

Università  
della  
Svizzera  
italiana

Allegato 14

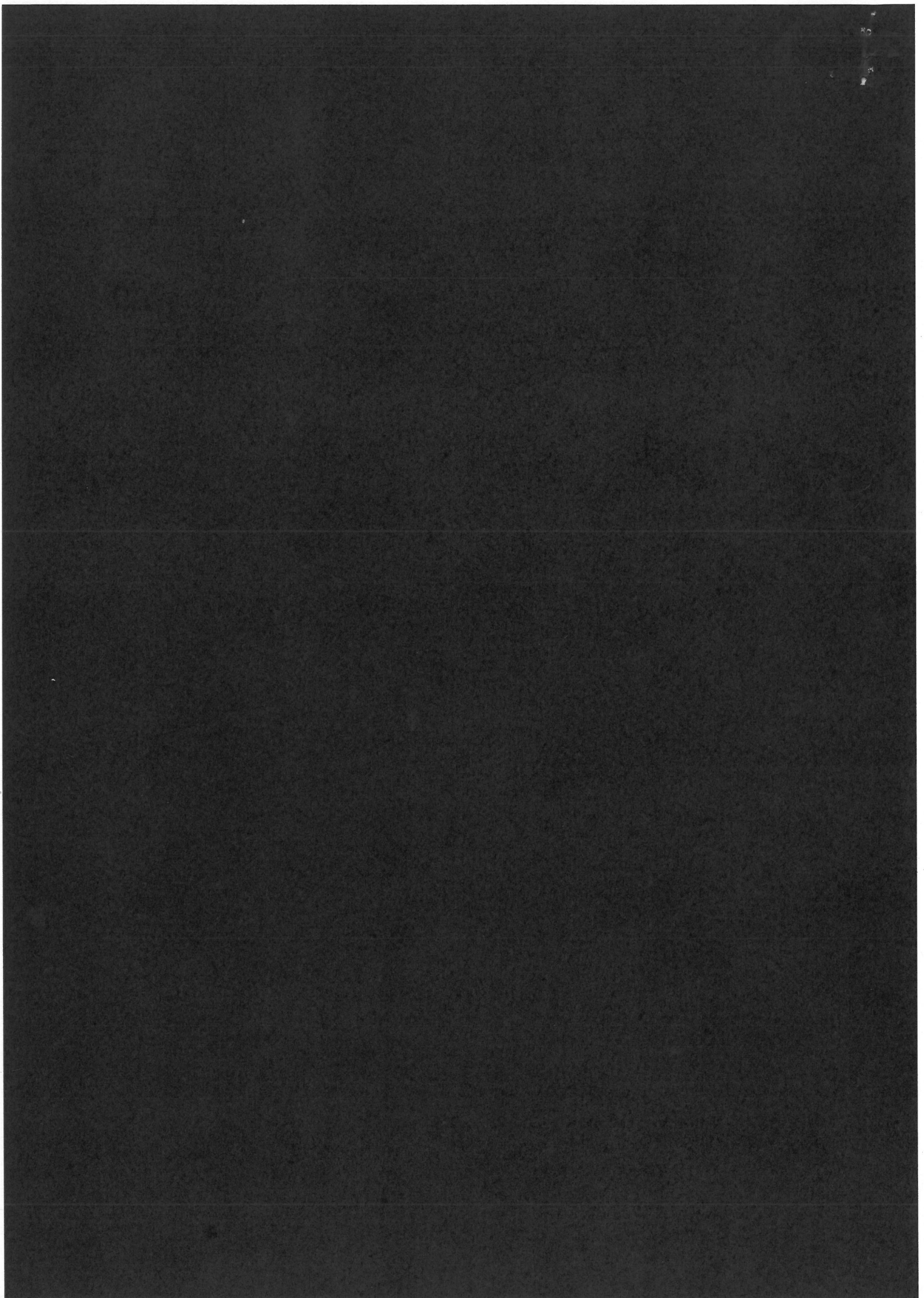
Istituto  
ricerche  
solari  
Aldo e Cele  
Daccò

# 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	<b>Foreword Prefazione</b>
6	<b>Institute Istituto</b>
8	<b>Research Groups Gruppi di ricerca</b>
26	<b>External collaborations Collaborazioni esterne</b>
34	<b>Education and Outreach Formazione e comunicazione</b>
40	<b>People Persone</b>
44	<b>Financial Data Dati finanziari</b>
48	<b>Scientific Output Output scientifico</b>



## Foreword Prefazione Svetlana Berdyugina

IRSOL Director  
Locarno,  
April 2023

The Sun is unique to us: it provides energy for life, affects the near-Earth space weather and shapes the Earth's climate. It is also a benchmark, a Rosetta Stone for astrophysics and a vast plasma physics laboratory unavailable on the Earth. In solar physics, we are tasked to understand origins and evolution processes of solar magnetic activity and be able to forecast it in connection with space weather and geomagnetic storms. The latter are capable of causing malfunction and significant loss of space and ground-bound infrastructure, as well as disrupting communication and affecting Earth's atmosphere and climate. Thus, the Sun, located in the centre of our solar system is also central to the existence of the humanity and terrestrial life in general.

IRSOL is operating the largest ground-based solar optical telescope for research in Switzerland to address these challenging tasks using unique approaches based on high-precision spectropolarimetric measurements with ZIMPOL, 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 magnetic fields on the Sun. 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. Exciting research results obtained in 2022 by IRSOL scientists within these areas are presented in this report, thanks to successful projects funded in part by SNSF and EU grants.

The year 2022 has marked several important milestones in the history of IRSOL. First, after the very successful 35-year leadership of IRSOL, Dr. Michele Bianda has retired from his position, and IRSOL Foundation Council has entrusted me with the responsibility to direct IRSOL towards new horizons. It is an honor and challenge for me to receive this duty from Dr. Bianda who created the institute literally from scratch by first restoring the observatory and then by cooperating with many local, federal and international institutions and scientists to build up the successful institute and accumulate the enthused cadre. My scientific collaboration with him for more than 20 years, since I was a professor at ETH Zurich, has been always a fearless exploration of unknown to discover and solve puzzles on the Sun. Having served for many years on the scientific directorate of IRSOL, I have supported the

institute during difficult times and contributed to its strategic affiliation with USI. This important milestone opens an abundance of opportunities that we only start exploring to continue growing and developing IRSOL. My inspiration is rising every day since I started to work with my enthusiastic colleagues at IRSOL and support young scientists in their career development.

Another important achievement is a valuable recognition of IRSOL with a substantial bequest to support IRSOL's further development. In appreciation of this generous donation, IRSOL has decided to encompass the benefactor names in the institute's name, which is now *Istituto ricerche solari Aldo e Cele Daccò*.

In my position as director of IRSOL, I aim to guarantee the institute a future that is strong in collaborations. 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 Department of Innovative Technologies on advancing the ZIMPOL technology towards innovative digital sensors. The long-term collaboration with Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS) enables the deployment of ZIMPOL at the Europe's largest solar telescope GREGOR to study solar magnetism with the highest precision and accuracy to date and at a high spatial resolution. In the future, this opportunity will open up for a broader international cooperation. Another long-term prospect is our cooperation with the European solar physics consortium aiming to construct the next-generation four-meter European Solar Telescope (EST), which enables Switzerland to elevate its prominence in solar physics in EU and beyond. Within Switzerland, we are committed to collaborations with colleagues in solar physics, astrophysics and Earth science to share our expertise on the Sun and its magnetized plasma for studying cosmic magnetic fields, discovering new planets and learning about space weather effects on planetary atmospheres and habitability. These national and international partnerships will open up new horizons for IRSOL. We would also 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 cornerstone of its success.

Il Sole è unico per noi: fornisce energia per la vita, influenza lo space weather (meteo spaziale) in prossimità della Terra e influisce sul clima terrestre. È inoltre un riferimento, una Stele di Rosetta per l'astrofisica e un immenso laboratorio di fisica del plasma non riproducibile sulla Terra. Nel campo della fisica solare, abbiamo il compito di comprendere l'origine e i processi di evoluzione dell'attività magnetica solare e di prevederla in relazione alla meteo spaziale e alle tempeste geomagnetiche. Queste sono in grado di causare ingenti danni alle infrastrutture spaziali e terrestri, disturbare o interrompere le comunicazioni, e influenzare l'atmosfera e il clima della Terra. Posto al centro del sistema solare, il Sole, dunque, è centrale anche per l'esistenza dell'umanità e della vita terrestre in generale.

L'IRSOL, unico istituto universitario in Svizzera dotato di telescopio solare ottico adibito a ricerca, affronta questi compiti impegnativi utilizzando approcci unici basati su misure spettropolarimetriche di alta precisione con ZIMPOL, tecniche innovative di esplorazione dei dati, metodi d'avanguardia per la diagnostica del magnetismo solare basati sulle più avanzate teorie quantistiche per l'interazione tra la radiazione polarizzata e gli atomi e le molecole e simulazioni numeriche multidimensionali dei campi magnetici sul Sole. Sono queste le direzioni di ricerca che negli ultimi anni hanno fatto dell'IRSOL un centro di fisica solare unico nel suo genere, di importanza nazionale e internazionale. In questo rapporto vengono presentati i più importanti risultati scientifici ottenuti nel 2022 dai ricercatori dell'IRSOL in questi ambiti, grazie a progetti di successo finanziati in parte dal FNS e da sovvenzioni europee.

Il 2022 ha segnato diverse tappe importanti nella storia dell'IRSOL. Innanzitutto, dopo aver guidato proficuamente l'istituto per 35 anni, il dottor Michele Bianda ha lasciato il timone e il Consiglio di Fondazione IRSOL mi ha affidato la responsabilità di dirigere l'IRSOL verso nuovi orizzonti. È un onore e una sfida per me ricevere questo incarico dal dottor Bianda, che ha creato l'istituto letteralmente da zero, prima ricostruendo la strumentazione dell'osservatorio e poi collaborando con molte istituzioni e scienziati locali, nazionali e internazionali fino a creare un istituto di successo formato da un eccellente gruppo di lavoro. La mia collaborazione scientifica con lui, iniziata più di 20 anni fa quando ero professoressa al Politecnico di Zurigo, è sempre stata un'audace esplorazione dell'ignoto per scoprire e risolvere enigmi sul Sole. Avendo fatto parte per molti anni della direzione scientifica dell'IRSOL, ho sostenuto l'istituto nei momenti difficili e ho contribuito alla sua affiliazione strategica con l'USI. Questo importante traguardo apre molteplici opportunità che stiamo solo iniziando a esplorare per continuare a far crescere e sviluppare l'IRSOL. Da quando ho iniziato a lavorare all'IRSOL, a contatto con i miei colleghi e il loro entusiasmo, e sostenendo i giovani ricercatori nello sviluppo della loro carriera, trovo ogni giorno nuova ispirazione per la mia attività.

Un altro importante risultato e riconoscimento è il consistente e prezioso lascito recentemente ricevuto dall'IRSOL a sostegno del suo ulteriore sviluppo. In segno di riconoscenza, la Fondazione IRSOL ha deciso di includere i nomi dei benefattori nel nome dell'istituto, ora *Istituto ricerche solari Aldo e Cele Daccò*.

Nella mia posizione di direttrice dell'IRSOL, mi propongo di garantire all'istituto un futuro ricco di collaborazioni. All'USI continuiamo ad approfondire la collaborazione con la Facoltà di scienze informatiche e con 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 il Dipartimento tecnologie innovative per far progredire la tecnologia ZIMPOL verso sensori digitali innovativi. La collaborazione a lungo termine con il

Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS) consente di utilizzare ZIMPOL presso il più grande telescopio solare europeo GREGOR e di studiare il magnetismo solare con la massima precisione e accuratezza raggiunte finora in combinazione con un'elevata risoluzione spaziale. In futuro, questa opportunità potrà svilupparsi verso una più ampia cooperazione internazionale. Un'altra prospettiva a lungo termine è offerta dalla nostra collaborazione con il consorzio europeo di fisica solare che mira a costruire l'European Solar Telescope (EST) di nuova generazione con un'apertura di quattro metri. Ciò consentirà alla Svizzera di incrementare il suo impatto nella fisica solare in Europa e nel resto del Mondo. All'interno della Svizzera, collaboriamo con i colleghi di fisica solare, dell'astrofisica e delle scienze della Terra per condividere le nostre competenze sul Sole e sul suo plasma magnetizzato, al fine di studiare i campi magnetici cosmici, scoprire nuovi pianeti e conoscere gli effetti della meteo spaziale sulle atmosfere planetarie e sull'abitabilità di altri pianeti. Queste collaborazioni nazionali e internazionali apriranno nuovi orizzonti per l'IRSOL.

Desideriamo inoltre ringraziare di cuore il sostegno verso l'IRSOL da parte della Segreteria di Stato per l'Educazione, la Ricerca e l'Innovazione, del Canton Ticino, dell'USI e di molti comuni locali. Il vostro continuo e fiducioso supporto è la pietra miliare del successo dell'IRSOL.

Svetlana Berdyugina  
Direttrice IRSOL  
Locarno, Aprile 2023



## Foreword Prefazione Michele Bianda

IRSOL Director  
Locarno,  
April 2023

I am very happy to be able to write with joy for the last time these introductory notes on the Annual Report as director (for a few months, until April 2022). This feeling betrays my more than positive evaluation on the recent leadership change. An era closes, an era opens.

A look back at the 1980s brings up a series of images from memory. The news that IRSOL observatory was being closed by Germany to concentrate solar research in the Canary Islands.

The decision of the people who had just taken over the activities of the Specola Solare Ticinese also to attempt to rescue IRSOL. The vision and skills of Alessandro Rima, who led the negotiations with Germany and set the strategy for autonomous development. The beginning of the project, when I would work for months without seeing anyone at the Institute. The help I received from researchers and technicians in Göttingen to rebuild the partially dismantled instrumentation.

The first scientific measurements. The beginning of the collaboration with Jan Stenflo from the Institute of Astronomy at ETH Zurich. The take off of spectropolarimetry measurements, also with the arrival of the ZIMPOL polarimeter at IRSOL. The transfer of the Foundation's management to Philippe Jetzer, who will be able to steer the Institute's history towards success. The interaction with researchers from all over the world and with students. The difficult moments on the brink of the Institute's closure. The overcoming of that critical moment and the arrival of brilliant collaborators who made it possible for it to become an Institute affiliated with USI and integrated into the national and international academic scene.

A few lines summarise what has happened, but in the meantime, time has passed, and the retirement age has coincided with an extraordinary opportunity: the chance to hand over the scientific direction to Svetlana Berdyugina. Knowing that I can pass on what I have helped to achieve in the hands of such brilliant management, even with Renzo Ramelli as deputy director, brings a satisfied smile to my face. It brings me the same satisfaction as when I used to run a 4x100 and correctly pass the baton to the next runner.

I am grateful to many people who have contributed to this challenging yet exciting journey. I want to acknowledge the essential work of my colleagues, who helped us achieve our goal. While there are many individuals who

made significant contributions, I would like to mention Alessandro Rima, former foundation chair, Paul Utermohlen, Philippe Jetzer, present foundation chair and Fulvio Pelli vice-chair. Their efforts may have been overlooked, but their determination and the quality of their work have resulted in what we see today. Jan Stenflo inspired the scientific approach and the fundamental concept of how a research institute should function on a daily basis.

