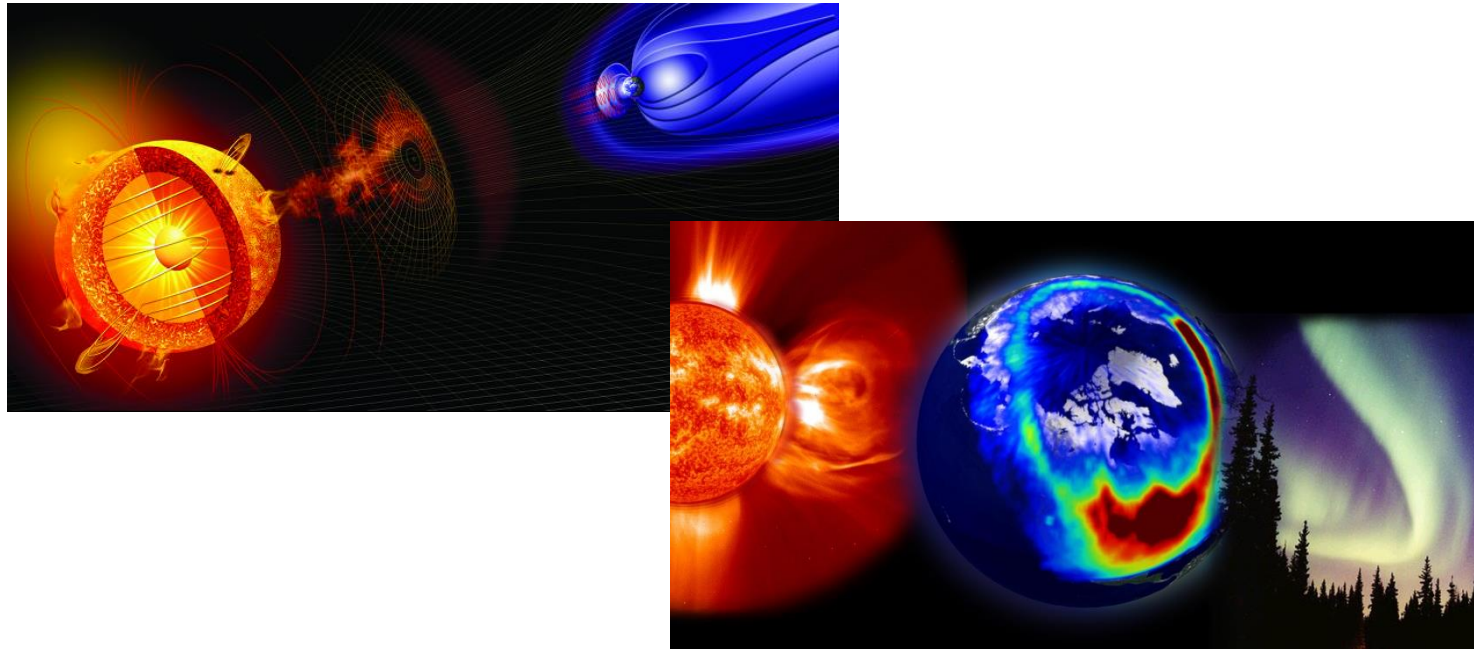


Tesi in Fisica Solare presso l'INAF – Osservatorio Astrofisico di Torino

Dip. di Fisica, Aula C
15/11/2023

Alessandro Bemporad
INAF – Osservatorio Astrofisico di Torino



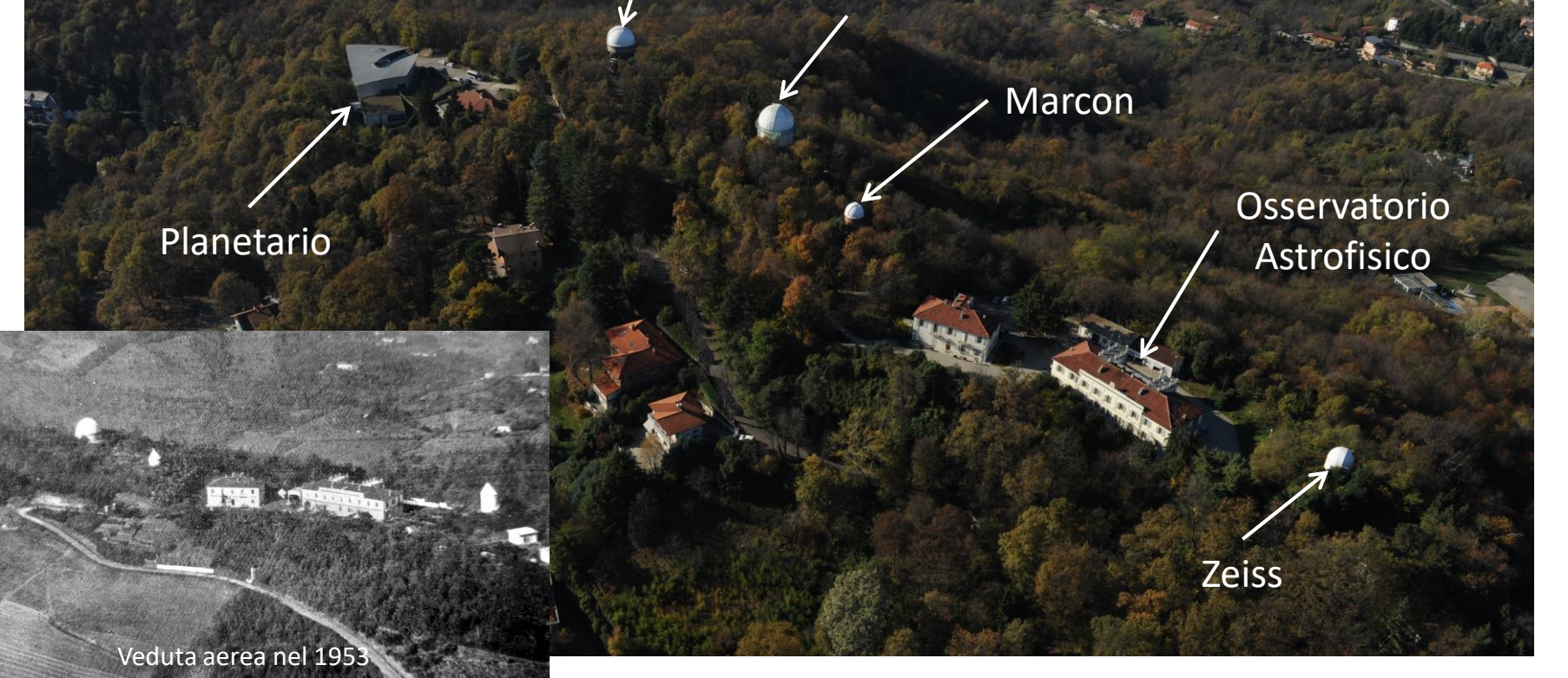
L'INAF – Osservatorio Astrofisico di Torino

<https://www.oato.inaf.it/>

INAF



ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
OSSERVATORIO ASTROFISICO DI TORINO



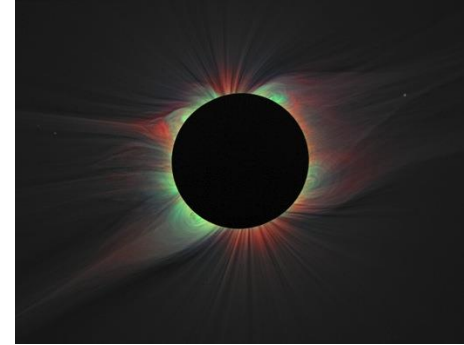
Veduta aerea nel 2012

INAF – Gruppo di Fisica Solare

Personale (“chi?”)

