

PERSEVERANCE: LE PRIME IMMAGINI DA MARTE

Coelum

ASTRONOMIA

**Il Gruppo
Astronomia
Digitale**

Una storia di
Astronomia
Amatoriale

Una
FLOTTA SCIENTIFICA
ha raggiunto **MARTE**

SULLA FRONTIERA
PATRIZIA CARAVEO
Una vita dedicata ai
MOSTRI del CIELO



Le **DIMENSIONI**
delle **STRUTTURE**
LUNARI



PROGETTO SWELTO
SPACE WEATHER
a portata di click

**FOSFINA su VENERE: tra dubbi e
smentite il dibattito è aperto...**

**Le QUATTRO STAGIONI in
compagnia del GRANDE CARRO**

Il Cielo di MARZO

Effemeridi e Fenomeni

Le giganti rosse di primavera

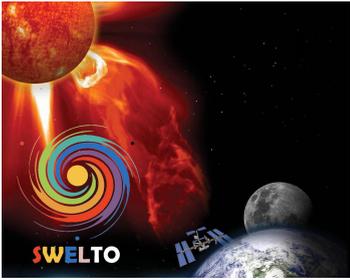
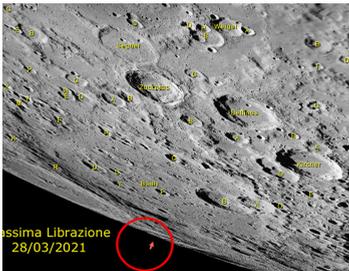
Vagabonde blu in M 53

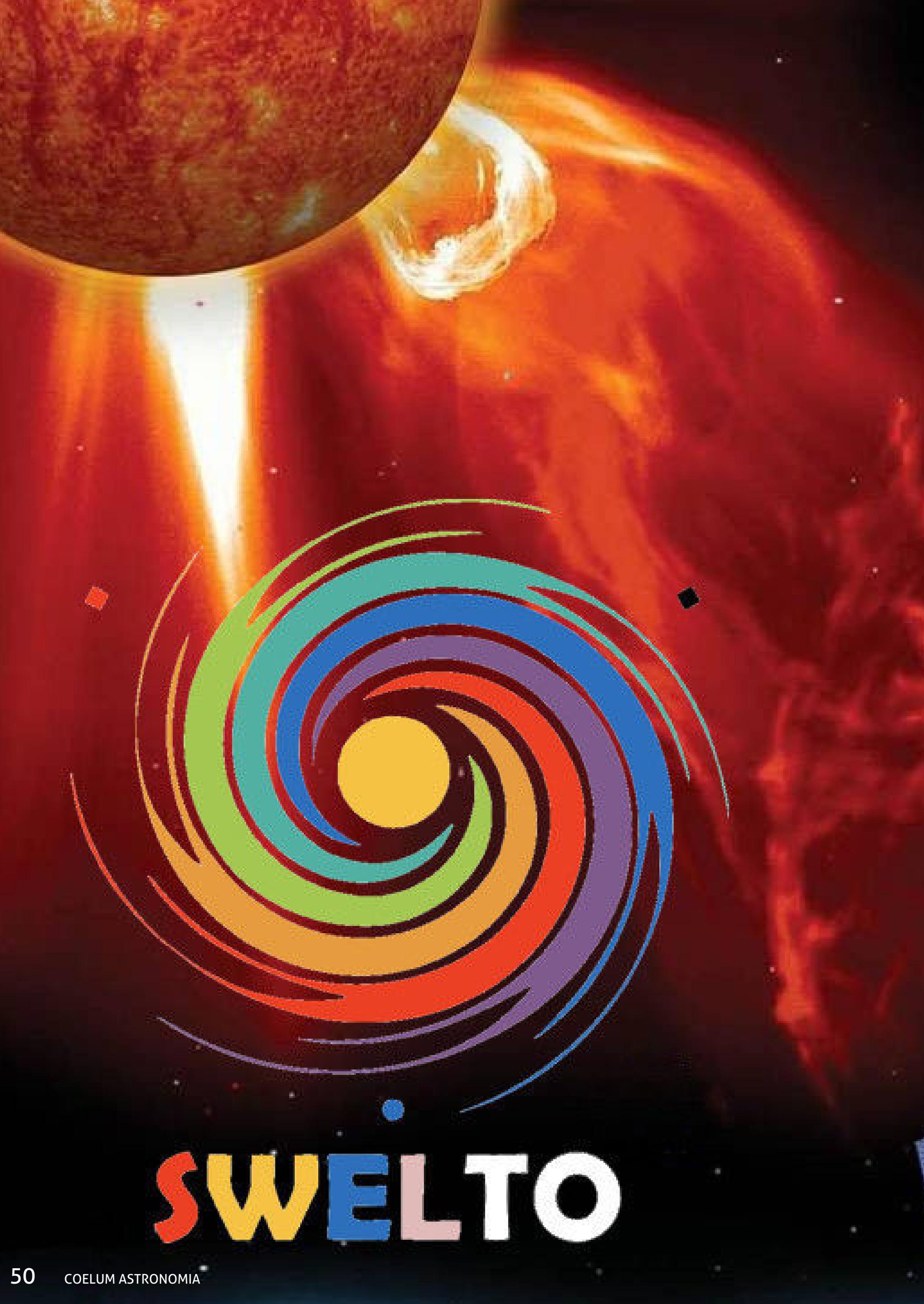
253

2021

www.coelum.com

Coelum Astronomia 253 - Sommario

- 6 **Il futuro di Coelum Astronomia**
- 8 **Notiziario**
di Autori Vari
- 24 **Notiziario di Astronautica**
di Luigi Morielli
- 32  **Report Una nuova flotta scientifica raggiunge Marte**
di Marco di Lorenzo, Elisabetta Bonora, Manuel De Luca e Redazione Coelum Astronomia
- 50  **SWELTO Un laboratorio per la Meteorologia Spaziale**
di Alessandro Bemporad, Silvio Giordano e Luca Zangrilli
- 64  **Sulla Frontiera Patrizia Caraveo una vita dedicata ai "mostri del cielo"**
di Franco Foresta Martin e Azzurra Giordani
- 72  **Il Gruppo Astronomia Digitale (GAD) Una storia nell'astronomia amatoriale**
di Claudio Lopresti
- 80  **Le dimensioni delle strutture lunari messe a confronto con gli elementi terrestri**
di Francesco Badalotti
- 86 **PhotoCoelum**
di Autori Vari
- 94  **Le Meraviglie del Cosmo Le Vagabonde Blu di Messier 53**
di Barbara Bubbi
- 96  **Uno Scatto al Mese Un anno con il Grande Carro**
di Giorgia Hofer
- 102  **Il Cielo del Mese Il Cielo di Marzo**
di Redazione Coelum Astronomia
- 114 **Dove e quando osservare la ISS**
di Giuseppe Petricca
- 115 **Comete Con la Primavera arriva la ATLAS**
di Claudio Pra
- 116 **Supernovae La prima supernova amatoriale del 2021**
di Fabio Briganti e Riccardo Mancini
- 119 **Luna La Luna di Marzo**
di Francesco Badalotti
- 122  **Luna Guida all'osservazione: "Dal settore sudest verso nord" - Parte 11**
di Francesco Badalotti
- 130  **Uno Sguardo al Cielo Viaggio tra le rosse giganti della Primavera**
di Giorgio Bianciardi
- 136 **Guida Osservativa a tutti gli eventi del cielo di Marzo**
- 144 **Mostre e Appuntamenti**
- 146 **Recensioni Libri**



SWELTO

SWELTO

Un laboratorio per la Meteorologia Spaziale

di Alessandro Bemporad, Silvio Giordano, Luca Zangrilli

Non c'è dubbio: la stella più studiata dell'Universo, almeno da parte dell'umanità, è il Sole. Le osservazioni sistematiche della nostra stella ormai sono estese su un intervallo di tempo di circa due secoli e adesso riguardano praticamente tutte le bande dello spettro elettromagnetico. Uno degli Osservatori solari più assidui e più noti è sicuramente SoHO, la missione congiunta dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) e della NASA tuttora in funzione dal 1996, anno in cui iniziarono le sue operazioni, che con i dati dai suoi dodici strumenti ha segnato un punto di svolta per la Fisica Solare. Attualmente sono attive diverse missioni solari spaziali, tra le quali citiamo *Solar Orbiter* e *Parker Solar Probe*, e da terra sono da poco partite le osservazioni di un nuovo grande telescopio solare, il *Daniel K. Inouye Solar Telescope*, DKIST. Accedere alla gran quantità di dati prodotti, siano essi del passato oppure appena acquisiti in tempo reale, è oggi relativamente facile e possibile a tutti, con qualche limitazione a seconda della politica adottata dai vari strumenti. Ad esempio l'archivio *VSO (Virtual Solar Observatory)*, raggiungibile dalle pagine dei siti statunitensi del *National Solar Observatory*, della NASA oppure dell'*Università di Stanford*, è uno strumento che i fisici solari utilizzano abitualmente per ottenere dati sul Sole. Come già discusso in un articolo apparso su questa rivista ("Space Weather. Tra Sole e Terra nella tempesta" su *Coelum Astronomia* 230), non si tratta di un archivio che risiede fisicamente in un luogo, bensì di un archivio diffuso composto da molti database solari attivi nel mondo.





