

The background of the slide is a deep space image. It features a complex, golden-brown web-like structure, likely representing the cosmic web, which fills the upper and right portions of the frame. Scattered throughout the dark, star-filled background are numerous galaxies, including several prominent spiral galaxies with bright centers and distinct arms. The overall color palette is dominated by the dark blues and blacks of space, punctuated by the warm yellows and oranges of the web structure and the varied colors of distant stars and galaxies.

Il contributo scientifico del RSN2 al Piano Triennale INAF

Corrado Trigilio

**Francesca Bacciotti, Sergio Cristallo, Mariateresa Crosta,
Emanuele Dalessandro, Davide Elia, Silvia Leurini, Giuseppina
Micela, Ilaria Musella, Paolo Ventura, Simone Zaggia**

Principali campi di ricerca in RSN2

La comunità INAF ricopre un ruolo di rilievo a livello internazionale nel campo dell'astrofisica stellare, dal punto di vista teorico, osservativo e sperimentale. Grande è la varietà delle tematiche affrontate, che nel PTA sono state elencate sotto le macrovoci:

- **Formazione Stellare**
- **Sistemi Esoplanetari**
- **Evoluzione Stellare**
- **Archeologia Galattica**
- **Cosmologia Locale**
- **Scala delle Distanze**

Formazione Stellare

Ampia comunità molto attiva, in crescita, collaborazioni internazionali, ruoli di leadership.

Tutte le **principali tematiche di FS** sono coperte in INAF. **Studio interdisciplinare.**

Accesso alle **maggiori facility da terra e spazio** con large program e grandi survey spettroscopiche

Eccellente record di **pubblicazione**

Ottenimento di **grant nazionali ed europei** (PRIN, Synergy, ERC, Grants INAF..),

Partecipazione a **team scientifici per strumentazione futura**

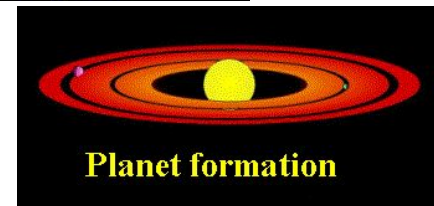
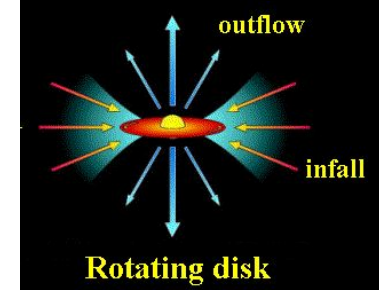
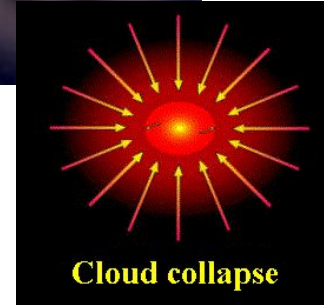
Sinergie : **RSN1** (formazione stellare extragalattica),

RSN3 (astrochimica di laboratorio), **RSN4** (raggi cosmici)

RSN5 (sviluppo di strumentazione radio e ottico/IR per alta risoluzione)

- **necessita' di supporto** per prepararsi all'utilizzo delle grandi facilities future (e.g. SKA, EELT)

- **necessita' di nuove posizioni di TI** per i campi in espansione



Tematiche di Formazione Stellare (1)

Proprietà globali su scala galattica:

Si studiano :

- distribuzione dei siti di formazione attraverso grandi survey
- distribuzione del mezzo interstellare (gas e polvere)
- proprietà chimiche del mezzo
- morfologia del campo magnetico galattico

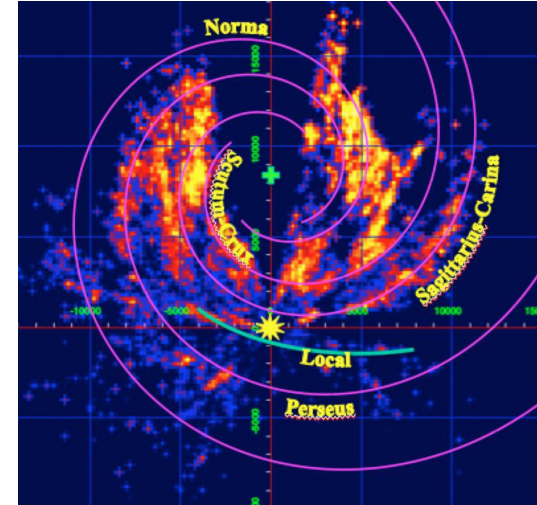
metodologia:

Acquisizione di dataset multibanda :

Chandra, XMM/Newton, Gaia, JWST, Rubin-LSST, Herschel, SRT, GBT, IRAM

obiettivi:

- ricavare leggi generali sul processo di formazione,
 - determinazione dello star formation rate
 - studio dell'impatto della formazione stellare sull'evoluzione della Via Lattea
 - formulazione di un paradigma valido anche per altre galassie



Tematiche di Formazione Stellare (2)

Formazione del singolo oggetto a varie masse:

Si studiano :

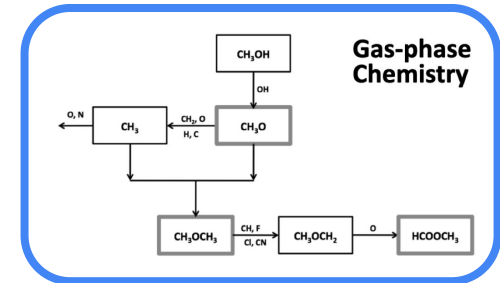
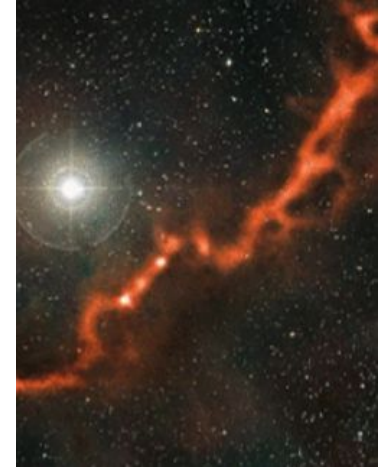
condizioni ambientali : proprietà nubi molecolari, frammentazione, filamenti,
astrochimica, molecole complesse
distribuzione campi magnetici nei singoli cores,
accelerazione e influenza dei raggi cosmici
outflows molecolari, streamers di accrescimento

metodologia:

oss. multibanda (*ALMA, NOEMA, HST, JWST, VLT, LBT, in futuro SKA, ELT*)
diagnostica spettrale, studi teorici analitici e numerici

obiettivi : determinare

→ condizioni che portano al collasso della nube,
formazione del disco in ambiente magnetizzato
evoluzione chimica del sistema
trasferimento di momento angolare nel processo di formazione