Sono estremamente fortunato nel poter scrivere con gioia per l'ultima volta le note introduttive sul Rapporto annuale quale direttore (per pochi mesi, fino ad aprile 2022). Questo sentimento tradisce la mia più che positiva valutazione sul passaggio di direzione avvenuto lo scorso anno. Si chiude un'epoca, si apre un'epoca. Uno sguardo agli Anni ottanta fa emergere dalla memoria una serie di immagini. La notizia che l'osservatorio dell'IRSOL veniva chiuso dalla Germania per concentrare la ricerca solare alle Isole Canarie. La decisione delle persone che avevano appena ripreso l'attività della Specola Solare Ticinese di tentare pure il salvataggio dell'IRSOL. La visione e le capacità di Alessandro Rima, che condusse le trattative con la Germania e impostò la strategia di sviluppo autonomo. L'inizio dei lavori, quando mi capitava di lavorare per mesi senza vedere nessuno all'Istituto. L'aiuto ricevuto dai ricercatori e dai tecnici di Göttingen per ricostruire la strumentazione parzialmente smantellata. Le prime misure scientifiche. L'inizio della collaborazione con Jan Stenflo, dell'Istituto di Astronomia del Poli di Zurigo. Il decollo delle misure di spettropolarimetria, anche con l'arrivo del polarimetro ZIMPOL all'IRSOL. Il passaggio della direzione della Fondazione a Philippe Jetzer, che saprà dirigere verso il successo la storia dell'istituto. L'interazione con ricercatori di tutto il mondo e con studenti. I momenti difficili sul baratro della chiusura dell'Istituto. Il superamento del momento critico e l'arrivo di brillanti collaboratori che hanno permesso di arrivare a essere un Istituto affiliato all'USI e integrato nella realtà accademica nazionale e internazionale. Poche righe per riassumere quanto accaduto, ma nel frattempo il tempo è trascorso e l'età della pensione ha coinciso con un'opportunità straordinaria: la possibilità di passare la direzione scientifica a Svetlana Berdyugina. Sapere di poter trasmettere quanto ho contribuito a realizzare nelle mani di una direzione così brillante, pure con Renzo Ramelli alla vicedirezione, fa sorgere sul viso un sorriso di soddisfazione. La stessa che provavo quando correvo una 4x100 e il testimone veniva consegnato correttamente al frazionista successivo. Questo percorso duro ma entusiasmante è stato possibile grazie al contributo di moltissime persone, alle quali va tutta la mia riconoscenza. Evidentemente il lavoro dei miei colleghi è stato essenziale per raggiungere questo traguardo. Mi permetto di fare dei nomi, sapendo di non citare persone che hanno dato contributi enormi. Cito dunque chi ha presieduto la FIRSOL, Alessandro Rima e Philippe Jetzer come pure Paul Utermohlen e Fulvio Pelli. Il loro lavoro è forse rimasto parzialmente in ombra, ma la qualità e la determinazione di quanto hanno svolto si sono tramutate in quanto abbiamo il piacere di vedere adesso. L'orientamento scientifico e l'idea di base del modo in cui debba vivere la sua quotidianità un istituto di ricerca hanno avuto Jan Stenflo quale ispiratore.

Michele Bianda  
Direttore IRSOL  
Locarno, Aprile 2023



## 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 the space weather and terrestrial climate. This is achieved by combining the unique strengths of IRSOL in high-precision solar spectropolarimetry with advanced approaches in theoretical and numerical modelling, computational and data science, and magnetohydrodynamic simulations. IRSOL's 45cm telescope, the largest ground-based solar optical telescope in Switzerland, is equipped with the world-leading solar imaging polarimeter ZIMPOL. This unique observational facility has been recognized 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, Directorate and institute's personnel. The Scientific Committee provides advice to the Foundation Council and Directorate on the institute's research program and reviews its scientific performance. The Directorate plans the scientific strategy of the institute, coordinates its scientific activities and is responsible for administrative matters of the institute. IRSOL and its director are affiliated with the Faculty of Informatics at USI, that allows for supervising students. USI provides support in the grant management, IT services, technology transfer, corporate design, outreach, etc. Institute's scientific activities are organized in four research groups, each being led by a senior scientist (in the alphabetical order):

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

This group deals with the theoretical and numerical modelling of the polarisation of solar radiation, with a particular focus on the polarisation produced by scattering processes in atomic transitions 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. 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. Multi-wavelength and multi-messenger data from the ground and space are explored and modelled to make a breakthrough in addressing crucial scientific questions and challenges of our human society.

### *Observations and Instrumentation, Dr. Renzo Ramelli.*

The group is focused on high precision spectropolarimetric observations and on the development of advanced instrumentation to reach this goal. The key instrument is the Zurich Imaging Polarimeter (ZIMPOL) that, 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 the Europe's largest solar telescope GREGOR.

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

This group carries out numerical 3D magnetohydrodynamic (MHD) simulations of stellar plasma in the presence of electric and magnetic fields using powerful computers like Piz Daint at the Swiss National Supercomputing Center (CSCS). This allows for a highly detailed study of the Sun and stars. Observable quantities synthesised from the simulated Sun are then 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 infrastruttura di osservazione 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 valuta le prestazioni scientifiche dell'istituto. La Direzione pianifica la strategia scientifica dell'istituto, ne 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, servizi IT, trasferimento tecnologico, corporate design, divulgazione scientifica, ecc.

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 modellizzazione teorica e numerica della polarizzazione della radiazione solare, con particolare attenzione alla polarizzazione prodotta dai processi di scattering atomico 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 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. Vengono raccolti, modellizzati e studiati dati ottenuti in varie bande spettrali da terra e dallo spazio, per progredire e affrontare questioni scientifiche cruciali e sfide della società.

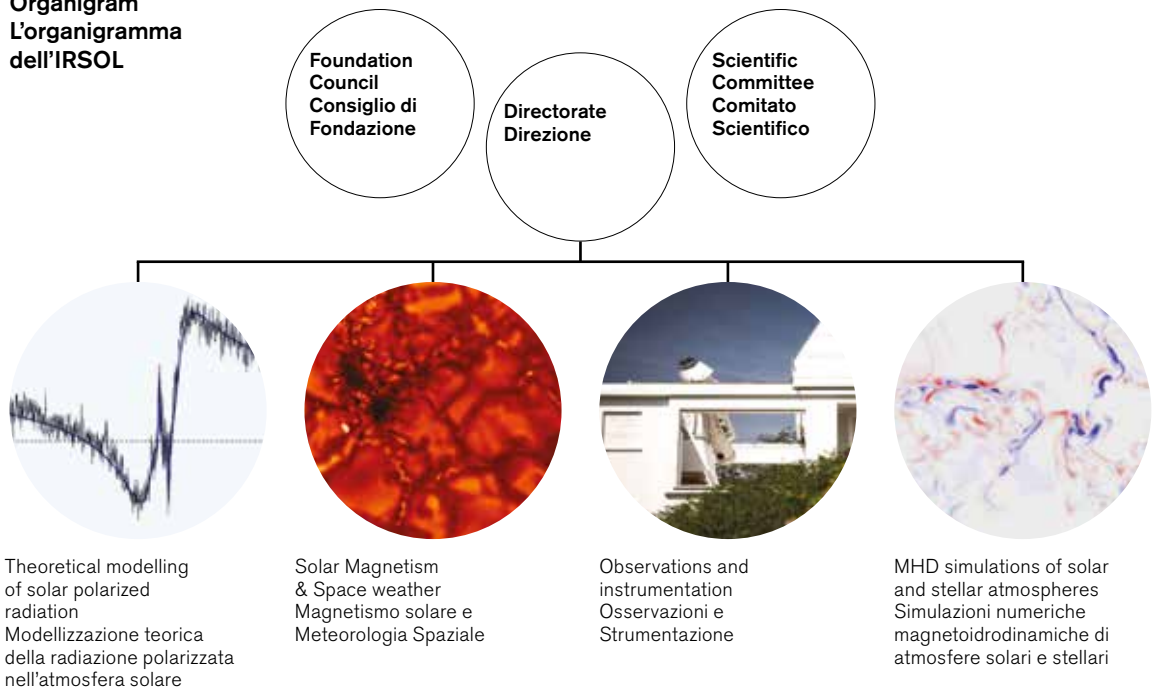
*Osservazioni e strumentazione, Dr. Renzo Ramelli.*

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

*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 il Piz Daint 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 L'organigramma dell'IRSOL







# Luca Belluzzi Dr.

**Theoretical modeling 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 got 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 (Tenerife, Spain). 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 (Tenerife, Spagna). 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

Nuno Guerreiro, PostDoc – Gioele Janett, PostDoc – Giulio Mazzaglia, Civil service – Simone Riva, PhD student

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. Solar magnetic fields can be investigated by analysing the signatures that they leave in a particular property of light, namely its polarisation. The research group of Luca Belluzzi deals with the theoretical 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 standard 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 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 the Università della Svizzera italiana (USI) in Lugano. The results of the numerical simulations are then compared to the observational data, acquired both from 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 program. These experiments, known under the acronym CLASP, provided unprecedented measurements of the polarisation of ultraviolet solar radiation, which encode 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. 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 modellizzazione teorica e 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. 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 del Fondo Nazionale Svizzero per la Ricerca Scientifica (FNS) sta permettendo 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).

## Overview of main results in 2022

In 2022, the group's research focused on the accurate numerical modelling of scattering polarisation in strong lines of the solar spectrum, encoding information on the solar chromosphere. To achieve this, it is essential to account for the key impact of the so-called partial frequency redistribution (PRD) effects, that is frequency correlations between the incident and emitted radiation in the scattering processes. Modelling PRD effects is notoriously challenging from the computational standpoint and simplifying approximations have thus been considered in the past. In this context, a major milestone for the group's activity was achieved in 2022: the development of the first code worldwide capable of modelling the polarisation of chromospheric lines in realistic three-dimensional (3D) models of the solar atmosphere, taking PRD effects into account with the highest accuracy.

### *Numerical methods and code developments*

Building on the grounds set during the previous year, a novel approach tailored for modelling scattering polarisation with PRD was optimised and implemented in a one-dimensional (1D) code. This innovative solution strategy, based on Krylov solvers with preconditioners devised from simplified physical models, was published in the journal *Astronomy & Astrophysics*. Subsequently, the approach was generalised from 1D to 3D, devising a new domain decomposition technique and parallelisation strategy to manage the massive amount of data involved in the 3D case. The details of the approach, together with tests showing its near-optimal scalability were published in the *Journal of Computational Physics* (paper appeared in 2023). In parallel, the activity was focused on devising, implementing, and analysing a series of physics-based preconditioners, designed for a large class of radiative transfer problems for polarised radiation. This technique led to a significant improvement of the convergence properties of the iterative process, significantly reducing the computational time.

### *Assessing the suitability of simplifying approximations*

The aforementioned 1D code was applied to model the polarisation of different spectral lines in semi-empirical models of the solar atmosphere. This allowed the carrying out of a quantitative analysis of the suitability of a series of approximations that have been commonly applied in the past, based on simplified forms of the redistribution matrix (the theoretical tool commonly used to describe PRD effects). The results proved the suitability of a widely used approximation for the so-called RIII redistribution matrix, and highlighted the significant inaccuracies that the so-called angle-averaged approximation for the RII redistribution matrix can introduce.

### *Modelling polarisation in dynamic environments*

Various works in the literature clearly showed that scattering polarisation signals are strongly modified by plasma bulk motions. However, all earlier studies did not include PRD effects in the modelling or included them in academic scenarios only. Applying the 1D code, one investigation was dedicated to analysing the impact of realistic plasma velocity fields on scattering polarisation, while taking PRD effects into account. This study also assessed the suitability of the proposed approach to handle dynamic scenarios, thus facilitating the development of the 3D code.

### *CLASP experiments*

The CLASP team completed the first analysis of the spectropolarimetric data for the ionised Magnesium (Mg II) h & k lines at 280 nm, publishing the results in *The Astrophysical Journal*. The observations revealed a good agreement with previous theoretical works of the group, further confirming the suitability of the theoretical and numerical approach. In light of these encouraging results, the group embarked on a further investigation into the modelling of these lines, in cooperation with the IAC colleagues.



## Panoramica dei risultati principali nel 2022

Nel 2022 l'attività di ricerca del gruppo è stata incentrata sull'accurata modellizzazione della polarizzazione di forti righe dello spettro del Sole in cui sono codificate informazioni sulla cromosfera. Per raggiungere questo obiettivo è indispensabile tener conto dei cosiddetti effetti di redistribuzione parziale in frequenza (PRD), ossia delle correlazioni presenti tra le frequenze della radiazione assorbita e riemessa nei processi di scattering. Modellizzare gli effetti PRD è notoriamente complesso da un punto di vista computazionale, e per questo approssimazioni semplificatrici sono state utilizzate in passato. In questo contesto, il 2022 ha visto il raggiungimento di un obiettivo chiave per l'attività del gruppo: lo sviluppo del primo codice al mondo in grado di modellizzare la polarizzazione di righe cromosferiche in modelli realistici tridimensionali (3D) dell'atmosfera del Sole, tenendo conto degli effetti PRD con la massima accuratezza.

### *Metodi numerici e sviluppo di codici*

Continuando il lavoro iniziato negli anni precedenti, un nuovo approccio per modellizzare la polarizzazione per scattering con effetti PRD è stato ottimizzato e implementato in un codice monodimensionale (1D). Questa strategia innovativa, basata su metodi Krylov con preconditionatori derivati da modelli fisici semplificati, è stata pubblicata sulla rivista *Astronomy & Astrophysics*. L'approccio è stato successivamente generalizzato da 1D a 3D, ideando una nuova tecnica di domain decomposition e una nuova strategia di parallelizzazione che permettono di gestire l'enorme quantità di dati in gioco nel caso 3D. I dettagli dell'approccio e i risultati di test che ne mostrano la scalabilità quasi-ideale sono stati pubblicati sul *Journal of Computational Physics* (articolo apparso nel 2023). Parallelamente, l'attività ha riguardato l'ideazione e l'analisi di una serie di preconditionatori, concepiti per una vasta classe di problemi di trasporto di radiazione polarizzata. Questa tecnica ha portato a un notevole miglioramento delle proprietà di convergenza dei metodi iterativi, riducendo considerevolmente i tempi di calcolo.

### *Verifica della validità delle approssimazioni*

Utilizzando il codice 1D citato in precedenza, è stata modellizzata la polarizzazione di diverse righe spettrali in modelli semi-empirici dell'atmosfera. Questo ha permesso di analizzare in modo quantitativo la validità di una serie di approssimazioni considerate in passato, basate sull'utilizzo di forme semplificate della matrice di redistribuzione (lo strumento teorico usato per descrivere gli effetti PRD). I risultati hanno dimostrato la correttezza di una approssimazione largamente utilizzata per la cosiddetta matrice di redistribuzione RIII, e hanno mostrato gli errori significativi che possono essere

introdotti dalla cosiddetta approssimazione angle-average per la matrice RII.

*Modellizzazione della polarizzazione in contesti dinamici*  
Vari lavori hanno mostrato che la polarizzazione per scattering è fortemente modificata dalla presenza di moti macroscopici del plasma. Tuttavia tutti i precedenti studi sono stati condotti trascurando gli effetti PRD, oppure includendoli in scenari accademici. Utilizzando il codice 1D, è stato analizzato l'impatto che moti del plasma, con valori realistici delle velocità, hanno sulla polarizzazione per scattering, modellizzata considerando gli effetti PRD. Questo lavoro ha altresì verificato la capacità del nuovo approccio di gestire scenari dinamici, supportando così lo sviluppo del codice 3D.