Sopra. Una bella fotografia di un'aurora mattutina ripresa a bordo della Stazione Spaziale Internazionale dall'astronauta Scott Kelly il 7 ottobre 2015. Crediti: NASA/Kelly

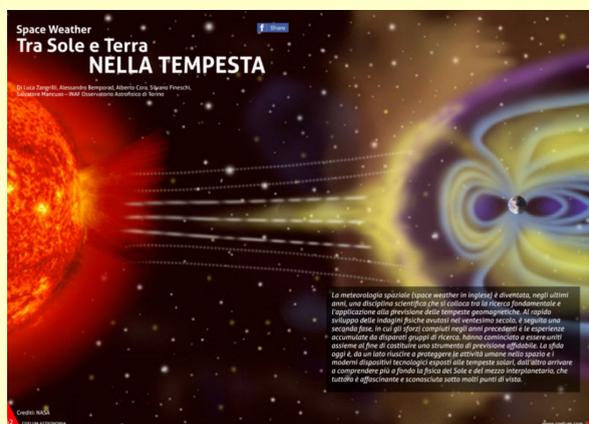
Uno degli utilizzi più interessanti e promettenti di questi archivi riguarda la *meteorologia spaziale*, o *space weather* con dizione anglosassone, che non solo ha bisogno di modelli fisici predittivi, ma anche deve imparare da ciò che è avvenuto in passato. La necessità di organizzare i dati raccolti sinora e di renderli fruibili per fare previsioni

sull'attività solare, giustifica le numerose iniziative che mirano alla gestione attiva dei database, ovvero non solo a fungere da contenitori di dati ma anche a svolgere il ruolo di banco di prova per codici di simulazione, e per programmi che imparano, nel qual caso si parla di *machine learning*. Una di queste iniziative, nata circa tre

Leggi anche:



Eclissi di Sole: dalle suggestioni del passato alla scienza del futuro
su Coelum Astronomia 213



Space Weather Tra Sole e Terra nella tempesta
su Coelum Astronomia 230



Il Sole tra ordine e caos
su Coelum Astronomia 249

Rappresentazione artistica della sonda Solar Orbiter, dell'ESA, impegnata nello studio del Sole. Crediti: ESA



anni fa e di cui parleremo estesamente in questo articolo, è il progetto **SWELTO** (*Space Weather Laboratory in Turin Observatory*), che è stato pensato come strumento per lo studio della propagazione degli effetti delle eruzioni solari nel vento solare e nel mezzo interplanetario, e in

generale di tutto ciò che provenendo dal Sole può influenzare la magnetosfera terrestre. Il progetto mira a crescere nelle sue competenze per poter dare il suo contributo a livello nazionale ed europeo nell'ambito della nascente disciplina della Meteorologia Spaziale.

Cosa sono le previsioni della meteorologia spaziale

L'attività solare può essere oggetto di previsioni su grande scala temporale, ad esempio nel caso dell'andamento dei **cicli undecennali di attività** ("Il Sole tra ordine e caos" su Coelum Astronomia 249), oppure su scale temporali dei giorni, nel qual caso è possibile parlare più propriamente di **Meteorologia Spaziale** che riguarda tutte le perturbazioni generate in eliosfera dall'attività solare. Possiamo suddividere quest'ultimo tipo di previsioni in due categorie: **quelle che considerano la possibilità di un evento energetico**

sul Sole o nella bassa corona, come i brillamenti (flare, in lingua inglese), oppure le espulsioni coronali da massa di massa, dette anche Coronal Mass Ejection (CME), e quelle invece che **riguardano gli effetti di tali fenomeni sull'eliosfera e la possibilità che questi possano interessare più o meno intensamente l'ambiente circumterrestre**. In entrambi i casi, l'attività di previsione si fonda su alcuni pilastri imprescindibili. Un punto importante riguarda la possibilità di seguire il Sole in diretta, ovvero

l'acquisizione di dati in quasi-real time, provenienti ad esempio dalle missioni attualmente in corso. Un altro aspetto è legato all'utilizzo di quanto già osservato in passato, quindi all'eredità delle missioni solari dei decenni trascorsi, la cui importanza è duplice.

L'avanzamento delle conoscenze in Fisica Solare ha permesso di comprendere più a fondo i processi fisici dell'attività solare, e ha reso possibile la messa a punto di strumenti diagnostici specifici, quindi la definizione di quantità fisiche misurabili che siano collegate all'attività. Inoltre,

la possibilità di fruire di database scientifici su una lunga scala temporale, ci consente di imparare a riconoscere l'imminenza di eventi energetici, sulla base di alcune manifestazioni che potremmo chiamare precursori.

Ciò che vorremmo essere in grado di saper fare è riconoscere i segnali provenienti dal Sole prima che un evento energetico accada, e riuscire a seguire l'evoluzione e la propagazione dal Sole alla Terra delle perturbazioni nell'ambiente eliosferico.

Accordo di collaborazione per lo Space Weather

di Ufficio Stampa INAF

Lo scorso giovedì 4 febbraio un'intesa di collaborazione per lo Space Weather è stata siglata dal presidente dell'INAF Marco Tavani, dal presidente dell'INGV Carlo Doglioni e dal capo di Stato Maggiore dell'Aeronautica, generale di squadra aerea Alberto Rosso.

L'iniziativa, che rientra nel quadro di cooperazione tra le forze armate, gli enti di ricerca, l'università e l'industria, è volta allo sviluppo di una capacità autonoma di monitoraggio e previsione per lo space weather, utile al Paese, nel quadro di un settore strategico in rapida evoluzione a livello nazionale e internazionale. Essa costituisce un'opportunità di mutua crescita in virtù della condivisione di esperienze e avvio di iniziative congiunte, cruciale per garantire un adattamento efficace all'evoluzione del settore spaziale e aerospaziale.

L'informazione relativa ai fenomeni di space weather è d'interesse della Difesa e di pubblica utilità, avendo tali fenomeni impatti sui sistemi satellitari, sui sistemi di navigazione e di comunicazione, sulla salute degli equipaggi e dei passeggeri dei voli in alta quota, sulle infrastrutture critiche, sia militari che civili.

L'Aeronautica Militare ha da tempo sviluppato nell'ambito del suo Servizio Meteorologico una capacità operativa per lo space weather, basata sulla rielaborazione di dati e informazioni dipendenti esclusivamente da Paesi terzi. Mettendo ora a sistema le risorse dell'INAF e dell'INGV reperibili sul territorio nazionale in ambito space weather, condividendo dati, prodotti, algoritmi, modelli e servizi, sarà possibile conseguire il consolidamento e l'ulteriore sviluppo di una affidabile, accurata, tempestiva capacità operativa nazionale. Una capacità realmente autonoma, di produzione di informazioni riguardanti il monitoraggio, la climatologia e la previsione dei fenomeni di space weather e il suo mantenimento operativo.

