

Università
della
Svizzera
italiana

Istituto
ricerche
solari
Aldo e Cele
Daccò

IRSOL Annual Report Rapporto annuale



IRSOL
An institute
affiliated to USI,
run by an
independent
foundation

IRSOL
Un istituto
affiliato all'USI,
retto da una
fondazione
indipendente

**Content
Sommar**

2	Foreword Prefazione
4	Institute Istituto
6	Research Groups Gruppi di ricerca
16	Scientific Highlights Risultati di rilievo
26	External collaborations Collaborazioni esterne
34	Education and Outreach Formazione e comunicazione
42	Resources Risorse
48	Scientific Output Output scientifico



Foreword Prefazione Prof. Dr. Svetlana Berdyugina

IRSOL Director
Locarno,
April 2024

The Sun is our home star and provides energy for almost all life on the Earth, impacts the near-Earth space weather and shapes the Earth's climate. Space weather triggered by the solar magnetic activity is capable of causing malfunction and significant loss of space and ground-bound infrastructure, as well as disrupting communication and affecting the Earth's atmosphere. Thus, the Sun, located in the centre of our solar system is also central to the existence of the human society and life in general. At IRSOL, we aim to understand the physics of solar magnetic activity to the level that is needed for forecasting space weather and geomagnetic storms. Our strategy to address this challenging task is rooted in the operation of the largest ground-based solar optical telescope for research in Switzerland and the development of unique approaches for high-precision spectropolarimetric measurements with the ZIMPOL instrument, innovative data exploration techniques, quantum models of atomic and molecular magnetic diagnostics, cutting-edge theory of the polarised radiation and multi-dimensional numerical simulations of the solar magnetized plasma. These are the back-bone research directions that have shaped IRSOL in recent years as a unique solar physics infrastructure of the national and international importance.

Active national cooperation of IRSOL with the solar physics groups in Switzerland expand towards geophysical and near-space research, to encompass challenges in understanding the connection of the solar magnetism with the space weather and its influence on the Earth and technology. At USI, we continue deepening the collaboration with the Faculty of Informatics and Euler institute. We employ applied mathematics for refining our theoretical models and artificial intelligence as data analysis tools. At SUPSI, we collaborate with the Institute of Systems and Applied Electronics (ISEA), Department of Innovative Technologies, on advancing the ZIMPOL technology towards innovative digital sensors. Exploiting our ZIMPOL system at the Optical Materials Engineering Laboratory (OMEL) at ETH Zurich has resulted in a patented technology for measuring the optical activity of chiral molecules with applications in biopharmaceutics. This patent is now jointly exploited by IRSOL and the startup ENANTIOS in cooperation with CSEM, Neuchâtel.

In 2023, USI and IRSOL have been among the nine international cofounders of the EST Foundation Canarias, which aims at constructing the next-generation 4-meter European Solar Telescope (EST). Our other long-term international cooperations with research institutes in Germany, Spain, Czech Republic, Finland and USA enable discoveries and new opportunities in both experimental developments and theoretical studies. IRSOL's contribution of the polarimetric unit for high-precision spectropolarimetry to the first-generation instrument VTF (completed in 2023) at the world-largest DK1 solar telescope (DKIST, Maui, USA) opens the access to the most powerful solar infrastructure for IRSOL and our Swiss partners. Participation in the series of the NASA sounding rocket experiments CLASP has resulted in unique data and motivated IRSOL scientists to develop the worldwide most advanced 3D radiation transport code with scattering polarization. Co-leadership of the Study Analysis Group 21 (SAG21) within the NASA's Exoplanet Exploration Program Analysis Group (EXOPAG) has resulted in the most comprehensive review of the state-of-the-art, challenges and recommendations for studying the effects of stellar contamination on space-based exoplanet data obtained with the James Webb Space Telescope (JWST). We are determined to provide professional training in science and technology and disseminate our knowledge to the society. In 2023, three PhD theses were completed under the supervision of IRSOL's researchers, in cooperation with USI, University of Zurich and Freiburg University (Germany). The interactive exhibition "Sole", developed in collaboration with the USI communication centre L'ideatorio in Cadro and with the support by SNSF Agora project, is open through 2023-2025. We are also very conscious about sustainability in research. In 2023, we have installed photovoltaic panels at IRSOL as a renewable energy source which provide now a significant part of our electric power consumption. 2023 was a year of many accomplishments and new initiatives. We would like to full-heartedly acknowledge the support of IRSOL from the State Secretariat for Education, Research and Innovation, Ticino canton, USI and many local municipalities. Your continued and trustful patronage of IRSOL is the keystone of our success.

Il Sole è la nostra stella e fornisce l'energia per la maggior parte della vita sulla Terra, ha un impatto sul meteo spaziale vicino al nostro pianeta e determina il clima terrestre. Il meteo spaziale innescato dall'attività magnetica solare è in grado di causare malfunzionamenti e danni significativi alle infrastrutture spaziali e terrestri, oltre a interrompere le comunicazioni e a influenzare l'atmosfera terrestre. Il Sole, situato al centro del nostro sistema solare, è quindi centrale anche per l'esistenza della società umana e della vita in generale.

All'IRSOL ci proponiamo di comprendere la fisica dell'attività magnetica solare fino al livello necessario per la previsione del meteo spaziale e delle tempeste geomagnetiche. La nostra strategia per affrontare questo compito impegnativo è basata sull'utilizzo del più grande telescopio ottico solare terrestre per la ricerca in Svizzera, sullo sviluppo di approcci unici per misure spettropolarimetriche di alta precisione con lo strumento ZIMPOL, su tecniche innovative di esplorazione dei dati, su modelli quantitativi di diagnostica magnetica atomica e molecolare, su una teoria all'avanguardia della radiazione polarizzata e su simulazioni numeriche multidimensionali del plasma magnetico solare. Queste sono le direttrici di ricerca che negli ultimi anni hanno fatto dell'IRSOL un istituto di fisica solare unico nel suo genere, di importanza nazionale e internazionale.

La cooperazione attiva a livello nazionale dell'IRSOL con i gruppi di fisica solare in Svizzera si espande verso la ricerca geofisica e dello spazio vicino per meglio comprendere la connessione tra magnetismo solare e meteo spaziale e le loro influenze sulla Terra e sulla tecnologia. All'USI continuiamo ad approfondire la collaborazione con la Facoltà di scienze informatiche e l'Istituto Eulero.

Utilizziamo la matematica applicata per affinare i nostri modelli teorici e l'Intelligenza artificiale come strumento di analisi dei dati. Alla SUPSI collaboriamo con l'Istituto di sistemi ed elettronica applicata (ISEA), Dipartimento tecnologie innovative, per far progredire la tecnologia di ZIMPOL verso sensori digitali innovativi. Lo sfruttamento del nostro sistema ZIMPOL presso l'Optical Materials Engineering Laboratory (OMEL) del Politecnico di Zurigo ha portato a una tecnologia brevettata per la misurazione dell'attività ottica di molecole chirali con applicazioni in biofarmaceutica. Questo brevetto è ora sfruttato congiuntamente dall'IRSOL e dalla startup ENANTIOS in collaborazione con il CSEM di Neuchâtel.

Nel 2023 l'USI e l'IRSOL sono tra i nove cofondatori internazionali della Fondazione EST Canarias con l'obiettivo di costruire il telescopio solare europeo (EST) di 4 metri di nuova generazione. Le nostre altre cooperazioni internazionali a lungo termine con istituti di ricerca in Germania, Spagna, Repubblica Ceca, Finlandia e Stati Uniti offrono scoperte e nuove opportunità sia negli sviluppi sperimentali sia negli studi teorici. Il contributo dell'IRSOL all'unità polarimetrica per la spettropolarimetria di alta precisione dello strumento di prima generazione VTF (completato nel 2023) presso il telescopio solare DK1 (DKIST, Maui, USA), il più grande al mondo, apre all'IRSOL e ai nostri partner svizzeri l'accesso al più potente strumento solare. La partecipazione alla serie di esperimenti di razzi sonda CLASP della NASA ha prodotto dati unici e ha motivato i ricercatori dell'IRSOL a sviluppare il codice di trasporto radiativo 3D con polarizzazione per scattering più avanzato al mondo. La co-leadership dello Study Analysis Group 21 (SAG21) all'interno dell'Exoplanet Exploration Program Analysis Group (EXOPAG) della NASA ha portato alla revisione più completa dello stato dell'arte, delle sfide e delle raccomandazioni per lo studio degli effetti della contaminazione stellare sui dati degli esopianeti spaziali ottenuti con il James Webb Space Telescope (JWST).

Siamo determinati a fornire una formazione professionale in ambito scientifico e tecnologico e a disseminare le

nostre conoscenze nella società. Nel 2023 sono state portate a termine tre tesi di dottorato sotto la supervisione dei ricercatori dell'IRSOL, in collaborazione con l'USI, l'Università di Zurigo e l'Università di Friburgo (Germania). La mostra interattiva "Sole", realizzata in collaborazione con L'ideatorio dell'USI a Cadro e con il sostegno del progetto Agorà del FNS è aperta per tutto il biennio 2023-2025. Siamo anche molto attenti alla sostenibilità della ricerca. Nel 2023 all'IRSOL abbiamo installato pannelli fotovoltaici come fonte di energia rinnovabile che forniscono ora una parte significativa del nostro consumo di energia elettrica.

Il 2023 è stato un anno ricco di risultati e di nuove iniziative. Per il sostegno dell'IRSOL desideriamo inoltre ringraziare sentitamente la Segreteria di Stato per la formazione, la ricerca e l'innovazione, il Canton Ticino, l'USI e i molti Comuni contribuenti. Il vostro continuo e fiducioso patrocinio dell'IRSOL è la chiave di volta del nostro successo.

Prof. Dr. Svetlana Berdyugina
Direttrice IRSOL
Locarno, Aprile 2024



Institute Istituto

Istituto ricerche solari Aldo e Cele Daccò (IRSOL) carries out fundamental research in solar physics, with a focus on solar magnetism. The Institute's mission is to understand solar magnetic phenomena to a detail that is needed for forecasting solar activity evolution and its effects on space weather and the terrestrial climate. This is achieved by combining the unique strengths of IRSOL in high-precision solar spectropolarimetry with advanced approaches in theory and numerical modelling, computational and data science, and magnetohydrodynamic simulations. IRSOL's 45cm telescope, Switzerland's largest ground-based solar optical telescope, is equipped with the world-wide unique Zurich Imaging Polarimeter (ZIMPOL). This observational facility has been recognised as an infrastructure of national and international importance. IRSOL is governed by the Foundation Council, which takes strategic decisions, approves financial expenditures and reports, plans the funding acquisition strategy, as well as appoints members of the Scientific Committee, the Directorate, and the Institute's personnel. The Scientific Committee provides advice to the Foundation Council and Directorate on the Institute's research programme and reviews its scientific performance. The Directorate develops the Institute's scientific strategy, coordinates its scientific activities, and is accountable for handling the administrative businesses of the Institute. IRSOL and its director are affiliated with the Faculty of Informatics of USI, which allows for training of students in interdisciplinary research. USI provides support in grant management, IT services, technology transfer, corporate design and outreach. In Switzerland, IRSOL possesses unique research expertise and is steadily expanding its cooperation with other Swiss research institutions and universities, with a strong focus on astrophysics and solar-terrestrial studies. Internationally, IRSOL participates in strategic European projects, such as the European Solar Telescope (EST), and collaborates with solar institutions worldwide. One of IRSOL's strategic goals is to develop the next-generation optical detector technology, beyond ZIMPOL, which is being carried out in close collaboration with the Institute of Systems and Applied Electronics (ISEA) of SUPSI. The Institute's scientific activities are organised in four research groups, each being led by a senior scientist (in alphabetical order):

Theoretical modelling of polarised radiation in the solar atmosphere, Dr. Luca Belluzzi.

This group deals with the theory and numerical modelling of the polarisation of solar radiation, with a focus on the polarisation produced by scattering processes and its magnetic sensitivity. The overall goal is to fully understand the physical processes at the origin of such polarisation signals and to explore their diagnostic potential to investigate solar magnetic fields in domains not accessible through standard techniques.

Solar Magnetism and Space Weather, Prof. Dr. Svetlana Berdyugina.

This group works on key aspects of solar and stellar magnetism, its evolution and its influence on space weather, Earth, exoplanets, their atmospheres and habitability. Inferring magnetic fields from high-precision spectropolarimetric data using advanced computational approaches is at the core of the group's research. Multi-wavelength and multi-messenger data from the ground and space are explored and modelled to achieve a breakthrough in addressing crucial scientific questions and challenges of our human society.

Observations and Instrumentation, Dr. Renzo Ramelli.

The group focuses on high-precision spectropolarimetric observations and on the development of advanced instrumentation. The key IRSOL's instrument ZIMPOL, thanks to a special technique based on fast modulation and demodulation, allows achieving a very high polarimetric precision. Observations of solar magnetic fields with ZIMPOL are also carried out with Europe's largest solar telescope, GREGOR, on Tenerife, Spain.

MHD simulations of the solar and stellar atmospheres, Dr. Oskar Steiner.

This group carries out magnetohydrodynamic (MHD) numerical simulations in three-dimensional space of stellar plasma in the presence of magnetic fields using powerful computers like the Alps system at the Swiss National Supercomputing Center (CSCS). This allows for a highly detailed study of the Sun and other stars. Observable quantities are synthesised from the simulations and are compared with real observations.

L'Istituto ricerche solari Aldo e Cele Daccò (IRSOL) svolge ricerche fondamentali nel campo della fisica solare, con particolare attenzione al magnetismo solare. La missione dell'Istituto è comprendere in dettaglio i fenomeni magnetici solari, per prevedere l'evoluzione dell'attività solare e i suoi effetti sulla meteorologia spaziale e sul clima terrestre. Ciò si ottiene combinando i punti di forza unici dell'IRSOL nella spettropolarimetria solare ad alta precisione con avanzati approcci teorici, modellizzazione numerica, scienze computazionali, scienza dei dati e simulazioni magnetoidrodinamiche. Il telescopio da 45 cm dell'IRSOL, il più grande telescopio ottico solare della Svizzera, è equipaggiato con il polarimetro di imaging solare ZIMPOL, leader a livello mondiale. Questa strumentazione unica è stata riconosciuta di importanza nazionale e internazionale.

L'IRSOL è governato dal Consiglio di Fondazione, che prende le decisioni strategiche, approva le spese e i rendiconti finanziari, pianifica la strategia di acquisizione dei finanziamenti, nonché nomina i membri del Comitato Scientifico, della Direzione e del personale dell'Istituto. Il Comitato Scientifico fornisce consulenza al Consiglio di Fondazione e alla Direzione sul programma di ricerca dell'Istituto e ne valuta le prestazioni scientifiche. La Direzione pianifica la strategia scientifica, coordina l'attività scientifica ed è responsabile delle questioni amministrative. L'IRSOL è affiliato alla Facoltà di scienze informatiche dell'Università della Svizzera italiana (USI), ponendo le migliori condizioni per le collaborazioni scientifiche. La direttrice dell'Istituto è abilitata alla supervisione di studenti. L'USI offre inoltre supporto nella gestione delle sovvenzioni, nei servizi IT, nel trasferimento tecnologico, nel corporate design e nella divulgazione scientifica.

In Svizzera l'IRSOL possiede un'esperienza di ricerca unica e sta espandendo costantemente la sua collaborazione con altri istituti di ricerca e università svizzeri, attivi nei campi dell'astrofisica e delle interazioni fra il Sole e la Terra. Uno degli obiettivi strategici dell'IRSOL è lo sviluppo della tecnologia dei rivelatori di nuova generazione, oltre ZIMPOL, che viene portato avanti in stretta collaborazione con l'Istituto di sistemi e elettronica applicata (ISEA) della SUPSI.

Le attività scientifiche dell'IRSOL sono organizzate in quattro gruppi di ricerca, ciascuno guidato da un ricercatore senior (in ordine alfabetico):

Modellizzazione teorica della radiazione polarizzata nell'atmosfera solare, Dr. Luca Belluzzi.

Il gruppo si occupa della teoria e della modellizzazione numerica della polarizzazione della radiazione solare, con particolare attenzione alla polarizzazione prodotta dai processi di scattering e alla sua sensibilità magnetica. L'obiettivo è quello di comprendere i meccanismi fisici all'origine di tali segnali polarimetrici e di esplorarne le potenzialità diagnostiche per studiare i campi magnetici solari in regimi non accessibili con le tecniche tradizionali.

Magnetismo solare e meteorologia spaziale, Prof.ssa Dr. ssa Svetlana Berdyugina.

Il gruppo lavora su aspetti chiave del magnetismo solare e stellare, sulla sua evoluzione e sulla sua influenza sulla meteorologia spaziale, sulla Terra, sugli esopianeti, nonché sulle loro atmosfere e abitabilità. La deduzione di campi magnetici da dati spettropolarimetrici di alta precisione, utilizzando approcci computazionali avanzati, è al centro della ricerca del gruppo. Vengono raccolti, modellizzati e studiati dati ottenuti in varie bande spettrali da terra e dallo spazio, per ottenere risultati fondamentali su questioni scientifiche cruciali e sfide della società.

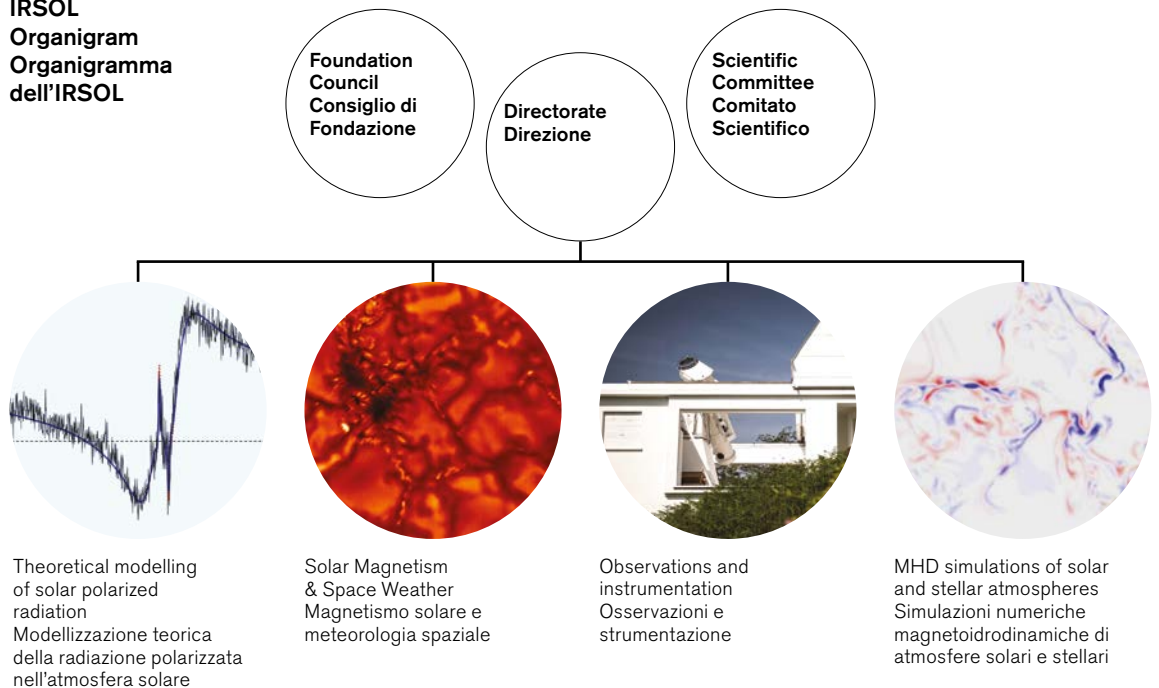
Osservazioni e strumentazione, Dr. Renzo Ramelli.

Il gruppo si occupa di effettuare osservazioni spettropolarimetriche ad alta precisione e di sviluppare strumentazione d'avanguardia. Lo strumento chiave è lo ZIMPOL, che, grazie a una particolare tecnica basata su una rapida modulazione e demodulazione, permette di raggiungere un'altissima precisione polarimetrica. Le osservazioni dei campi magnetici solari con lo ZIMPOL vengono eseguite anche con GREGOR, il più grande telescopio solare d'Europa, a Tenerife, in Spagna.

Simulazioni magnetoidrodinamiche (MHD) di atmosfere solari e stellari, Dr. Oskar Steiner.

Il gruppo svolge simulazioni numeriche del plasma stellare in presenza di campi elettrici e magnetici utilizzando potenti computer come l'Alps system al CSCS. Ciò permette di studiare il Sole e le stelle in modo estremamente particolareggiato. Le quantità osservabili sintetizzate dal Sole simulato vengono quindi confrontate con le osservazioni reali.

**IRSOL
Organigram
Organigramma
dell'IRSOL**







Luca Belluzzi Dr.

**Theoretical modelling of polarised radiation
in the solar atmosphere**
**Modellizzazione teorica della radiazione
polarizzata nell'atmosfera solare**



After graduating in physics (magna cum laude) at the University of Florence, Luca Belluzzi earned a PhD in astronomy at the same University. His PhD thesis was awarded the Premio "Pietro Tacchini" of the Italian Astronomical Society. During his career, he has worked as a PostDoc at the University of Florence, at the INAF Arcetri Observatory, and at the Instituto de Astrofísica de Canarias in Tenerife. In 2013, he landed a senior scientist position at Istituto ricerche solari Aldo e Cele Daccò (IRSOL) in Locarno. Since his Master's and PhD theses, he has been working in the field of solar spectropolarimetry, from a theoretical and numerical standpoint. His activity has been focused on the modelling of the polarisation produced by scattering processes and on its exploitation as a diagnostic tool for investigating the magnetism of the solar atmosphere.

Dopo la Laurea in fisica (magna cum laude) all'Università di Firenze, Luca Belluzzi ha conseguito il dottorato di ricerca in astronomia presso lo stesso ateneo. La sua tesi di dottorato ha ricevuto il premio "Pietro Tacchini" della Società Astronomica Italiana. Durante la sua carriera ha lavorato come PostDoc all'Università di Firenze, all'Osservatorio Astrofisico di Arcetri (INAF) e all'Istituto de Astrofísica de Canarias a Tenerife. Dal 2013 lavora come ricercatore presso l'Istituto ricerche solari Aldo e Cele Daccò (IRSOL) di Locarno. Sin dai lavori di laurea e dottorato si occupa di spettropolarimetria solare da un punto di vista teorico e numerico. La sua attività è focalizzata sulla modellizzazione della polarizzazione prodotta da processi di scattering e sul suo utilizzo come strumento diagnostico per studiare il magnetismo dell'atmosfera del Sole.

