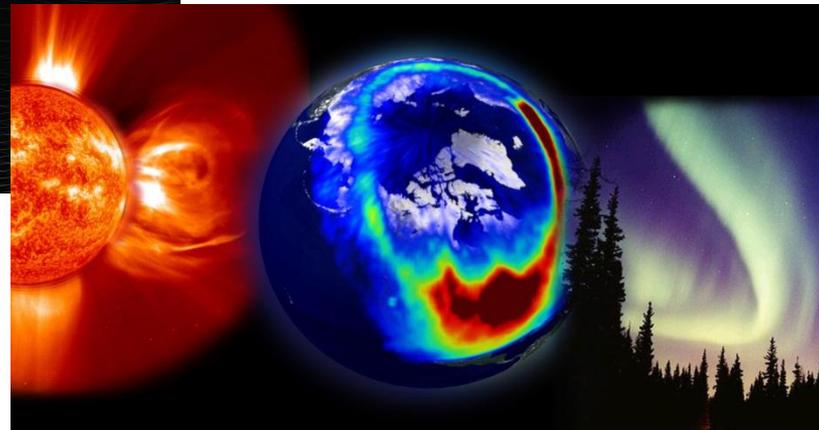
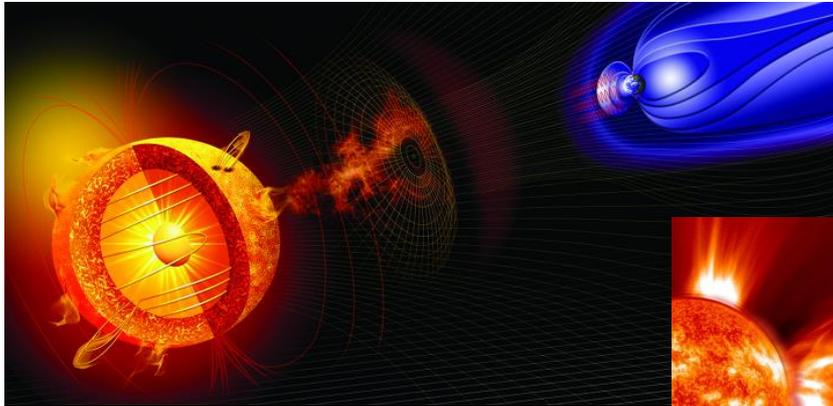


Tesi in Fisica Solare presso l'INAF – Osservatorio Astrofisico di Torino

Dip. di Fisica, Aula C
15/03/2022

Alessandro Bemporad



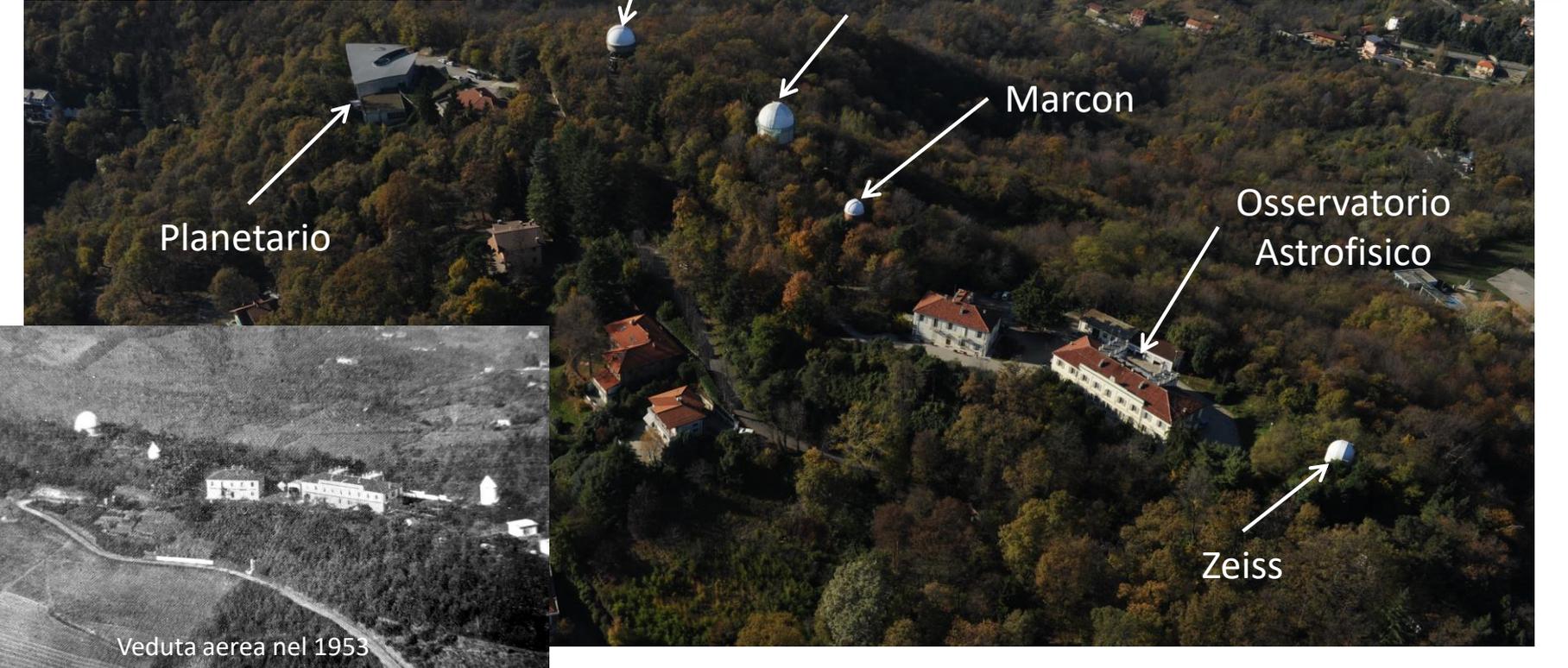
L'INAF – Osservatorio Astrofisico di Torino

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

INAF



ISTITUTO NAZIONALE DI ASTROFISICA
OSSERVATORIO ASTROFISICO DI TORINO



Veduta aerea nel 2012

INAF – Solar Physics Group

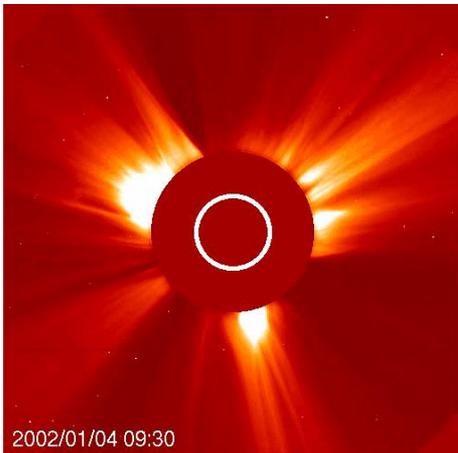
Personnel

L. Abbo, F. Amadori, *E. Antonucci*, *A. Bemporad*, *C. Benna*, R. Biondo, *G. Capobianco*, *S. Fineschi*, *F. Frassati*, *S. Giordano*, H. Haudemand, *F. Landini*, A. Liberatore, *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*)

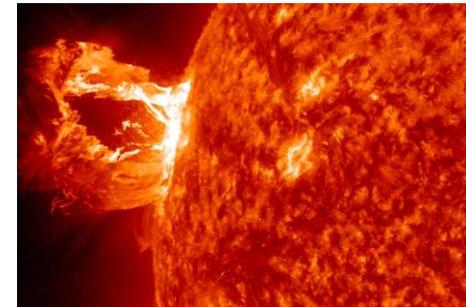
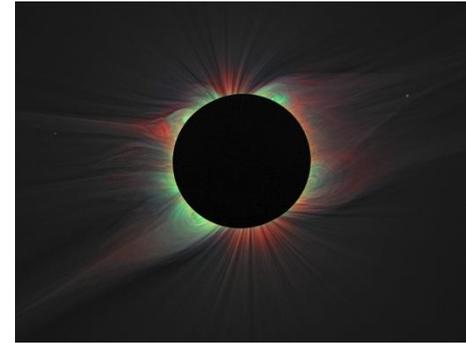
Main Research Fields

- Physics of the solar corona, understanding the origin and evolution of the main drivers of Geomagnetic Storms on Earth: solar wind and Coronal Mass Ejections (CMEs), study of the solar wind turbulence, study of sungrazing and non-sungrazing comets.