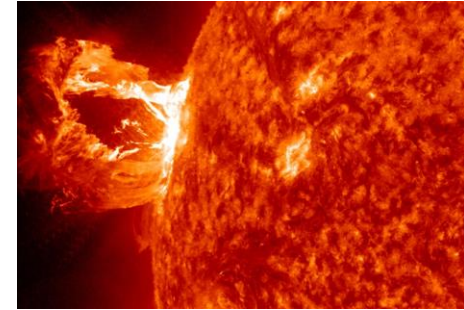
L. Abbo, F. Amadori, E. Amato, *E. Antonucci*, *A. Bemporad*, *C. Benna*, *R. Biondo*, *G. Capobianco*, *S. Fineschi*, *F. Frassati*, *S. Giordano*, H. Haudemand, *F. Landini*, *S. Mancuso*, *G. Massone*, *G. Nicolini*, *M. Pancrazzi*, *R. Susino*, *D. Telloni*, *L. Zangrilli*.

(dottorandi-borsisti, *post-docs*, *ricercatori - coll.tecnici - tecnologi*, *associati-primi tecnologi*, *senior*)



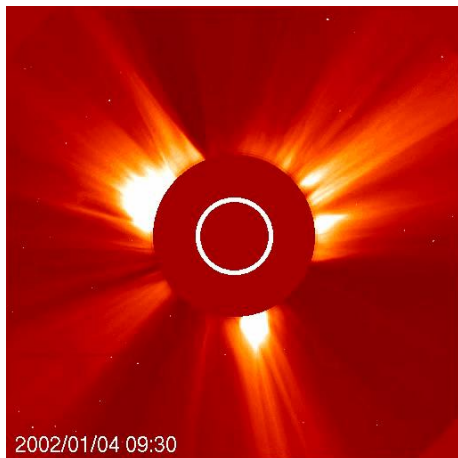
Principali campi di ricerca (“cosa?”)

- Fisica della corona solare
- Origine ed evoluzione dei fenomeni responsabili delle tempeste geomagnetiche: vento solare ed espulsioni coronali di massa (Coronal Mass Ejections - CMEs)
- Turbolenza nel mezzo interplanetario
- Comete radenti e non-radenti il Sole



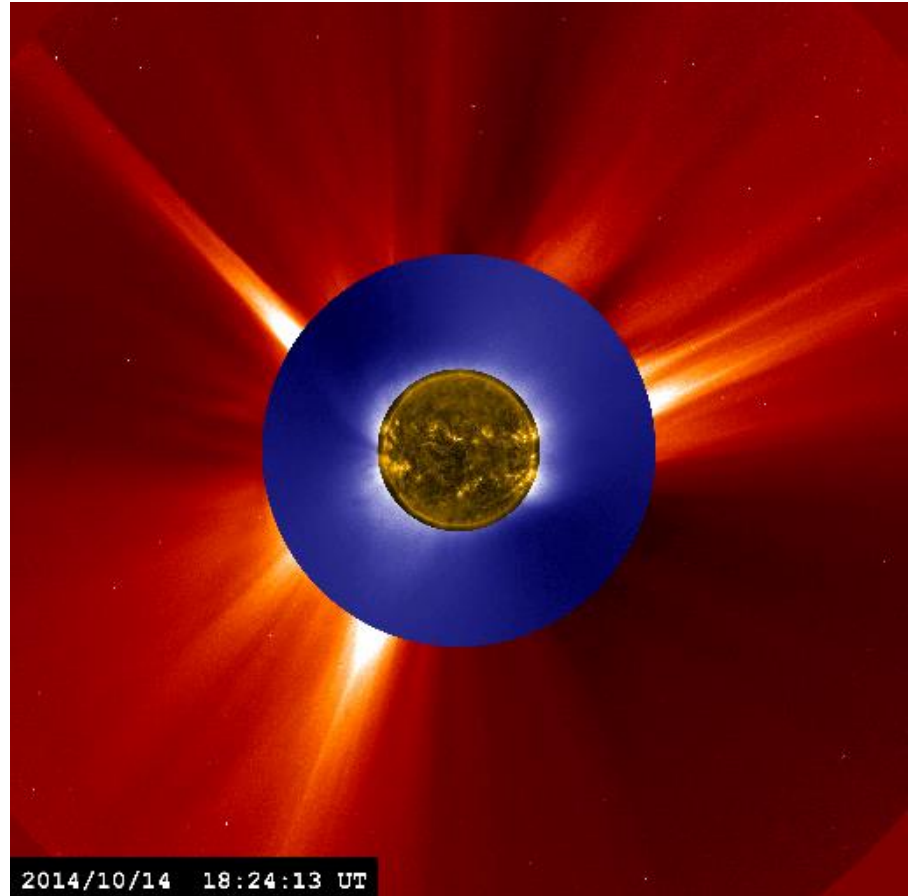
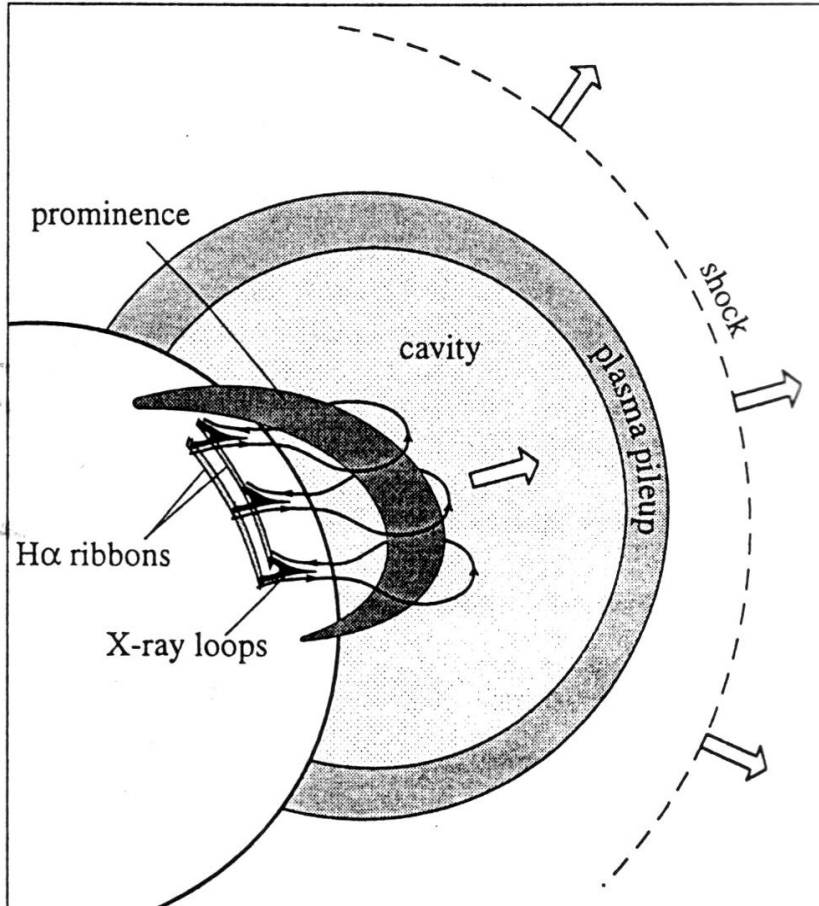
Principali metodologie (“come?”)