### *Esperimenti CLASP*

Nell'ambito degli esperimenti CLASP, è stata completata e pubblicata sulla rivista *The Astrophysical Journal* la prima analisi dei dati spettropolarimetrici per le righe h & k del magnesio ionizzato (MgII) a 280 nm. Le osservazioni hanno mostrato un buon accordo con i risultati teorici ottenuti in precedenza dal gruppo, confermando la correttezza dell'approccio teorico e numerico. Questo incoraggiante risultato ha motivato un nuovo studio sulla modellizzazione di queste righe, in collaborazione con i colleghi dell'IAC.



# Svetlana Berdyugina Prof.

**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. Employing quantum physics of molecules, magnetic fields and 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 applies advanced numerical methods for solving inverse problems, allowing us to “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, and currently directorship at the Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS, Germany). She is also a winner of the highly competitive EURYI Award of the European Science Foundation and ERC Advanced Grant. In 2022, Svetlana Berdyugina has been appointed IRSOL director and USI professor affiliate.

La professoressa Svetlana Berdyugina svolge ricerche interdisciplinari in fisica solare, astrofisica e astrobiologia utilizzando la polarizzazione della luce. Applicando la fisica quantistica delle molecole, dei campi magnetici e delle radiazioni, 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 di Zurigo, applica metodi numerici avanzati per la risoluzione di problemi inversi, che ci permettono di «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 e attualmente la direzione del Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS, Germania). 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.

**Team  
Gruppo  
di ricerca**

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

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

Group members / Membri del Gruppo  
Wakiko Ishibashi, Scientist – Jan Stenflo, Professor emeritus

External collaborators / Collaboratori esterni  
Stefano Bagnulo, Armagh Observatory and Planetarium, Northern Ireland, UK – Andrei Berdyugin, University of Turku, Finland – Andriy 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 – 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 characterizing their irregularities with stochastic thermodynamics approach. 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 progredire e affrontare questioni scientifiche cruciali e sfide della nostra società umana. 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, modellando gli effetti quantistici magnetici in atomi e molecole e applicando tecniche di inversione numerica per ricostruire i parametri magnetici e termodinamici in 3D del plasma solare. L'evoluzione di questi parametri è studiata ricercando le periodicità e caratterizzando le loro irregolarità con l'approccio 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 state 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 è originato 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 solari 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 la propria vita 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 loro storia di formazione e le 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 modellazione dei dati, ci guida verso nuove scoperte.

## Overview of main results in 2022

### *Solar continuum polarisation as a key test of solar atmosphere models*

A thorough analysis and modeling of earlier measurements of the solar continuum polarisation using the ZIMPOL polarimeter at the IRSOL telescope demonstrated a very good agreement with the standard solar model in blue optical wavelengths and a minor disagreement in red wavelengths. To verify these measurements and understand the source of discrepancies, new observations were obtained with ZIMPOL at the GREGOR telescope on Tenerife. These new data confirmed the previous measurements, while the source of deviations from the model is being investigated.

### *Evolution of solar turbulent magnetic fields with the solar cycle*

Turbulent magnetic fields are ubiquitous on the Sun. The entire solar photosphere is filled with these weak entangled magnetic fields and, because of the large volume, their magnetic energy exceeds that of sunspots. Using the advantage of the differential Hanle effect in molecular  $C_2$  lines, we analyse data of the synoptic program for systematic measurements of turbulent magnetic fields carried out with ZIMPOL at IRSOL since 2009. A new, significantly more precise pipeline for the analysis of the synoptic  $C_2$  data was developed and tested in 2022. By reducing systematic errors, the evolution of turbulent magnetic fields with the solar 11-year cycle is being investigated. Spatial variations are studied with the GREGOR telescope, as shown in the solar image obtained in the  $C_2$  band.

### *Astrophysical polarimetric studies*

High-precision polarimetric measurements were obtained for cool white dwarfs without any spectral features to evaluate their magnetic fields via circular polarisation in the continuum. Polarised X-ray space-based measurements helped constrain the disk-jet geometry in the black hole X-ray binary Cygnus X-1. UV spectropolarimetry was proposed for investigating magneto-accretion in young stars with protoplanetary disks. Inversions of reflected light variations can help detect artificial structures on or around exoplanets. High-precision polarimetry of asteroids in the solar system revealed their composition.

## Panoramica dei risultati principali nel 2022

### *La polarizzazione solare del continuo come verifica chiave dei modelli dell'atmosfera solare*

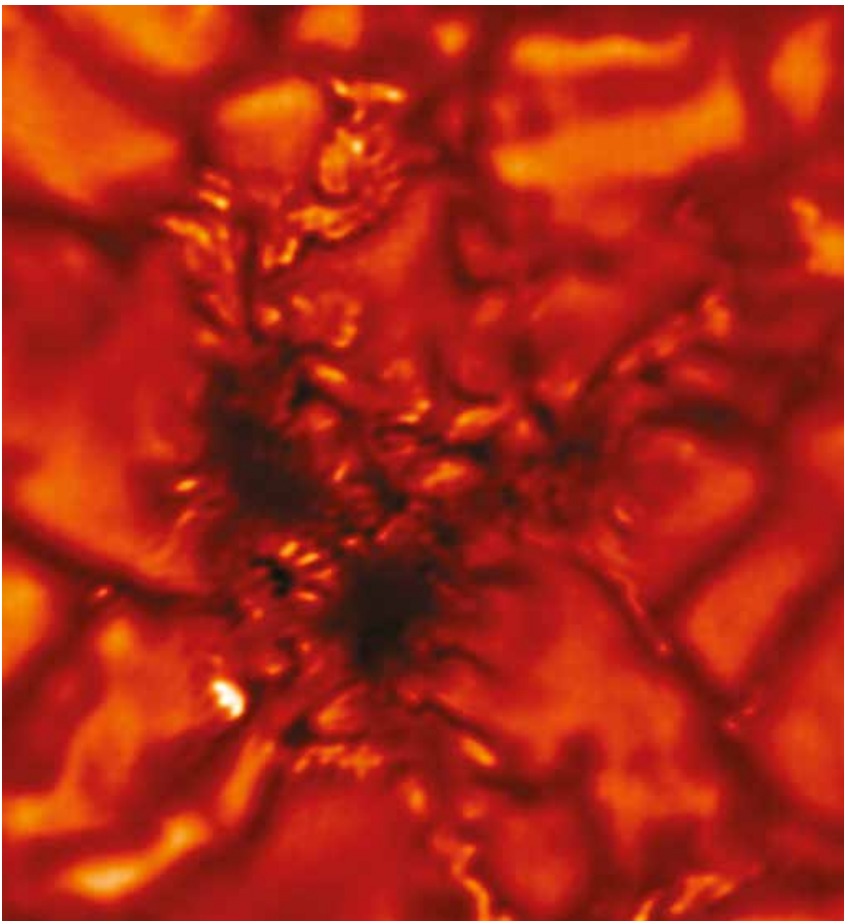
Un'analisi approfondita e la modellizzazione di precedenti misurazioni solari della polarizzazione del continuo solare effettuate con il polarimetro ZIMPOL al telescopio IRSOL hanno dimostrato un ottimo accordo con il modello solare standard nelle zone spettrali del blu e un lieve disaccordo nel rosso. Per verificare queste misure e comprendere la fonte delle discrepanze, sono state ottenute nuove osservazioni con ZIMPOL al telescopio GREGOR a Tenerife. Questi nuovi dati hanno confermato le misure precedenti, mentre la fonte delle deviazioni dal modello è in fase di studio.

### *Evoluzione dei campi magnetici solari turbolenti durante il ciclo solare*

I campi magnetici turbolenti sono onnipresenti sul Sole. L'intera fotosfera solare è riempita da questi deboli campi magnetici intrecciati e, a causa del grande volume, la loro energia magnetica supera quella delle macchie solari. Sfruttando le potenzialità dell'effetto Hanle differenziale nelle linee spettrali della molecola  $C_2$ , analizziamo i dati del programma sinottico di misurazioni sistematiche dei campi magnetici turbolenti condotto con ZIMPOL all'IRSOL dal 2009. Una nuova procedura, significativamente più precisa, per l'analisi dei dati sinottici  $C_2$  è stata sviluppata e testata nel 2022. Riducendo gli errori sistematici, si sta studiando l'evoluzione dei campi magnetici turbolenti in relazione al ciclo solare di 11 anni. Le variazioni spaziali sono studiate con il telescopio GREGOR, come mostra l'immagine solare ottenuta nella banda  $C_2$ .

### *Studi polarimetrici astrofisici*

Sono state ottenute misure polarimetriche di alta precisione per nane bianche fredde senza caratteristiche spettrali peculiari, per valutare i loro campi magnetici attraverso la misura della polarizzazione circolare nel continuo. Misure di polarizzazione nei raggi X effettuate nello spazio hanno contribuito a porre dei limiti alla geometria del disco-getto nella binaria a raggi X Cygnus X-1, costituita da un buco nero. La spettropolarimetria nell'UV è stata proposta per studiare l'accrescimento magnetico in stelle giovani dotate di dischi protoplanetari. Le inversioni delle variazioni di luce riflessa possono aiutare a rilevare strutture artificiali sulla superficie o nei dintorni degli esopianeti. La polarimetria di alta precisione di asteroidi del sistema solare ne ha rivelato la composizione.



An image of solar granulation and magnetic fields measured in the molecular  $C_2$  band with the GREGOR telescope (Tenerife). Bright magnetic features have substructure smaller than 100 km.

L'immagine della granulazione solare e dei campi magnetici ottenuta nella banda  $C_2$  molecolare con il telescopio GREGOR (Tenerife). Le concentrazioni magnetiche luminose hanno una sottostruttura inferiore a 100 km.



# 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 Schläfli 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 l'ETH 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 Schläfli dall'Accademia svizzera di scienze naturali. Dal 2003 lavora all'IRSOL 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 attività solare. È 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'IRSOL.

**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

Michel Basili, Civil service – Michele Bianda, Senior Scientist – Ezio Bonetti, Civil service – Daniel Gisler, Senior Scientist – Gianpaolo Mari, Technician – Christian Monstein, Scientific Engineer – Michele Moghini, Civil service – Fabio Pagano, Visiting student – Ezio Ranzoni, Civil service – Elia Salmina, Civil service – Christian Skorski, Civil service – Edgar Tommasini, Civil service – Francesco Vitali, Internship – Franziska Zeuner, PostDoc

External collaborators / Collaboratori esterni

Daniele Allegri, SUPSI – Andrea Battaglia, FHNW – Marco Cagnotti, Specola Solare Ticinese – Giuseppe Di Dato, SUPSI – Sara Esteban Pozuelo, IAC, Spain – Jaume Jaume Bestard, IAC, Spain – Laurent Jolissaint, HEIG-VD – Roberto Gardenghi, SUPSI – Andriy Gorobets, KIS, Germany – Samuel Krucker, FHNW – Marco Rogantini, SUPSI – Andrea Salvadè, SUPSI – Javier Trujillo Bueno, IAC, Spain

### 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 cross-talks generated by the turbulence in the Earth's atmosphere. The ZIMPOL system is constantly being refined in collaboration with SUPSI's Institute for Systems and Applied Electronics (ISEA), also keeping an eye on possible applications of the instrument in other research areas. For example, a particular technique in pharmaceuticals for measuring the structure of chiral molecules was recently developed and patented at the Optical Materials Engineering Laboratory (OMEL) of ETH Zurich together with IRSOL, thanks to a ZIMPOL system provided on loan to OMEL.

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-Perot 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'IRSOL 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 ed elettronica applicata (ISEA) della SUPSI, tenendo d'occhio anche possibili applicazioni dello strumento in altri ambiti di ricerca. Per esempio, di recente è stata brevettata presso l'OMEL (Optical Materials Engineering Laboratory) dell'ETH di Zurigo una particolare tecnica in ambito farmaceutico per la misura della struttura di molecole chirali, grazie a un sistema ZIMPOL messo a disposizione dall'IRSOL.

La strumentazione dell'IRSOL 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-Perot regolabile con una banda passante di 30 mÅ. Il telescopio locarnese è particolarmente adatto per ottenere misure di eccellente qualità spettropolarimetrica. Per misure che richiedono pure un'alta risoluzione spaziale vengono regolarmente organizzate dall'IRSOL 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'IRSOL 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.

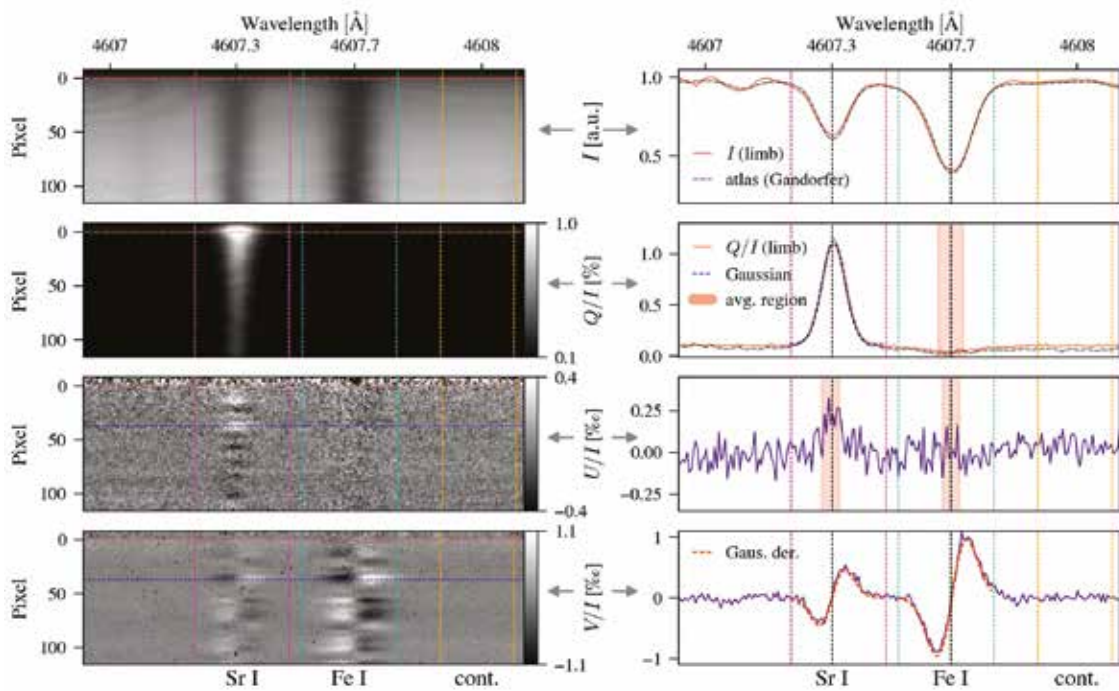
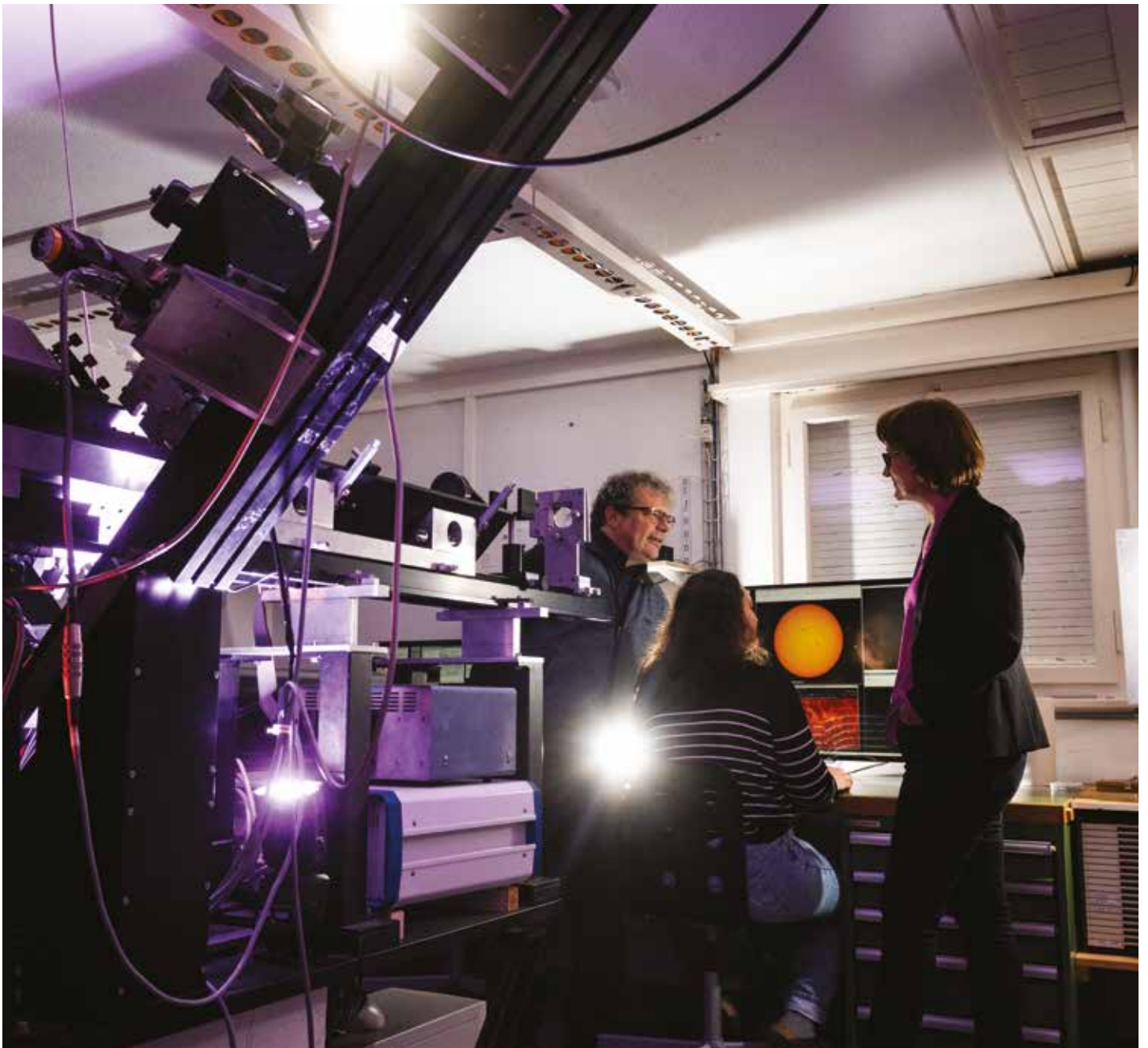
Il gruppo di ricerca è impegnato nella messa a punto di strumentazione innovativa per sviluppare ulteriormente le proprie potenzialità in ambito osservativo e in vista del progetto EST (European Solar Telescope) per il quale collabora all'interno di un consorzio che coinvolge vari istituti europei.