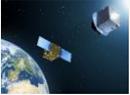
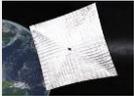


Methods

- Coordination of observational campaigns from space and ground (total solar eclipses)
- Development of diagnostic techniques for the analysis of coronagraphic and spectroscopic data acquired from space and ground, and for the study of plasma and magnetic field measurements acquired in-situ at L1
- Development of new instrumentation for future space missions and ground based observations
- Storage and maintenance of solar data archives (SOLAR – SOHO Long Term Arc.)
- Outreach (conferences, interviews, newspaper articles, etc...)



Sviluppo nuova strumentazione: progetti in corso

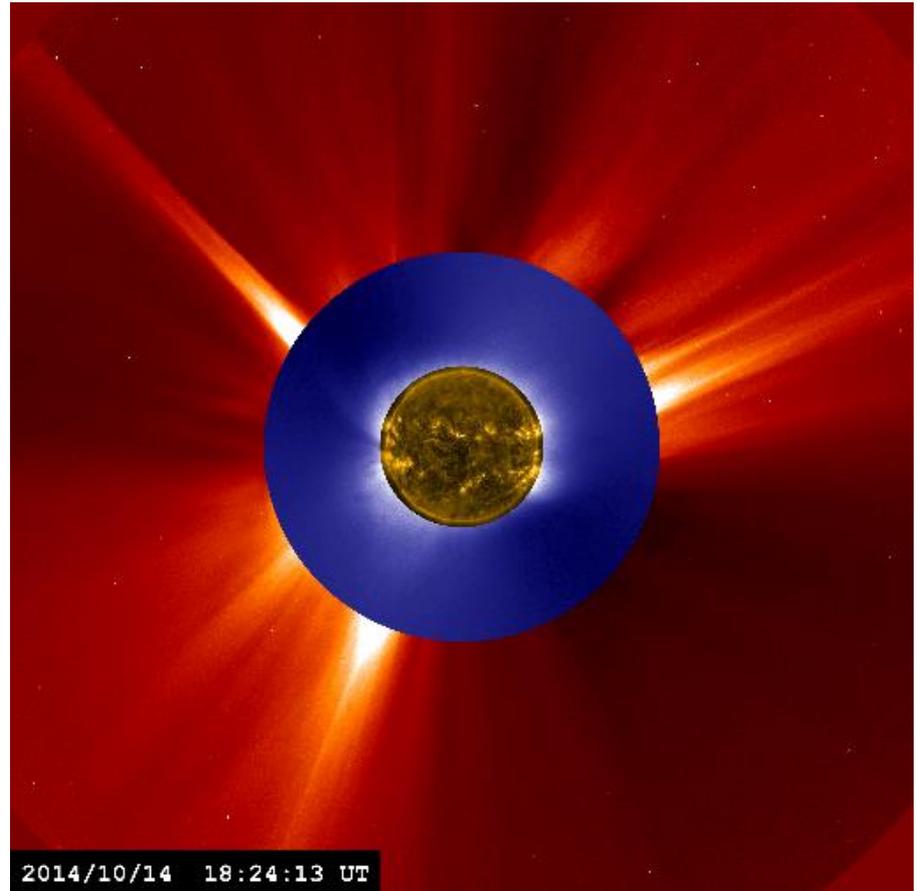
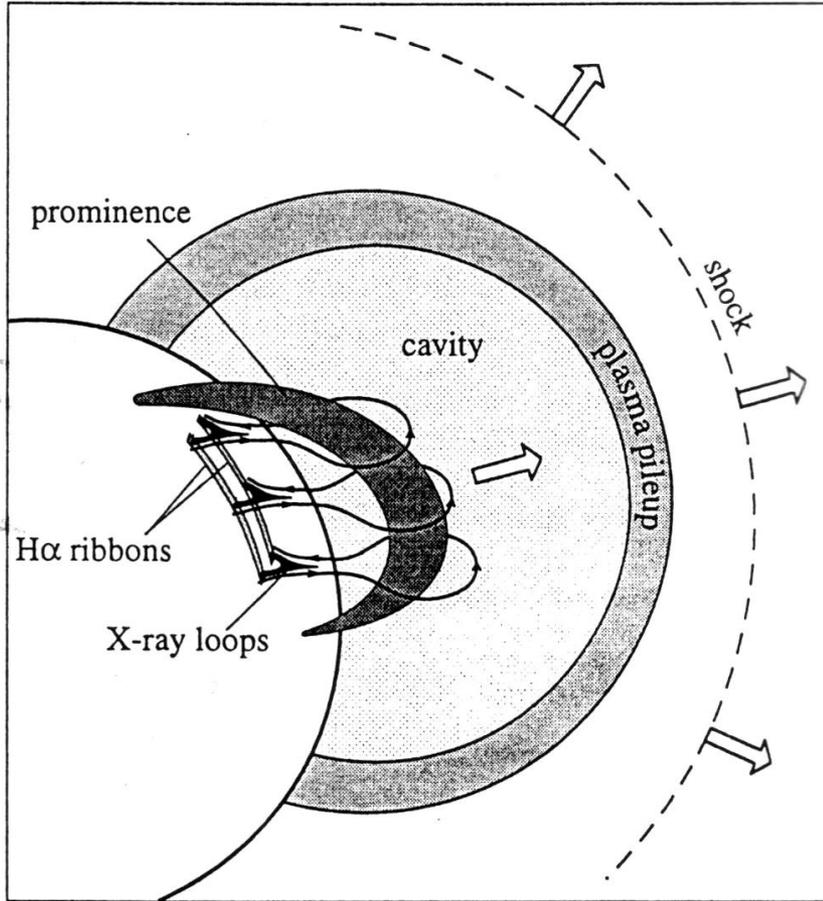
Project	Short description	Role	Timeline
METIS 	WL and UV coronagraph for ESA Solar Orbiter spacecraft → first close-up (@ 0.28 AU) observations of corona	Leader of the international science consortium (PI: M. Romoli, INAF PI: S. Fineschi)	Launch: February 2020, nominal mission 7.5 years
ASPIICS 	WL coronagraph 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: 2022, 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: 2022
ESCAPE-ANTARCTICOR 	Coronagraph in Antarctica (Concordia base) → ground-based coronal magnetic-field monitoring	Leader of the italian instrument consortium (PI: S. Fineschi)	Deployment: Antarctic summer 2018/2019, duration 3 years
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
HELIOSPHERIC DATA CENTER 	Heliospheric Data Centre → joint ALTEC & INAF-OATo project → evolve SOLAR (SOHO Long-term Archive), and develop a Heliospheric Space Weather Centre for forecast	Hosted and maintained by ALTEC, jointly developed with INAF-OATo.	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)

La corona dinamica: CMEs

(Da G. Forbes, JGR, 2000)