Nell'ambito della collaborazione, l'Aeronautica Militare parteciperà all'elaborazione di nuovi algoritmi, modalità e procedure operative sfruttando proprie risorse di personale e infrastrutturali, in base all'alta specializzazione acquisita nel settore, allo scopo di produrre con continuità informazioni utilizzabili per scopi militari o civili e riguardanti lo stato passato, attuale e futuro dell'ambiente spaziale, la cui conoscenza è di cruciale importanza per operare

Segnali dal Sole

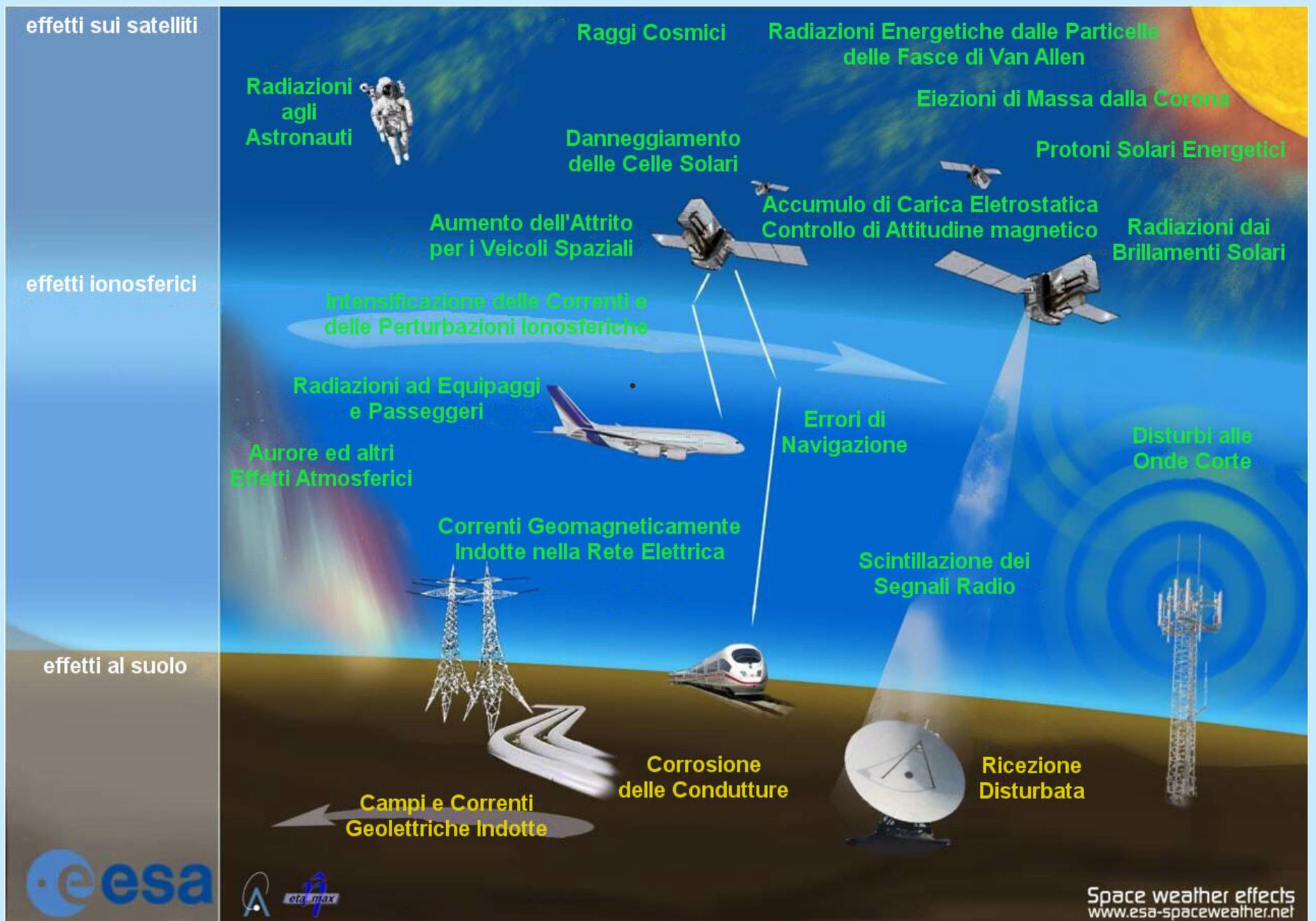
I brillamenti sono eventi di improvviso rilascio di energia magnetica nella bassa corona, che sono all'origine di molte delle tempeste solari che possono investire il nostro pianeta. La domanda che ci possiamo porre è: i brillamenti sono veramente imprevedibili oppure possiamo capire quando stanno per avvenire da alcuni segnali premonitori? Va detto che la fisica alla base di questi fenomeni non è ancora compresa a fondo, e dobbiamo affidarci in maniera empirica a degli elementi osservabili, per capire se un'eruzione

solare è imminente. Riassumendo ciò che abbiamo sinora compreso, dobbiamo prestare attenzione a quelle regioni attive sulla superficie solare che sono ben sviluppate, quindi di grandi dimensioni, e con elevata densità di energia magnetica. Inoltre i campi magnetici presenti devono essere di tipo non-potenziabile, che significa essere in condizioni di non equilibrio. Infatti, quando l'energia magnetica non ha ancora raggiunto un valore minimo e stabile, è disponibile una frazione di tale energia pronta ad essere liberata nel brillamento

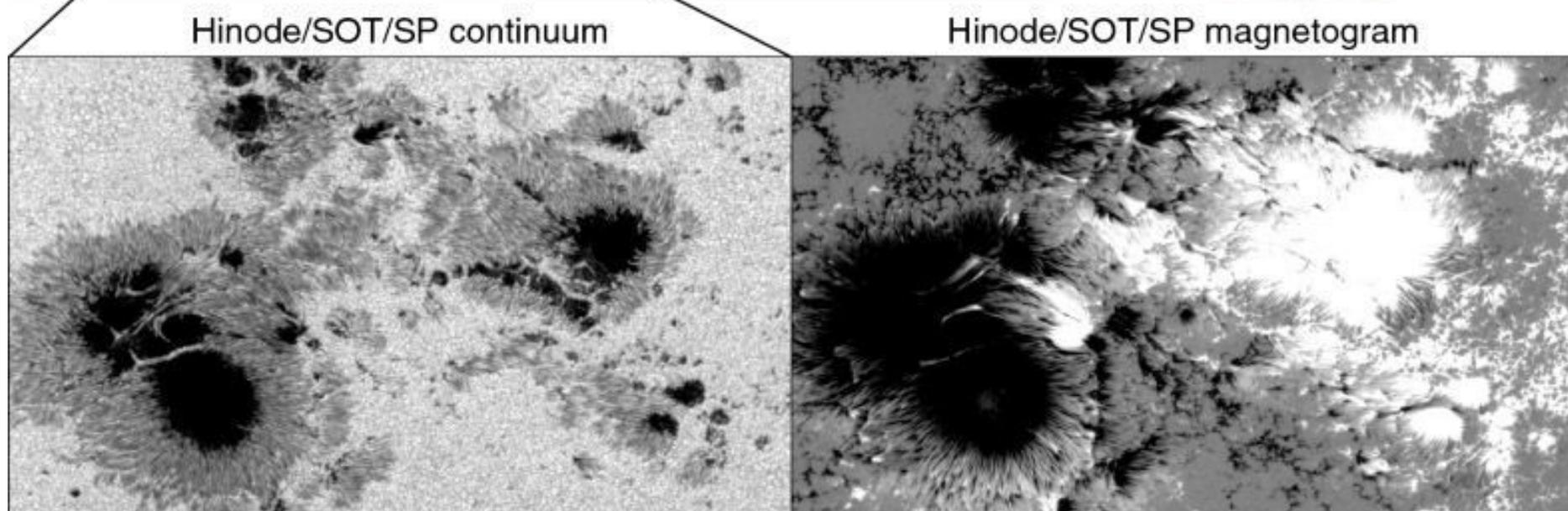
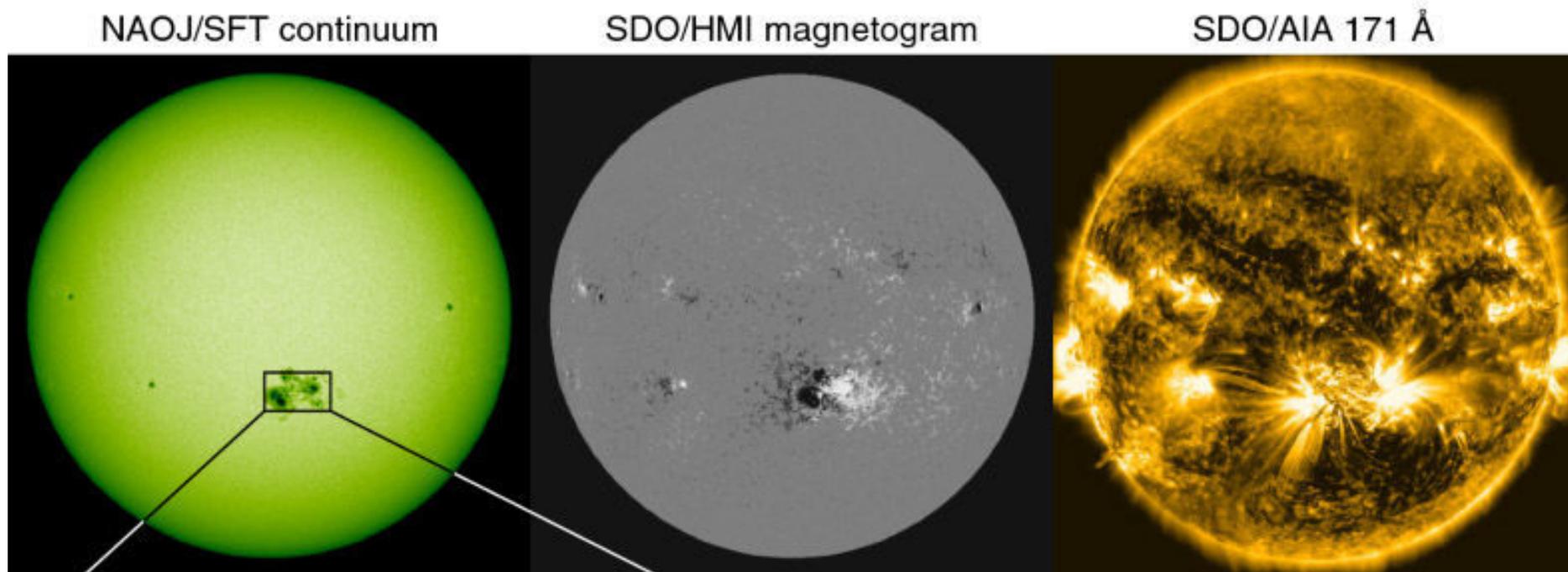
in sicurezza nel dominio spaziale. L'INGV, invece, contribuirà con la consolidata esperienza di acquisizione e gestione dei dati del monitoraggio