### Overview of main results in 2022

Measuring and interpreting weak small-scale magnetic fields in the solar atmosphere are crucial, yet challenging, tasks. Observations of scattering polarisation and the Hanle effect in various spectral lines are increasingly used to complement traditional magnetic field determination techniques. In 2022, we published the first observational evidence of Hanle rotation in the linearly polarised spectrum of the Sr I line (4607Å) at several limb distances. Despite being observed in various other scattering-sensitive spectral lines since several decades, this phenomenon of Hanle rotation remained elusive in Sr I, one of the strongest scattering polarisation signals in the photosphere. The detection was made possible by achieving highly precise and unprecedentedly accurate polarisation measurements, where we combined the fast-modulating ZIMPOL at the IRSOL observatory with a novel technique based on a slow modulator installed in front of the telescope, which has been developed in the framework of the EU Horizon 2020 Solarnet project. We believe that this opens the window to a new useful tool to diagnose weak small-scale magnetic fields, which can be routinely applied on small spatial scales in the era of the new large aperture solar telescopes. The same technique has been successfully implemented for the first time in a scientific observing campaign that IRSOL organised together with KIS at the GREGOR telescope. Several improvements have been implemented in the instrumentation at IRSOL. The new upgrade of the spectrograph control has been completed. The ZIMPOL camera electronics have been redesigned by ISEA at SUPSI. This will guarantee the maintainability of the system in the future and will allow to apply further improvements to the system that will enhance the efficiency of the polarimetric system. These improvements are part of the SNF research project "Astrophysical Spectropolarimetry" that has been granted in 2022. It will thus be possible to increase the sensitivity of the scientific observations foreseen in the same project. These include flare observations jointly with the STIX Spectrometer Telescope for Imaging X-rays (STIX) on Solar Orbiter, synoptic programs to study the evolution of the magnetic field on the quiet Sun and the production of a new improved atlas of the second solar spectrum.

### Panoramica dei risultati principali nel 2022

La misura e l'interpretazione dei deboli campi magnetici su piccola scala nell'atmosfera solare sono compiti cruciali e impegnativi. Le misure della polarizzazione da diffusione e dell'effetto Hanle in varie linee spettrali sono sempre più utilizzate accanto alle tradizionali tecniche di determinazione del campo magnetico. Nel 2022 abbiamo pubblicato la prima prova osservativa della rotazione del piano di polarizzazione dovuta all'effetto Hanle nella linea dello stronzio (4607Å) osservata a diverse distanze dal bordo solare. Nonostante sia stato rilevato da diversi decenni in diverse altre linee spettrali, tale fenomeno di rotazione è rimasto elusivo nella riga dello stronzio, dove vi è uno dei segnali di polarizzazione fotosferici più forti dello spettro solare. Il rilevamento è stato possibile grazie a misure di polarizzazione estremamente accurate effettuate a Locarno, per le quali è stata combinata la modulazione veloce di ZIMPOL con una tecnica innovativa basata su un modulatore lento installato davanti al telescopio, che è stata sviluppata nell'ambito del progetto Solarnet del programma europeo H2020. Riteniamo che ciò apra la strada a un nuovo strumento di diagnosi dei campi magnetici deboli su piccola scala, che potrà essere applicato per misure di routine presso i nuovi telescopi solari a grande apertura. La stessa tecnica è stata implementata con successo per la prima volta in una campagna di osservazioni scientifiche che l'IRSOL ha organizzato insieme al KIS presso il telescopio GREGOR. Sono stati apportati diversi miglioramenti alla strumentazione dell'IRSOL. È stato completato il nuovo sistema di controllo dello spettrografo. L'elettronica della camera ZIMPOL è stata ridisegnata dall'ISEA presso la SUPSI. Ciò garantirà la mantenibilità del sistema anche in futuro e permetterà di applicare ulteriori miglioramenti che ne aumenteranno l'efficienza. Questi sviluppi sono inclusi nei finanziamenti del progetto di ricerca SNF «Astrophysical Spectropolarimetry» che è appena stato approvato a fine settembre. Sarà così possibile incrementare la sensibilità delle osservazioni scientifiche previste nello stesso progetto. Fra di esse sono in programma osservazioni di brillamenti solari congiuntamente con lo Spectrometer Telescope for Imaging X-rays (STIX) da Solar Orbiter, programmi sinottici per studiare l'evoluzione del campo magnetico solare e la produzione di un nuovo atlante del secondo spettro solare.



Spectropolarimetric observations in Sr I published by Zeuner et al. (2022). Osservazioni spettropolarimetriche della riga Sr I pubblicate da Zeuner et al. (2022)

# 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 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 3100 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 3100 citazioni. Dal 2014 conduce 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

Astro- and solar-physical research depend almost entirely on remote sensing by studying the light the stars and the Sun send us. We cannot directly travel to the stars or the Sun to study these objects in situ and carry out experiments on them. To compensate for this lack of accessibility, we simulate stars and the Sun, or small parts 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), since the stellar plasma is highly conductive to electric currents. Together, these equations build the magnetohydrodynamic equations, a set of eight partial differential equations, where the energy equation also involves the solution of an equation that describes the transport of radiation. Since these equations can generally not be solved analytically, that is, using paper and pencil alone, we do that numerically on powerful computers like Piz Daint of the Swiss National Supercomputing Center (CSCS). Thus, we take the Sun and stars into the computer to study them from close and in detail.

However, to make sure that we are simulating the real Sun and not some fictional object, we compare the Sun in the computer with observations of the actual Sun. For that, we synthesise observable quantities from the artificial Sun, such as maps of the radiative intensity or spectra, which can be directly compared with real observations. In this (post dictional) step, we strive to include the essential physical ingredients and apply adequate initial and boundary conditions until a satisfactory agreement with observations is achieved. This step, which continuously must be repeated as new and better observations come along, builds confidence that the artificial Sun in the computer is a good representation of the actual Sun. It 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. On the other hand, observations provide two-dimensional pictures, usually only hinting at the three-dimensional structure. 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.

Third, 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 che le stelle e il Sole ci inviano. Non possiamo recarci direttamente sulle stelle o sul Sole per studiare questi oggetti in situ ed 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), poiché il plasma stellare è altamente conduttivo alle correnti elettriche. Insieme, queste equazioni costituiscono le equazioni magnetoidrodinamiche, un insieme di otto equazioni differenziali parziali in cui l'equazione dell'energia comporta anche la soluzione di un'equazione che descrive il trasporto della radiazione. Poiché in genere queste equazioni non possono essere risolte analiticamente, cioè solo con carta e matita, lo facciamo numericamente su potenti computer come il Piz Daint 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 e non un oggetto fittizio, confrontiamo il Sole nel computer con le osservazioni del Sole reale. A tal fine sintetizziamo quantità osservabili dal Sole artificiale, come mappe dell'intensità radiativa o spettri, che possono essere confrontati direttamente con le osservazioni reali. In questa fase (post-dizione), ci sforziamo di includere gli ingredienti fisici essenziali e di applicare condizioni iniziali e al contorno adeguate, fino a raggiungere un accordo soddisfacente con le osservazioni. Questa procedura, che deve essere continuamente ripetuta con l'arrivo di nuove e migliori osservazioni, migliora l'attendibilità del Sole artificiale nel computer, affinché sia una buona rappresentazione del Sole reale. In genere vengono utilizzati strumenti di analisi del trasporto radiativo e di polarimetria, come 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, mentre le osservazioni forniscono immagini bidimensionali, che di solito possono fornire solo suggerimenti sulla struttura tridimensionale. 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. In terzo luogo, 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.

## Overview of main results in 2022

The visible solar surface is other than smooth. It is structured by the convective motion of the solar plasma, which gives rise to a granular pattern of a scale of 1000 km of hot and bright, upwelling gas framed by cool and dark, down-drafting material in the intergranular space. On scales smaller than 100 km exist bright filigreed features that are concentrations of magnetic fields. This small-scale magnetic field is suspected to be generated by a small-scale dynamo (SSD) driven by the turbulent plasma motion in the near-surface layers of the Sun. Mathematically, this process is described by the magnetohydrodynamic equations, which we solve numerically on the computer with the simulation code CO5BOLD. In the current reporting period, F. Riva numerically simulated a small portion of the near-surface layers of the Sun starting with a feeble magnetic field of a strength of 1mG, which then is amplified by action of the SSD. In the saturation phase of this dynamo, we obtain kG flux concentrations at the solar surface, very similar to what is observed. However, not all of this magnetic field is generated in the surface layers. We found that the magnetic field from the deeper layers of the convection zone must contribute to obtaining kG flux concentrations at the surface.

To widen the perspective on the Sun itself, F. Riva started to investigate SSD action in other cool main-sequence stars, particularly stars of spectral types F5V, G2V, K2V, and K8V. They all reach the saturation level at about the same magnetic to kinetic energy ratio, irrespective of the growth rate of the amplification. In the final phase, strong kG magnetic flux concentrations form at the stellar surface, which appear as magnetic bright features (MBFs). The K2V and G2V models display the highest number of MBFs with about twice the magnetic flux in MBFs compared to models K8V and F5V. We presented the first results at the Cool Stars 21 meeting in Toulouse and we are presently preparing a publication with the final results of this study.

Also in 2022, F. Riva adapted two different radiative transfer modules of the CO5BOLD code to hybrid, Message Passing Interface (MPI) and OpenMP, parallelization. Scaling performances of this parallelization, as well as results of verification, were reported in several issues of the CO5BOLD Quarterly Companion (CQC), a newsletter circulated among CO5BOLD users. The post-processing and analysis of numerical simulations is as essential and time-consuming as the simulations themselves. Presently, we are particularly interested in the discovery and visualization of vortical flows in the solar atmosphere. J.R. Canivete Cuissa developed a new method for identifying vortices in two-dimensional, turbulent, and magneto-hydrodynamical flows. The meth-

od is based on a state-of-the-art mathematical criterion, called Rortex, and on the morphological characterization of the velocity field. Combined with a machine-learning clustering algorithm, the method allows for a robust, reliable, and automated identification of swirling motions. We published an open-source Python package (SWIRL, [www.github.com/jcanivete/swirl](http://www.github.com/jcanivete/swirl)), which implements the identification algorithm. The algorithm and tests with it were described in a paper (see publication list).

The SWIRL algorithm was used to conduct a statistical analysis of vortical motions in numerical simulations of the solar atmosphere carried out with the CO5BOLD code. The results show, among others, a tight correlation between photospheric swirls and torsional Alfvénic waves, confirming previous results with a statistical approach. The SWIRL algorithm was also applied to study vortical motions in numerical simulations of coronal loops (with C. Breu, St. Andrews) and cool stars atmospheres (with F. Riva, IRSOL). Results were presented in several international meetings (see list of talks and posters).

J.R. Canivete Cuissa was also engaged in the development of the RAMSES code with R. Teyssier (Princeton University). The numerical solvers of the code have been modified to allow for simulations of subsonic, turbulent magneto-convection, typical of stellar interiors. The code is now able to perform «box-in-a-star» and «star-in-a-box» simulations of solar-like stars. He is also collaborating with a group of PhD students at the University of Zurich led by P. Saha (UZH) on the characterization of exoplanets using intensity interferometric techniques.



### Panoramica dei risultati principali nel 2022

La superficie solare visibile è tutt'altro che liscia. È strutturata dal moto convettivo del plasma solare, che dà origine a un modello granulare su scala di 1000 km di gas caldi e luminosi in risalita, attorniti da materiale freddo e scuro in discesa nello spazio intergranulare. Su scale inferiori a 100 km esistono strutture filigranate luminose che sono concentrazioni di campi magnetici. Si sospetta che questo campo magnetico su piccola scala sia generato da una dinamo su piccola scala (SSD) guidata dal moto turbolento del plasma negli strati vicini alla superficie del Sole. Matematicamente questo processo è descritto dalle equazioni magnetoidrodinamiche, che risolviamo numericamente al computer con il codice di simulazione CO5BOLD. Nel periodo in esame, F. Riva ha simulato numericamente una piccola porzione della superficie solare a partire da un debole campo magnetico di intensità pari a 1 mG, che viene poi amplificato dall'azione dell'SSD. Nella fase di saturazione di questa dinamo si ottengono concentrazioni di flusso dell'ordine del kG sulla superficie solare, molto simili a quelle osservate. Tuttavia non tutto questo campo magnetico è generato negli strati superficiali. Abbiamo scoperto che il campo magnetico proveniente dagli strati più profondi della zona di convezione deve contribuire a ottenere concentrazioni di flusso dell'ordine del kG alla superficie.