**Team
Gruppo
di ricerca**

**Group Leader
Capogruppo:
Luca Belluzzi Dr.**

**Group members and external collaborators
Membri del Gruppo e collaboratori esterni**

Group members / Membri del Gruppo

Matteo D'Anna, civil service – Nuno Guerreiro, PostDoc – Gioele Janett, PostDoc – Fabio Riva, PostDoc – Simone Riva, PhD student (PostDoc from 1.9.23)

External collaborators / Collaboratori esterni

Ernest Alsina Ballester, IAC, Spain – Pietro Benedusi, USI – Roberto Casini, HAO, USA – Tanausú del Pino Alemán, IAC, Spain – Rolf Krause, USI – Jiří Štěpán, ASCR, Czech Republic – Andrii Sukhorukov, IAC, Spain – Javier Trujillo Bueno, IAC, Spain

Research focus of the Group

The magnetic field plays a key role in basically all the most interesting and intriguing phenomena observed on the Sun, including sunspots, prominences, and flares. Solar magnetic fields can be investigated by analysing the signatures that they leave in a particular property of light, namely its polarisation. Luca Belluzzi's research group deals with the theory and numerical modelling of the polarisation of solar radiation, with particular focus on the polarisation produced by scattering processes and its magnetic sensitivity. The overall goal is to fully understand the physical processes at the origin of such polarisation signals and to explore their diagnostic potential to investigate solar magnetic fields in domains not accessible through other techniques.

The problem, formulated within the framework of the most recent and advanced quantum theories for the generation and transfer of polarised radiation, is extremely challenging also from the computational standpoint and requires the application of high-performance computing (HPC) techniques and the availability of significant computational resources. In this respect, a highly-competitive "Sinergia" grant from the Swiss National Science Foundation (SNSF) has allowed the research group to establish a close cooperation with the experts in computational sciences of the Euler Institute of Università della Svizzera italiana (USI) in Lugano. The results of the numerical simulations are then compared to the observational data, acquired both from the ground, taking advantage of the unique instrumentation of IRSOL, and from space.

The group is involved in a series of international experiments within the framework of the NASA sounding rocket programme. These experiments, known under the acronym CLASP, provided unprecedented measurements of the polarisation of ultraviolet solar radiation, which encodes precious information on the elusive magnetic fields in two important, but still poorly known regions of the solar atmosphere: the chromosphere and the chromosphere-corona transition region. The group is working on the theoretical interpretation of the CLASP data, in close cooperation with the colleagues of the Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) in Tenerife (Spain).

Ambito di ricerca del Gruppo

Il campo magnetico gioca un ruolo fondamentale in quasi tutti i fenomeni più interessanti e affascinanti che si osservano sul Sole, tra cui le macchie solari, le protuberanze e i brillamenti. I campi magnetici solari possono essere studiati analizzando le impronte che lasciano in una particolare proprietà della luce: la polarizzazione. Il gruppo di ricerca di Luca Belluzzi si occupa della teoria e della modellizzazione numerica della polarizzazione della radiazione solare, con particolare attenzione alla polarizzazione prodotta dai processi di scattering e alla sua sensibilità magnetica. L'obiettivo è quello di comprendere i meccanismi fisici all'origine di tali segnali polarimetrici e di esplorarne le potenzialità diagnostiche per studiare i campi magnetici solari in regimi non accessibili con altre tecniche.

Il problema, formulato applicando le più recenti e avanzate teorie quantistiche per la generazione e il trasporto di radiazione polarizzata, è estremamente complesso dal punto di vista numerico e la sua soluzione richiede l'utilizzo di efficienti tecniche computazionali e la disponibilità di considerevoli risorse di calcolo. A questo proposito, un progetto "Sinergia" molto competitivo del Fondo Nazionale Svizzero per la Ricerca Scientifica (FNS) ha permesso di creare una stretta collaborazione con gli esperti in scienze computazionali dell'Istituto Eulero dell'Università della Svizzera italiana (USI) a Lugano. I risultati delle simulazioni numeriche sono poi confrontati con i dati osservativi acquisiti sia da terra, tramite la strumentazione d'avanguardia dell'IRSOL, sia dallo spazio.

Il gruppo di ricerca partecipa a una serie di esperimenti internazionali condotti nell'ambito del programma di razzi-sonda della NASA. Tali esperimenti, denominati CLASP, hanno fornito misure senza precedenti della polarizzazione della radiazione solare ultravioletta, in cui sono codificate preziose informazioni sugli sfuggenti campi magnetici presenti in due importanti ma ancora poco comprese regioni dell'atmosfera del Sole: la cromosfera e la regione di transizione tra cromosfera e corona. Il gruppo sta attualmente lavorando all'interpretazione teorica dei dati raccolti dagli esperimenti CLASP, in stretta collaborazione con i colleghi dell'Istituto de Astrofísica de Canarias (IAC) a Tenerife (Spagna).

Svetlana Berdyugina Prof. Dr.

**Solar Magnetism and
Space Weather
Magnetismo solare e
meteorologia spaziale**



Professor Svetlana Berdyugina carries out interdisciplinary research in solar physics, astrophysics and astrobiology (life in the universe) using the polarisation properties of light. By employing quantum physics of molecules, magnetic fields and polarized radiation, she pioneered innovative research on the magnetism of the Sun and distant stars, exoplanets and extraterrestrial life. Having received her PhD from the St.-Petersburg University and habilitation from ETH Zurich, she develops advanced numerical methods for solving inverse problems, allowing us to infer complex physics from data and “see” hidden phenomena in the Universe. Among her prestigious appointments are professorships at ETH Zurich, University of Oulu (Finland), University of Freiburg (Germany) and Università della Svizzera italiana, senior fellowships at the Academy of Finland and NASA Astrobiology Institute, directorship at the Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS, Germany) and leadership of working groups at NASA. Her research is recognized with awards and fellowships at various universities worldwide, including the prize from the Eurasian Astronomical Society for the best PhD, and invitations to present at the TEDxMaui and Nobel Symposium. She is also the winner of the highly competitive EURYI Award of the European Science Foundation and ERC Advanced Grant. In 2022, Svetlana Berdyugina has been appointed as IRSOL director and USI adjunct professor at the Faculty of Informatics.

La professoressa Svetlana Berdyugina svolge ricerche interdisciplinari in fisica solare, astrofisica e astrobiologia (ricerca di vita extraterrestre) utilizzando la polarizzazione della luce. Applicando la fisica quantistica delle molecole, dei campi magnetici e delle radiazioni polarizzate, è stata pioniera di ricerche innovative sul magnetismo del Sole e di stelle lontane, sugli esopianeti e sulla vita extraterrestre. Dopo aver conseguito il dottorato di ricerca presso l'Università di San Pietroburgo e l'abilitazione presso il Politecnico Federale di Zurigo, sviluppa metodi numerici avanzati per la risoluzione di problemi inversi, che ci permettono di dedurre la fisica complessa dai dati e “vedere” fenomeni nascosti nell'Universo. Tra i suoi prestigiosi incarichi figurano le cattedre presso il Politecnico di Zurigo, l'Università di Oulu (Finlandia), l'Università di Friburgo (Germania) e l'Università della Svizzera italiana, le borse di studio senior presso l'Accademia di Finlandia e l'Istituto di Astrobiologia della NASA, la direzione del Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS, Germania) e la direzione di gruppi di lavoro della NASA. Le sue ricerche sono state riconosciute con premi e borse di studio in varie università del mondo. Fra questi, il premio della Eurasian Astronomical Society per il miglior dottorato di ricerca, e inviti a presentare al TEDxMaui e al Nobel Symposium. È anche vincitrice del premio altamente competitivo EURYI della European Science Foundation e dell'ERC Advanced Grant. Nel 2022 Svetlana Berdyugina è stata nominata direttrice dell'IRSOL e professoressa aggregata dell'USI presso la Facoltà di scienze informatiche.

**Team
Gruppo
di ricerca**

**Group Leader
Capogruppo:
Svetlana Berdyugina
Prof. Dr.**

**Group members and external collaborators
Membri del Gruppo e collaboratori esterni**

Group members / Membri del Gruppo
Wakiko Ishibashi, Scientist – Jamila Oubenali, Internship – Giona Luca Sala, civil service – Jan Stenflo, Professor emeritus

External collaborators / Collaboratori esterni
Stefano Bagnulo, Armagh Observatory and Planetarium, Northern Ireland, UK – Andrei Berdyugin, University of Turku, Finland – Andryi Gorobets, Leibniz-KIS, Freiburg, Germany – Louise Harra, PMOD/WRC/ETHZ, Davos – Lucia Kleint, University of Bern – Samuel Krucker, FHNW, Windisch – John Landstreet, University of Western Ontario, London, ON, Canada – Vilppu Piirola, University of Turku, Finland – Takeshi Sakanoi, Tohoku University, Japan – Timofei Sukhodolov, PMOD/WRC, Davos – Taras Yakobchuk, Leibniz-KIS, Freiburg, Germany

Research focus of the Group

Detailed, high-precision studies of solar magnetism and its variability on local and global scales are central for understanding the Sun. Prof. Berdyugina's group works on key aspects of solar and stellar magnetism, its evolution and its influence on space weather, Earth, exoplanets, their atmospheres and habitability. Multi-wavelength and multi-messenger data from the ground and space are explored to make a breakthrough in addressing crucial scientific questions and challenges of our human society.

On the Sun, magnetic fields occur on all scales: from turbulent fields below the spatial resolution of the largest solar telescopes (<30 km), to small-scale magnetic field concentrations (50-100 km) and sunspots (1000-10,000 km) and to global patterns of the sunspot distribution (>100,000 km). They evolve on short and long time-spans, most notably with the 11-year solar cycle. These fields are studied using spectropolarimetric data, modeling magnetic quantum effects in atoms and molecules and applying numerical inversion techniques to reconstruct 3D magnetic and thermodynamic parameters of solar plasma. Evolution of these parameters are studied by searching for periodicities and characterising their irregularities with stochastic thermodynamics approaches. The results are compared with magnetohydrodynamics (MHD) simulations to gain novel knowledge on local and global magneto-turbulence processes on the Sun. Similarly, other stars with different levels of magnetic activity are investigated using inversion techniques to reconstruct temperature and magnetic maps of stellar surfaces and 3D structures of stellar magnetic spots.

These results unveil how solar magnetism originated and how its magnetic dynamo evolved in the past and how it can be predicted on various time-scales. In particular, anticipating sunspot distribution and solar eruptions helps forecasting space weather and its harmful effects on lead times from minutes to years. On longer epochs, young stars form planetary systems, and their magnetic activity affects planetary properties and evolution via space weather, like in the Solar system. Aging solar-type stars reduce their magnetic activity and end their lives as white dwarfs, while stars of more than 10 solar masses end as neutron stars or black holes. Their formation, relativistic properties and magnetism is a puzzle of fundamental physics, because such matter cannot be created on Earth. Polarimetric studies of these remarkable objects reveal their formation history and hidden structures. Furthermore, exploring magnetic phenomena in a broader range of stellar and planetary parameters helps revealing unknowns on the Sun and Earth and unveiling the enigma of terrestrial life origin. Thus, researching the Sun and its connections with astrophysics, geophysics and astrobiology, combined with innovative data exploration and modeling techniques, guides us towards new discoveries.

Ambito di ricerca del Gruppo

Studi dettagliati e di alta precisione del magnetismo solare e della sua variabilità su scala locale e globale sono fondamentali per la comprensione del Sole. Il gruppo della professoressa Berdyugina lavora su aspetti chiave del magnetismo solare e stellare, sulla sua evoluzione e sulla sua influenza sullo space weather, sulla Terra, sugli esopianeti nonché sulle loro atmosfere e abitabilità.

Vengono raccolti e studiati dati ottenuti in varie bande spettrali da terra e dallo spazio, per affrontare questioni scientifiche cruciali e sfide della società.

Sul Sole i campi magnetici sono presenti a tutte le scale: dai campi turbolenti al di sotto della risoluzione spaziale raggiunta dai più grandi telescopi solari (<30 km), alle concentrazioni di campo magnetico su piccola scala (50-100 km) e alle macchie solari (1000-10.000 km), fino alla conformazione globale della distribuzione delle macchie solari (>100.000 km). I campi magnetici evolvono su tempi brevi e lunghi, in particolare con il ciclo solare di 11 anni, e sono studiati utilizzando dati spettropolarimetrici, modellizzando gli effetti quantistici magnetici in atomi e molecole e applicando tecniche di inversione numerica per ricostruire in 3D i parametri magnetici e termodinamici del plasma solare. L'evoluzione di questi parametri è studiata ricercando le periodicità e caratterizzando le loro irregolarità con gli approcci della termodinamica stocastica. I risultati sono confrontati con le simulazioni di magnetoidrodinamica (MHD) per acquisire nuove conoscenze sui processi di magnetoturbolenza locali e globali sul Sole. Allo stesso modo, altre stelle con diversi livelli di attività magnetica sono studiate utilizzando tecniche di inversione per ricostruire mappe di temperatura e magnetiche delle superfici stellari e strutture 3D di macchie magnetiche stellari.

Questi risultati rivelano come si origina il magnetismo solare, come è evoluta la sua dinamo magnetica nel passato e come è possibile fare previsioni su varie scale temporali. In particolare, anticipare la distribuzione delle macchie solari e le eruzioni solari aiuta a prevedere le tempeste geomagnetiche e i loro effetti nocivi su scale temporali che vanno dai minuti agli anni. Su epoche più lunghe le stelle giovani formano sistemi planetari, e la loro attività magnetica influenza le proprietà e l'evoluzione dei pianeti attraverso lo space weather, come nel sistema solare. Le stelle simili al Sole invecchiando riducono la propria attività magnetica e concludono le proprie vite come nane bianche, mentre le stelle di massa superiore a 10 masse solari diventano stelle di neutroni o buchi neri. La loro formazione, le proprietà relativistiche e il magnetismo sono un rompicapo della fisica fondamentale, perché queste condizioni della materia non possono essere riprodotte sulla Terra. Gli studi polarimetrici di questi straordinari oggetti rivelano la storia della loro formazione e le loro strutture nascoste. Inoltre l'esplorazione dei fenomeni magnetici in una gamma più ampia di parametri stellari e planetari contribuisce a sviluppare nuove conoscenze sul Sole e sulla Terra e a svelare l'enigma dell'origine della vita sulla Terra. Pertanto la ricerca sul Sole e le sue connessioni con l'astrofisica, la geofisica e l'astrobiologia, combinata con tecniche innovative di esplorazione e modellizzazione dei dati, ci guida verso nuove scoperte.

Renzo Ramelli Dr.

Observations and Instrumentation
Osservazioni e strumentazione



Renzo Ramelli graduated in physics from ETH Zurich and further pursued his natural sciences doctorate from ETH. He conducted his thesis in the area of astroparticle physics in the experimental group at CERN in Geneva, which measured cosmic rays with the L3+C experiment. He was awarded the Schl fli Prize by the Swiss Academy of Natural Sciences for his research during his PhD studies. Since 2003, he has been working with observations and instrumentation at IRSOL. His research has primarily focused on solar prominences and the magnetic field structure's evolution during the solar activity cycle. Renzo Ramelli is also involved in outreach and teaching. He has a master's degree in Teaching for Secondary School and has been a part-time teacher at Liceo Cantonale since 2010. In 2018, he was appointed deputy director of IRSOL.

Dopo il diploma in fisica presso il Politecnico Federale di Zurigo, Renzo Ramelli ha conseguito il dottorato ETH in scienze naturali, svolgendo il suo lavoro di tesi nell'ambito dell'astrofisica particellare nel gruppo sperimentale che si è occupato di misurare i raggi cosmici con l'esperimento L3+C al CERN di Ginevra. Per le ricerche effettuate durante il suo lavoro di dottorato gli è stato assegnato il Premio Schl fli dall'Accademia svizzera di scienze naturali. Dal 2003 lavora all'IRSOI nell'ambito osservativo e strumentale. Le sue ricerche si sono focalizzate soprattutto sulle protuberanze solari e sull'evoluzione della struttura del campo magnetico durante il ciclo di attivit  solare.   pure attivo nell'ambito divulgativo e dell'insegnamento. Ha ottenuto il master in Insegnamento nella Scuola Media Superiore e dal 2010 insegna a tempo parziale presso i Licei Cantionali. Dal 2018 ha assunto la vicedirezione dell'IRSOI.

Team
Gruppo
di ricerca

Group Leader
Capogruppo:
Renzo Ramelli Dr.

Group members and external collaborators
Membri del Gruppo e collaboratori esterni

Group members / Membri del Gruppo

Umberto Arrivabeni, Internship – Michele Bianda, Senior Scientist – Ariele Forni, civil service – Noah Fornoni, civil service – Emma Genova Coimbra, Internship – Daniel Gisler, Senior Scientist – Gianpaolo Mari, Technician – Aaron Menegalli-Boggelli, civil service – Christian Monstein, Scientific Engineer – Milton Righetti, Internship – Elia Salmina, civil service – Christian Skorski, civil service – Kilian Taddei, civil service – Edgar Tommasini, civil service – Francesco Vitali, PhD student – Franziska Zeuner, PostDoc

External collaborators / Collaboratori esterni

Daniele Allegri, SUPSI – Andrea Battaglia, FHNW – Mikeal Andreas Bianchi, SUPSI – Marco Cagnotti, Specola Solare Ticinese – Giuseppe Di Dato, SUPSI – Sara Esteban Pozuelo, IAC, Spain – Samuele Giacon, SUPSI – Laurent Jolissaint, HEIG-VD – Jan Jurkak, Academy of Sciences of the Czech Republic – Roberto Gardenghi, SUPSI – Andriy Gorobets, KIS, Germany – Samuel Krucker, FHNW – Carin Lightner, Enantios – Marco Rogantini, SUPSI – Andrea Salvadè, SUPSI – Javier Trujillo Bueno, IAC, Spain – Roman Wyss, Enantios

Research focus of the Group

The emphasis of the observations carried out at IRSOL is on high-precision spectropolarimetry, which provides access to important diagnostic information on solar magnetism and allows validating the related theoretical models. A particular goal is to study the structure and evolution of the magnetic field present in the solar photosphere and chromosphere. The key instrument, which is used for this purpose, is the Zurich Imaging Polarimeter (ZIMPOL), which, thanks to a special technique based on fast modulation and demodulation, makes it possible to achieve very high polarimetric precision, suppressing the seeing induced cross-talks generated by the turbulence in the Earth's atmosphere. The ZIMPOL system is constantly being refined in collaboration with SUPSI's Institute of Systems and Applied Electronics (ISEA), also keeping an eye on possible applications of the instrument in other research areas. For example, in 2018 IRSOL took part in a project exploiting a ZIMPOL system loaned to the Optical Materials Engineering Laboratory (OMEL) at ETH Zurich, from which a patent resulted, covering a particular technique for measuring the optical activity of chiral molecules, with applications in biopharmaceuticals. IRSOL is currently collaborating with the startup Enantios, which aims to exploit this patent. IRSOL's instrumentation is constantly being updated to best meet current observational needs. The Gregory-Coudé Solar Telescope is equipped with a Czerny-Turner spectrograph that achieves an excellent resolution very suitable for measuring in detail features of spectral lines. A tunable Fabry-Pérot filter with a 30 mÅ bandwidth is also available for imaging. The telescope at IRSOL is very suitable for obtaining measurements of excellent spectropolarimetric quality. For measurements that also require high spatial resolution, external observing campaigns are regularly organized by IRSOL in collaboration with the Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), bringing the ZIMPOL polarimeter to GREGOR, the Europe's largest solar telescope currently in operation. There is also a programmable heterodyne receiver at IRSOL for measuring the spectrum of radio waves emitted by the Sun mainly during solar flares, which belongs to the international e-Callisto network maintained by C. Monstein. The research group is engaged in the development of innovative instrumentation to further enhance observation capabilities also in view of the European Solar Telescope (EST) project for which IRSOL collaborates within a consortium involving several European institutes.

Ambito di ricerca del Gruppo

L'accento delle osservazioni effettuate all'IRSOOL è posto sulla spettropolarimetria ad alta precisione, che permette soprattutto di accedere a importanti informazioni diagnostiche sul magnetismo solare e di validarne i modelli sviluppati in ambito teorico. In particolare si studia la struttura e l'evoluzione del campo magnetico presente nella fotosfera e nella cromosfera solare. Lo strumento chiave utilizzato a tale scopo è lo Zurich Imaging Polarimeter (ZIMPOL), che, grazie a una particolare tecnica basata su una rapida modulazione e demodulazione, permette di raggiungere un'altissima precisione polarimetrica, sopprimendo i segnali spuri generati dalle turbolenze presenti nell'atmosfera terrestre. Il sistema ZIMPOL viene perfezionato costantemente in collaborazione con l'Istituto sistemi e elettronica applicata (ISEA) della SUPSI, tenendo d'occhio anche possibili applicazioni dello strumento in altri ambiti di ricerca. Per esempio, nel 2018 l'IRSOOL ha preso parte a un progetto che sfrutta un sistema ZIMPOL prestato all'OMEL (Optical Materials Engineering Laboratory) del Politecnico Federale di Zurigo, da cui è scaturito un brevetto che riguarda una particolare tecnica di misura dell'attività ottica di molecole chirali, con applicazioni in ambito biofarmaceutico. Attualmente l'IRSOOL collabora con la startup Enantios che cerca di sfruttare tale brevetto. La strumentazione dell'IRSOOL viene costantemente aggiornata per soddisfare al meglio le attuali esigenze osservative. Il telescopio solare Gregory-Coudé presente all'Osservatorio è dotato di uno spettrografo Czerny-Turner che raggiunge un'ottima risoluzione, adatta a misurare i dettagli delle strutture caratteristiche delle righe spettrali. Per la ripresa di immagini è inoltre a disposizione un filtro Fabry-Pérot regolabile con una banda passante di 30 mÅ. Il telescopio dell'IRSOOL è particolarmente adatto per ottenere misure di eccellente qualità spettropolarimetrica. Per misure che richiedono pure un'alta risoluzione spaziale vengono regolarmente organizzate dall'IRSOOL delle campagne osservative esterne in collaborazione con il Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), portando il polarimetro ZIMPOL presso GREGOR, il più grande telescopio solare europeo attualmente in funzione. All'IRSOOL è pure presente un'antenna per la misura dello spettro delle onde radio emesse dalle eruzioni solari che fa parte della rete internazionale e-Callisto ed è mantenuta da C. Monstein. Il gruppo di ricerca è impegnato nella messa a punto di strumentazione innovativa per sviluppare ulteriormente le proprie potenzialità in ambito osservativo e in vista del progetto EST (European Solar Telescope), per il quale collabora all'interno di un consorzio che coinvolge vari istituti europei.

Oskar Steiner Dr.