- **Campagne osservative** da Terra e dallo spazio in occasione di eclissi di Sole
- Sviluppo di **nuove diagnostiche** per l'analisi di immagini e spettri coronografici acquisiti da Terra e dallo spazio e per l'analisi dei dati in situ nello spazio interplanetario
- Sviluppo di **nuova strumentazione** per le future missioni spaziali ed osservazioni da Terra
- **Archiviazione** di grandi moli di dati (SOLAR – SOHO Long Term Arc., Metis)



La corona dinamica: CMEs

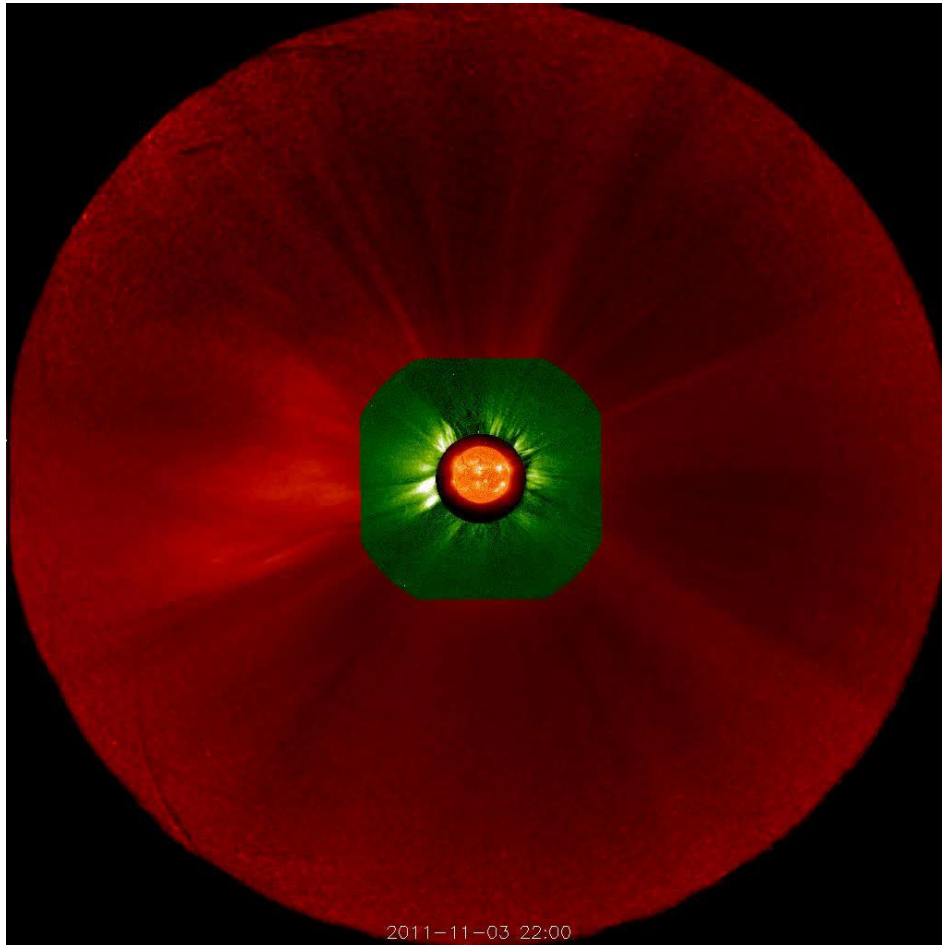
(Da G. Forbes, JGR, 2000)



Struttura a “tre componenti”: **1) CORE** (=prominence) **2) FRONT** (=plasma “trascinato”)
3) CAVITY o VOID (=tubo di flusso in espansione?)

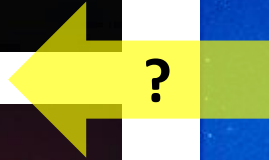
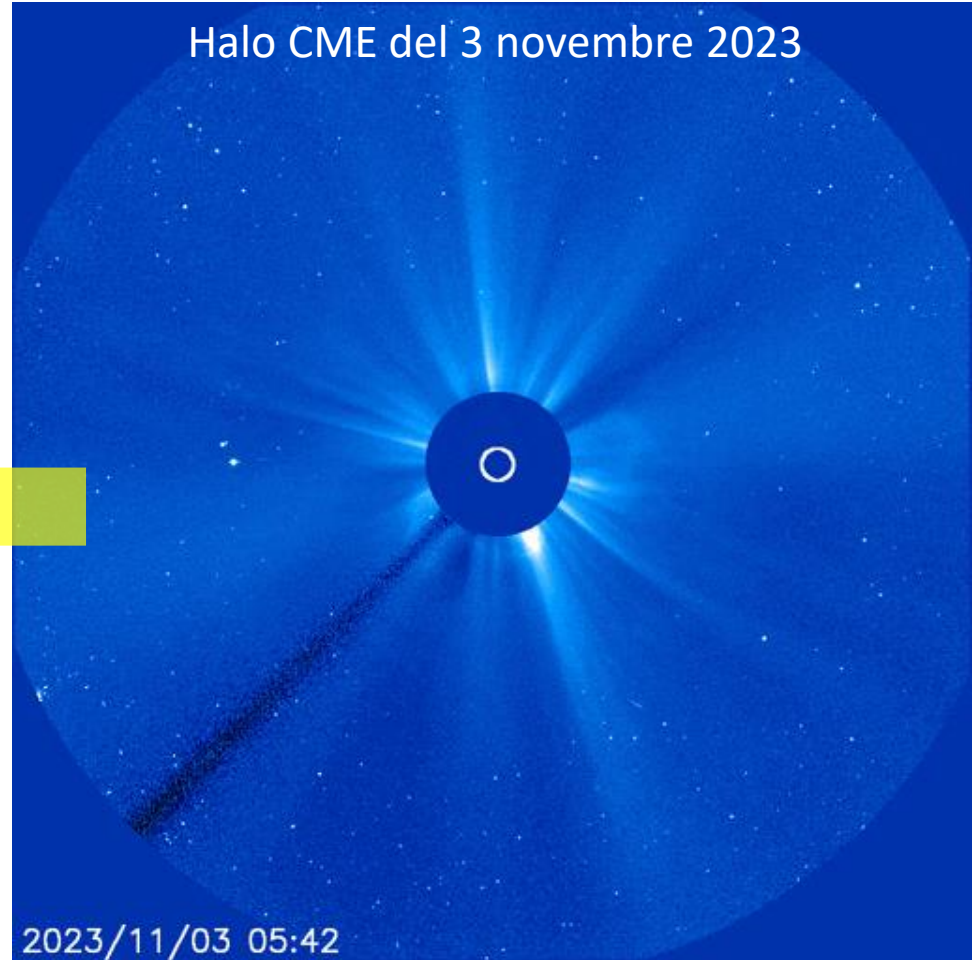
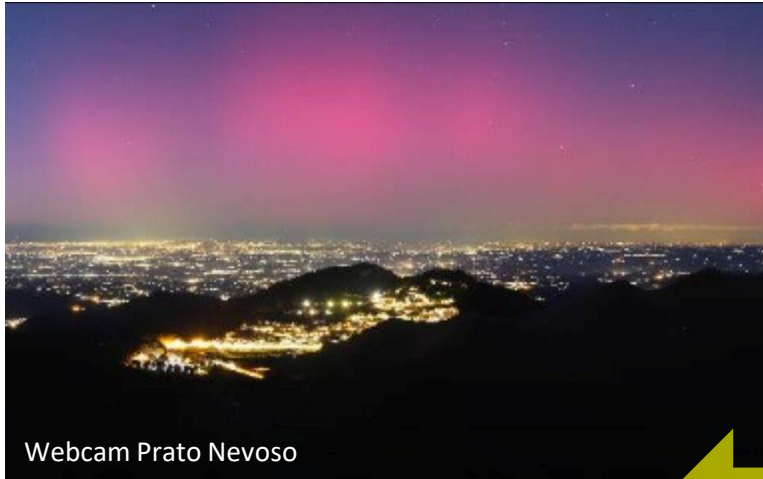
La corona dinamica: CMEs