Per ampliare la prospettiva sul Sole, F. Riva ha iniziato a studiare l'azione della SSD in altre stelle fredde della sequenza principale, in particolare stelle di tipo spettrale F5V, G2V, K2V e K8V. A saturazione, tutti i modelli raggiungono approssimativamente lo stesso rapporto tra

energia magnetica ed energia cinetica, indipendentemente dal tasso di crescita dell'SSD. Nella fase finale si formano forti concentrazioni di flusso magnetico dell'ordine del kG sulla superficie stellare, che appaiono come punti magnetici luminosi (MBF). I modelli K2V e G2V mostrano il maggior numero di MBF con un flusso magnetico circa doppio rispetto ai modelli K8V e F5V. Abbiamo presentato i primi risultati al meeting Cool Stars 21 di Tolosa e stiamo preparando una pubblicazione con i risultati finali di questo studio. Sempre nel 2022, F. Riva ha esteso due diversi moduli di trasporto radiativo del codice CO5BOLD a una parallelizzazione ibrida, Message Passing Interface (MPI) e OpenMP. La scalabilità di questa parallelizzazione e una verifica della sua implementazione sono stati riportati in diversi numeri del CO5BOLD Quarterly Companion (CQC), una newsletter diffusa tra gli utenti di CO5BOLD. La post-elaborazione e l'analisi delle simulazioni numeriche sono essenziali e richiedono tempo quanto le simulazioni stesse. Attualmente siamo particolarmente interessati alla scoperta e alla visualizzazione dei flussi vorticosi nell'atmosfera solare. J.R. Canivete Cuissa ha sviluppato un nuovo metodo per identificare i vortici in flussi bidimensionali, turbolenti e magnetoidrodinamici. Il metodo si basa su una quantità matematica all'avanguardia, chiamata Rortex, e sulla caratterizzazione morfologica del campo di velocità. Combinato con un algoritmo di clustering ad apprendimento automatico, il metodo consente un'identificazione robusta, affidabile e automatizzata dei moti vorticosi. Abbiamo pubblicato un pacchetto Python open-source (SWIRL, [www.github.com/jcanivete/swirl](http://www.github.com/jcanivete/swirl)), che implementa l'algoritmo di identificazione. L'algoritmo e i test condotti con esso sono stati descritti in un articolo (vedi elenco delle pubblicazioni).

L'algoritmo SWIRL è stato utilizzato per condurre un'analisi statistica dei moti vorticosi nelle simulazioni numeriche dell'atmosfera solare effettuate con il codice CO5BOLD. I risultati mostrano, tra l'altro, una stretta correlazione tra i vortici fotosferici e le onde di Alfvén torsionali, confermando i risultati precedenti con un approccio statistico. L'algoritmo SWIRL è stato applicato anche per studiare i moti vorticosi in simulazioni numeriche di loop coronali (con C. Brey, St. Andrews) e di atmosfere di stelle fredde (con F. Riva, IRSOL). I risultati sono stati presentati in diversi incontri internazionali (vedi elenco degli interventi e dei poster).

J.R. Canivete Cuissa è stato anche impegnato nello sviluppo del codice RAMSES con R. Teyssier (Princeton University). Gli algoritmi del codice sono stati modificati per consentire simulazioni di magnetoconvezione subsonica e turbolenta, tipica degli interni stellari. Il codice è ora in grado di eseguire simulazioni «box-in-a-star» e «star-in-a-box» di stelle di tipo solare. Collabora inoltre con un gruppo di dottorandi dell'Università di Zurigo, guidati da P. Saha (UZH), per la caratterizzazione di esopianeti mediante tecniche interferometriche di intensità.







### 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 as Swiss representative in the European Association for Solar Telescopes (EAST).
- Membership in the EST Board of Directors.
- 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 IRSOL's own 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 2022, the observing campaign “ZIMPOL@GREGOR: Observing scattering polarisation with high resolution, high-precision and enhanced accuracy” was carried out on 20-30 August (Zeuner, Berdyugina, Ramelli - in situ, with remote support by Gisler and Bianda). For the first time, the new GREGOR Slow Polarisation Module (GSPM) developed by IRSOL has been successfully employed for scientific measurements with high precision and high accuracy (about 10 parts per million).

### SNF – Sinergia

The SNF Sinergia project “HPC-techniques for 3D modeling of resonance line polarisation with PRD” (CRSII5\_280236; 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), Benedusi (PostDoc, Euler), Sukhorukov (PostDoc, IAC), Riva S. (PhD student, IRSOL, Euler).

### CLASP experiments

IRSOL participates in a series of international (US, Japan, Europe) experiments within the framework of the NASA Sounding Rocket program, 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 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 2022 four new spectrometers as part of the e-Callisto network have been delivered and commissioned to the following locations: University of Malaya in Banting/Malaysia, Egypt Space Agency EgSA in Cairo/Egypt, Laboratorio Nacional de Clima Espacial (LANCE) in Mexico and LA3EQ in Egersund/Norway.

Currently, the network is hosting 210 instruments worldwide whereas on average 70 instruments provide real-time data to the central server. In 2022 the network reported a total of 3494 dynamic solar radio bursts, more than twice as much as in 2021. Data are based on 16365 host-observations.

### Active cooperation with other institutes

- Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), Freiburg, Germany: Cooperation Agreements on joint observations at the German GREGOR telescope, exchange of research personnel, joint development of the VTF instrument for the 4.2 m DK1 Solar Telescope (Maui, USA), joint construction of the GSPM for the GREGOR telescope. Joint research on stochastic thermodynamics and synoptic measurements of the Hanle effect (A. Gorobets).
- Istituto sistemi e elettronica applicata (ISEA), DTI, SUPSI: ZIMPOL development, new telescope motors (A. Salvadè, D. Allegri, R. Gardenghi, M. Rogantini, G. Di Dato, M. Bianchi, S. Giacon).
- Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW): joint solar flare observations IRSOL/STIX (S. Krucker, A. Battaglia).
- Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD): joint research for Adaptive Optics, European Solar Telescope (L. Jolissaint).
- Optical Materials Engineering Laboratory (OMEL), ETH-Zurich: ZIMPOL camera on loan for developing innovative optical activity measurement methods of chiral molecules in pharmaceuticals with the participation of IRSOL (D. Norris, C. Lightner)
- 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, J. Jaime Bestard).
- 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).
- Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic: joint design of Integral Field Unit as a post-focus instrument for EST (J. Jurčák).

### 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). 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 online with open access at <https://sunspots.irsol.usi.ch>.

An institutional agreement between IRSOL and Specola Solare Ticinese has been signed. The agreement foresees that, starting from November 2022, Specola's director Marco Cagnotti 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:

- la partecipazione come rappresentante svizzero all'European Association for Solar Telescopes (EAST).
- appartenenza al consiglio dei direttori di EST
- 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 2022, la campagna osservativa «ZIMPOL@GREGOR: Observing scattering polarisation with high resolution, high-precision and enhanced accuracy» è stata condotta dal 20 al 30 agosto (Zeuner, Berdyugina, Ramelli - in situ, con supporto remoto di Gisler e Bianda). Per la prima volta il nuovo GREGOR Slow Polarisation Module GSPM sviluppato dall'IRSOL è stato impiegato con successo per misure scientifiche ad alta precisione e accuratezza (circa 10 ppm).

### SNF – Sinergia

Il progetto SNF Sinergia «HPC-techniques for 3D modeling of resonance line polarisation with PRD» (CRSII5\_280236; 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), Benedusi (PostDoc, Eulero), Sukhorukov (PostDoc, IAC), Riva S. (Dottorando, IRSOL, Euler).

### 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. 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 2022 sono stati consegnati e messi in funzione quattro nuovi spettrometri come parte della rete e-Callisto nelle seguenti sedi: Università di Malaya a Banting (Malesia), Egypt Space Agency EgSA al Cairo (Egitto), Laboratorio Nacional de Clima Espacial (LANCE) in Messico e LA3EQ a Egersund (Norvegia).

Attualmente la rete ospita 210 strumenti in tutto il mondo, mentre in media 70 strumenti forniscono dati in tempo reale al server centrale. Nel 2022 la rete ha riportato un totale di 3494 radio burst solari dinamici, più del doppio rispetto al 2021. I dati si basano su 16365 osservazioni di strumenti ospiti.



## **Collaborazioni attive con altri istituti**

- Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), Freiburg, Germany: Accordi di cooperazione per osservazioni congiunte al telescopio tedesco GREGOR, scambio di personale di ricerca, collaborazione allo strumento VTF per il telescopio solare DKIST da 4,2 m (Maui, USA), costruzione congiunta del GSPM per il telescopio GREGOR. 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. Giacon).
- Fachhochschule Nordwestschweiz: osservazioni simultanee dei brillamenti solari IRSOL/STIX (S. Krucker, A. Battaglia).
- Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD): ottica adattiva, European Solar Telescope (L. Jolissaint).
- Optical Materials Engineering Laboratory (OMEL), ETH-Zurich: prestito di ZIMPOL e relativo supporto per lo sviluppo di metodi innovativi di misurazione dell'attività ottica di molecole chirali in campo farmaceutico con la partecipazione dell'IRSOL (D. Norris, C. Lightner).
- 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, J. Jaime Bestard).
- High Altitude Observatory (HAO, Boulder, CO, USA): sviluppo e applicazione di nuovi quadri teorici per la generazione e il trasferimento di radiazioni polarizzate (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).

### **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 prevede 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>.

È stato firmato un accordo istituzionale tra IRSOL e Specola Solare Ticinese. L'accordo prevede che, a partire da novembre 2022, il direttore della Specola Marco Cagnotti collabori con l'IRSOL per la comunicazione istituzionale esterna.

### Visits from other institutes

#### Visite da altri istituti

- 14.6 - 2.7 Dr. Sara Esteban Pozuelo, Instituto de Astrofísica de Canarias, Spain (IAC), Observations of prominences and filaments with the new measurement method using the IRSOL TCU and ZIMPOL to allow for absolute polarimetry. / Osservazione di protuberanze e filamenti con un nuovo metodo di misura che impiega la TCU dell'IRSOL e lo ZIMPOL per ottenere una precisa misura assoluta della polarizzazione.
- 29.9 Gilda Schertenleib, Tania Vanetti (USI - corporate design)
- 26.10-15.11 Edoardo Cima (SSST), Enrico Biella, several visits for discussion about the diploma work of Fabio Pagano / diverse visite per la discussione sul lavoro di diploma di Fabio Pagano
- 28.11 Mikael Bianchi, Samuele Giacon (SUPSI), discussion about new telescope motors / progetto di nuova motorizzazione del telescopio.
- 15.12 Janos Cont, Alessio Lavio (L'Ideatorio), Delia Schneider Rizza (Seinschein), Paola Tallarico, Sophie Maffioli (Studio It's) Outreach Project / Progetto di divulgazione "Il Sole: la nostra stella":