**MHD numerical
simulations of the solar
and stellar atmospheres
Simulazioni numeriche
magnetoidrodinamiche
di atmosfere solari
e stellari**



Oskar Steiner graduated in theoretical physics in 1985 at ETH-Zürich. Beforehand, he received a degree in mechanical engineering from Lucerne School of Engineering. He started his PhD thesis in 1986 at the High Altitude Observatory (HAO) in Boulder, CO, and received his PhD in natural sciences in 1990 from ETH. From 1991-1995 he was a postdoctoral researcher at the Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik (KIS), where he carried out first two-dimensional high-resolution simulations of the interaction of magnetic fields with the convective flow in the solar atmosphere. From 1996-1997 he was a visiting scientist at HAO and returned to KIS in 1998. In 2009 he was a visiting professor at the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ) in Tokyo. His area of expertise includes the magnetism of the Sun, the numerical simulation of magnetohydrodynamic processes on the Sun and stars including comparison with corresponding observations, and numerical methods in computational fluid dynamics and radiative transfer. He is the author or co-author of about 170 scientific publications, which received some 3300 citations. Since 2014 Oskar Steiner is leading the MHD simulation group at IRSOL.

Oskar Steiner si è laureato in fisica teorica nel 1985 presso il Politecnico di Zurigo (ETH). In precedenza, ha conseguito il diploma di ingegnere meccanico presso la Scuola di Ingegneria di Lucerna. Nel 1986 ha iniziato la sua tesi di dottorato presso l'High Altitude Observatory (HAO) di Boulder, CO, e nel 1990 ha conseguito il dottorato in scienze naturali presso l'ETH. Dal 1991 al 1995 è stato ricercatore post-dottorato presso il Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik (KIS), dove ha effettuato le prime simulazioni bidimensionali ad alta risoluzione dell'interazione dei campi magnetici con il flusso convettivo nell'atmosfera solare. Dal 1996 al 1997 è stato visiting scientist presso l'HAO ed è tornato al KIS nel 1998. Nel 2009 è stato visiting professor presso l'Osservatorio Nazionale del Giappone (NAOJ) a Tokyo. Le sue aree di competenza comprendono il magnetismo del Sole, la simulazione numerica dei processi magnetoidrodinamici nel Sole e nelle stelle, compreso il confronto con le osservazioni corrispondenti, e i metodi numerici nella fluidodinamica computazionale e nel trasporto radiativo. È autore o co-autore di circa 170 pubblicazioni scientifiche, che hanno ricevuto circa 3300 citazioni. Dal 2014 guida il gruppo di simulazioni magnetoidrodinamiche (MHD) all'IRSOL.

**Team
Gruppo
di ricerca**

**Group Leader
Capogruppo:
Oskar Steiner Dr.**

**Group members and external collaborators
Membri del Gruppo e collaboratori esterni**

Group members / Membri del Gruppo

José Roberto Canivete Cuissa, PhD student – Fabio Riva, PostDoc

External collaborators / Collaboratori esterni

Bernd Freytag, Uppsala University, Sweden – Cosima Breu, University St. Andrews, Scotland – Vigeesh Gangadharan, KIS Freiburg, Germany – Ravit Helled, University Zürich, PhD advisor of J.R. C.C. – Matthias Steffen, AIP Potsdam, Germany – Romain Teyssier, Princeton University, USA

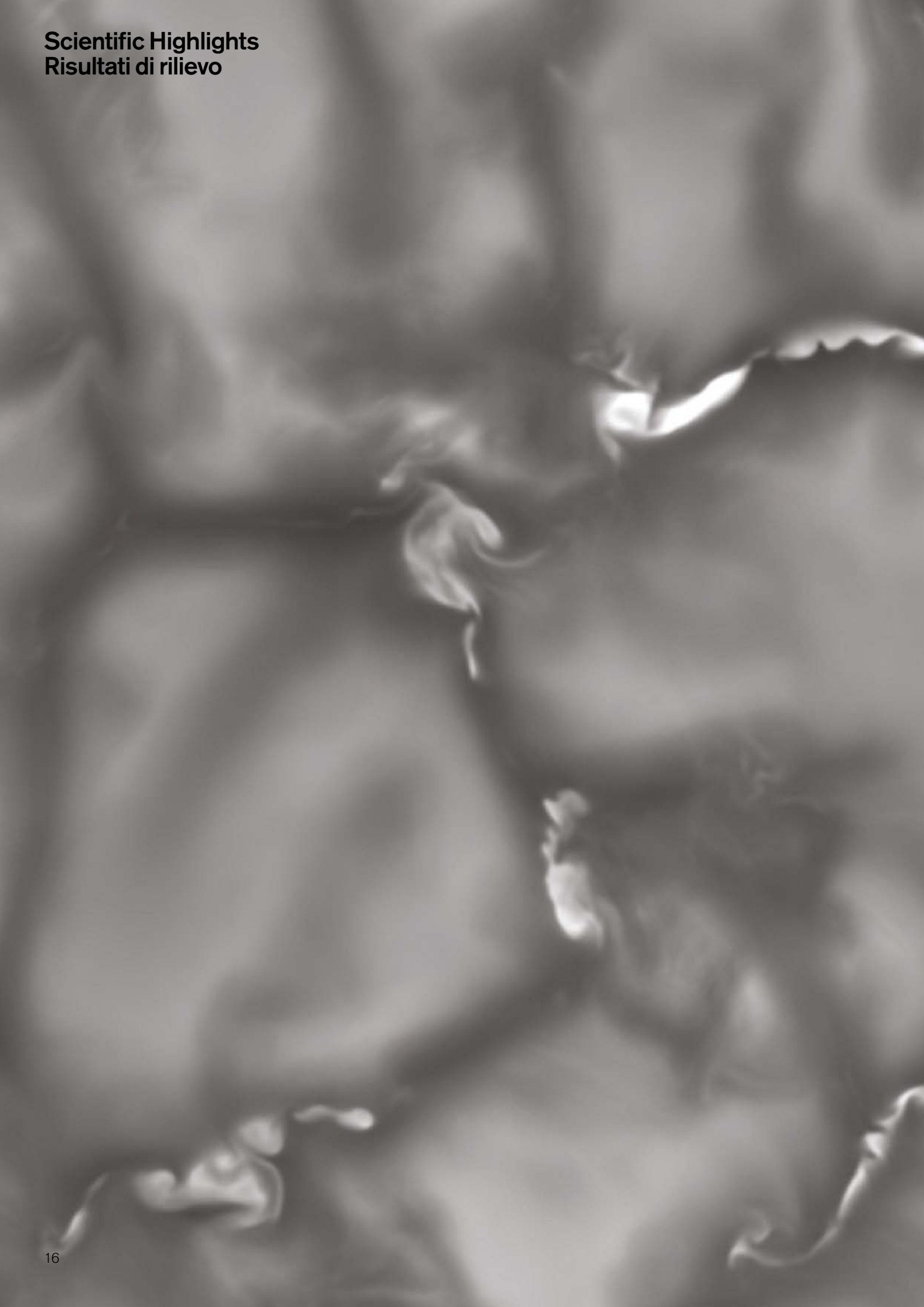
Research focus of the Group

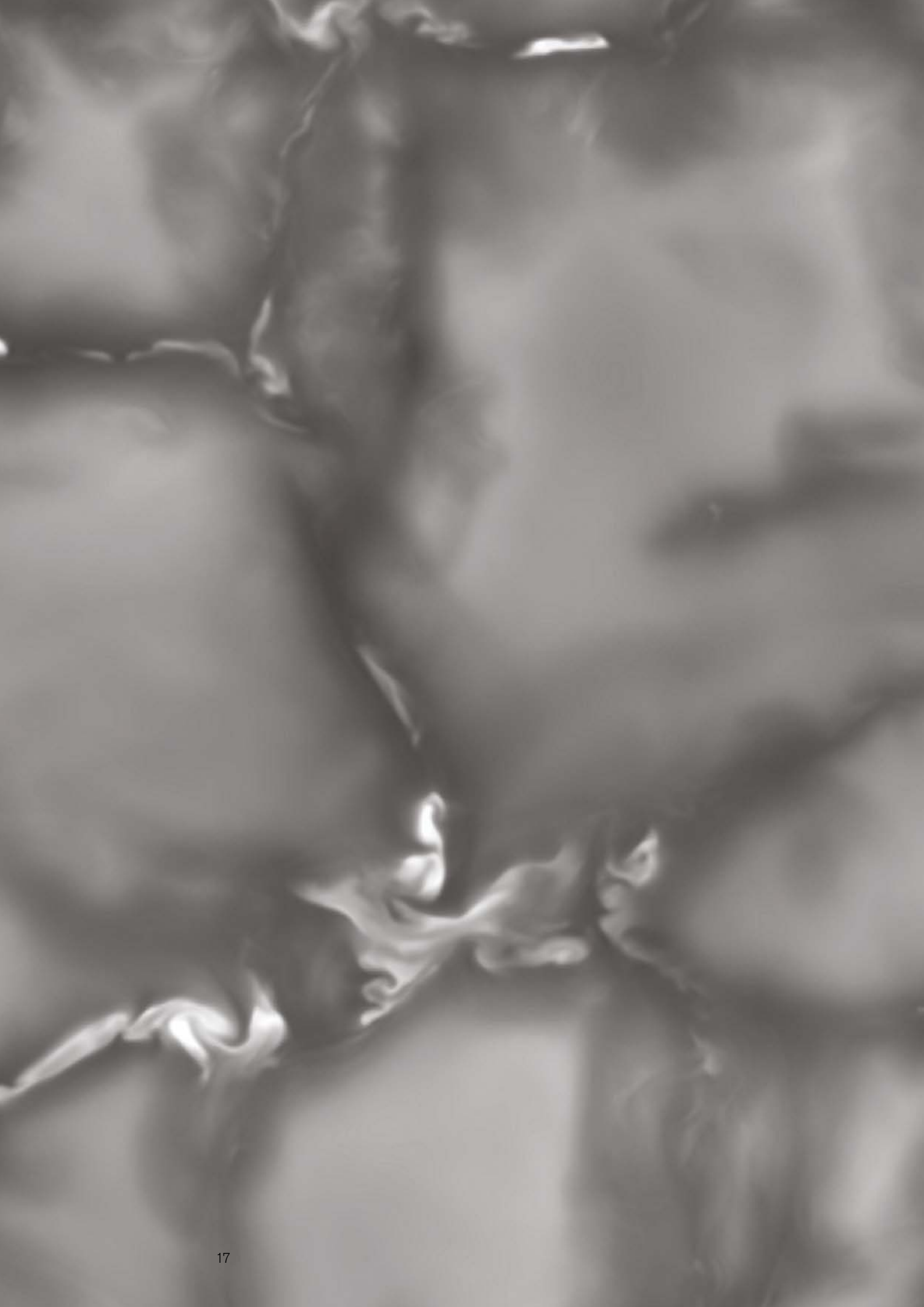
Astrophysical and solar research depends almost entirely on remote sensing by studying the light of the Sun and stars. We cannot yet travel to stars or closely approach the Sun to carry out experiments on them. To compensate for this lack of accessibility, we simulate stars and the Sun, or small portions of them, on the computer, starting from basic physics equations. These are, in our case, the equations that describe the motion of the stellar plasma (the hydrodynamical equations), in combination with the equations that describe electric and magnetic fields (Maxwell's equations). The latter are necessary since the stellar plasma is highly conductive to electric currents. Together, these equations build the magnetohydrodynamic (MHD) equations, a set of eight partial differential equations, where the energy equation also requires solving an additional equation that describes the transport of radiation. Since these equations can generally not be solved analytically, we do that numerically on powerful computers like the Alps system of the Swiss National Supercomputing Center (CSCS). Thus, we take the Sun and stars into the computer to study them close and in detail.

However, to make sure that we are simulating the real Sun, we compare computer simulations with observations of the actual Sun. For that, we synthesise observable quantities from the simulated solar plasma, such as maps of the radiative intensity or spectra, which can be directly compared with real observations. This step typically involves radiative transfer analysis and polarimetry tools as developed in the theory group of IRSOL. Simulations provide the complete physical state of the solar plasma at any point of the three-dimensional space and of time, at the spatial and temporal resolution exceeding that of observations. Therefore, simulations are an invaluable help for the interpretation and understanding of observed phenomena. Having attained good enough confidence in the simulation, we can, in a second step, dare predictions when discovering phenomena in the simulation that have not yet been observed. This step may lead to the proposition and planning of new observations. Simulations also serve to carry out experiments with virtual astrophysical objects, which would be impossible in reality. For example, we can switch on and off the presence of the magnetic field or introduce pressure perturbations to acquire a deeper understanding of the propagation of magnetohydrodynamic waves in the solar atmosphere.

Ambito di ricerca del Gruppo

La ricerca in astrofisica e in fisica solare dipende quasi interamente dall'osservazione a distanza attraverso lo studio della luce del Sole e delle stelle. Non possiamo ancora recarci sulle stelle o avvicinarci al Sole per eseguire esperimenti su di essi. Per compensare questa mancanza di accessibilità, simuliamo le stelle e il Sole o piccole parti di essi al computer, partendo da equazioni fisiche di base. Si tratta in questo caso delle equazioni che descrivono il moto del plasma stellare (equazioni idrodinamiche) in combinazione con le equazioni che descrivono i campi elettrici e magnetici (equazioni di Maxwell). Queste ultime sono necessarie poiché il plasma stellare è altamente conduttivo alle correnti elettriche. Insieme, queste equazioni costituiscono le equazioni magnetoidrodinamiche (MHD), un insieme di otto equazioni differenziali parziali, dove l'equazione dell'energia richiede anche la soluzione di un'ulteriore equazione che descrive il trasporto della radiazione. Poiché in genere queste equazioni non possono essere risolte analiticamente, lo facciamo numericamente su potenti computer come il sistema Alps del Centro nazionale svizzero di supercalcolo (CSCS). In questo modo portiamo il Sole e le stelle nel computer per studiarli da vicino e in dettaglio. Tuttavia, per essere sicuri di simulare il Sole reale, confrontiamo le simulazioni al computer con le osservazioni del Sole reale. A tal fine, sintetizziamo quantità osservabili dal plasma solare simulato, come mappe dell'intensità radiativa o spettri, che possono essere paragonati direttamente con le osservazioni reali. Questa fase coinvolge tipicamente l'analisi del trasferimento radiativo e gli strumenti di polarimetria sviluppati dal gruppo teorico dell'IRSO. Le simulazioni forniscono lo stato fisico completo del plasma solare in qualsiasi punto dello spazio tridimensionale e del tempo, con una risoluzione spaziale e temporale superiore a quella delle osservazioni. Pertanto le simulazioni sono un aiuto prezioso per l'interpretazione e la comprensione dei fenomeni osservati. Avendo raggiunto un'affidabilità sufficiente della simulazione, in una seconda fase possiamo azzardare previsioni quando nella simulazione scopriamo fenomeni che non sono ancora stati osservati. Questo passo può portare alla proposta e alla pianificazione di nuove osservazioni. Le simulazioni servono anche a realizzare esperimenti con oggetti astrofisici virtuali, che non sarebbero possibili nella realtà. Ad esempio possiamo attivare e disattivare la presenza del campo magnetico o introdurre perturbazioni di pressione per comprendere più a fondo la propagazione di onde magnetoidrodinamiche nell'atmosfera solare.



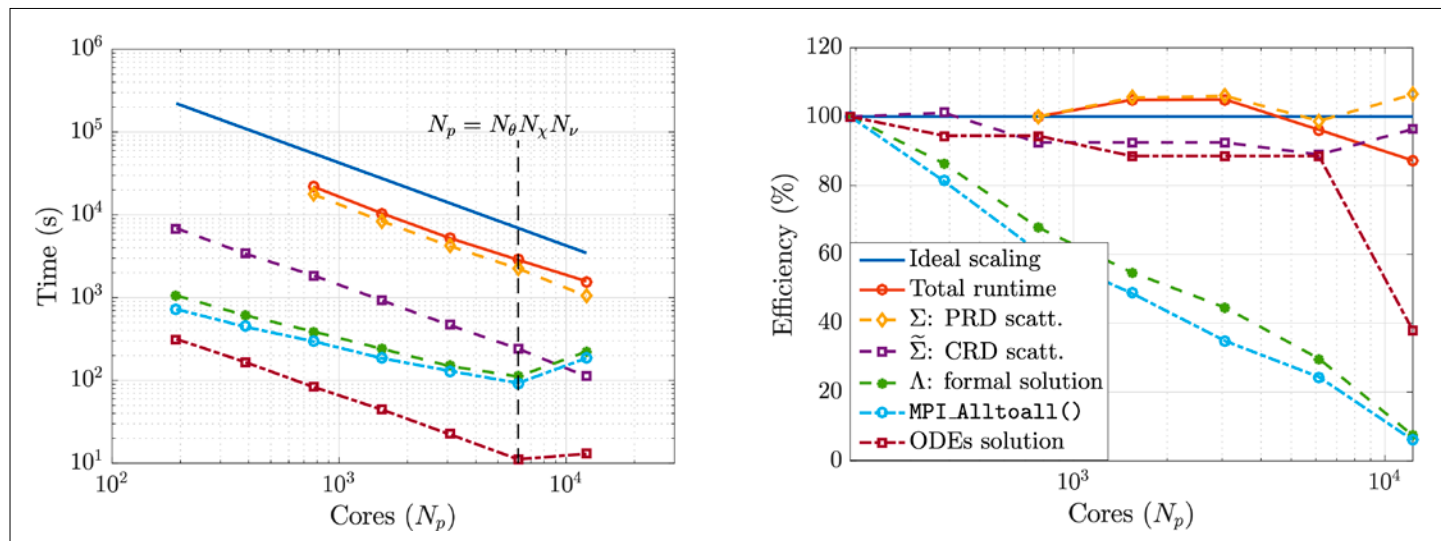


Code for advanced 3D modeling of scattering polarization

One of the main results of the theoretical group was the development of the first code worldwide capable of modeling scattering polarisation in realistic 3D models of the solar atmosphere, accounting for angle-dependent (AD) partial frequency redistribution (PRD) effects in scattering processes. The development of this code was the main objective of a SNSF "Sinergia" project, involving IRSOL, USI, as well as Spanish (IAC) and Czech (AI-ASCR) institutes. The code implements a Krylov solver (GMRES), an innovative physics-based preconditioner, and a novel double-grid parallelization strategy. The figure shows the excellent results of scaling experiments carried out at CSCS. All the details can be found in Benedusi et al. (2023, J. Comput. Phys., 479, 112013). The first application of scientific interest is expected in 2024.

Codice per modellizzazione avanzata della polarizzazione per scattering in 3D

Uno dei principali risultati del gruppo teorico è stato lo sviluppo del primo codice al mondo in grado di modellizzare la polarizzazione per scattering in modelli realistici 3D dell'atmosfera solare, tenendo conto degli effetti di ridistribuzione parziale in frequenza (PRD), di tipo angle-dependent (AD), nei processi di scattering. Lo sviluppo di questo codice era il principale obiettivo di un progetto "Sinergia" del FNS, che ha coinvolto l'IRSOL, l'USI, un istituto spagnolo (IAC) e uno ceco (AI-ASCR). Il codice implementa un metodo di soluzione Krylov (GMRES), un innovativo preconditionatore di carattere fisico e una nuova strategia di parallelizzazione a doppia griglia. La Figura mostra gli eccellenti risultati di esperimenti di scaling eseguiti al CSCS. Tutti i dettagli sono riportati in Benedusi et al. (2023, J. Comput. Phys. 479, 112013). La prima applicazione di interesse scientifico è prevista per il 2024.



Results of numerical experiments carried out at CSCS showing the near-optimal scaling of the solution strategy.

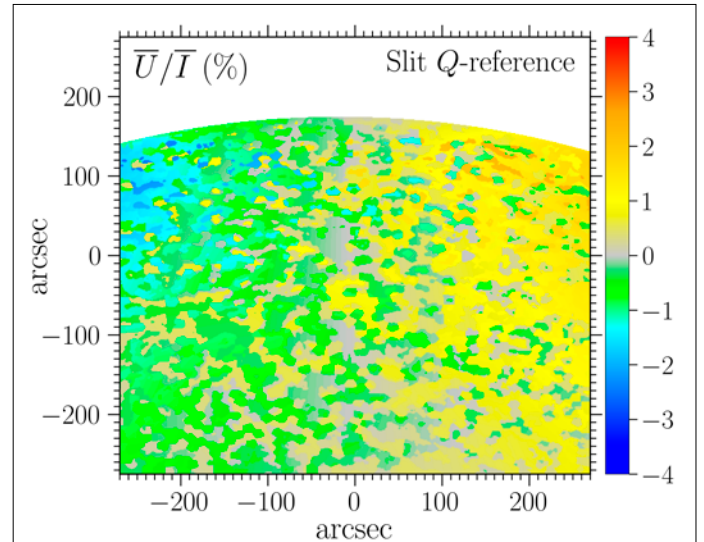
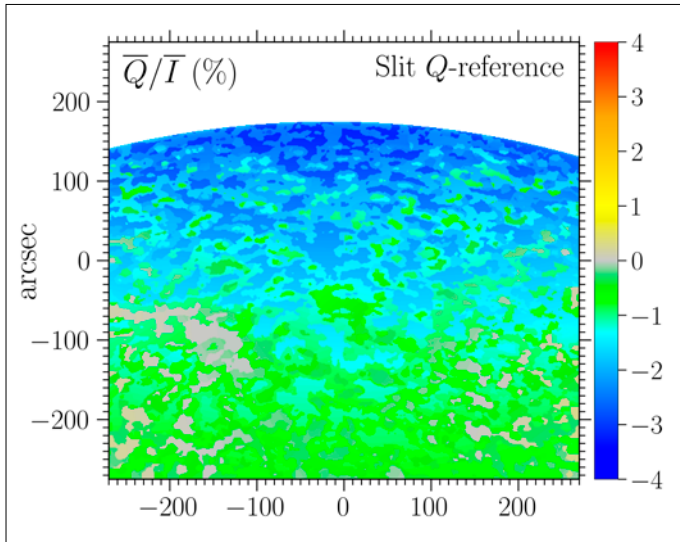
Risultati di esperimenti numerici eseguiti al CSCS che evidenziano lo scaling quasi ottimale del metodo di soluzione.

First modeling of the NaI D1 line with the advanced 3D code

For many years, the only way to theoretically model the scattering polarisation signal of the D1 line of sodium required to assume that the solar chromosphere is unmagnetised, in clear contradiction with other evidence. This opened the so-called “solar sodium D1 paradox”. In Alsina Ballester et al. (2021, Phys. Rev. Lett., 127, 081101), we provided a convincing solution to this paradox, showing that this signal can be modeled through a new physical mechanism, which also operates in the presence of magnetic fields. A key ingredient for the new modeling are the partial frequency redistribution (PRD) effects that in the work of 2021 were only included under the angle-averaged (AA) simplifying approximation. In Janett et al. (2023, ApJ, 958, 38), we relaxed this approximation and we first modeled this signal considering angle-dependent (AD) PRD effects. As shown in the Figure, the difference is quite relevant.

