

Chiaramente Scienza:
Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti

17 Aprile 2012

Tempeste magnetiche

**I possibili effetti sulla nostra vita
quotidiana**

Fabrizio Tamburini

CIVEN – Università di Padova

IAES – International Academy of Environmental
Sciences



Fabrizio Tamburini



Sistema Sole e Terra

- Il Sole, la nostra stella, emette radiazione in tutto lo spettro elettromagnetico
- Il Sole presenta dei cicli di attività nel corso della sua vita che si manifestano con fenomeni elettromagnetici variabili di diverse intensità e forma
- Questi fenomeni elettromagnetici vanno ad interagire con i corpi celesti circostanti, ovvero i pianeti che compongono il sistema solare
- Noi abitiamo in uno di questi, la Terra. Sole e Terra interagiscono mediante la forza gravitazionale e con interazioni elettromagnetiche.

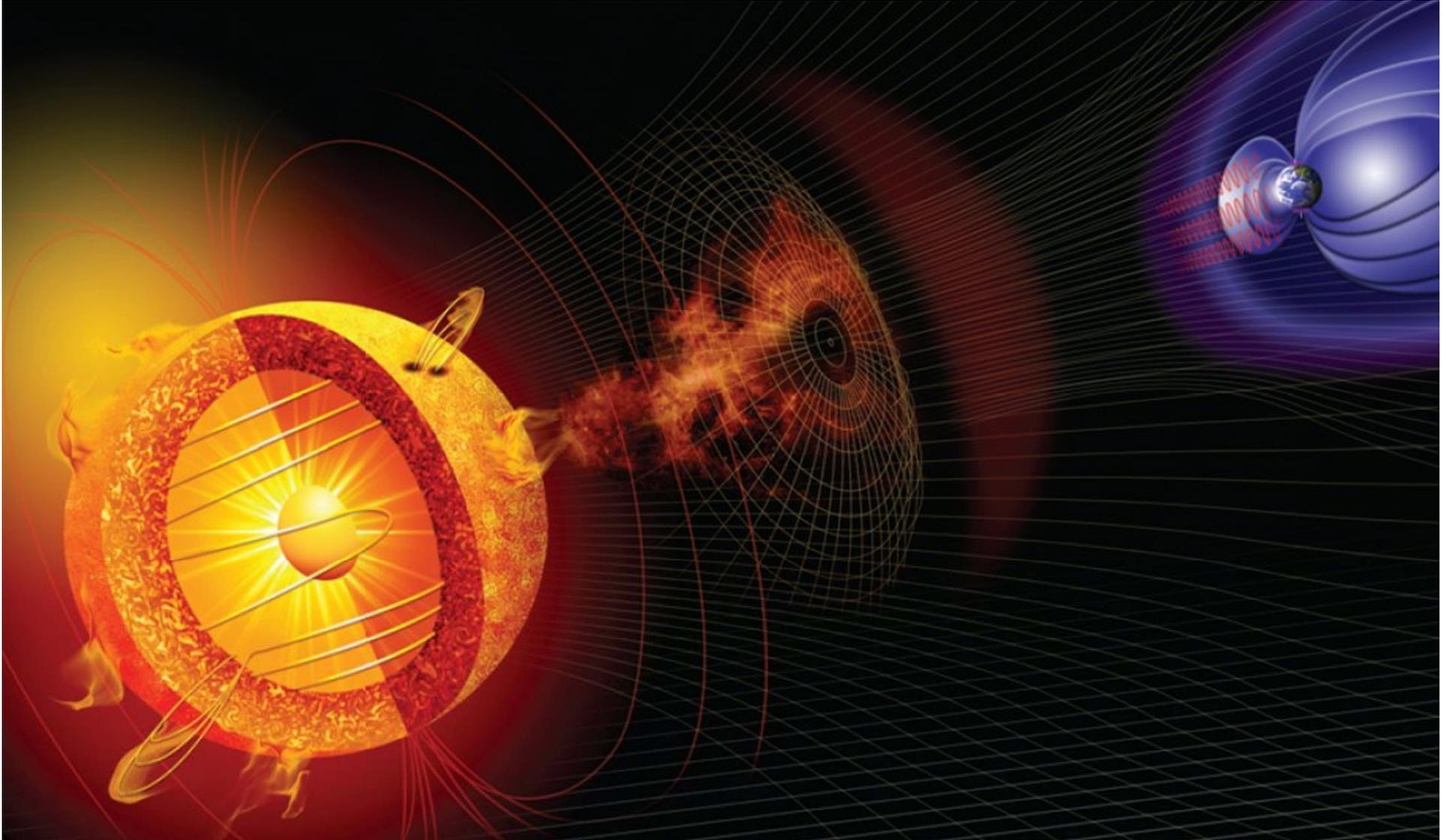


Aurore Boreali ed Australi
(il Sole agisce sulla Terra)

Aurora su Giove

Aurora su Saturno

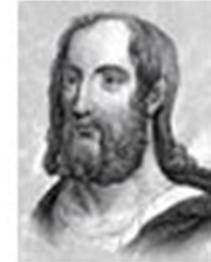
Sono fenomeni elettromagnetici. Cosa sono e come funzionano?



Cosa è l'elettromagnetismo?



MAGNETITE



PLINIO IL VECCHIO



ARCHIMEDE



Oersted

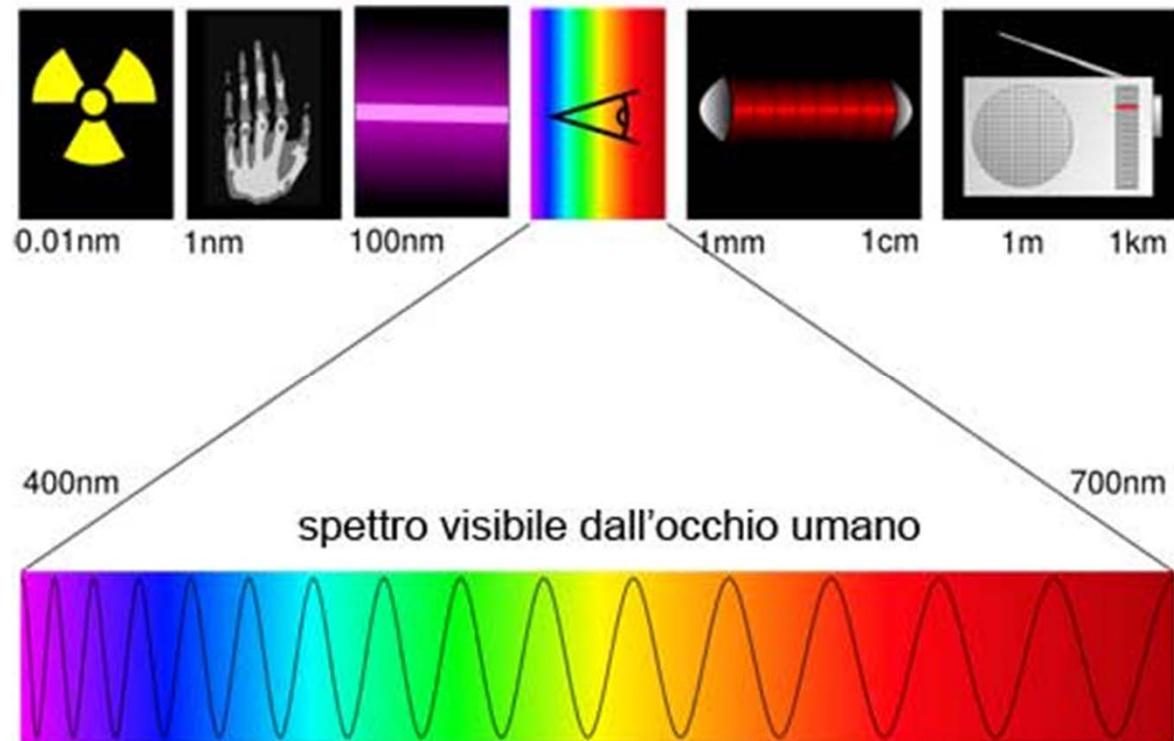


Ampère

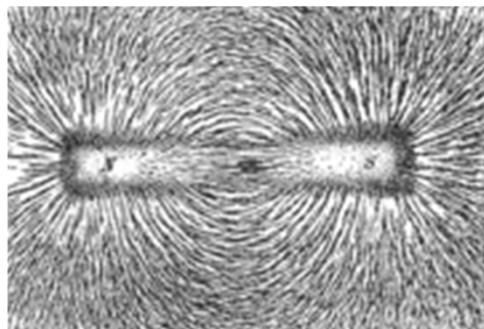


Volta

Luce, onde elettromagnetiche, calamite, elettricità sono aspetti diversi dello stesso fenomeno?



Si. Le equazioni di Maxwell del campo elettromagnetico descrivono tutto questo



THE
LONDON, EDINBURGH AND DUBLIN
PHILOSOPHICAL MAGAZINE
AND
JOURNAL OF SCIENCE.
[FOURTH SERIES.]
MARCH 1861.

XXV. *On Physical Lines of Force.* By J. C. MAXWELL, Professor of Natural Philosophy in King's College, London*.

PART I.—*The Theory of Molecular Vortices applied to Magnetic Phenomena.*

IN all phenomena involving attractions or repulsions, or any forces depending on the relative position of bodies, we have to determine the *magnitude* and *direction* of the force which would act on a given body, if placed in a given position.

In the case of a body acted on by the gravitation of a sphere, this force is inversely as the square of the distance, and in a straight line to the centre of the sphere. In the case of two attracting spheres, or of a body not spherical, the magnitude and direction of the force vary according to more complicated laws. In electric and magnetic phenomena, the magnitude and direction of the resultant force at any point is the main subject of investigation. Suppose that the direction of the force at any point is known, then, if we draw a line so that in every part of its course it coincides in direction with the force at that point, this line may be called a *line of force*, since it indicates the direction of the force in every part of its course.

By drawing a sufficient number of lines of force, we may indicate the direction of the force in every part of the space in which it acts.

Thus if we strew iron filings on paper near a magnet, each filing will be magnetized by induction, and the consecutive filings will unite by their opposite poles, so as to form fibres, and these fibres will *indicate* the direction of the lines of force. The beautiful illustration of the presence of magnetic force afforded by this experiment, naturally tends to make us think of

* Communicated by the Author.



1861-1862

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \mathbf{j}(t, \mathbf{x}) \quad \text{in forma locale, Lorentz (1903)}$$

ibrizio Tamburini

La luce è quindi anch'essa un fenomeno elettromagnetico, un'onda

- **La LUCE e le onde elettromagnetiche** sono il principale vettore di informazioni per l'astronomia e telecomunicazioni. Tuttavia, è un fenomeno più complesso di quanto solitamente si ipotizzi.
- Di solito gli astronomi e ingegneri utilizzano: **l'intensità, la lunghezza d'onda e la polarizzazione**. Talora la **fase**. Esistono delle ulteriori proprietà che possono essere utilizzate per ottenere molte più informazioni sui corpi celesti e per telecomunicazioni.

**Ci sono tantissime altre proprietà poco note del campo
che si possono utilizzare, quasi un centinaio!**

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$\mathbf{p} \cdot \Psi_1 = \mathbf{p} \cdot \Psi_2 = 0;$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$\mathbf{p} \cdot \Psi_1 = \mathbf{p} \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$\Psi_1^* = \Psi_1, \quad \Psi_2^* = \Psi_2;$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$\mathbf{p} \cdot \Psi_1 = \mathbf{p} \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$i \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t, \mathbf{x}) = \hat{\alpha} \cdot \mathbf{p} \Psi(t, \mathbf{x}),$$

$$\left(i \frac{\partial}{\partial t} - \hat{\alpha} \cdot \mathbf{p} \right) S_{\mu\nu} S^{\mu\nu} \Psi(t, \mathbf{x}) = 0,$$

Equazioni di Maxwell con i vettori

Ψ_1 and Ψ_2

$$p(\Psi_1 - i\epsilon\Psi_2) + \epsilon'(i\mathbf{p} \times \Psi_1 + \epsilon\mathbf{p} \times \Psi_2) = 0;$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = -\frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$\mathbf{p} \cdot \Psi_1 = \mathbf{p} \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i\epsilon p \Psi_1, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = i\epsilon p \Psi_2;$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$\mathbf{p} \cdot \Psi_1 = \mathbf{p} \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i\epsilon p \Psi_1, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = i\epsilon p \Psi_2,$$

$$\Psi_1^* = \Psi_1, \quad \Psi_2^* = \Psi_2;$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$\mathbf{p} \cdot \Psi_1 = \mathbf{p} \cdot \Psi_2 = 0, \quad \Psi_1 = i\epsilon\Psi_2;$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$\mathbf{p} \cdot \Psi_1 = \mathbf{p} \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = \epsilon p \Psi_2, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = -\epsilon p \Psi_1;$$

$$\mathbf{p} \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad \mathbf{p} \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$\mathbf{p} \cdot \Psi_1 = \mathbf{p} \cdot \Psi_2 = 0,$$

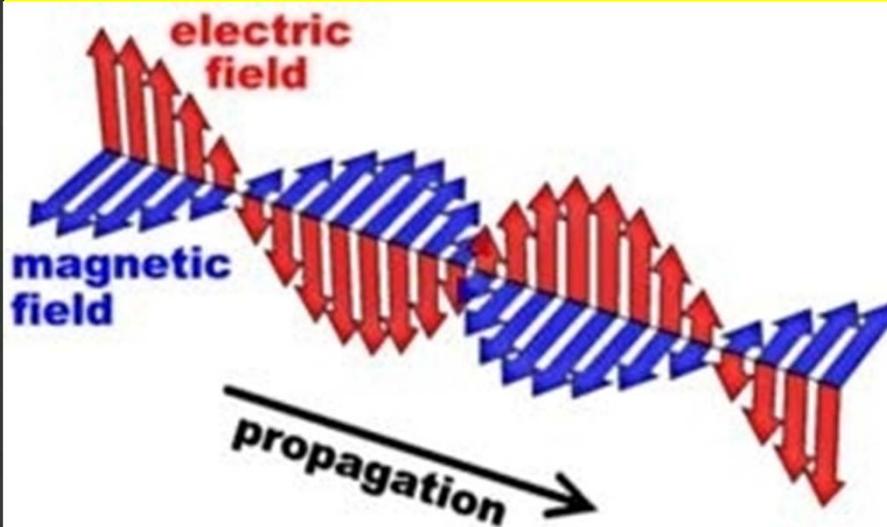
$$\Psi_1 + i\epsilon\Psi_2 = 0, \quad \mathbf{p} \times \Psi_1 = -i\epsilon\epsilon' p \Psi_1,$$

where $p = (p_1^2 + p_2^2 + p_3^2)^{1/2}$, $\epsilon, \epsilon' = 1$.