### Visits to other institutes

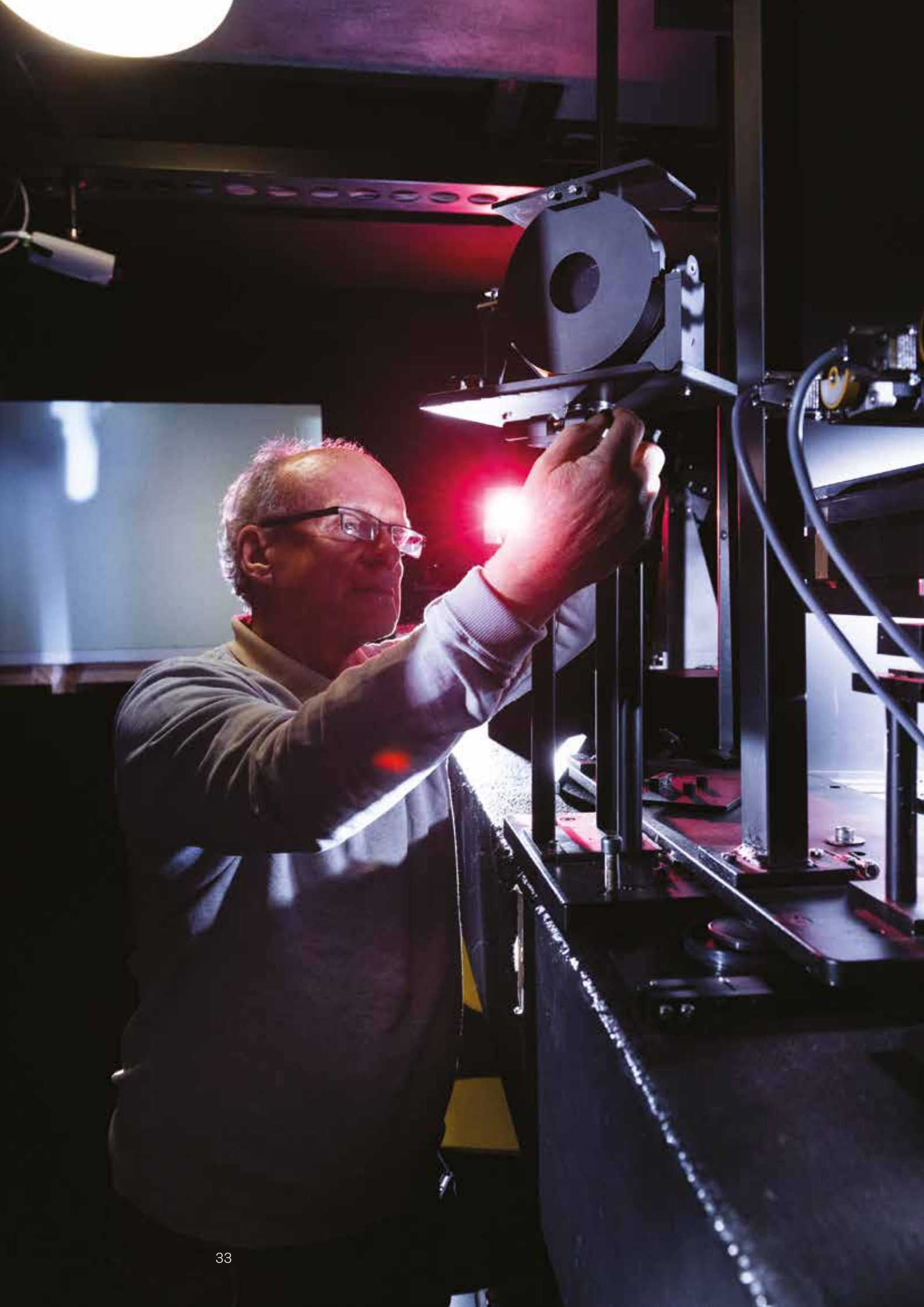
#### Visite ad altri istituti

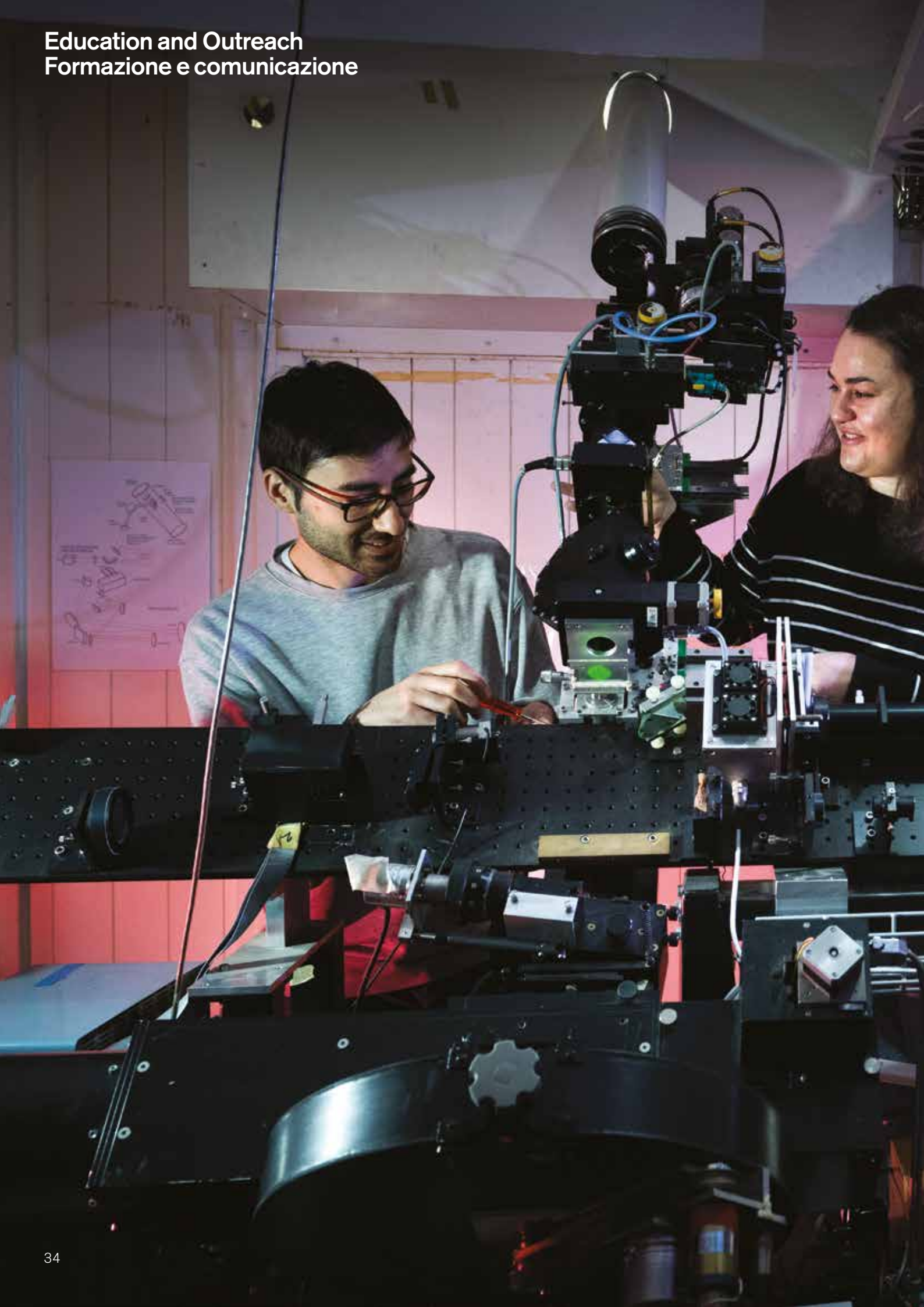
- 1-2.8 Leibniz Institut für Sonnenphysik (KIS) Friburgo, Germania (Zeuner)
- 18.8 L'Ideatorio USI (Belluzzi, Berdyugina, Janett, Ramelli)
- 7.9 L'Ideatorio USI (Berdyugina, Janett, Ramelli)
- 12-16.9 Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), Tenerife (Zeuner)
- 28.10 SUPSI, ZIMPOL meeting, (Berdyugina, Bianda, Gisler, Ramelli)

### Committee memberships

#### Appartenenza a comitati

- Belluzzi, L. Member of the EST Science Advisory Group (SAG), appointed to update the Science Requirement Document (SRD) for the European Solar Telescope (EST).
- Berdyugina, S.V. Member, ISSI Science Committee, Bern.  
Member, Swiss Commission for Astronomy (SCFA).  
Member, College of Helvetic Astronomy Professors (CHAPS).  
Board Member, "Solar Physics" journal, Springer.  
Board Chair, European Solar Telescope (EST).  
Expert, European Research Council (ERC).
- Ramelli, R. Treasurer, Swiss SCOSTEP committee.  
President, Società Astronomica Ticinese.  
Vice-President, Associazione Specola Solare Ticinese.
- Steiner, O. Member, Science Advisory Committee Rosseland Center for Solar Physics, University of Oslo, Norway







**José Roberto Canivete Cuissa**

PhD thesis (ongoing), title (prov.): "Numerical simulations of magneto-convection. From stellar dynamos to small-scale swirling motions"  
(thesis work within SNF project ID 200020\_182094 and UZH Candoc 2022 ID 7104).  
Supervisor: Prof. R. Helled (UZH), co-supervisor: Dr. O. Steiner (IRSOL)

**Simone Riva**

PhD thesis (ongoing), title (prov.): "HPC-techniques for modeling the transfer of polarised radiation with PRD effects" (thesis work within SNF Sinergia project CRSII5\_280236).  
Supervisor: Prof. R. Krause (USI), co-supervisor: Dr. L. Belluzzi (IRSOL).

**Fabio Pagano**

diploma in elettrotecnica al SSST Bellinzona, "Progettazione dell'elettronica di controllo di uno spettrografo". Supervisor: E. Cima (SSST), co-supervisor: M. Bianda (IRSOL).

**Internships  
and Civil services  
Stages  
e Servizio Civile**

**Michel Basili**

(1 Aug- 28 Sep, civil service)  
Work on database and interface for metadata of observations at the telescope /  
Lavoro sul database e sull'interfaccia per i metadati delle osservazioni al telescopio  
(supervisors: R. Ramelli and F. Zeuner)

**Ezio Bonetti**

(8 Aug- 2 Sep, civil service)  
Technical works at the Specola Solare mechanical workshop, and at the IRSOL  
telescope / Lavori tecnici presso l'officina meccanica della Specola e presso il telescopio  
dell'IRSOL (supervisor: M. Bianda)

**Giulio Mazzaglia**

(Dec 2021 – Mag 2022, civil service)  
Analytic and numerical studies and software development /  
Studi analitici e numerici e sviluppo di software  
(supervisors: L. Belluzzi and G. Janett, SNF Sinergia project CRSII5\_280236)

**Giulio Mazzaglia**

(Aug – Sep 2022, internship)  
Continuation of civil service activity / Proseguimento dell'attività di servizio civile  
(supervisors: L. Belluzzi and G. Janett)

**Michele Moghini**

(3 Oct – 29 Nov, civil service)  
Project for new telescope motors / Progetto dei nuovi motori del telescopio  
(supervisor: M. Bianda)

**Fabio Pagano**

(17 Ago 2022 - 13 Jan 2023)  
Work on the new spectrograph controller / Lavoro sul nuovo controller dello spettrografo  
(supervisor: M. Bianda)

**Ezio Ranzoni**

(6 Dec 2021 - 3 May 2022, civil service)  
Work on the new spectrograph controller / Lavoro sul nuovo controller dello spettrografo  
(supervisor: M. Bianda)

**Elia Salmina**

(10 Oct - 23 Dec, civil service)  
Work on the new motor controller of optical devices /  
Lavoro sul nuovo controller del motore del dispositivo ottico  
(supervisors: M. Bianda and D. Gisler)

**Christian Skorski**

(30 May – 1 Apr, civil service)  
Work on the sunspot group database / Lavoro sul database dei gruppi di macchie solari  
(supervisor: R. Ramelli, GCOS project)

**Edgar Tommasini**

(30 May – 29 Jul, civil service)  
Documentation of the telescope electronics in digital format /  
documentazione dell'elettronica del telescopio in un formato digitale  
(supervisor: M. Bianda)

**Francesco Vitali**

(2 Nov 2021 - 28 Feb 2022)  
Analysis work on C2 synoptic data / Lavoro di analisi sui dati sinottici del C2  
(supervisors: R. Ramelli and F. Zeuner)



### **Outreach activities in collaboration with Specola Solare Ticinese**

Specola Solare Ticinese and IRSOL collaborate to host outreach events for the public 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, observations are usually held on Friday evenings during the moon's first quarter. In total, 17 events were planned for 2022, but 7 were cancelled due to inclement weather. A special public event was held for the partial solar eclipse on October 25th.

### **SNF Agorà project in collaboration with L'Ideatorio**

The preparation work of the SNF funded outreach project "Il Sole: La nostra stella" in collaboration with the USI outreach service L'Ideatorio officially started in September 2022. The project is led by Renzo Ramelli and Luca Belluzzi (IRSOL) in collaboration with Janos Cont, Alessio Lavio, Giovanni Pellegrini (L'Ideatorio), Gioele Janett (IRSOL) and Svetlana Berdyugina (IRSOL). The project foresees an exposition at L'Ideatorio with the title "Sole" that will open in September 2023, several outreach events for families and for the general public.

### **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 2022 sono stati organizzati 17 eventi, ma 7 sono stati annullati per le cattive condizioni meteorologiche. Un evento pubblico speciale è stato organizzato in occasione dell'eclissi solare parziale del 25 ottobre.

### **Progetto SNF Agorà in collaborazione con L'Ideatorio**

I lavori di preparazione del progetto di divulgazione finanziato dal FNS "Il Sole: La nostra stella" in collaborazione con il servizio di divulgazione dell'USI L'Ideatorio sono iniziati ufficialmente nel settembre 2022. Il progetto è guidato da Renzo Ramelli e Luca Belluzzi (IRSOL) in collaborazione con Janos Cont, Alessio Lavio, Giovanni Pellegrini (L'Ideatorio), Gioele Janett (IRSOL) e Svetlana Berdyugina (IRSOL). Il progetto prevede una mostra presso L'Ideatorio dal titolo "Sole" che sarà inaugurata nel settembre 2023, diversi eventi di divulgazione per il pubblico e le famiglie e corsi di formazione per insegnanti.

### **Activities with young students**

#### **Attività con giovani studenti**

- 14.4 Gabriele Giovino, stage Scuola Media
- 15.7 Nico Reali, Kantonsschule Zürich Nord, observations and support for Matura work / osservazioni e supporto per lavoro di maturità – Renzo Ramelli

### **Other activities**

#### **Altre attività**

- 15.3 TecDay Liceo di Bellinzona, "Cosa ci svela la luce delle stelle" - Renzo Ramelli
- 28.4 IRSOL visit, Club Ambassador - Renzo Ramelli
- 9.6 Mini-Conferenze - Scuola media di Locarno 2 – Michele Bianda
- 9.6 (morning / mattino) IRSOL visit, Liceo di Locarno 1J (18 students) - Renzo Ramelli
- 9.6 (afternoon / pomeriggio) IRSOL visit, Liceo di Locarno 1G (22 students) - Renzo Ramelli
- 14.7 IRSOL visit, international conference "A Holistic View of Stellar Feedback and Galaxy Evolution" organized at Collegio Papio in Ascona by Durham University, UK
- 7.10 Invited talk "Solar physics with high-precision polarimetry and applications for astrophysics", Associazione Astronomica Astrocalina, Carona, Switzerland – Svetlana Berdyugina
- 15.10 IRSOL visit, international workshop on High-Precision Solar Polarimetry (HPSP) in honor of Dr. Michele Bianda



**Presence in the media**  
**Presenza nei media**

**TV**

- 14.07 Il Quotidiano, RSI LA 1, Questions about James Webb Telescope to astronomers visiting IRSOL / Domande sul James Webb Telescope ad astronomi in visita all'IRSOL  
25.10 Il Quotidiano, RSI LA 1, Partial Solar Eclipse (interview with Berdyugina and Bianda) / Eclissi parziale di Sole (intervista a Berdyugina e Bianda)

**Radio**

- 12.4 Eureka, RETE 1, Interview / Intervista by N. Colotti with Michele Bianda "L'importanza della ricerca accademica e applicata all'USI"  
24.5 Eureka, RETE 1, Interview / Intervista by N. Colotti with Renzo Ramelli  
25.5 Eureka, RETE 1, Interview / Intervista by N. Colotti with Michele Bianda

**Newspapers**

**Stampa**

- 15.4 "L'Irsol cambia nome per ricordare Aldo e Cele Daccò", la Regione  
16.5 "Locarno, una nuova direttrice per l'Irsol", la Regione  
5.7 "L'astrophysicienne Svetlana Berdyugina a les yeux dirigés vers le Soleil, à Locarno", Le Temps, interview with / intervista con Svetlana Berdyugina  
19.10 "Irsol Locarno, un seminario per omaggiare Michele Bianda", la Regione  
30.12 "Previsioni 'meteo' anche dalla superficie del Sole", la Regione, interview with / intervista con Svetlana Berdyugina

**Online news**

**Notizie online**

- 16.5 "Una nuova direttrice scientifica per l'IRSOL", Ticinoonline  
27.7 "La nostra missione? Capire meglio l'attività magnetica del Sole", Ticino Scienza, interview with Svetlana Berdyugina

**USI Flash**

- 19.4 "IRSOL cambia nome"  
16.5 "Nuova leadership all'IRSOL"  
17.10 "Workshop internazionale in onore di Michele Bianda"  
12.12 "La storia di successo dell'IRSOL"

**Magazine**

**Riviste**

- "Michele Bianda, L'uomo che conosce i segreti del Sole", di Teresio Valsesia, La Rivista – Mensile Illustrato del Locarnese e Valli, Agosto/Settembre 2022 (Nr.8-9)





**People  
Persone**

**Foundation Council  
Consiglio di fondazione**

**Prof. Dr. Philippe Jetzer, President**  
**Avv. Fulvio Pelli, Vice-President**  
**Fis. Paolo Ambrosetti, Secretary**  
**Prof. Dr. Boas Erez**  
**Prof. Dr. Raffaella Castagnola-Rossini**  
**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. Manfred Schüssler**  
Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung,  
Göttingen (DE)

**Administration**

**Amministrazione**

**Prof. Dr. Svetlana Berdyugina**

Director\*

Direttrice

**Dr. Michele Bianda**

Director\*\*

Direttore

**Dr. Renzo Ramelli**

Deputy-director

Vice direttore

**Katya Gobbi**

Secretary

Segretaria

\*from / da 01.05.2022

\*\*till / fino a 30.04.2022

**Group Leaders**

**Capigruppo**

**Dr. Luca Belluzzi**

**Prof. Dr. Svetlana Berdyugina**

**Dr. Michele Bianda\***

**Dr. Renzo Ramelli**

**Dr. Oskar Steiner**

\*till / fino a 30.04.2022

**Researchers**

**Ricercatori**

**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**

**Technical Staff**

**Personale tecnico**

**Gianpaolo Mari**

**Internships – Civil Service**

**Stagisti – servizio civile**

**Michel Basili**

**Ezio Bonetti**

**Giulio Mazzaglia**

**Michele Moghini**

**Fabio Pagano**

**Ezio Ranzoni**

**Elia Salmina**

**Christian Skorski**

**Edgar Tommasini**

**Francesco Vitali**

**Outsourced Services**

**Servizi esternalizzati**

**Mauro Bonetti**

HSI ZETA, IT services

**Marco Cagnotti**

Specola Solare Ticinese, Comunicazione istituzionale  
e divulgazione / Institutional communication  
& Outreach