Prima modellizzazione della riga D1 del sodio con il codice 3D avanzato

Per molti anni l'unico modo per modellizzare teoricamente il segnale di polarizzazione per scattering della riga D1 del sodio richiedeva di assumere che la cromosfera solare fosse non magnetizzata, in evidente contraddizione con altre evidenze. Questo era noto come “paradosso della riga solare D1 del sodio”. In Alsina Ballester et al. (2021, Phys. Rev. Lett., 127, 081101) abbiamo presentato una convincente soluzione di questo paradosso, mostrando che il segnale può essere modellizzato attraverso un nuovo meccanismo fisico, che opera anche in presenza di campi magnetici. Un ingrediente chiave nella nuova modellizzazione sono gli effetti di ridistribuzione parziale in frequenza (PRD), che tuttavia nel lavoro del 2021 erano stati inclusi sotto l'approssimazione semplificatrice angle-average (AA). In Janett et al. (2023, ApJ, 958, 38) abbiamo rimosso questa approssimazione e per la prima volta abbiamo modellizzato questo segnale considerando gli effetti PRD di tipo angle-dependent (AD). Come mostrato nella Figura, la differenza è piuttosto rilevante.



The synthetic signals suitably mimic the two-dimensional broadband linear polarization images taken by CLASP.

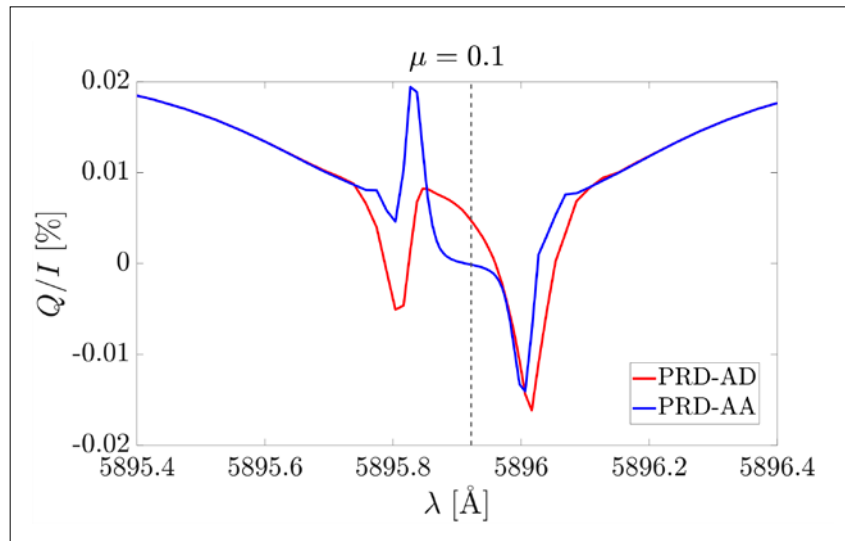
I segnali sintetici, che replicano in modo soddisfacente le immagini bidimensionali in polarizzazione lineare a banda larga, fornite da CLASP.

Filter-polarimetry in Ly- α for magnetic field diagnostics

In 2015, the CLASP sounding rocket experiment performed unprecedented spectropolarimetric observations of the hydrogen Ly- α line. This experiment revealed clear spatial variations across the field of view of the frequency-integrated linear scattering polarization signal. In a previous work (Alsina Ballester et al. 2019, ApJ, 880, 85), we showed that this signal is sensitive to the presence of magnetic fields via magneto-optical (MO) effects. In cooperation with our IAC colleagues, we carried out a new theoretical study showing that the observed variability is indeed compatible with the action of MO effects, thus highlighting the potential of filter polarimetry in Ly- α for magnetic field diagnostics (Alsina Ballester et al. 2023, ApJ, 947, 71). The Figure shows our synthetic signals.

Diagnostica di campi magnetici attraverso polarimetria a filtro nella riga Ly- α

Nel 2015 l'esperimento di tipo razzo-sonda CLASP eseguì osservazioni spettropolarimetriche senza precedenti nella riga Ly- α dell'idrogeno. Questo esperimento rivelò chiare variazioni spaziali del segnale di polarizzazione per scattering integrato in frequenza. In un precedente lavoro (Alsina Ballester et al. 2019, ApJ, 880, 85) abbiamo mostrato che questo segnale è sensibile alla presenza di campi magnetici attraverso gli effetti magneto-ottici (MO). In cooperazione con i colleghi dell'IAC abbiamo condotto un nuovo studio teorico che ha dimostrato che le variazioni spaziali osservate sono compatibili con l'azione degli effetti MO, evidenziando così il potenziale della polarimetria a filtro nella riga Ly- α per la diagnostica del campo magnetico (Alsina Ballester et al. 2023, ApJ, 947, 71). La Figura mostra i nostri segnali sintetici.



The angle-dependent (AD) linear polarization Q/I profile is more symmetric and, contrary to the angle-averaged (AA) one, it does not vanish at the line-center.

Il profilo di polarizzazione lineare Q/I di tipo angle-dependent (AD) è più simmetrico e, contrariamente a quello di tipo angle-average (AA), non si annulla al centro della riga.

How the Sun helps understanding stellar activity and exoplanets

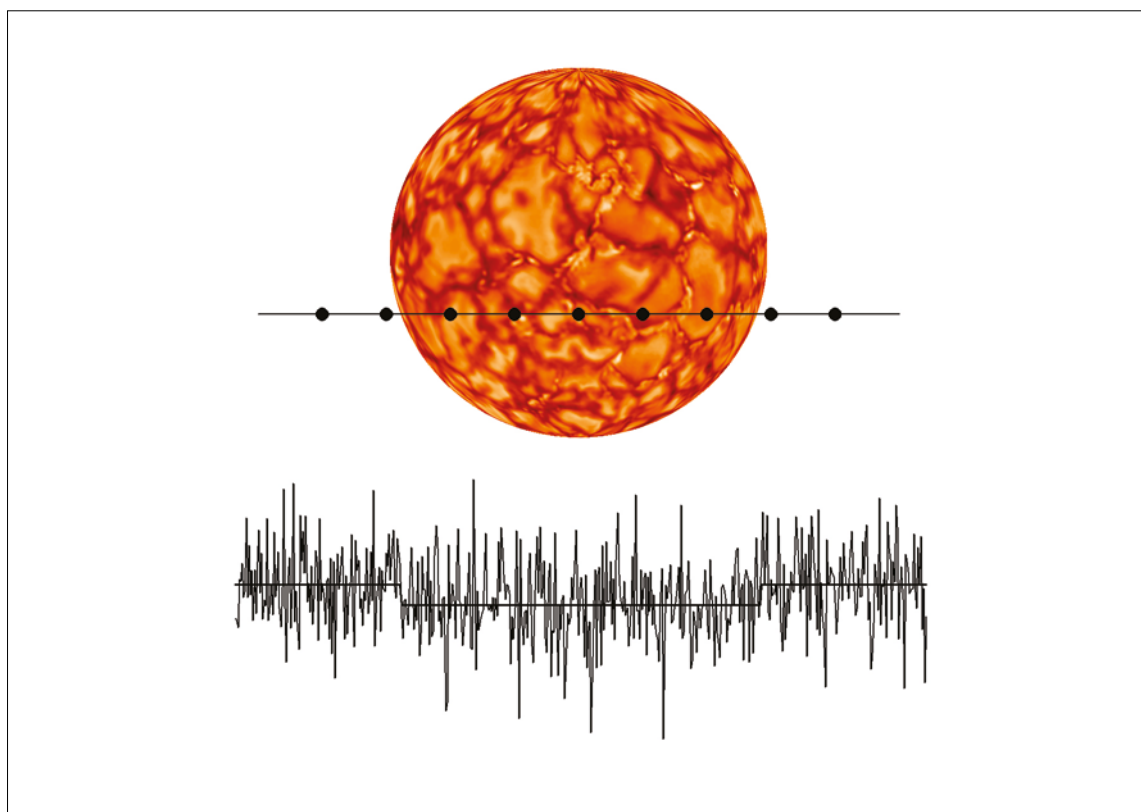
Study Analysis Group 21 (SAG21) of NASA's Exoplanet Exploration Program Analysis Group, was organized to study the effect of stellar contamination on space-based exoplanet transmission spectroscopy, a method for studying exoplanetary atmospheres by measuring the wavelength-dependent radius of a planet as it transits in front of its star. Transmission spectroscopy relies on a precise understanding of the spectrum of the star being occulted. However, stars are not homogeneous, constant light sources but have continuously evolving photospheres and chromospheres with inhomogeneities like spots, faculae, plages, granules, and flares which strongly affect transit measurements, especially for Earth-size exoplanets. For example, the Figure illustrates the flux noise caused the solar plasma evolution during the transit of an Earth-like planet. The SAG21 brought together an interdisciplinary team of more than 100 scientists from the heliophysics, stellar astrophysics, planetary science, and exoplanetary atmosphere research communities, to study the current research needs to make the most of transit studies from current NASA facilities like Hubble Space Telescope (HST) and James Webb Space telescope (JWST). The analysis produced 14 findings, which fall into three science themes encompassing (1) how the Sun is used as our best laboratory to calibrate our understanding of stellar activity, (2) how stars other than the Sun extend our knowledge of surface inhomogeneities, and (3) how the information gathered for the Sun and other stars maps into exoplanet transit studies. Prof. Berdyugina was leading the Chapter on the Sun and stars and Dr. Steiner contributed on the MHD simulations of solar and stellar plasma. An invited peer-reviewed paper (Rackham, Espinoza, Berdyugina, et al. 2023, RASTI, 2, 148) was published based on the final report of SAG21.

Come il Sole aiuta a comprendere l'attività stellare e gli esopianeti

Lo Study Analysis Group 21 (SAG21) dell'Exoplanet Exploration Program Analysis Group della NASA è stato organizzato per studiare l'effetto della contaminazione stellare sulla spettroscopia di trasmissione degli esopianeti nello spazio, un metodo per studiare le atmosfere degli esopianeti misurando il raggio di un pianeta in funzione della lunghezza d'onda mentre transita davanti alla sua stella. La spettroscopia a trasmissione si basa su una comprensione precisa dello spettro della stella occultata. Tuttavia le stelle non sono sorgenti di luce omogenee e costanti, ma hanno fotosfere e cromosfere in continua evoluzione temporale con disomogeneità come macchie, facole, plaghe, granuli e brillamenti, che influenzano fortemente le misure dei transiti, soprattutto per gli esopianeti di dimensioni terrestri. Ad esempio, la Figura illustra il rumore di flusso causato dall'evoluzione del plasma solare durante il transito di un pianeta simile alla Terra. Il SAG21 ha riunito un team interdisciplinare di oltre 100 scienziati provenienti dalle comunità scientifiche della fisica solare, dell'astrofisica stellare, della planetologia e degli studi sulle atmosfere esoplanetarie, per studiare le attuali esigenze di ricerca per sfruttare al meglio gli studi sui transiti dagli attuali strumenti della NASA come l'Hubble Space Telescope (HST) e il James Webb Space telescope (JWST). L'analisi ha prodotto 14 risultati, che rientrano in tre temi scientifici che comprendono (1) come il Sole sia utilizzato come miglior laboratorio per verificare la nostra comprensione dell'attività stellare, (2) come le stelle diverse dal Sole amplino la nostra conoscenza delle disomogeneità di superficie e (3) come le informazioni raccolte per il Sole e le altre stelle si adattino agli studi sul transito degli esopianeti. La professoressa Berdyugina ha coordinato il capitolo sul Sole e sulle stelle e il dottor Steiner ha contribuito alle simulazioni MHD del plasma solare e stellare. Sulla base del rapporto finale del SAG21 è stato pubblicato un articolo su invito con peer review (Rackham, Espinoza, Berdyugina, et al. 2023, RASTI, 2, 148).

A schematic of an exoplanet transit with the flux noise caused by stellar plasma fluctuations.

Uno schema del transito di un esopianeta con il rumore del flusso causato dalle fluttuazioni del plasma stellare.

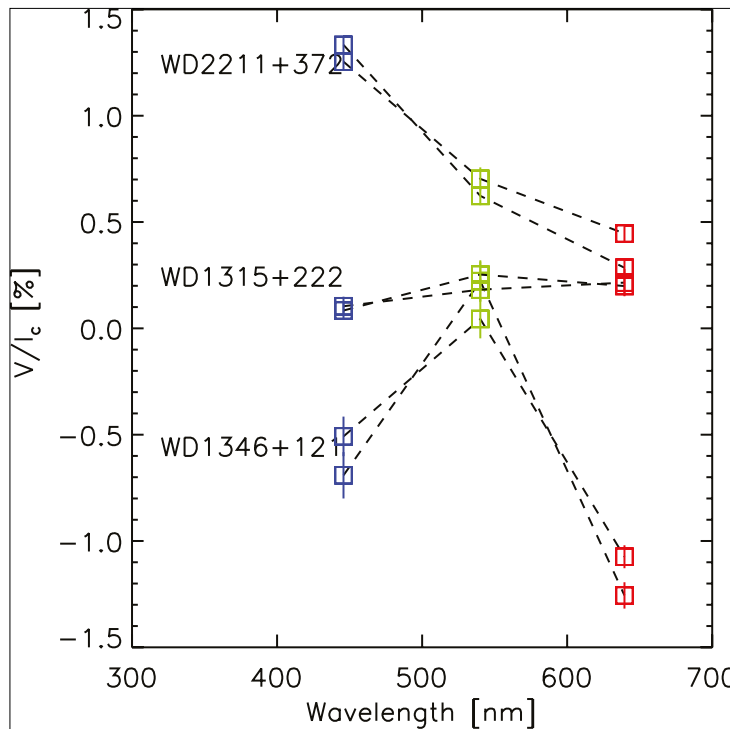


Discovery of five old magnetic white dwarfs

Single stars with mass less than 8 solar masses evolve to become white dwarfs (WDs) with the remaining mass of only 0.6 solar masses on average. Once formed, the evolution of a WD is normally to cool slowly over several billion years (Gyr). About half of these evolve to become cool WDs whose spectra have no spectral features (DC-type), so their composition is unknown. The recent magnetic survey of WDs in the solar neighborhood within 20 parsec (pc) established a high frequency of magnetic WDs older than 2–3 Gyr. This demonstrates that in low- and average-mass WDs, the effects of magnetism become more common as they age, and the magnetic fields on average become stronger (several million Gauss, MG). However, how magnetism of WDs evolves beyond about 5 Gyr is not yet well understood. Using the high-precision and high-accuracy broad-band polarimeter DIPOL-UF, developed within the ERC Advanced Grant of Prof. Berdyugina, a polarimetric survey of older DC-type WDs is carried out to clarify the occurrence of magnetism in these puzzling objects. In the absence of spectral features, we employ circular polarisation of the continuum radiation caused by the circular dichroism of the continuum opacity in the presence of strong magnetic fields. In our recent survey, we have discovered strong magnetic fields in five DC WDs (out of 23 targets observed) (Berdyugin et al. 2023, A&A 670, A2). Our discovery, illustrated in the Figure, almost doubles the total sample of known magnetic cool old DC WDs.

Scoperta di cinque antiche nane bianche magnetiche

Le stelle singole con massa inferiore a 8 masse solari evolvono fino a diventare nane bianche (NB) con una massa residua di appena 0,6 masse solari in media. Una volta formata la stella, l'evoluzione di una NB è normalmente quella di un lento raffreddamento nell'arco di diversi miliardi di anni (Gyr). Circa la metà di queste evolve fino a diventare NB fredde il cui spettro non presenta caratteristiche spettrali (tipo DC), perciò la loro composizione è sconosciuta. La recente indagine magnetica delle NB nei dintorni del Sole entro 20 parsec (pc) ha stabilito un'alta frequenza di NB magnetiche più vecchie di 2-3 Gyr. Ciò dimostra che, nelle NB di massa media e piccola, gli effetti del magnetismo diventano più comuni con l'invecchiamento e i campi magnetici diventano in media più forti (diversi milioni di Gauss, MG). Tuttavia il modo in cui il magnetismo delle NB si evolve oltre i 5 Gyr circa non è ancora ben compreso. Utilizzando il polarimetro a banda larga DIPOL-UF ad alta precisione e accuratezza, sviluppato nell'ambito dell'ERC Advanced Grant della professoressa Berdyugina, viene effettuata un'indagine polarimetrica delle NB di tipo DC più vecchie per chiarire la presenza di magnetismo in questi oggetti sconcertanti. In assenza di caratteristiche spettrali, utilizziamo la polarizzazione circolare della radiazione del continuo causata dal dichroismo circolare dell'opacità del continuo in presenza di forti campi magnetici. Nella nostra recente indagine, abbiamo scoperto forti campi magnetici in cinque NB DC (su 23 target osservati) (Berdyugin et al. 2023, A&A 670, A2). La nostra scoperta, mostrata nella Figura, quasi raddoppia il campione totale di vecchie NB DC magnetiche fredde conosciute.



Examples of measurements for three white dwarfs discovered to be magnetic

Esempi di misurazioni per tre nane bianche scoperte essere magnetiche

New horizons for ZIMPOL

The excellent performance of the ZIMPOL polarimeter is the flagship that has given the Institute scientific advantage in the field of high-precision spectropolarimetry.

Through collaboration with the Institute of Systems and Applied Electronics (ISEA) of SUPSI, it was possible to redesign and upgrade the electronics of ZIMPOL. A digital camera with the new electronics was provided to IRSOL by SUPSI in February 2023 and has been successfully tested. The use of the new state-of-the-art electronics allows for its long-term maintainability. At the same time, new features have been introduced that increase the efficiency of the camera, particularly by greatly reducing the dead time for reading the CCD sensor. The software upgrade, in order to better implement the desired improvements, is ongoing (funded through the SNSF project "Astrophysical Spectropolarimetry"). The new camera also benefits from improved temperature monitoring and a sensor to measure internal pressure where vacuum is created.

Also in 2023, a technology-transfer collaboration with the newly formed startup Enantios has begun. The company aims to develop and commercialize ZIMPOL-based laboratory polarimetric systems for measuring the optical activity of chiral molecules in laboratory samples, with applications in biopharmaceutics. Daniel Gisler has co-authored the invention and patenting of this measurement technique. Work is underway with Enantios and CSEM in Neuchâtel to produce new ZIMPOL masked CCD sensors equipped with cylindrical microlenses.

It is planned in the near future to prepare a new ZIMPOL camera equipped with a new sensor to be installed at the GREGOR telescope in Tenerife for the use by a broader solar community.

Nuovi orizzonti per ZIMPOL

Le ottime prestazioni del polarimetro ZIMPOL sono il fiore all'occhiello che hanno dato all'Istituto prestigio scientifico nell'ambito della spettropolarimetria ad alta precisione.

Grazie alla collaborazione con l'Istituto sistemi e elettronica applicata (ISEA) della SUPSI, è stato possibile ridisegnare e aggiornare l'elettronica dello ZIMPOL. Una camera digitale con la nuova elettronica è stata fornita all'IRSOL dalla SUPSI nel febbraio 2023 ed è stata testata con successo. L'utilizzo di elettronica di nuova generazione ne permette la mantenibilità a lungo termine. Allo stesso tempo sono state introdotte nuove funzionalità che vanno ad aumentare l'efficienza della camera, in particolare riducendo notevolmente i tempi morti per la lettura del sensore CCD. L'aggiornamento del software, al fine di implementare al meglio i perfezionamenti auspicati, è in corso (finanziato tramite il progetto FNS "Astrophysical Spectropolarimetry"). La nuova camera beneficia pure di un perfezionato monitoraggio della temperatura e di un sensore per misurare la pressione interna dove viene creato il vuoto.

Nel 2023 è pure iniziata la collaborazione per il trasferimento tecnologico con la neonata startup Enantios, che si prefigge l'obiettivo di sviluppare e commercializzare dei sistemi polarimetrici di laboratorio basati sullo ZIMPOL per la misura dell'attività ottica di molecole chirali in campioni di laboratorio, con applicazioni in ambito biofarmaceutico. Daniel Gisler è coautore dell'invenzione e del brevetto di tale tecnica di misura. Con Enantios e lo CSEM di Neuchâtel si sta lavorando alla produzione di nuovi sensori ZIMPOL dotati di maschera e microlenti. Si prevede prossimamente di preparare una nuova camera ZIMPOL dotata di un nuovo sensore da installare al telescopio GREGOR a Tenerife, al servizio di una più ampia comunità di fisici solari.



New ZIMPOL camera electronics.

La nuova elettronica di ZIMPOL.

Simulations of the small-scale dynamo at cool stellar surfaces

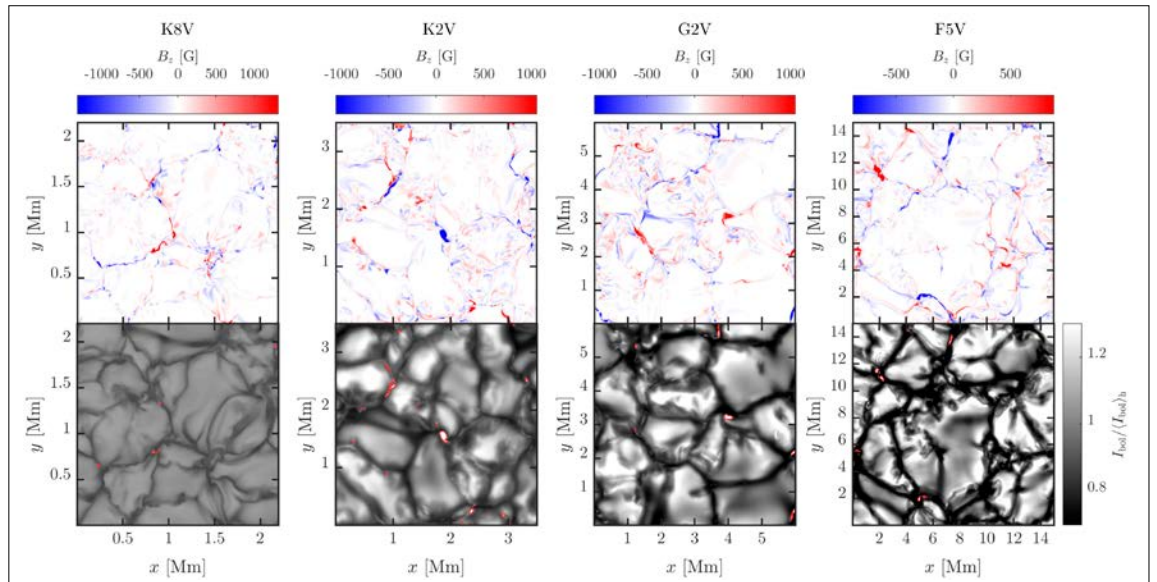
Near stellar surfaces, at least part of the magnetic field is suspected to be generated by a small-scale dynamo (SSD) driven by the local turbulent plasma motion. Using the MHD code CO5BOLD, Fabio Riva numerically simulated SSD action in stars of spectral types F5V, G2V, K2V, and K8V, where G2V corresponds to the Sun. He found that they all reach the saturation level at about the same magnetic to kinetic energy ratio, irrespective of the spectral type and growth rate of the amplification. The SSD action reduces the convective horizontal length scale in the convection zone by 5-10%, although this reduction vanishes towards the optical surface. In the saturation phase, the SSD generated magnetic flux self-organises into kiloGauss flux concentrations that appear as bright features on the stellar surfaces. They are most numerous and conspicuous for the K2V model and the Sun. Their mean vertical magnetic field component at the surface increases from 1 to 1.6 kiloGauss with decreasing the stellar effective temperature from F5V to K8V. Yet, more than 90% of the magnetic flux through any of these stellar surfaces has a field strength less than 1 kiloGauss. The results are published in a refereed paper (Riva et al., 2024, A&A, 684, A7) and illustrated in the figure below.