Tematiche di Formazione Stellare (3)

Dischi, Jets, Formazione planetaria

Si studiano :

proprietà fisiche del disco	distribuzione di gas e polvere nel disco
accrescimento sulla stella	strutture nel disco (rings, gaps, spirali ...)
jets atomici collimati	masers (acqua, metanolo, OH ..)
campi magnetici	chimica prebiotica, raggi cosmici

metodologia :

Osservazioni ad alta risoluzione angolare, polarimetria, survey spettroscopiche

ALMA, NOEMA, VLA, VLBI, HST, JWST, VLT, LBT, TNG, in futuro SKA , ELT

modelli teorici, chimica di laboratorio, simulazioni numeriche

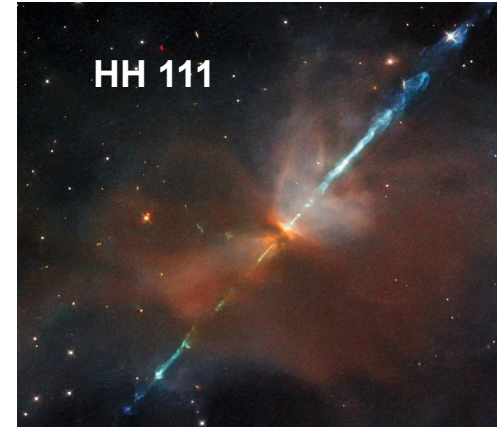
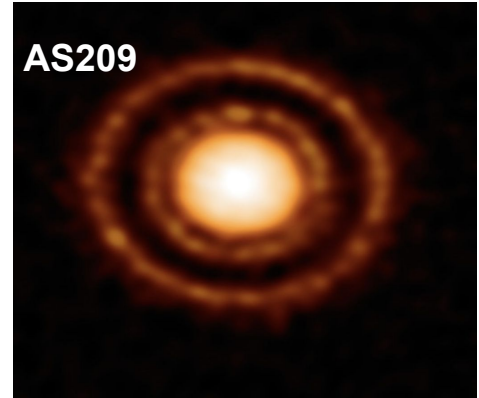
obiettivi :

→ determinazione delle condizioni iniziali per la formazione planetaria:

formazione delle strutture e aggregazione della polvere,

generazione di venti e jets e loro feedback sul bilancio di mom. angolare

generazione di molecole prebiotiche



Sistemi esoplanetari

Proprietà individuali e statistiche
Diversità e complessità

Tematica interdisciplinare: fisica, astrofisica, geofisica, chimica, biologia,...

Osservazioni multi-banda: dal radio ai raggi X

Multi-approccio: osservazioni da Terra e dallo spazio, metodi sofisticati di analisi, modeling, esperimenti di laboratorio

Collegamenti con la **formazione** e **evoluzione stellare**

Sinergie con **RSN3** (sistema solare), **RSN5** (tecniche di analisi dati e nuova strumentazione), **attività di outreach**

Sistemi esoplanetari: tematiche (1)

Struttura planetaria

Evoluzione

Architetture dei sistemi planetari

Tassonomia

Popolazioni

Determinazione delle masse dinamiche; Demografia, Ruolo della stella, Impatto dei pianeti massicci, Evoluzione e migrazione, Sistemi stellari giovani, Ambiente stellare.

Spettroscopia ad alta risoluzione (HARPS, HARPS-N, GIANO, ESPRESSO), fotometria (da terra, Kepler, Cheops, TESS; PLATO), imaging (SPHERE, SHARKs), astrometria (Gaia), modeling

- Necessità di serie di osservazioni ad alto rapporto segnale rumore su lunghe scale temporali
- Necessità di sviluppo di tecniche di analisi sofisticate per l'estrazione di segnali deboli in presenza di “rumore” stellare
- Necessità di parametri stellari accurati e precisi

Sistemi esoplanetari: tematiche (2)

Atmosfere planetarie

Primarie

Secondarie

Profilo termico, chimica, evoluzione, dipendenza dalle proprietà del pianeta e della stella

Abbondanze chimiche, Struttura termica, Evoluzione, Dinamica (clima e venti), Formazione di molecole complesse, Abitabilità

Spettroscopia ad alta e bassa risoluzione (HARPS, HARPS-N, GIANO, ESPRESSO, SPHERE, PEPSI, SHARK, HST, JWST, ANDES, Ariel), modeling, esperimenti di laboratorio

- Necessità di osservazioni durante i transiti e eclissi ad alto rapporto segnale-rumore
- Modeling accurato dell'attività stellare durante i transiti – Osservazioni broad-band o simultanee auspicabili
- Sottrazione accurata delle telluriche per le osservazioni da terra
- Sviluppo di modelli di atmosfere
- Metodi di analisi sofisticati (p.es. reti neurali) e potenza di calcolo.
- Auspicabili osservazioni a alta E a bassa risoluzione, durante i transiti E le eclissi perché ciascuno sonda diversi strati dell'atmosfera.

Sistemi esoplanetari: tematiche (3)

Interazione stella pianeta

Riscaldamento

Evaporazione

Effetti chimici sull'atmosfera, LTE vs non-LTE

Interazione fra i campi magnetici stellare e planetario

Effetti sulla stella (rotazione, maggiore attività stellare - flaring)

Osservazioni di atmosfere (vedi slide precedente), indicatori di attività stellare, fotometria e spettroscopia a raggi X, osservazioni radio, modeling, esperimenti di laboratorio

- Lunghe serie temporali dal radio ai raggi X
- Spettroscopia di diagnostiche NLTE negli spettri planetari
- Modelli 3-D di interazione stella pianeta (radiazione e particelle) dipendenti dal tempo (flares e CMEs) e identificazione di diagnostiche