**Dragana Maric**

IDM Pulizie Generali, cleaning services

**Diego Truccolo**

HSI ZETA, IT services

**Dema Service Sagl**

Orselina, impresa di giardinaggio / gardening services







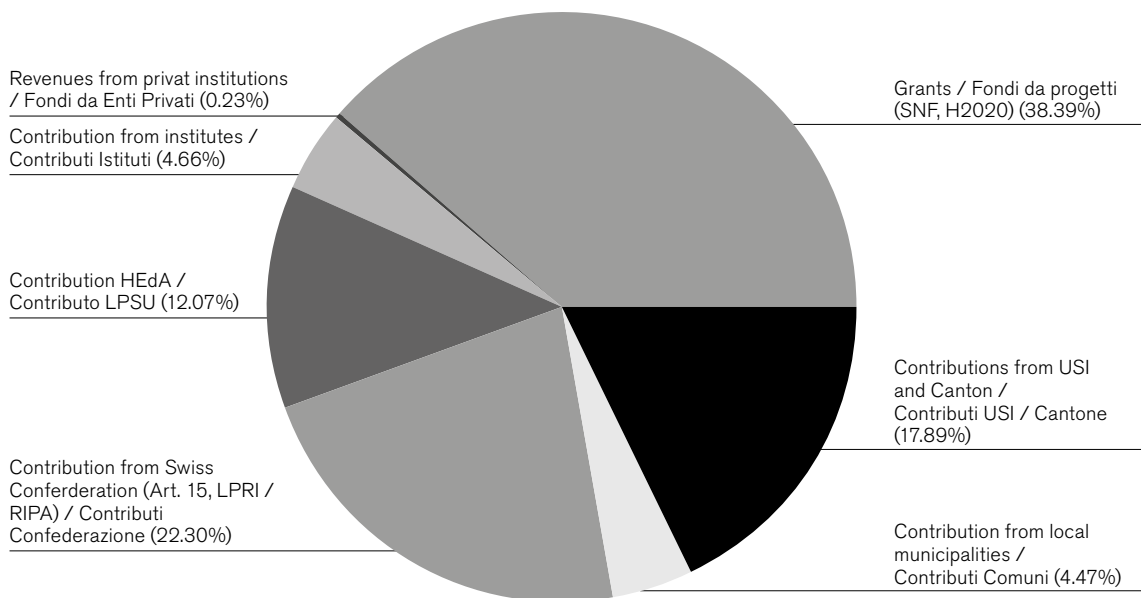
<b>Balance sheet 2022 / Bilancio 2022</b>	<b>Assets / Attivi</b>	<b>Liabilities / Passivi</b>
Liquidity / Liquidità	1'344'729	
Temporary receivables / Ratei e risconti attivi	165'356	
Financial assets / Immobilizzazioni finanziarie	1'841'377	
Tangible Fixed Assets / Immobilizzazioni materiali	1'042'466	
Instrumentation / Strumentazione	404'347	
Temporary payables / Ratei e risconti passivi		142'184
Equity of the foundation / Capitale proprio		1'640'885
<b>Annual result / Risultato d'esercizio</b>		<b>3'015'206</b>
<b>Total / Totali</b>	<b>4'798'275</b>	<b>4'798'275</b>

<b>Profit and Loss Account / Conto economico 2022</b>	<b>Revenues / Ricavi</b>	<b>Costs / Costi</b>
Personnel costs / Costi per il personale		845'818
Maintenance of buildings / Manutenzione stabili		24'937
Maintenance of equipments / Manutenzione strumentazione		11'763
Administrative costs / Costi amministrativi		7'352
Management costs / Spese di gestione		10'845
Technical and IT equipment / Materiale tecnico ed informatico		10'628
Seminars / Seminari		14'811
Travels and lodging / Trasferte e alloggi		19'063
Project costs / Costi relativi a progetti		87'641
Support for institutional communication / Supporto per la comunicazione istituzionale		1'667
Other costs / Altri costi		5'595
Depreciation / Ammortamenti		32'241
Contributions from USI and Canton / Contributi USI/Cantone	200'000	
Contribution from local municipalities / Contributi Comuni	50'034	
Contribution from Swiss Confederation (Art. 15, LPRI/ RIPA) / Contributi Confederazione	249'300	
Contribution HEdA / Contributo LPSU	134'999	
Contribution from institutes / Contributi Istituti	52'051	
Revenues from privat institutions / Fondi da Enti Privati	2'532	
Grants / Fondi da progetti (SNF, H2020)	429'184	
	<b>1'118'100</b>	<b>1'072'361</b>
<b>Margin before non operational items / Risultato operativo prima del risultato accessorio</b>		<b>45'739</b>
Financial costs / Costi finanziari		28'957
Extraordinary costs / Costi straordinari		3'455
Financial revenues / Ricavi finanziari	1'605	
Extraordinary revenues / Ricavi straordinari	3'000'274	
<b>Annual result / Risultato d'esercizio</b>		<b>3'015'206</b>
<b>Total / Totali</b>	<b>4'119'979</b>	<b>4'119'979</b>



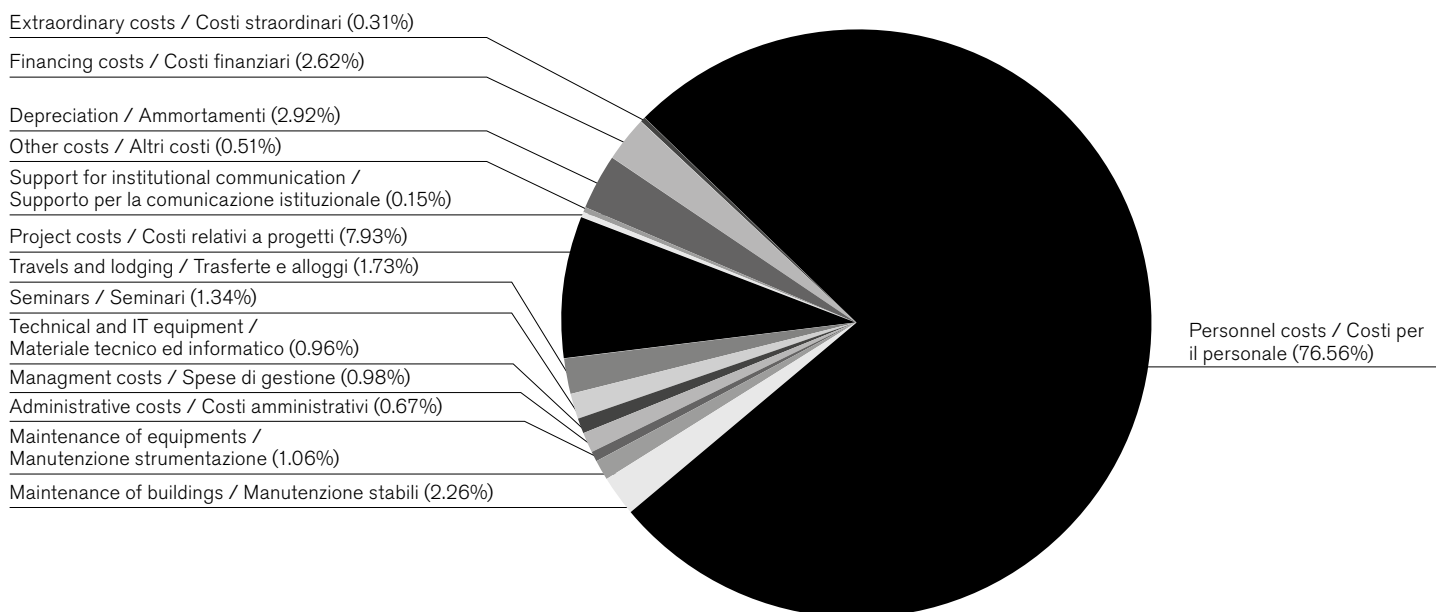
**Revenues 2022:  
ordinary revenues  
and contributions**

**Ricavi 2022:  
fondi e contributi  
ordinari**



**Costs  
2022**

**Costi  
2022**







**The transfer of polarized radiation in resonance lines with partial frequency redistribution, J-state interference, and arbitrary magnetic fields. A radiative transfer code and useful approximations**

Alsina Ballester, E., Belluzzi, L., Trujillo Bueno, J. 2022, *Astronomy and Astrophysics*, 664, A76

**Numerical solutions to linear transfer problems of polarized radiation. III. Parallel preconditioned Krylov solver tailored for modeling PRD effects**

Benedusi, P., Janett, G., Riva, S., Krause, R., Belluzzi, L. 2022, *Astronomy and Astrophysics*, 664, A197

**Innovative and automated method for vortex identification. I. Description of the SWIRL algorithm**

Canivete Cuissa, J. R., Steiner, O. 2022, *Astronomy and Astrophysics*, 668, A118

**Toward fully compressible numerical simulations of stellar magneto-convection with the RAMSES code**

Canivete Cuissa, J. R., Teyssier, R. 2022, *Astronomy and Astrophysics*, 664, A24

**The polarization angle in the wings of Ca I 4227: A new observable for diagnosing unresolved photospheric magnetic fields**

Capozzi, E., Alsina Ballester, E., Belluzzi, L., Trujillo Bueno, J. 2022, *Astronomy and Astrophysics*, 657, A44

**First Solar Radio Burst Observations by the Mexican Array Radio Telescope (MEXART) at 140 MHz**

Huipe-Domratcheva, E., De la Luz, V., Casillas-Perez, G. A., Mejia-Ambriz, J. C., Perez-Leon, E., Gonzalez-Esparza, J. A., Monstein, C., Reeve, W. 2022, *Solar Physics*, 297, 9

**Spectropolarimetric observations of the solar atmosphere in the H $\alpha$  6563 Å line**

Jaume Bestard, J., Trujillo Bueno, J., Bianda, M., Štěpán, J., Ramelli, R. 2022, *Astronomy and Astrophysics*, 659, A179

**Polarized x-rays constrain the disk-jet geometry in the black hole x-ray binary Cygnus X-1**

Krawczynski, H., Muleri, F., Dovčiak, M., Veledina, A., Rodriguez Caverio, N., Svoboda, J., Ingram, A., Matt, G., Garcia, J. A., Loktev, V., Negro, M., Poutanen, J., Kitaguchi, T., Podgorný, J., Rankin, J., Zhang, W., Berdyugin, A., Berdyugina, S. V., Bianchi, S., Blinov, D., Capitanio, F., Di Lalla, N., Draghis, P., Fabiani, S., Kagitani, M., Kravtsov, V., Kiehlmann, S., Latronico, L., Lutovinov, A. A., Mandarakas, N., Marin, F., Marinucci, A., Miller, J. M., Mizuno, T., Molkov, S. V., Omodei, N., Petrucci, P.-O., Ratheesh, A., Sakano, T., Semena, A. N., Skalidis, R., Soffitta, P., Tennant, A. F., Thahammer, P., Tombesi, F., Weisskopf, M. C., Wilms, J., Zhang, S., Agudo, I., Antonelli, L. A., Bachetti, M., Baldini, L., Baumgartner, W. H., Bellazzini, R., Bongiorno, S. D., Bonino, R., Brez, A., Bucciantini, N., Castellano, S., Cavazzuti, E., Ciprini, S., Costa, E., De Rosa, A., Del Monte, E., Di Gesù, L., Di Marco, A., Donnarumma, I., Doroshenko, V., Ehlert, S. R., Enoto, T., Evangelista, Y., Ferrazzoli, R., Gunji, S., Hayashida, K., Heyl, J., Iwakiri, W., Jorstad, S. G., Karas, V., Kolodziejczak, J. J., La Monaca, F., Liodakis, I., Maldera, S., Manfreda, A., Marscher, A. P., Marshall, H. L., Mitsuishi, I., Ng, C.-Y., O'Dell, S. L., Oppedisano, C., Papitto, A., Pavlov, G. G., Peirson, A. L., Perri, M., Pesce-Rollins, M., Pilia, M., Possenti, A., Puccetti, S., Ramsey, B. D., Romani, R. W., Sgrò, C., Slane, P., Spandre, G., Tamagawa, T., Tavecchio, F., Taverna, R., Tawara, Y., Thomas, N. E., Trois, A., Tsygankov, S., Turolla, R., Vink, J., Wu, K., Xie, F., Zane, S. 2022, *Science*, 378, 650

**Trieste CALLISTO station setup and observations of solar radio bursts**

Marassi, A., Monstein, C. 2022, *Advances in Space Research*, 69, 2589

**Magnetic imaging of the outer solar atmosphere (MI $\text{M}\text{O}$ -SA)**

Peter, H., Alsina Ballester, E., Andretta, V., Auchère, F., Belluzzi, L., Bemporad, A., Berghmans, D., Buchlin, E., Calcines, A., Chitta, L. P., Dalmasse, K., del Pino Alemán, T., Feller, A., Froment, C., Harrison, R., Janvier, M., Matthews, S., Parenti, S., Przybylski, D., Solanki, S. K., Štěpán, J., Teriaca, L., Trujillo Bueno, J. 2022, *Experimental Astronomy*, 54, 185

**The European Solar Telescope**

Quintero Noda, C., Schlichenmaier, R., Bellot Rubio, L. R., et al., including Belluzzi, L., Berdyugina, S. V., Bianda, M., Gisler, D., Guerreiro, N., Janett, G., Ramelli, R., Steiner, O., Stenflo, J. O., Zeuner, F. 2022, *Astronomy and Astrophysics*, 666, A21

**Quiet Sun Center to Limb Variation of the Linear Polarization Observed by CLASP2 Across the Mg II h and k Lines**

Rachmeler, L. A., Trujillo Bueno, J., McKenzie, D. E., Ishikawa, R., Auchère, F., Kobayashi, K., Kano, R., Okamoto, T. J., Bethge, C.

W., Song, D., Alsina Ballester, E., Belluzzi, L., del Pino Alemán, T., Asensio Ramos, A. A., Yoshida, M., Shimizu, T., Winebarger, A., Kobelski, A. R., Vigil, G. D., De Pontieu, B., Narukage, N., Kubo, M., Sakao, T., Hara, H., Suematsu, Y., Štěpán, J., Carlsson, M., Leenaarts, J. 2022, *The Astrophysical Journal*, 936, 67

**Methodology for estimating the magnetic Prandtl number and application to solar surface small-scale dynamo simulations**

Riva, F., Steiner, O. 2022, *Astronomy and Astrophysics*, 660, A115

**Polarization Accuracy Verification of the Chromospheric LAYER Spectropolarimeter**

Song, D., Ishikawa, R., Kano, R., McKenzie, D. E., Trujillo Bueno, J., Auchère, F., Rachmeler, L. A., Okamoto, T. J., Yoshida, M., Kobayashi, K., Bethge, C., Hara, H., Shinoda, K., Shimizu, T., Suematsu, Y., De Pontieu, B., Winebarger, A., Narukage, N., Kubo, M., Sakao, T., Asensio Ramos, A., Belluzzi, L., Štěpán, J., Carlsson, M., del Pino Alemán, T., Alsina Ballester, E., Vigil, G. D., Leenaarts, J. 2022, *Solar Physics*, 297, 135

**Hanle rotation signatures in Sr I 4607 Å**

Zeuner, F., Belluzzi, L., Guerreiro, N., Ramelli, R., Bianda, M. 2022, *Astronomy and Astrophysics*, 662, A46

**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. 2022, arXiv:2212.11098

**Towards an automated e-Callisto radio burst identification and event reporting system for the space weather community**

Bussons Gordo, J., Fernández Ruiz, M., Prieto, M., Monstein, C. 2022, 44th COSPAR Scientific Assembly. Held 16-24 July, 44, 3222

**Small scale Alfvénic vortices in the solar atmosphere**

Canivete Cuissa, J. R., Battaglia, A., Steiner, O. 2022, 44th COSPAR Scientific Assembly. Held 16-24 July, 44, 2551

**Small-scale vortices in stellar atmospheres**

Canivete Cuissa, J. R., Riva, F., Steiner, O. 2022, Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, 4

**An innovative and automated vortex identification method based on the estimation of the center of rotation with application to solar simulations**

Canivete Cuissa, J. R., Steiner, O. 2022, EGU General Assembly Conference Abstracts, EGU22-5744