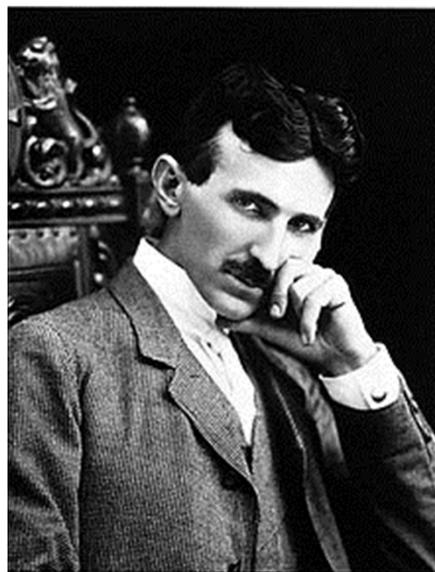
Onde radio, una luce invisibile



Faraday



Hertz



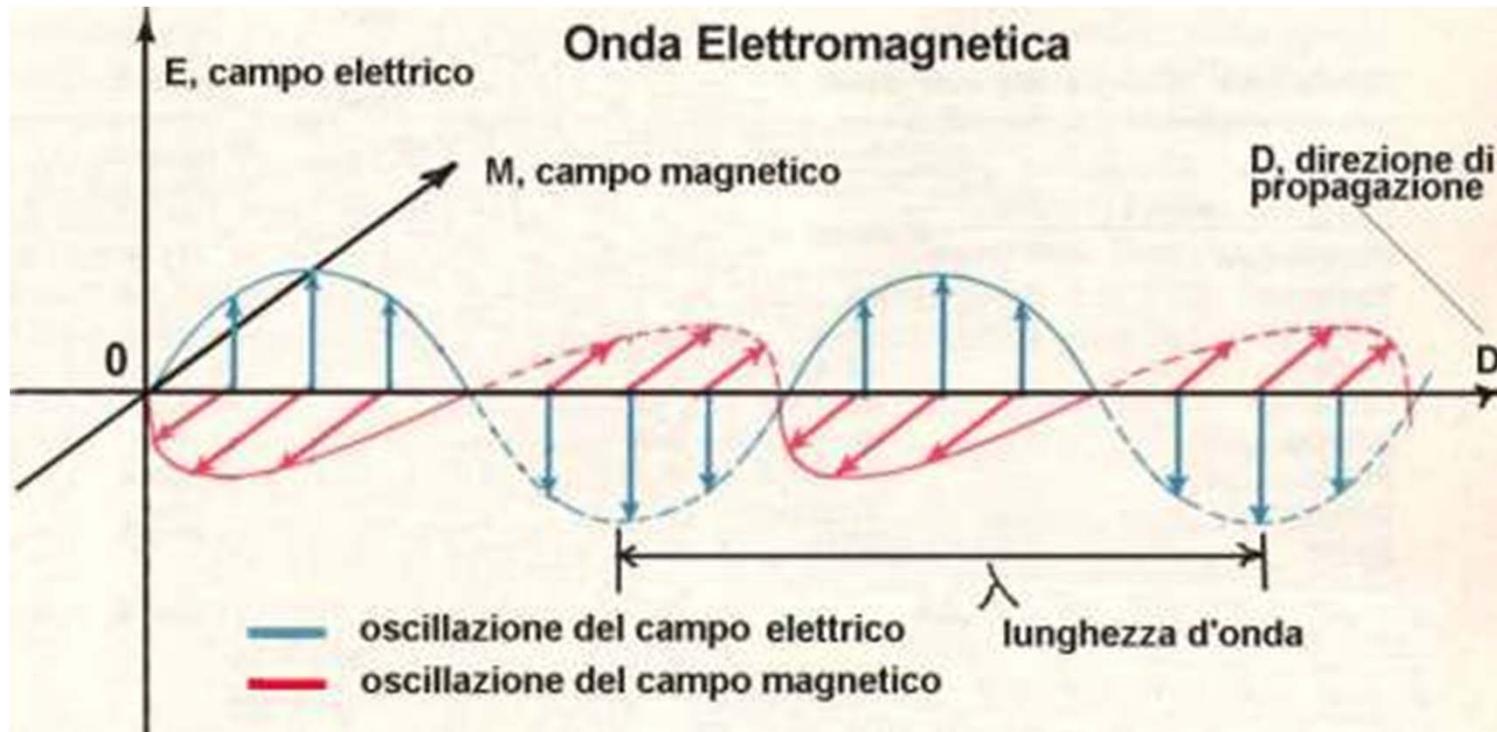
Tesla



Marconi

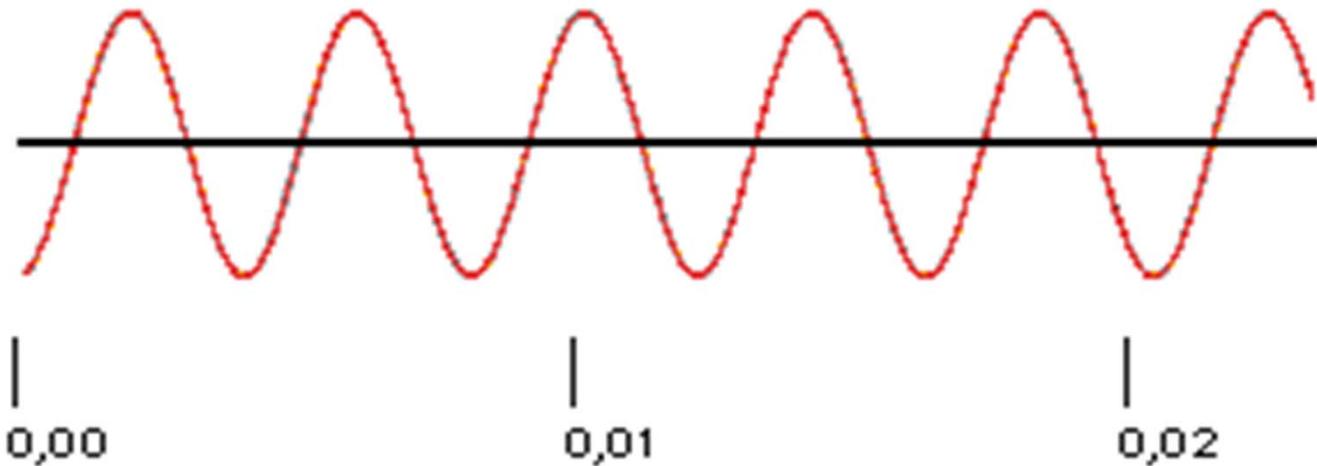
Fabrizio Tamburini

Le onde elettromagnetiche in maggior dettaglio



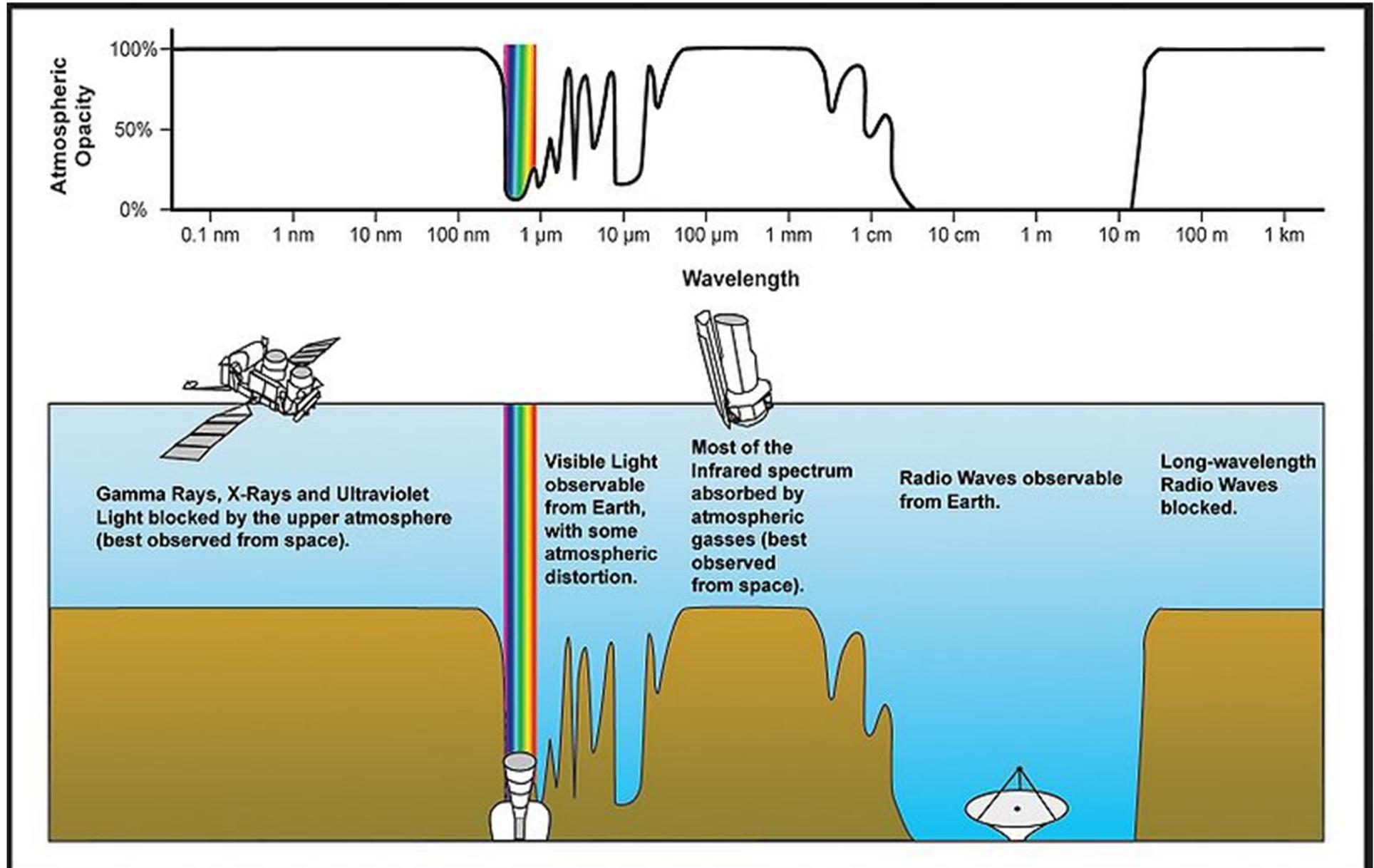
La nostra civiltà moderna è basata sull'elettromagnetismo,
telecomunicazioni via cavo e wireless

Le caratteristiche di un'onda

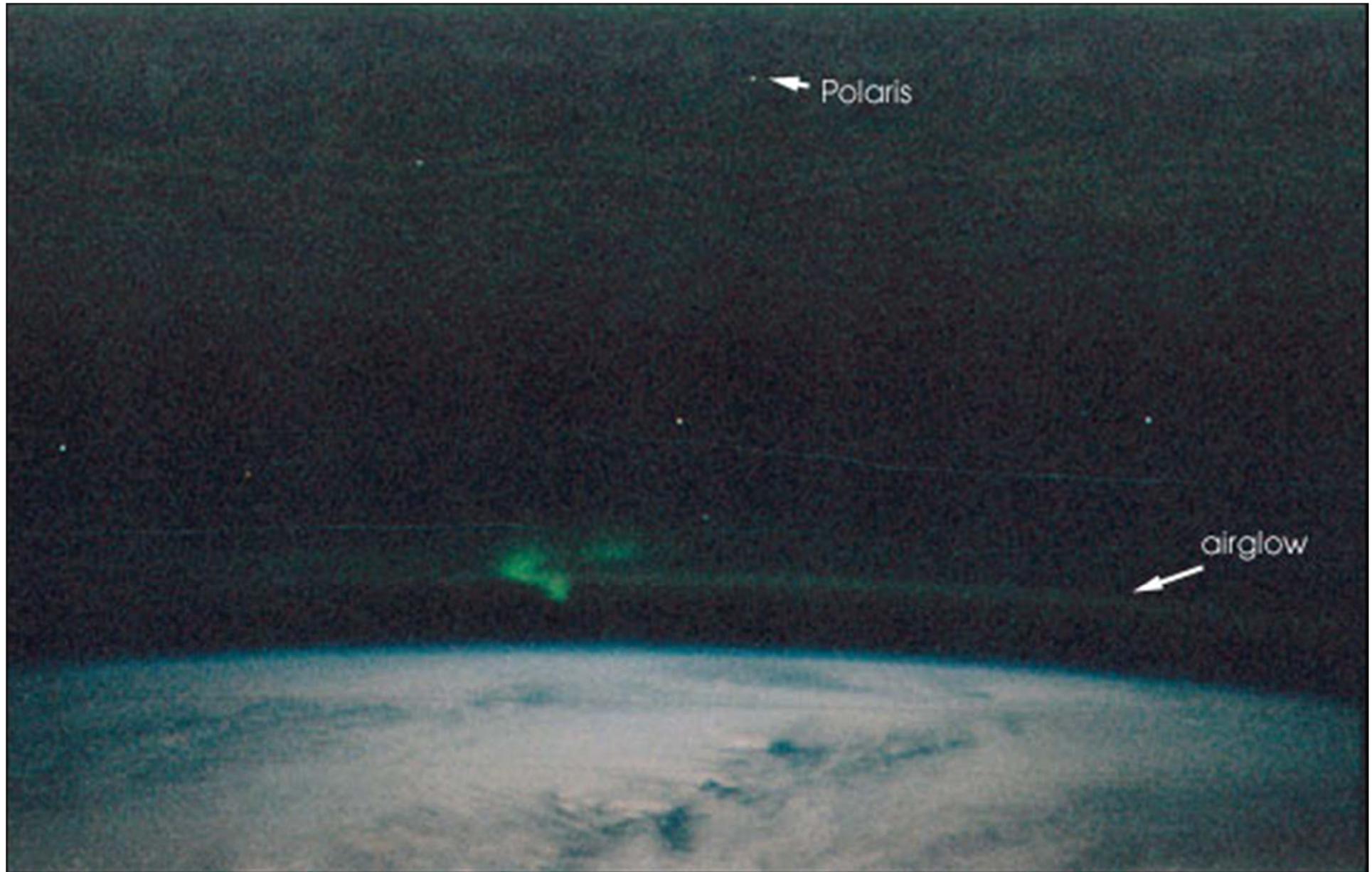


Numero di oscillazioni che compie l'onda in un secondo, si misura in Hertz

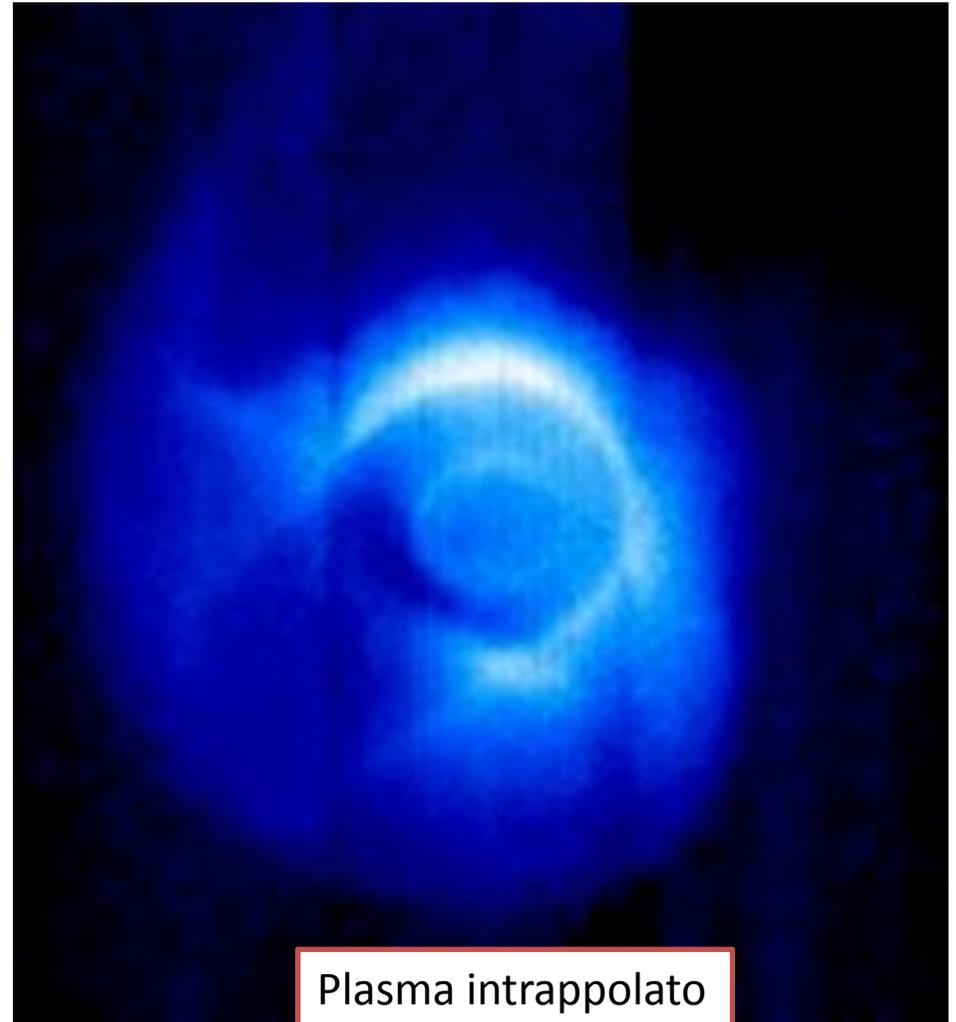
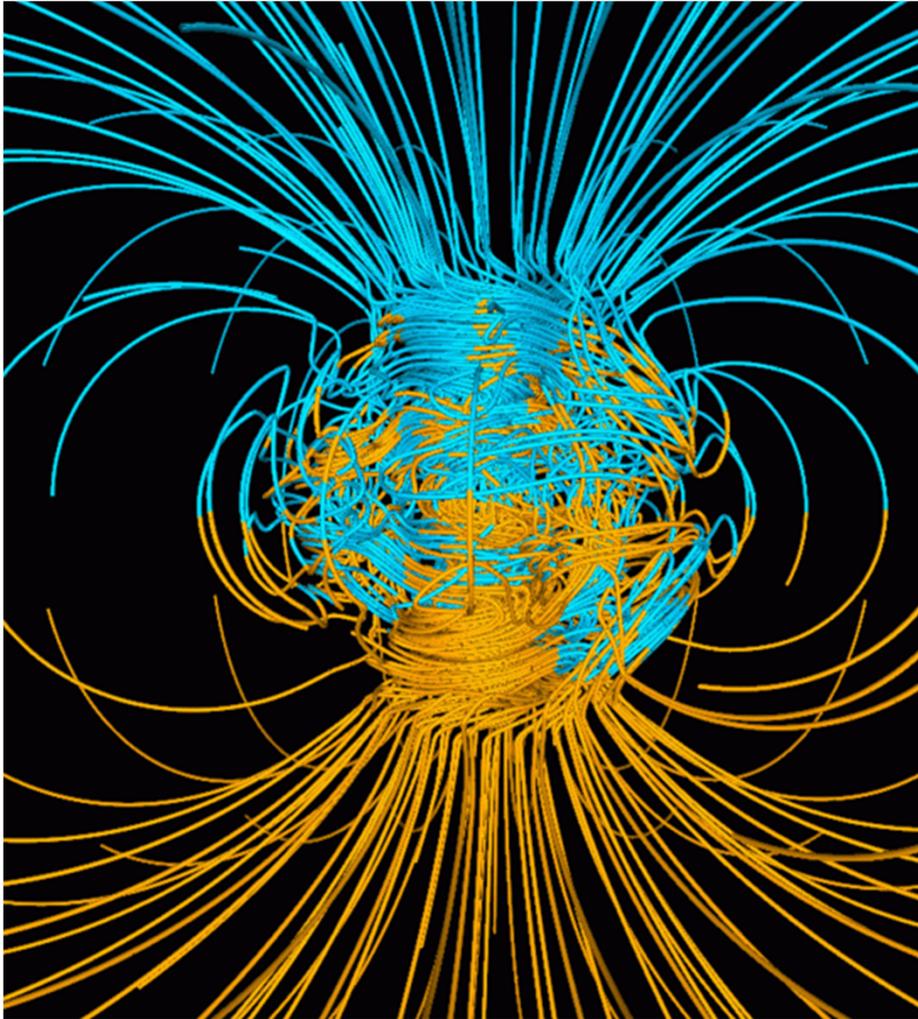
Trasparenza elettromagnetica del cielo