Sistemi esoplanetari

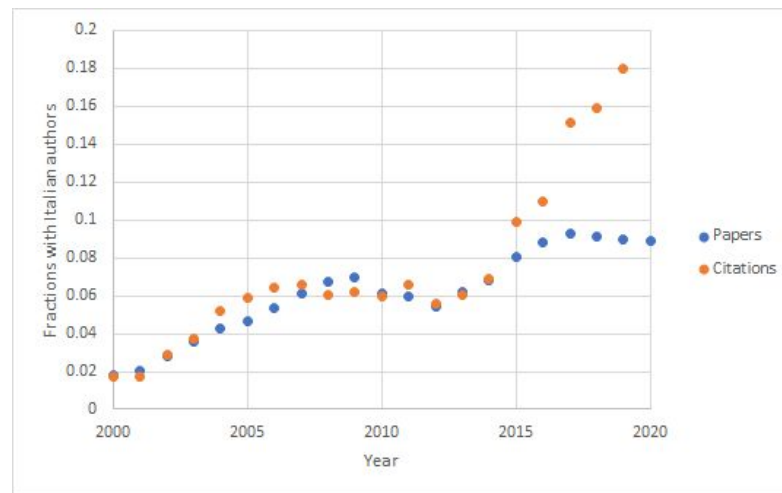
Tematica in espansione, cresciuta molto negli ultimi anni

Comunità nazionale **organizzata** (presente in quasi tutte le strutture INAF)

Partecipazione con **ruoli di leadership** in progetti futuri da terra e dallo spazio

Comunità giovane (essendo nata negli ultimi 10-12 anni) → **necessità di consolidamento per non disperdere all'estero le competenze raggiunte**

Frazione di articoli sugli esopianeti (con referee) e di citazioni con autori italiani sul totale mondiale. La crescita a partire dal 2013 è collegata alla partenza dell'utilizzo massiccio di HARPS-N@TNG e all'entrata in funzione di SPHERE (2015). (Cortesia R: Gratton)



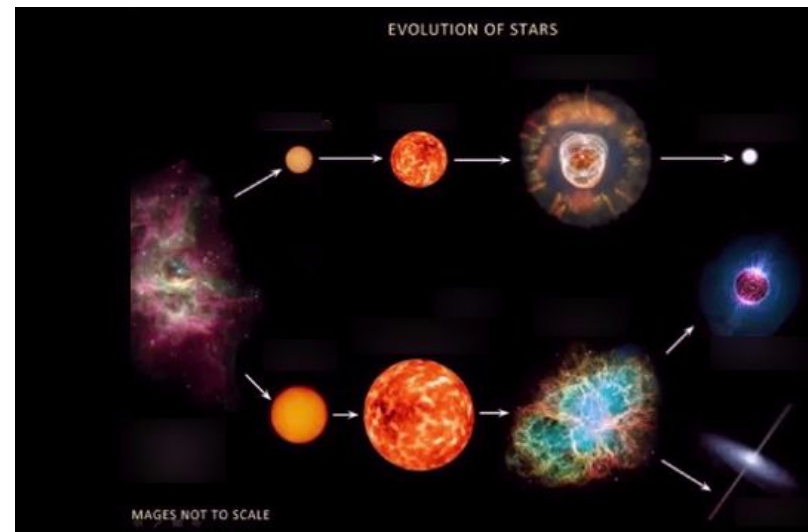
Struttura ed evoluzione stellare

Varie tematiche:

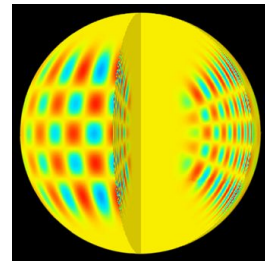
- struttura interna e sua evoluzione
- atmosfere, magnetosfere, attività magnetica
- interazione stella mezzo circumstellare e/o pianeti
- rotazione ed evoluzione momento angolare
- perdita di massa, ultime fasi ed arricchimento ISM

Collegamenti con **Formazione stellare**, **esopianeti**, **archeologia galattica**

Sinergie con **RSN3** (Sole), **RSN4** (evoluzione finale, esplosioni SN, SNR, kilonovae)



Struttura ed evoluzione stellare



Struttura interna delle stelle:

Notevole contributo dall'**Astero-sismologia** grazie all'analisi dati *CoRoT*, *Kepler e Tess* e, in futuro, *PLATO*.

→ determinazione di massa, raggio ed età di un campione numericamente consistente di stelle.

Strumento di indagine molto adoperato. Proposte di nuove missioni (es *HYADN@ESA*).

Evoluzione stellare:

Forti competenze INAF in più sedi su **Modellistica stellare**.

Ruolo di leadership italiana, *database di modelli stellari* molto utilizzati dalla comunità internazionale.

→ necessità di aggiornare costantemente i database per mantenere la leadership.

Fisica di base:

Esperimenti di **fisica nucleare** (INFN)

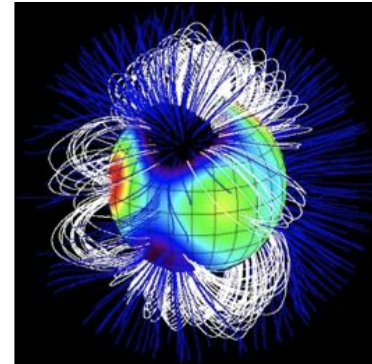
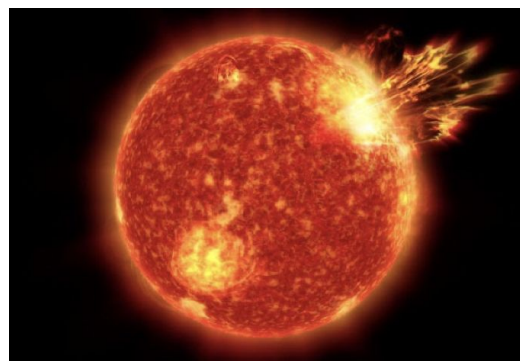
Esperimenti di **fisica atomica** (ENEA)

→ ingredienti fondamentali per modelli di struttura e di atmosfere
(sezioni d'urto, proprietà ottiche di vari elementi)



Struttura ed evoluzione stellare

Atmosfere, Attività magnetica:



Studio delle **atmosfere stellari**, **dell'attività magnetica** (solar-stellar connection), delle **magnetosfere**, delle **abbondanze chimiche**. Modellizzazione di atmosfere, incluso **non-LTE**.

Importanti per lo studio dell'interazione tra stella e CSM, inclusi esopianeti (forte connessione con esopianeti).

Studio di **campi magnetici** nel diagramma HR, **Dinamo stellare**, **Plasmi magneto-attivi**.

Evoluzione della **rotazione** e del **momento angolare**.

Struttura ed evoluzione stellare

Fasi finali dell'evoluzione stellare:

instabilità convettive, rotazione e **campo magnetico** → ruolo fondamentale nella **nucleosintesi** e nello studio delle **atmosfere stellari** e nell'interazione con il mezzo circumstellare e interstellare.