- **Espulsioni Coronali di Massa** (*Coronal Mass Ejections* – CMEs): enormi bolle di plasma coronale e cromosferico espulse dal Sole a velocità dai 500 km/s fino ai 2500 km/s, trasportando masse fino a 10^{16} g. Come i brillamenti, anche i CME sono spesso associati alle regioni attive quindi elevate concentrazioni di campi magnetici → *come per i brillamenti, si ritiene che l'origine sia la **riconnessione magnetica**.*



- **Energia rilasciata** fino a **$\sim 10^{32}$ erg** confrontabile con l'energia dei flares → stessa sorgente di energia
- **Studi statistici** hanno dimostrato però che flares e CMEs non sono necessariamente legati da una relazione causa-effetto: si possono avere flares senza CMEs e viceversa.

Dal Sole alla Terra

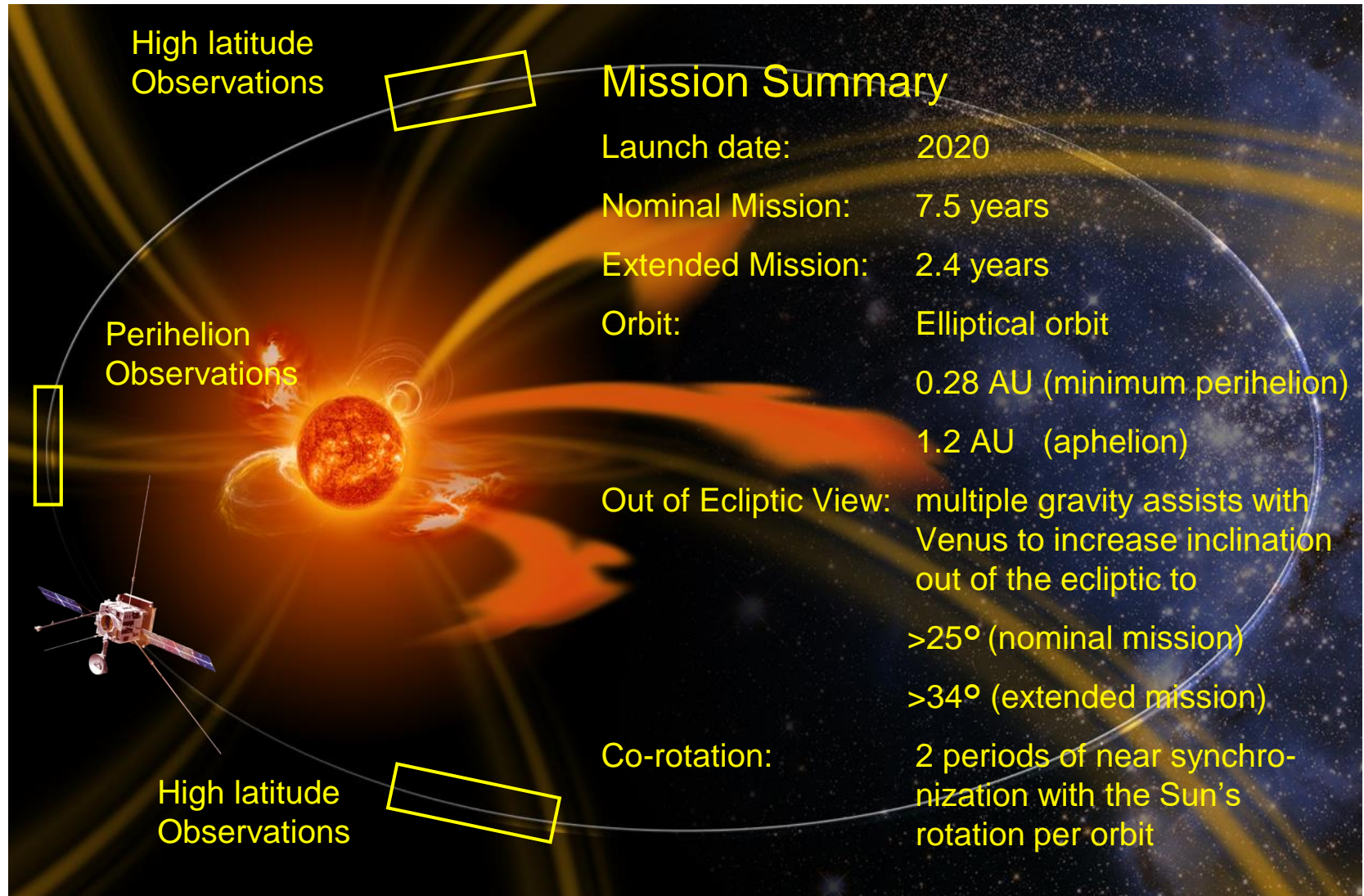


CMEs: alcuni problemi aperti

I principali tuttora **problemi aperti** sui Coronal Mass Ejections sono:

