



# Sviluppi futuri della Radioastronomia solare all'INAF-Osservatorio Astronomico di Trieste

Mauro Messerotti

Radioastronomo solare e Docente Universitario  
in quiescenza dal 1 Agosto 2021  
per raggiunti limiti di età



# VERO ! MA C'È DELL'ALTRO...





# Sviluppi futuri della Radioastronomia solare all'INAF-Osservatorio Astronomico di Trieste

Mauro Messerotti<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup>

<sup>1</sup>Senior Advisor for Space Weather, INAF-Direzione Scientifica, Roma

<sup>2</sup>Senior Researcher, INAF-Osservatorio Astronomico di Trieste

<sup>3</sup>Docente, Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Trieste

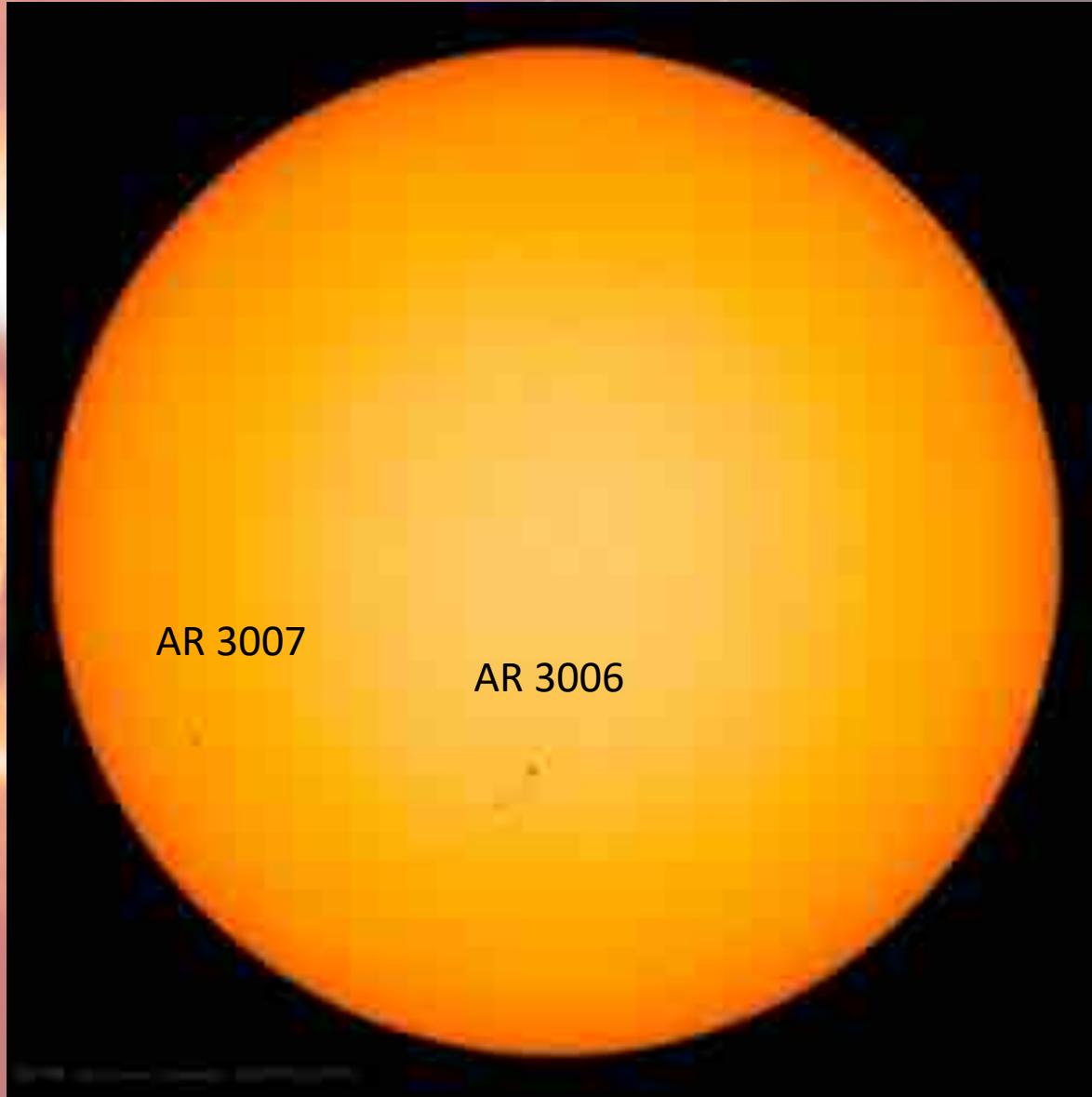
<sup>4</sup>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Trieste

<sup>5</sup>Panel on Space Weather, Committee on Space Research (COSPAR)

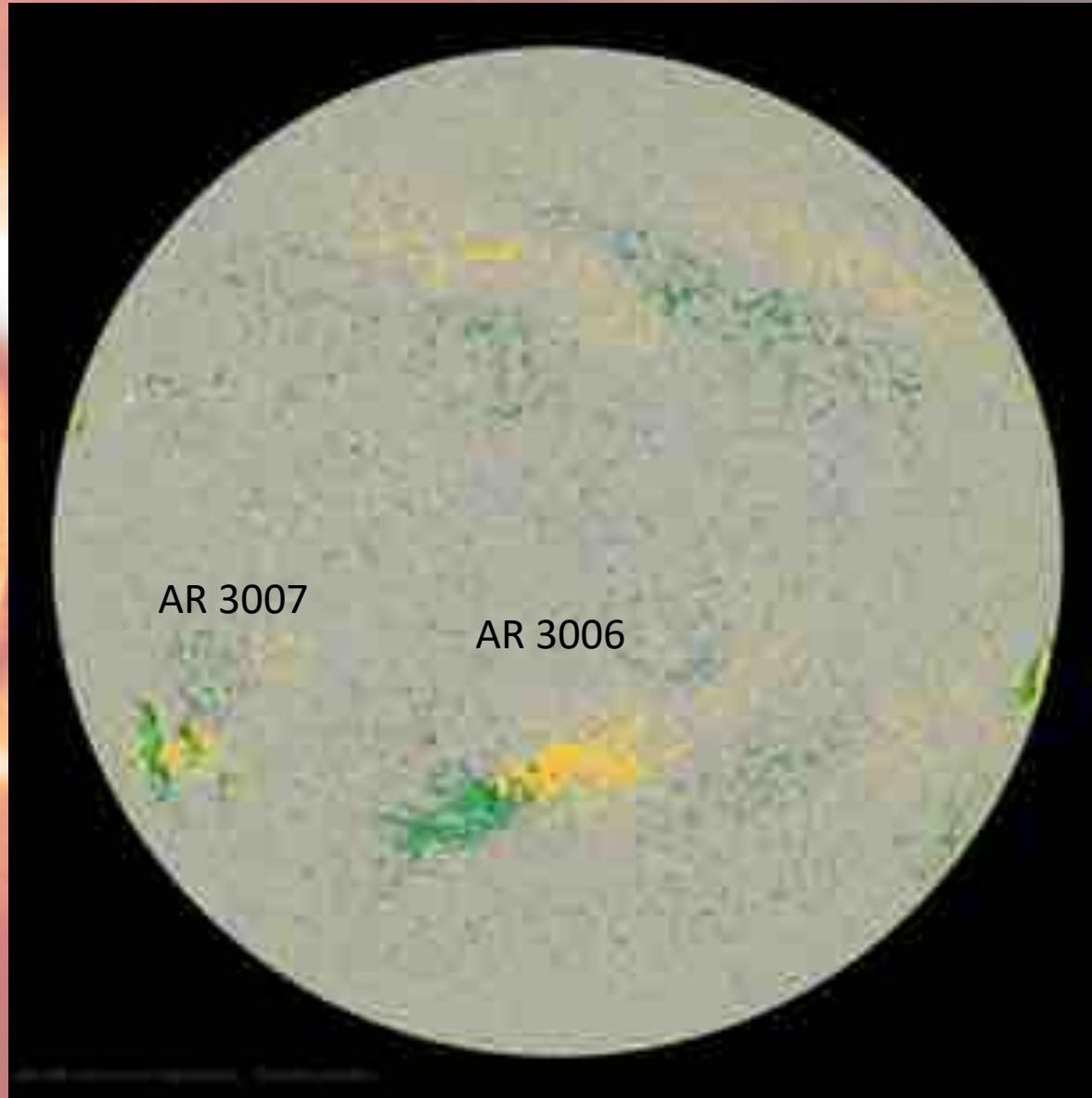
<sup>6</sup>Solar System Exploration Panel, European Space Science Committee

# L'ATTIVITÀ DELLA STELLA SOLE

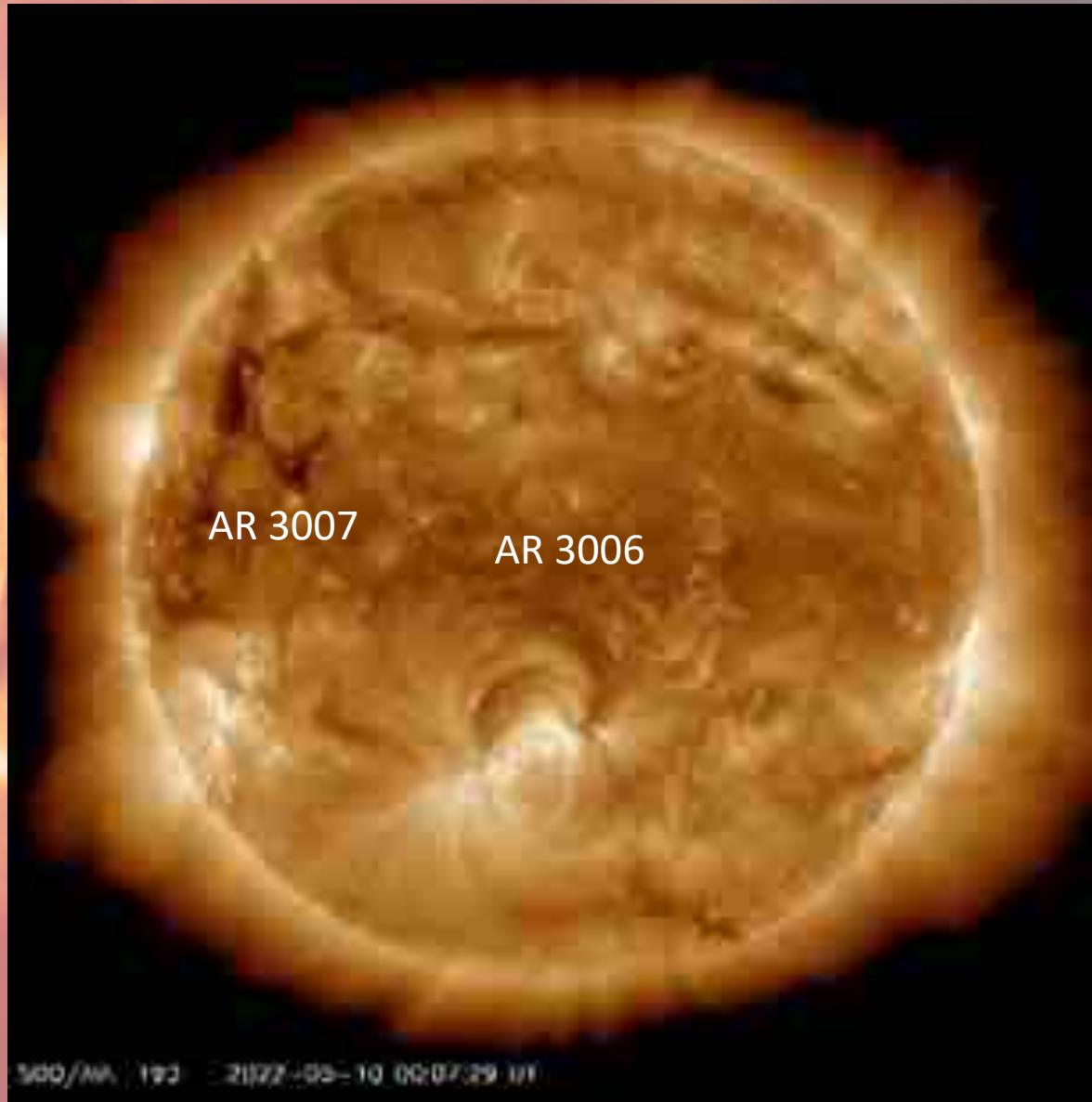
# Tante macchie solari ⇒ Elevata attività