Simulazioni della dinamo a piccola scala sulle superfici stellari fredde

Si sospetta che almeno parte del campo magnetico in prossimità delle superfici stellari sia generato da una dinamo a piccola scala (SSD) guidata dal moto turbolento locale del plasma. Usando il codice MHD CO5BOLD, Fabio Riva ha simulato numericamente l'azione della SSD in stelle di tipo spettrale F5V, G2V, K2V e K8V, dove G2V corrisponde al Sole. Ha scoperto che tutte raggiungono il livello di saturazione più o meno allo stesso rapporto tra energia magnetica ed energia cinetica, indipendentemente dal tipo spettrale e dal tasso di crescita dell'amplificazione. L'azione dell'SSD riduce la scala di lunghezza orizzontale convettiva nella zona di convezione del 5-10%, sebbene questa riduzione svanisca verso la superficie ottica. Nella fase di saturazione, il flusso magnetico generato dall'SSD si auto-organizza in concentrazioni di flusso di kiloGauss che appaiono come strutture luminose sulle superfici stellari. Esse sono più numerose e vistose per il modello K2V e per il Sole. La componente verticale media del campo magnetico alla superficie aumenta da 1 a 1,6 kiloGauss con la diminuzione della temperatura stellare effettiva da F5V a K8V. Tuttavia più del 90% del flusso magnetico che attraversa una qualsiasi di queste superfici stellari ha un'intensità del campo magnetico inferiore a 1 kiloGauss. I risultati sono pubblicati in un articolo sottoposto a revisione (Riva et al., 2024, A&A, 684, A7) e mostrati nella figura sottostante.

Maps of vertical magnetic field (top) and bolometric intensity (bottom) representative of the four SSD simulations. Red contours in the bottom panels denote bright magnetic-flux concentrations.

Mappe del campo magnetico verticale (in alto) e dell'intensità bolometrica (in basso) rappresentative delle quattro simulazioni SSD. I contorni rossi nei pannelli inferiori indicano le concentrazioni di flusso magnetico luminoso.



Vortical flows in solar and stellar atmospheres

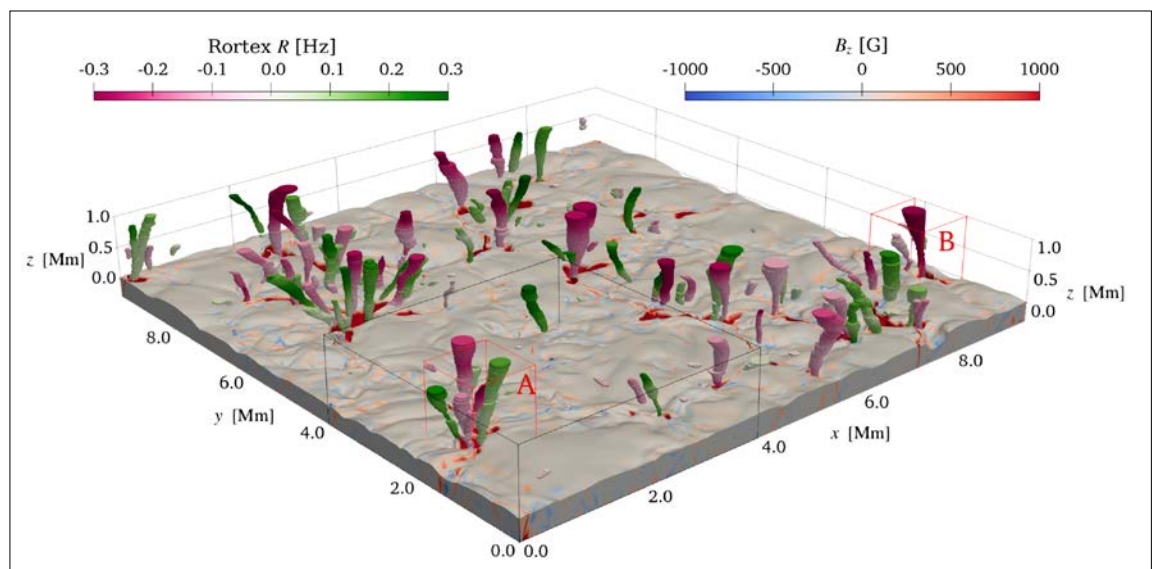
During 2023, we continued the analysis of vortical flows in the solar and stellar atmospheres. As a part of his PhD thesis, José Roberto Canivete Cuissa completed a second paper on his novel method for vortex (swirls) identification, which takes both local and global characteristics of the flow field into account (Canivete Cuissa & Steiner, 2024, A&A, 682, A181). The code (in Python) has been published on GitHub with a link on Zenodo repository. It can be applied to any two-dimensional vector field and in fact has been meanwhile applied in a cross-disciplinary manner in terrestrial atmospheric physics. We applied it to simulations of the solar and stellar atmospheres and found that some of the identified swirls form three-dimensional coherent structures that vertically extend from the photosphere up into the chromospheric layers, as can be seen in the figure below. The number density of swirls in the photosphere and chromosphere was found to be 1 and 4 per 1000 square km, respectively, while the average radius is 50-60 km. More than 80% of the identified, coherent, vortical structures may be a form of torsional Alfvén waves. During 2023 we also studied small vortical motions in simulations of cool stellar atmospheres harboring a small-scale dynamo generated magnetic field. They too show signatures of torsional Alfvén pulses, which carry a significant vertical flux of magnetic energy (Poynting flux). This flux is particularly significant in the K8V model, suggesting a possible explanation for the enhanced chromospheric fluxes observed for this kind of stars. Also, we present a simple analytical model and scaling relation to explain the peculiar result of the statistical analysis that the rotational period of surface vortices increases with the effective temperature of the star.

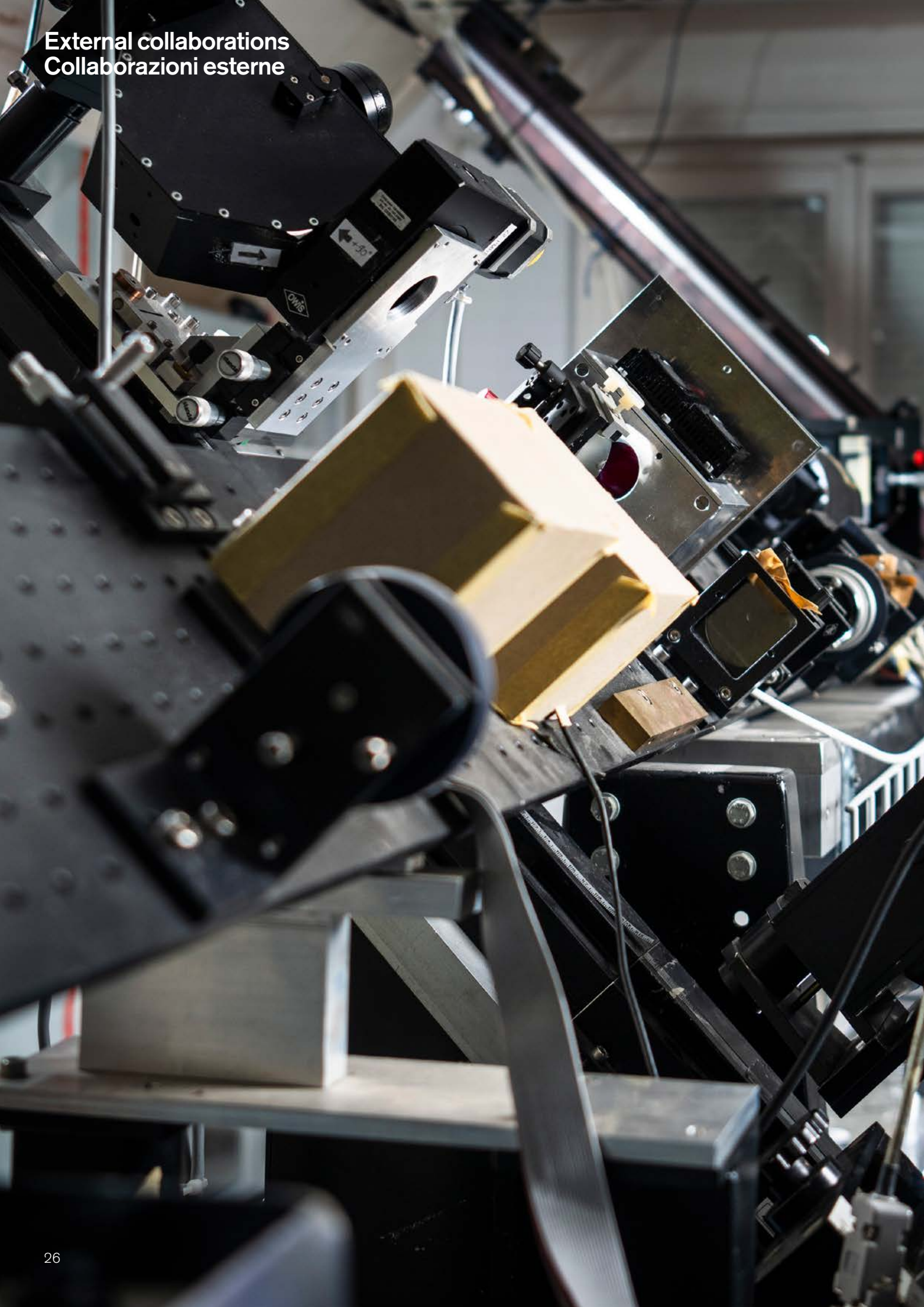
Flussi vorticosi nelle atmosfere solari e stellari

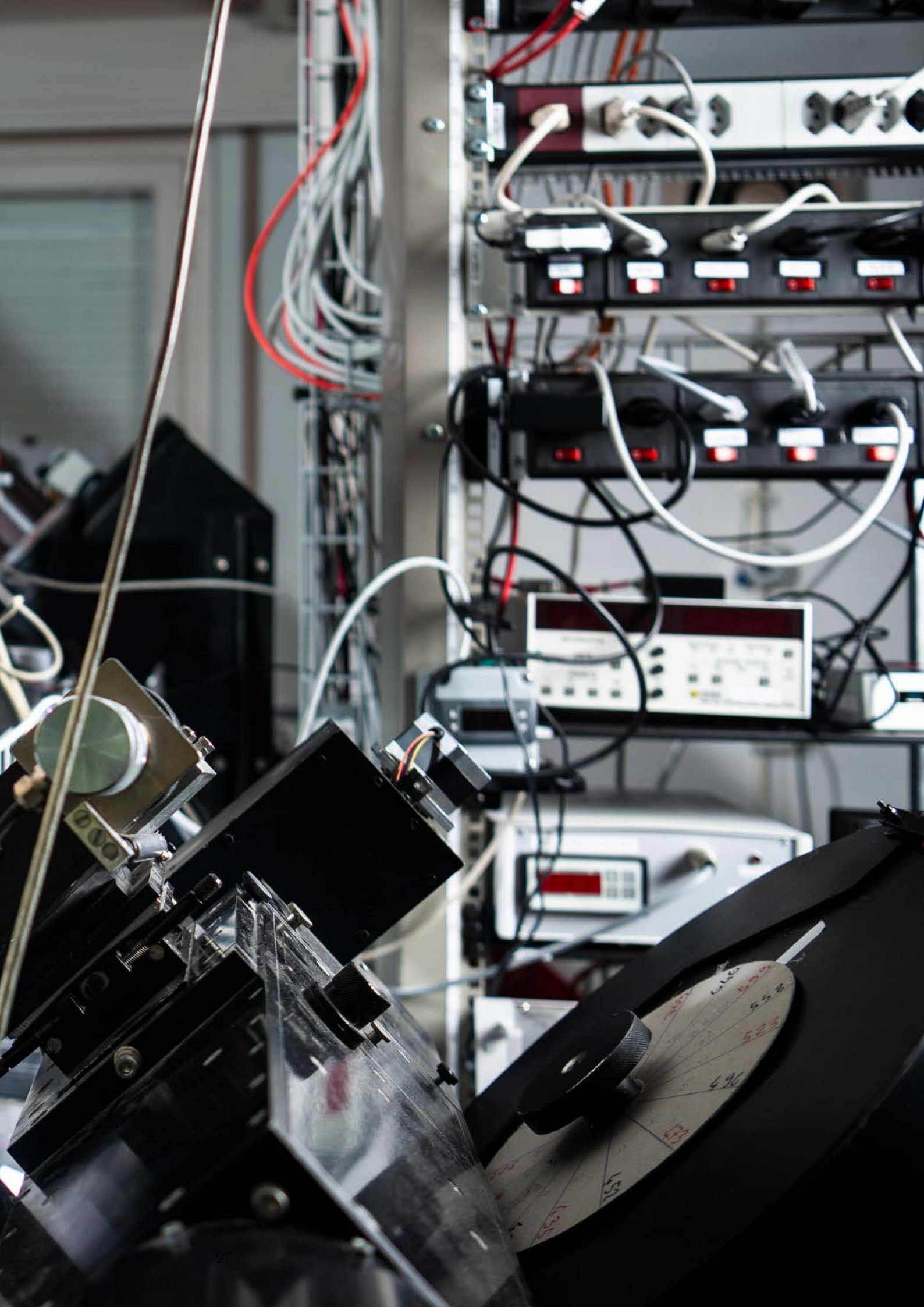
Nel 2023 abbiamo proseguito l'analisi dei flussi vorticosi nell'atmosfera solare e stellare. Come parte della sua tesi di dottorato, José Roberto Canivete Cuissa ha completato un secondo paper sul suo nuovo metodo per l'identificazione dei vortici (swirls), che tiene conto delle caratteristiche locali e globali del campo di flusso (Canivete Cuissa & Steiner, 2024, A&A, 682, A181). Il codice (in Python) è stato pubblicato su GitHub con un link sulla repository Zenodo. Può essere applicato a qualsiasi campo vettoriale bidimensionale e infatti nel frattempo è stato applicato in modo interdisciplinare alla fisica dell'atmosfera terrestre. Lo abbiamo applicato a simulazioni dell'atmosfera solare e stellare e abbiamo scoperto che parte dei vortici identificati formano strutture coerenti tridimensionali che si estendono verticalmente dalla fotosfera fino agli strati cromosferici, come è visibile nella figura sottostante. La densità numerica dei vortici nella fotosfera e nella cromosfera è risultata rispettivamente di 1 e 4 per 1000 km quadrati, mentre il raggio medio è di 50-60 km. Più dell'80% delle strutture vorticosi coerenti identificate potrebbe essere una forma di onde torsionali di Alfvén. Nel 2023 abbiamo studiato anche piccoli moti vorticosi in simulazioni di atmosfere stellari fredde che contengono un campo magnetico generato da una dinamo su piccola scala. Anch'essi mostrano segni di onde torsionali di Alfvén, che trasportano un flusso verticale significativo di energia magnetica (flusso di Poynting). Questo flusso è particolarmente significativo nel modello K8V, suggerendo una possibile spiegazione per l'aumento del flusso cromosferico osservato per questo tipo di stelle. Inoltre presentiamo un semplice modello analitico e una relazione di scala per spiegare il risultato peculiare dell'analisi statistica, secondo cui il periodo rotazionale dei vortici superficiali aumenta con la temperatura effettiva della stella.

Three-dimensional vortices of a simulated solar atmosphere that root in the surface layers of the convection zone (beneath grey surface) and reach up into the low chromosphere (top). From Canivete Cuissa & Steiner, A&A 2024.

Vortici tridimensionali di un'atmosfera solare simulata che hanno radice negli strati superficiali della zona di convezione (sotto la superficie grigia) e arrivano fino alla bassa cromosfera (in alto). Da Canivete Cuissa & Steiner, A&A 2024.







European Solar Telescope (EST)

IRSOL participates in the European Solar Telescope (EST) project to construct a next generation large-aperture solar telescope. EST will have a 4.2-meter primary mirror and will be optimised for studies of the magnetic coupling of the solar atmosphere. IRSOL is involved in the project through:

- Membership of the EST Canarian Foundation created on 25 July 2023 and signed by 9 research institutions (including USI).
- Membership as Swiss representative in the European Association for Solar Telescopes (EAST).
- Membership in the EST Board of Directors and Board of Trustees.
- National contact point and coordinator of the project.
- Participation in the “EST Preparatory Phase” (PRE-EST) consortium financed by H2020 EU Programme.
- Participation in the “Integrating High Resolution Solar Physics” (SOLARNET) consortium financed by H2020 EU Programme. In particular, IRSOL developed a novel technique for measuring polarisation with very high accuracy, which has been successfully implemented at the IRSOL GCT telescope and at the German GREGOR telescope on Tenerife (“Absolute high-precision spectropolarimetry” workpackage).
- Participation in the EST Science Advisory Group.
- Participation in the work package to design and construct the post-focus Integral Field Unit for the EST light beam at 380-500 nm.

GREGOR telescope

Observing campaigns with the ZIMPOL polarimeter are regularly carried out by IRSOL at the German GREGOR telescope on Tenerife in the framework of the long-term cooperation agreement between IRSOL and Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), Freiburg, Germany.

In 2023, 10 observing days have been assigned end of August to IRSOL observing proposal “ZIMPOL@GREGOR: Observing scattering polarisation with high resolution, high-precision and enhanced accuracy”. Unfortunately, the observing campaign had to be cancelled, because of the huge wildfires on Tenerife. A new campaign is planned for 2024.

SNSF – Sinergia

The SNSF Sinergia project “HPC-techniques for 3D modeling of resonance line polarisation with PRD” (CRSII5_180238; Oct 2018 – Sep 2023) aims at joining complementary competences in the physics of polarisation, numerical radiative transfer, and computational sciences to develop new tools for modeling spectral line polarisation with unprecedented accuracy. Involved researchers: Belluzzi (PI, IRSOL), Krause (co-PI, Euler Institute, USI), Trujillo Bueno (co-PI, Instituto de Astrofísica de Canarias, IAC), Štěpán (Partner, Astronomical Institute, Czech Academy of Sciences), Guerreiro (PostDoc, IRSOL), Janett (PostDoc, IRSOL), Riva F. (PostDoc, IRSOL), Benedusi (PostDoc, Euler), Sukhorukov (PostDoc, IAC), Riva S. (PhD student, PostDoc from 1.9.23, IRSOL, Euler).

CLASP experiments

IRSOL participates in a series of international (US, Japan, Europe) experiments within the framework of the NASA Sounding Rocket programme, aimed at exploring the polarisation of chromospheric ultraviolet lines (CLASP, 2015; CLASP2, 2019; CLASP2.1, 2021). Analysis and interpretation of the acquired data is ongoing (Belluzzi).

The CALLISTO project

The CALLISTO spectrometer is a programmable heterodyne receiver designed in 2006 by Christian Monstein (PI) as member of the former Radio Astronomy Group (RAG) at ETH Zurich, Switzerland. Since 2019 IRSOL is the host institute of the CALLISTO project with Christian Monstein as an affiliated staff member. The main applications are observation of dynamic solar radio bursts for astronomical science, education, outreach and citizen science as well as radio-frequency interference monitoring. Many CALLISTO instruments have already been deployed worldwide and form together the e-Callisto network. CALLISTO is able to continuously observe the solar radio spectrum for 24h per day throughout the year. Data from individual instruments are automatically uploaded to the central server at University of Applied Sciences (FHNW) in Brugg/Windisch.

In 2023 two new spectrometers as part of the e-Callisto network have been delivered and commissioned to the following locations: one for MeteoSwiss in Locarno Monti as a reference instrument to measure solar radio flux at 10.6 GHz (to calibrate their weather radars) and a 2nd one to NASA/GSFC in Greenbelt (USA) to observe solar eclipses on October 14 in 2023 and April 8 in 2024.

Currently, the network is hosting 233 instruments worldwide whereas on average 75 instruments provide real-time data to the central server. In 2023 the network reported a total of 3704 dynamic solar radio bursts, 10% more than in 2022. Data are based on 19325 host-observations.

Seeing measurements and telescope characterisation

With Prof. Laurent Jolissaint of HEIG-VD and the two students Ervan Paillard and Dominique Humbert, a campaign with stellar observations at IRSOL Gregory Coudé telescope (GCT) had been carried out on 24 May 2023 to measure seeing and telescope aberration and in view of the development of a Differential Image Motion Monitor (DIMM). The results are reported in the bachelor works of Paillard and Humbert. The information acquired within this collaboration will allow to evaluate the opportunity to develop a new adaptive optic system project at the IRSOL observatory.

Active cooperations with other institutes

- Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), Freiburg, Germany: (1) Cooperation Agreement on joint observations at the German GREGOR telescope, joint construction of the GSPM for the GREGOR telescope and exchange of research personnel. (2) Cooperation Agreement on joint development of the VTF instrument for the 4.2 m DK1 Solar Telescope (DKIST, Maui, USA). (3) Joint research on stochastic thermodynamics and synoptic measurements of the Hanle effect (A. Gorobets).
- Institute of Systems and Applied Electronics (ISEA), DTI, SUPSI: ZIMPOL development, new telescope motors (A. Salvadè, D. Allegri, R. Gardenghi, M. Rogantini, G. Di Dato, M. Bianchi, S. Giacomini).
- Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW): joint solar flare observations at IRSOL and with the STIX X-ray telescope on ESA Solar Orbiter mission (S. Krucker, A. Battaglia).
- Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD): joint research for Adaptive Optics, seeing monitor, and European Solar Telescope (L. Jolissaint).
- Optical Materials Engineering Laboratory (OMEL), ETH-Zurich, Enantios (startup), and CSEM: exploiting ZIMPOL for innovative optical activity measurement methods of chiral molecules in pharmaceuticals, and development of new ZIMPOL sensors (C. Lightner, R. Wyss, D. Norris).
- Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC, Tenerife, Spain): theoretical modeling of spectropolarimetric observations from ground (ZIMPOL) and space (CLASP experiments) (J. Trujillo Bueno, E. Alsina Ballester, T. del Pino Alemán); observational campaigns with ZIMPOL at IRSOL (S. Esteban Pozuelo).
- High Altitude Observatory (HAO, Boulder, CO, USA): development and application of new theoretical frameworks for the generation and transfer of polarised radiation (R. Casini).
- Max Planck Institut für Sonnensystemforschung (MPS, Göttingen, Germany): joint observations with Sunrise mission (A. Feller, A. Gandorfer, S. Narayanamurthy, A. Lagg, S. Solanki).
- Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic: joint design of Integral Field Unit as a post-focus instrument for EST (J. Jurčák); theoretical modeling of polarized radiation (J. Štěpán).

