supernova

- Lo studio dei processi di emissione X (Comptonizzazione) e γ (decadimento di π_0 prodotti in reazioni nucleari pp) da un plasma a due temperature, in accrescimento sferico su buchi neri statici e ruotanti.
- La soluzione analitica dell'equazione del trasporto radiativo per la descrizione del processo di Comptonizzazione Dinamica [4]: La presenza, nello spettro, di una coda universale a legge di potenza (e la determinazione di possibili cause di deviazione), creata in prossimità dell'orizzonte degli eventi, costituisce un elemento chiave per l'identificazione di sorgenti X con candidati buchi neri.
- Studio della dinamica del processo di *fall-back* (ricaduta) in esplosioni di supernova: la deduzione di leggi scala per la luminosità in funzione dei parametri del collasso e la determinazione della curva di luce portano a stabilire un criterio univoco per l'identificazione di buchi neri in resti di supernova di tipo II.