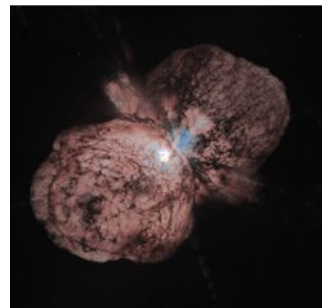
Stelle di grande massa fino oltre $100 M_{\odot}$.

Caratterizzazione della perdita di massa.

Nucleosintesi esplosiva. Connessione dell'evoluzione stellare con le nuove classi di transienti stellari delle fasi finali di vita delle stelle, le eruzioni pre-supernova (LBV eruption, WR) e i vari tipi di supernovae.

Stelle di massa piccola e intermedia:

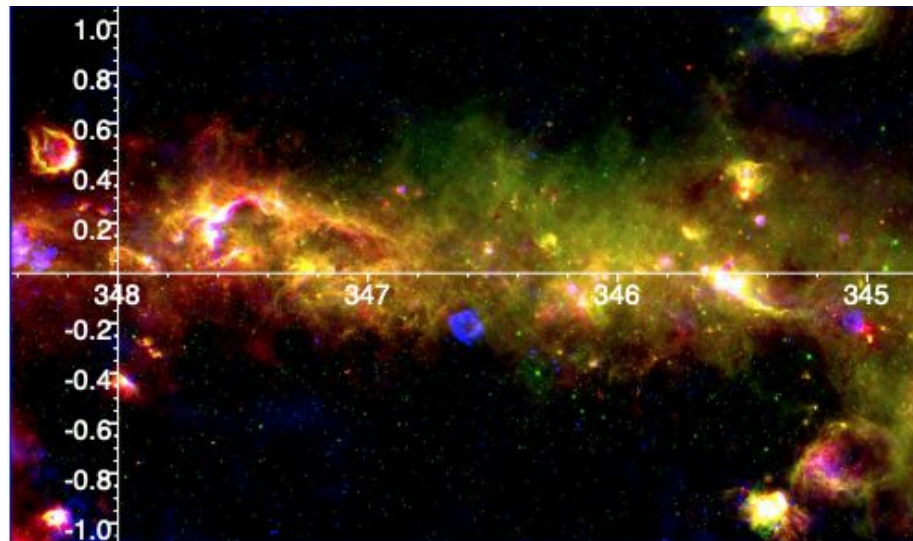
variazione della composizione chimica superficiale, mineralogia delle **polveri** prodotte nei venti e sintesi degli elementi pesanti; fasi AGB, post-AGB, PN.



Struttura ed evoluzione stellare

Survey di piano galattico:

Banda radio e IR superano il problema dell'estinzione. Censimento completo di SNR, PN, LBV, WR e SFR, i cui numeri non sono consistenti con quanto previsto dalla teoria.



Grandi aspettative da:

PLATO (astrosismologia), **SOXS** per ESO-NTT (PI INAF) (massloss, B...), Precursori **SKA** (**MeerKAT**, **ASKAP**) (no estinzione), **Centri Nazionali, Tecnopolo** (modellistica, big data)

Criticità:

La comunità INAF ricopre un ruolo internazionale di rilievo nel campo dell'evoluzione stellare:
importante mantenere tale posizione di prevalenza!

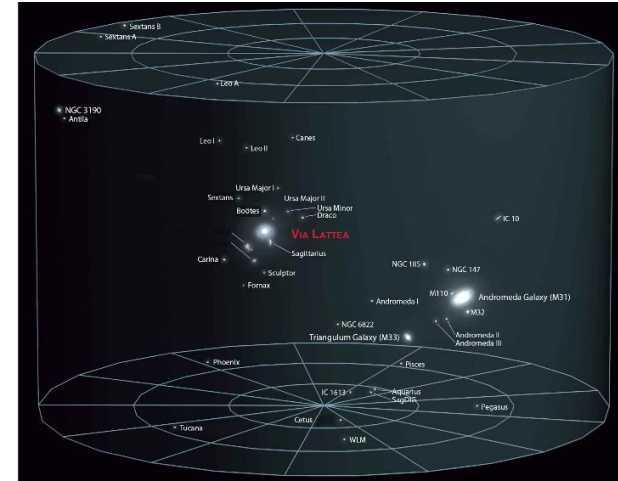
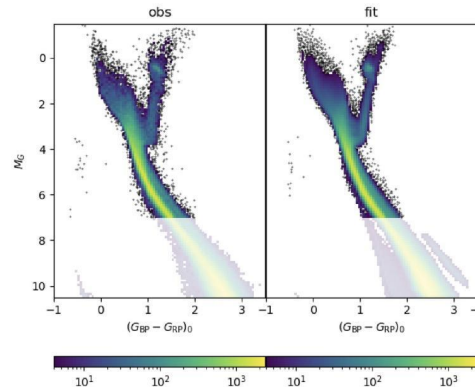
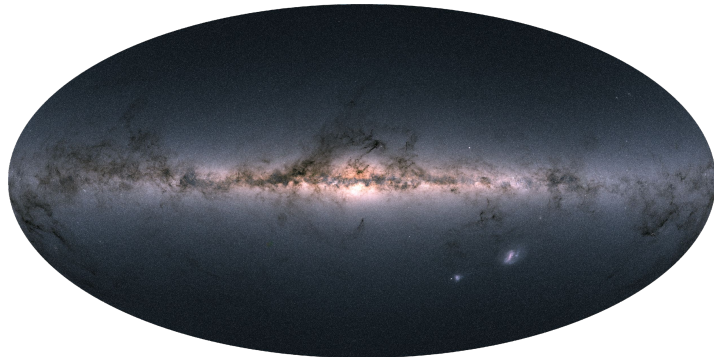
Archeologia galattica

Formazione delle galassie studiando le popolazioni stellari risolte

- Le galassie nel Volume Locale (20 Mpc): **ricostruzione della storia gerarchica di formazione**
- Tempi e modi di formazione stellare - **Star Formation Histories**
- Evoluzione della componente barionica dell'Universo (processi di nucleosintesi, feedback ...)

