

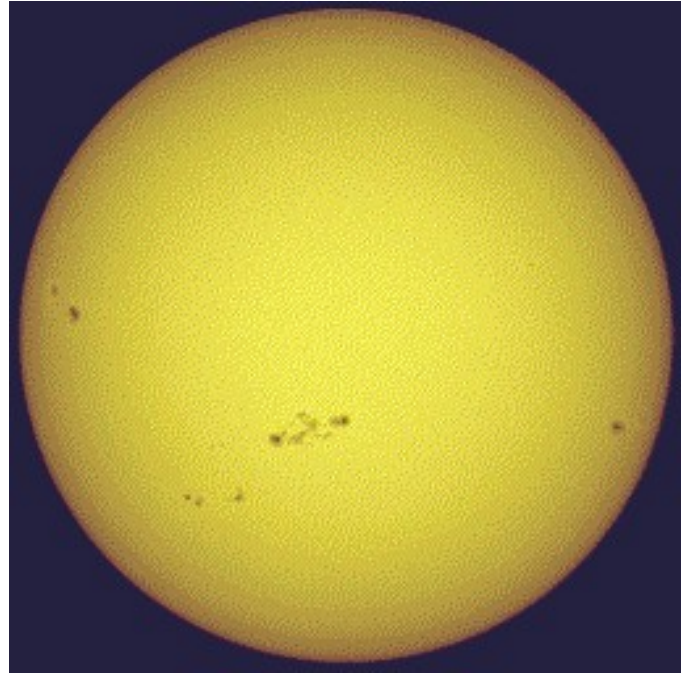
CAPITOLO 2

- Vento solare
- Campo magnetico solare
- Campo magnetico interplanetario

Il Sole

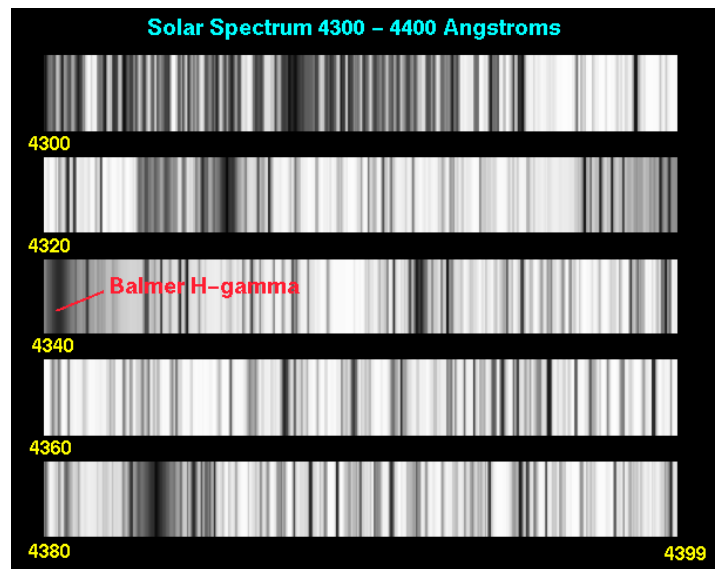
Proprietà fisiche:

- ◆ Massa = 1.989×10^{30} kg
- ◆ Raggio = 6.95×10^8 m
- ◆ Densità media = 1410 kg/m³
- ◆ Periodo di rotazione: 25 giorni all'equatore, 36 ai poli.
- ◆ Asse di rotazione inclinato di 7.25 gradi rispetto all'eclittica (piano orbitale terrestre)