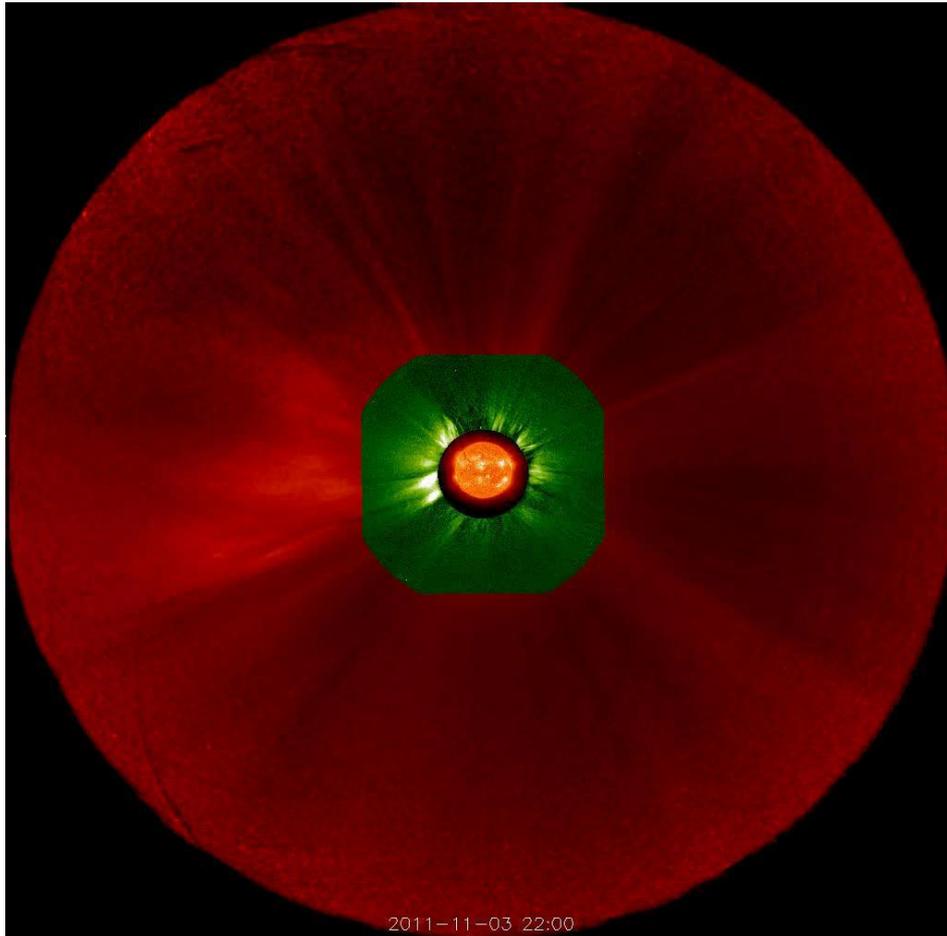


Struttura a “tre componenti”: **1) CORE** (=prominence) **2) FRONT** (=plasma “trascinato”)
3) CAVITY o VOID (=tubo di flusso in espansione?)

All’origine dell’eruzione è il fenomeno della **riconnesione magnetica**.

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.

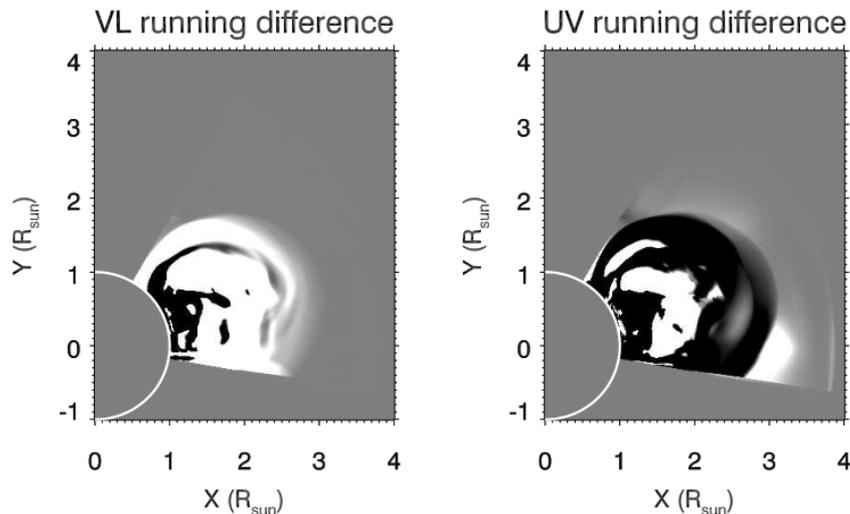
CMEs: alcuni problemi aperti

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?

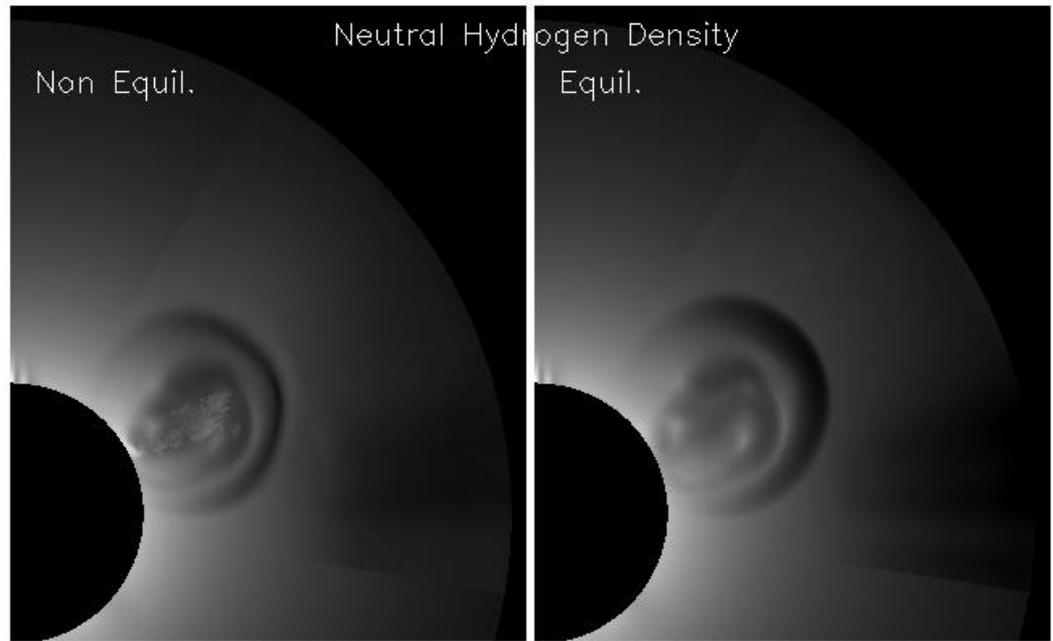
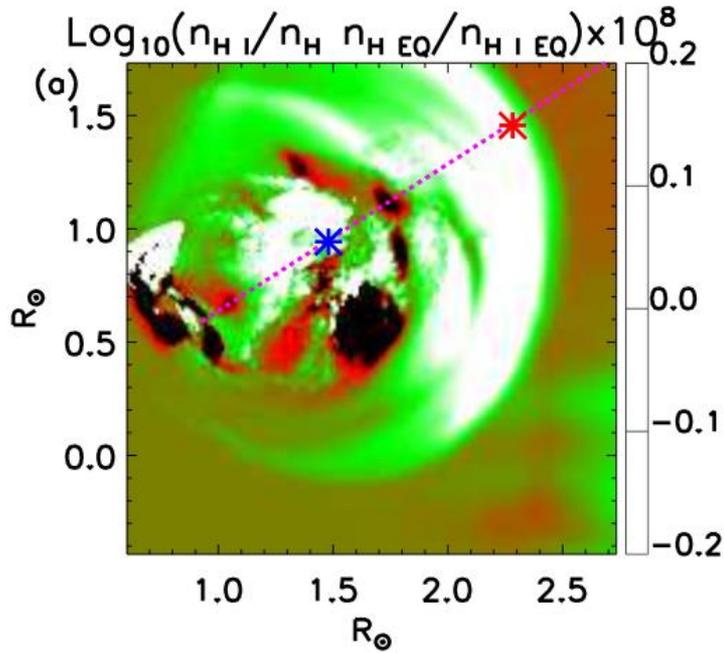
Eruzioni solari: progetto di Tesi (1)

- Il problema principale nell'**inversione dei dati** relativi alla corona solare (sia in EUV che luce visibile) è l'integrazione lungo la linea di vista LOS → **plasmi coronali otticamente sottili** a tutte le lunghezze d'onda.
- La determinazione dei parametri fisici dei plasmi coronali richiede spesso delle importanti **assunzioni sulla distribuzione lungo la LOS** di quantità ignote.
- Grazie alle aumentate capacità computazionali, negli ultimi anni si sta sviluppando un nuovo approccio al problema: l'inversione di dati sintetici.
- Questi dati sintetici sono costruiti a partire da cubi 3D contenenti tutti i parametri fisici del plasma (densità, temperatura, stato di ionizzazione, etc...) simulati a partire da **codici numerici MHD** (in collaborazione con altri gruppi).