Specola Solare Ticinese

IRSOL collaborates with Specola, to carry out long-term sunspot observations and counting. IRSOL and Specola collaborate with the ETH University Archives in Zurich for the "Archiving project of the Sunspot Drawings and data collected at the Specola Solare Ticinese in Locarno" financed by Global Climate Observing System (GCOS) Switzerland (MeteoSwiss) (Aug 2018 – Jul 2023). The project includes the secure archiving of the sunspot drawings made at Specola, their cataloguing and digitisation as well as the production of a sunspot group database that is published on line with open access on the Zenodo repository at CERN and on <https://sunspots.irsol.usi.ch>.

An institutional agreement between IRSOL and Specola Solare Ticinese foresees that Specola's director is collaborating with IRSOL on outreach communication.

European Solar Telescope (EST)

L'IRSOL partecipa al progetto European Solar Telescope (EST) per la costruzione di un telescopio solare di nuova generazione a grande apertura. EST avrà uno specchio primario di 4,2 metri e sarà ottimizzato per lo studio dell'accoppiamento magnetico dell'atmosfera solare. L'IRSOL è coinvolto nel progetto attraverso:

- L'adesione alla EST Canarian Foundation, creata il 25 luglio 2023 e sottoscritta da 9 istituti di ricerca (tra cui l'USI).
- L'appartenenza come rappresentante svizzero all'European Association for Solar Telescopes (EAST).
- La partecipazione al consiglio dei direttori di EST e del Consiglio di Fondazione.
- Il ruolo di contatto e coordinatore nazionale del progetto.
- La partecipazione al consorzio "EST Preparatory Phase" (PRE-EST) finanziato dal programma europeo H2020.
- La partecipazione al consorzio "Integrating High Resolution Solar Physics" (SOLAR-NET) finanziato dal programma H2020 EU. In particolare l'IRSOL ha sviluppato una nuova tecnica per misurare la polarizzazione con altissima accuratezza che è stata implementata con successo al telescopio GCT dell'IRSOL e al telescopio tedesco GREGOR a Tenerife (workpackage "Absolute high-precision spectropolarimetry").
- La partecipazione al gruppo scientifico consultivo EST.
- La partecipazione al lavoro per la progettazione e la costruzione post-focus dell'Integral Field Unit per il fascio di luce EST a 380-500 nm.

Telescopio GREGOR

L'IRSOL effettua regolarmente campagne di osservazione con il polarimetro ZIMPOL presso il telescopio tedesco GREGOR a Tenerife, nell'ambito dell'accordo di cooperazione a lungo termine tra l'IRSOL e il Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS) di Friburgo, in Germania.

Nel 2023 sono stati assegnati 10 giorni di osservazione alla fine di agosto alla proposta osservativa dell'IRSOL "ZIMPOL@GREGOR: Observing scattering polarisation with high resolution, high-precision and enhanced accuracy". Purtroppo la campagna di osservazione è stata annullata a causa degli enormi incendi che hanno colpito Tenerife. Una nuova campagna è prevista nel 2024.

SNSF– Sinergia

Il progetto SNSF Sinergia "HPC-techniques for 3D modeling of resonance line polarisation with PRD" (CRSII5_180238; Ott 2018 - Sett 2023) mira a unire competenze complementari nella fisica della polarizzazione, nel trasporto radiativo numerico e nelle scienze computazionali per sviluppare nuovi strumenti per la modellizzazione della polarizzazione delle righe spettrali con una precisione senza precedenti. Ricercatori coinvolti: Belluzzi (PI, IRSOL), Krause (co-PI, Istituto Eulero, USI), Trujillo Bueno (co-PI, Instituto de Astrofísica de Canarias, IAC), Štěpán (Partner, Istituto Astronomico, Accademia delle Scienze Ceca), Guerreiro (PostDoc, IRSOL), Janett (PostDoc, IRSOL), Riva F. (PostDoc, IRSOL), Benedusi (PostDoc, Istituto Eulero), Sukhorukov (PostDoc, IAC), Riva S. (Dottorando, PostDoc dall'1.9.23, IRSOL, Istituto Eulero).

Esperimenti CLASP

L'IRSOL partecipa a una serie di esperimenti internazionali (Stati Uniti, Giappone, Europa) nell'ambito del programma di razzi sonda della NASA, volti a esplorare la polarizzazione di righe cromosferiche ultraviolette (CLASP, 2015; CLASP2, 2019; CLASP2.1, 2021). L'analisi e l'interpretazione dei dati acquisiti sono in corso (Belluzzi).

Il progetto CALLISTO

Lo spettrometro CALLISTO è un ricevitore eterodina programmabile progettato nel 2006 da Christian Monstein (PI) come membro dell'ex Radio Astronomy Group (RAG) dell'ETH di Zurigo. Dal 2019 l'IRSOL è l'Istituto che ospita il progetto CALLISTO mentre Christian Monstein è membro affiliato dell'Istituto. Le applicazioni principali sono l'osservazione dei radio burst solari per l'astronomia, l'educazione, la divulgazione e la citizen science, nonché il monitoraggio della radio-frequency interference (rfi). Molti strumenti CALLISTO sono già stati installati in tutto il mondo e costituiscono la rete e-Callisto. La rete CALLISTO è in grado di osservare continuamente lo spettro radio solare per 24 ore al giorno durante tutto l'anno. I dati dei singoli strumenti vengono caricati automaticamente sul server centrale della Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) di Brugg/Windisch.

Nel 2023 sono stati consegnati e messi in funzione due nuovi spettrometri come parte della rete e-Callisto nelle seguenti sedi: uno per MeteoSvizzera a Locarno Monti come strumento di riferimento per misurare il flusso radio solare a 10,6 GHz (questo per calibrare i radar meteorologici), un secondo per la NASA/GSFC a Greenbelt (USA) per osservare le eclissi di sole il 14 ottobre 2023 e l'8 aprile 2024.

Attualmente la rete ospita 233 strumenti in tutto il mondo, mentre in media 75 strumenti forniscono dati in tempo reale al server centrale. Nel 2023 la rete ha riportato un totale di 3704 radio burst solari dinamici, più del doppio rispetto al 2022. I dati si basano su 19325 osservazioni di strumenti ospiti.

Misure del seeing e caratterizzazione del telescopio

Con il Prof. Laurent Jolissaint dell'HEIG-VD e i due studenti Ervan Paillard e Dominique Humbert, il 24 maggio 2023 è stata condotta una campagna di osservazioni stellari al telescopio Gregory Coudé (GCT) dell'IRSOL per misurare il seeing e l'aberrazione del telescopio e in vista dello sviluppo di un Differential Image Motion Monitor (DIMM). I risultati sono riportati nei lavori di bachelor di Paillard e Humbert. Le informazioni acquisite nell'ambito di questa collaborazione permetteranno di valutare l'opportunità di sviluppare un nuovo progetto di sistema di ottica adattiva presso l'IRSOL.

Collaborazioni attive con altri istituti

- Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), Freiburg, Germany: (1) Accordo di cooperazione per osservazioni congiunte al telescopio tedesco GREGOR, costruzione congiunta del GSPM per il telescopio GREGOR e scambio di personale di ricerca. (2) Accordo di cooperazione per lo sviluppo congiunto dello strumento VTF per il DK1 Solar Telescope da 4,2 m (DKIST, Maui, USA). (3) Ricerca in comune sulla termodinamica stocastica e misure sinottiche dell'effetto Hanle (A. Gorobets).
- Istituto sistemi e elettronica applicata (ISEA), DTI, SUPSI: sviluppo di ZIMPOL, nuovi motori del telescopio (A. Salvadè, D. Allegri, R. Gardenghi, M. Rogantini, G. Di Dato, M. Bianchi, S. Giaccon).
- Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW): osservazioni congiunte dei brillamenti solari all'IRSOL e con lo STIX X-ray telescope sulla ESA Solar Orbiter mission (S. Krucker, A. Battaglia).
- Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD): ottica adattiva, misure del seeing e European Solar Telescope (L. Jolissaint).
- Optical Materials Engineering Laboratory (OMEL), ETH-Zurich, Enantios (startup) e CSEM: impiego di ZIMPOL per metodi innovativi di misurazione dell'attività ottica di molecole chirali in campo farmaceutico e sviluppo di nuovi sensori ZIMPOL (C. Lightner, R. Wyss, D. Norris).
- Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC, Tenerife, Spain): modellizzazione teorica di osservazioni spettropolarimetriche da terra (ZIMPOL) e dallo spazio (esperimenti CLASP) (J. Trujillo Bueno, E. Alsina Ballester, T. del Pino Alemán); campagne ossservative con ZIMPOL all'IRSOL (S. Esteban Pozuelo).
- High Altitude Observatory (HAO, Boulder, CO, USA): sviluppo e applicazione di nuovi approcci teorici per la generazione e il trasporto di radiazione polarizzata (R. Casini).
- Max Planck Institut für Sonnensystemforschung (MPS, Göttingen, Germany): osservazioni congiunte con la missione Sunrise (A. Feller, A. Gandorfer, S. Narayanamurthy, A. Lagg).
- Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic: collaborazione alla progettazione dell'Integral Field Unit come strumento post-focale per l'EST (J. Jurčák); modellizzazione teorica di radiazione polarizzata (J. Štěpán).

Specola Solare Ticinese

L'IRSOL collabora con la Specola per effettuare osservazioni e conteggi a lungo termine delle macchie solari. L'IRSOL e la Specola collaborano con l'Archivio universitario del Politecnico di Zurigo per il "Progetto di archiviazione dei disegni delle macchie solari e dei dati raccolti alla Specola Solare Ticinese di Locarno", finanziato da GCOS-Svizzera (MeteoSvizzera). Il progetto include l'archiviazione sicura dei disegni delle macchie solari realizzati alla Specola, la loro catalogazione e digitalizzazione, nonché la produzione di un database di gruppi di macchie solari che viene pubblicato online con accesso aperto su <https://sunspots.irsol.usi.ch>.

Un accordo istituzionale tra l'IRSOL e la Specola Solare Ticinese prevede che il direttore della Specola collabori con l'IRSOL per la comunicazione esterna.

Visits from other institutes

Visite da altri istituti

1,2, 8.2, 21.2	Giuseppe Di Dato, Marco Rogantini (SUPSI)
6.3	Laurent Jolissaint (HEIG-VD)
6.3	Christian Wolfrum (ETHZ vice-president) (visit in IRSOL office at USI)
9.3	Tania Vanetti (USI), Elia Bianchi, Alessandro Crinari (Ti-Press)
23-24.5	Dominique Humbert, Laurent Jolissaint, Ervan Paillard (HEIG-VD)
3.8	Frédéric Clette (Royal Observatory of Belgium, Brussels)
11.8	Maurizio Bettinzoli (Collegio Papio)
5-18.9	Eberhard Wiehr (Göttingen University)
28.10	Axel Franz, Dietmar Mondon (Zeiss), Pierre Ulm (AOT)
21.11	Domenico Tanese (SSST), Matteo Mondada (AGIE)
7.11	Jean-Marc Triscone, Sophie Girardin (Swiss Science Council)
30.11-1.12	Francesco Berrilli, Marianne Faurobert, Marzio Nessi (IRSOL Scientific Committee)

Visits to other institutes

Visite ad altri istituti

9-13.1	International Space Science Institute (ISSI), Bern (J.R. Canivete Cuissa, O. Steiner)
25-26.1	KIS, Observatory Tenerife Technical Meeting (OTTM), Staufen, Germany (D.Gisler, F. Zeuner)
13.3	Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Windisch (R. Ramelli, F. Vitali)
6.4	CISA Film Academy, Locarno (L. Belluzzi, S. Berdyugina, M. Bianda, R. Ramelli)
11.4-28.4	Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Tenerife, Spain (F. Zeuner)
24-28.4	Roseland Center for Solar Physics (RoCS), Oslo, Norway (F. Riva)
4-5.5	International Space Science Institute (ISSI), Bern (S.V. Berdyugina)
29.5-1.6	Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Tenerife, Spain (L. Belluzzi)
14-18.6	Observatoire de la Côte d'Azur (OCA) + University, Nice, Observatoire de Calern, France (S.V. Berdyugina, M. Bianda, R. Ramelli, J. Stenflo)
26.6	ISEA-SUPSI, Lugano (M. Bianda, D. Gisler, R. Ramelli)
5-7.7	Leibniz-Institut für Astrophysik (AIP), Potsdam, Germany (F. Riva)
21.7	Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), Freiburg Germany (D. Gisler)
21-22.8	Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Tenerife, Spain (R. Ramelli, F. Vitali, F. Zeuner)
28.8	CSEM, Neuchâtel (D. Gisler)
31.8	Enantios, Zurich (R. Ramelli)
7.9	L'ideatorio, Cadro (R. Ramelli)
14 - 21.9	Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), La Laguna, Spain (F. Zeuner)
21.9	Institute for Particle- and Astrophysics, ETH Zurich (S.V. Berdyugina, L. Belluzzi)
25.9	ISEA-SUPSI, Lugano (R. Ramelli)
Oct-Nov	Multiple visits to Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), Freiburg, Germany (S.V. Berdyugina)
29.9	University of Bern, Bern, Switzerland (S.V. Berdyugina)
8-13.10	Munich Institute for Astro-, Particle and BioPhysics (MIAPbP), Munich, Germany (S.V. Berdyugina)
30.10-3.11	Munich Institute for Astro-, Particle and BioPhysics (MIAPbP), Munich, Germany (S.V. Berdyugina)
9-10.11	International Space Science Institute (ISSI), Bern (S.V. Berdyugina)
13.11	ISEA-SUPSI, Lugano (M. Bianda, N. Fornoni, R. Ramelli)

Committee memberships

Appartenenza a comitati

Belluzzi, L.	Member, examination panel of the doctoral thesis of MSc S. Riva, Università della Svizzera italiana (USI), Faculty of Informatics, August 8, 2023.
Berdyugina, S.V.	Member, ISSI Science Committee, Bern. Member, Swiss Commission for Astronomy (SCFA), Swiss Academy of Science (SCNAT). Member, College of Helvetic Astronomy Professors (CHAPS). Jury Member for the Prix Schläefli of the Swiss Academy of Science (SCNAT). Member, Advising Board of the "Solar Physics" journal. Chair, Board of Directors, European Solar Telescope (EST). Executive Committee Member, Board of Trustees, EST Foundation Canarias. Member, Expert Panel, European Research Council (ERC).
Ramelli, R.	Treasurer of the Swiss SCOSTEP committee. President of Società Astronomica Ticinese. Vice-President of Associazione Specola Solare Ticinese.
Steiner, O.	Member, Science Advisory Committee, Roseland Center for Solar Physics (RoCS), University of Oslo, Norway. Member, Time Allocation Committee (TAC), EU H2020 SOLARNET program for access to high performance computing and solar observation facilities. Member, examination panel of the doctoral thesis of MSc J.R. Canivete Cuissa, University of Zurich, Faculty of Science, on August 31, 2023.
Zeuner, F.	Member, EST Science Advisory Group (SAG).



CALLISTO,
radio-antenna
@IRSOL.

Prof. Dr. Svetlana Berdyugina signs the deed of the EST Foundation on behalf of USI and KIS. Credit: EST.

Prof. Dr. Svetlana Berdyugina firma l'atto della Fondazione EST in rappresentanza dell'USI e del KIS.



Slow polarization modulator designed by IRSOL installed at the GREGOR telescope in cooperation with KIS.

Il modulatore polarimetrico lento progettato all'IRSOL e installato al telescopio GREGOR in collaborazione con il KIS.





Canivete Cuissa, José Roberto

PhD thesis, title: "Numerical Simulations of Magneto-Convection: From Stellar Dynamos to Small-Scale Swirling Motions" (thesis work within SNSF project ID 200020_182094 and UZH Candoc 2022 ID 7104), University of Zurich (UZH). Supervisor: Prof. R. Helled (UZH). Co-supervisor: Dr. O. Steiner (IRSOL).

Lindner, Philip

PhD thesis, title: "Evolution of sunspots and the role of the coupling between atmospheric layers", University of Freiburg, Germany. Supervisor: Prof. S.V. Berdyugina (IRSOL/KIS).

Riva, Simone

PhD thesis, title: "HPC-techniques for modeling the transfer of polarized radiation with PRD effects" (thesis work within SNSF "Sinergia" project CRSII5_180238), Università della Svizzera italiana (USI). Supervisor: Prof. R. Krause (USI). Co-supervisor: Dr. L. Belluzzi.

Hubert, Dominique

Bachelor thesis, title: "Characterization of the IRSOL solar telescope". Supervisor: L. Jolissaint (HEIG-VD).

Paillard, Ervan

Bachelor thesis, title: "Optical turbulence analyzer for IRSOL". Supervisor: L. Jolissaint (HEIG-VD).

Arrivabeni, Umberto

Diploma at SSST Bellinzona, title: "Progettazione di un inseguimento automatico solare". Supervisor: D. Tanese, M. Bianda.

Righetti, Milton

Diploma at SSST Bellinzona, title: "Installazione di un sensore di umidità all'interno di un telescopio". Supervisor: A. Keller, M. Bianda.

Diaz Castillo, Saida Milena

PhD thesis, title (prov.): "Spatial and temporal connectivity between the solar photosphere and chromosphere in small-scale magnetic field structures", University of Freiburg, Germany. Supervisor: Prof. S.V. Berdyugina (IRSOL/KIS).

Vitali, Francesco

PhD thesis, title (prov.): "Magnetic field evolution in flaring active regions on the Sun", USI, Faculty of Informatics. Supervisors: Prof. S.V. Berdyugina (IRSOL/USI), Dr. R. Ramelli (IRSOL), Prof. R. Krause (USI).

Aghaei, Faezeh

MSc thesis, title: "Modeling of Polarized Reflected Light from Exoplanets", University of Freiburg (UFR), Germany. Supervisors: Prof. S.V. Berdyugina (IRSOL/KIS), Prof. S. Vogl (UFR).

Hamdan, Kamal

MSc thesis, title: "Determining starspot and exoplanet properties from stellar flux variations measured by the Kepler space telescope", University of Freiburg (UFR), Germany. Supervisors: Prof. S.V. Berdyugina (IRSOL/KIS), Prof. M. Schumann (UFR).



After successful PhD thesis defence: from left to right, Prof. Ravit Helled, Dr. José Roberto Canivete Cuissa, Dr. Oskar Steiner.

Dopo la discussione della tesi di dottorato: Prof. Ravit Helled, Dr. José Roberto Canivete Cuissa, Dr. Oskar Steiner.

**Matura projects
Lavori di Maturità**

Chiesi, Yannik

Matura project, title: "Stima di campi magnetici solari tramite la modellizzazione di misure spettropolarimetriche", Liceo Cantonale di Bellinzona. Supervisor: G. Janett

Lippis, Alessio

Matura project, title: "Analisi di macchie solari mediante la teoria del trasporto radiativo di luce polarizzata", Liceo Cantonale di Bellinzona. Supervisor: G. Janett

**Internships and civil
services
Stages e servizio civile**

Arrivabeni, Umberto

14 Aug – 13 Oct, 11 Dec – 31 Dec, internship

14 Oct – 10 Dec, diploma work

Mechanics to install old and new declination motors / Meccanica per l'installazione di vecchi e nuovi motori di declinazione

Supervisors: M. Bianda, G. Mari

D'Anna, Matteo

10 Apr – 21 Sep, civil service

Work on methods for numerical solution of radiative transfer problem for polarized radiation / Lavoro sui metodi per la risoluzione numerica del problema del trasporto radiativo per radiazione polarizzata (results presented in paper submitted in 2024)

Supervisors: G. Janett, L. Belluzzi

Forni, Ariele

2 Oct – 27 Oct, civil service

Planning observatory maintenance and renovation work (civil engineer) / Pianificazione dei lavori di manutenzione e ristrutturazione dell'Osservatorio (ingegnere civile)

Supervisors: M. Bianda, G. Mari

Fornoni, Noah

30 Oct – 22 Dec, civil service

Programming new telescope motors / Programmazione dei nuovi motori del telescopio

Supervisors: D. Gisler, R. Ramelli

Genova Coimbra, Emma

3 – 28 Jul, internship

Work on polarization calibration of the telescope / Calibrazione della polarizzazione del telescopio

Supervisors: R. Ramelli, F. Zeuner

Menegalli Boggelli, Aaron

09 Jan – 14 Mar, civil service

Work on new telescope motors project / Progetto dei nuovi motori del telescopio

Supervisors: M. Bianda, D. Gisler

Oubenali, Jamila

3 – 28 Jul, internship

Work on modeling polarisation in spectral lines due to the Zeeman effect / Lavoro sulla modellazione della polarizzazione nelle linee spettrali dovuta all'effetto Zeeman

Supervisor: S.V. Berdyugina

Righetti, Milton

14 Aug – 13 Oct, 11 Dec – 31 Dec, internship

14 Oct – 10 Dec, diploma work

Inserting pressure, temperature and humidity sensors in the telescope / Inserimento di sensori di pressione, temperatura e umidità nel telescopio

Supervisor: M. Bianda

Sala, Giona

24 Apr – 20 Aug, civil service

Work on statistical analysis of solar flares / Lavoro sull'analisi statistica dei brillamenti solari

Supervisor: S.V. Berdyugina

Salmina, Elia

09 Jan – 03 Feb, civil service

Work on motor controller electronics / Lavoro sull'elettronica del controller del motore

Supervisors: D. Gisler, R. Ramelli

Skorski, Christian

30 Jan – 23 Feb, civil service

Work on sunspot group database interface and Digisun software for sunspot drawing analysis / Lavoro sull'interfaccia del database dei gruppi di macchie solari e sul software Digisun per l'analisi dei disegni delle macchie solari

Supervisor: R. Ramelli

Taddei, Kilian

14 Aug – 08 Sep, civil service

Work on preparing adapters for the new motors, painting of the telescope / Preparazione degli adattatori per i nuovi motori, verniciatura del telescopio

Supervisor: M. Bianda

Tommasini, Edgar

4 Sep – 6 Oct, civil service

Work on preparing the wiring for the limit switches to be used in the new motor controller / Preparazione del cablaggio per i finecorsa da utilizzare nel nuovo controller del motore

Supervisor: M. Bianda



After the successful PhD exam: Prof. Rolf Krause, Dr. Luca Belluzzi, Dr. Simone Riva - first joint PhD of IRSOL and USI.

Dopo l'esame di dottorato sostenuto con successo: Prof. Rolf Krause, Dr. Luca Belluzzi, Dr. Simone Riva, primo dottorando congiunto IRSOL/USI



Un' esposizione interattiva sulla nostra stella



Sole.



L'ideatorio
Un laboratorio di idee dell'USI

The exhibition "Sole" at the USI centre L'ideatorio is open from 2023 to 2025

L'esposizione "Sole" presso L'ideatorio (USI) è aperta dal 2023 al 2025.