Storia di formazione della Via Lattea nell'era delle grandi survey

- La **Galassia e i suoi satelliti** (presenti e passati) come prodotto cosmologico
- Formazione delle strutture su scala sub-galattica (alone, bulge, disco, streams)
- **Evoluzione chimico-dinamica** della Via Lattea



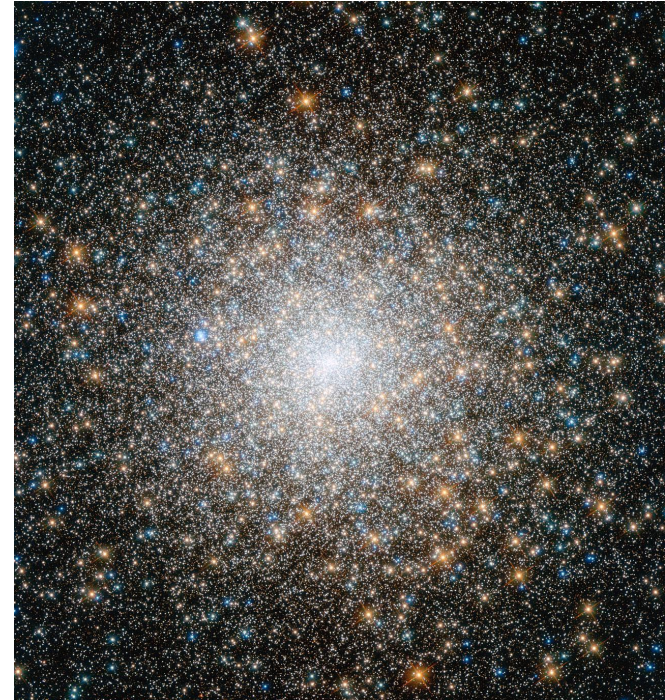
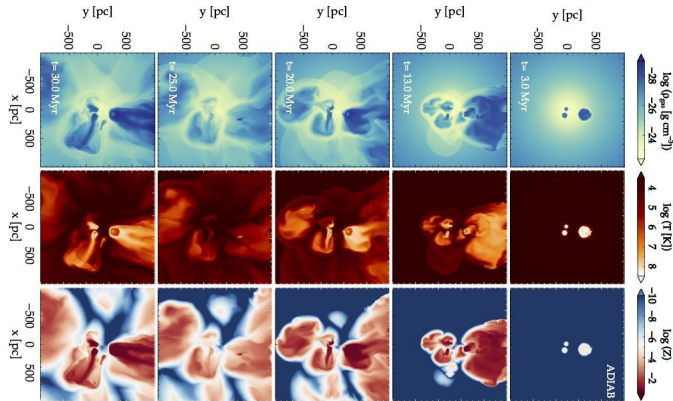
Archeologia galattica

Ammassi stellari: tra formazione stellare e galassie

- Formazione degli **ammassi globulari** e delle *'popolazioni multiple'*
- Ammassi stellari come laboratorio di evoluzione chimica e dinamica stellare
- **Ammassi aperti** e la formazione ed evoluzione della popolazione del disco

Modelli dinamici e di evoluzione chimica

- Simulazioni di **popolazioni stellari complesse**
- Simulazioni **idro-dinamiche** ambito cosmologico
- Simulazioni dinamiche **N-body e Monte Carlo**



Cosmologia Locale

La Galassia come prodotto cosmologico a differenti scale, dal Sistema Solare fino alla sua periferia

Si fonda su due ingredienti:

ASTROMETRIA RELATIVISTICA: modelli teorici, analitici e/o numerici, completamente basati sulla Relatività Generale (incluso assetto relativistico di osservatore satellitare o ground based) per il processamento e analisi dei dati astronomici sempre più accurati.

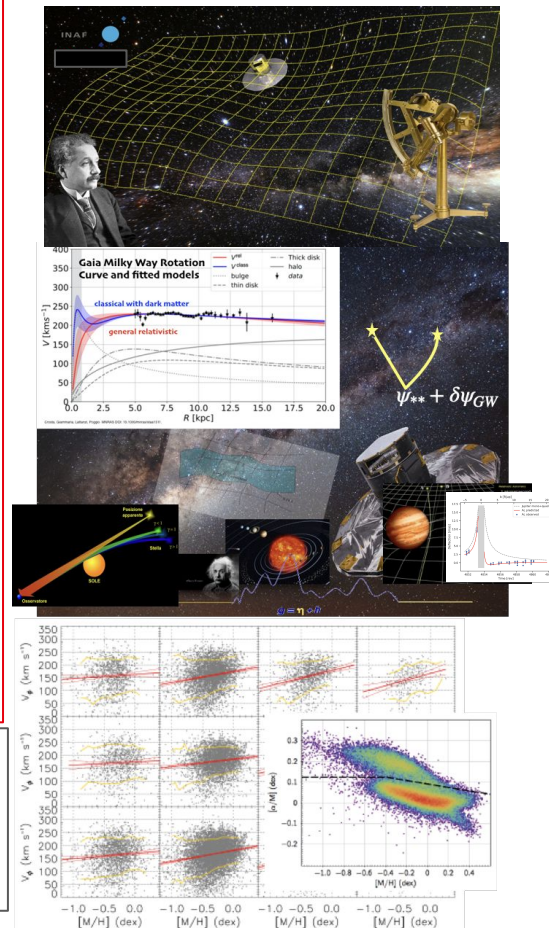
Campo di ricerca inaugurato con l'avvento di Gaia per garantire i suoi prodotti scientifici; **imprescindibile per future missioni che operano nello spazio** (le traiettorie dei fotoni emessi dalle stelle - geodetiche nulle - stanno all'astronomia come i modelli degli interni stellari stanno all'evoluzione stellare).

ASTRONOMIA GRAVITAZIONALE: applicazione della Relatività Generale (RG) dalle scale del Sistema Solare a quelle della Via Lattea.

Le osservabili dell'astrometria relativistica attraverso i dati della missione Gaia e in futuro, e.g., Euclid, abbinati alle survey spettroscopiche da Terra (APOGEE, WEAVE, ...) consentono di:

- testare la gravità della teoria standard e quella di teorie alternative, investigare il ruolo e natura della materia e dell'energia oscura, implementare modelli relativistici per la Via Lattea (la "geometria" della Galassia come riferimento per altre galassie, proprio come il Sole per i modelli stellari)
- confrontare simulazioni cosmologiche a $z=0$ (predizioni locali del modello Λ -CDM) sulla base dei dati locali, rivelare segnature chimico-cinematiche dell'evoluzione della Via Lattea

L'avanzamento dei modelli relativistici già utilizzati con successo per l'analisi dei dati della missione Gaia consente metodi innovativi per l'individuazione di onde gravitazionali e la misura della loro direzione di origine entro i sub-arcsec monitorando angoli tra stelle (antenna astrometrica gravitazionale)