- Recentemente (in collaborazione con l'Univ. di St Andrews UK) sono state **simulate ed analizzate** le prime osservazioni combinate di un'eruzione solare (CME) in luce visibile e in UV Lyman- α per **ottimizzare la diagnostica** che sarà applicata ai dati di Metis.

Eruzioni solari: progetto di Tesi (1)



Difference of the logarithms of the ionisation fraction for neutral (a) and ionised (b) Hydrogen atoms with respect to the values provided under the hypothesis of ionisation equilibrium at $t=19.7\text{min}$ (Pagano, Bemporad & Mackay 2020).

- Un problema fondamentale nell'analisi di queste osservazioni sarà la validità dell'ipotesi di **equilibrio di ionizzazione**: simulazioni recenti hanno mostrato che questa ipotesi non è valida per un CME, in particolare nel fronte dell'eruzione.
- **Progetto di tesi**: ideare, sviluppare e testare un **nuovo approccio alla diagnostica** delle osservazioni di CME che tenga conto anche della dinamica dell'eruzione e quindi possa quantificare gli effetti legati al non-equilibrio di ionizzazione.

SWELTO

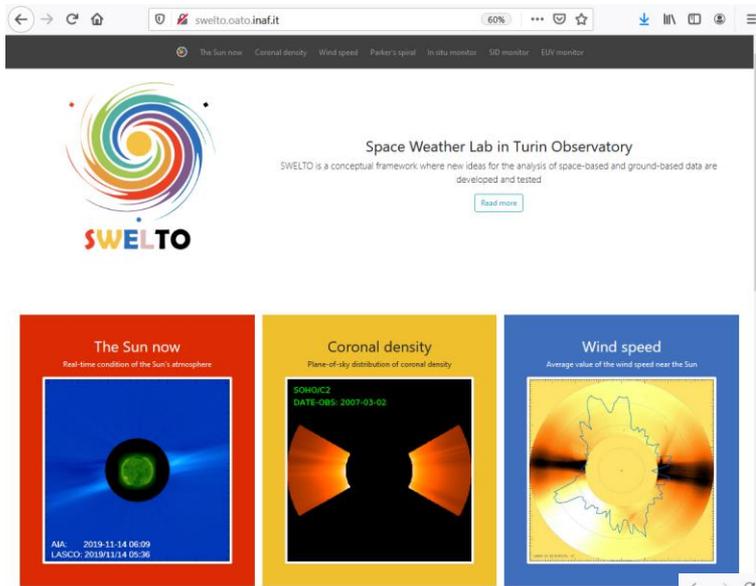
Space WEather Lab in Turin Observatory

- 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

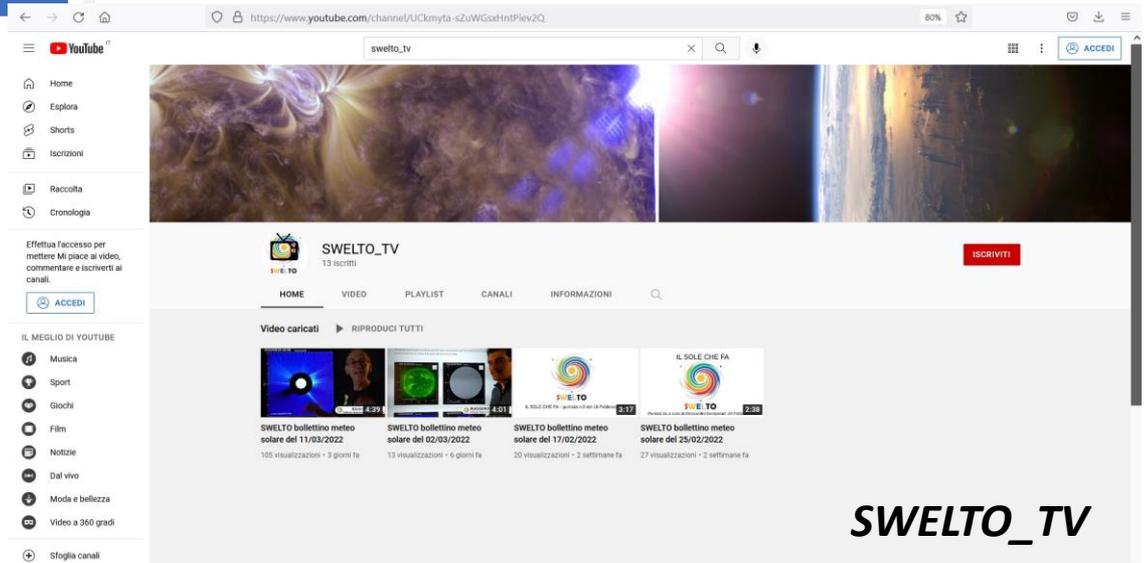
Space WEather Lab in Turin Observatory



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

- Recentemente il gruppo ha iniziato a pubblicare dei «**bollettini meteo solari**» con cadenza settimanale su YouTube.
- Questi saranno poi inseriti sul portale divulgativo INAF di «Sorvegliati Spaziali».

- 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:

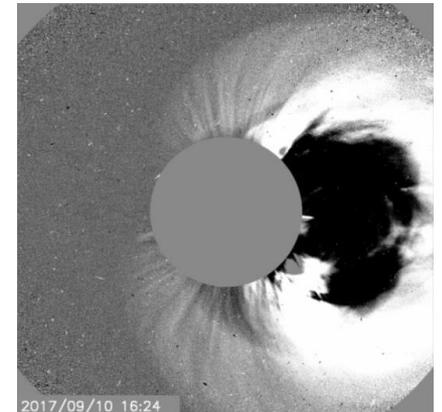
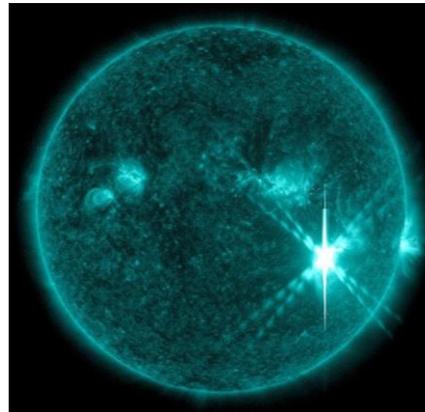
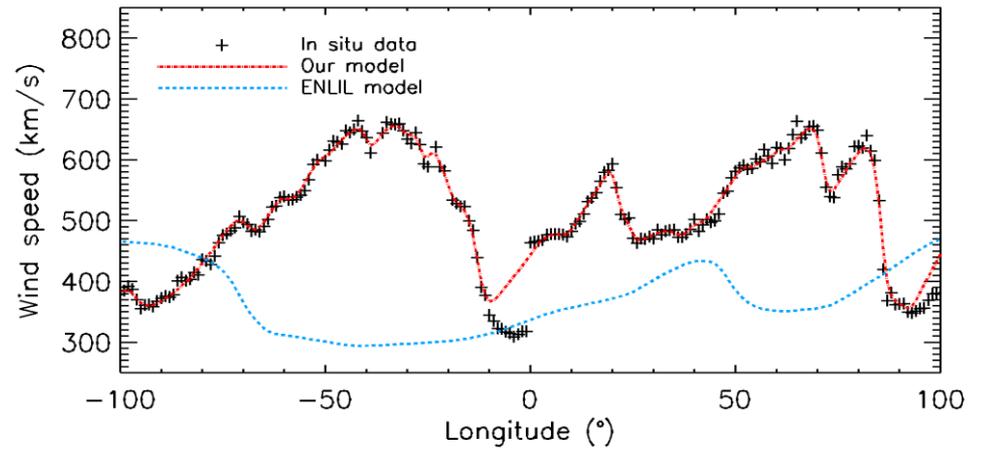
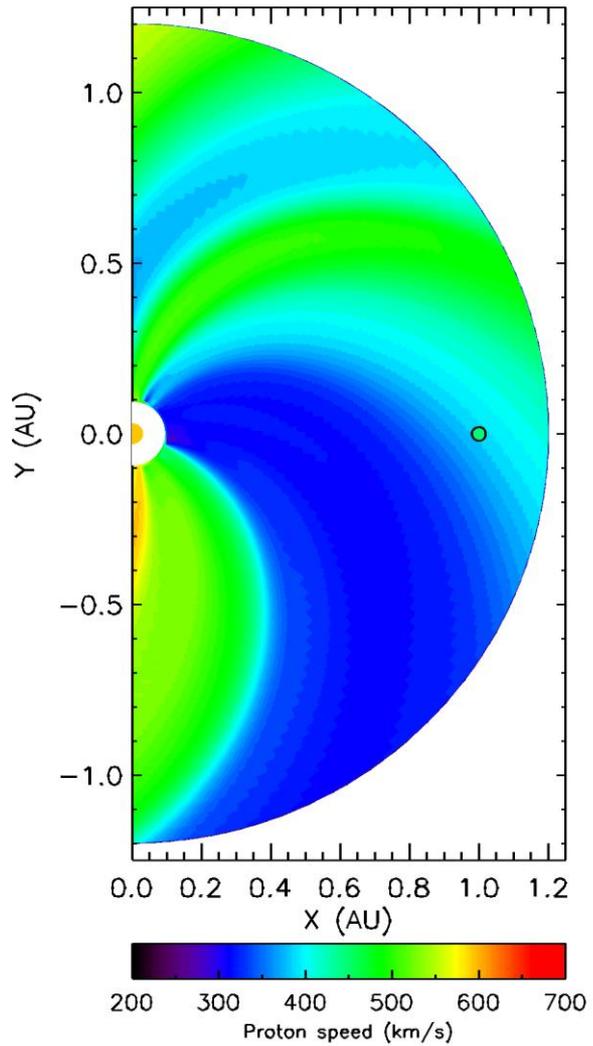