**Automatic detection of e-Callisto solar radio bursts by Deep Neural Networks**

Fernández Ruiz, M., Bussons Gordo, J., Prieto M.M., Monstein, C., 2022, 3rd URSI Atlantic and Asia Pacific Radio Science Meeting (AT-AP-RASC), 1-4

**Calibration of CALLISTO data**

Kallunki, J., Monstein, C., Kirves, P., Tammi, J., Mujunen, A., 2022, Aalto University, Finland

**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., 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., 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. 2022, arXiv:2201.09905

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

Riva, F., Canivete Cuissa, J. R., Steiner, O. 2022, Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, 125

**Exoplanet science with intensity interferometry**

Soyuer, D., Zwick, L., Schaefer, T., Saha, P., Neuenschwander, B., Mitchell, A., de Laroussilhe, H., Canivete Cuissa, J. R., Bernardini, M., Baumgartner, S. 2022, Bulletin of the American Astronomical Society, 54, 102.20

**Enhancing the accuracy of solar polarimetry by coalescing slow and fast modulation: method description and first performance tests**

Zeuner, F., Gisler, D., Bianda, M., Ramelli, R., Berdyugina, S. V. 2022, Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IX, 12184, 121840T

**Grants  
Finanziamenti**

**Proposals accepted in  
2022**

**Proposte accettate nel  
2022**

**SNF grants / Finanziamenti SNF**

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

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

**Other grants / Altri finanziamenti**

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

"Statistical analysis of vortical systems: a new automated approach to the detection of swirls", UZH Candoc Grant (57'546 CHF), J.R. Canivete Cuissa, R. Helled (UZH), O. Steiner

"ZIMPOL@GREGOR: Observing scattering polarization with high resolution, high-precision and enhanced accuracy", GREGOR observing period 2022B (equivalent value: 69'000 EUR), F. Zeuner, S. Berdyugina, R. Ramelli, L. Belluzzi, D. Gisler, M. Bianda

"Realistic magneto-hydrodynamic simulations of solar and stellar atmospheres", CSCS production project on Piz Daint, 220'000 node hours (equivalent to about 94'000 CHF), F. Riva and O. Steiner

"High-precision spectropolarimetric measurements with enhanced accuracy for probing the unresolved solar photospheric magnetic field", MERAC Travel Award (2'430 CHF), F. Zeuner

Travel support for Solar Polarization Workshop 10, Kyoto University, Japan (1'900 CHF), F. Zeuner

**Ongoing projects  
Progetti in corso**

**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 k€ for IRSOL)

**SNF 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 - April 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)

**Projects concluded in  
2022  
Progetti conclusi nel  
2022**

**EU projects / Progetti UE**

Preparatory Phase for the European Solar Telescope (PRE-EST), Apr 2017- Sep 2022, M. Bianda, IRSOL participated in the consortium and contributed to the work packages

**The Alfvénic nature of swirls in the solar atmosphere**

Canivete Cuijsa, J.R., Steiner O., ISSI International team WaLSA: Waves in the lower solar atmosphere at high resolution, International Space Science Institute (ISSI), Bern, April 19-22, 2022

**Torsional motions and waves in the solar atmosphere**

Steiner, O., ISSI International team WaLSA: Waves in the lower solar atmosphere at high resolution, International Space Science Institute (ISSI), Bern, April 19-22, 2022

**An innovative and automated vortex identification method based on the estimation of the center of rotation with application to solar simulations**

Canivete Cuijsa, J.R., Steiner, O. 23-27 May 2022, General Assembly of the European Geosciences Union (EGU), Vienna, Austria (online)

**Molecules on the Sun, stars and exoplanets: recent advances in spectropolarimetry** (invited)

Berdyugina, S.V., Workshop on New Developments in High Resolution Molecular Spectroscopy and outreach to modern applications, Les Houches school of physics, Haute Savoie, France, 31 May 2022 (in person)

**Small scale Alfvénic vortices in the solar atmosphere**

Canivete Cuijsa, J. R., Battaglia, A., Steiner, O. 16-24 July 2022, 44th Committee on Space Research (COSPAR) Scientific Assembly, Athens, Greece (in person)

**Enhancing polarimetric accuracy of solar polarimetry by coalescing slow and fast modulation: method description and first performance tests**

Zeuner, F., Gisler, D., Ramelli, R., Bianda, M., Berdyugina, S., 18-22 July 2022, SPIE Astronomical Telescopes + Instrumentation, Montréal, Canada (in person)

**Scalable multilevel and multi-fidelity strategies for radiative transfer problems**

Benedusi, P. (in person) (co-authors: Belluzzi, L.)  
International Multigrid Conference, 21-27 August 2022, Lugano, Switzerland

**Multi-fidelity preconditioning of krylov solvers for linear transfer problems of polarized radiation**

Janett, G. (in person) (co-authors: Janett, G. and Belluzzi, L.)  
International Multigrid Conference, 21-27 August 2022, Lugano, Switzerland

**Colorful Life in the Universe** (invited)

Berdyugina, S.V., 73rd International Astronautical Congress, Paris, France, 18 September 2022 (in person)

**Research on Solar Magnetism at IRSOL** (invited)

Ramelli, R., Swiss SKA Days, Lugano, Switzerland, 3 October 2022 (in person)

**Solar physics with high-precision polarimetry and applications for astrophysics** (invited)

Berdyugina, S.V., SSAA General Assembly, Bern Switzerland, 6 October 2022 (in person)

**High-precision spectro-polarimetric measurements with enhanced accuracy for probing the unresolved solar photospheric magnetic field** (invited MERAC-talk)

Zeuner, F., 6 October 2022, SSAA General Assembly, Bern, Switzerland (in person)

**How IRSOL made it possible to open new research directions in solar physics and astrophysics** (invited)

Berdyugina, S., High-Precision Solar Polarimetry (HPSP): International workshop in honor of Dr. Michele Bianda, Locarno, Switzerland, 14 October 2022 (in person)

**Research at IRSOL with Michele Bianda** (invited)

Ramelli, R., High-Precision Solar Polarimetry (HPSP): International workshop in honor of Dr. Michele Bianda, Locarno, Switzerland, 14 October 2022 (in person)

**My encounters and highlights at IRSOL** (invited)

Steiner, O., High-Precision Solar Polarimetry (HPSP): International workshop in honor of Dr. Michele Bianda, Locarno, Switzerland, 14 October 2022 (in person)

**Michele and IRSOL - an improbable life story** (invited)

Stenflo J., High-Precision Solar Polarimetry (HPSP): International workshop in honor of Dr. Michele Bianda, Locarno, Switzerland, 14 October 2022 (in person)

**Scalable matrix-free solver for 3D polarized radiative transfer in stellar atmospheres**

Benedusi, P. (in person) (co-authors: Belluzzi, L.)  
Solar Polarization Workshop 10, 7-11 November 2022, Kyoto, Japan

**Modeling scattering polarization accounting for angle-dependent PRD effects**

Belluzzi, L. (on-line) (co-authors: Benedusi, P., Guerreiro, N., Janett, G. and Riva, S.)  
Solar Polarization Workshop 10, 7-11 November 2022, Kyoto, Japan

**Multi-fidelity preconditioning of Krylov solvers for linear transfer problems of polarized radiation** (keynote)

Janett, G. (on-line) (co-authors: Belluzzi, L. and Benedusi, P.)  
Solar Polarization Workshop 10, 7-11 November 2022, Kyoto, Japan

**Hanle rotation finally revealed in Sr I 4607 Å** (keynote)

Zeuner, F., Belluzzi, L., Guerreiro, N., Bianda, M., Ramelli, R., 7-11 November 2022, Solar Polarization Workshop 10, Kyoto, Japan (in person)

**Posters**

**An innovative and automated vortex identification method based on the estimation of the center of rotation**

Canivete Cuissa, J. R., Steiner, O., 27-29 June 2022, Platform for Advanced Scientific Computing (PASC 22), Basel, Switzerland (in person)

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

Riva, F., Canivete Cuissa, J. R., Steiner, O., 4-8 July 2022, CoolStars21, Toulouse, France (in person)

**Small-scale vortices in stellar atmospheres**

Canivete Cuissa, J. R., Riva, F., Steiner, O. 4-8 July 2022, CoolStars21, Toulouse, France (in person)

**Hanle rotation signatures in Sr I 4607 Å**

Zeuner, F., Belluzzi, L., Guerreiro, N., Bianda, M., Ramelli, R., 4-8 July 2022, CoolStars21, Toulouse, France (online)

**Solar Radio Astronomy at IRSOL**

Monstein C., High-Precision Solar Polarimetry (HPSP): International workshop in honor of Dr. Michele Bianda, Locarno, Switzerland, 14 October 2022

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

Riva, F., Canivete Cuissa J.R., Steiner O., High-Precision Solar Polarimetry (HPSP): International workshop in honor of Dr. Michele Bianda, Locarno, Switzerland, 14 October 2022

**Hanle rotation signatures in Sr I 4607 Å**

F. Zeuner, L. Belluzzi, N. Guerreiro, R. Ramelli, M. Bianda, High-Precision Solar Polarimetry (HPSP): International workshop in honor of Dr. Michele Bianda, Locarno, Switzerland, 14 October 2022

**Fast numerical solution to the 3D NLTE RT problem for polarized radiation with PRD**

Benedusi, P. (in person) (co-authors: Janett, G., Riva, S., Krause, R., and Belluzzi, L.)  
Solar Polarization Workshop 10, 7-11 November 2022, Kyoto, Japan

**Theoretical modeling of the scattering polarization signal of the Ca I 4227 Å line accounting for angle-dependent PRD effects and bulk velocities** (with flash talk)

Guerreiro, N. (on-line) (co-authors: Belluzzi, L., Benedusi, P., Janett, G., and Riva, S.)  
Solar Polarization Workshop 10, 7-11 November 2022, Kyoto, Japan

**Suitability of the CRD approximation for the RIII redistribution matrix in the RT modeling of scattering polarization** (with flash talk)

Riva, S. (on-line) (co-authors: Belluzzi, L., Benedusi, P., Guerreiro, N., and Janett, G.)  
Solar Polarization Workshop 10, 7-11 November 2022, Kyoto, Japan



**Organized conferences**  
**Organizzazione di**  
**conferenze**

**High-Precision Solar Polarimetry (HPSP): International workshop in honor of Dr. Michele Bianda**, October 14-15, 2022, Locarno, Switzerland (52 participants)

**Solar Polarization Workshop 10 (SPW10)**, Kyoto, SOC including L. Belluzzi and S.V. Berdyugina, November 7-11, 2022, Kyoto, Japan (86 participants)

**Invited seminar talks**  
**Partecipazione su invito**  
**a seminari**

**Inverse problems in solar physics & astrophysics**  
S.V. Berdyugina, Faculty of Informatics, USI, Lugano, Switzerland, 28 October 2022

**Solar Radio Astronomy, CALLISTO instrument and the e-Callisto network**  
C. Monstein, online talk for University of Alcalá, Spain, 10 June 2022



Participants of the HPSP workshop, Locarno  
Partecipanti al workshop HPSP, Locarno

Impressum  
Istituto ricerche solari Aldo e Cele Daccò

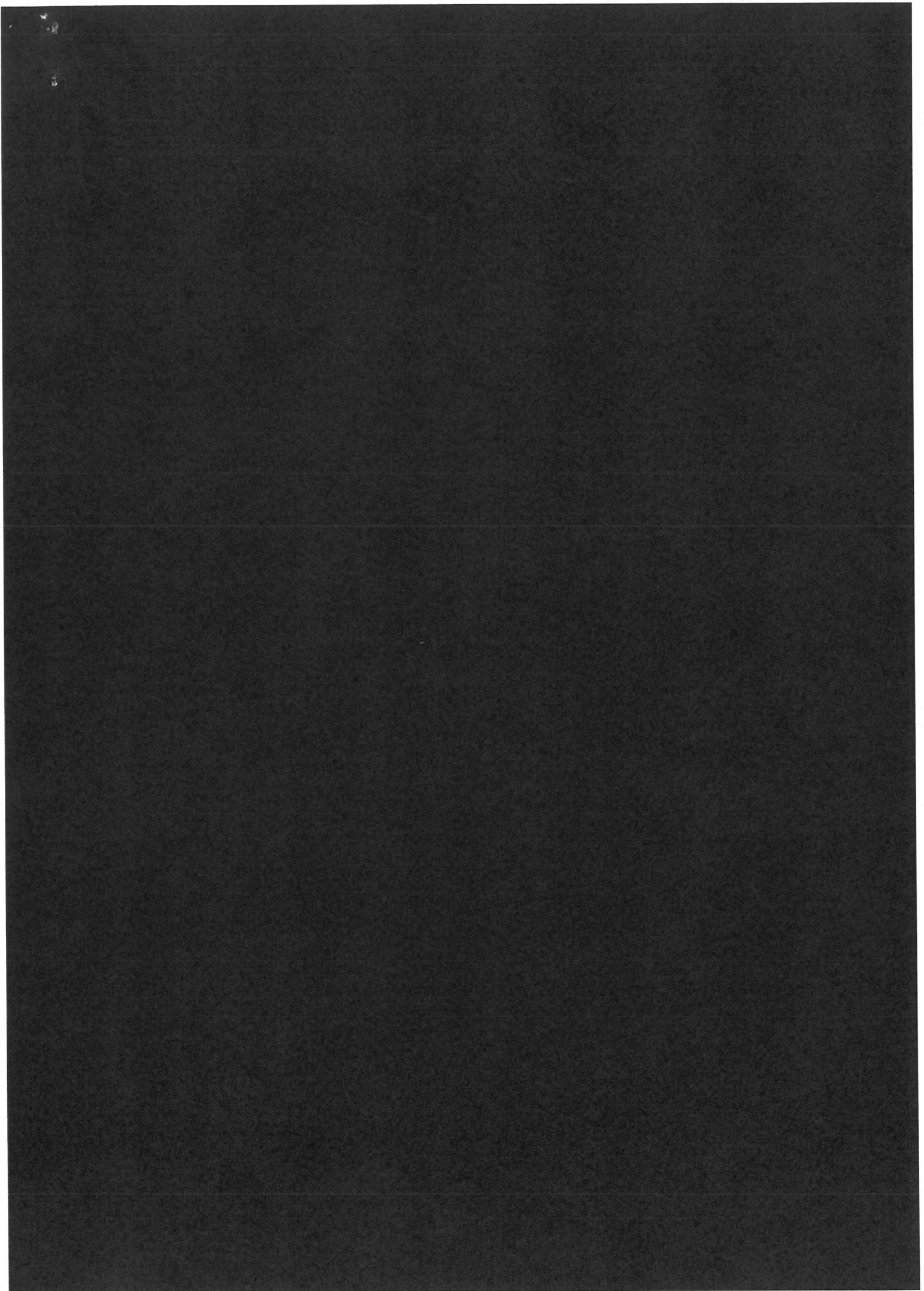
Via Patocchi 57  
6605 Locarno  
tel + 41 91 743 4226  
e-mail info@irsol.ch  
web www.irsol.usi.ch

Graphic design  
Progetto grafico  
Servizio comunicazione istituzionale USI

Photos  
Fotografie  
Ti-Press, Alessandro Crinari

Printing and binding  
Stampa e confezione  
Tipografia Cavalli, Tenero

© 2023  
Istituto  
ricerche  
solari  
Aldo e Cele  
Daccò





Università  
della  
Svizzera  
Italiana



Istituto  
della  
ricerche  
solari  
Aldo e Cele  
Dacò

2022

IRSOL  
Annual  
Report  
Rapporto  
annuale  
IRSOL

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

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