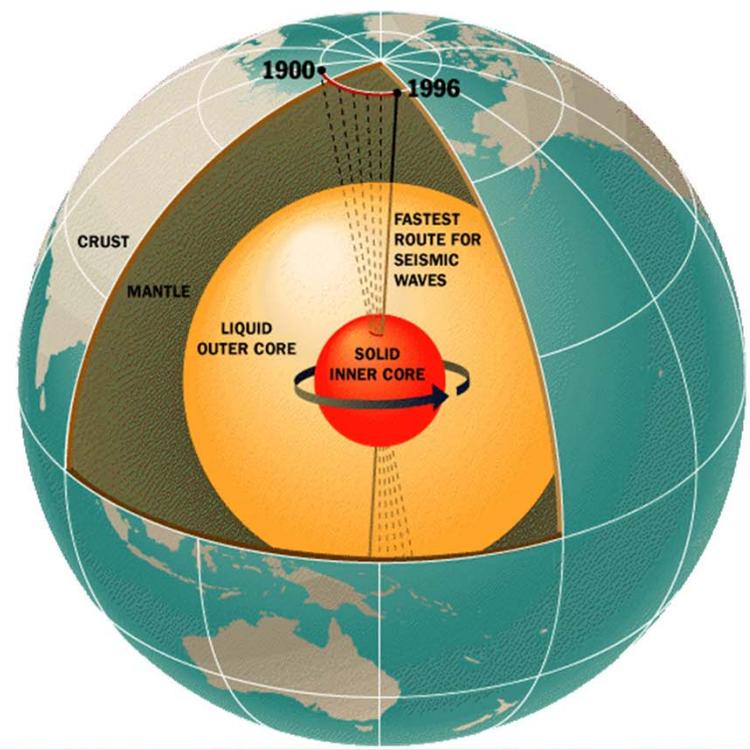
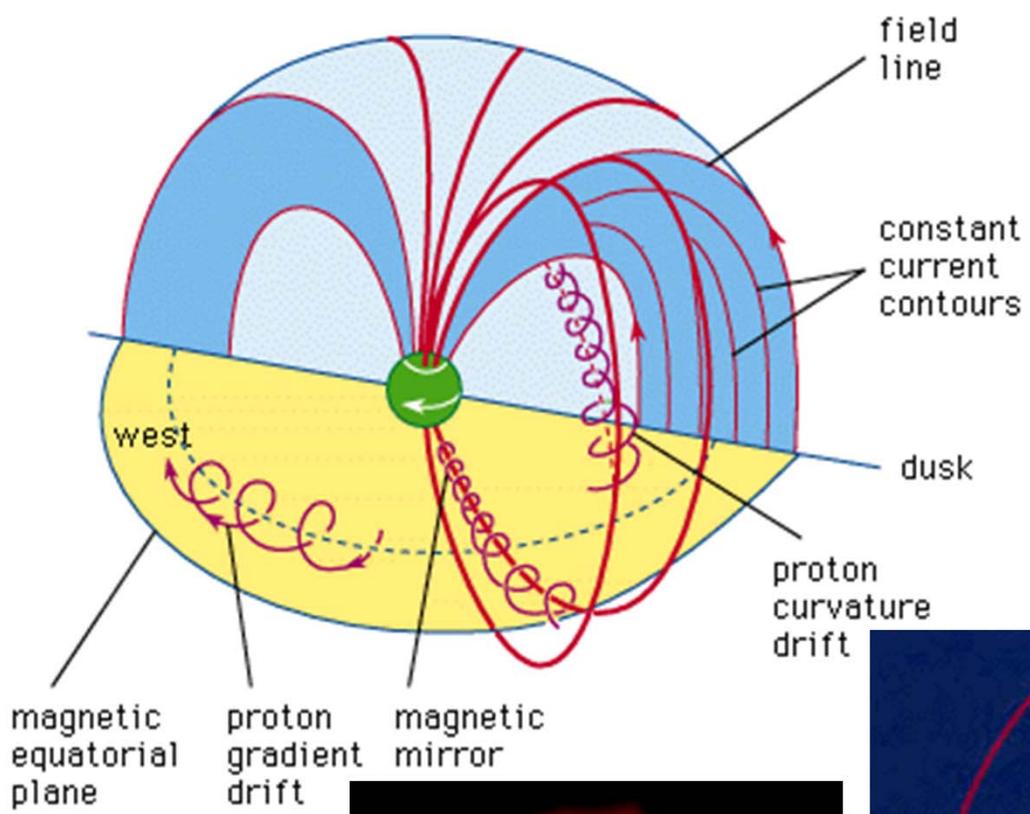
L'ambiente intorno al nostro pianeta



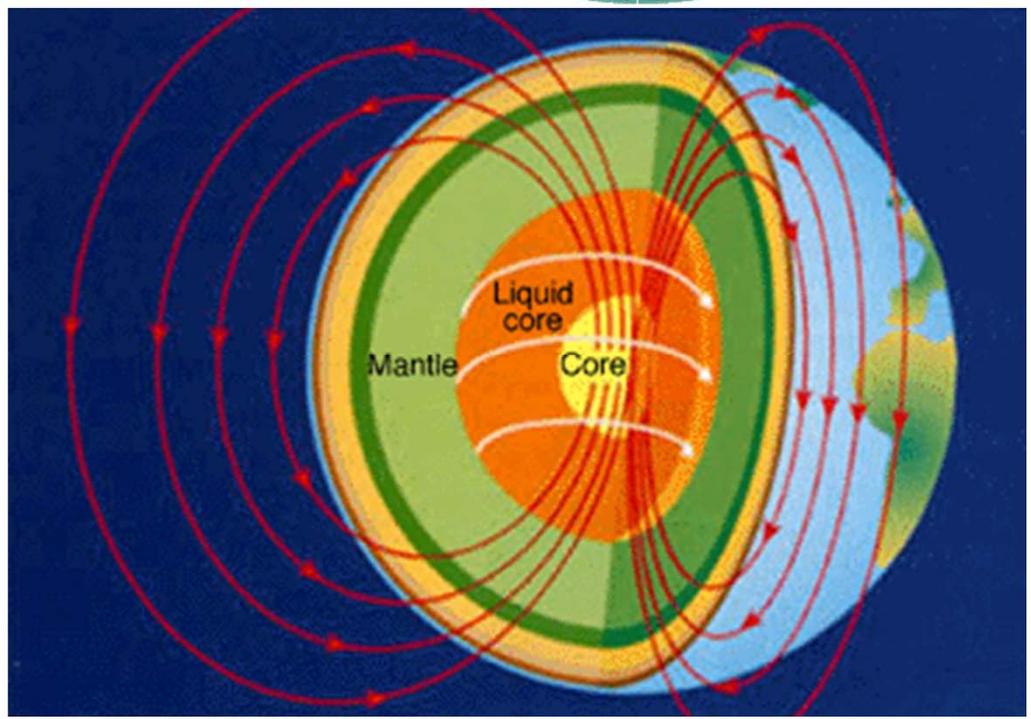
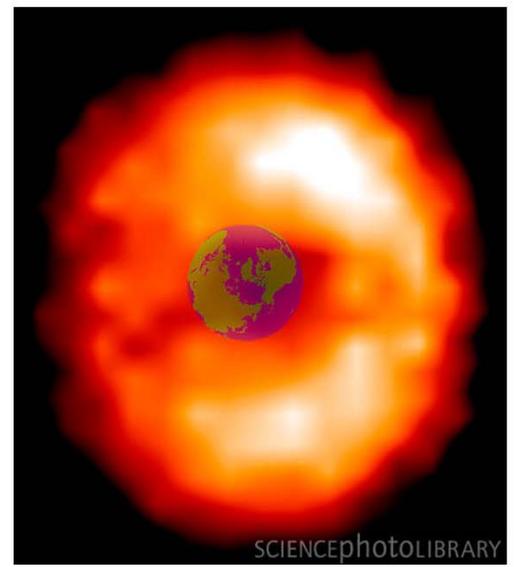
Il Campo magnetico terrestre e la danza con il Sole hanno effetti sulla nostra vita e sulle telecomunicazioni



Campo Magnetico terrestre



Plasma intrappolato



Primi usi di telecomunicazioni con onde elettromagnetiche... anche se

1200 A.C. non le si conosceva come tali

Nell'Iliade, Omero racconta di una catena di falò predisposti per segnalare il ritorno della flotta di Agamennone a Micene e, quindi, ha dato Clitennestra ed Egisto tempo per organizzare l'assassinio di Agamennone. Circa 600 Km, nel dramma Agamennone di Eschilo. Poi i Segnali di fumo...

Location	Modern Name	Altitude (m)	Distance (km)
Troy	Troy	100	0
Mt. Ida	Kaz Dagi	1774	55
Lemnos	Skopia at Limnos	430	154
Mt. Athos	Athos	2033	70
Macistus	Kandilion at Euboea	1209	177
Messapius	Ktipas	1020	30
Cithaeron	Elatias	1410	25
Mt. Aegiplanetus	Mt. Jeraneia	1370	30
Arachnaean	Hgt Arna	1199	50
Mycenae	Mycenae	150	20

Telecomunicazioni con Onde elettromagnetiche a radio frequenza

Guglielmo Marconi realizzò la prima vera comunicazione radio con il coherer di Calzecchi-Onesti oltre la collina di Villa Grifone a Pontecchio nel 1895 mediante la messa a terra dell'antenna. La nuova era moderna della radio era nata.

Prima era il meteo locale a rovinare le telecomunicazioni (pioggia, nebbia) ora è il “meteo” dello spazio vicino: interazione Terra-Sole



Sintonia in frequenza

Marconi nel 1900 divise lo spettro radio in bande ciascuna usata per un canale di trasmissione



Prima del 1900 una singola trasmissione occupava tutto lo spettro EM

Comunicare con le onde radio

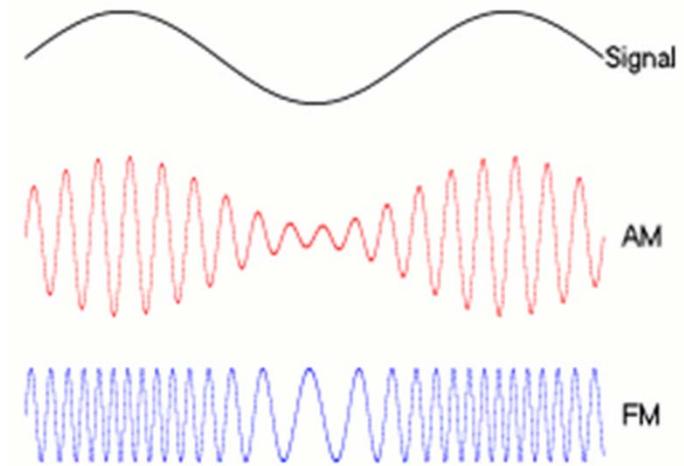
Le onde radio sono utilizzate per le trasmissioni radiofoniche e televisive con lunghezze d'onda comprese tra 10 km e 1 cm (o meno), 100.000 km coi sottomarini.

Certe onde radio possono essere ricevute a distanza di diverse migliaia di km *grazie alla riflessione degli strati ionizzanti dell'atmosfera*. I segnali televisivi viaggiano su onde che hanno frequenze più alte, possono quindi essere captate soltanto dalle antenne che “vedono” il trasmettitore (portata ottica).

Ogni giorno usiamo onde elettromagnetiche per comunicare:

Il telefonino, la radio e la televisione fanno uso di onde a radio frequenza.

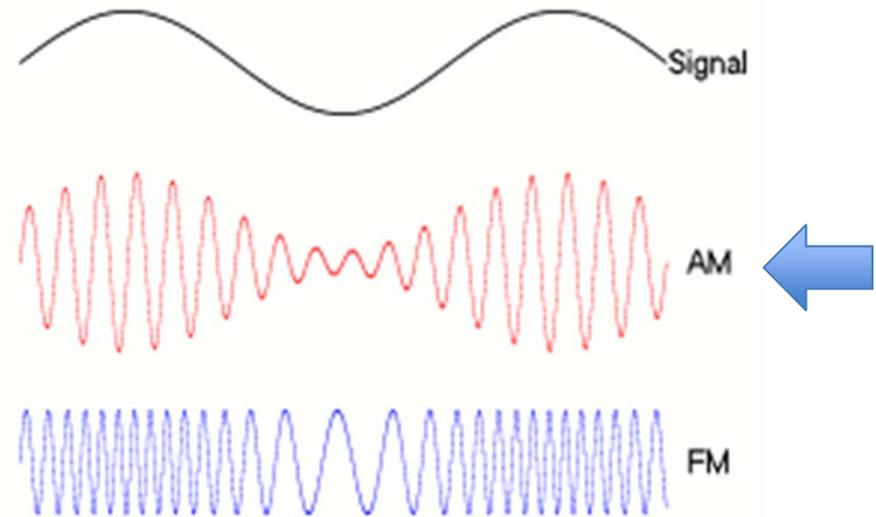
Segue una lista esplicitiva di tipologia...



Band name	Abbr	ITU band	Frequency and wavelength in air	Example uses
			< 3 Hz > 100,000 km	Natural and man-made electromagnetic noise
Extremely low frequency	ELF	1	3–30 Hz 100,000 km – 10,000 km	Communication with submarines
Super low frequency	SLF	2	30–300 Hz 10,000 km – 1000 km	Communication with submarines
Ultra low frequency	ULF	3	300–3000 Hz 1000 km – 100 km	Submarine communication, Communication within mines
Very low frequency	VLF	4	3–30 kHz 100 km – 10 km	Navigation, time signals, submarine communication, wireless heart rate monitors, geophysics
Low frequency	LF	5	30–300 kHz 10 km – 1 km	Navigation, time signals, AM longwave broadcasting (Europe and parts of Asia), RFID, amateur radio
Medium frequency	MF	6	300–3000 kHz 1 km – 100 m	AM (medium-wave) broadcasts, amateur radio, avalanche beacons
High frequency	HF	7	3–30 MHz 100 m – 10 m	Shortwave broadcasts, citizens' band radio, amateur radio and over-the-horizon aviation communications, RFID, Over-the-horizon radar, Automatic link establishment (ALE) / Near Vertical Incidence Skywave (NVIS) radio communications, Marine and mobile radio telephony
Very high frequency	VHF	8	30–300 MHz 10 m – 1 m	FM, television broadcasts and line-of-sight ground-to-aircraft and aircraft-to-aircraft communications. Land Mobile and Maritime Mobile communications, amateur radio, weather radio

Ultra high frequency	UHF	9	300–3000 MHz 1 m – 100 mm	Television broadcasts, microwave ovens, microwave devices/communications, radio astronomy, mobile phones, wireless LAN, Bluetooth, ZigBee, GPS and two-way radios such as Land Mobile, FRS and GMRS radios, amateur radio
Super high frequency	SHF	10	3–30 GHz 100 mm – 10 mm	radio astronomy, microwave devices/communications, wireless LAN, most modern radars, communications satellites, satellite television broadcasting, DBS, amateur radio
Extremely high frequency	EHF	11	30–300 GHz 10 mm – 1 mm	radio astronomy, high-frequency microwave radio relay, microwave remote sensing, amateur radio, directed-energy weapon, millimeter wave scanner
Terahertz or Tremendously high frequency	THz or THF	12	300–3,000 GHz 1 mm – 100 μ m	Terahertz imaging – a potential replacement for X-rays in some medical applications, ultrafast molecular dynamics, condensed-matter physics, terahertz time-domain spectroscopy, terahertz computing/communications, sub-mm remote sensing, amateur radio

Modi di comunicazione: modulazione di ampiezza - AM

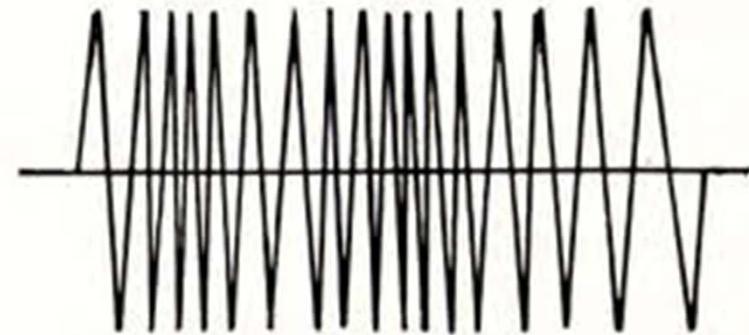


Una stazione radio emette continuamente un'onda elettromagnetica della stessa frequenza, detta portante, anche quando la radio ricevente non emette alcun suono. Si sentono disturbi dall'ambiente circostante, wifi, computer, auto, elettrodomestici, etc.