# Macchie solari ⇒ Intensi campi magnetici locali



# I campi magnetici $\Rightarrow$ modellano il plasma

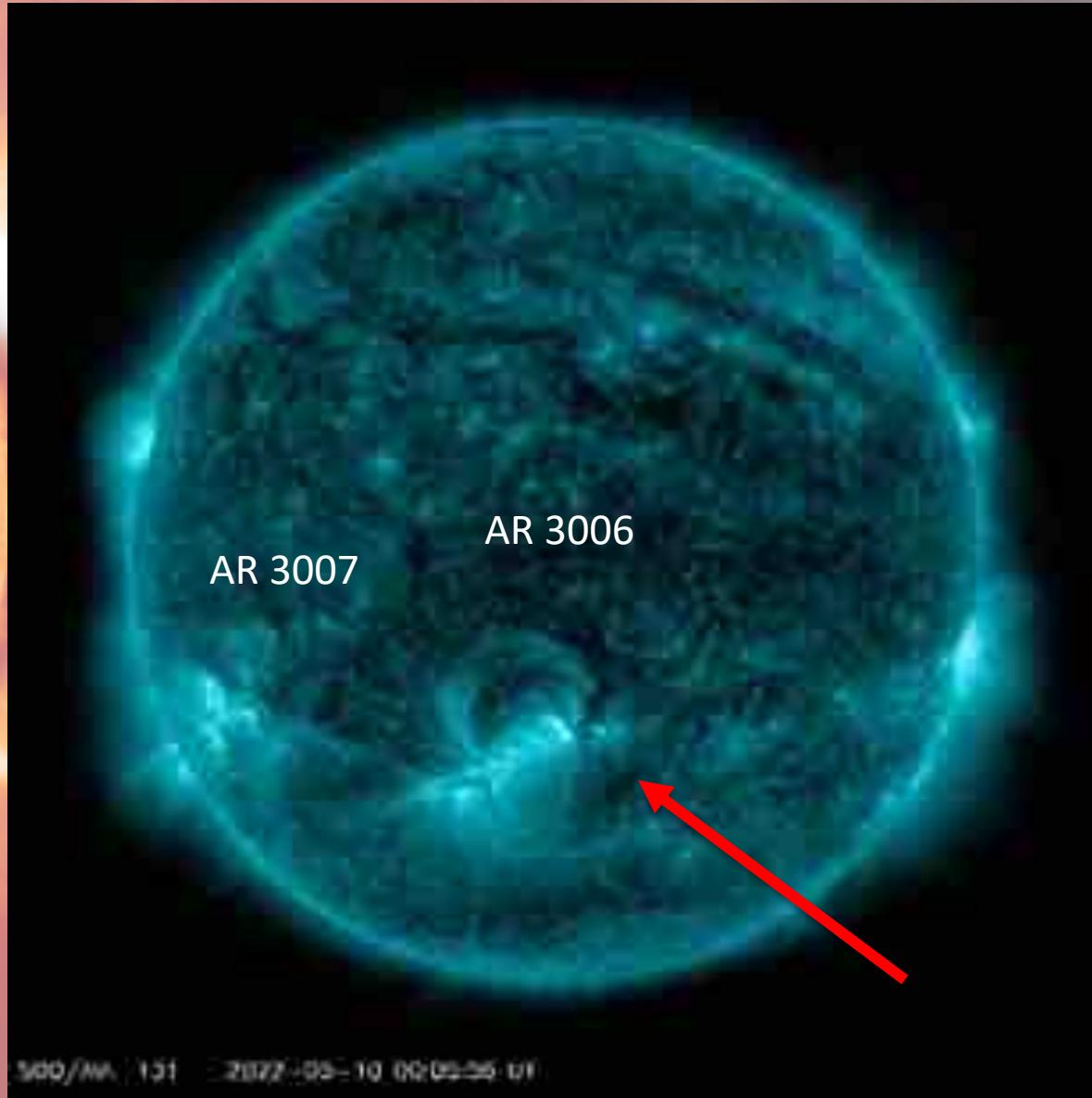


# En. magnetica $\curvearrowright$ En. cinetica $\rightarrow$ Brillamento

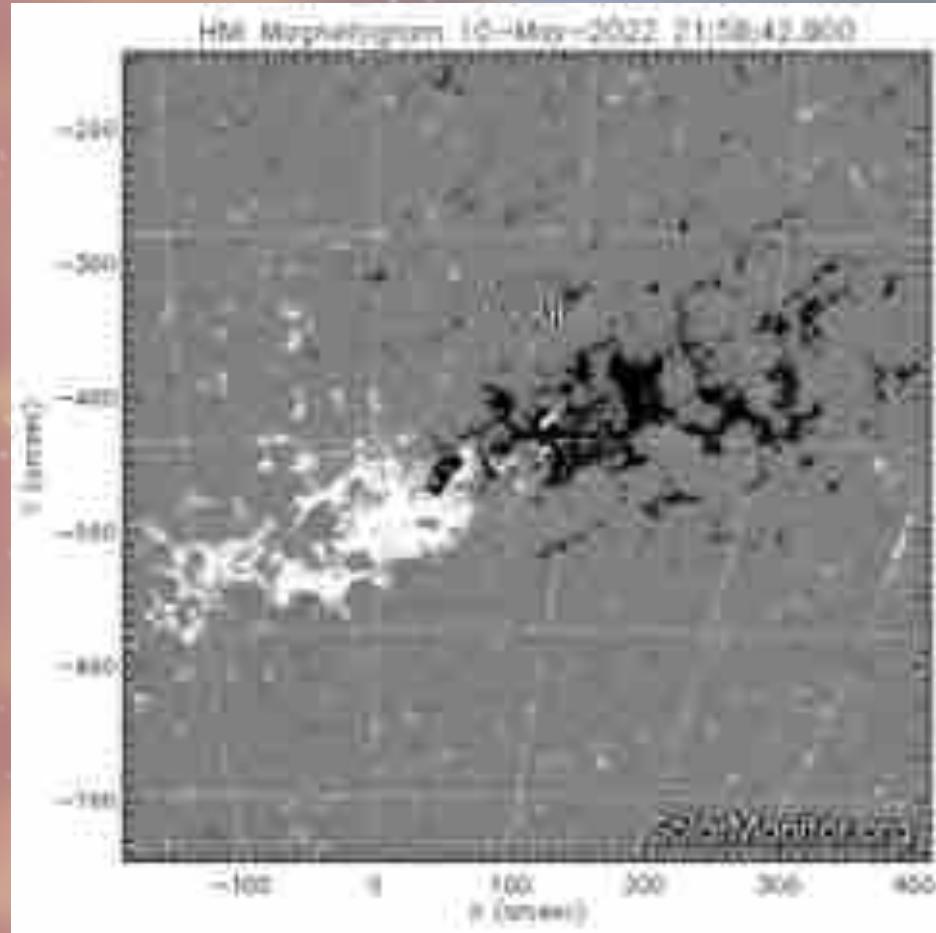
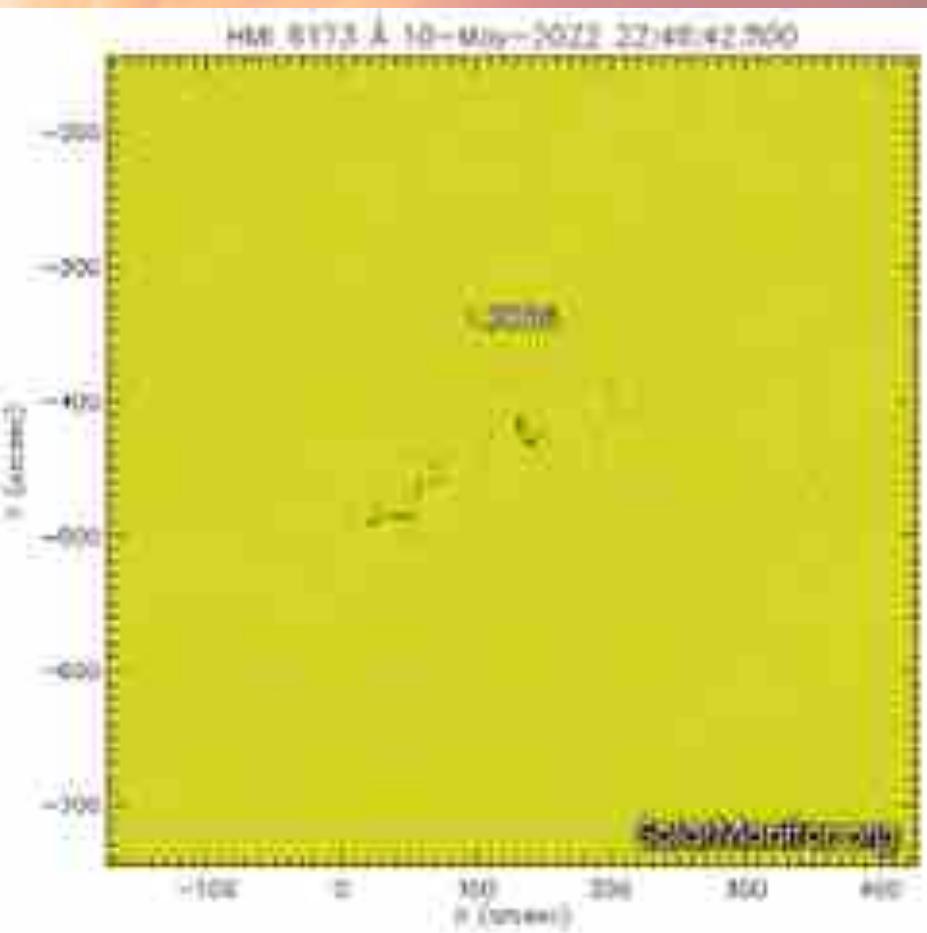


