

Tavola Rotonda: Il futuro dell'astrofisica da terra e dallo spazio”

Contributo dei Comitati

Domande chiave RSN1

1. Quali meccanismi regolano la formazione ed evoluzione delle galassie e dei nuclei galattici attivi? Come dipendono questi processi dall'ambiente e dal tempo cosmico? (**evoluzione delle galassie e dei buchi neri supermassicci**)
2. Qual e' la struttura a larga scala dell'universo a diverse epoche cosmiche? Quali sono i meccanismi fisici che determinano le proprieta' della materia all'interno delle strutture cosmiche? (**strutture cosmiche**)
3. Qual e' la natura della materia oscura e dell'energia oscura? Come si comporta la gravita' su scale cosmologiche? (**cosmologia**)

Strumenti necessari: JWST, ELT, LSST, Euclid, SKA, Athena, LISA

Le sfide scientifiche in RSN2:

1) Quali processi fisico-chimici regolano la formazione delle stelle nella Via Lattea e in altre galassie, e in che modo evolvono i sistemi planetari, considerando le architetture e le dinamiche orbitali, le atmosfere esoplanetarie e le condizioni favorevoli all'origine della vita?

- Star Formation: • JWST (fase iniziali) • sinergia tra survey (anche polarimetriche) a grande scala del piano Galattico e delle regioni di formazione stellare vicine (ALMA, Meerkat+, SKA, LOFAR, ngVLA, ASKAP, Roman, AtLAST) • modelli e osservazioni simulate
- Esopianeti: spettroscopia ad alta risoluzione (e.g. HARPS, HARPS-N, GIANO, ESPRESSO) • fotometria (e.g. telescopi da terra, Kepler, Cheops, TESS, PLATO) • imaging SHARKs, SPHERE • astrometria (e.g. Gaia) • modelli
- Abitabilità: Gaia (DR4, end 2026) • PLATO (2026) • ARIEL(2029) • ANDES@ELT (2030) • PCS@ELT (>2030) • Proposed missions(2040?): LIFE (EU)-MIR - HWO (HabEx/LUVOIR, NASA+EU)-Uv/opt/NIR ESA Voyage 2050 L-class theme "From Temperate Exoplanets to the Milky Way"

2) Come i processi di convezione, rotazione e mescolamento influenzano la struttura, la composizione e l'evoluzione delle stelle, determinando la perdita di massa, la nucleosintesi e il destino finale in funzione delle condizioni iniziali e delle proprietà stellari?

- Evoluzione stellare: Laboratorio: sezioni d'urto nucleari a energie rilevanti per l'astrofisica (in collaborazione con INFN ed ENEA) • Osservazioni asterosismiche (missione PLATO, Haydn (?)) • Sviluppo di modelli evolutivi 3D (Calcolo ad Alte Prestazioni, Big Data e Calcolo Quantistico)
- Fasi finali: JWST, ALMA, SKA, ELT, Spitzer, VLT, Rubin-LSST, SOXS, NTE, Athena

3) Quali sono gli scenari cosmologici di formazione ed evoluzione della Via Lattea, delle sue sottostrutture e dei suoi satelliti, quale ruolo hanno nelle teorie della gravità?

- Formazione ed evoluzione, test delle teorie di gravità: Gaia (Posizioni, parallassi e moti propri)--> Rubin-LSST • Grandi survey spettroscopiche per la chimica (WEAVE, 4MOST, MOONS, SDSS V MWM, PFS, WST?) • Missioni asterosismiche per le età (K2, TESS, PLATO) • modelli
- Mappe 3D: Distanze, calibrazione scala delle distanze (costante di Hubble) (Gaia, Rubin-LSST; JWST, ELT)

Le sfide scientifiche/tecnologiche in RSN3:

1) Funzionamento e variabilità della stella centrale del nostro sistema, il Sole, e suoi effetti sull'eliosfera e sugli ambienti planetari.

- Missioni e strumenti:
 - Sun and eliosphere:
 - Solar Orbiter (>2020; osservazione dei poli del Sole: >2025); Parker Solar Probe (USA, >2018; vento solare < 10 raggi solari); Proba-3/ASPIICS (>2024, nuova tecnologia: formation flying); MUSE (> 2027) e SOLAR-C (>2029).
 - Telescopi di classe 4 metri (DKIST - D. K. Inouye Solar Telescope, USA, >2022; EST - European Solar Telescope, ESFRI roadmap); altri strumenti da terra: IBIS2.0 (>2026)
 - Magnetosfera terrestre e ambiente circumterrestre: Cluster (>2000), Plasma Observatory (ESA M7)
 - Space Weather (forecasting, nowcasting): Vigil (>2031), ...
 - Astrofisica di laboratorio (space weathering)

2) Origine ed evoluzione del sistema solare e dei suo corpi (dai piccoli corpi ai pianeti e i loro satelliti)

- BepiColombo, Envision, Mars Express, ExoMars, M-Matisse, DART-LICIACube, Hera, OSIRIS-REx, Hayabusa 2, MMX, JUICE, Juno, UOP
- Nuova frontiera: missioni CubeSat, programma ASI ALCOR, 4 PI-ship INAF: TASTE (Deimos), ANIME (NEA), CUSP (eliofisica/SW), CHIPS (alte energie, ma casi scientifici anche per NEA ed esopianeti)
- Telescopi ground-based: ESO, TNG, LBT, VST, ...
- Astrofisica di laboratorio

3) Esistenza di tracce o condizioni biotiche in altri corpi del sistema solare.