e come fornitore di servizi nel campo dello space weather a grandi utenti istituzionali.

Leggi la notizia completa su Media INAF.



Sopra. Schema dei principali effetti dello Space Weather sui sistemi biologici e tecnologici a terra e nello spazio. Crediti: Esa; Belgian Institute for Space Aeronomy. Traduzione: M. Messerotti

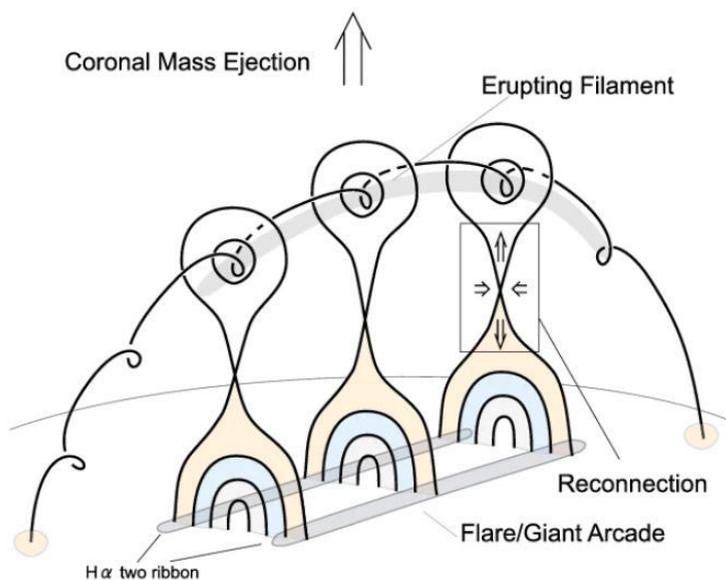


Sopra. La regione attiva **AR NOAA 12401** osservata contemporaneamente dagli strumenti Hinode, IRIS, e SDO, mostra i segnali caratteristici alla base della produzione di brillamenti. Fonte: Living Rev Sol Phys (2019) 16: 3. Crediti: NASA/SDO

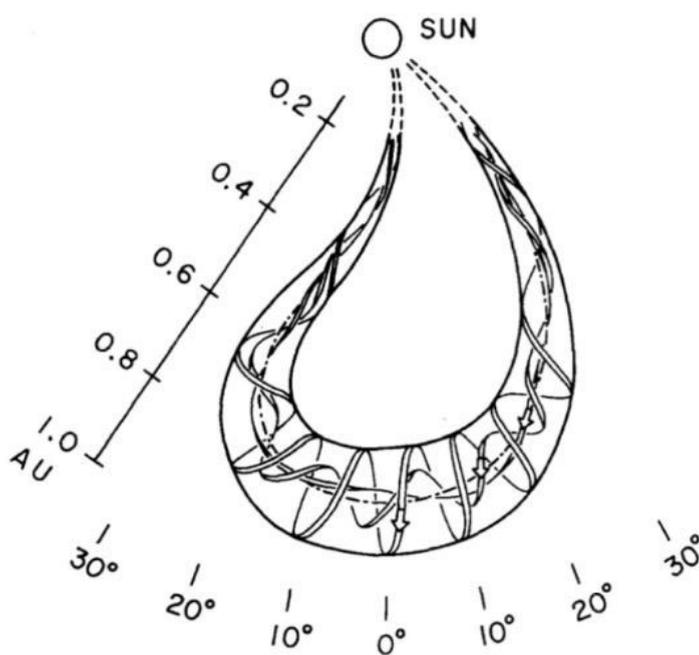
attraverso il fenomeno della riconnessione magnetica. Possiamo immaginare questa condizione come ricca di possibilità con cui i campi magnetici possono andare soggetti al fenomeno di riconnessione, rendendo allora

molto probabile il verificarsi di questo tipo di eventi. Inoltre, se la regione attiva mostra una rapida evoluzione, caratterizzata dall'emersione di nuovo flusso magnetico dalla superficie, allora le probabilità aumentano notevolmente.

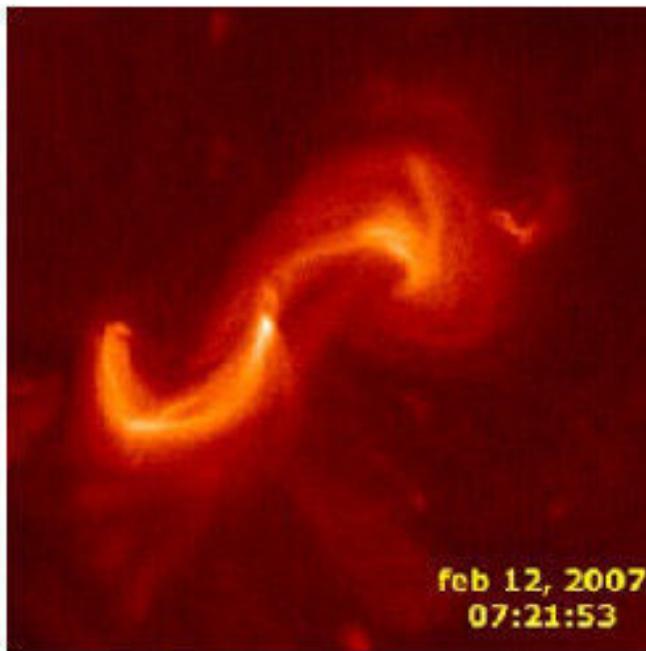
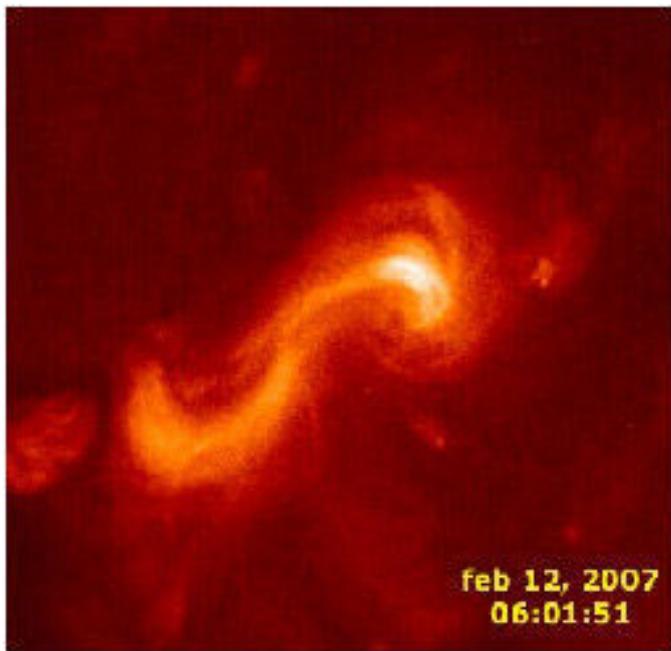
(a) Standard flare model