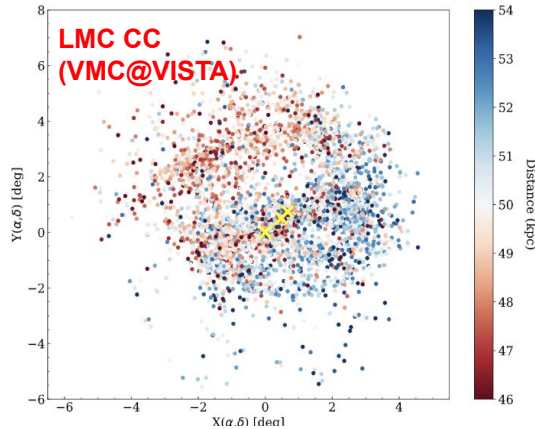


Scala delle Distanze

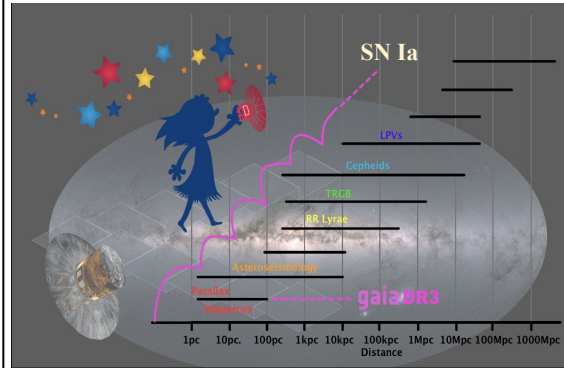
Stelle come indicatori di distanza: TRGB, variabili pulsanti, SNIa

Le variabili pulsanti svolgono un triplo ruolo: traccianti di popolazione, mappe 3D, calibratori

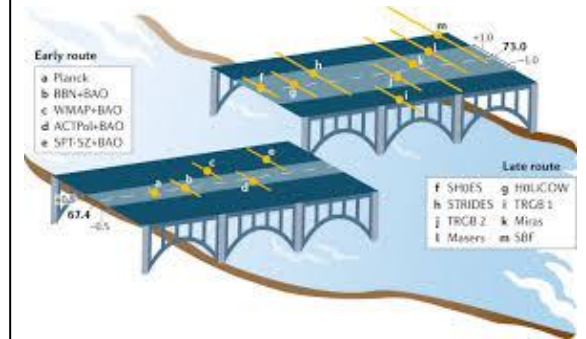
Distribuzione spaziale



Calibratori Primari
della scala delle distanze



Tensione di Hubble



Individuazione e risoluzione dei possibili errori sistematici attraverso:

- Proprietà e affidabilità come candele standard attraverso modelli teorici pulsazionali (calibrazione delle relazioni note e individuazione di nuove relazioni, dipendenza dalla metallicità)
- Test empirici e teorici basati sia sui modelli che sull'utilizzo di survey fotometriche e spettroscopiche
- utilizzo delle parallassi da **Gaia** DR3
- Grande impatto atteso nel prossimo futuro con la survey **Rubin-LSST** che permetterà di andare 5 magnitudini più profondo di Gaia e estendere al Gruppo Locale i risultati ottenuti e che si stanno ottenendo con Gaia nella Via Lattea e con **JWST** e **ELT**

Archeologia Galattica, Cosmologia Locale e Scala delle Distanze

- Ampia comunità con molti collegamenti trasversali sia interni al RSN2 che con tutti gli altri Raggruppamenti e con la Terza Missione
- Alta produttività
- Leadership internazionale consolidata in molti sottosettori del campo
- Diversi ruoli di coordinamento sia nei progetti in corso sia in quelli futuri, sia scientifici sia tecnologici
- Competenze teoriche e osservative

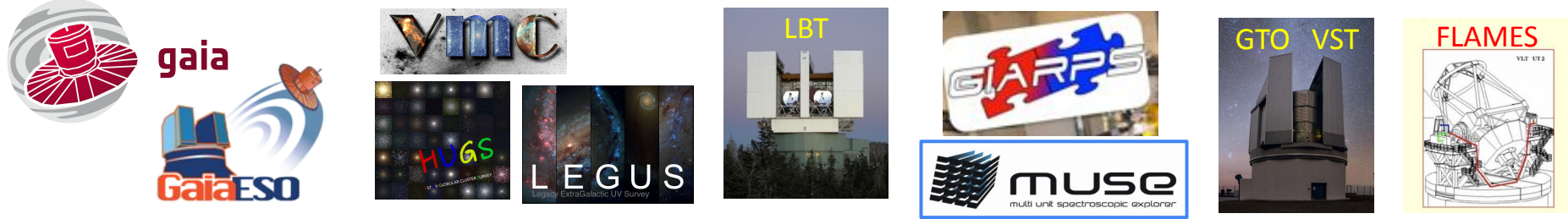
Criticità:

- Necessità di supporto in termini di fondi per mantenere la competitività e il coinvolgimento in progetti e prepararsi all'utilizzo delle grandi facilities future
- Acquisizione di nuovi TI, ma anche di progressioni, per i molteplici progetti presenti e futuri
- Finanziamenti adeguati per il personale staff
- DPCT come infrastruttura INAF, archivio di dati grezzi e sistema informatico per la loro calibrazione e sfruttamento scientifico
- Expertise multidisciplinare da salvaguardare e sviluppare affinché supporti l'avanzamento teorico, l'implementazione osservativa e il trattamento dei dati

GRAZIE!

Archeologia Galattica, Cosmologia Locale e Scala delle Distanze

Principali progetti sviluppati nello scorso decennio a forte leadership INAF



Progetti di grande impatto in fase di avvio



Progetti di grande impatto per il prossimo futuro



Cosmologia locale

La Galassia come prodotto cosmologico a differenti scale, dal Sistema Solare fino alla sua periferia. Si fonda su due ingredienti: misure ad altissima precisione dallo spazio e modelli per la loro analisi (**astrometria relativistica**) e interpretazione (**astronomia gravitazionale**).

ASTROMETRIA RELATIVISTICA: **modelli teorici, analitici e/o numerici, completamente basati sulla Relatività Generale** (RG), incluso **assetto relativistico di osservatore satellitare**, per i **dati astronomici sempre più accurati**. Inaugurata con l'avvento dei cataloghi di Gaia per garantire i suoi prodotti scientifici (si contano 250 pubblicazioni al mese, di cui circa il 20% con leadership o forte contributo INAF); imprescindibile per future missioni che operano nello spazio (le traiettorie dei fotoni emessi dalle stelle stanno all'astronomia come i modelli degli interni stellari stanno all'evoluzione stellare).