SWELTO_TV

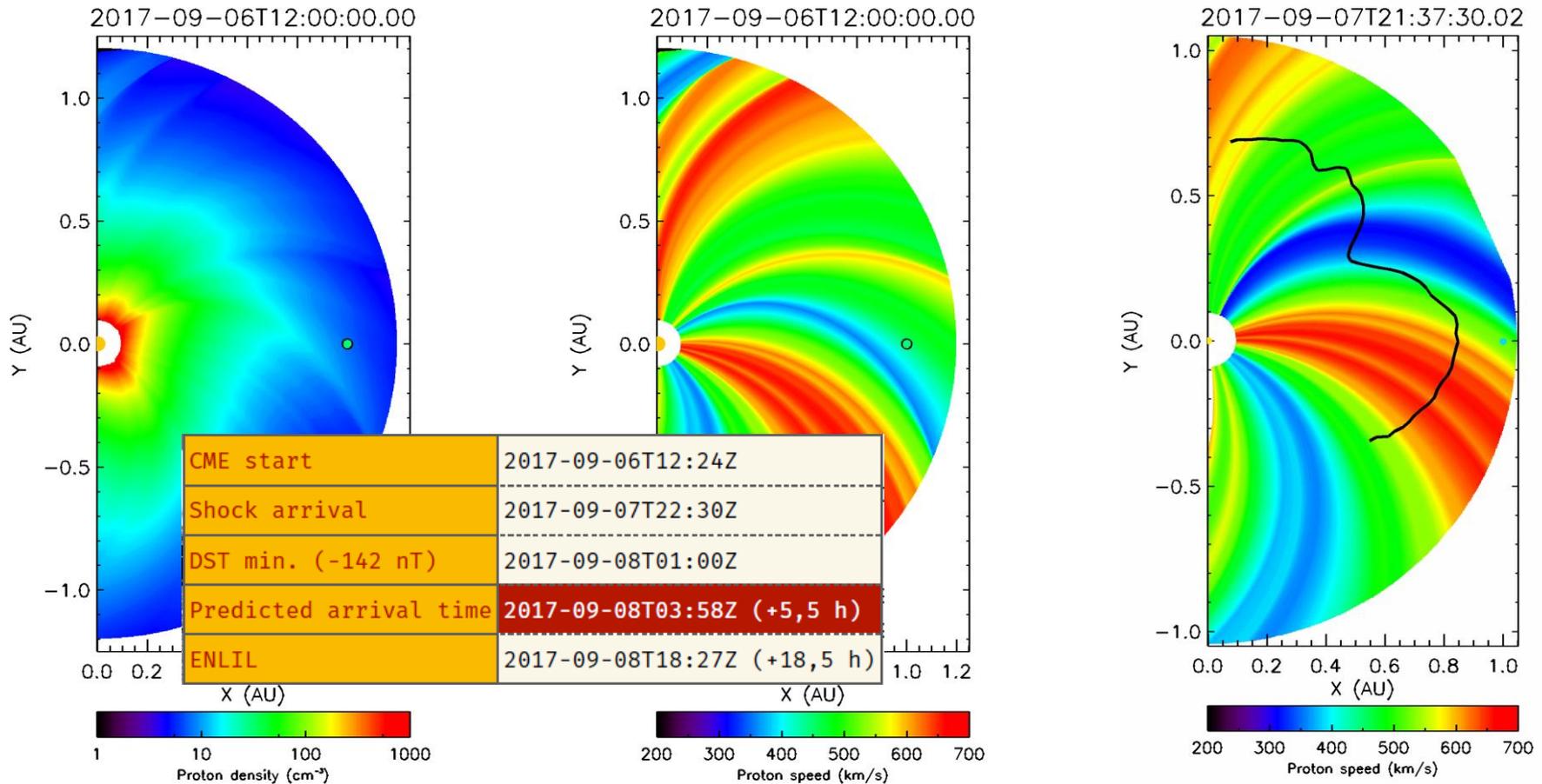
SWELTO

Space WEather Lab in Turin Observatory

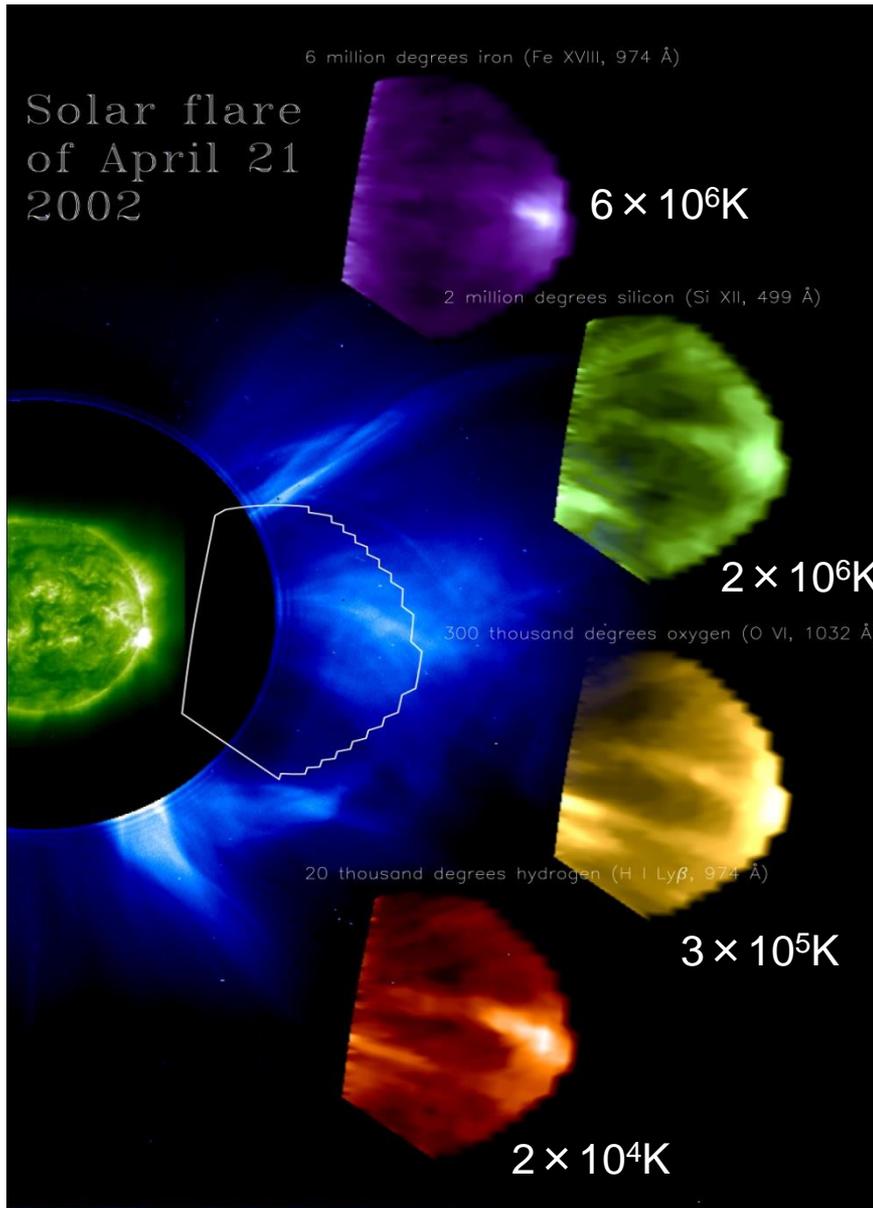
ENLIL – 2017-09-06T12:00:00



SWELTO: progetto di Tesi (2)



- **Progetto di tesi:** 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).



(Raymond et al. 2009)

Osservazioni UV di CMEs

- Il gruppo solare di Torino è stato per molti anni coinvolto nell'analisi di dati acquisiti dal coronografo-spettrometro UVCS a bordo della missione ESA-NASA SOHO (Solar & Heliospheric Observatory).
- Quando il CME attraversava la fenditura dello spettrometro, UVCS acquisiva spettri in un determinato range spettrale e tempo di esposizione. Integrando i profili di righe, da questi scan temporali ad altezza fissata si ricostruivano **immagini UV di CME** a diverse lunghezze d'onda, ossia diverse temperature.
- Queste immagini mostrano che la morfologia osservata dipende dalle caratteristiche fisiche del plasma espulso, ossia da **temperature, densità, velocità di espansione ed abbondanze** elementali.

Osservazioni UV di CMEs

(Bemporad 2022)

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

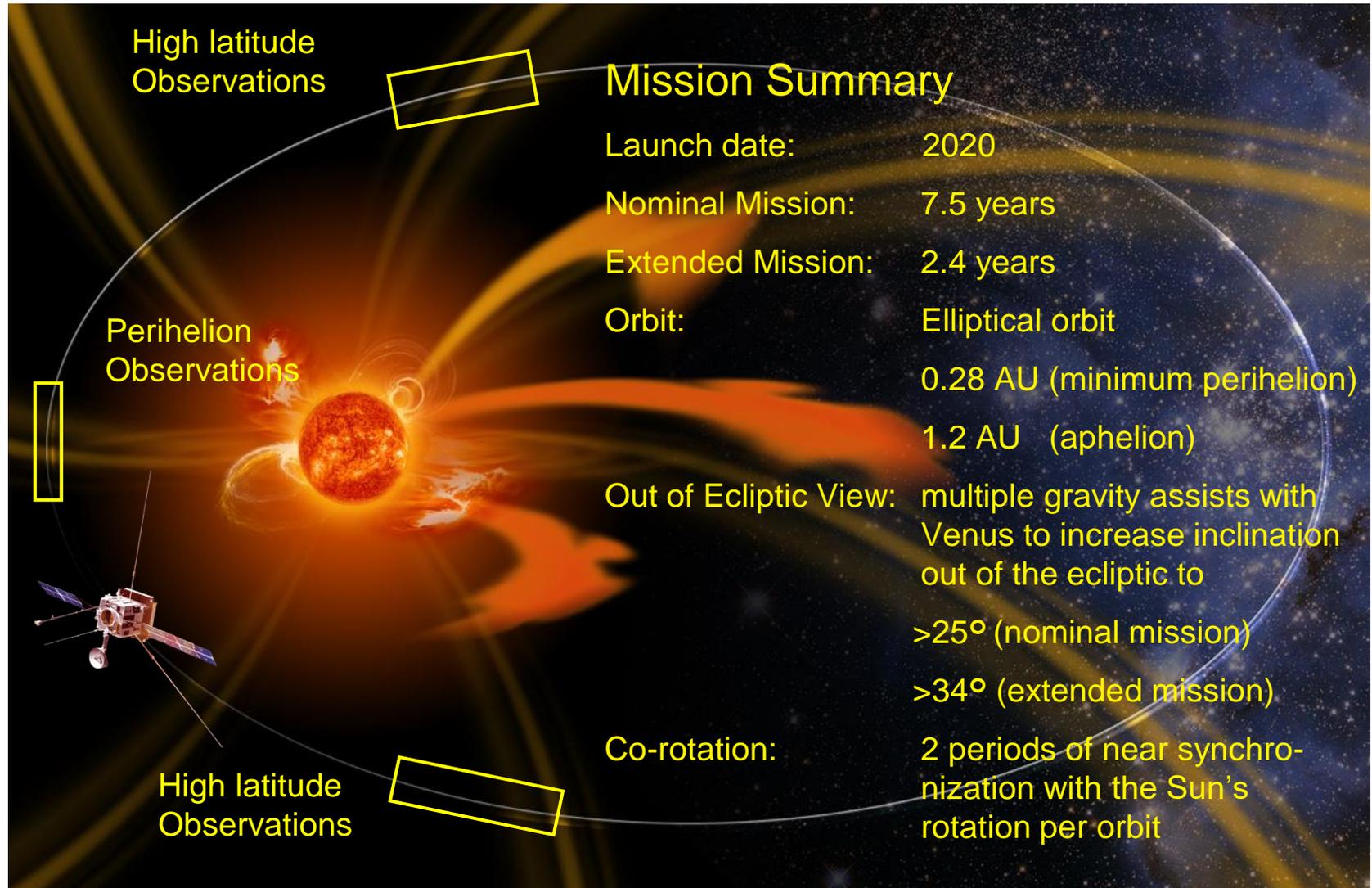
Electron temperature

UV Lyman- α

Electron density

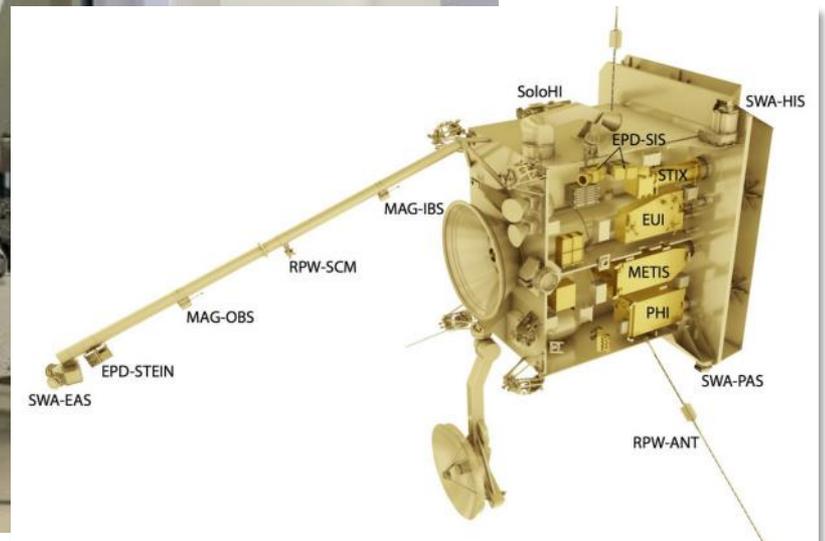
L'analisi di questi dati (estremamente ricchi di informazioni fisiche) è tutt'ora in corso, benché lo strumento abbia terminato le sue osservazioni nel 2012. Molti eventi non sono ancora stati analizzati.