- Marte: ExoMars
- Lune dei pianeti giganti: JUICE
- Astrofisica di laboratorio (sample return analysis, sintesi in laboratorio di precursori di interesse biologico in condizioni extraterrestri, studio sperimentale di atmosfere planetarie ed eso-planetarie)

Le sfide scientifiche in RSN4: astrofisica relativistica, particellare e multimessaggera

- 1) Comportamento della materia in condizioni estreme di gravità e magnetismo: misure di spin di oggetti compatti e delle equazioni di stato di stelle di neutroni; configurazione dei campi magnetici e struttura della materia in accrescimento (densità, geometria...) su oggetti compatti (IXPE, XRISM, SKAO, MeerKAT+, newATHENA, COSI)
- 2) Meccanismi di lancio di getti e venti da oggetti compatti; accelerazione e propagazione di particelle fino alle energie più estreme: raggi cosmici e loro sorgenti, impatto sugli ecosistemi galattici; (XRISM, SKAO, MeerKAT+, newAthena, ASTRI mini-array, COSI, CTAO, KM3NeT)
- 3) Fenomeni esplosivi e transienti dell'Universo: comprensione di nuove tipologie di transienti, dei meccanismi esplosivi e del loro contributo alla produzione degli elementi chimici nell'Universo (SVOM, EP, Euclid, ASKAP, newAthena, Theseus, LSST, SoXS, ASTRI mini-array, CTAO, ET, LISA, KM3NeT)
- 4) Fisica fondamentale: dark matter (attraverso WIMPS e ALP), interazioni gravitazionali in campo debole e ruolo del gravito-magnetismo in astrofisica (DARWIN, DarkSide, G4S_2.0 Galileo for science)

Le sfide tecnologiche dal radio al gamma

➤ Nuove tecnologie e materiali per rivelatori, ottiche, strutture (qualificati spazio e non)

- ❑ Nuovi rivelatori in uv qualificati spazio
- ❑ Nuovi rivelatori in ottico-infrarosso per strumentazione ground and space-based
- ❑ Nuovi rivelatori in X e Gamma
- ❑ Quantum photonics
- ❑ Quantum sensing

- Tecnologie di interferometria ottica/infrarossa;
- Nuove tecnologie e metodi per imaging ad alto contrasto
- Criogenia e tecnologia per telescopi spaziali nel medio e lontano infrarosso

- Nuove tecnologie e soluzioni per telescopi space-based ultra stabili
- ❑ Tecnologie radio per la luna e lo spazio
- ❑ Tecnologie di ricezione e sviluppo di parabole per la radioastronomia

- Tecnologie per small-satellite, cubesat, nano-satelliti (sfida della miniaturizzazione)
- Sviluppo di sistemi di propulsione innovativi (es. vele solari, propulsione ionica ...)
- Adattamento e sviluppo del System Engineering

Metasurfaces;
Multifunctional holograms;
Hollow core fibers;
Plastic refractive elements,
Space-graded polymers
Curved detectors
.....
Ligh-tweight optics
Free form optics
.....

- ❑ Nuove soluzioni HW e SW per l'accesso e la gestione di grandi moli di dati
- ❑ Nuove soluzioni hardware e software per l'HPC
- ❑ Quantum computing
- ❑ **AI-Machine Learning/DNN**
- ❑ **AI-Large Language Model/Large Reasoning Model**

Criticità

- Necessità di facilities di spettroscopia profonda e a largo campo multibanda (RSN1/RSN2)
- Necessità di una facility X-ray di nuova generazione e di ampio respiro in attesa di Athena (RSN1/RSN4)
- Necessità di facilities per asterosismologia (RSN2)
- Progetti transnazionali e multi-agenzie; in aggiunta a NASA, ESA, JAXA, EU, nuovi attori si stanno facendo avanti: Cina, India, Corea del Sud.
- Profili di missioni spaziali al di fuori degli schemi attuali
- Necessità di filoni di investimento in idee ad alto rischio
- Gestione dei rischi (failures, sostenibilità,)
- Resistenza al cambiamento
- Gestione di grandi quantità di dati (Rubin-LSST, SKA, CTA, ...) e di simulazioni - IA
- Necessità di algoritmi e tecniche di analisi dati sempre più avanzate. Necessaria una maggiore integrazione tra osservazioni e modelli/software (High-Performance Computing, AI/Machine Learning)
- Risorse di personale nuove ed adeguate e finanziamenti stabili per sostenere le sfide tecnologiche e lo sfruttamento dei dati scientifici di facilities in cui INAF è coinvolta (e.g. LSST, ...)