(b) Magnetic field structure of CME



A sinistra. (a) Modello di configurazione magnetica per spiegare un **brillamento solare**; **(b)** eruzione dell'arcata magnetica che diventa il core di una **CME** nello spazio interplanetario. Crediti: Shin Toriumi et al. Living Rev Sol Phys (2019) 16: 3



A sinistra. Un esempio di sigmoidi fotografati nel 2007. Crediti: NASA/STFC/ISAS/JAXA/A. Hood (St. Andrews), V. Archontis (St. Andrews)

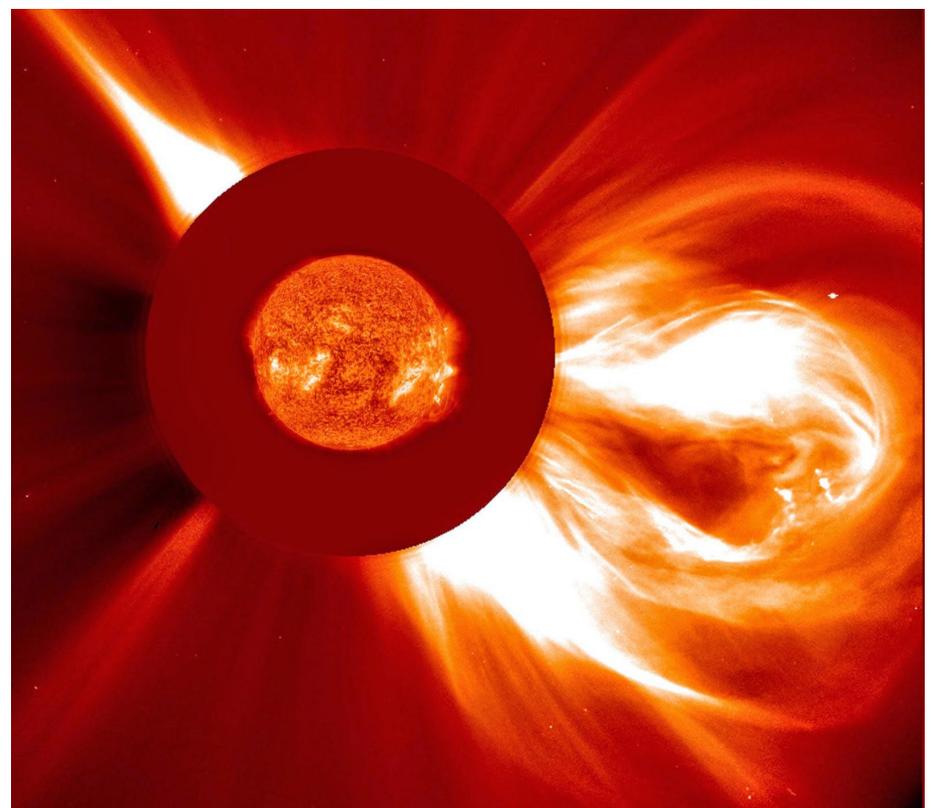
Un esempio di configurazioni magnetiche non potenziali sono i cosiddetti sigmoidi, caratterizzati dalla loro forma a S, osservati nei raggi X nell'alta atmosfera solare. Sono dotati di una gran quantità di energia magnetica disponibile, e quindi instabili, e sono stati associati al verificarsi di brillamenti. Uno scenario tipico è quello in cui

un'arcata magnetica, inizialmente chiusa e che racchiude un sigmoide, si sviluppa lungo la linea di cambio di polarità di una regione attiva. Data l'instabilità della struttura, questa può improvvisamente erompere e diventare il nucleo di una CME, e la scissione dei collegamenti con la superficie solare dà luogo a un brillamento.

Sorveglianza dall'orbita terrestre

Come abbiamo detto, l'osservazione diretta di ciò che avviene sul Sole è un elemento importante per la meteorologia spaziale. Un altro aspetto da considerare è la possibilità di avere a disposizione dei fenomeni osservabili localmente, per intenderci in prossimità dall'orbita terrestre, che possano far pensare a un'imminente tempesta geomagnetica. Gli studi a questo riguardo sono molteplici e sono iniziati ancor prima dell'esordio dell'era spaziale.

Un esempio di segnale premonitore, che si può avere da misure in situ alla distanza dell'orbita terrestre e che rivela in molti casi l'arrivo di una CME geo-efficace e di una conseguente tempesta geomagnetica, è la cosiddetta *decrescita di Forbush*, dal nome dello studioso che



Sopra. Un'espulsione coronale di massa, o CME, erutta dalla parte inferiore destra del Sole in questa immagine composita catturata dall'Osservatorio SOHO dell'ESA/NASA il 2 dicembre 2003. Quando sono dirette verso la Terra, le CME possono interagire con il campo magnetico terrestre, creando una tempesta geomagnetica. Queste tempeste possono mettere a dura prova le reti elettriche inducendo correnti extra nel sistema. Gli scienziati solari sono costantemente al lavoro per capire quando e dove queste correnti elettriche saranno indotte in modo da poter fornire avvisi più affidabili agli ingegneri energetici. Crediti: ESA/NASA/SOHO.
A sinistra. Scott Forbush (1904-1984)

lo mise in evidenza per la prima volta negli anni '30 del secolo scorso. Consiste in una rapida diminuzione, in qualche decina di minuti oppure qualche ora, dell'intensità nel flusso di raggi cosmici galattici, che sono particelle cariche ad altissima energia che provengono dall'esterno del Sistema Solare. L'entità di questo calo nel flusso è di circa il 10%, anche se deve dipendere chiaramente dall'intensità della CME e del suo campo magnetico. La nuvola di plasma espulsa nel corso di una CME può generare un fronte d'urto che contiene campo magnetico relativamente

Machine Learning

Il quadro che abbiamo davanti è da un lato molto ricco e dall'altro risulta spesso di difficile interpretazione. I motivi per affidare parte del lavoro di previsione alle macchine sono molteplici, ma due sono essenziali: ogni pochi minuti abbiamo a disposizione un'immagine del Sole in una qualche banda spettrale, quindi i fisici non sono in grado per motivi di tempo di analizzare direttamente ogni dato; inoltre è stato dimostrato come gli algoritmi automatici siano molte volte in grado di catturare dettagli che sfuggono alla nostra analisi diretta.

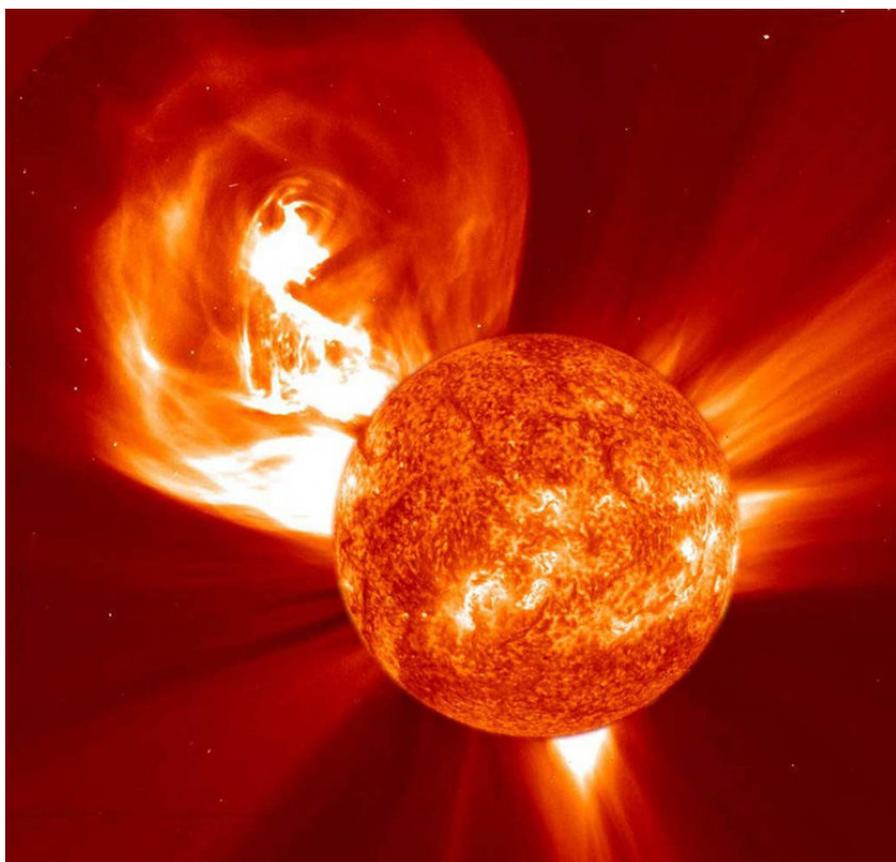
La galassia degli algoritmi di *Machine Learning* è molto estesa, come lo sono anche le diverse applicazioni nella meteorologia spaziale.

intenso e in una configurazione cosiddetta di bottiglia magnetica, in cui le particelle cariche rimangono intrappolate, che allo stesso modo impedisce a particelle cariche dall'esterno di entrare. Quando la terra si trova all'interno di questa nuvola magnetica, i raggi cosmici galattici a energia più bassa, che sono comunque particelle cariche, raggiungono la superficie terrestre con maggiore difficoltà. Il limite della rivelazione di questo tipo di segnali è che molto spesso consentono un preavviso di sole poche ore.