- Scala temporale: 10 min
- Riscaldamento locale del plasma fino a 50 MK
- Lampi di fotoni  $\gamma$ , X, EUV, UV e radio
- Accelerazione di  $e^-$  e  $p^+$
- A volte, accelerazione e distacco di una enorme bolla di plasma (CME) verso la Terra

# Il forte brillamento X1.5 di ieri con il massimo di emissione alle 15:55 CEST



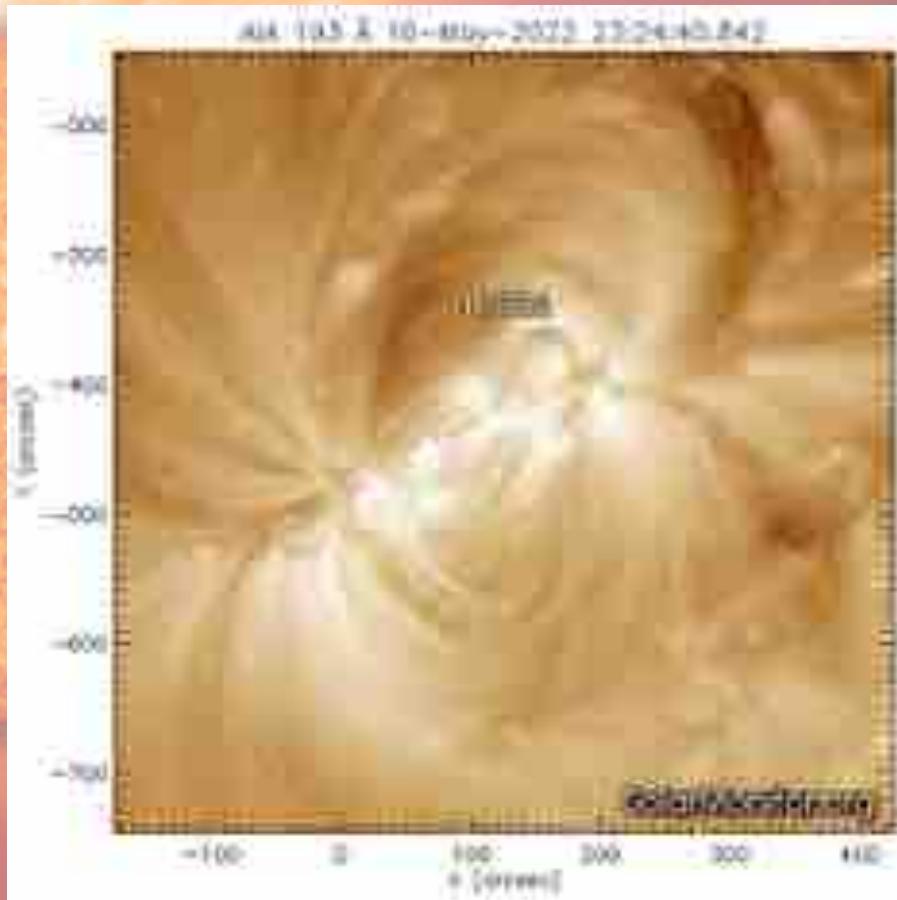
# Dalla Regione Attiva AR 3006 costituita da 20 macchie solari



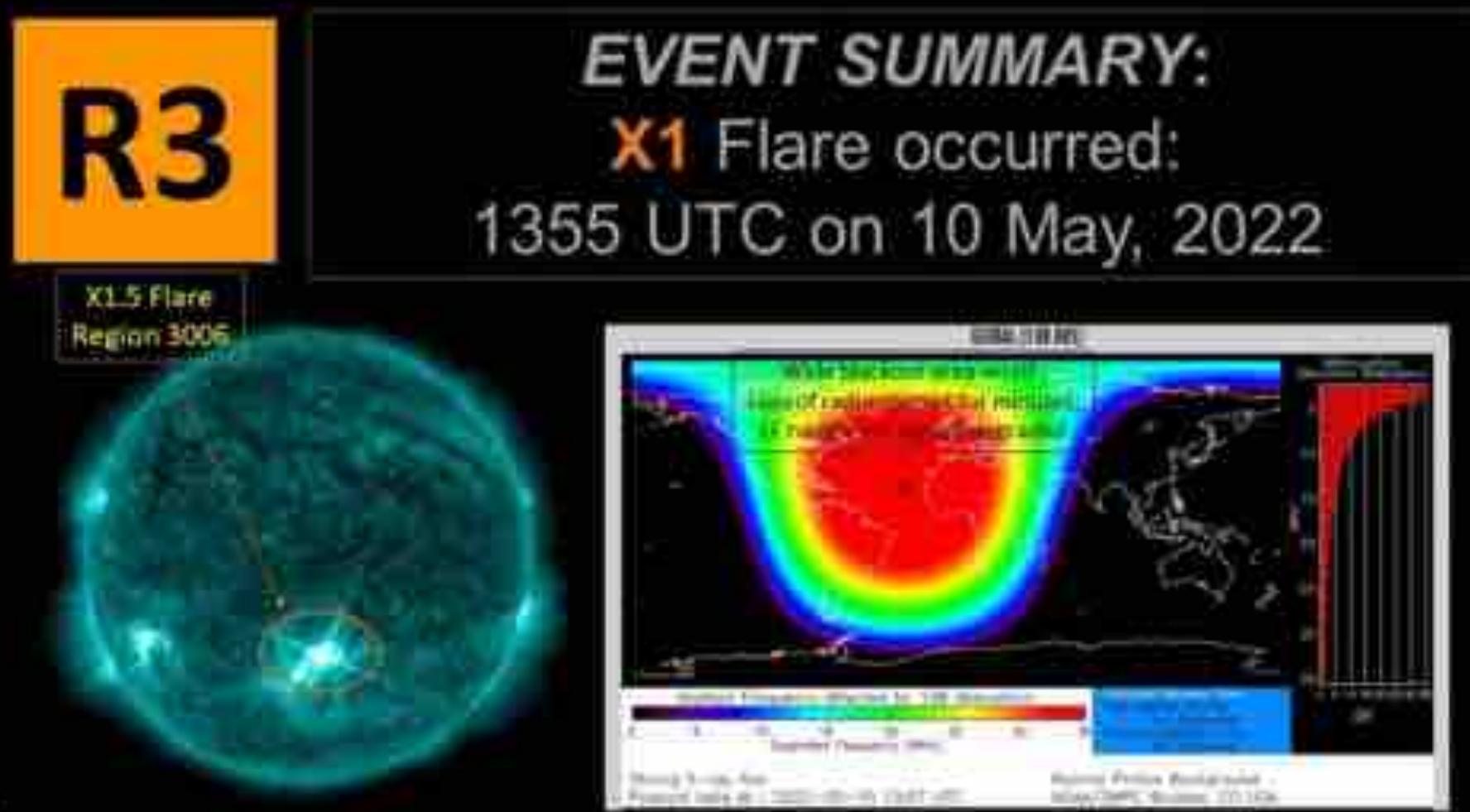
# Dimensioni di AR 3006 e della Terra



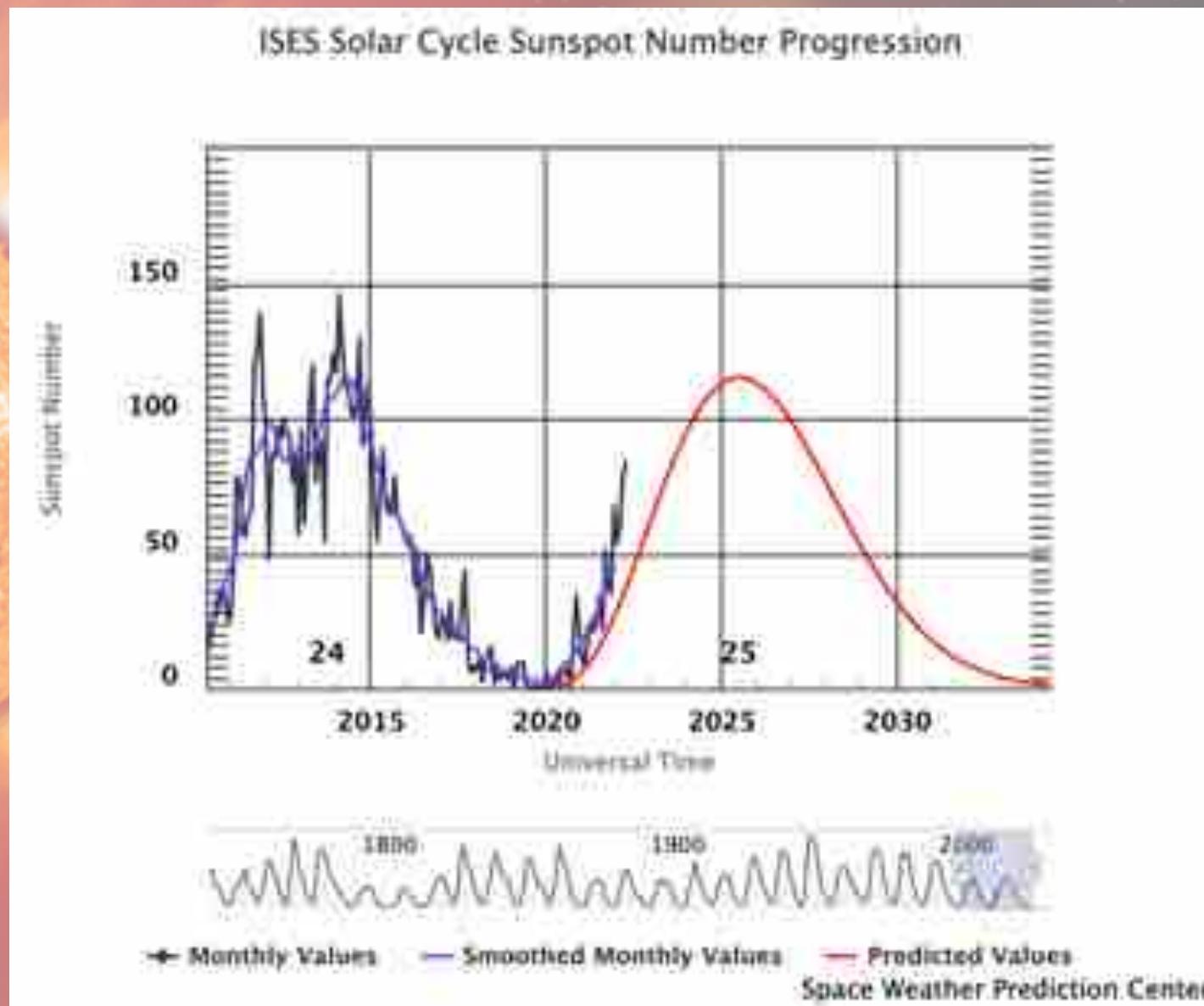
# Magneticamente complessa e instabile $\Rightarrow$ rilascio esplosivo di energia (brillamento)