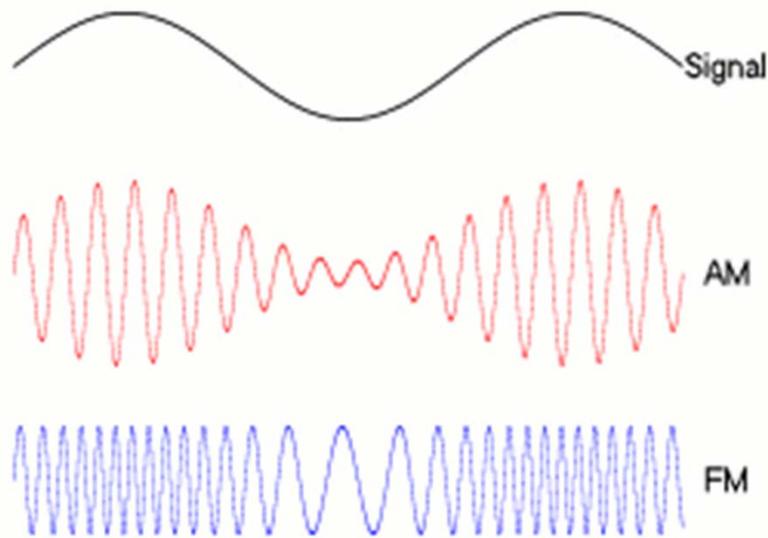
Modulazione di frequenza - FM

Un esempio nel quale si usa la modulazione di frequenza è il telefonino.

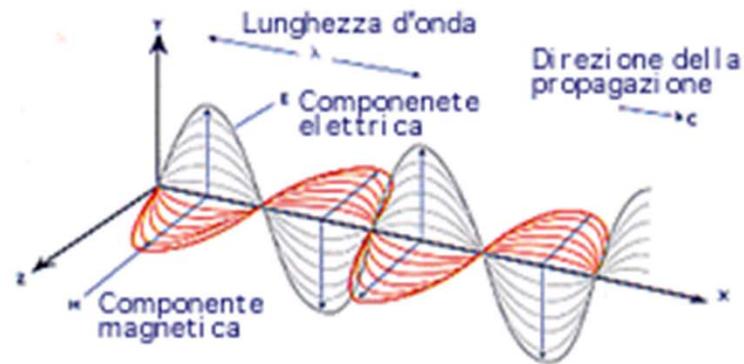
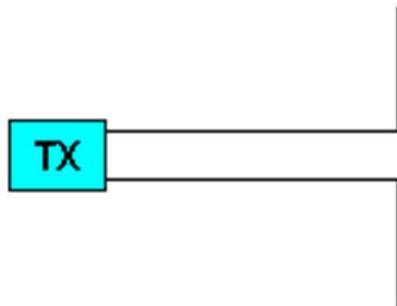
- Canali Stereo HF
- Più stazioni
- Meno disturbi



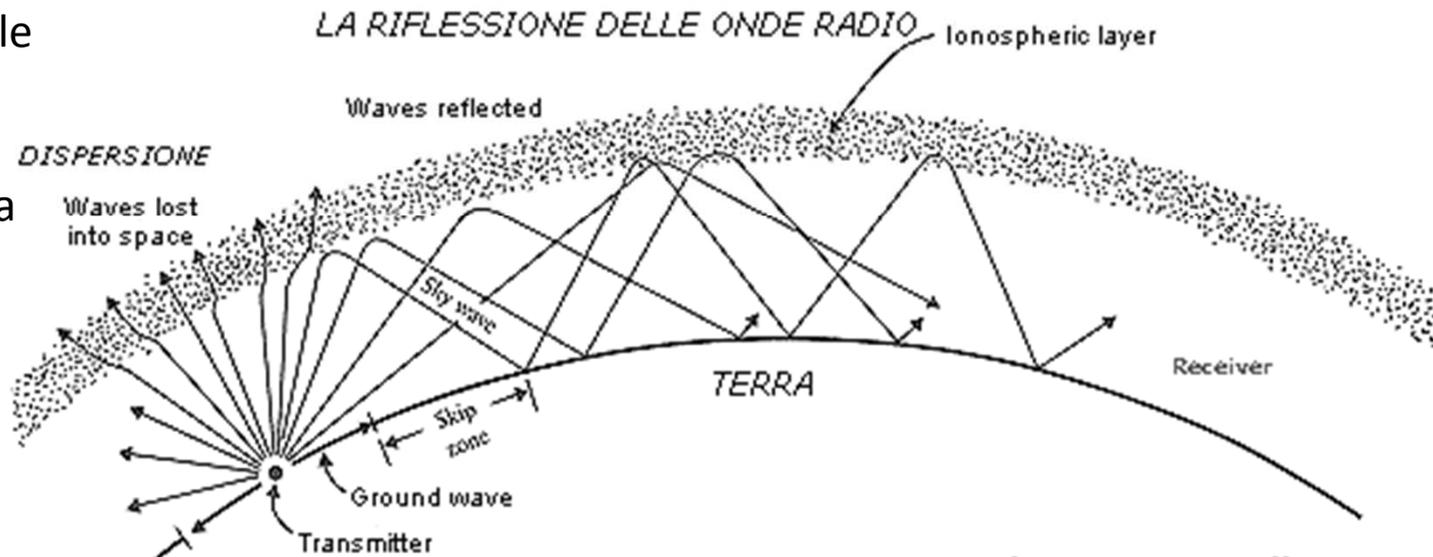
Varia solo la frequenza della corrente AF e dell'onda radio



Le trasmissioni radio: influenza dell'ambiente Terra – Sole quieto



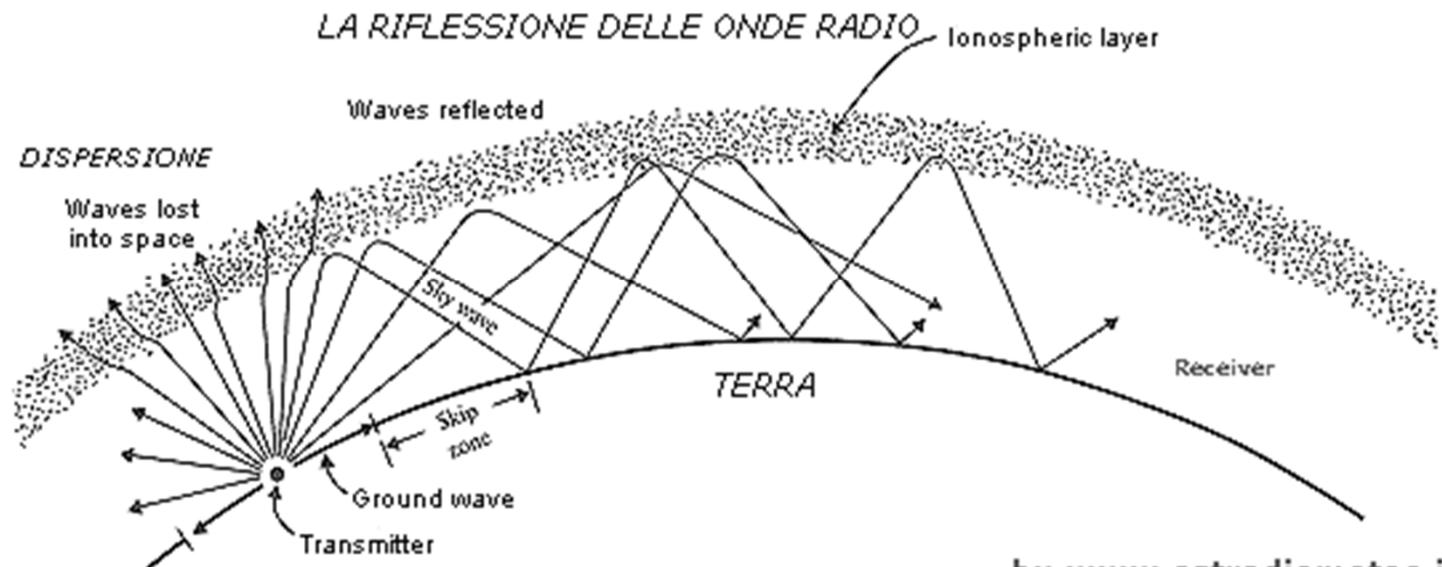
Propagazione delle onde nella ionosfera con rimbalzi variabili a causa del Sole.



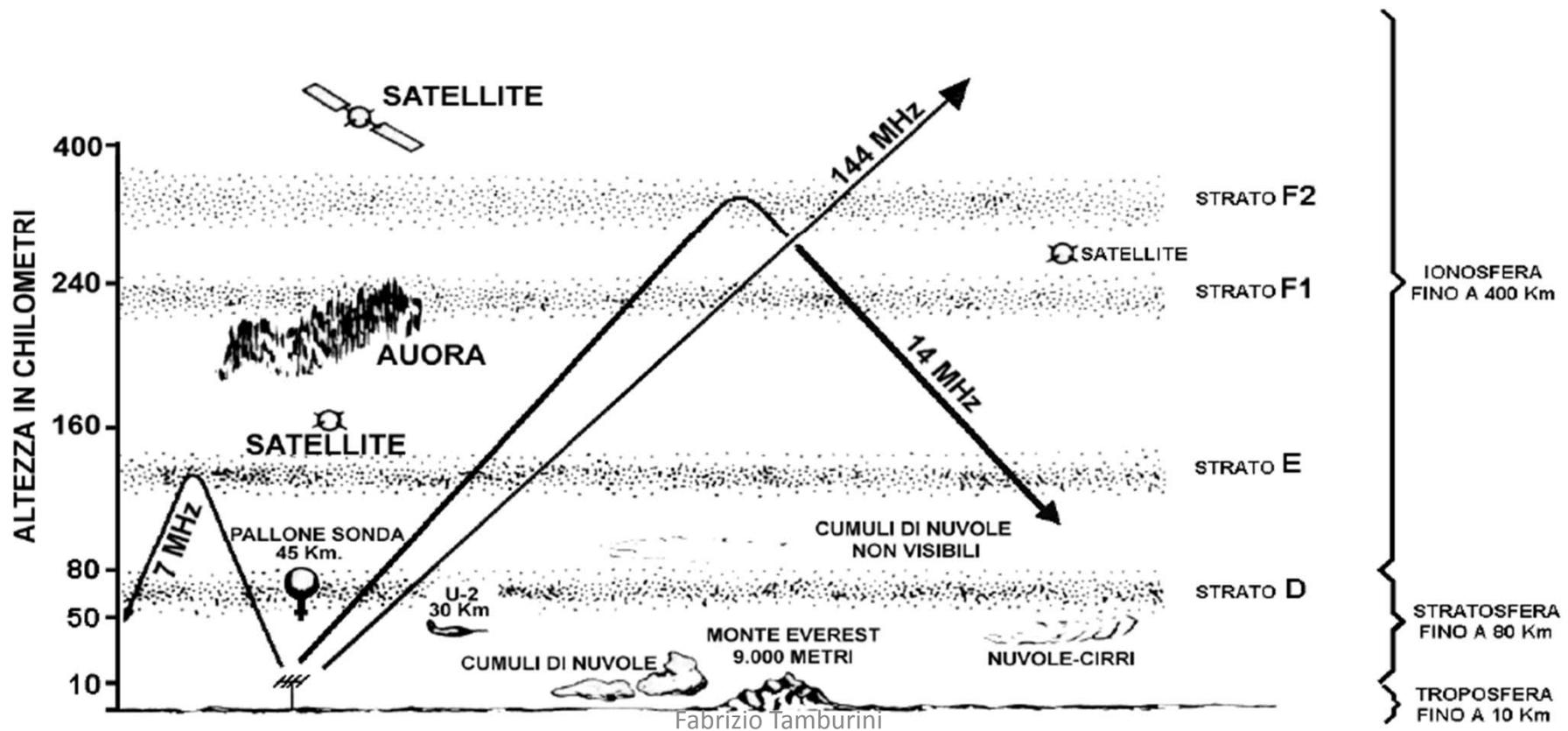
Fabrizio Tamburini

Onde radio – rimbalzo ionosferico

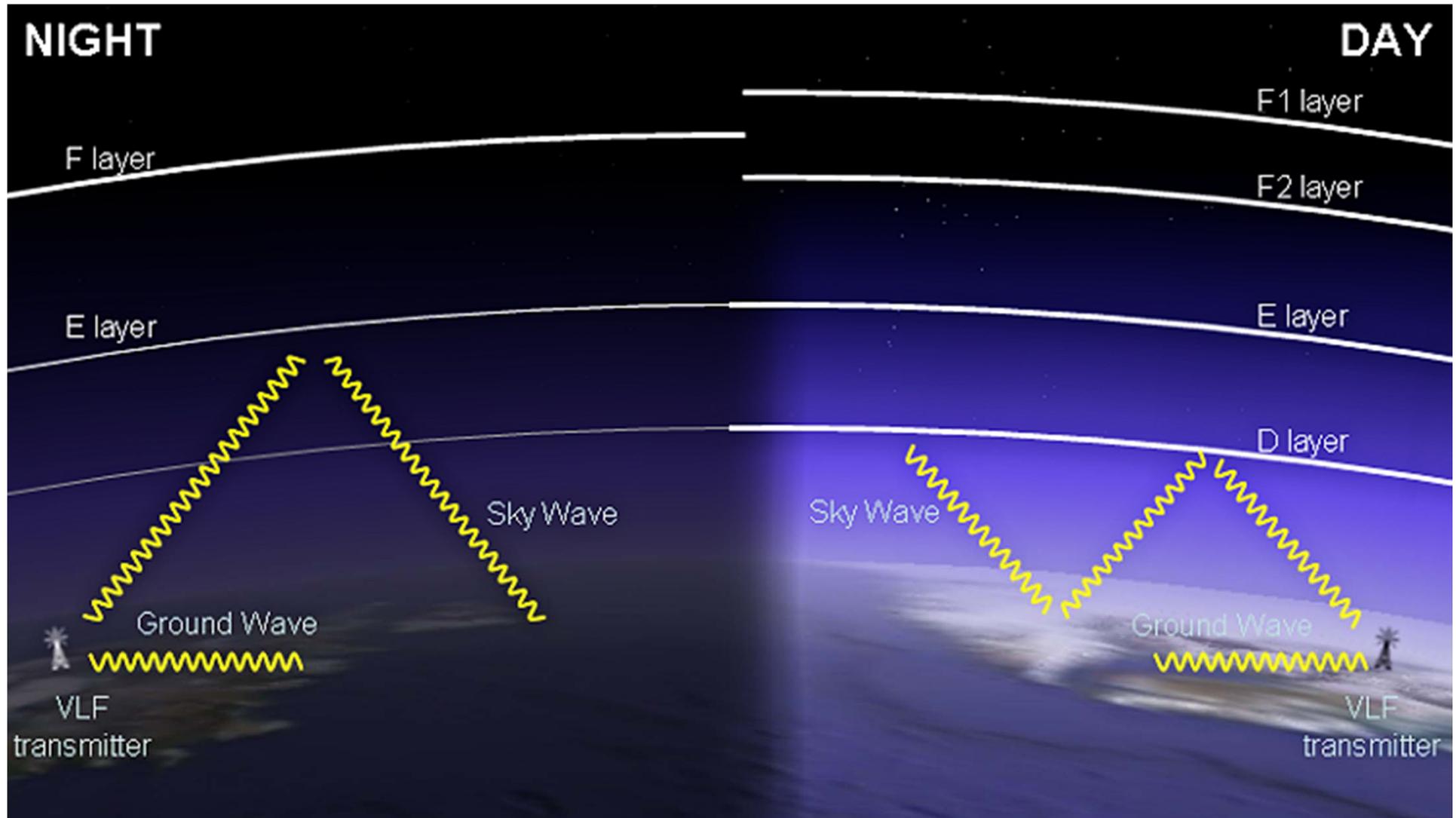
- La **Skywave (onda del cielo)** è la propagazione di onde elettromagnetiche *curvate* indietro (rifratte e riflesse) verso la superficie della Terra dalla ionosfera. Un segnale da una stazione AM distante nella notte, o ad onde radio corte (o durante la propagazione sporadica e stagionale) può a volte essere sentita chiaramente come le stazioni locali
- (fra 3 e 30 MHz) in HF.