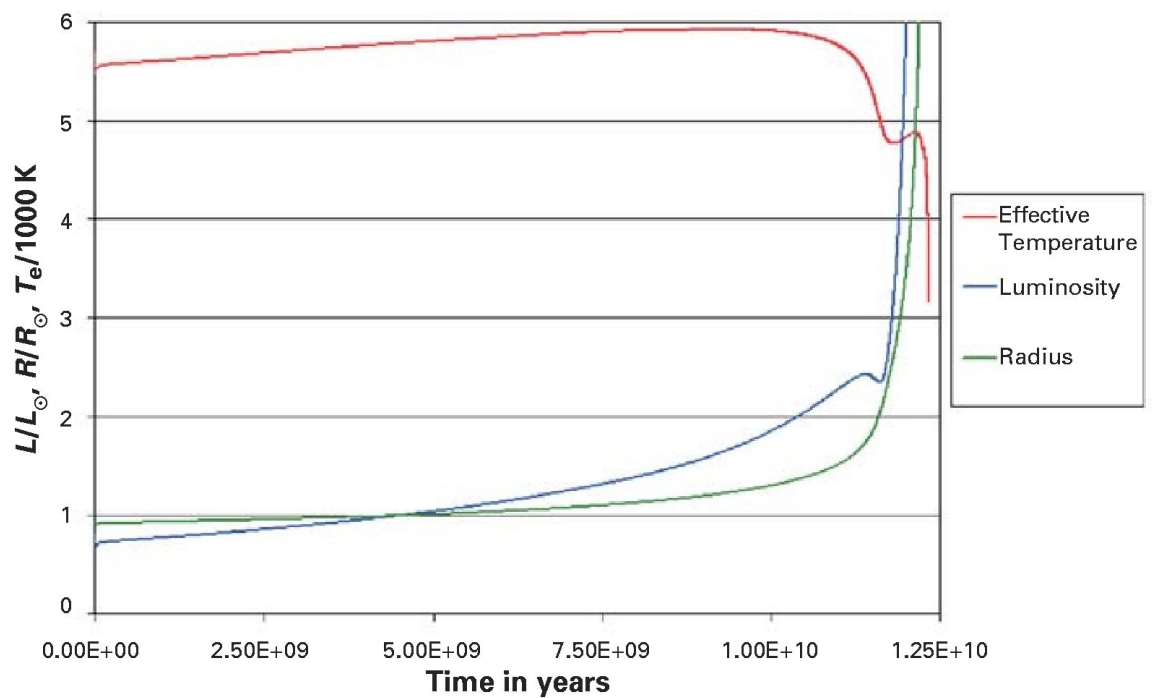


Composizione (derivata da spettro)

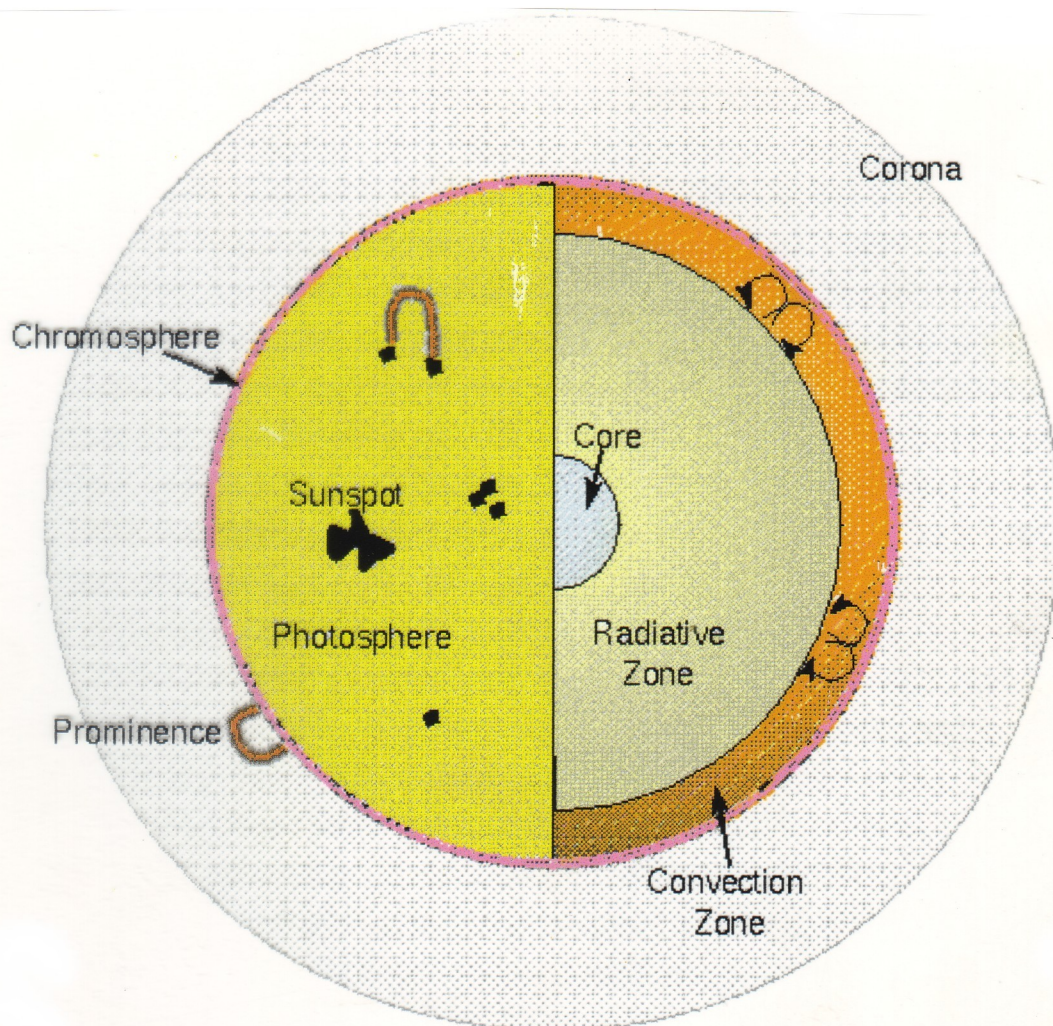
	% in massa	% in n. atomi
H	73.4%	92.0%
He	25.0%	7.8%
O	0.8%	0.06%
C	0.2%	0.02%
N	0.09%	0.008%
Si	0.09%	0.004%
Mg	0.06%	0.003%
Ne	0.16%	0.010%
Fe	0.14%	0.003%
S	0.05%	0.002%



Il Sole evolve nel tempo



abbassa la temperatura superficiale: la zona appare scura



Energy is generated in the **core** where the temperature reaches 16 million K and the density is 160 g/cm^3 and then transported outward by radiation. In the **convection zone** rising and falling gas is used to transfer the energy to the **photosphere** ("surface" of the Sun). **Sunspots** are cooler, dimmer regions with strong magnetic fields. Some sunspots have **prominences** forming over them. The **chromosphere** is a thin pink layer above the photosphere that is hotter than the photosphere. The temperature increases outward into the **corona**, the very hot (1–2 million K) but tenuous atmosphere of the sun. Fast moving ions in the corona escape the Sun to form the **solar wind**.