# Interruzione comunicazioni ad onde corte



# Numero di macchie solari → Ciclo di attività





# IL METEO SOLARE RADIO



# Effetti del Sole attivo sulle comunicazioni radio

- a. Aumenta la ionizzazione della Ionosfera terrestre e cambiano le condizioni per la riflessione e l'assorbimento delle onde radio in modo diverso a seconda della loro frequenza
- b. Aumenta la turbolenza del plasma ionosferico e questo modifica la propagazione delle onde radio, rendendo, ad es., difficoltosa o impossibile la ricezione dei segnali radio dei satelliti GPS

# Effetti delle emissioni radio del Sole attivo sulle comunicazioni radio

Intense emissioni radio solari:

- a. nella banda delle onde corte (3-30 MHz) aumentano il rumore di fondo nei ricevitori
- b. nella banda L (1-3 GHz) disturbano la ricezione dei segnali radio dei satelliti GPS fino all'interruzione
- c. possono disturbare le comunicazioni cellulari
- d. nelle bande 300 MHz-30 GHz disturbano la ricezione del segnale radar originario sovrapponendosi ad esso

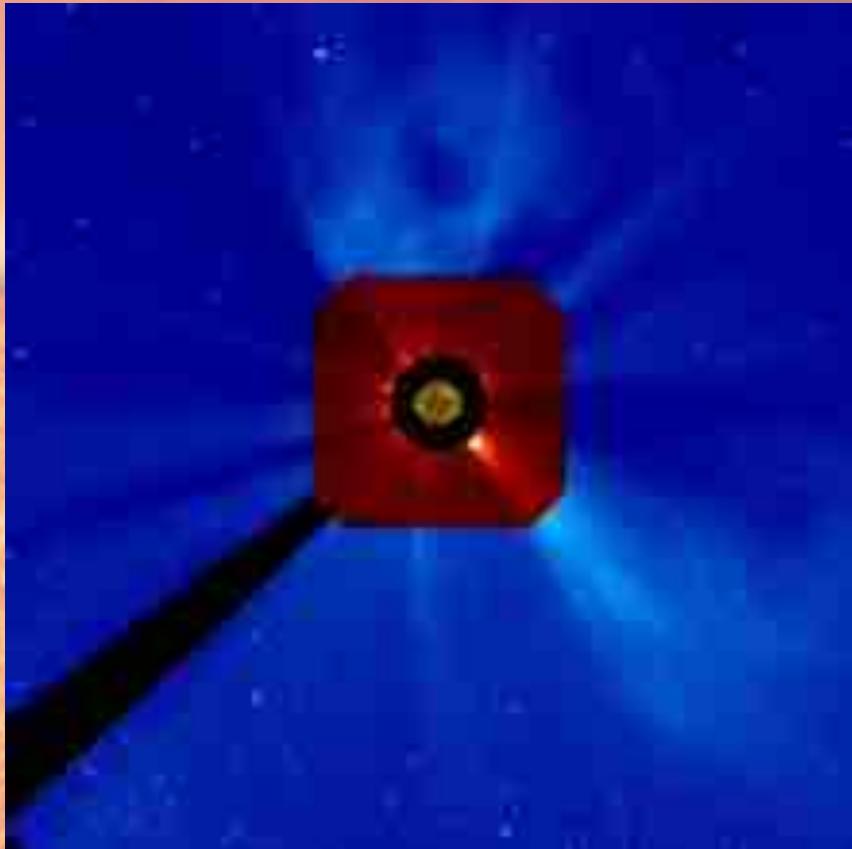
# Impatti sui sistemi di comunicazione radio

Difficoltà o impossibilità di

- a. comunicare ad onde corte tra aerei e centri di controllo a terra
- b. comunicare ad onde corte a grande distanza per riflessione ionosferica
- c. comunicare con i cellulari per perdita di aggancio alla cella di rete
- d. ricevere i segnali dai satelliti GPS per la geolocalizzazione
- e. utilizzare radar che operano oltre l'orizzonte
- f. utilizzare radar di sorveglianza negli aeroporti



# IMPLICAZIONI MILITARI DEL METEO RADIO SOLARE



# TEMPESTE SOLARI E CONFLITTI NUCLEARI: QUALI RELAZIONI?



# LA SCOPERTA DELLE EMISSIONI RADIO DEL SOLE AVVENNE PER CASO DURANTE LA II GUERRA MONDIALE

# LA GERMANIA BOMBARDA CON V1 E V2 CON EFFETTI CATASTROFICI



Fonte: Wikipedia

# GLI INGLESI SORVEGLIANO LA MANICA CON UN SISTEMA RADAR



Fonte: Wikipedia

- L'UFFICIALE E SCIENZIATO JAMES STANLEY HEY SEGUE LA SORVEGLIANZA
- NEL 1942 (27-28 FEBBRAIO) IL SISTEMA RADAR VIENE ACCECATO DA SEGNALI RADIO MOLTO FORTI: POTEVA ESSERE UNA MANOVRA DEI TEDESCHI A COPERTURA DI UNO SBARCO IN INGHILTERRA

# FORTI EMISSIONI RADIO SOLARI

- NEL 1942 IL SOLE E' MOLTO ATTIVO
- JAMES S. HEY COMPRENDE CHE IL SEGNALE RADIO INTERFERENTE PROVIENE DAL SOLE E NON DAL NEMICO
- QUESTA INFORMAZIONE VIENE SECRETATA FINO ALLA FINE DEL CONFLITTO
- JAMES S. HEY PUBBLICA LA SUA SCOPERTA SUL VOLUME 157 DELLA RIVISTA "NATURE" IN DATA 12 GENNAIO 1946
- E' LA NASCITA DELLA RADIOASTRONOMIA SOLARE

# FORTE EMISSIONE RADIO SOLARE A 75 MHz (4 m) ED A 50 MHz (6 m)

## Solar Radiations in the 4-6 Metre Radio Wave-Length Band

The solar radiation spectrum does not normally extend into the 5-metre wavelength region with sufficient intensity to be detectable on radio receiving equipments in commercial or Service use. It is now possible to disclose that, on one occasion during the war, Army equipments observed solar radiation of the order of  $10^4$  times the power expected from the sun, assuming that the sun behaves as a perfect black-body radiator at a temperature of  $6,000^2$  K.

This abnormally high intensity of solar radiation occurred on February 27 and 28, 1942, when Army radar receiving equipments, working at various wavelengths in the 4-6 metre band, noticed strong directional radiations similar in character to the random fluctuations of internal receiver noise (thermal and valve noise). The radiation was first detected in the afternoon on February 26, 1942, and was almost

HEY, J.S., Nature 157, 47-48, 1946

intense, with some variation of intensity, between dawn and sunset on February 27 and 28, 1942. It extended over the whole receiver tuning range of about 50 megacycles. It was not observed by any site at night, and then just how its duration was February 28, 1942.

The main evidence that the disturbance was caused by electromagnetic radiations of solar origin was obtained by the bearings and elevations measured independently by the receiving sets, sited in widely separated parts of Great Britain (for example, Hull, Didcot, Bournemouth, Yarmouth). The operators determined the bearings according to the normal practice for finding the direction of a source of interference. It was found that the bearings varied throughout the day and were always within a few degrees of that of the sun. The final striking result came from two sets, about 120 miles apart, where the operator was also examined. These sets were able to follow the sun's motion continuously in bearing and elevation, and observing through the appropriate telescope found that they were looking directly at the sun.

Power measurements of the intensity of the radiation were not made, but all reports indicate that its magnitude on the display outside the eye tube was several times normal noise level. From the known receiver noise and signal characteristics, and by making an allowance for noise gain, it can therefore be shown that the noise-power received from the sun in this region was of the order of  $10^{12}$  watts per square metre per megacycle band width. The unpolarized intensity of the order of  $10^4$  times that corresponding to the calculated black-body radiation, appears to have been associated with the occurrence of a big solar flare reported to be in a central position on February 28, 1942.