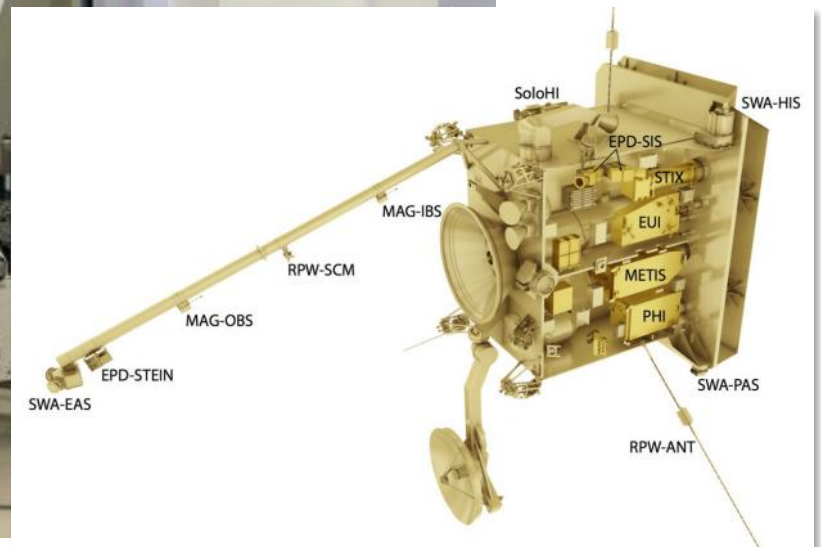
- **Origine dei CME:** cosa destabilizza realmente i CME? Shearing magnetico? Emersione di flusso? Magnetic breakout? Elicità magnetica?
- **Struttura 3-D dei CMEs:** tubi di flusso? Shells emisferiche? Sistemi di loops in espansione? Dati recenti dalla missione STEREO stanno iniziando a far luce su questi problemi, anche se le ricostruzioni 3-D richiedono diverse assunzioni e numerose tecniche diverse sono state sviluppate.
- **Energia trasportata dai CME:** riconessioni interne possono dissipare una notevole quantità di energia magnetica, ma è del tutto ignoto quale frazione di questa energia sia convertita in energia termica e dove venga depositata. Sappiamo poi pochissimo del riscaldamento di CME dopo l'eruzione. Attualmente i modelli di CMEs 1) assumono semplicemente un'equazione di stato politropica, evitando di risolvere l'equazione per il trasporto dell'energia; 2) cercano di riprodurre solo le osservazioni di luce bianca di CMEs, che non dipendono dalla temperatura.
- **Accelerazione delle SEP:** dove avviene? Flares o CME-driven shocks? Quali processi fisici accelerano le particelle?
- **Propagazione interplanetaria:** quali processi fisici ne determinano l'evoluzione? Quali parametri ne determinano la geoefficacia?

La missione ESA-NASA Solar Orbiter



La missione ESA-NASA Solar Orbiter

Solar Orbiter launch - Banana Creek launch viewpoint - 10/02/2020 UT
Canon EOS1100D, F5.6, ISO200, 1/1000s, 300mm - A. Bemporad



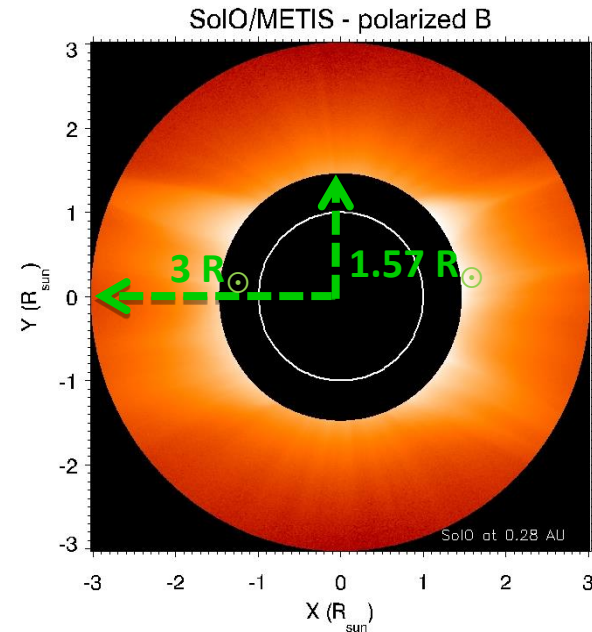
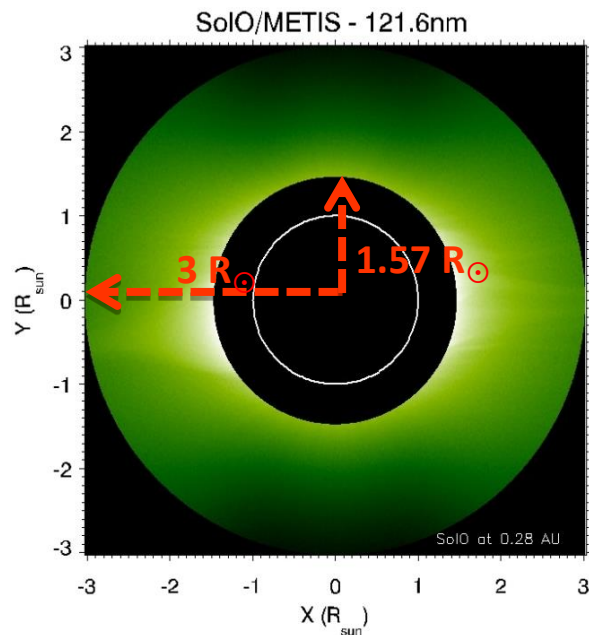
METIS su Solar Orbiter

- La missione ESA-NASA Solar Orbiter trasporta a bordo uno **strumento ideato all'INAF-Osservatorio di Torino**, il coronografo METIS
- METIS è il **primo coronografo spaziale multi-canale**: lo strumento osserva contemporaneamente la luce visibile polarizzata e l'UV (emissione Lyman-alpha dell'atomo di H a 1216 \AA)



Metis just before initiation of pumping for calibration with the UV source (ALENIA Turin, March 25, 2017)