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



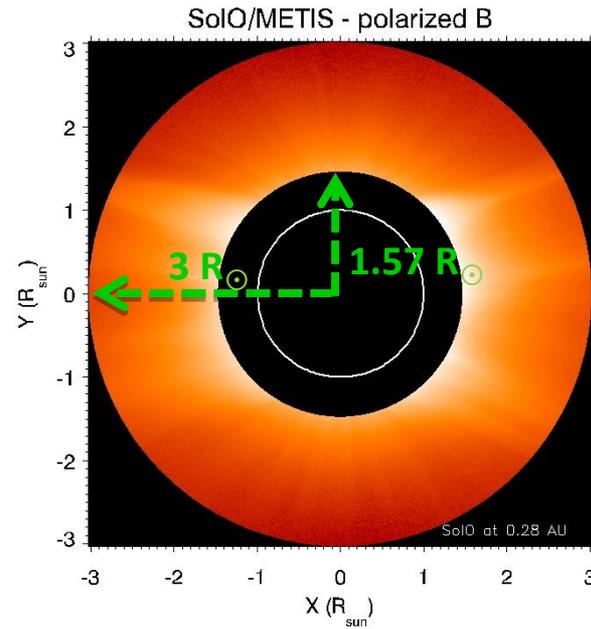
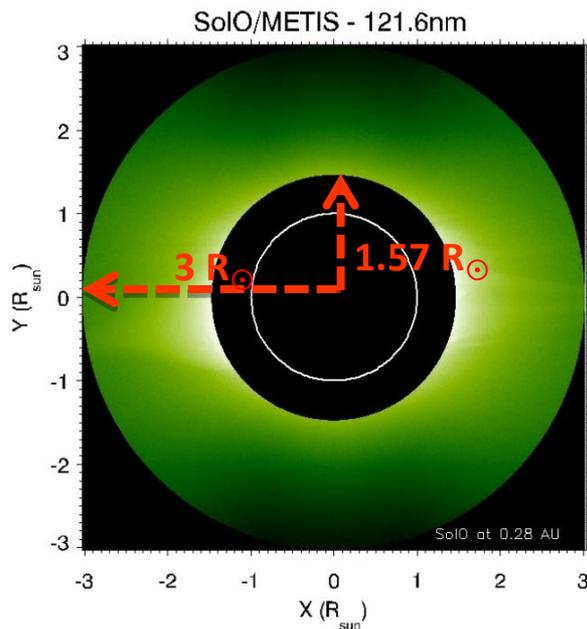
METIS su Solar Orbiter

- 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)

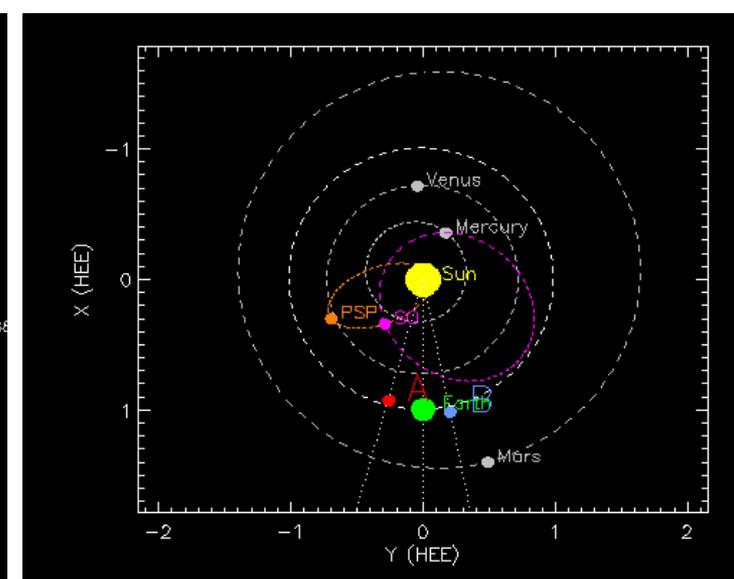
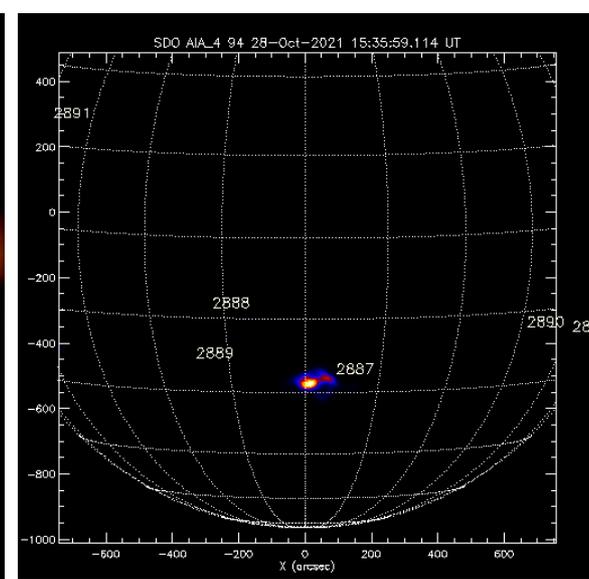
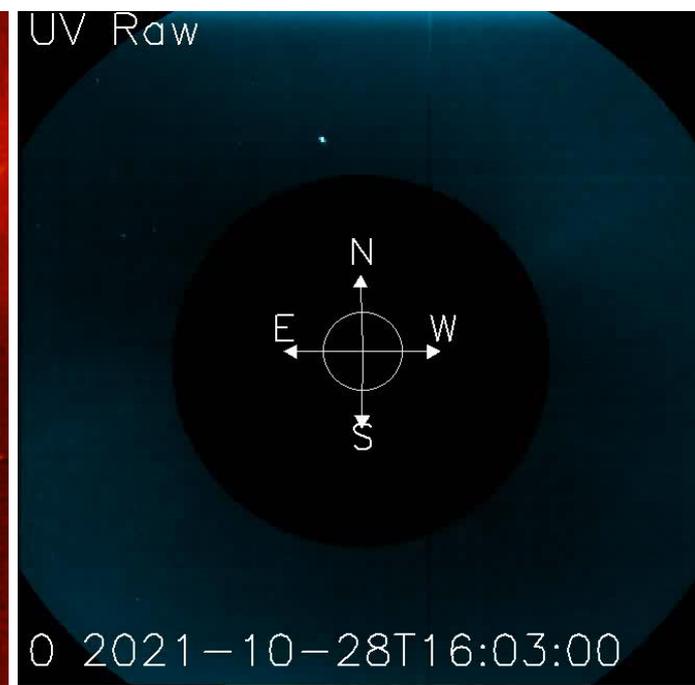
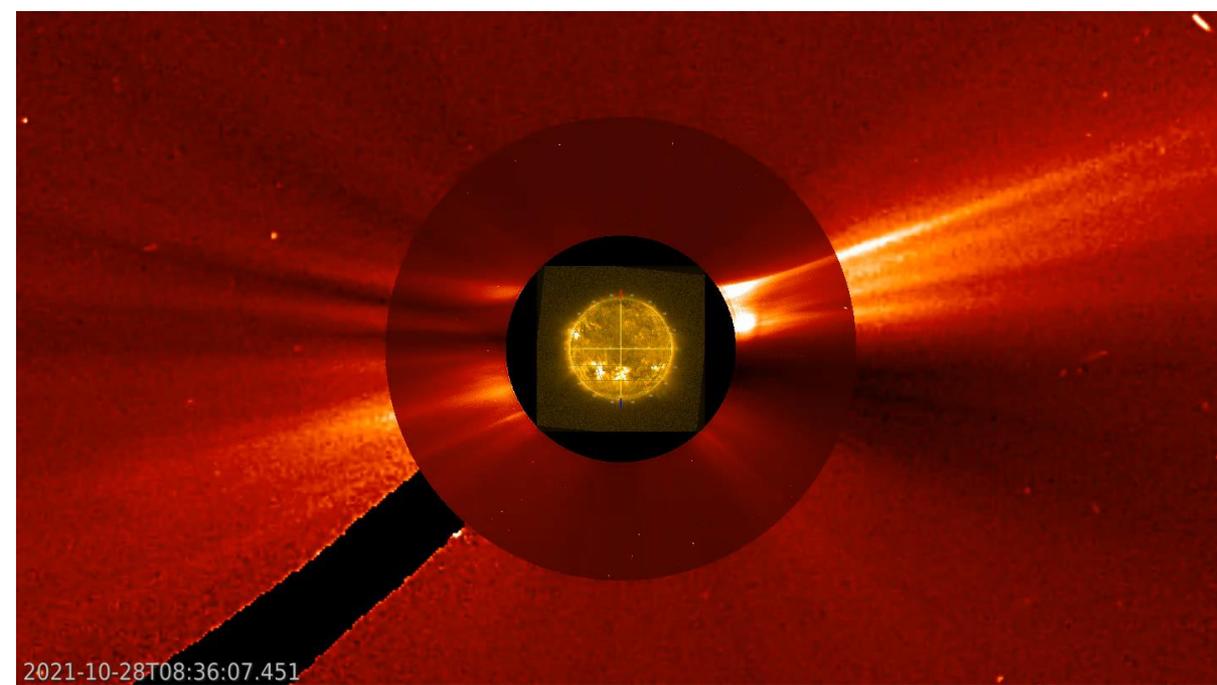