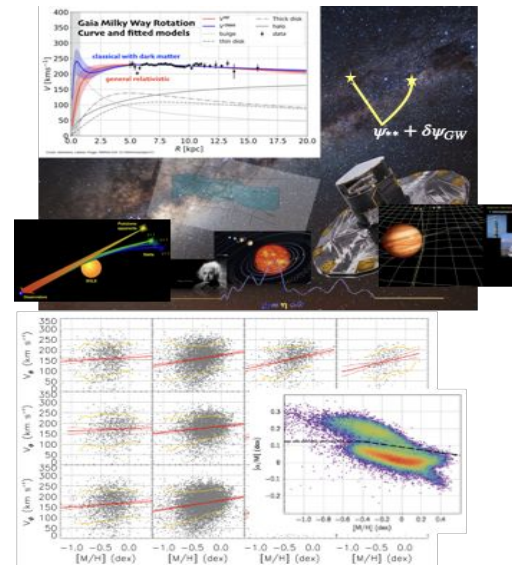
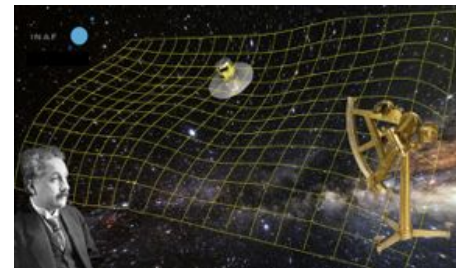
ASTRONOMIA GRAVITAZIONALE: **applicazione consistente alla RG dalle scale del Sistema Solare a quelle della Via Lattea**.

Le osservabili dell'astrometria relativistica attraverso i dati della missione Gaia e in futuro, e.g., Euclid, abbinati alle survey spettroscopiche da Terra (APOGEE, WAEVE, ...) consentono:

- di testare la **gravità della teoria standard e quella di teorie alternative**, investigare il ruolo e natura della materia e dell'energia oscura, **implementare modelli relativistici per la Via Lattea**

- di **confrontare simulazioni cosmologiche a $z=0$** (predizioni locali del **modello LCDM**) sulla base dei dati locali

- l'individuazione di **onde gravitazionali e la misura della loro direzione di origine tramite le stelle** grazie all'**implementazione dell'antenna gravitazionale astrometrica**, basata sull'**avanzamento dei modelli relativistici** già utilizzati con successo per l'analisi dei dati della missione Gaia



Sinergie con:

RSN1 (materia e energia oscura, modelli LCDM e teorie alternative alla gravità della RG);

RSN3 (proprietà del Sole, dei Pianeti e dei corpi minori del Solare & Sistema);

RSN4 (onde gravitazionali, tests GR);

RSN5 (tecnologie per misure ad altissima precisione fino a frazioni del micro-arcosecondo)

Università e INFN

Terza Missione

Criticità:

- **DCPT come infrastruttura INAF**, archivio di dati grezzi e sistema informatico per la loro calibrazione e sfruttamento scientifico anche ben al di là di quanto previsto per la missione Gaia e per le diverse sinergie con altre missioni/progetti delle altre RSN

- **Expertise multidisciplinare** da salvaguardare e sviluppare che supporti l'avanzamento teorico, l'implementazione osservativa e il trattamento dei dati;

- **Sviluppo di nodi tematici all'interno dell'INAF** per consolidare e, dove necessario, raggiungere la massa critica per dare maggiore visibilità alla componente INAF coinvolta



RSN2

Analisi delle Schede e delle Tematiche di Ricerca

Ilaria Musella

**Francesca Bacciotti, Sergio Cristallo, Mariateresa Crosta, Emanuele Dalessandro,
Davide Elia, Silvia Leurini, Giuseppina Micela, Corrado Trigilio, Paolo Ventura,
Simone Zaggia**



RSN2

Analisi delle Schede e delle Tematiche di Ricerca

Ilaria Musella

Francesca Bacciotti, Sergio Cristallo, Mariateresa Crosta, Emanuele Dalessandro,
Davide Elia, Silvia Leurini, Giuseppina Micela, Corrado Trigilio, Paolo Ventura,
Simone Zaggia

Analisi delle Schede e delle Tematiche di Ricerca del RSN2

Ilaria Musella

Francesca Bacciotti, Sergio Cristallo, Mariateresa Crosta, Emanuele Dalessandro, Davide Elia, Silvia Leurini, Giuseppina Micela, Corrado Trigilio, Paolo Ventura, Simone Zaggia

Struttura ed evoluzione stellare

La comunità INAF ricopre un ruolo internazionale di rilievo nel campo dell'evoluzione stellare:

importante mantenere tale posizione di prevalenza!!

Studi astero-sismologici sono determinanti per determinare massa, raggio ed età di un campione numericamente consistente di stelle (si sfrutteranno i dati della missione PLATO).

N.B.: esclusi da audizioni per carenza di fondi

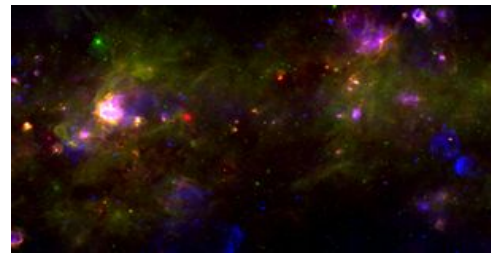
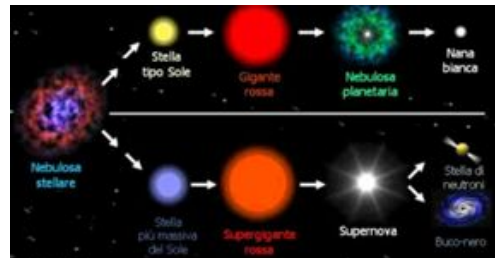
Si deve continuare a sfruttare le competenze in ambito di **modellistica stellare** per mantenere e aggiornare i database stellari teorici, largamente utilizzati dalla comunità internazionale.

Si ambisce ad una migliore comprensione dei processi fisici che caratterizzano le **fasi finali dell'evoluzione stellare** tuttora poco conosciuti, quali instabilità convettive, rotazione e **campo magnetico**. Quest'ultimo fenomeno fisico ricopre un ruolo fondamentale nello studio delle **atmosfere stellari** e nell'interazione con il mezzo circumstellare e interstellare.