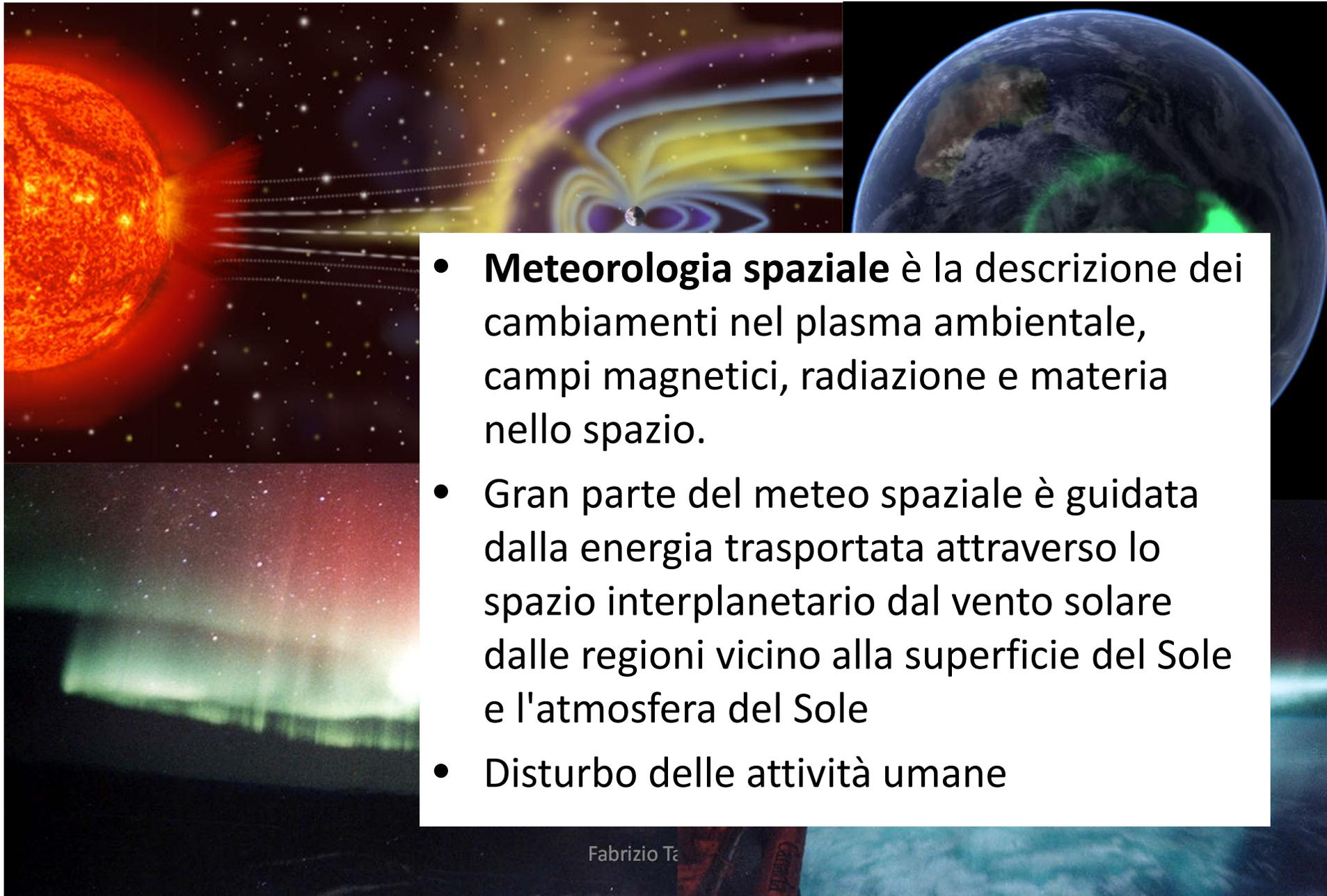
Sotto i 10 MHz durante il giorno e 5 MHz la notte possono raggiungere la ionosfera ad un notevole angolo (incidenza verticale) ed essere riflessi giù verso la Terra. La propagazione della skywave è di solito degradata -- a volte seriamente -- durante le tempeste geomagnetiche. La propagazione della skywave sul lato illuminato della Terra può essere interamente distrutta durante improvvise perturbazioni ionosferiche.



Variazioni giorno/notte



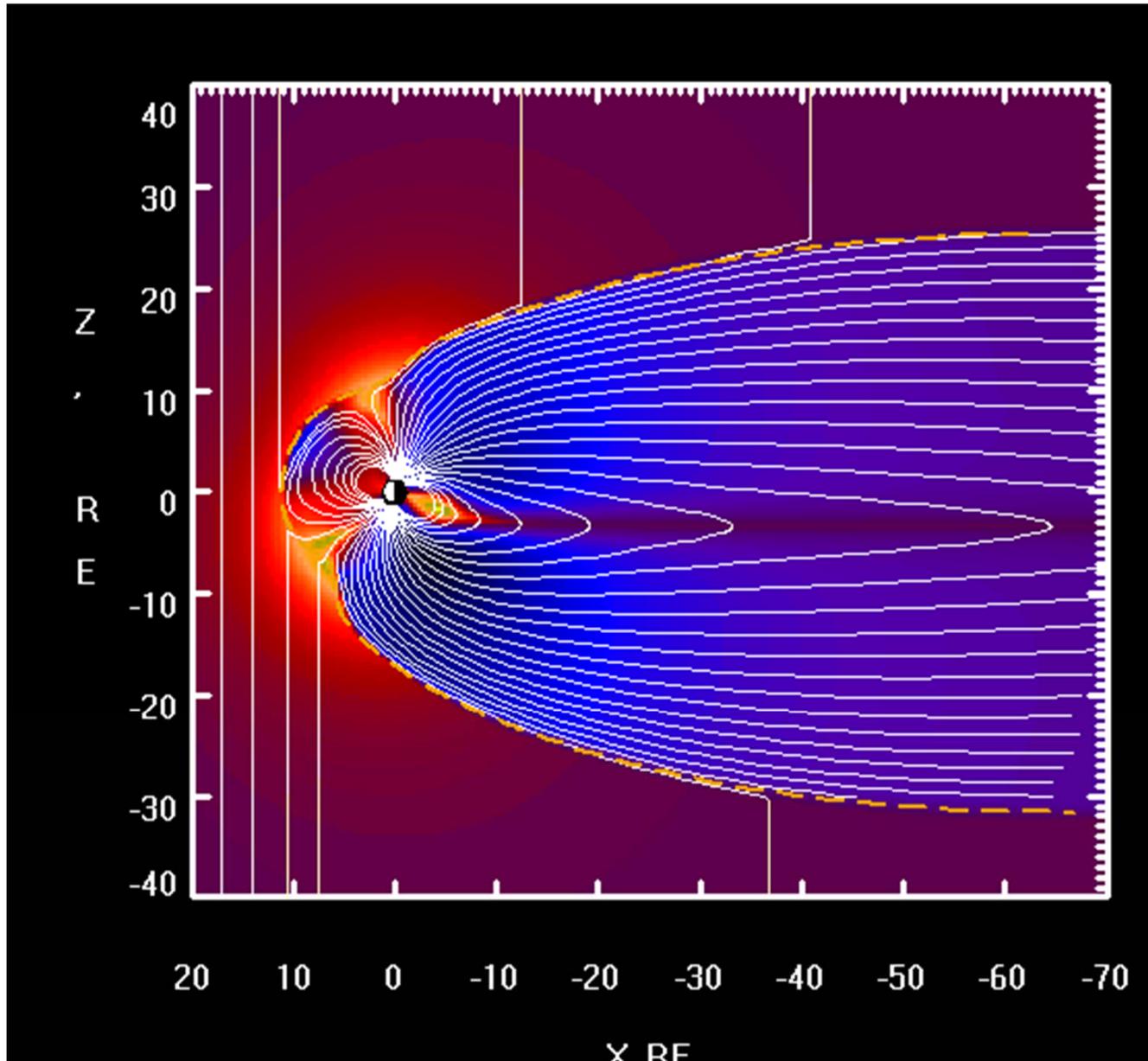
Interazioni Terra-Sole: *Space Weather*



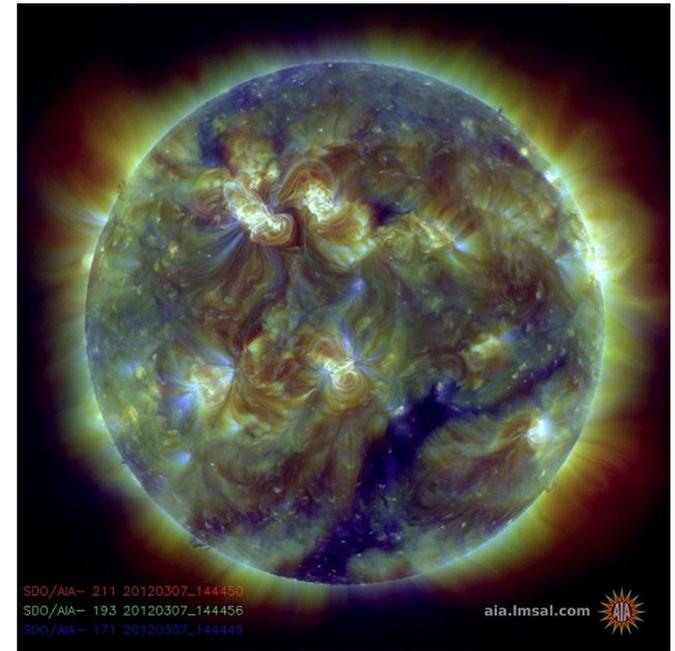
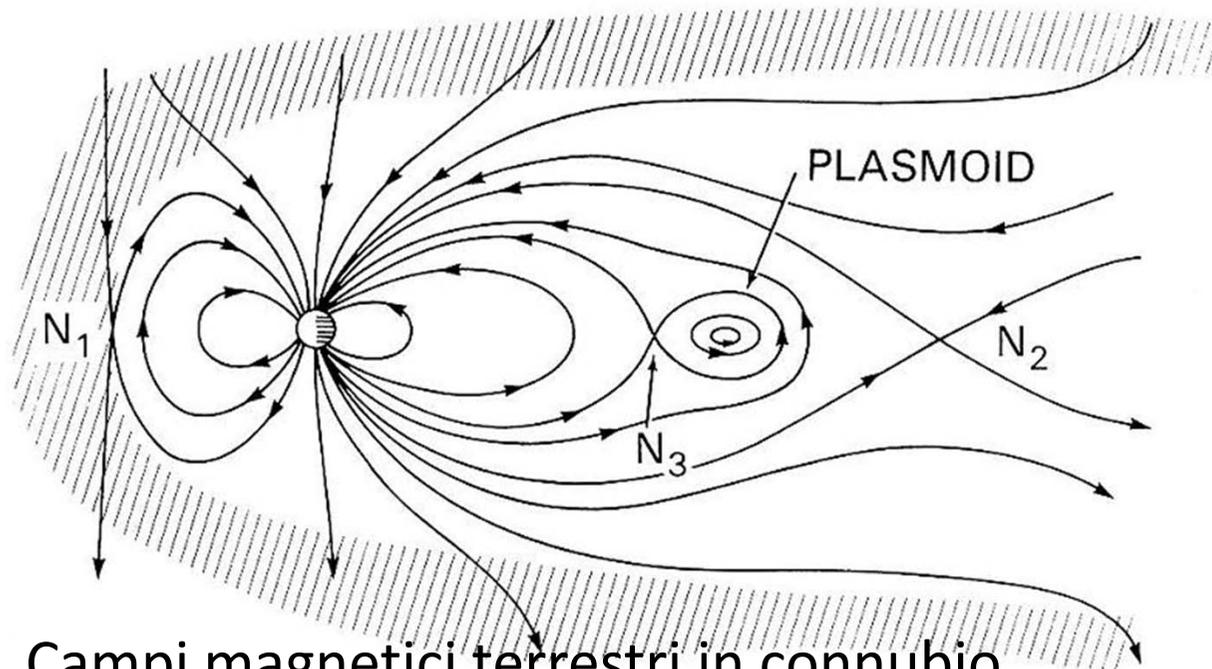
- **Meteorologia spaziale** è la descrizione dei cambiamenti nel plasma ambientale, campi magnetici, radiazione e materia nello spazio.
- Gran parte del meteo spaziale è guidata dalla energia trasportata attraverso lo spazio interplanetario dal vento solare dalle regioni vicino alla superficie del Sole e l'atmosfera del Sole
- Disturbo delle attività umane

Interazione Terra-Sole

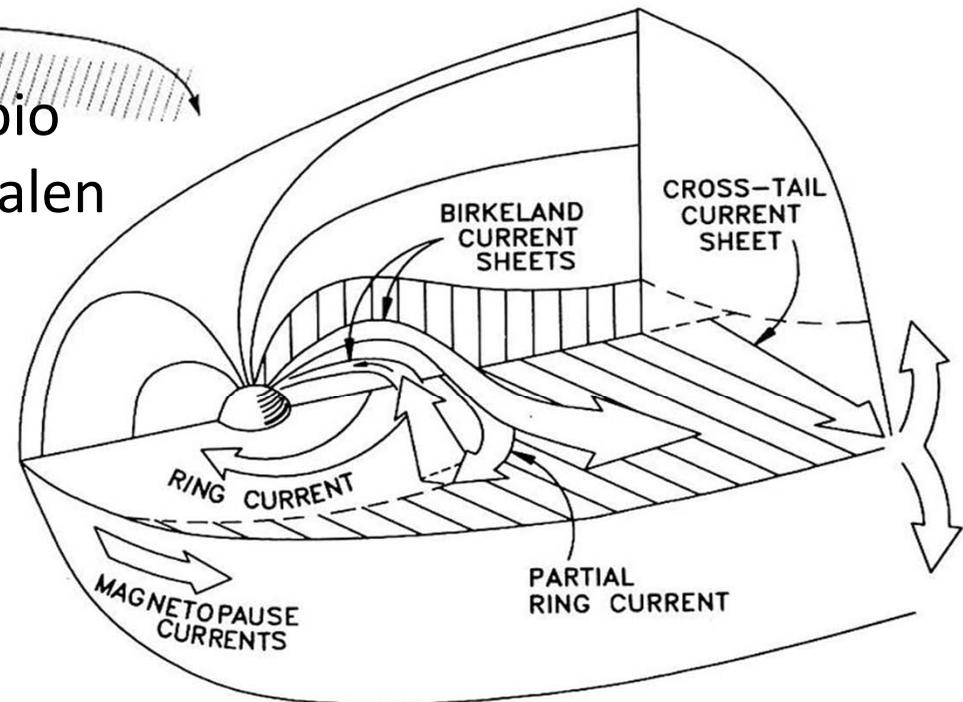
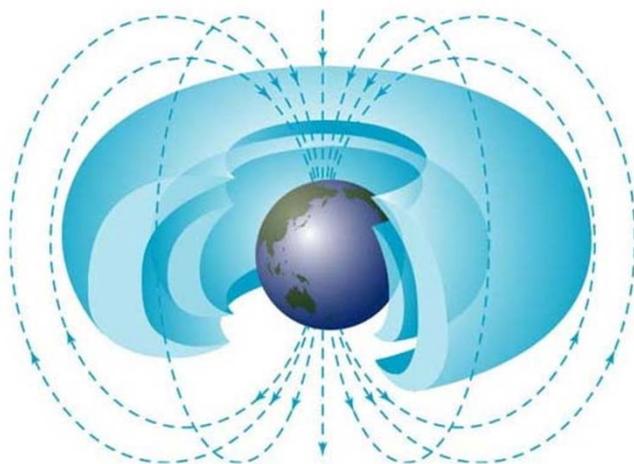
l'interazione tra il campo magnetico terrestre e il campo magnetico interplanetario. La magnetosfera viene compressa durante il giorno a causa della forza delle particelle in arrivo, ed esteso sul lato notte.