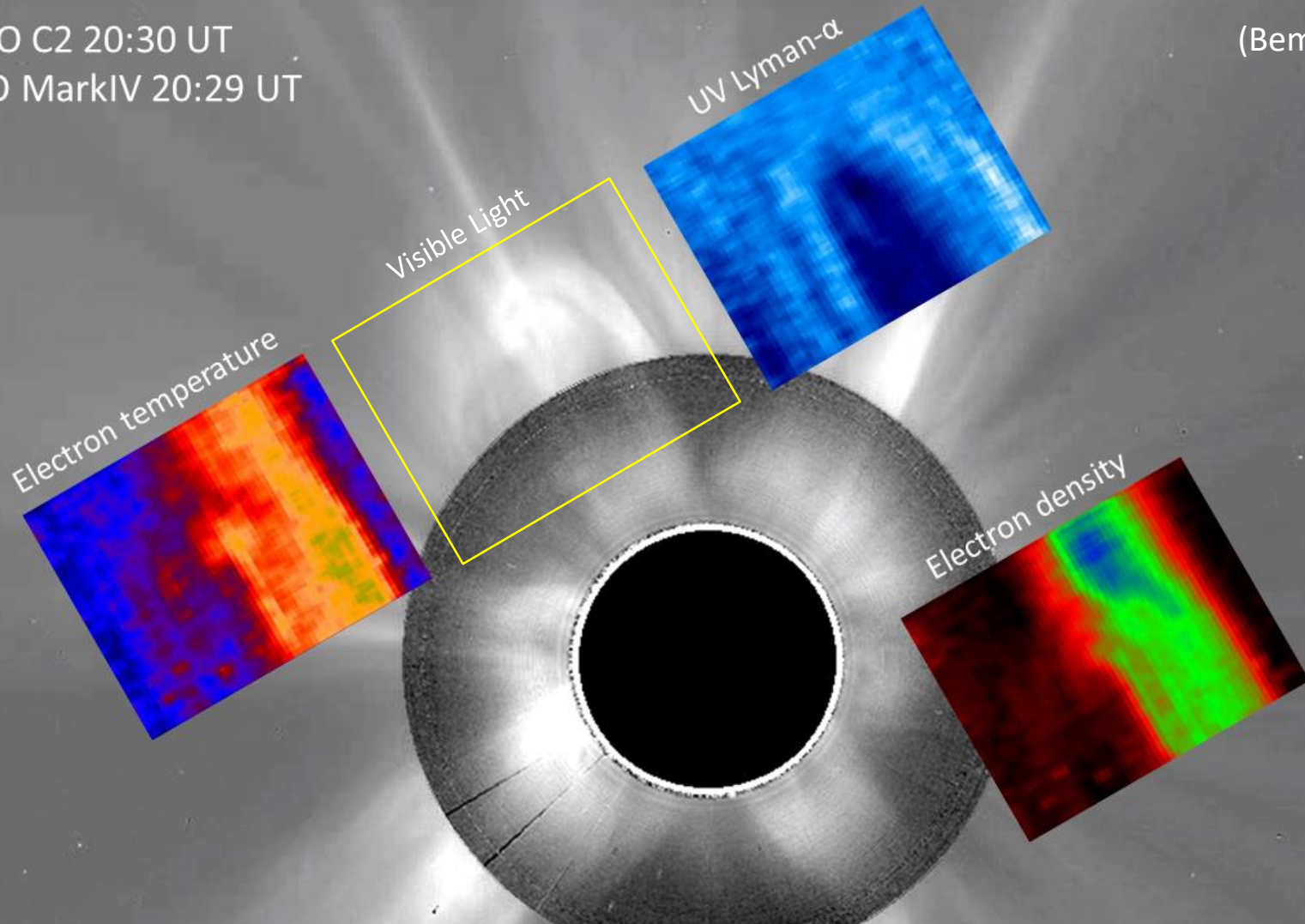
METIS field of view at 0.28 AU



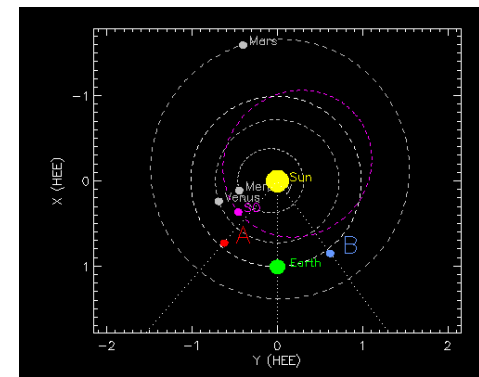
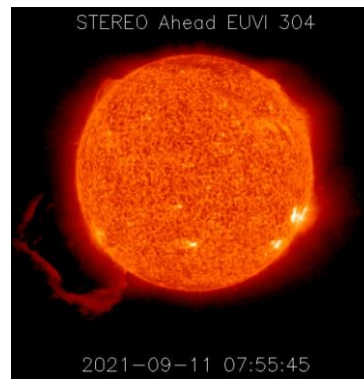
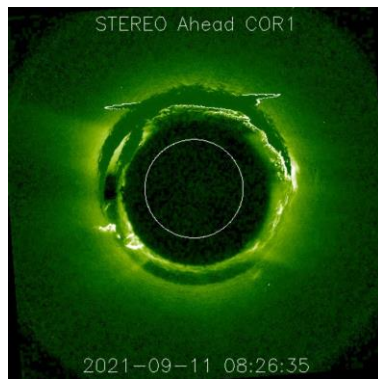
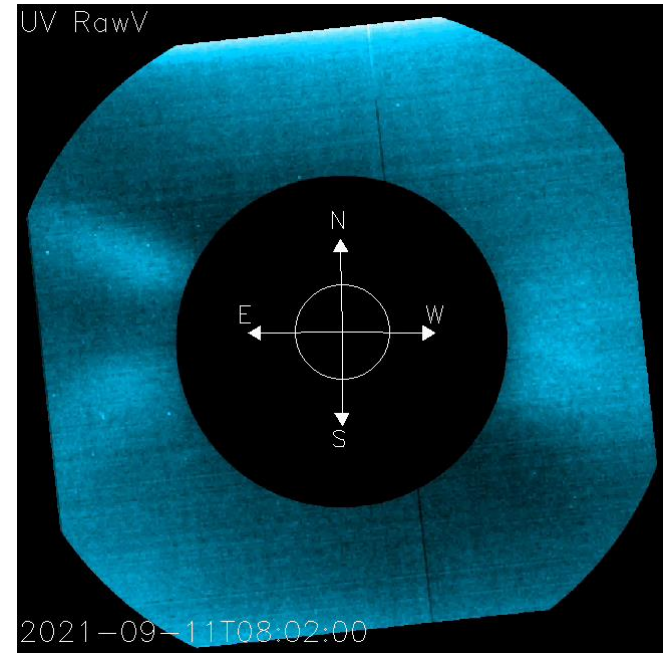
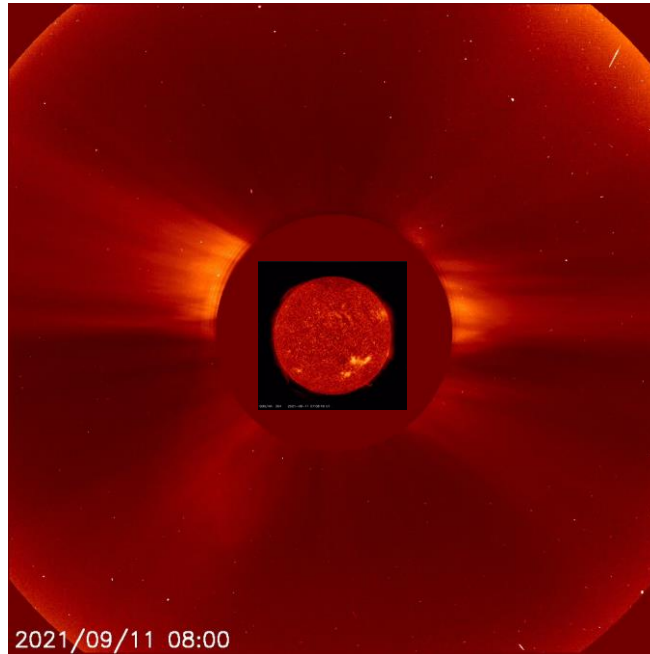
Osservazioni UV di CMEs