J. S. Hey



# CHE COSA SUCCESSE NEL 1967 ?



# ALL'OSSE

# VATORIO ASTRONOMICO DI

# TRIESTE INIZIARO

# LE OSSERVAZIONI

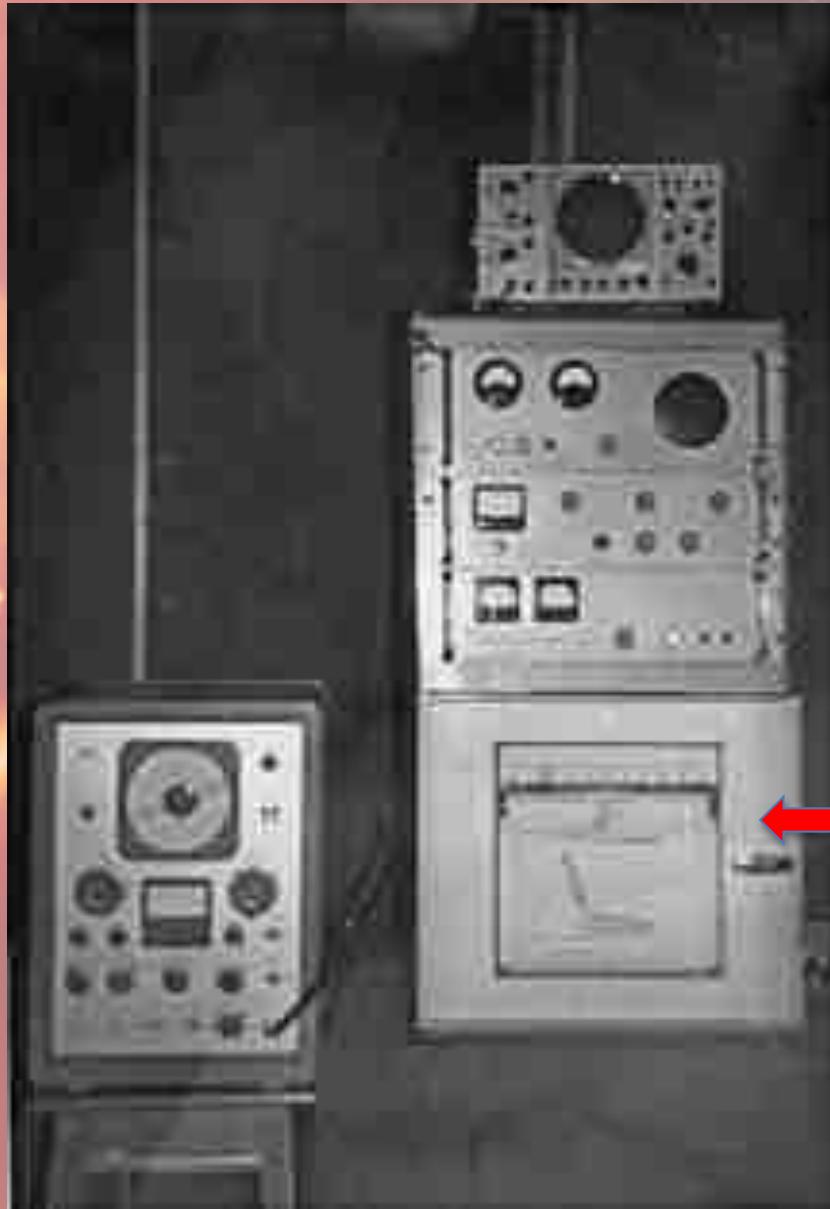
# RADIOASTRONOMICHE DEL SOLE SU

# INIZIATIVA DI MARGHERITA HACK

# Antenna a diedro per il Sole a Basovizza



# Ricevitore radio a 239 MHz per osservazioni solari



TRACCIA DEL  
SEGNALE RADIO  
DEL SOLE SU  
REGISTRATORE  
A CARTA AD  
ALTA VELOCITÀ



# LA GUERRA FREDDA (1947-1991) È IN CORSO

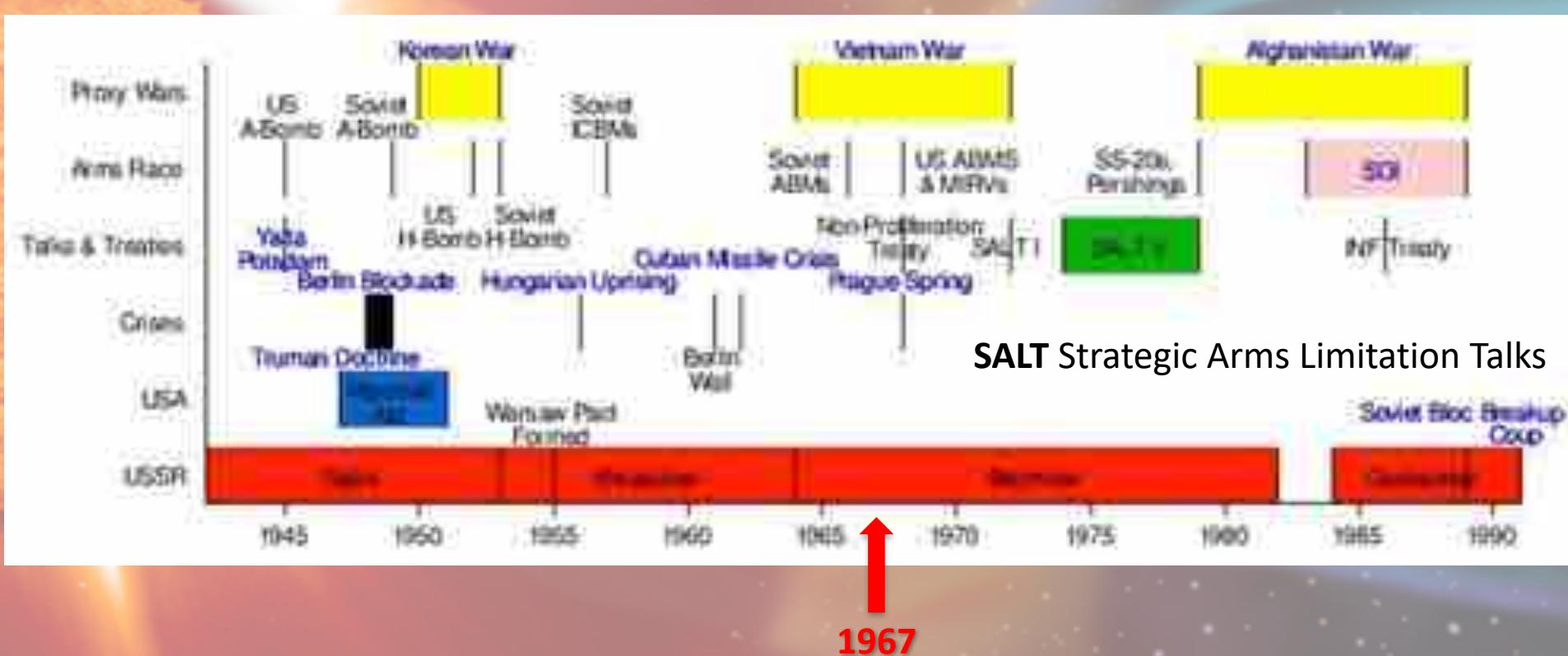
# THE COLD WAR TIMELINE

ICBM InterContinental Ballistic Missile

ABMS Anti-Ballistic Missile System

MIRV Multiple Independent Reentry Vehicle

**H-Bomb** Fission+Fusion Thermonuclear bomb



Fonte: Wikipedia

# USA E USSR LEADER NEL 1967



**LYNDON B. JOHNSON**



**LEONYD BREŽNĚV**



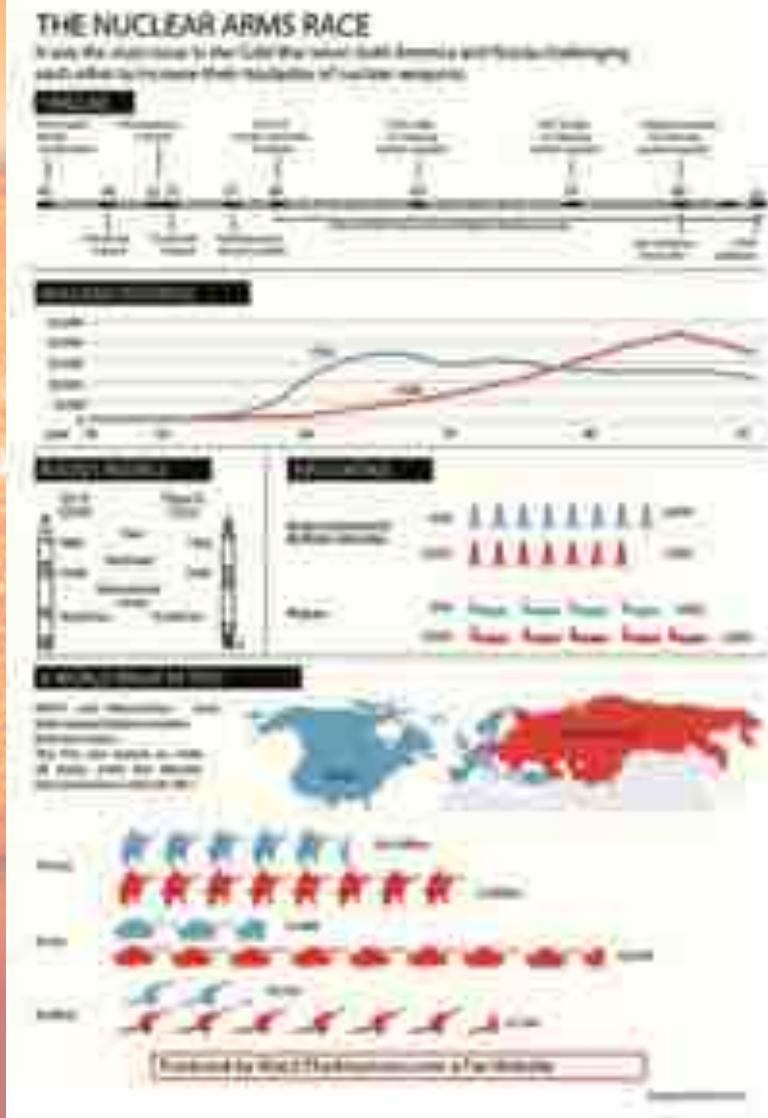
Fonte: Wikipedia



# ALTISSIMO RISCHIO DI CONFLITTO NUCLEARE GLOBALE



# LA CORSA AGLI ARMAMENTI NUCLEARI



Fonte: Wikipedia



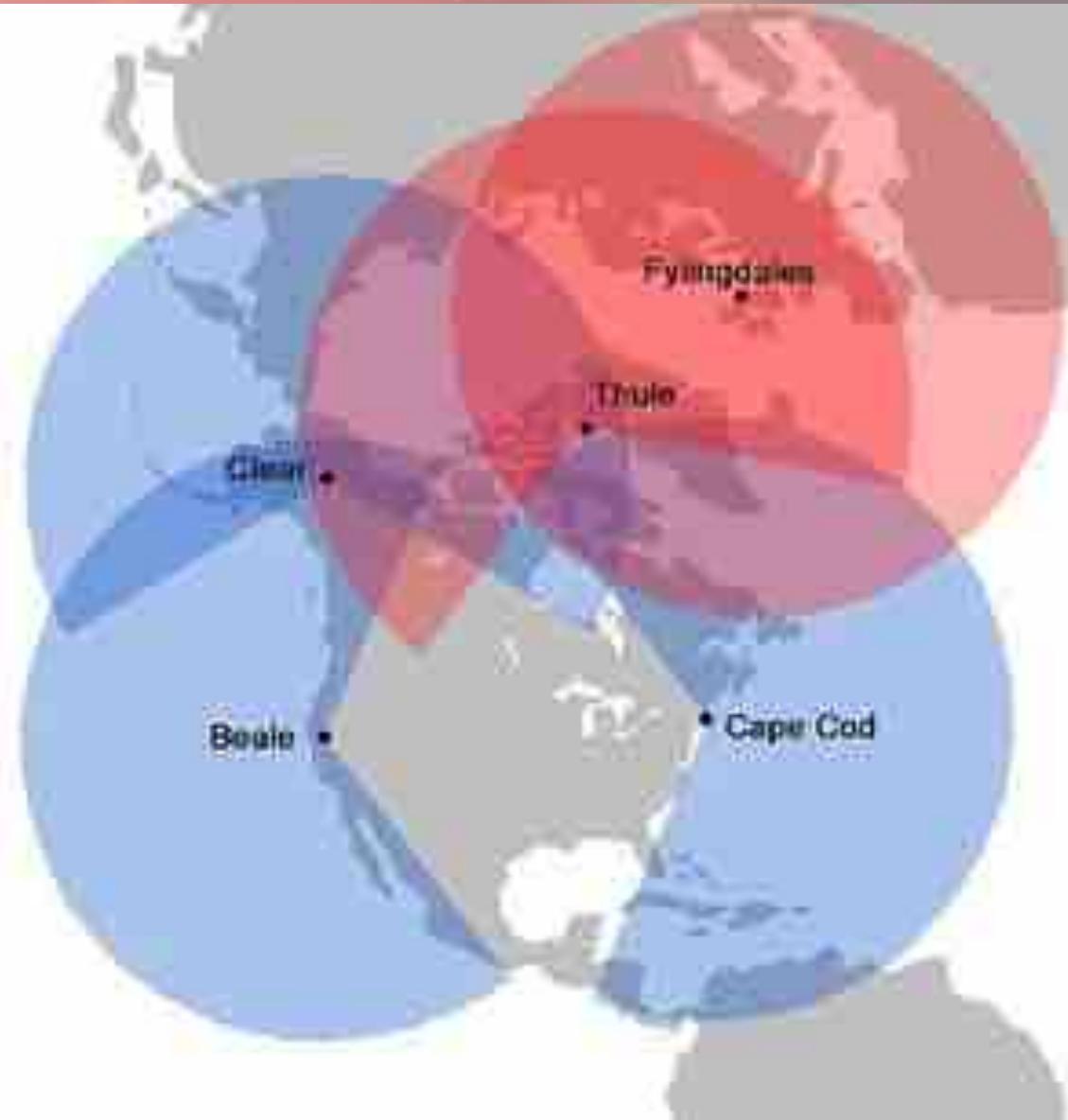
# 23-25 MAGGIO 1967: PRE-ALLARME NUCLEARE