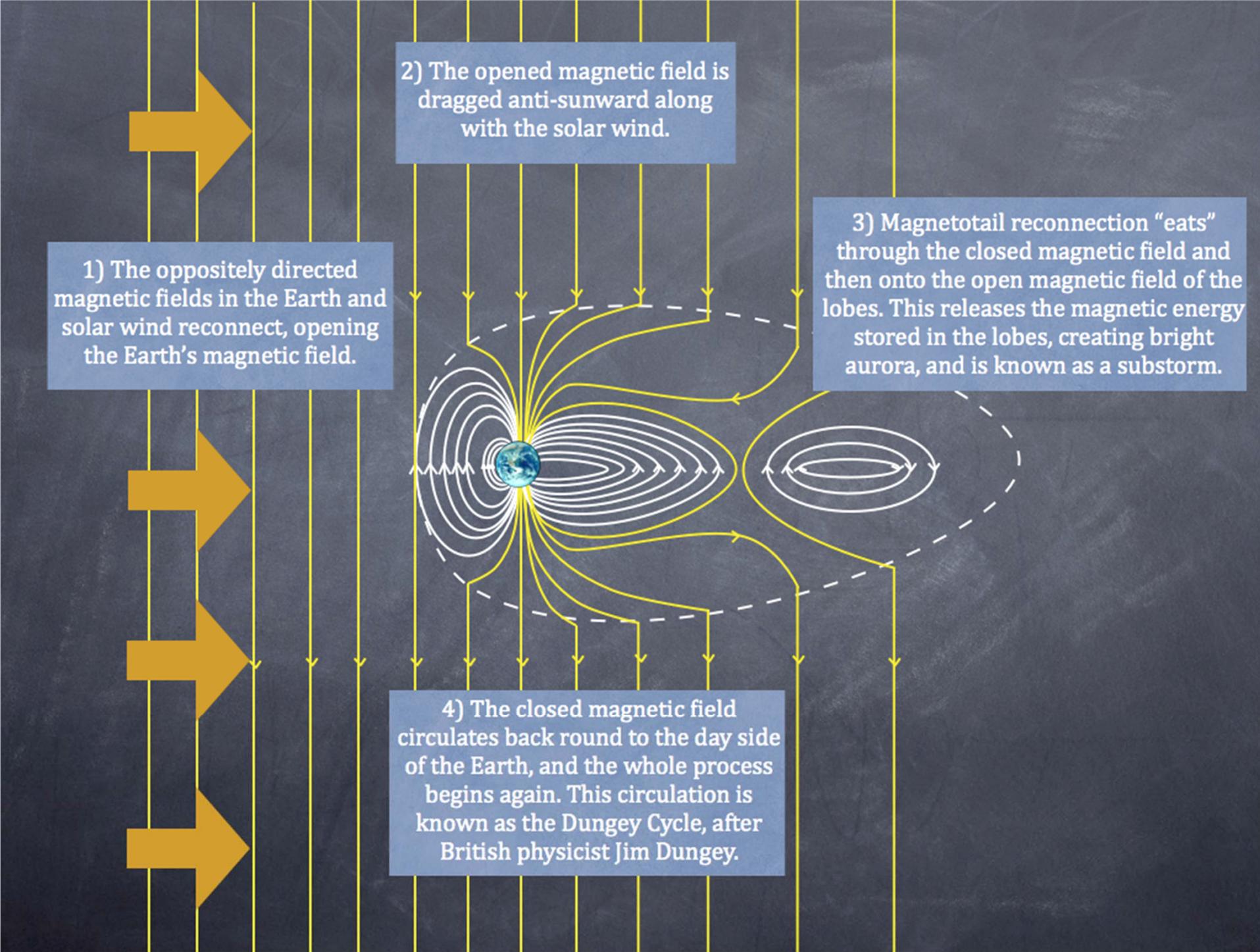


Cosa ci circonda?



Campi magnetici terrestri in connubio con l'attività Solare e fasce di Van Halen





The diagram illustrates the Dungey Cycle on a dark grey background. On the left, four large orange arrows point right, representing the solar wind. Vertical yellow lines with downward-pointing arrows represent the solar wind's flow. A central Earth globe shows its magnetic field lines. White lines represent closed field lines on the day side, and yellow lines represent open field lines on the night side. A dashed white oval encloses the magnetosphere. Text boxes explain the four steps of the cycle.

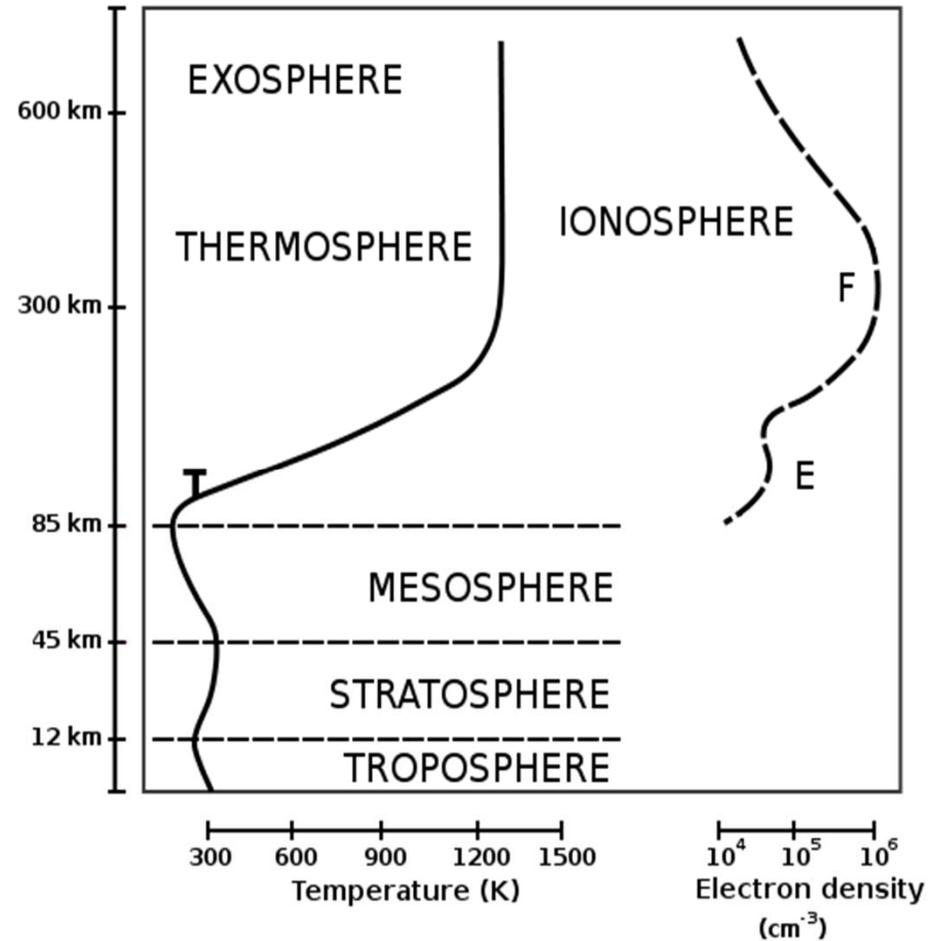
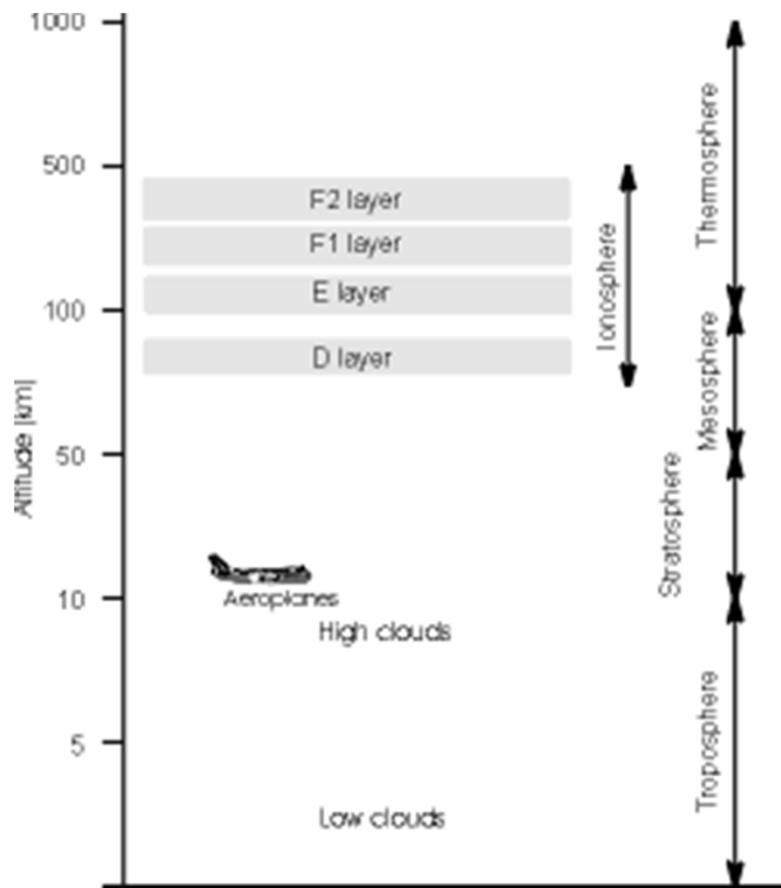
1) The oppositely directed magnetic fields in the Earth and solar wind reconnect, opening the Earth's magnetic field.

2) The opened magnetic field is dragged anti-sunward along with the solar wind.

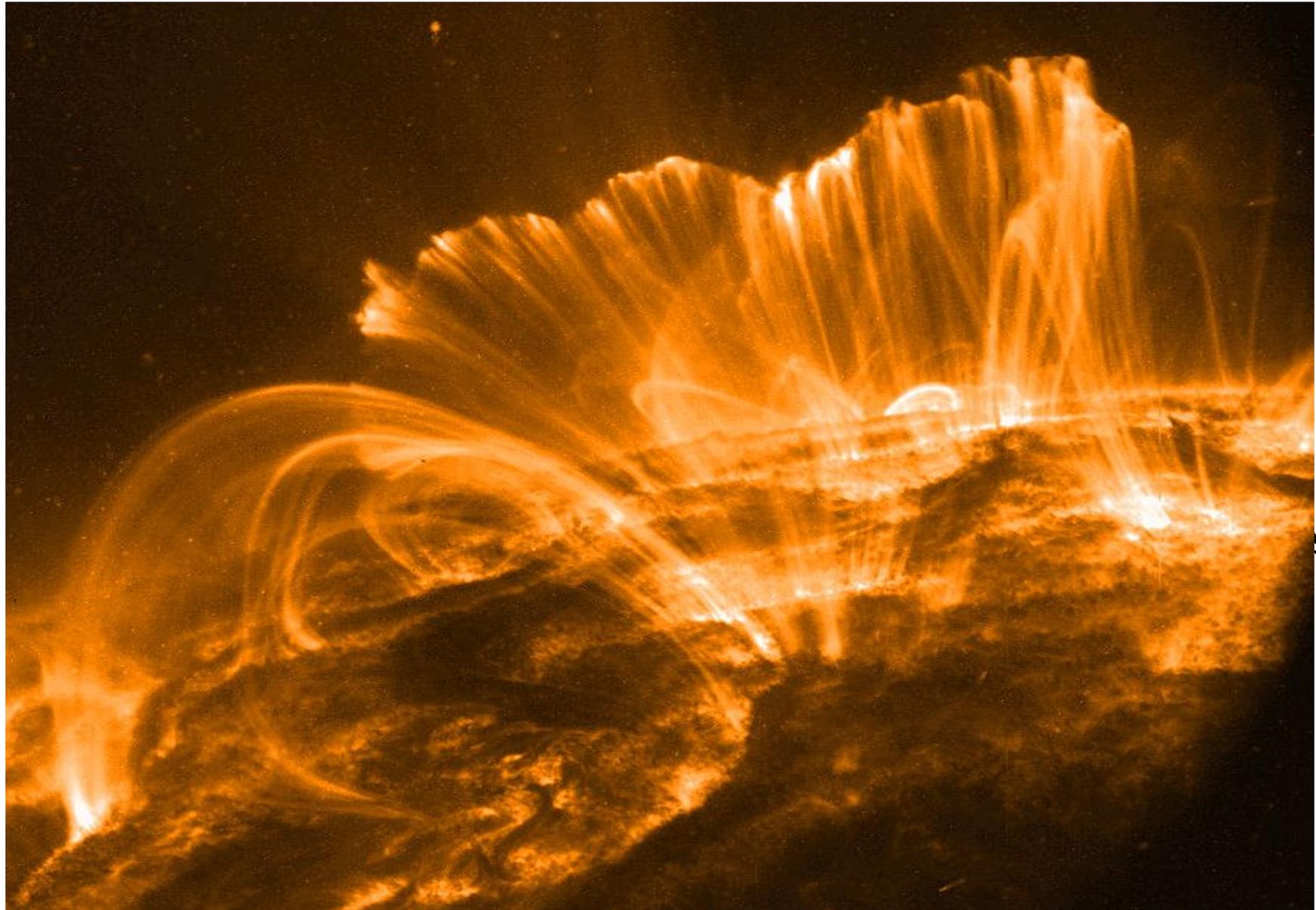
3) Magnetotail reconnection "eats" through the closed magnetic field and then onto the open magnetic field of the lobes. This releases the magnetic energy stored in the lobes, creating bright aurora, and is known as a substorm.

4) The closed magnetic field circulates back round to the day side of the Earth, and the whole process begins again. This circulation is known as the Dungey Cycle, after British physicist Jim Dungey.

Struttura della zona vicina questo quando il Sole è calmo

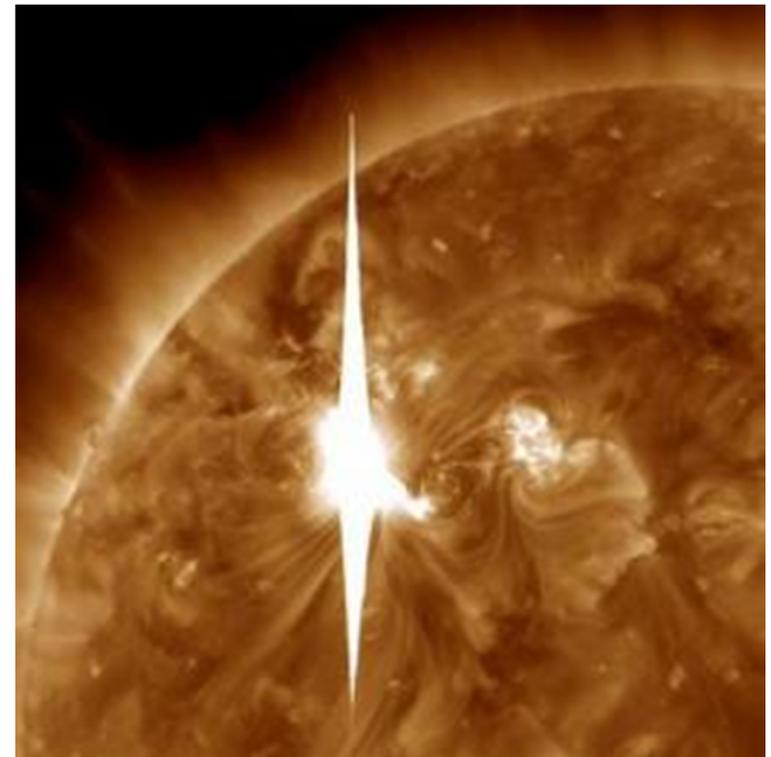


Effetti delle **tempeste** solari



Tempeste solari 2

- Il vento solare rilascia intense particelle ad alta energia che possono generare delle radiazioni **dannose** per gli esseri umani, con effetti simili alle radiazioni nucleari a bassa energia. **L'atmosfera e la magnetosfera terrestri forniscono una adeguata protezione a livello del suolo**, ma gli astronauti nello spazio sono soggetti a dosi potenzialmente letali di radiazioni ionizzanti.
- **Effetto frusta magnetica**
- La penetrazione di particelle ad alta energia; nelle cellule può causare il danneggiamento cromosomico, il cancro ed altri problemi di salute.
- Alte dosi potrebbero essere fatali.