In generale essi si suddividono in algoritmi supervisionati oppure non supervisionati, a seconda che nel processo di addestramento dell'algoritmo si conosca a priori quali siano i risultati corretti e quali no, oppure se tale informazione anche se disponibile non venga utilizzata. Un esempio riguarda le tecniche di *regressione supervisionata*, che si basano sull'impiego di serie storiche, che mettono in relazione i cosiddetti indici geomagnetici con i parametri del vento solare misurati nel punto lagrangiano interno L1. Un altro approccio riguarda il riconoscimento di schemi particolari e la loro classificazione, ad esempio a livello di regioni attive sul Sole. Il riconoscimento e la classificazione possono essere applicati, ad esempio, alle regioni attive, e possono avvenire partendo da informazioni che riguardano la forma, oppure l'intensità del campo magnetico, e facendo muovere l'algoritmo attraverso i diversi livelli di un albero decisionale.

Il risultato di questa analisi può essere la previsione che avvenga un flare di una determinata classe energetica entro 24 ore. La capacità predittiva di un algoritmo viene valutata

A sinistra. Quando il Sole emette radiazioni e materiale, crea quella che viene chiamata CME. La radiazione di una CME può influenzare fortemente i pianeti e i satelliti incontrati sul suo percorso. Crediti: SOHO/ESA/NASA



per mezzo di uno *skill score*, un parametro che assume valori tra -1 e 1, dove 0 indica l'assenza di abilità predittive mentre 1 individua una

previsione perfetta. Attualmente gli algoritmi per la previsione di brillamenti solari raggiungono valori di *skill score* che si attestano attorno a 0,9.

Centrare il bersaglio: studio della propagazione di una CME

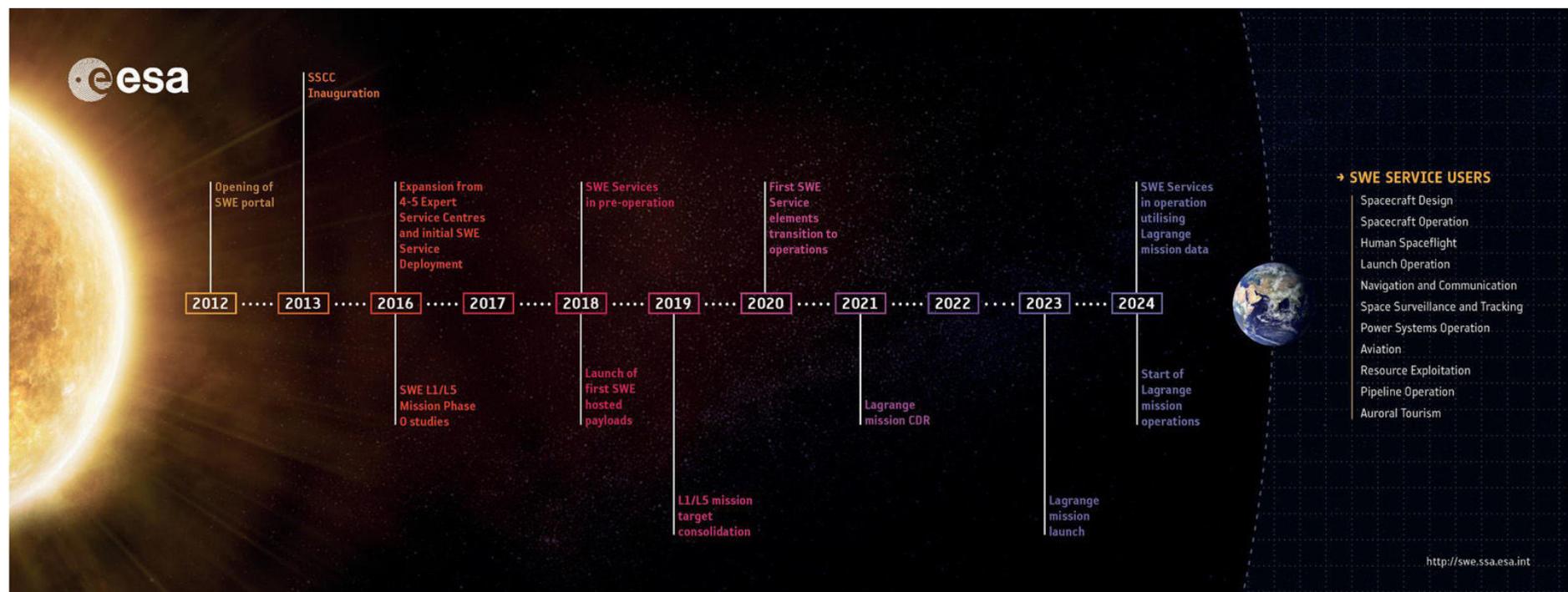
Una volta che sappiamo che si è verificata una CME, come possiamo sapere se arriverà a colpire il nostro pianeta? Dopo aver individuato il fenomeno in prossimità del Sole, dovremmo essere in grado di prevedere come si propagerà nello spazio interplanetario. A questo scopo la ricostruzione della densità del mezzo e del campo magnetico che permea il plasma interplanetario è fondamentale. All'interno del progetto SWELTO è stata avviata una collaborazione con gli astrofisici che hanno formulato modelli e codici per lo studio di getti da nuclei galattici attivi. Il **codice Pluto** è uno dei più avanzati nel suo genere e rappresenta un esempio di collaborazione tra settori diversi dell'Astrofisica.

Lo spazio circostante al Sole, all'interno del quale si muovono i pianeti, è un ambiente costituito da plasma, gas neutro, polveri, particelle ad alta energia, e campo magnetico, che nel suo complesso viene detto *mezzo interplanetario*. La sua densità è molto bassa e l'intensità del campo magnetico è molto inferiore a quella del campo magnetico terrestre. Quando una CME si propaga nel mezzo interplanetario sarà soggetta a un

insieme di forze diverse, che ne condizionano il moto. L'idea è quella di costruire un modello al computer dell'ambiente in cui la CME si muove e studiarne l'evoluzione.

Il quadro più semplice descrive la CME come immersa in un fluido e soggetta a un attrito di tipo idrodinamico. La forza di resistenza fluidodinamica è proporzionale al quadrato della velocità, e tutta la nostra ignoranza viene contenuta all'interno di un coefficiente, che per i fluidi dipende dalla densità del mezzo e dalla geometria del corpo, e che nel caso delle CME viene stabilito empiricamente dallo studio di molte CME di archivio. Questi modelli hanno, al momento attuale, limitate capacità predittive nello stabilire se e quando la perturbazione interesserà la Terra.

Un altro possibile approccio è costruire un modello del mezzo interplanetario, partendo dalle osservazioni di vari strumenti, tra cui i coronografi, e far evolvere il sistema per mezzo di codici numerici che integrano le equazioni del moto. L'ostacolo principale è la determinazione delle condizioni in vicinanza del Sole, che può essere



Sopra. I pilastri previsti nello sviluppo della Meteorologia Spaziale da parte dell'ESA (fonte: https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Weather_Office).

fatta partendo da osservazioni fatte dall'orbita terrestre, e utilizzando metodi analitici basati su assunzioni balistiche; oppure è possibile partire da misure dei campi magnetici fotosferici ottenute

da remoto, e utilizzare metodi numerici per ricostruire la struttura magnetica della parte più interna della corona solare.