Metis just before initiation of pumping for calibration with the UV source (ALENIA Turin, March 25, 2017)

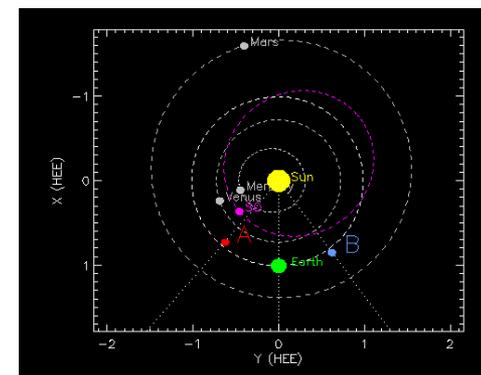
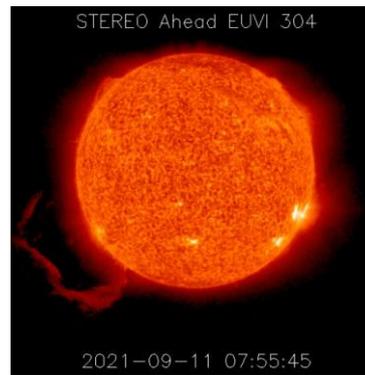
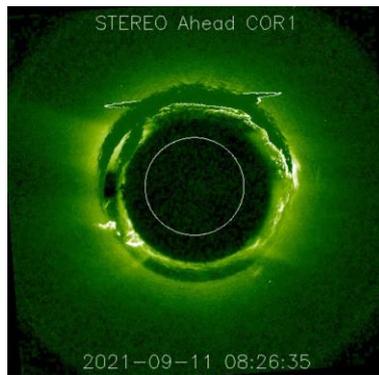
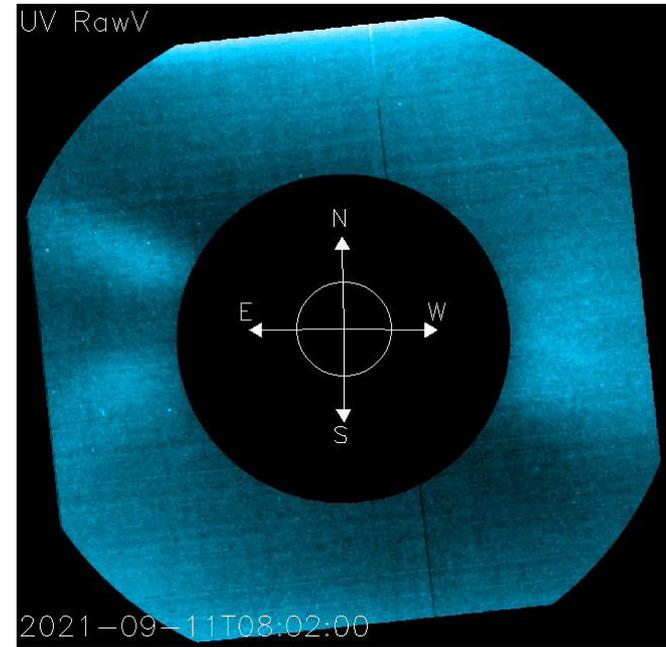
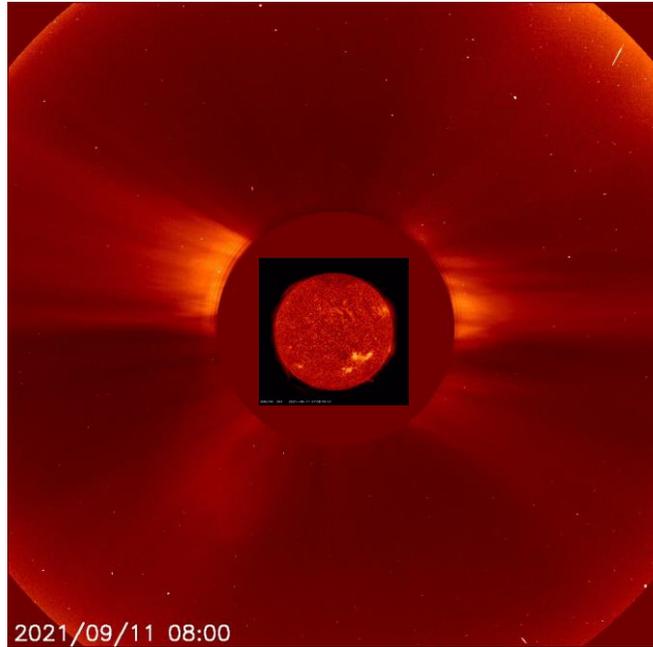
METIS field of view at 0.28 AU



Studi di eruzioni viste da Metis: progetti di tesi (3)



Studi di eruzioni viste da Metis: progetti di tesi (3)



- **Progetti di tesi:** molteplici obiettivi, tra cui lo studio di i) **evoluzione termodinamica** delle eruzioni, ii) **emissione polarizzata** e contaminazione da H-alpha (STEREO/COR1) e HeII D3 (SoLO/METIS), iii) **impatto sulla corona circostante** (compressione/riscaldamento?)

Riassumendo

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 **analisi ed interpretazione dati**
 - Analisi di osservazioni spettroscopiche di CMEs acquisite dal coronografo spettrometro UVCS a bordo di SOHO
 - Analisi di immagini coronografiche acquisite dal coronografo multi-canale METIS a bordo di Solar Orbiter
- Tesi di **sviluppo di diagnostiche** a partire da dati sintetici da simulazioni MHD
- Tesi di **sviluppo di nuovi tools** per l'analisi in real-time di dati per la Space Weather

alessandro.bemporad@inaf.it