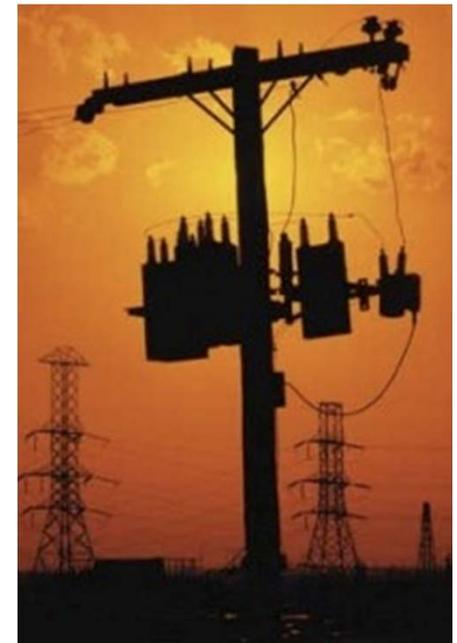
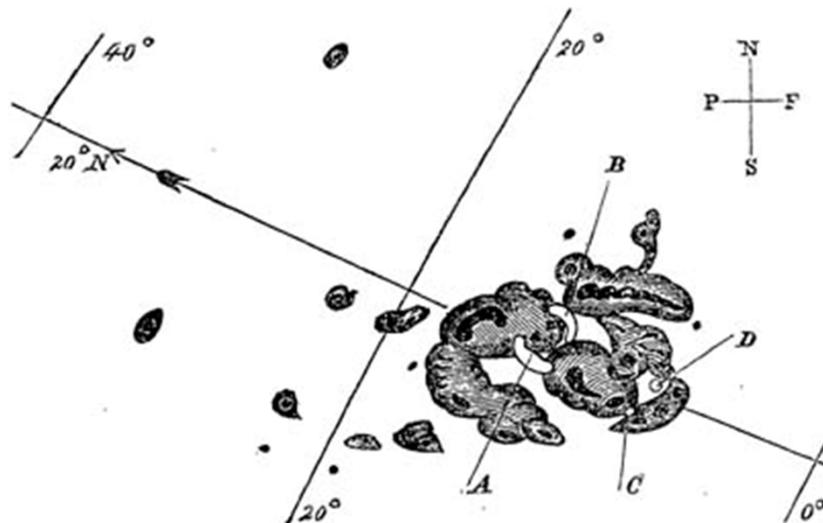
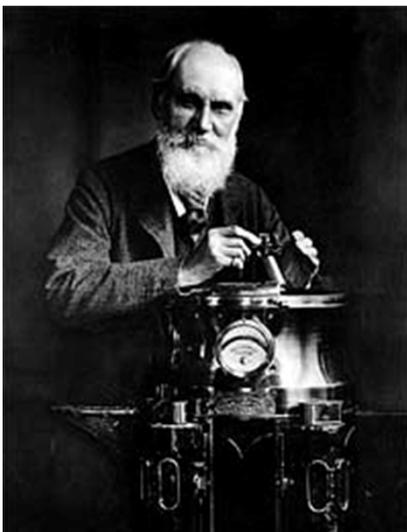


Effetti sul nostro quotidiano:

- **Cambiamenti** dell'orbita di veicoli spaziali
- Disturbi delle comunicazioni satellitari
- **Interruzione** di segnali GPS e altri veicoli spaziali 1575,42 MHz (L1) e 1227,6 MHz (L2) che può essere distorta da una ionosfera disturbata e un ricevitore GPS calcola una posizione errata o non riesce a calcolare la corretta posizione.
- **Disturbi di propagazione in lunga distanza dei segnali radio. Blocco di trasmissioni per plasma**
Echi radio anomali in HF



- Effetti delle radiazioni sugli esseri umani e vicino al livello del suolo
- **Raro: correnti indotte al suolo:** i cavi fanno da antenna, trasmissione elettrica, gasdotti, etc. (effetto Carrington)
- Effetto del clima spaziale sul clima terrestre
- Osservazioni di meteorologia spaziale (aurore) da terra e dai satelliti meteo
- Seguono esempi di eventi straordinari



EVENTI STRAORDINARI

- **2 settembre 1859**, documentato da Carrington, la più grande tempesta geomagnetica degli ultimi 200 anni con danni estesi al servizio telegrafico.
- **15-16 maggio 1921**, una delle più grandi tempeste geomagnetiche ha messo fuori servizio il sistema di commutazione della New York Central Railroad e una interruzione del servizio telegrafico in tutto il mondo.
- **7 Agosto 1972**, grande emissione solare di particelle energetiche. Se ci fossero stati astronauti nello spazio, la dose sarebbe stata mortale, o almeno sufficientemente forte da metterli in pericolo di vita.
- **20 gennaio 1994**, una tempesta geomagnetica ha temporaneamente disabilitato due satelliti per le comunicazioni canadesi Aniks E1 ed E2 e la comunicazione via satellite internazionale Intelsat K.
- **7 gennaio 1997**, una espulsione di massa coronale ha colpito la magnetosfera della Terra il 10 gennaio ed ha causato la perdita del satellite AT&T Telstar 401 per telecomunicazioni (200 milioni di dollari di perdita) ora rottame spaziale.
- **21 aprile 2002**, la sonda Mars Nozomi è stata colpita da un grande flusso di particelle energetiche Solari che ha contribuito al fallimento della missione, sonda abbandonata nel dicembre 2003.

La nuova frontiera. Spunti per una discussione

$p \times$

$$p \cdot \Psi_1 = p \cdot \Psi_2 = 0;$$

$$p \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad p \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$p \cdot \Psi_1 = p \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$\Psi_1^* = \Psi_1, \quad \Psi_2^* = \Psi_2;$$

$$p \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad p \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$p \cdot \Psi_1 = p \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$i \frac{\partial}{\partial t} \Psi(t, \mathbf{x}) = \hat{\alpha} \cdot \mathbf{p} \Psi(t, \mathbf{x}),$$

$$\left(i \frac{\partial}{\partial t} - \hat{\alpha} \cdot \mathbf{p} \right) S_{\mu\nu} S^{\mu\nu} \Psi(t, \mathbf{x}) = 0,$$

Equazioni di Maxwell con i vettori

Ψ_1 and Ψ_2

$$p \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad p \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$p \cdot \Psi_1 = p \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$p \times \Psi_1 = i \epsilon p \Psi_1, \quad p \times \Psi_2 = i \epsilon p \Psi_2;$$

$$p \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad p \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$p \cdot \Psi_1 = p \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$p \times \Psi_1 = i \epsilon p \Psi_1, \quad p \times \Psi_2 = i \epsilon p \Psi_2,$$

$$\Psi_1^* = \Psi_1, \quad \Psi_2^* = \Psi_2;$$

$$p \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad p \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$p \cdot \Psi_1 = p \cdot \Psi_2 = 0, \quad \Psi_1 = i \epsilon \Psi_2;$$

$$p \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad p \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$p \cdot \Psi_1 = p \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$p \times \Psi_1 = \epsilon p \Psi_2, \quad p \times \Psi_2 = -\epsilon p \Psi_1;$$

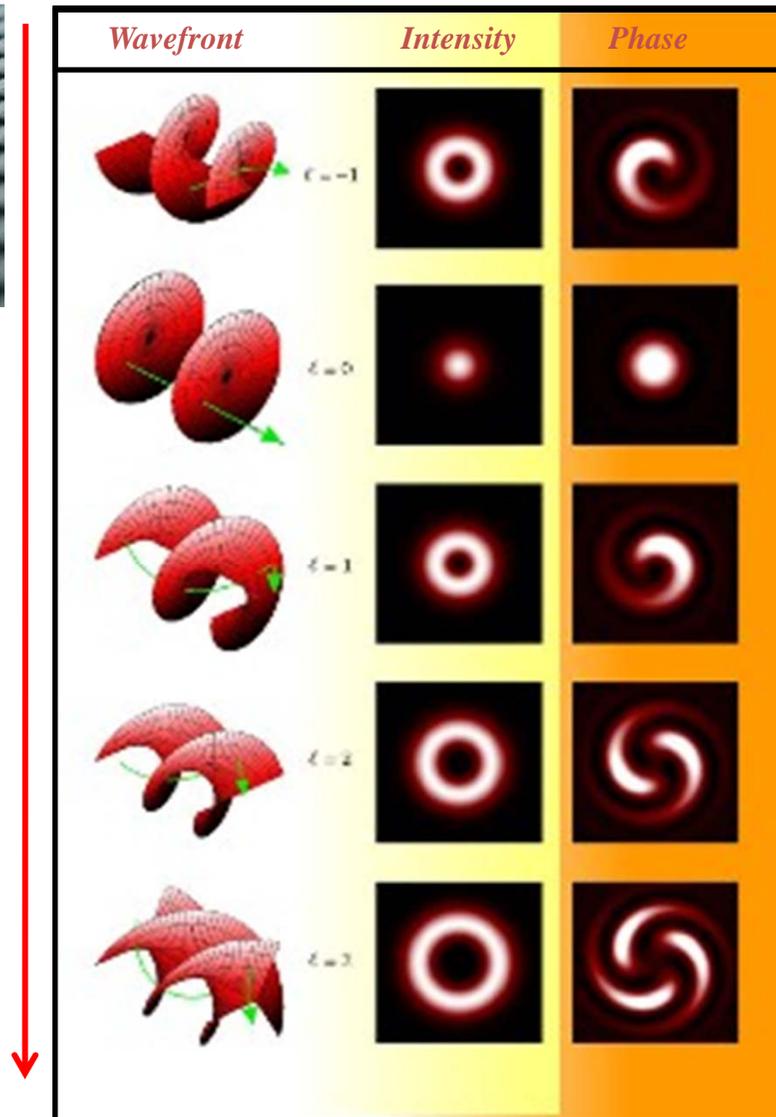
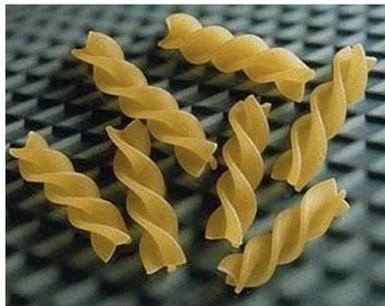
$$p \times \Psi_1 = i \frac{\partial \Psi_2}{\partial t}, \quad p \times \Psi_2 = -i \frac{\partial \Psi_1}{\partial t},$$

$$p \cdot \Psi_1 = p \cdot \Psi_2 = 0,$$

$$\Psi_1 + i \epsilon \Psi_2 = 0, \quad p \times \Psi_1 = -i \epsilon \epsilon' p \Psi_1,$$

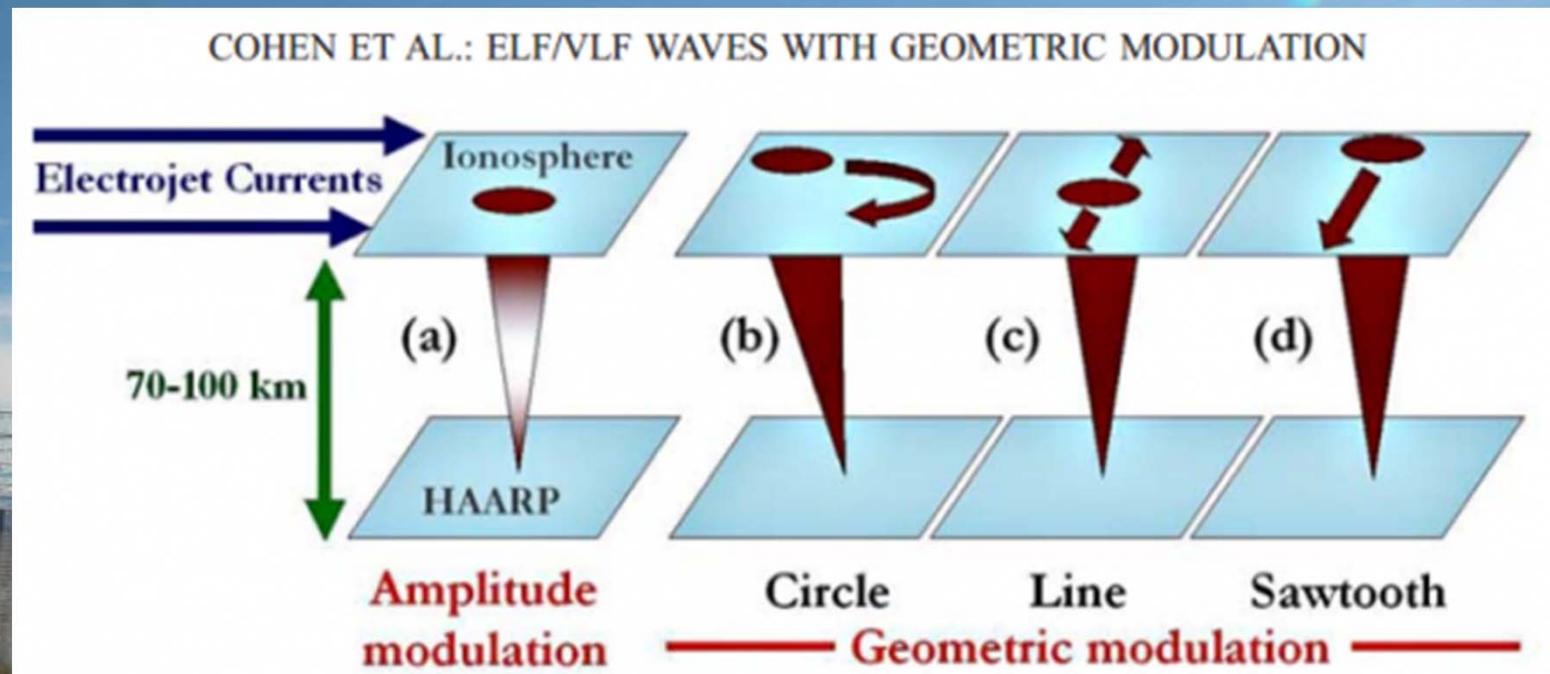
where $p = (p_1^2 + p_2^2 + p_3^2)^{1/2}$, $\epsilon, \epsilon' = 1$.

Momento angolare orbitale elettromagnetico

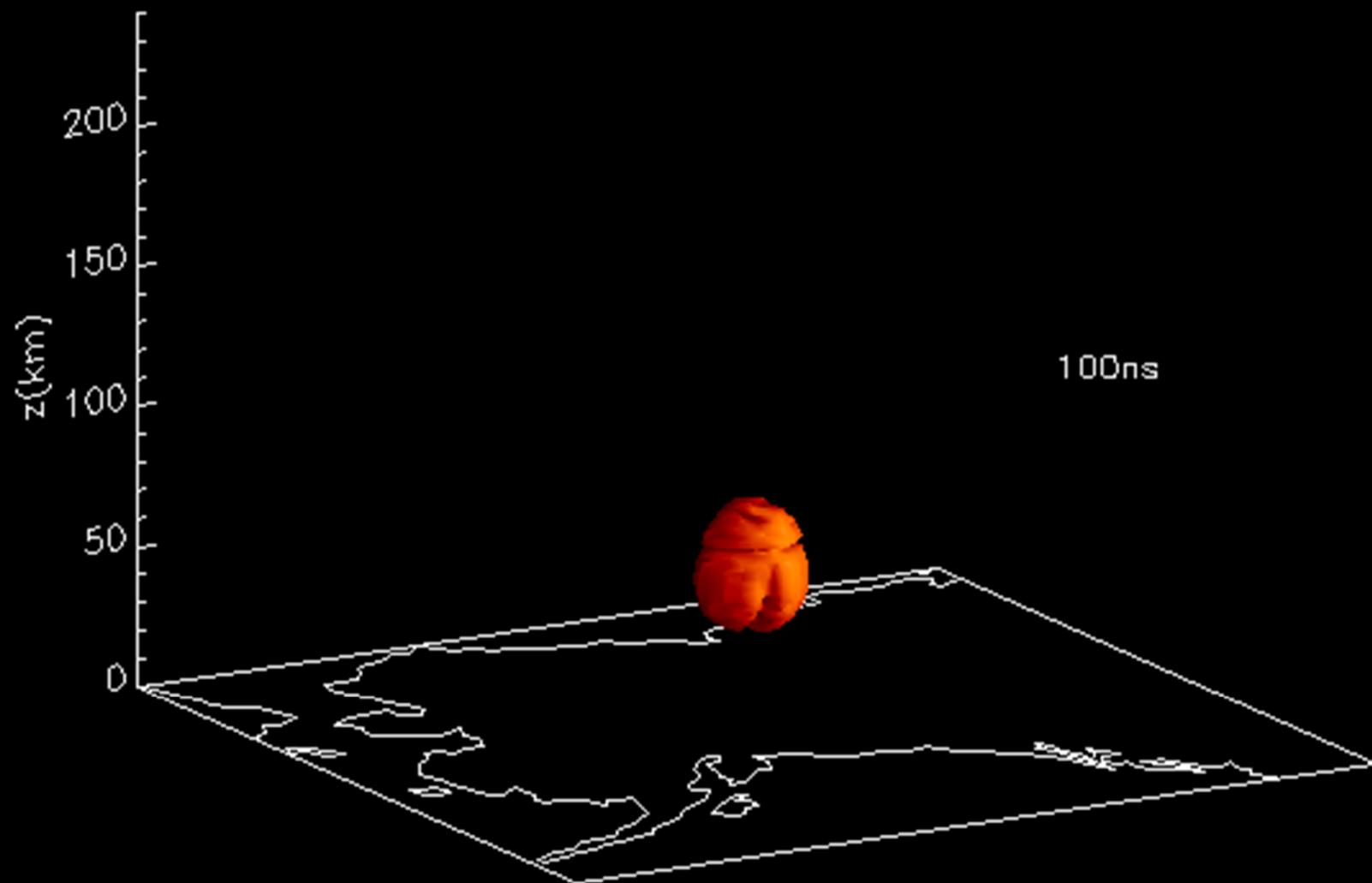


l = carica topologica, dà il grado di vorticità. Una singolarità di fase detta vortice ottico si trova all'interno del fronte d'onda, lungo l'asse di propagazione. La fase del fronte d'onda ha una forma elicoidale composta da un numero l di lobi disposti intorno all'asse di propagazione come un fusillo di luce. $l = 0$ rappresenta un fascio di luce gaussiana con nessuna carica topologica.