Outreach activities in collaboration with Specola Solare Ticinese

Specola Solare Ticinese and IRSOL collaborate to host outreach events for the public. The collaboration is called "Centro Astronomico del Locarnese". These events occur monthly on Saturday mornings and focus on solar observations. Additionally, when the brightest planets are visible in the evening, night observations are usually held on Friday evenings during the Moon's first quarter. In total, out of 21 programmed events, 8 took place in 2023 with good weather conditions.

Attività di comunicazione in collaborazione con la Specola Solare Ticinese

La Specola Solare Ticinese e l'IRSOL hanno organizzato insieme diversi eventi di divulgazione per il grande pubblico sotto il nome di "Centro Astronomico del Locarnese". Un evento al mese è generalmente stato dedicato alle osservazioni solari e si è tenuto il sabato mattina. Inoltre, quando i pianeti più luminosi potevano essere visti la sera, un'osservazione è stata generalmente organizzata il venerdì sera intorno al primo quarto di Luna. In totale nel 2023 su 21 eventi programmati se ne sono svolti 8 con buone condizioni meteo.

21.1	Sole, macchie solari
3.3	Luna, pianeti, oggetti del cielo profondo
25.3	Sole, macchie solari
24.6	Sole, macchie solari
19.8	Sole, macchie solari
17.11	Luna, pianeti, oggetti del cielo profondo
16.12	Sole, macchie solari
22.12	Luna, pianeti, oggetti del cielo profondo

SNF Agorà project in collaboration with L'ideatorio

The SNSF funded outreach project "Il Sole: La nostra stella" took place in 2023 in collaboration with the USI outreach service L'ideatorio, with continuation in 2024. The project is led by Renzo Ramelli and Luca Belluzzi (IRSOL) in collaboration with Janos Cont, Alessio Lavio, Giovanni Pellegri (L'ideatorio), Gioele Janett (IRSOL) and Svetlana Berdyugina (IRSOL). The project includes an exposition at L'ideatorio with the title "Sole" that opened in September 2023, several outreach events for families and for the general public and training courses for teachers.

Progetto SNF Agorà in collaborazione con L'ideatorio

Nel 2023 si è svolto il progetto di divulgazione finanziato dal FNS "Il Sole: La nostra stella" in collaborazione con il servizio di divulgazione dell'USI L'ideatorio, con prosecuzione nel 2024. Il progetto è guidato da Renzo Ramelli e Luca Belluzzi (IRSOL) in collaborazione con Janos Cont, Alessio Lavio, Giovanni Pellegri (L'ideatorio), Gioele Janett (IRSOL) e Svetlana Berdyugina (IRSOL). Il progetto comprende una mostra presso L'ideatorio dal titolo "Sole" che è stata inaugurata nel settembre 2023, diversi eventi di divulgazione per il pubblico e le famiglie e corsi di formazione per insegnanti.

Exhibition

Ramelli, R., Belluzzi, L., Cont, J., Lavio, A., Pellegri, G., Berdyugina, S., et al. "Sole", L'ideatorio, Cadro (inauguration 16 Sep)

Paper

Janett, G. and Belluzzi, L. "Tutti i colori dell'Arcobaleno e qualcuno in più", in "Scuola Ticinese – Colori", Vol. 346

Lectures for teachers**Lo studio del Sole**

Janett, G. Continuing education course for elementary-school teachers, L'ideatorio, Cadro, 18.10.2023

La spettropolarimetria solare

Belluzzi, L. Continuing education course for high-school teachers, L'ideatorio, Cadro, 21.11.2023

Il Sole, la nostra stella

Berdyugina, S.V. Continuing education course for high-school teachers, L'ideatorio, Cadro, 21.11.2023

Gli Osservatori solari ticinesi

Ramelli, R. Continuing education course for high-school teachers, L'ideatorio, Cadro, 21.11.2023

Presentazione di attività didattiche riguardanti la fisica solare

Ramelli, R. Continuing education course for high-school teachers, L'ideatorio, Cadro, 21.11.2023

LaM in fisica solare (e stellare) in collaborazione con l'IRSOL

Janett, G. Continuing education course for high-school teachers, L'ideatorio, Cadro, 21.11.2023

Activities with young students

24.3 Rachele Danielli, stage Scuola Media
15.6 Visita classe 1H Liceo di Locarno

Attività con giovani studenti**Presence in the media
Presenza nei media**

TV
3.1 Caroline Roth, TeleTicino, interview / intervista to Renzo Ramelli

Radio
14.6 "La consulenza", Rete Uno, guest / ospite Renzo Ramelli
25.7 "Evasioni", Rete Uno, guest / ospite Luca Belluzzi
29.8 Nicola Colotti, Rete Uno, interview / intervista to Renzo Ramelli

USI Flash
6.3 "Nuovi strumenti per studiare il campo magnetico del Sole"
25.7 "L'USI co-fondatrice della European Solar Telescope Foundation"
22.8 "Primo dottorato dell'USI in cooperazione con l'IRSOL"

Magazines**Riviste**

March 2023, DPA: "Sonnenstürme können für ungemütliches Weltraumwetter sorgen", by Stefan Parsch, interview with S.V. Berdyugina

May 2023, Leibniz-Magazin: "Wir werden im All fremdes Leben entdecke", Porträt von Svetlana Berdyugina, die Sucherin nach Leben im All, by Jannik Jürgens, interview with S.V. Berdyugina

Settembre/Ottobre – September-Oktober 2023, Ferien Journal: "Scrutare gli umori del Sole – Die Stimmungen der Sonne unter die Lupe nehmen", interview with M. Bianda

December 2023, Orion: "Die lange Tradition der Schweizer Sonnenforschung", by Thomas Baer, with S.V. Berdyugina and R. Ramelli.

Novembre-Dicembre 2023, No. 286, Meridiana: "Tutte le macchie in digitale. Sessantacinque anni di osservazioni del Sole effettuate dalla Specola Solare di Locarno finalmente disponibili online", Marco Cagnotti

Novembre-Dicembre 2023, No. 286, Meridiana: "Guarda, che Sole! La nostra stella è in mostra a L'ideatorio USI a Cadro, in un'esposizione nata dalla collaborazione con l'Istituto ricerche solari Aldo e Cele Daccò di Locarno, IRSOL", Janos Cont

Other**Altro**

17-30.4 L. Belluzzi, participation in the IBSA campaign "Una Scienza Fatta di Persone"





People
Persone

Foundation Council

Consiglio di fondazione

Prof. Dr. Philippe Jetzer, President
Avv. Fulvio Pelli, Vice-President
Fis. Paolo Ambrosetti, Secretary
Prof. Dr. Raffaella Castagnola-Rossini
Prof. Dr. Boas Erez
Prof. Dr. Roberto Gardenghi
Dr. Gianfranco Giugni
Prof. Dr. Benedetto Lepori
Ing. Alain Scherrer

Scientific Committee

Comitato scientifico

Prof. Dr. Marianne Faurobert
Université de Nice Sophia Antipolis (FR)
Prof. Dr. Marzio Nessi
CERN, Geneva (CH)
Prof. Dr. Francesco Berrilli
Università degli Studi di Roma Tor Vergata (IT)

Administration

Amministrazione

Prof. Dr. Svetlana Berdyugina
Director / Direttrice
Dr. Renzo Ramelli
Deputy director / Vice direttore
Katya Gobbi
Secretary / Segretaria

Group Leaders

Capigruppo

Dr. Luca Belluzzi
Prof. Dr. Svetlana Berdyugina
Dr. Renzo Ramelli
Dr. Oskar Steiner

Researchers

Ricercatori

Dr. Michele Bianda
Dr. Daniel Gisler
Dr. Gioele Janett
Dr. Fabio Riva
Dr. Nuno Miguel Rodrigues Guerreiro
Dr. Franziska Zeuner

Affiliated Researchers

Ricercatori affiliati

Dr. Wakiko Ishibashi
Ing. Christian Monstein
Prof. Dr. Jan O. Stenflo

PhD Students

Studenti di dottorato

José Roberto Canivete Cuissa
Simone Riva
Francesco Vitali

Technical Staff

Personale tecnico

Gianpaolo Mari

Internships – civil service

Stagisti – servizio civile

Umberto Arrivabeni
Matteo D'Anna
Ariele Forni
Noah Fornoni
Emma Genova-Coimbra
Aaron Menegalli-Boggelli
Jamila Oubenali

Fabio Pagano

Milton Righetti
Giona Sala
Elia Salmina
Christian Skorski
Killian Taddei
Edgar Tommasini

Outsourced Services

Servizi esternalizzati

HSI ZETA

IT services

Specola Solare Ticinese

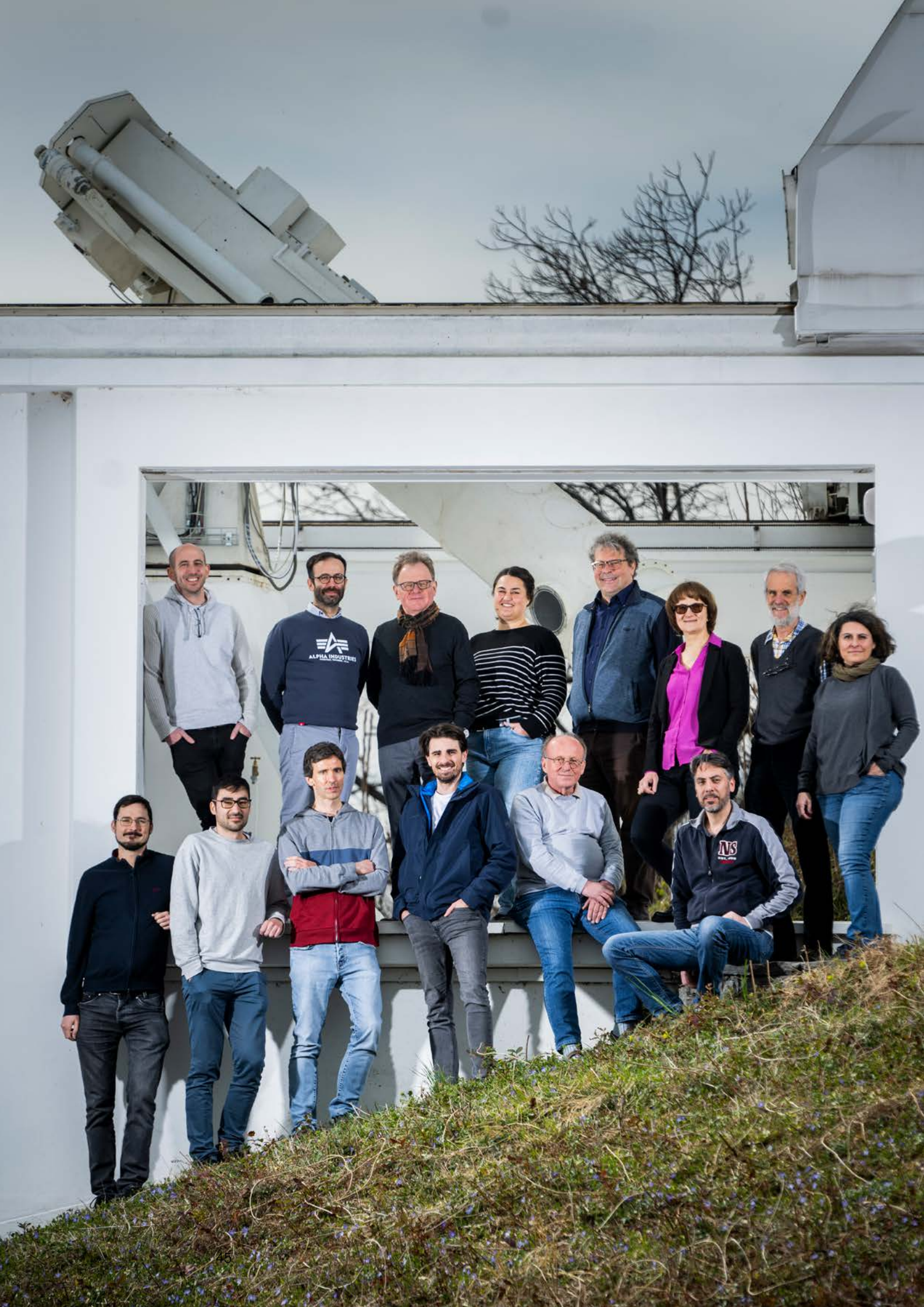
Comunicazione istituzionale e divulgazione /
Institutional communication & Outreach

IDM Pulizie Generali

Servizio di pulizia / cleaning services

Dema Service Sagl

Orselina, impresa di giardinaggio / gardening services

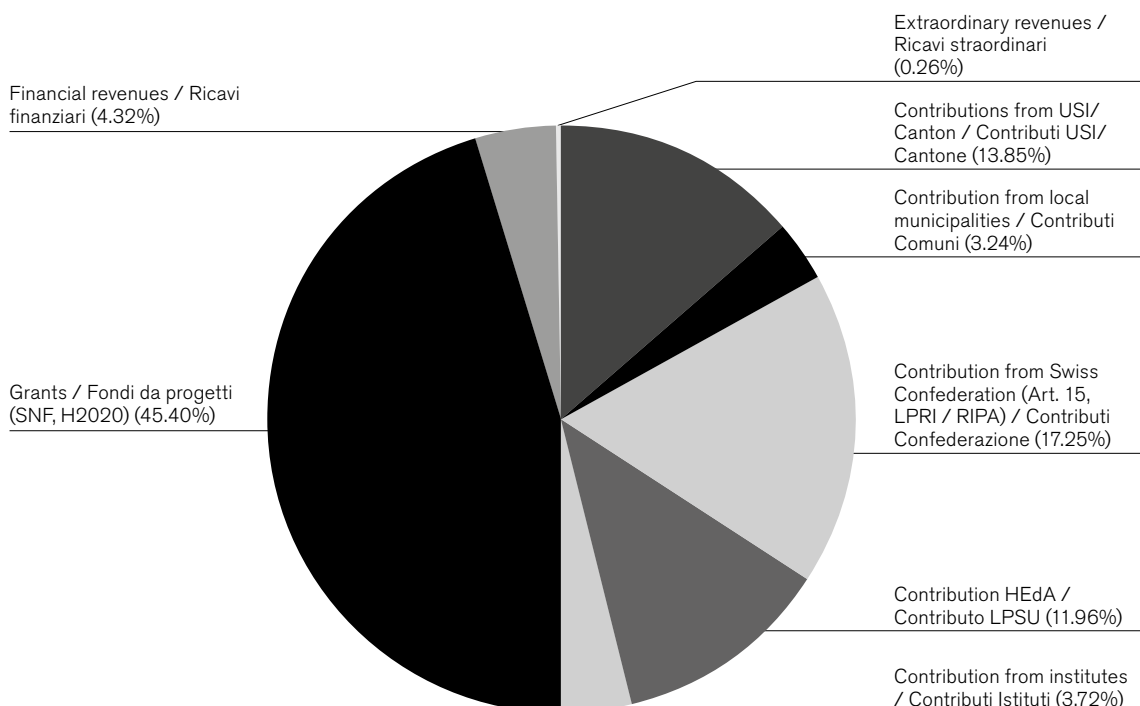


Balance sheet 2023 / Bilancio 2023	Assets / Attivi	Liabilities / Passivi
Liquidity / Liquidità	322'849	
Other receivables / Altri crediti a breve termine	13'770	
Temporary receivables / Ratei e risconti attivi	254'302	
Financial assets / Immobilizzazioni finanziarie	2'923'299	
Tangible Fixed Assets / Immobilizzazioni materiali	1'069'279	
Instrumentation / Strumentazione	404'347	
Temporary payables / Ratei e risconti passivi		173'507
Long term liabilities / Capitale terzi a lungo termine		99'329
Equity of the foudation / Capitale proprio		4'656'091
Annual result / Risultato d'esercizio		58'918
Total / Totali	4'987'845	4'987'845

Profit and Loss Account / Conto economico 2022	Revenues / Ricavi	Costs / Costi
Personnel costs / Costi per il personale		877'986
Maintenance of buildings / Manutenzione stabili		22'688
Maintenance of equipments / Manutenzione strumentazione		43'224
Administrative costs / Costi amministrativi		28'510
Management costs / Spese di gestione		13'360
Technical and IT equipment / Materiale tecnico e informatico		17'801
Seminars / Seminari		996
Travels and lodging / Trasferte e alloggi		27'515
Project costs / Costi relativi a progetti		274'277
Support for institutional communication / Supporto per la comunicazione istituzionale		6'666
Other costs / Altri costi		430
Depreciation / Ammortamenti		33'071
Contributions from USI/Canton / Contributi USI/Cantone	200'000	
Contribution from local municipalities / Contributi Comuni	46'834	
Contribution from Swiss Confederation / Contributi Confederazione (Art. 15, RIPA/LPRI)	249'100	
Contribution HEdA / Contributo LPSU	172'706	
Contribution from institutes / Contributi Istituti	53'772	
Grants / Fondi da progetti (SNF, H2020)	655'729	
	1'378'142	1'346'524
Margin before non operational items / Risultato operativo prima del risultato accessorio		31'618
Financial costs / Costi finanziari		38'748
Financial revenues / Ricavi finanziari	62'334	
Extraordinary revenues / Ricavi straordinari	3'714	
Annual result / Risultato d'esercizio		58'918
Total / Totali	1'444'190	1'444'190

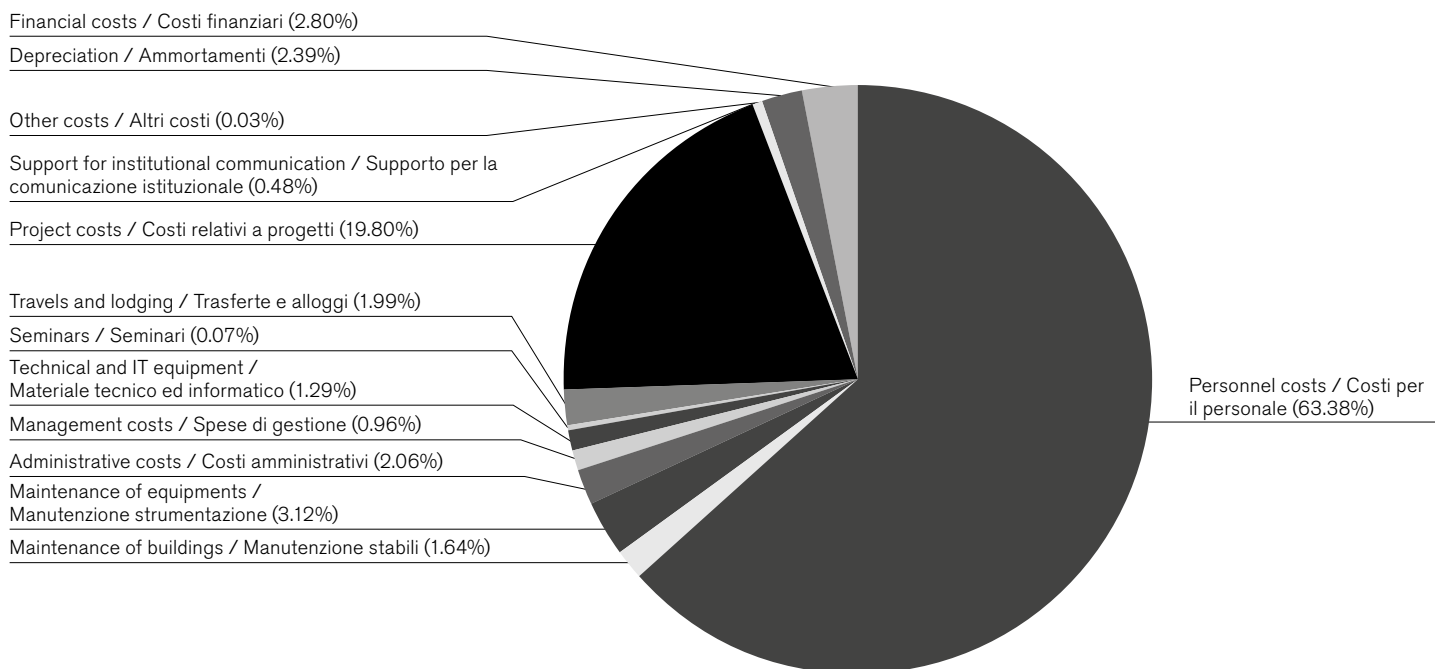
**Revenues 2023:
ordinary revenues
and contributions**

**Ricavi 2023:
fondi e contributi
ordinari**



**Costs
2023**

**Costi
2023**







The Potential of the Wavelength-integrated Scattering Polarization of the Hydrogen Ly α Line for Probing the Solar Chromosphere

Alsina Ballester, E., [Belluzzi, L.](#), and Trujillo Bueno, J. 2023, *The Astrophysical Journal*, 947, 71

Identifying the energy release site in a solar microflare with a jet

Battaglia, A. F., Wang, W., Saqri, J., Podladchikova, T., Veronig, A. M., Collier, H., Dickson, E. C. M., Podladchikova, O., [Monstein, C.](#), Warmuth, A., Schuller, F., Harra, L., Krucker, S. 2023, *Astronomy and Astrophysics*, 670, A56

Scalable matrix-free solver for 3D transfer of polarized radiation in stellar atmospheres

Benedusi, P., [Riva, S.](#), Zulian, P., Štěpán, J., [Belluzzi, L.](#), and Krause, R. 2023, *Journal of Computational Physics*, 479, 112013

Discovery of magnetic fields in five DC white dwarfs

Berdyugin, A., Piirola, V., Bagnulo, S., Landstreet, J.D., [Berdyugina, S.V.](#) 2023, *Astronomy and Astrophysics*, 670, A2

Automatic Burst Detection in Solar Radio Spectrograms Using Deep Learning: deARCE Method

Bussons Gordo, J., Fernández Ruiz, M., Prieto Mateo, M., Alvarado Díaz, J., Chávez de la O, F., Ignacio Hidalgo, J., [Monstein, C.](#) 2023, *Solar Physics*, 298, 82

AGN cool feedback and analogy with X-ray binaries: from radiation pressure to cosmic ray-driven outflows

[Ishibashi, W.](#), Fabian, A. C. 2023, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 519, 1931

Evidence for the Operation of the Hanle and Magneto-optical Effects in the Scattering Polarization Signals Observed by CLASP2 across the Mg II h and k Lines

Ishikawa, R., Trujillo Bueno, J., Alsina Ballester, E., [Belluzzi, L.](#), del Pino Alemán, T., McKenzie, D., Auchère, F., Kobayashi, K., Okamoto, T. J., Rachmeler, L., Song, D. 2023, *The Astrophysical Journal*, 945, 125

The Impact of Angle-dependent Partial Frequency Redistribution on the Scattering Polarization of the Solar Na I D Lines