# IL BALLISTIC MISSILE EARLY WARNING SYSTEM (BMEWS) IN USA È ACCECATO



Fonte: Wikipedia

# INOPERATIVITÀ DEI SITI BMEWS USA



# PRIMA INTERPRETAZIONE: ATTACCO NUCLEARE DA URSS



Fonte: Wikipedia

# SI PREPARA LA CONTROFFENSIVA NUCLEARE: I BOMBARDIERI SONO PRONTI AL DECOLLO IN 15 MINUTI



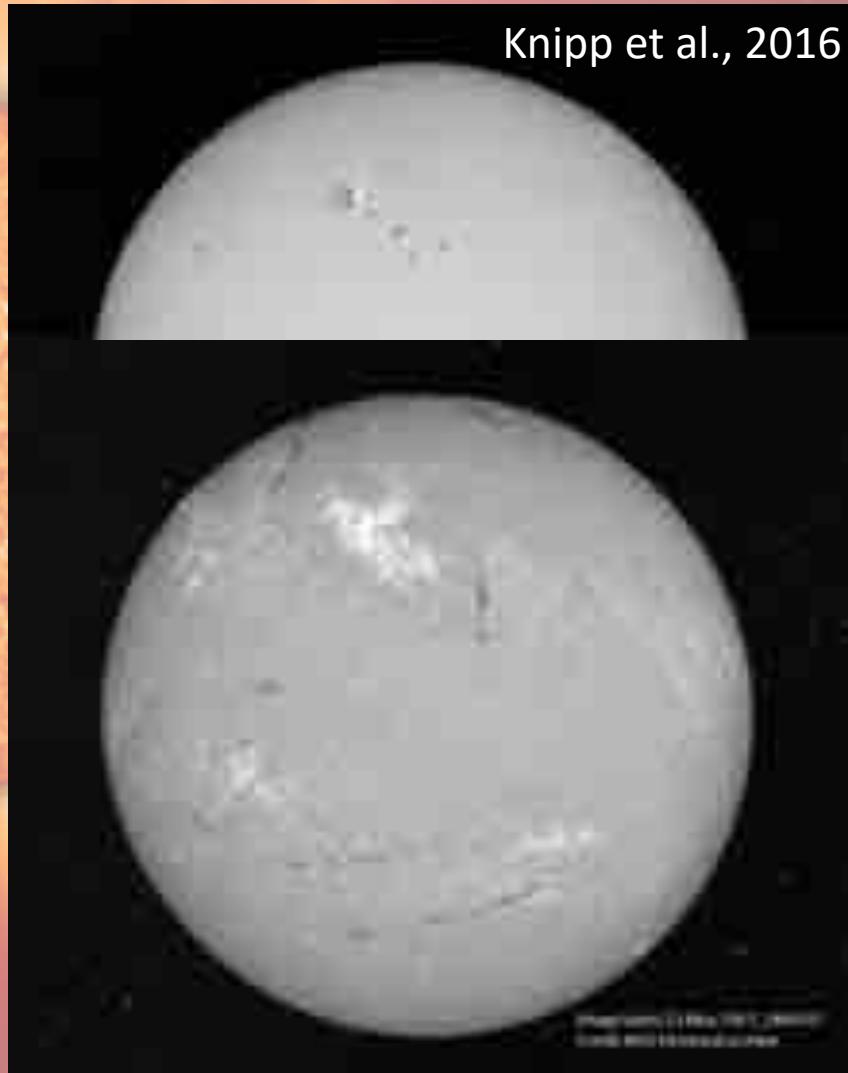
Fonte: Wikipedia

B47



# 23-25 MAGGIO 1967: ALLARME RIENTRATO

# ESPERTI MILITARI DI FISICA SOLARE AFFERMANO CHE SI TRATTA DEL SOLE!



L'USAF AIR WEATHER SYSTEM (AWS) STABILISCE INFATTI CHE:

- È ATTIVO UN COMPLESSO GRUPPO DI MACCHIE SOLARI
- SI TROVA IN PROSSIMITÀ DEL CENTRO DEL DISCO
- PRODUCE VARI BRILLAMENTI MOLTO INTENSI
- GENERA ATTIVITÀ RADIO DI ECCEZIONALE INTENSITÀ E DURATA



**RICOSTRUZIONE DECLASSIFICATA  
E PUBBLICATA IL 5 SETTEMBRE 2016  
ALLA FINE DEL PERIODO DI EMBARGO DI  
50 ANNI**

# Pubblicazione nel 2016 sulla rivista scientifica “Space Weather”

The May 1991 Great Storm and Radio Distortion Events

Extreme Space Weather and Extraordinary Responses

D. J. Knipp<sup>1,2</sup>, A. C. Ringer<sup>3</sup>, J. D. Bendt<sup>4</sup>, A. L. Bonatti<sup>5</sup>, W. B. Dale<sup>6</sup>, J. M. Desai<sup>7</sup>,  
B. McFadden<sup>8</sup>, W. F. Dungey<sup>9</sup>, L. M. Kondratenko<sup>10</sup>, M. A. Shao<sup>11</sup> and D. F. Scott<sup>12</sup>

Corresponding author (D. Knipp, UCB 431, University of Colorado Boulder, Boulder, CO 80309, USA; e-mail: knipp@colorado.edu)

<sup>1</sup>Department of Aerospace Engineering Sciences, University of Colorado, Boulder, CO, USA.

<sup>2</sup>High Altitude Observatory, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA.

<sup>3</sup>Borrowed from US Air Force, Air Weather Service

<sup>4</sup>Baylor Institute for Air Science, Baylor University, Waco, TX, USA

<sup>5</sup>Boston College, Boston, MA, USA

<sup>6</sup>National Centers for Environmental Information, NOAA, Boulder, CO, USA

<sup>7</sup>Borrowed from US Air Force, Air Force Research Laboratory

KNIPP ET AL., 2016

# LE OSSERVAZIONI RADIO DI TRIESTE

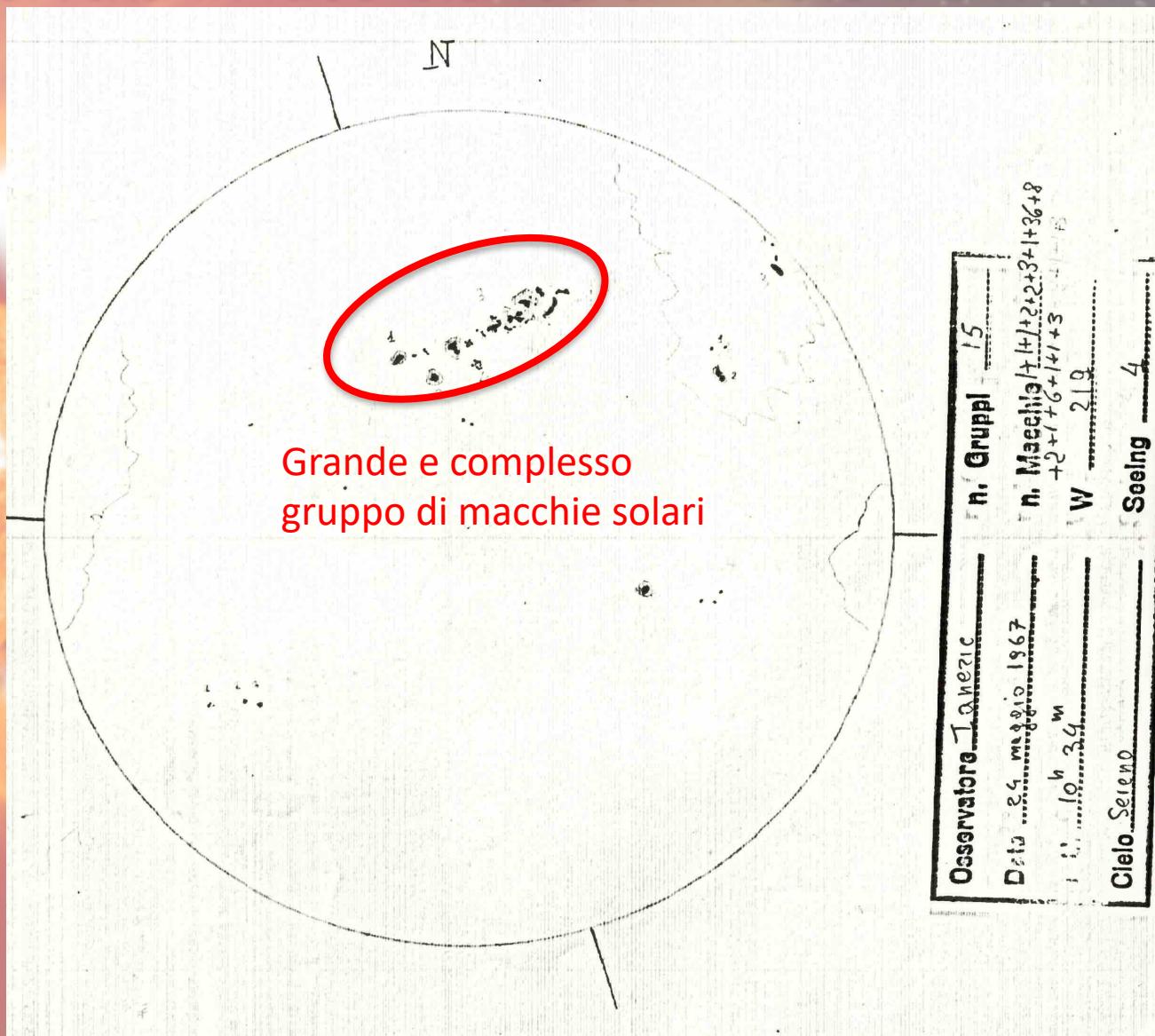
## LA FREQUENZA OSSERVATIVA PIÙ PROSSIMA AI 440 MHz DEL BMEWS !