(Bemporad 2022)

LASCO C2 20:30 UT
MLSO MarkIV 20:29 UT



Studi di eruzioni viste da Metis: progetti di tesi (1)



- **Progetti di tesi magistrali:** molteplici obiettivi, tra cui lo studio di i) **evoluzione termodinamica** delle eruzioni, ii) **emissione polarizzata** e contaminazione da H-alpha (STEREO), HeII D3 (METIS), iii) **impatto corona circostante** (compressione/riscaldamento?)

SWELTO

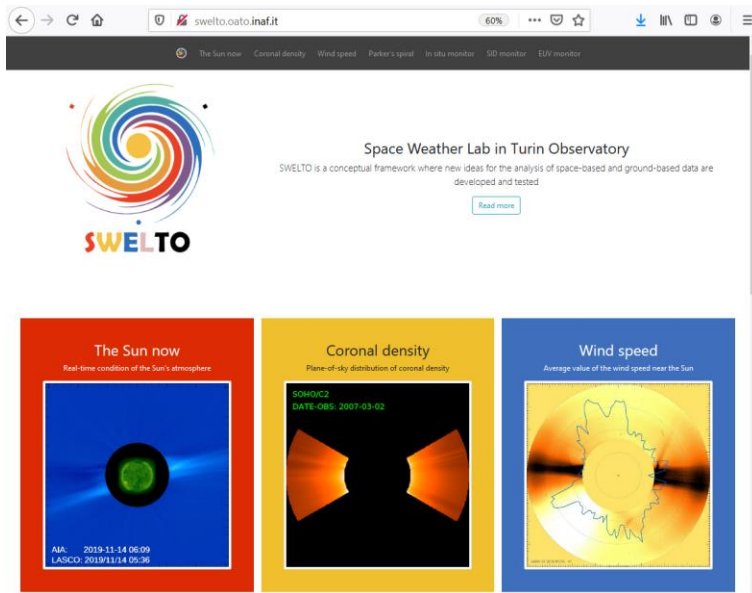
Space WEather Lab in Turin Observatory

- Gli ultimi 10 anni hanno visto un sempre crescente interesse nelle problematiche legate alla **Meteorologia Spaziale** (Space Weather) non solo per motivazioni scientifiche, ma anche per diversi risvolti pratici (controllo di satelliti, disturbi telecomunicazioni e comunicazioni radio, tempeste geomagnetiche, etc...)
- In questo ambito l'INAF-Osservatorio di Torino ha avviato dal 2017 un progetto denominato SWELTO-Space WEather Laboratory in Turin Observatory che ha due scopi principali:
 - **Sviluppare nuove metodologie di analisi** dati in tempo reale (acquisiti da terra o dallo spazio) per l'identificazione ed il tracciamento di fenomeni di interesse per la Space Weather (regioni attive, brillamenti ed eruzioni solari, fasci equatoriali di vento solare veloce, etc...)
 - **Installare nuova strumentazione** (o sfruttare la strumentazione già esistente) per il monitoraggio di fenomeni locali potenzialmente di interesse per la Space Weather (disturbi ionosferici, disturbi geomagnetici, fenomeni atmosferici transienti)



SWELTO

Space WEather Lab in Turin Observatory



<http://swelto.oato.inaf.it/>

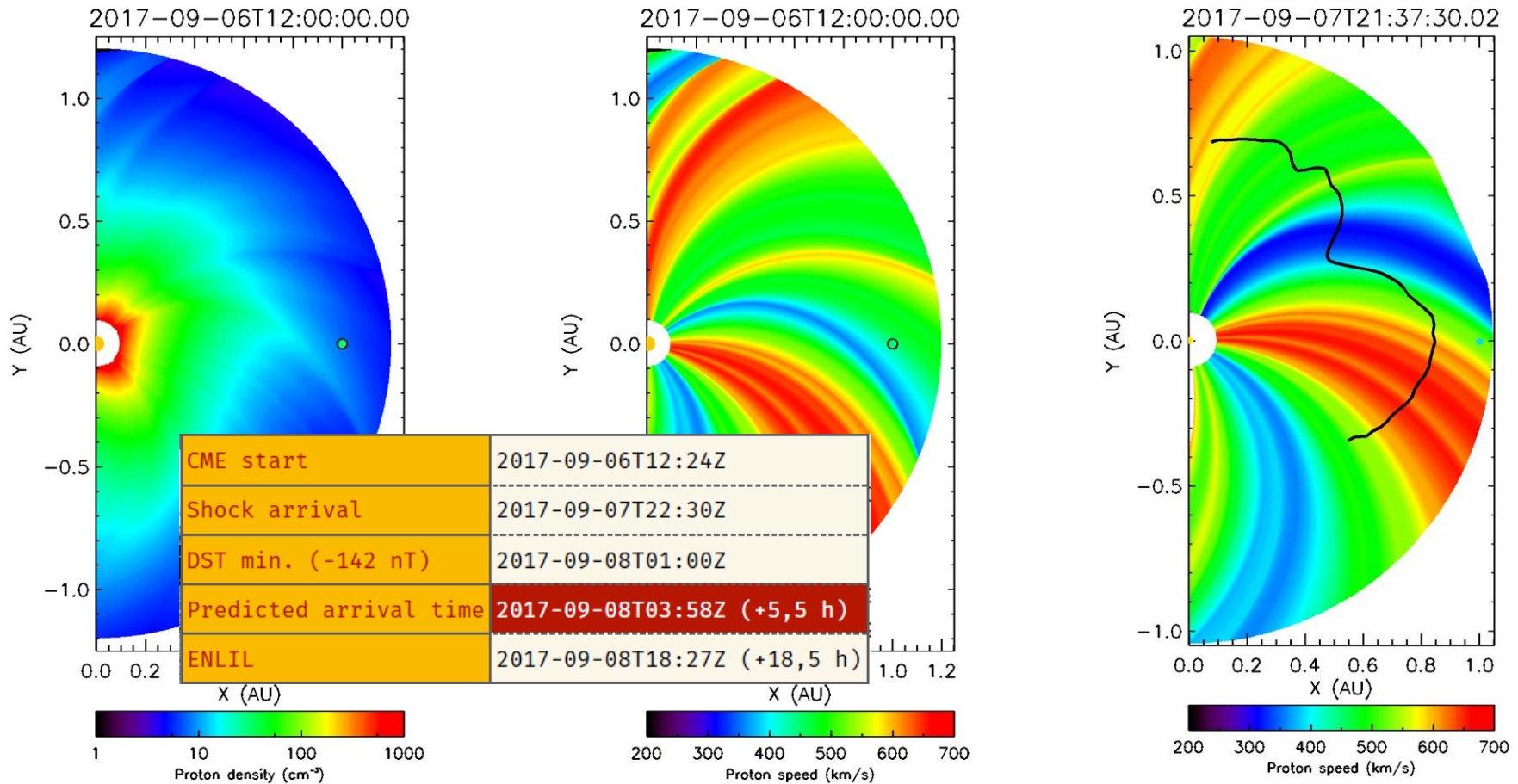
- Recentemente il gruppo ha iniziato a pubblicare su YouTube dei «**bollettini meteo solari**» con cadenza mensile denominati «*Che Sole che fa*», pubblicati anche sul portale divulgativo INAF di «**Sorvegliati Spaziali**».