Uno sforzo globale verso la prevenzione

Quali sono attualmente gli istituti e i centri operativi che fanno previsioni di meteorologia spaziale? A livello mondiale lo sforzo principale è condotto dalle Nazioni Unite (UN) nell'ambito del programma **International Space Weather Initiative (ISWI)**, avviato nel 2009 a seguito dello **International Heliophysical Year (2007)**. Il lavoro è coordinato dal **Committee on Peaceful Uses of Outer Space (COPUOS)** dell'UN, che ha avviato a partire dal 2016 la coordinazione di *Expert Groups* in grado di migliorare le analisi dati e i modelli esistenti per avere maggiori capacità di previsione. Uno dei centri mondiali con maggiore esperienza è lo statunitense *Space Weather Prediction Center (SWPC)* dell'istituto *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Gli Stati Uniti investono molto sul monitoraggio del Sole dallo spazio, ad esempio con la famiglia dei satelliti GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), che vengono lanciati periodicamente dagli anni '70 (siamo al 18mo satellite) per sostituire con continuità i satelliti ormai obsoleti, e monitorare l'emissione a raggi-X ed estremo UV del Sole dallo spazio.

Per quanto riguarda l'Europa, lo *Space Weather Office* dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha come scopo dichiarato quello di partire dall'esperienza accumulata da diversi istituzioni e gruppi di ricerca europei, costruendo in maniera federativa un servizio di previsione a livello europeo, che eviti duplicati e ponga in collaborazione diverse risorse già esistenti. Già da diversi anni l'ESA ha avviato il programma **Space Situational Awareness (SSA)** che si prefigge tre obiettivi principali: monitorare i detriti spaziali di origine umana, quindi satelliti disattivati o residui di satelliti distrutti, per evitare possibili problemi (programma SST – *Space Surveillance & Tracking*), tenere sotto controllo asteroidi che hanno orbite vicine all'orbita terrestre per prevenire possibili impatti (programma NEO – *Near Earth Objects*), e infine monitorare le condizioni sul Sole e nello spazio circumterrestre per prevenire tempeste geomagnetiche (programma SWE – *Space Weather*). Inoltre l'ESA sta strutturando un portale dedicato alla meteorologia spaziale che raccoglie contributi da tutti gli Istituti europei che sono in grado di fornire dati originali (cioè acquisiti da



Sopra. Alcuni meteorologi al lavoro presso gli uffici dello Space Weather Forecast Office dello Space Weather Prediction Center (SWPC) del NOAA a Boulder nel Colorado. Crediti: NOAA/SWPC

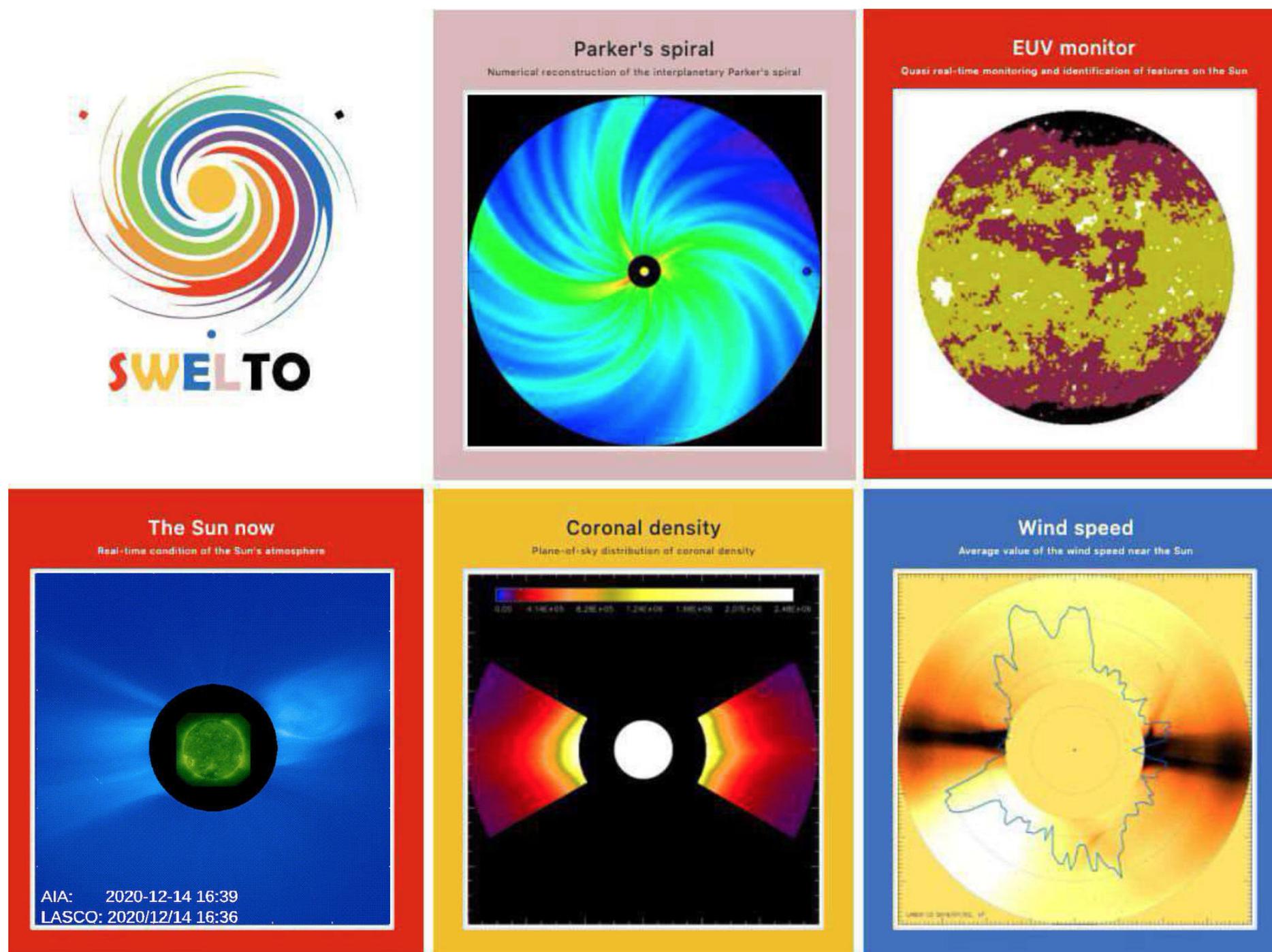
sensori europei) e approcci innovativi per l'analisi, nell'ottica di fornire delle previsioni.

In quest'ultimo contesto si collocano anche alcuni progetti italiani, tra i quali il progetto **SWELTO**, guidato dall'INAF – Osservatorio Astrofisico di Torino. A livello nazionale esistono molti progetti affini, e negli ultimi anni l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) si è proposta di coordinare questo sforzo, integrando tutti i dati e gli strumenti attualmente disponibili all'interno dell'archivio *ASI SPace weather InfraStructure* (ASPIS). C'è interesse anche da parte dell'Aeronautica Militare (AM), che ha costituito il **Centro Operativo per la Meteorologia** (COMet) di Pratica di Mare, che ha raggiunto recentemente, a gennaio 2019, la sua *Full Operational Capability*, rilasciando (per uso

interno) bollettini delle condizioni meteorologiche spaziali quattro volte al giorno, sulla base però di dati forniti dal NOAA. Anche l'INAF – Istituto Nazionale di Astrofisica e l'INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia hanno posto tra i loro interessi la meteorologia spaziale, e proprio il 5 febbraio di quest'anno è stato siglato un accordo AM-INAF-INGV per la condivisione di dati e modelli di interesse a tale riguardo.

Oltre che di coordinazione e condivisione di dati ed esperienze, c'è però necessità di ideare, sviluppare e testare nuovi approcci all'analisi dei dati e creare modelli innovativi per migliorare le nostre capacità previsionali; in questo contesto si inserisce il progetto SWELTO.