The Naval Research Laboratory reported loss of signal between the ground and a satellite beacon during the height of the geomagnetic disturbances [Goodman, 1968]. This situation likely developed from a superposition of ionospheric storm effects and ongoing solar disturbances in the VHF/UHF bands. The Trieste Astronomical Observatory reported saturation of its 239 MHz system radio system due to extreme solar flux at that frequency on 25

May 1967 [Abriami and Zlobec, 1968]. Solar disturbances in the VHF band are known to increase as active regions reach solar central meridian. On 25 May McMath Region 8818 was so positioned.

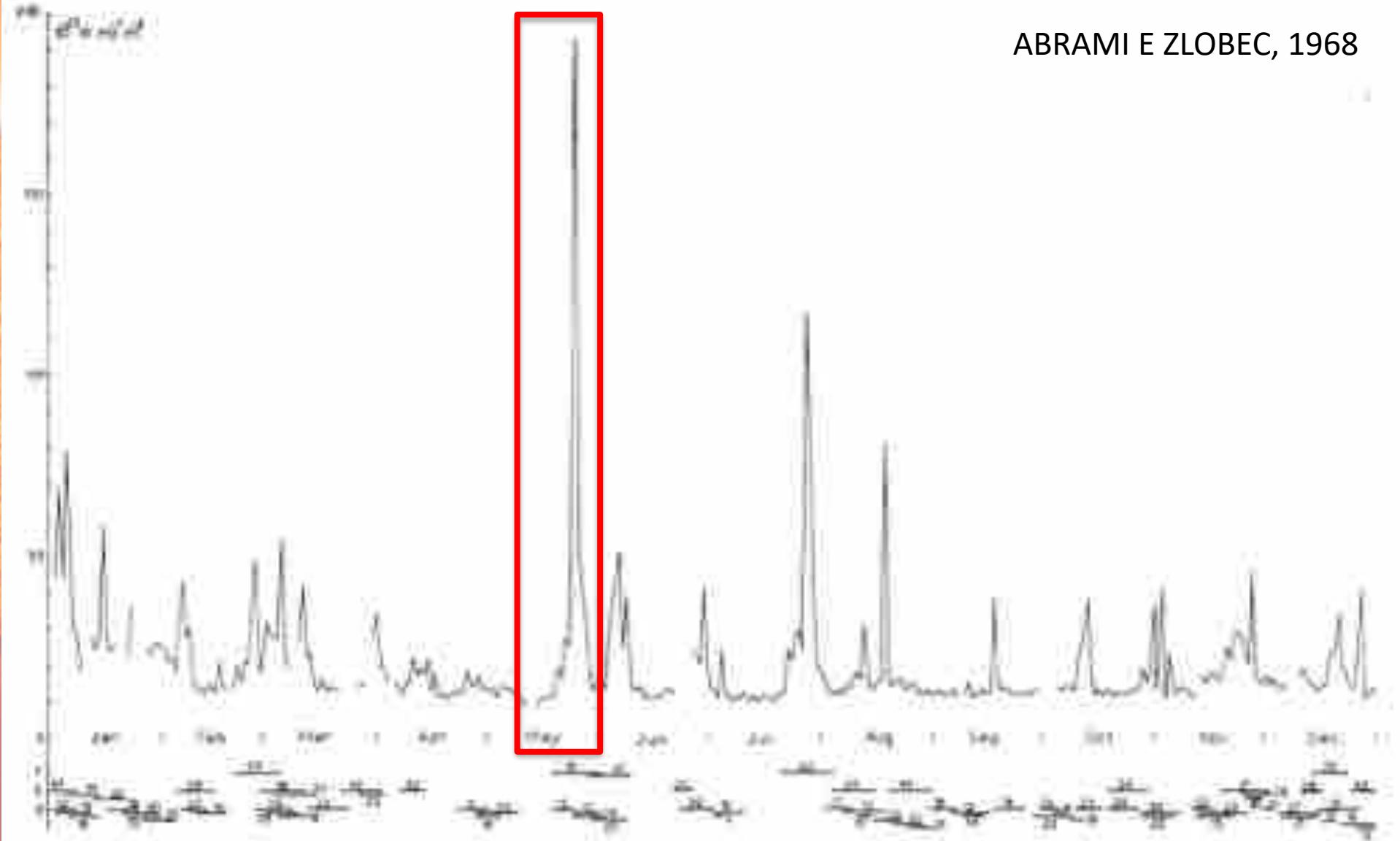
KNIPP ET AL., 2016

# Disegno della Fotosfera solare osservata in luce bianca a Trieste il 24.05.1967

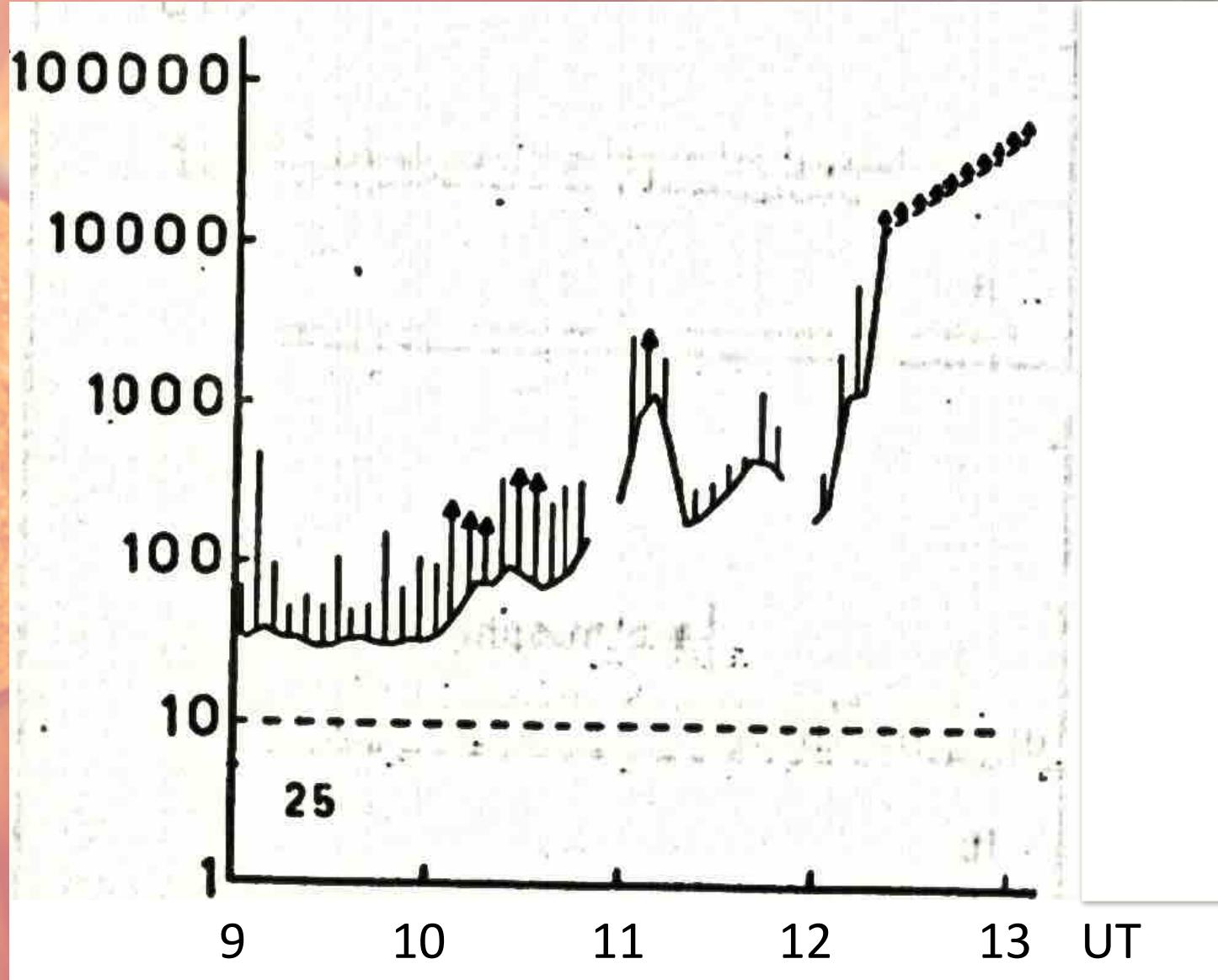


# Flusso radio solare medio a 239 MHz osservato a Trieste nel 1967

ABRAMI E ZLOBEC, 1968



# Intensità stimata del flusso radio solare a 239 MHz osservato il 25.05.1967



# Rilevanza dei dati radio solari di Trieste

- Come riportato nell'articolo di Knipp et al. (2016), i dati radio solari di Trieste sono stati impiegati dalla USAF AWS per verificare l'emissione radio del Sole osservata alla frequenza radio più vicina a quella del BMEWS disponibile all'epoca per le date di interesse
- La possibilità di discriminare un fenomeno naturale da un fenomeno artificiale derivante da attività bellica è di fondamentale importanza in qualsiasi epoca

# RECENTI SVILUPPI IN ITALIA



# RECENTE ORGANIZZAZIONE IN ITALIA PER LA SICUREZZA DELLO SPAZIO

## Enti coinvolti:

- Agenzia Spaziale Italiana (ASI)
  - Aeronautica Militare (AM)
  - Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF)
  - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)
  - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)
  - Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)
  - Vari Dipartimenti Universitari
  - Protezione Civile