<https://sorvegliatispaziali.inaf.it/>

- I tool sviluppati vengono messi in **esecuzione continua** sulla base degli ultimi dati acquisiti da terra e dallo spazio su una Workstation dedicata.
- I risultati delle analisi sono quindi resi disponibili e visualizzabili in **tempo reale** tramite un portale.
- Diversi moduli del progetto sono già stati sviluppati o sono in fase di sviluppo.



SWELTO: progetto di Tesi (2)



- **Progetto di tesi (magistrale/triennale):** ideare, sviluppare e testare un **nuovo algoritmo** per l'identificazione automatica delle eruzioni solari (brillamenti, protuberanze eruttive, Coronal Mass Ejections) dalle immagini EUV con determinazione automatica dei parametri cinematici principali (direzione dell'eruzione, velocità, massa iniziali).

Analisi dati della campagna osservativa dell'eclisse totale di Sole dell'8 Aprile 2024 (ECLIPSE2024)

Proposta di **tesi magistrale** da svolgere da Marzo/Aprile 2024 per circa 9 mesi, per il supporto dell'analisi dei dati acquisiti durante la campagna osservativa dell'**eclisse totale di Sole dell'8 Aprile 2024**.

La spedizione scientifica porterà 3 strumenti: un telescopio per l'osservazione della corona K (Ekpol); due telescopi per le osservazioni spettro-polarimetriche delle righe FeXIV a 530.3 nm e He I D3 a 587.6 nm e per le misure coronali della polarized-brightness (Cormag, E-Cormag).

Obiettivi della tesi: studiare i meccanismi fisici delle righe in emissione osservate, analizzare i dati e immagini acquisiti tramite software e programmi da scrivere ad-hoc, ricavare la densità elettronica del plasma coronale dall'emissione di polarized-Brightness, studiare la topologia magnetica coronale attraverso diagnostiche applicate ai dati di spettro-polarimetria.

Confronto con dati coronali acquisiti dalla stratosfera dallo stesso strumento Cormag nell'estate 2023.

La tesi si svolgerà all'Osservatorio Astrofisico di Torino dell'INAF a Pino Torinese

Contatti: Lucia Abbo INAF-OATo lucia.abbo@inaf.it,

Luca Zangrilli INAF-OATo luca.zangrilli@inaf.it

Calibrazione di strumentazione astronomica per l'osservazione della corona solare durante l'eclisse totale di Sole dell'8 Aprile 2024

Proposta di **tesi magistrale** da svolgere da Gennaio 2024 per circa 9 mesi, per il supporto alla calibrazione della strumentazione della campagna osservativa dell'**eclisse totale di Sole dell'8 Aprile 2024**.

Obiettivi:






- Calibrazione in laboratorio e con target astronomici pre e post campagna osservativa di telescopi e coronografi che verranno utilizzati per le osservazioni scientifiche della corona solare durante l'eclisse totale dell'8 Aprile 2024.
- Generazione dei file di calibrazione "di livello 0" da applicare alle misure di corona solare per ottenere dati calibrati.

La tesi si svolgerà all'Osservatorio Astrofisico di Torino dell'INAF a Pino Torinese

Contatti: Luca Zangrilli INAF-OATo luca.zangrilli@inaf.it,

Gerardo Capobianco INAF-OATo gerardo.capobianco@inaf.it

Ricerca Sperimentale: progetti in corso

Project	Short description	Role	Timeline
METIS 	WL and UV coronagraph for ESA Solar Orbiter spacecraft → first close-up (@ 0.28 AU) observations of corona	Leader of the international science consortium (PI: M. Romoli, INAF PI: S. Fineschi)	Launch: February 2020, nominal mission 7.5 years
ASPIICS 	WL coronagraph for ESA PROBA-3 formation-flying satellites → first eclipse-like, long-term observations of the inner corona	Italian leader for Formation Flying metrology (Lead Co-I: S. Fineschi)	Launch: 2024, nominal mission 2 years
SCORE 	Helium Sounding rocket coronagraph → first determination of coronal Helium abundance	Leader of the italian instrument consortium (PI: S. Fineschi)	First launch: September 2009, Second launch: March 2022, Third Launch June 2024
HELIANTHUS 	Space-Weather early-warning mission for ASI solar-photon sailcraft → Phase-A study of a payload for CMEs early-warning from L1	Leader of the INAF consortium for payload study (Co-I: S. Fineschi)	Phase-A study 2020-2023
HELIOMETEO HELIOSPHERIC SPACE WEATHER INITIATIVE	Heliospheric Data Centre → joint project INAF-OATo ALTEC, U. Genova → evolve SOLAR (SOHO Long-term Archive), and develop a Heliospheric Space Weather Initiative for forecast	Hosted and maintained by ALTEC, jointly developed with INAF-OATo. (PI, S. Fineschi)	Established in 2017, currently under development
SWELTO 	Space WEather Laboratory in Turin Observatory → conceptual framework to develop and test new ideas and tools for the analysis of space- and ground-based data for SW applications	Developed and hosted entirely by INAF-OATo (PI: A. Bemporad)	Established in 2017, currently under development

<https://www.oato.inaf.it/ricerca/aree-di-ricerca/sole-e-sistema-solare/fisica-solare/>

Per **Tesi di Laboratorio** contattare il Dr. Silvano Fineschi (silvano.fineschi@inaf.it)

Sommario

Sono disponibili diversi argomenti e tipologie di Tesi, in particolare:

- Tesi di **laboratorio** (vedi elenco progetti su <https://www.oato.inaf.it/ricerca/aree-di-ricerca/sole-e-sistema-solare/fisica-solare/>)
- Tesi di **sviluppo di diagnostiche** per l'**analisi e l'interpretazione di dati**
 - osservazioni acquisite durante l'eclissi totale di sole dell'8 aprile 2024
 - immagini coronografiche acquisite dal coronografo multi-canale METIS a bordo di Solar Orbiter
- Tesi di **sviluppo di nuovi tools** per l'analisi in real-time di dati per la Space Weather

alessandro.bemporad@inaf.it