Per le stelle di piccola massa la ricerca si concentrerà sulla determinazione della **mineralogia** delle polveri e sulla produzione degli **elementi pesanti**; per le stelle massicce sulla **nucleosintesi esplosiva** e sulla caratterizzazione della **perdita di massa**. A tale proposito ci si aspetta un contributo fondamentale dallo strumento **SOXS** per ESO-NTT (PI INAF).

Una sfida è anche la connessione dell'evoluzione stellare con le **nuove classi di transienti stellari** delle fasi finali di vita delle stelle, le eruzioni pre-supernova e i vari tipi di supernovae.

Survey del piano galattico nella banda radio con **precursori SKA (MeerKAT, ASKAP)** e nell'IR permetteranno di superare il problema dell'estinzione, censire in modo completo SNR, PN, stelle evolute, SFR, i cui numeri non sono consistenti con quanto previsto dalla teoria.



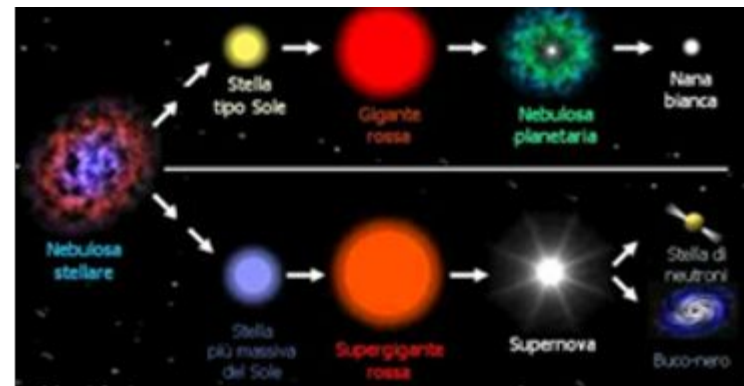
Struttura ed evoluzione stellare

Astero-sismologia: determinazione di massa, raggio ed età di un campione numericamente consistente di stelle.

Modellistica stellari: ruolo di leadership italiana, database stellari molto utilizzati dalla comunità internazionale; necessità di aggiornare i database e mantenere la leadership.

Fasi finali dell'evoluzione stellare:

instabilità convettive, rotazione e **campo magnetico** → ruolo fondamentale nello studio delle **atmosfere stellari** e nell'interazione con il mezzo circumstellare e interstellare.



Stelle di massa piccola e intermedia:

determinazione della mineralogia delle polveri e produzione degli elementi pesanti; fasi AGB, post-AGB, PN.

Stelle di grande massa:

nucleosintesi esplosiva e caratterizzazione della perdita di massa. Connessione dell'evoluzione stellare con le nuove classi di transienti stellari delle fasi finali di vita delle stelle, le eruzioni pre-supernova (LBV eruption, WR) e i vari tipi di supernovae.

Archeologia galattica e cosmologia locale

Formazione delle galassie studiando le popolazioni stellari risolte

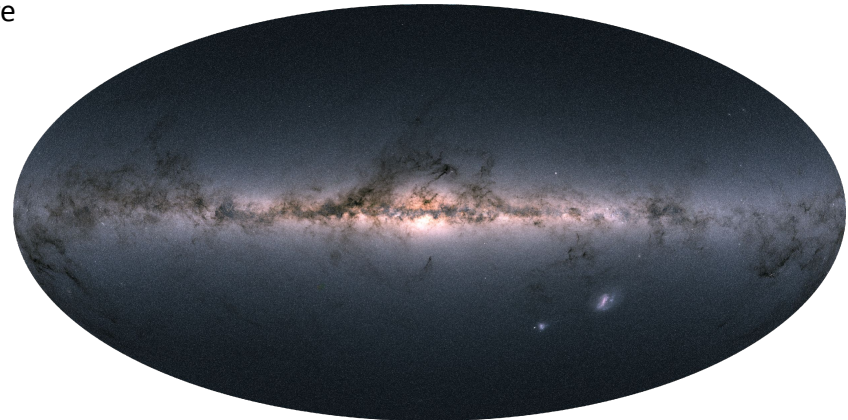
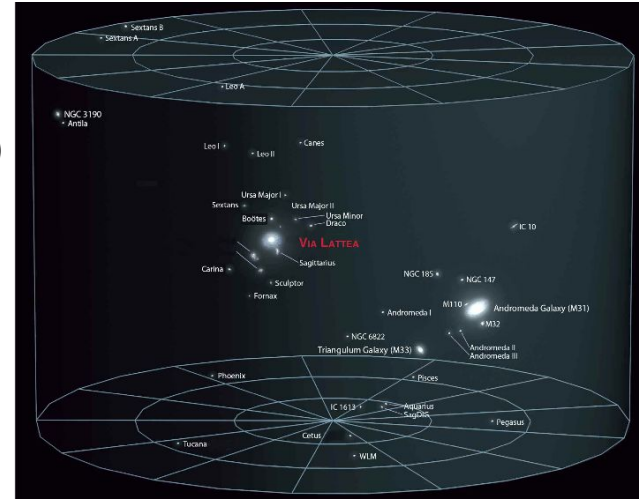
- Le galassie nel Volume Locale (20 Mpc): **ricostruzione della storia gerarchica di formazione**
- Tempi e modi di formazione stellare (*Star Formation Histories*)
- Evoluzione della componente barionica dell'Universo (processi di nucleosintesi, feedback ...)

Storia di formazione della Via Lattea nell'era delle grandi survey

- La Galassia e i suoi satelliti (presenti e passati) come prodotto cosmologico
- Formazione delle strutture su scala sub-galattica (alone, bulge, disco, streams)
- Evoluzione chimico-dinamica della Via Lattea

Ammassi stellari: tra formazione stellare e galassie

- Formazione degli ammassi globulari e delle *popolazioni multiple*
- Ammassi stellari come laboratorio di evoluzione chimica e dinamica stellare
- Ammassi aperti e la formazione ed evoluzione della popolazione del disco



Archeologia galattica e cosmologia locale

Leadership nello sviluppo di modelli interpretativi e relativistici allo stato dell'arte

- Simulazione di popolazioni stellari complesse
- Simulazioni idrodinamiche
- Modelli di evoluzione chimica
- Simulazioni dinamiche N-body e Monte Carlo
- Astrometria Relativistica: modelli teorici, analitici e/o numerici, completamente basati sulla Relatività Generale (RG)
- Astronomia Gravitazionale: l'astrometria relativistica spaziale assieme alle survey spettroscopiche testano la RG, le teorie alternative, la materia e l'energia oscura, modelli relativistici per la Via Lattea; confronto con simulazioni cosmologiche locali del modello LCDM.