# INAF Istituto Nazionale di Astrofisica

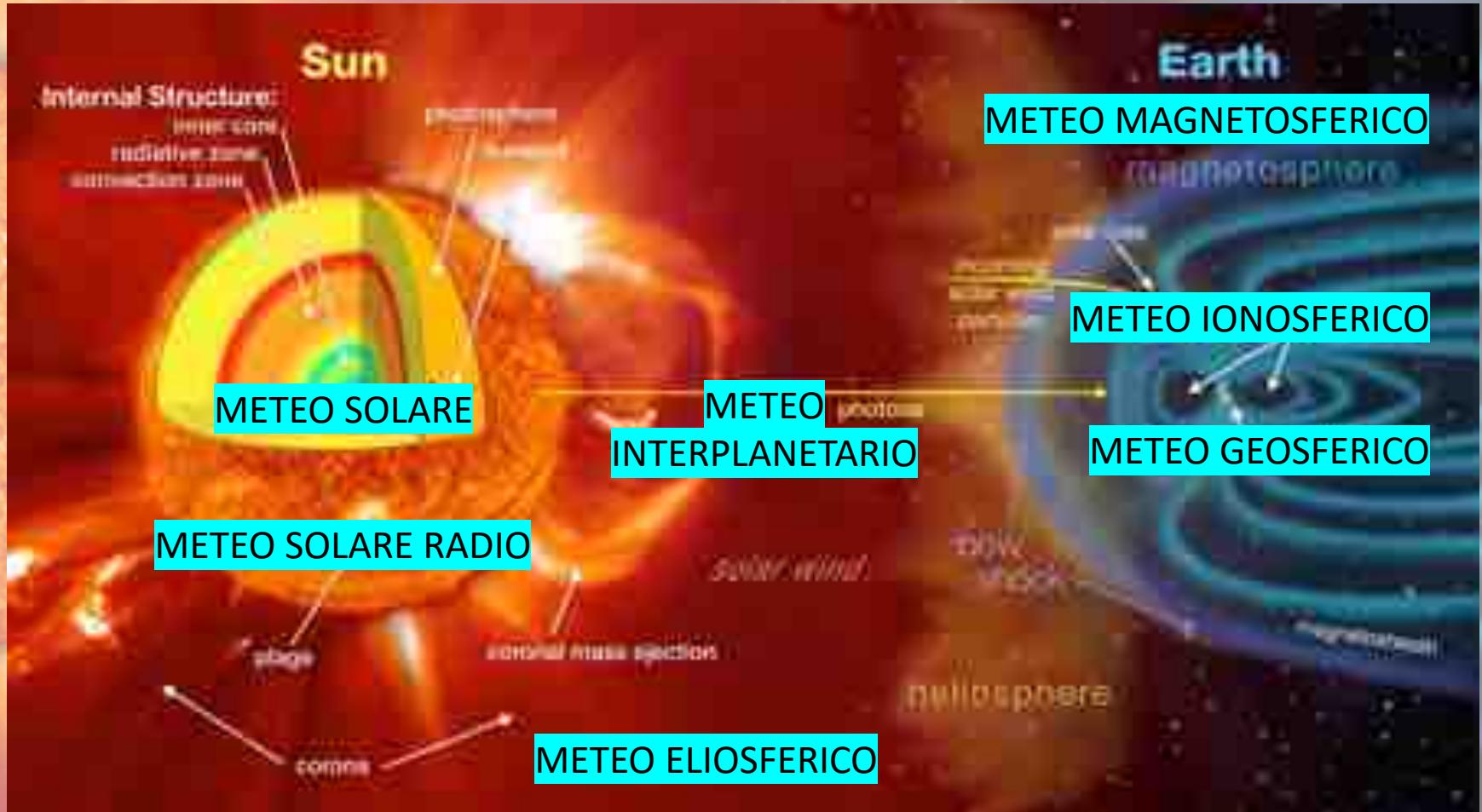


- Ente pubblico di ricerca
- Fondato nel 1999
- Ricerca in Astronomia ed Astrofisica
- SC + 16 Strutture di ricerca (osservatori astronomici ed astrofisici e istituti) in Italia + TNG alle Canarie + LBT in USA
- Staff: 1400+

# Coinvolgimento dell'INAF nello Space Weather

- Lunga tradizione nella scienza ed osservazioni per la Fisica del Sole e la Fisica delle Relazioni Sole-Terra
- Osservazioni a terra del Sole nella banda ottica e radio e monitoraggio dei neutroni sono iniziati più di 50 anni fa
- Osservazioni dallo spazio fin dall'inizio dell'Era spaziale
- Scienza dello Space Weather ed applicazioni: progetti di ricerca, monitoraggio e previsioni da decenni

# Domini dello Space Weather monitorati dall'INAF

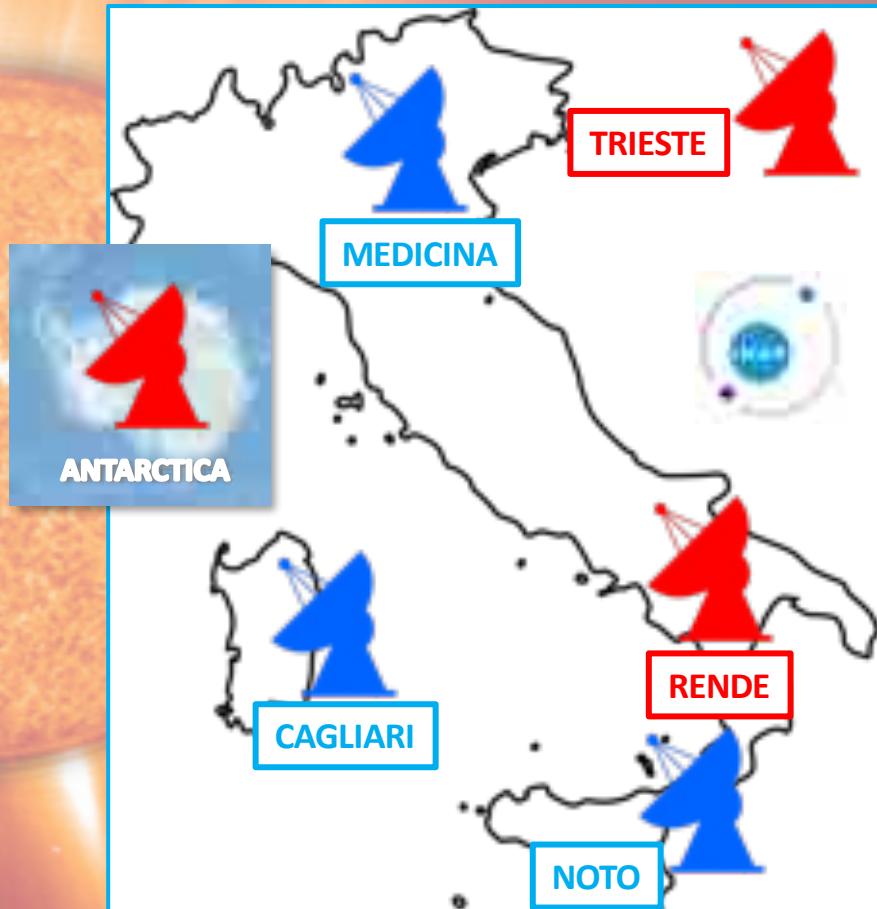


# La Rete Nazionale INAF di Servizi per lo Space Weather



INAF-Astrophysical Observatory of Turin	<ul style="list-style-type: none"><li>• HELIOSPHERIC DATA AND SWX CENTRE</li><li>• SOHO &amp; SOLAR ORBITER/METIS DATA ARCHIVES</li></ul>
INAF-Astronomical Observatory of Trieste	<ul style="list-style-type: none"><li>• TRIESTE SOLAR RADIO WEATHER CENTRE</li><li>• SOLAR RADIO ARCHIVE</li></ul>
INAF-Astronomical Observatory of Rome	<ul style="list-style-type: none"><li>• PRECISION SOLAR PHOTOMETRIC TELESCOPE (PSPT)</li><li>• HR SPECTROPOLARIMETER IBIS DATA ARCHIVE</li><li>• HISTORICAL SOLAR IMAGES DIGITAL ARCHIVE</li><li>• SOLAR ACTIVITY MOF MONITOR (SAMM)</li></ul>
INAF-Institute of Space Astrophysics and Planetology (Rome)	<ul style="list-style-type: none"><li>• DOME C EAST &amp; NORTH HF RADAR IN ANTARCTIC (SUPERDARN)</li><li>• MAGNETOSPHERIC AND IONOSPHERIC OBSERVATIONS</li><li>• SVIRCO NEUTRON MONITOR</li><li>• SOLAR WIND AND IONOSPHERIC PLASMA SIMULATOR (SWIPS)</li></ul>
INAF-Astronomical Observatory of Naples	<ul style="list-style-type: none"><li>• SOLAR MAGNETO-OPTICAL-FILTER IMAGING (VAMOS)</li></ul>
INAF-Space Weather Centre at UniCal (Rende)	<ul style="list-style-type: none"><li>• RENDE SOLAR RADIO WEATHER CENTRE</li><li>• SOLAR RADIO ARCHIVE</li></ul>
INAF-Astrophysical Observatory of Catania	<ul style="list-style-type: none"><li>• SOLAR H-ALPHA &amp; 656.78 nm IMAGING</li></ul>
INAF-Astronomical Observatory of Cagliari INAF-Institute for Radio Astronomy (Bologna, Noto)	<ul style="list-style-type: none"><li>• K-BAND HR SOLAR RADIO IMAGING</li></ul>

# I nodi per la Scienza radio e per il Meteo Radio del Sole



- **Trieste** Solar Radio System 2.0 (3.7 m dish; 1-18 GHz spectropolarimeter)
- **Medicina** Radio Telescope (32 m dish; K-band imaging)
- **Sardinia** Radio Telescope (64 m dish; K-band imaging)
- **Rende** Solar Radio System 1.0 (7 m dish; 1-18 GHz spectropolarimeter)
- **Noto** Radio Telescope (32 m dish; K-band imaging)
- **Antarctica** Solar Radio Polarimeter (up to 100 GHz)
- A team of motivated solar radio astronomers

DEDICATED / NON-DEDICATED INSTRUMENT

# Il nuovo radiospettropolarimetro solare di Trieste (TSRS 2.0)



- Strumento dedicato al Sole
- Antenna da 3,7 m di diametro
- Misura della polarizzazione circolare
- Frequenza operativa: 1-18 GHz (UHF-SHF) (30-1,7 cm)
- Installato a fine 2021
- Ora in fase di messa a punto
- Operativo entro il 2022

# Installazione di TSRS 2.0 a Basovizza



# TSRS 2.0 installato sul tetto dell'edificio



# Particolare di TSRS 2.0 con TSRS 1.0



# La sala di controllo di TSRS 2.0



# L'interfaccia di controllo di TSRS 2.0



# Ricevitori radio e unità di controllo di TSRS 2.0



# Programma di lavoro per TSRS 2.0

- 2022 Q3 Messa a punto di base
- 2022 Q4 Osservazioni preliminari
- 2023 Q3 Adeguamento software
- 2023 Q4 Monitoraggio automatico/allerta
- 2024 Q2 Controllo di qualità
- 2024 Q3 Inclusione in ESA SSA SWE
- 2024 Q3 Inclusione in rete militare AM

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