[Janett, G.](#), Alsina Ballester, E., [Belluzzi, L.](#), del Pino Alemán, T., and Trujillo Bueno, J. 2023, *The Astrophysical Journal*, 958, 38

Peering into the tilted heart of Cyg X-1 with high-precision optical polarimetry

Kravtsov, V., Veledina, A., Berdyugin, A. V., Zdziarski, A. A., Henson, G. D.; Piirola, V., Sakanoi, T., Kagitani, M., [Berdyugina, S.V.](#); Poutanen, J. 2023, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 678, A58

Solar Radio Spectro-polarimeter (50-500 MHz). I. Design, Development, and Characterization of a Cross-polarized, Log-periodic Dipole Antenna

Kumari, A., Gireesh, G. V. S., Kathiravan, C., Mugundhan, V., Barve, I. V., Ramesh, R., [Monstein, C.](#) 2023, *The Astrophysical Journal*, 958, 181

The effects of solar radio bursts on frequency bands utilised by the aviation industry in Sub-Saharan Africa

McKee, S. R., Cilliers, P. J., Lotz, S., [Monstein, C.](#) 2023, *Journal of Space Weather and Space Climate*, 13, 4

Repeated Type III Burst Groups Associated with a B-Class Flare and a Narrow-Width CME

Pohjolainen, S., McKay, D., Talebpour Sheshvan, N., [Monstein, C.](#) 2023, *Solar Physics*, 298, 118

Separating the effects of earthside and far side solar events. A case study

Pohjolainen, S., Talebpour Sheshvan, N., [Monstein, C.](#) 2023, *Advances in Space Research*, 72, 4074

The effect of stellar contamination on low-resolution transmission spectroscopy: needs identified by NASA's Exoplanet Exploration Program Study Analysis Group 21

Rackham, B.V., Espinoza, N., [Berdyugina, S.V.](#), Korhonen, H., MacDonald, R.J., Montet, B.T., Morris, B.M., Oshagh, M., Shapiro, A.I., Unruh, Y.C., Quintana, E.V., Zellem, R.T., Apai, D., Barclay, T., Barstow, J.K., Bruno, G., Carone, L., Casewell, S.L., Cegla, H.M., Criscuolo, S. and Fischer, C., Fournier, D., Giampapa, M.S., Giles, H., Iyer, A., Kopp, G., Kostogryz, N.M., Krivova, N., Mallonn, M., McGruder, C., Molaverdikhani, K., Newton, E.R., Panja, M., Peacock, S., Reardon, K., Roettenbacher, R.M., Scandariato, G., Solanki, S.K., Stassun, K.G., [Steiner, O.](#), Stevenson, K.B., Tregloan-Reed, J., Valio, A., Wedemeyer, S., Welbanks, L., Yu, J., Alam, M.K., Davenport, J.R.A., Deming, D., Dong, C., Ducrot, E., Fisher, C., Gilbert, E., Kostov, V., López-Morales, M., Line, M.,

Močnik, T., Mullally, S., Paudel, R.R., Ribas, I., Valenti, J.A. 2023, *RAS Techniques and Instruments* 2, 148-206

Assessment of the CRD approximation for the observer's frame RIII redistribution matrix

[Riva, S.](#), [Guerreiro, N.](#), [Janett, G.](#), Rossinelli, D., Benedusi, P., Krause, R., and [Belluzzi, L.](#) 2023, *Astronomy & Astrophysics*, 679, A87

Cosmological Constant from Boundary Condition and Its Implications beyond the Standard Model

[Stenflo, J. O.](#) 2023, *Universe*, 9, 103

Vortex Motions in the Solar Atmosphere: Definitions, Theory, Observations, and Modelling

Tziotziou, K., Scullion, E., Shelyag, S., [Steiner, O.](#), Khomenko, E., Tsiropoula, G., [Canivete Cuissa, J.R.](#), Wedemeyer, S., Kontogiannis, I., Yadav, N., Kitiashvili, I.N., Skirvin, S.J., Dakanalis, I., Kosovichev, A.G., and Fedun, V. 2023, *Space Science Reviews* 219, 1

Observation of Solar Radio Bursts Using E-Callisto System

Adassuriya, J., Gunasekera, S., Jayaratne, K., Monstein, C. 2023, arXiv e-prints, arXiv:2308.01581

Innovative and automated method for vortex identification II. Application to numerical simulations of the solar atmosphere

Canivete Cuissa, J.R., Steiner, O. Preprint: <https://arxiv.org/abs/2312.14701>

Chromospheric horizontal propagating shock waves revealed by fast cadence imaging in Ca II K with DKIST's Visible Broadband Imager

Fischer, C., Woeger, F., Rimmele, T., Keys, P., Steiner, O., Vigeesh, G., Jafarzadeh, S., Canivete Cuissa, J.R. 2023, AAS Solar Physics Division Meeting, Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 55, No. 7 e-id 2023n7i407p03, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023SPD...5440703F/abstract>

Coexistence of self-similar and anomalous scalings in turbulent small-scale solar magnetic fields

Gorobets, A.Y., Berdyugina, S.V. 2023, submitted. Preprint: <https://arxiv.org/abs/2307.04703>

Modeling the scattering polarization in the solar Ca I 4227 Å line with angle-dependent PRD effects and bulk velocities

Guerreiro, N., Janett, G., Riva, S., Benedusi, P., Belluzzi, L. Preprint: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202346399> (to appear on Astronomy & Astrophysics)

Numerical solutions to linear transfer problems of polarized radiation. IV. Efficient preconditioning in a physics-based framework

Janett, G., Benedusi, P., and Riva, F. Preprint: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202348048> (to appear in Astronomy & Astrophysics)

Ground-based infrastructure for improved space weather specification at low latitudes

Makela, J., Wu, Q., Monstein, C., Habarulema, J. B., Groves, K., Jakowski, N., Amory, C. 2023, Bulletin of the American Astronomical Society, 55, 259

An Overview of Solar Radio Type II Bursts through analysis of associated solar and near Earth space weather features during Ascending phase of SC 25

Ndacyayisenga, T., Uwamahoro, J., Uwamahoro, J. C., Babatunde, R., Okoh, D., Sasikumar Raja, K., Kwisanga, C., and Monstein, C.: EGU sphere [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-201>, 2023

Simulations of the small scale surface dynamo of cool main sequence stars

Riva, F., Canivete Cuissa, J.R., and Steiner, O.: 2023. <https://zenodo.org/records/7540550>

Simulating small-scale dynamo action in cool main-sequence stars

Riva, F., Steiner, O., Freytag, B. 2023, Astronomy & Astrophysics, 684, A7. Preprint: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202347015>

High-contrast imaging and spectroscopy by a low-scattering off-axis telescope PLANETS; current status of the development and future plan

Sakanoi, T., Emilio, M., Daflon dos Santos, S., Berdyugina, S.V., Swindle, R., Kagitani, M., Kurita, M., Hirahara, Y., Kuhn, J., Lewis, K. 2023, SPIE Proc., abstract, submitted

Preserving your skies since 1988 – Committee on Radio Astronomy Frequencies (CRAF) – Periodic Review 2011-2021

Committee on Radio Astronomy Frequencies, Winkel, B., Garrington, S., Colomer, F., Madkour, W., Slowikowska, A., Bolli, P., Lindqvist, M., López-Pérez, J. A., Morten Tangen, L., Thomas, I., Thomasson, P., Witvers, R., McCauley, J., Bautista, M., Bergano, M., Bezrukovs, V., Giovanardi, F., Hase, H., Jiricka, K., Józsa, G. I. G., Kallunki, J., Marqué, C., McKay, D., Murk, A., Pietu, V., Tornatore, V., Sethole, B., Soida, M., Sorokin, B., Tan, G. H., Tiplady, A., Tóth, L. V., Di Vruno, F., Wampfler, S., Williams, A., Yerin, S., Bray, J., Jessner, A., Gizani, N., Monstein, C., Peel, M., Salmim Ferreira, J., Smith, H., Veldes, G. P., Wolak, P. 2023, arXiv e-prints, arXiv:2310.13407

Comparing Observed with Simulated Solar Disk Center Scattering Polarization in the Sr I 4607 Å line

Zeuner, E., del Pino Alemán, T., Trujillo Bueno, J., Solanki, S.K. 2023, Astrophysical Journal, in press. Preprint: <https://arxiv.org/abs/2402.04736>

Underlined authors are researchers and affiliated researchers of IRSOL.

Gli autori sottolineati sono ricercatori dell'IRSOLO o affiliati all'IRSOLO.

The SWIRL code

Canivete Cuissa, J.R. 2023, <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.10016646> and <https://github.com/jcanivete/swirl>

Spectropolarimetric observations of the solar atmosphere in the H α 6563 Å line

Jaume Bestard, J., Trujillo Bueno, J., Bianda, M., Stepan, J., & Ramelli, R. (2023), [Data set], Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7870799>

Sunspot Group Database of the Specola Solare Ticinese

Ramelli R., Cagnotti M. (2023). (Version 2023A) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8117331>

Hanle rotation signatures in Sr I 4607 Å

Zeuner, F., Belluzzi, L., Guerreiro, N., Ramelli, R., & Bianda, M. (2023), [Data set], Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8087406>

Grants Finanziamenti

Proposals accepted in 2023 Progetti approvati nel 2023

SNSF Grants / Finanziamenti FNS

"En route to 3D Hanle diagnostics" (471'800 CHF), SNF-Ambizione, F. Zeuner, Aug 2024 – Jul 2028

Other grants / Altri finanziamenti

"Interpreting spatially resolved scattering polarization measurements with high-precision and enhanced accuracy for probing the solar photospheric magnetic field" SOLARNET Mobility fund (2'000 CHF), Aug – Sep 2023, F. Zeuner

"HPC techniques for accurate modeling of scattering polarization in the Na I D lines", Grant from Co-Fund program of Euler Institute (25'000 CHF). Applicants:

L. Belluzzi and R. Krause. Oct 2024 – Sep 2025

Ongoing projects Progetti in corso

SNSF projects / Progetti FNS

"Astrophysical Spectropolarimetry" (882'900 CHF), Jan 2023 – Dec 2026, R. Ramelli

"The Sun: our star" Agorà outreach project in collaboration with L'ideatorio (199'997 CHF), Sep 2022 – Aug 2024, R. Ramelli, L. Belluzzi

Others / Altri

"Performance boost for radiative magneto-hydrodynamics simulations in astrophysics", Grant from Fondo Istituzionale per la Ricerca of USI, (108'600 CHF), Oct 2023 – Sep 2025, F. Riva

"Generalization to non-linear settings of preconditioned Krylov solvers for linear transfer problems of polarized radiation", Grant from Co-Fund program of Euler Institute (25'000 CHF), Oct 2023 – Sep 2024, L. Belluzzi, R. Krause

"Simulating 3D radiative transfer of polarized radiation in stellar atmospheres with partial frequency redistribution", CSCS small project "sm74", Feb 2023 – Dec 2024, quarterly allocation: 8750 node hours (all project equivalent to about 30'000 CHF), P. Benedusi (PI), R. Krause, L. Belluzzi, J. Štěpán, J. Trujillo Bueno

Projects concluded in 2023 Progetti conclusi nel 2023

EU projects / Progetti UE

"SOLARNET - Integrating High Resolution Solar Physics", Jan 2019 – Sep 2023, M. Bianda, IRSOL participates in the consortium and contribute to work packages (315'000 EUR for IRSOL)

SNSF projects / Progetti SNF

"HPC-techniques for 3D modeling of resonance line polarization with PRD", Sinergia (1'444'636 CHF), Oct 2018 – Sep 2023, L. Belluzzi, R. Krause, and J. Trujillo Bueno

"Magnetohydrodynamic Simulations of the Solar Atmosphere", SNSF Project Funding (536'798 CHF), Oct 2018 – Apr 2023, O. Steiner

Others / Altri

"Archiving project of the Sunspot Drawings and data collected at the Specola Solare Ticinese in Locarno", financed by GCOS-Switzerland-MeteoSwiss (139'000 CHF), Aug 2018 – Jul 2023, R. Ramelli, M. Cagnotti (Specola), Ch. Huber (ETHZ)

Exoplanet Surface Structures (invited)
Berdyugina, S.V., From the Heliosphere to Astrospheres – Lessons for Exoplanets and their Habitability, Workshop, Bad Honnef, Germany, 16-20 January 2023 (in presence)

Exoplanet Science with ELF (invited)
Berdyugina, S.V., LIOM-IAC Workshop, IAC, Tenerife, Spain, 13 February 2023 (on line)

The GREGOR Slow Polarization Modulator (invited)
Zeuner, F., Gisler, D., Bianda, M., Ramelli, R., IAC Solar Physics Group Seminar, 26 April 2023 (in presence)

Hanle rotation in the Sr I 4607 Å line at the GREGOR telescope (invited)

Zeuner, F., Belluzzi, L., Guerreiro, N., Bianda, M., Ramelli, R., IAC POLMAG Group Seminar, 26 April 2023 (in presence)

Simulations of the small-scale surface dynamo of cool main-sequence stars

Riva, F., Steiner, O., RoCS Solar-Stellar Lunch meeting seminar, Oslo, Norway, 27 April 2023 (in presence)

A new tool for investigating the magnetism of the solar chromosphere

Belluzzi, L., 5th Swiss SCOSTEP Workshop, Windisch, Switzerland, 15-16 May 2023 (in presence)

Solar small-scale turbulent dynamo: Characterization with synoptic Hanle measurements in molecular lines and stochastic thermodynamics approaches

Berdyugina, S.V., 5th Swiss SCOSTEP Workshop, Windisch, Switzerland, 15-16 May 2023 (in presence)

Solar radiance variability in terms of the viral theorem

Steiner, O., 5th Swiss SCOSTEP Workshop, Windisch, Switzerland, 15-16 May 2023 (in presence)

Hanle rotation signatures in the Sr I 4607 Å line

Zeuner, F., Belluzzi, L., Guerreiro, N., Bianda, M., Ramelli, R., 5th Swiss SCOSTEP Workshop, Windisch, Switzerland, 15-16 May 2023 (in presence)

Observations and instrumentation at IRSOL: present and future

Ramelli, R., Zeuner, F., Vitali, F., Gisler, D., Berdyugina, S., Bianda, M., 5th Swiss SCOSTEP Workshop, Windisch, Switzerland, 15-16 May 2023 (in presence)

Aspects and examples of the linkage of simulations with observations of the Sun

Steiner, O., The Next Frontier – Linking Simulations with Observations of the Solar Atmosphere, Workshop, University of the Balearic Islands (UIB), 5-9 June 2023 (in presence)

Investigating the origin of small-scale magnetic fields on the Sun and other cool main-sequence stars

Riva, F., Steiner, O., AIP Colloquium, Potsdam, 6 July 2023 (in presence)

Interpreting in the Sr I 4607 Å line

Zeuner, F., Belluzzi, L., del Pino Aleman, T., Alsina Bellester, E., Guerreiro, N., NLTE Workshop vol. 2, Porto, Portugal, 4-6 September 2023 (in presence)

Magnetism of the Sun and distant stars: Challenges for astrophysics and astrobiology

Berdyugina, S.V., SOLARNET Workshop Sun in Science and Society, Mestre Venezia, Italy, 11-15 September 2023 (in presence)

Observations and instrumentation at IRSOL: present and future

Ramelli, R., Zeuner, F., Vitali, F., Gisler, D., Berdyugina, S., Bianda, M., SOLARNET Workshop Sun in Science and Society, Mestre Venezia, Italy, 11-15 September 2023 (in presence)

Vortices and Alfvénic pulses in the simulated solar atmosphere

Canivete Cuissa, J.R., Steiner, O., Exploring the causes and consequences of solar flares, CMEs, and other transient events, Solar splinter of the Annual Meeting of the German Astronomical Society, Berlin, 11-15 September 2023 (in presence)

Towards 3D modeling of scattering polarization with PRD

Belluzzi, L. and Sinergia Team, CLASP 2.1 Science Meeting, Tenerife, Spain, 18-20 October 2023 (in presence)

Methods for PRD modeling of scattering polarization and applications to H I Ly- α
Riva, F., Janett, G., Belluzzi, L., Benedusi, P., Guerreiro, N., Riva, S.
CLASP 2.1 Science Meeting, Tenerife, Spain, 18-20 October 2023 (in presence)

Stochastic thermodynamics of small-scale magnetic fields on the Sun (invited)
Gorobets, A., Berdyugina, S.V. MIAPbP Workshop Stellar magnetic fields from protostars to supernovae, Garching München, Germany, 9 October-11 November 2023 (in presence)

From sunspots to starspots (invited)
Berdyugina, S.V. MIAPbP Workshop Stellar magnetic fields from protostars to supernovae, Garching München, Germany, 9 October-11 November 2023 (in presence)

**Posters
Poster**

Vortices and Alfvénic pulses in the simulated solar atmosphere
Canivete Cuissa, J.R., Steiner, O., SOLARNET Conference: The Many Scales of the Magnetic Sun, Potsdam, 9-12 May 2023 (in presence)

Simulations of the small-scale surface dynamo of cool main-sequence stars
Riva, F., Steiner, O., Freytag, B., SOLARNET Conference: The Many Scales of the Magnetic Sun, Potsdam, 9-12 May 2023 (in presence)

Vortices and Alfvénic pulses in the simulated solar atmosphere
Canivete Cuissa, J.R., Steiner, O., Solar splinter of the Annual Meeting of the German Astronomical Society, Berlin, 11-15 September 2023 (in presence)

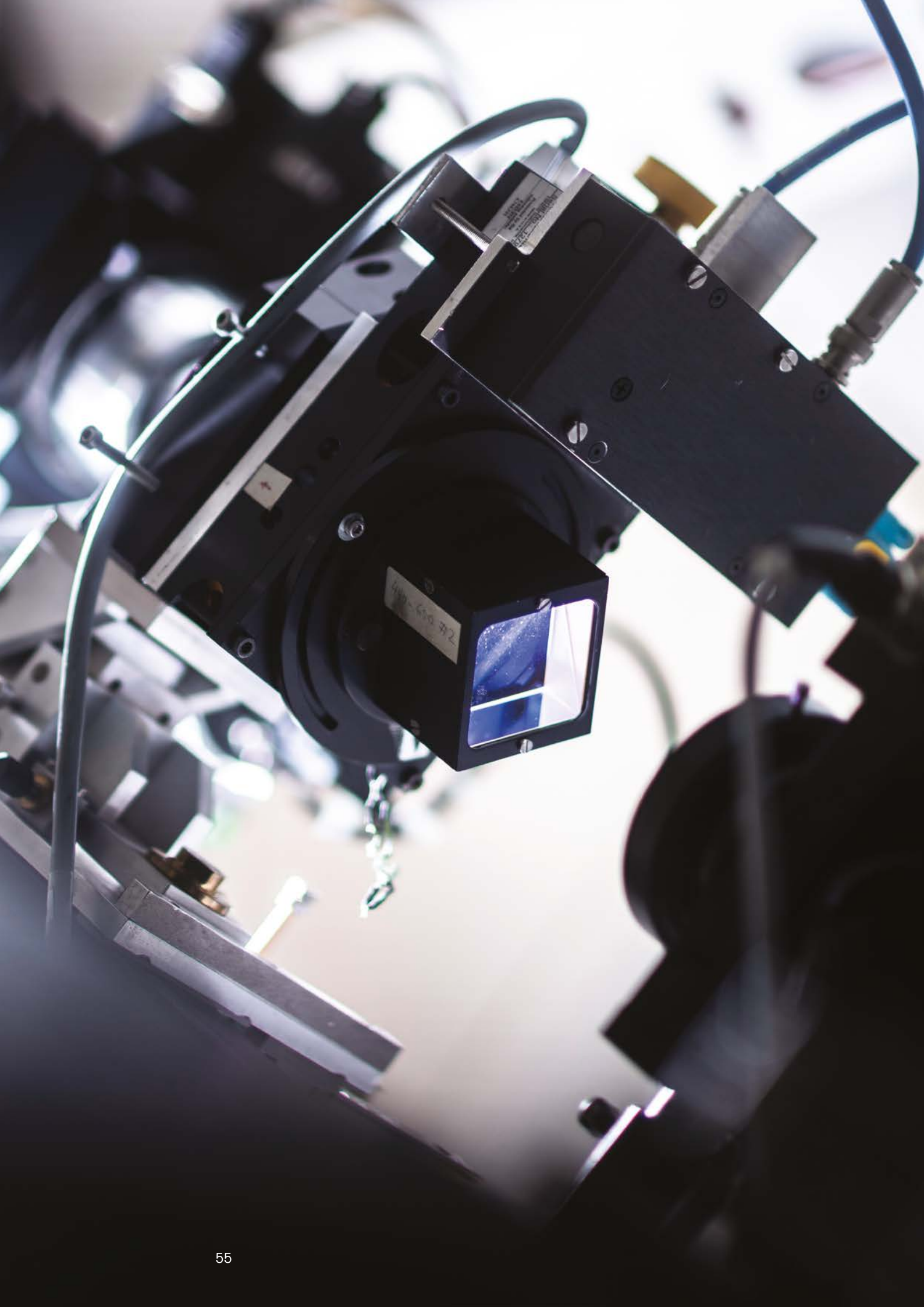
Simulations of the small-scale surface dynamo of cool main-sequence stars
Riva, F., Steiner, O., Freytag, B., Solar splinter of the Annual Meeting of the German Astronomical Society, Berlin, 11-15 September 2023 (in presence)

**Participation
Partecipazione**

Ramelli R., EST Instrument teams + SAG meeting, Prague, 19-20 January
Bianda M., Ramelli R., 1. LocarneseTech workshop, SES Locarno, 27 March
Ramelli R., 2. LocarneseTech workshop with SUPSI, Golf Losone, 14 June
Bianda M., LocarneseTech workshop at SUPSI, DTI SUPSI, 14 September
Berdyugina S., Ramelli R., SSAA assembly, Observatoire de Genève, Versoix, 5-6 October

**Organization of
conferences
Organizzazione di
conferenze**

5th Swiss SCOSTEP Workshop, Windisch, Switzerland, 15-16 May 2023 (R. Ramelli, SOC member)



Impressum
Istituto ricerche solari Aldo e Cele Daccò

Via Patocchi 57
6605 Locarno
tel + 41 91 743 4226
e-mail info@irsol.ch
web www.irsol.usi.ch

Graphic design
Progetto grafico
Servizio comunicazione istituzionale USI

Photos
Fotografie
Ti-Press, Alessandro Crinari

Printing and binding
Stampa e confezione
Tipografia Cavalli, Tenero

© 2024
Istituto
ricerche
solari
Aldo e Cele
Daccò

Università
della
Svizzera
italiana

Istituto
ricerche
solari
Aldo e Cele
Daccò

IRSOL
Annual
Report
Rapporto
annuale
IRSOL

2023



IRSOL
An institute
affiliated to USI,
run by an
independent
foundation

IRSOL
Un istituto
affiliato all'USI,
retto da una
fondazione
indipendente