HAARP – High Frequency Active Auroral Research Program: vortici aurorali



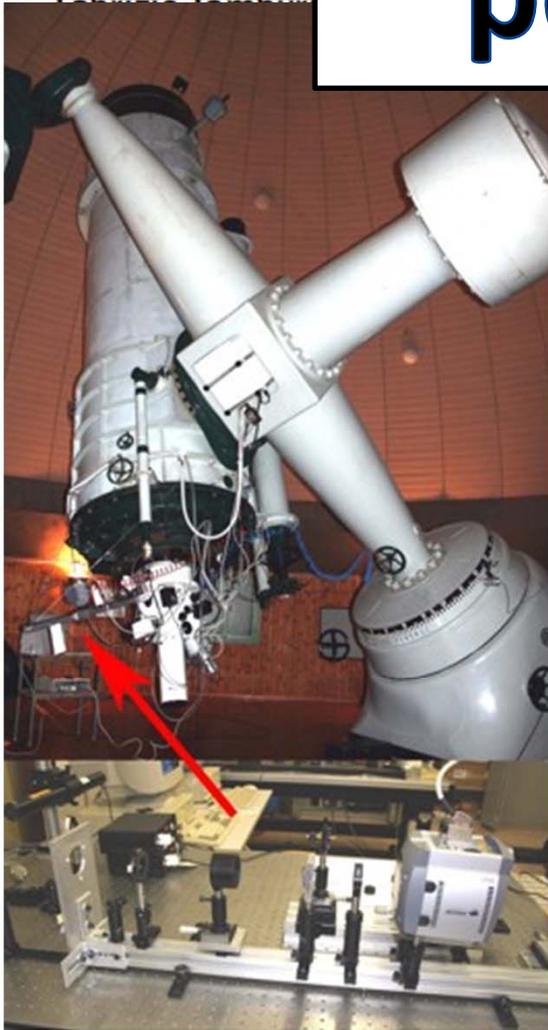
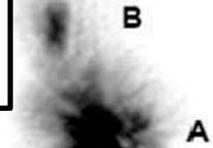
HAARP; $\text{abs}(EZ)$, $f=1\text{kHz}$,



Una Nuova frontiera per l'astronomia

Twisting

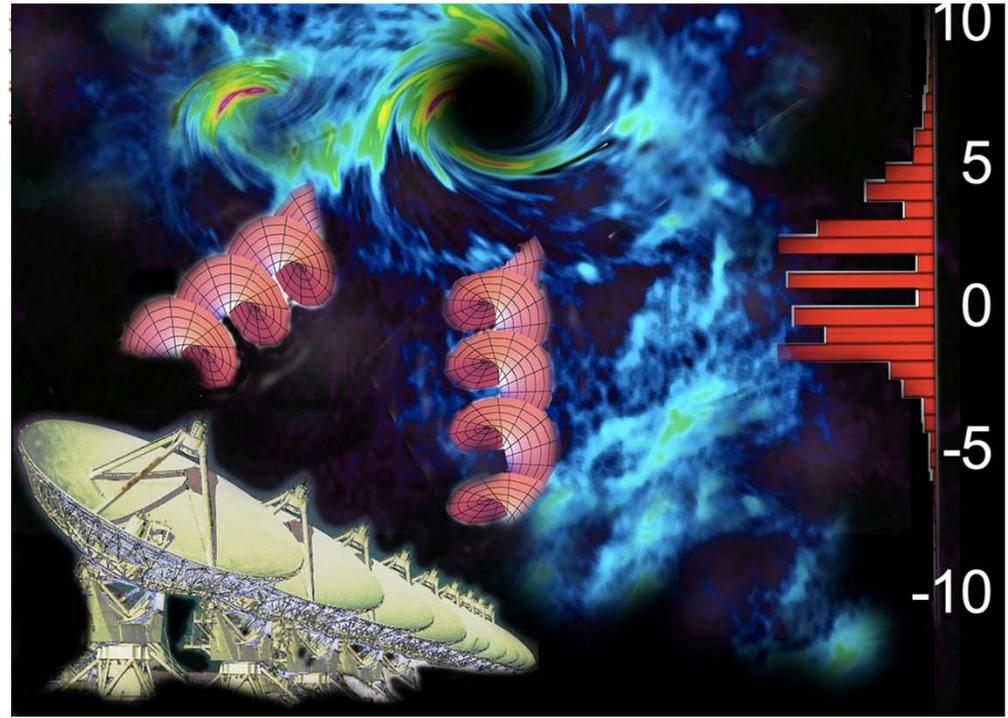
diffraction order



...ogram and on-axis imaging, and measured by creating focal plane images. These images were then compared with the predictions of theoretical optics. The experiments completed by the authors demonstrated the feasibility of POAM measurements with an astronomical telescope. They showed that instrumental effects can be predicted and seeing effects can be eliminated sufficiently to ensure that POAM measurements are possible even in poor atmospheric conditions. By presenting these results, this paper provides important information for potential, future observations of POAM in astronomical objects

asymptotic observer³, wavefront warping and angular momentum telescopes properly, it is this twisted light, demonstration of the n-rotating objects are inverse, our findings are direction of a vector is transported from one event because of gravitational

out the numerical simulations. T. wrote the manuscript. All



Radioonde e vortici

Hyper-Tuning:
Sintonizzare con
Vortici e
Frequenze

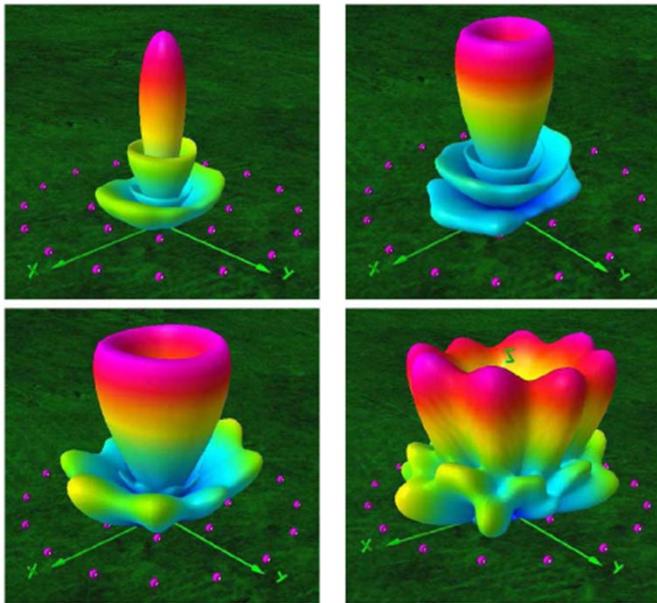
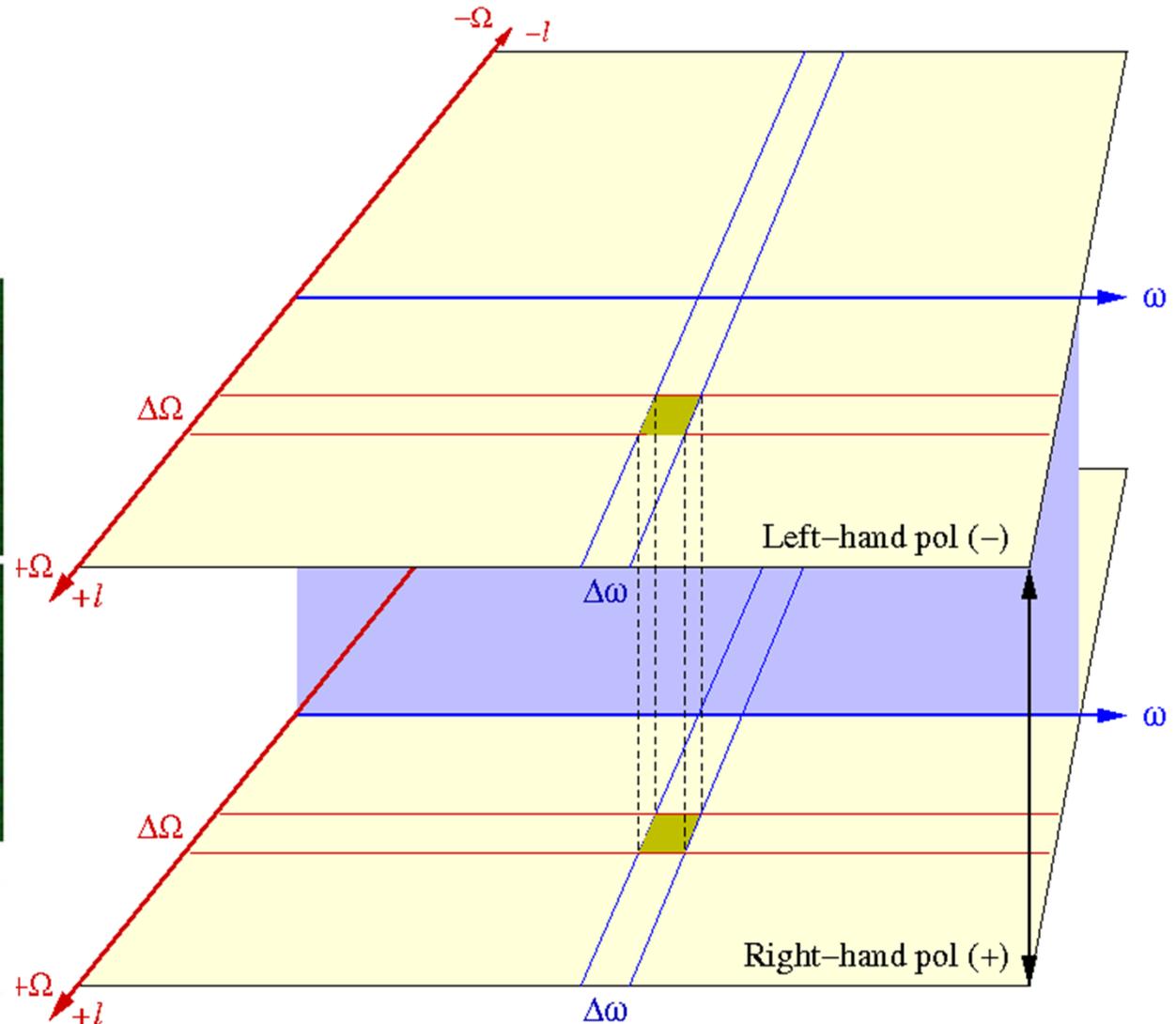
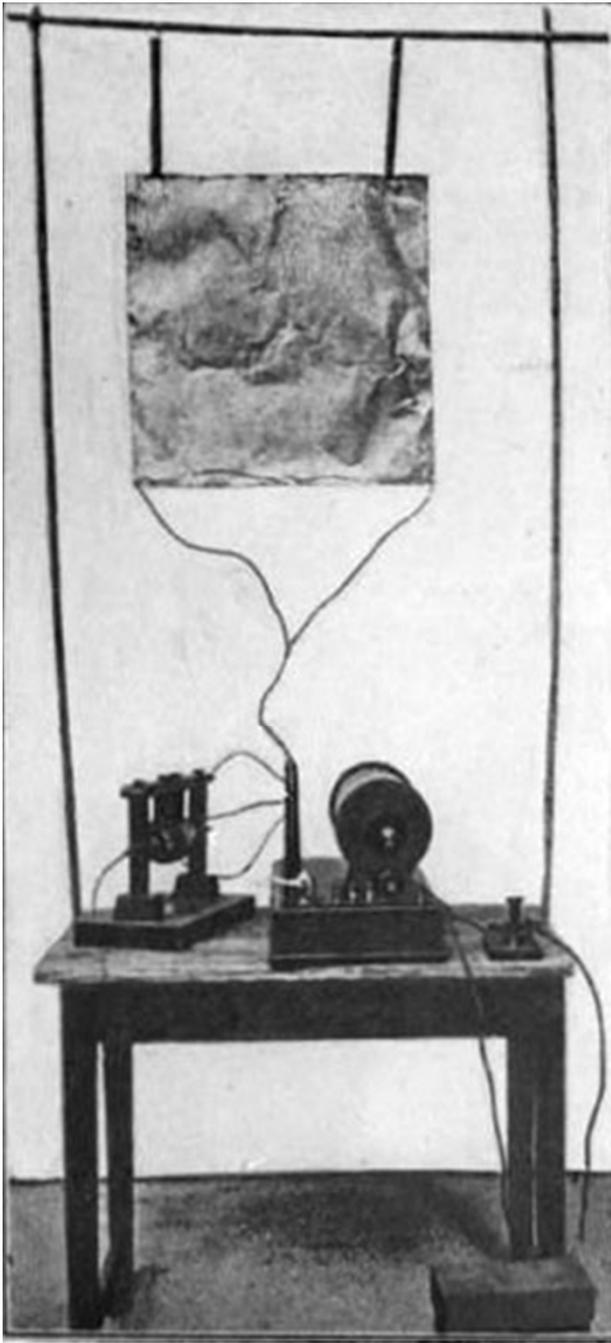
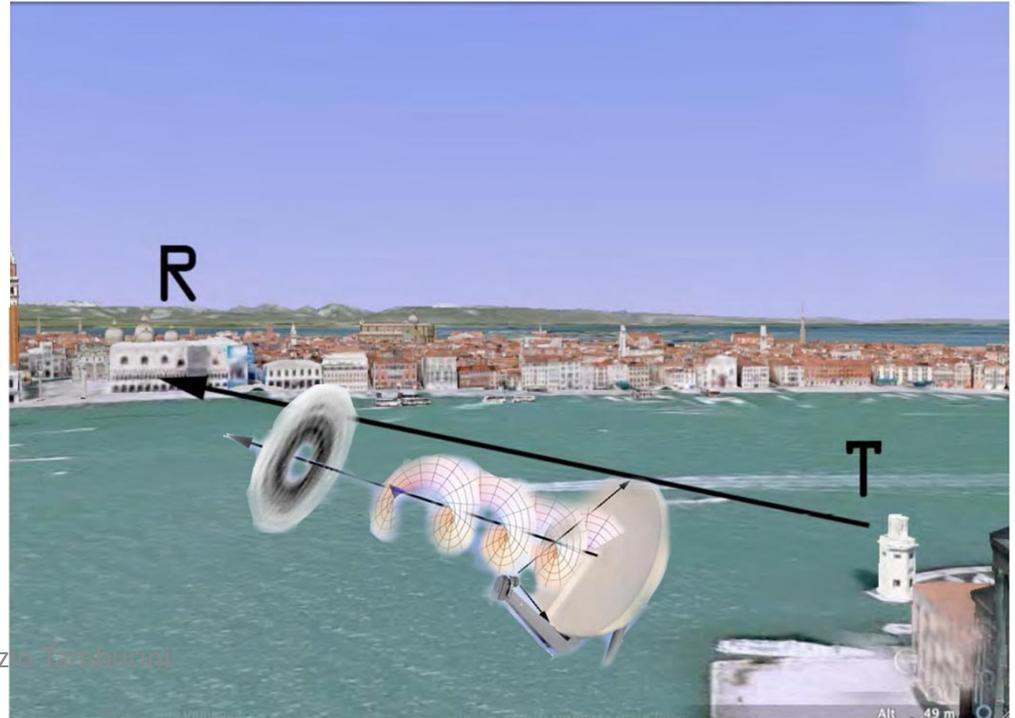


FIG. 1 (color online). Radiation patterns for radio beams generated by one circle of 8 antennas and radius λ plus a concentric circle with 16 antennas and radius 2λ ; all antennas are 0.25λ over the ground. Notice the influence of l on the radiation pattern. Here $l = 0$ (upper left), $l = 1$ (upper right), $l = 2$ (lower left), and $l = 4$ (lower right).





4. Primo apparecchio ideato da Marconi con antenna formata da una lastra di latta ricavata da un bidone da petrolio per lume.



Fabrizio Tamburini



Conclusioni

- Tempeste solari – effetti sulle telecomunicazioni: disturbi per propagazione a grande distanza
- Disturbi sui sistemi GPS
- Prevenzione: monitoraggio sistema Terra – Sole, sistemi schermati.
- Nuove frontiere per le telecomunicazioni e nuovi metodi diagnostici per la fisica dello spazio ed astronomia mediante vorticità elettromagnetica.