Il laboratorio di meteorologia spaziale SWELTO

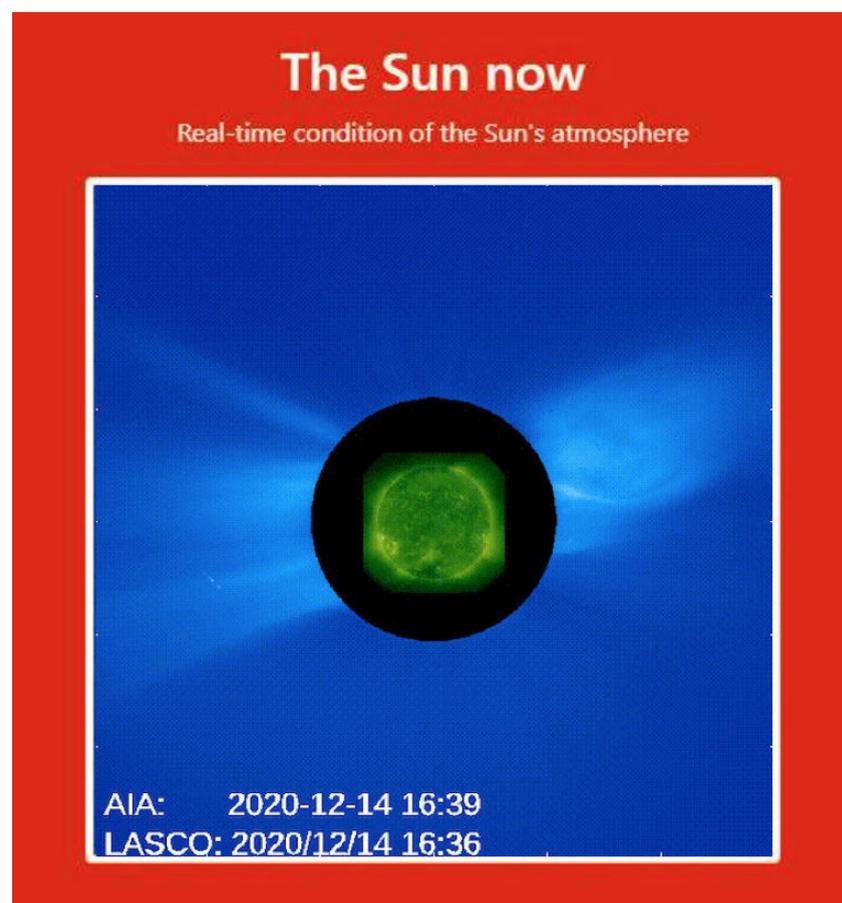


Sopra. Il portale del progetto **SWELTO** (<http://swelto.oato.inaf.it/>)

Perché è nato il progetto SWELTO

Attualmente, i fisici solari hanno a disposizione una grande quantità di dati, disponibili per mezzo di archivi in rete, che sono stati acquisiti dai diversi strumenti. Uno degli ostacoli al loro impiego per la meteorologia spaziale è la loro latenza, ovvero il tempo che impiegano ad essere messi a disposizione. Per questo motivo viene fatto lo sforzo di avere dati in quasi-real time (poche ore), in modo da essere in grado di ricostruire le attuali condizioni fisiche del mezzo interplanetario, di predire brillamenti solari, CME, flussi di particelle solari energetiche (SEP), e quindi la loro propagazione dal Sole alla Terra. Nonostante questo, le capacità predittive sono ancora molto limitate. Per avere un'idea più dettagliata, basta consultare in dettaglio la pagina internet (<https://ccmc.gsfc.nasa.gov/challenges/>) che è stata predisposta dal Community Coordinated Modeling Center (CCMC) della NASA che raccoglie tutte le predizioni fornite in tempo reale dai migliori modelli attualmente esistenti su tutta una serie di fenomeni che riguardano le relazioni Sole-Terra, tra cui la predizione dei brillamenti solari, dei flussi di SEP, e dei tempi di arrivo delle eruzioni solari. Quello che risulta da un confronto tra le predizioni fatte dai diversi modelli a priori e le osservazioni a posteriori è un quadro piuttosto sconcertante: per ogni evento le previsioni hanno errori che vanno dalle 3-4 ore fino anche a più di 24 ore, in alcuni casi il tempo previsto è in anticipo in altri in ritardo, e per ogni evento i modelli che danno la migliore previsione sono diversi tra loro caso per caso.

Come migliorare la situazione? Allo stato attuale quello che manca non sono tanto i dati da analizzare: si pensi che già solo la missione Solar Dynamics Observatory (SDO) della NASA acquisisce circa 2 TB di dati al giorno (nel caso di SDO si tratta di immagini del Sole nella banda dell'estremo UV ad alta cadenza e alta risoluzione in diversi filtri). La già nominata missione SOHO (ESA/NASA) osserva costantemente il Sole dal 1996 e ha fornito osservazioni ininterrotte per più



di due cicli solari. Molte missioni sono operative (come le altrettanto già citate Parker Solar Probe della NASA, la Solar Orbiter dell'ESA, ma anche molte altre missioni, oltre alla SOHO, quali STEREO, Bepi Colombo, ecc) che acquisiscono continuamente dati *in situ* (ossia informazioni sul plasma nell'ambiente in cui si trova la sonda) sulle condizioni dei plasmi nel mezzo interplanetario. Quindi i dati da analizzare non mancano, anche se le informazioni che abbiamo, ad esempio sul mezzo interplanetario, sono raccolte solo da poche sonde e sono ancora molto limitate (si pensi ad esempio che le stazioni meteorologiche che raccolgono dati sulla Terra per la *World Meteorological Organization* sono più di 8.000). Quello che manca sono le capacità di analizzare e interpretare questi dati in tempo reale per fornire delle previsioni attendibili, principalmente a causa della nostra limitata comprensione di molti fenomeni fisici che sono alla base delle eruzioni solari e del vento solare, della loro propagazione interplanetaria, e infine della loro interazione con la magnetosfera terrestre. Per migliorare la situazione è quindi necessario sviluppare, a partire da nuove idee, degli strumenti diagnostici innovativi che permettano di estrarre dai dati l'informazione necessaria per prevedere in tempo utile gli effetti dell'attività solare a Terra. Questo è proprio uno degli scopi principali del progetto SWELTO.

Conosciamo meglio il progetto SWELTO

Il progetto SWELTO (*Space WEather Laboratory in Turin Observatory*) è, come dice il nome, un laboratorio concettuale, ma anche operativo, in cui sviluppare e provare idee nuove per l'analisi di dati solari dallo spazio e da terra, per le applicazioni di meteorologia spaziale. Tale progetto è iniziato a Torino nel 2018, ma attualmente raccoglie contributi anche da altri istituti di ricerca italiani (Università di Torino e Università di Palermo). Gli obiettivi principali sono spiegati qui di seguito.

Innanzitutto **sviluppare, provare e rendere funzionali nuovi algoritmi** per l'analisi automatica dei dati acquisiti dallo spazio, per fornire informazioni sulle condizioni del Sole e del mezzo interplanetario, utili per le previsioni di meteorologia spaziale. Il progetto è suddiviso in moduli, ciascuno dedicato a un particolare aspetto, ad esempio per tenere sotto controllo le condizioni attuali sul Sole, monitorare le condizioni dello spazio interplanetario, ricostruire la struttura della spirale di Parker, monitorare la struttura della corona solare e del vento solare ecc, il tutto in quasi real-time, ossia analizzando gli ultimi dati disponibili negli archivi che hanno un tempo di latenza di alcune ore.

Un secondo obiettivo è quello di **calibrare, provare e mettere in funzione nuovi sensori** (o impiegare sensori già esistenti) per caratterizzare disturbi geomagnetici, ionosferici e atmosferici, quindi per studiare gli effetti della meteorologia spaziale sull'ambiente circumterrestre. Il progetto sta adesso effettuando un upgrade dell'antenna radio-ricevente per monitorare i cosiddetti SID (*Sudden Ionospheric Disturbances*), ossia disturbi nello stato della ionosfera terrestre legati all'attività solare. È in fase di test un magnetometro che è stato acquistato per monitorare localmente i disturbi indotti nel campo geomagnetico. In futuro sarà valutata la possibile acquisizione di un'antenna per rivelare anche i burst radio di origine solare.

Un terzo obiettivo di SWELTO è quello di **coinvolgere altri progetti già esistenti** al fine di far nascere nuove collaborazioni. Sono stati coinvolti nel progetto ricercatori impegnati nella rete PRISMA, dell'INAF, per il monitoraggio delle meteore, ma anche dei possibili fenomeni transienti indotti in alta atmosfera dall'attività solare. In futuro, si cercheranno collaborazioni per includere anche le misure del flusso di raggi cosmici a Terra, modulato tramite l'effetto Forbush anche dall'attività solare.

Per maggiori informazioni si invitano i lettori a visitare la pagina del portale SWELTO all'indirizzo <http://swelto.oato.inaf.it/>.

Infine, e questo riguarda in generale molti progetti di meteorologia spaziale, il progetto SWELTO non mira soltanto a mettere a punto strumenti per fare delle previsioni, ma ha come ulteriore obiettivo quello di **sensibilizzare l'attenzione di tutti sull'argomento**, promuovendo le attività di divulgazione, di coinvolgimento di studenti e di un pubblico il più vasto possibile e aumentarne la conoscenza anche coinvolgendo Istituti Scolastici in attività di tutoraggio e di alternanza scuola-lavoro, nella consapevolezza dell'importanza che la conoscenza dell'ambiente circumterrestre e interplanetario assume sempre maggiormente per la attività umane.