Figure 1:

Diametro = 1,392,000 km (109 diametri terrestri)

Mass = 333,000 Massa della Terra ($1.99 \times 10^{33} \text{ gr}$)

Composizione = 94% H_2 6% He 0.13% Elementi più pesanti

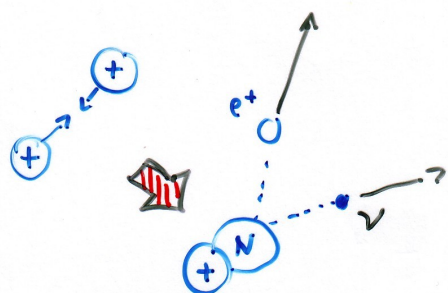
Temperatura Fotosfera = 5840 K

Temperatura Corona = 3.6 M K

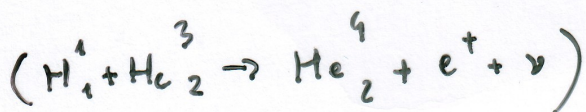
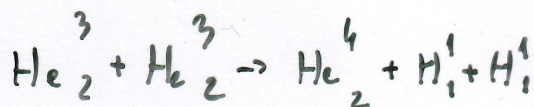
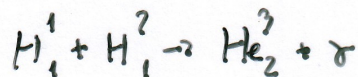
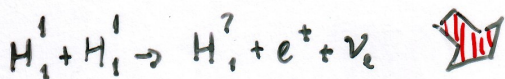
Periodo di rotazione = 25 giorni (Equatore) 26.5 (30 gradi) 30 (60 gradi)

2

Fonte di energia del sole: fusione di H in He



NEUTRINI SOLARI (pochi!)



25 MeV

CICLO PROTONI - PROTONI

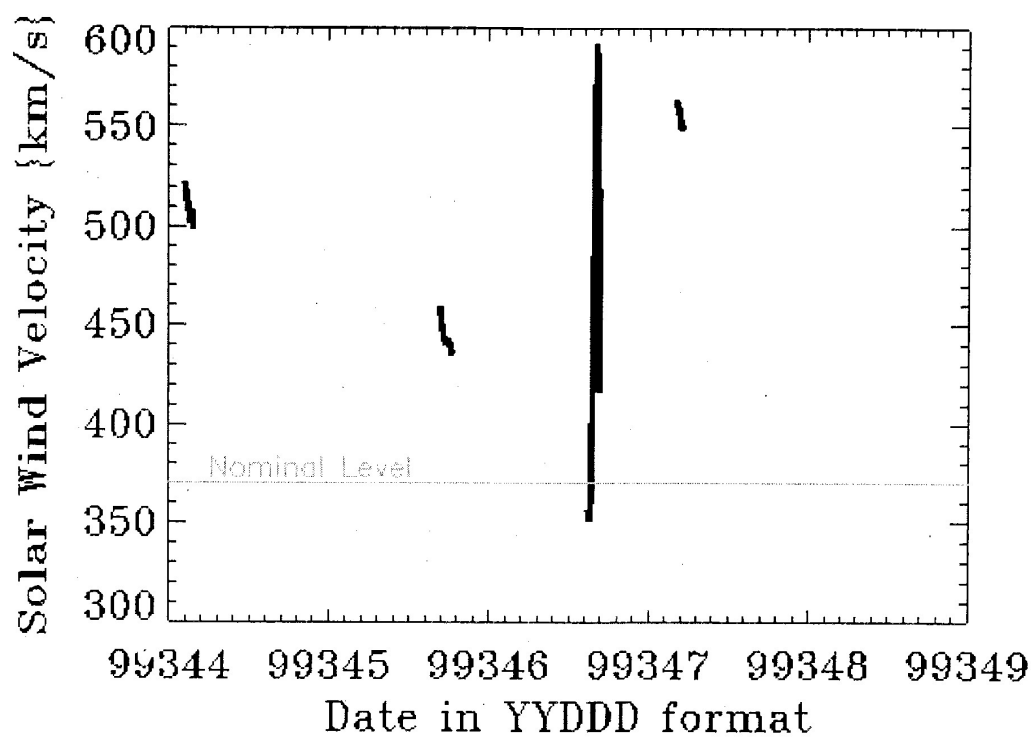
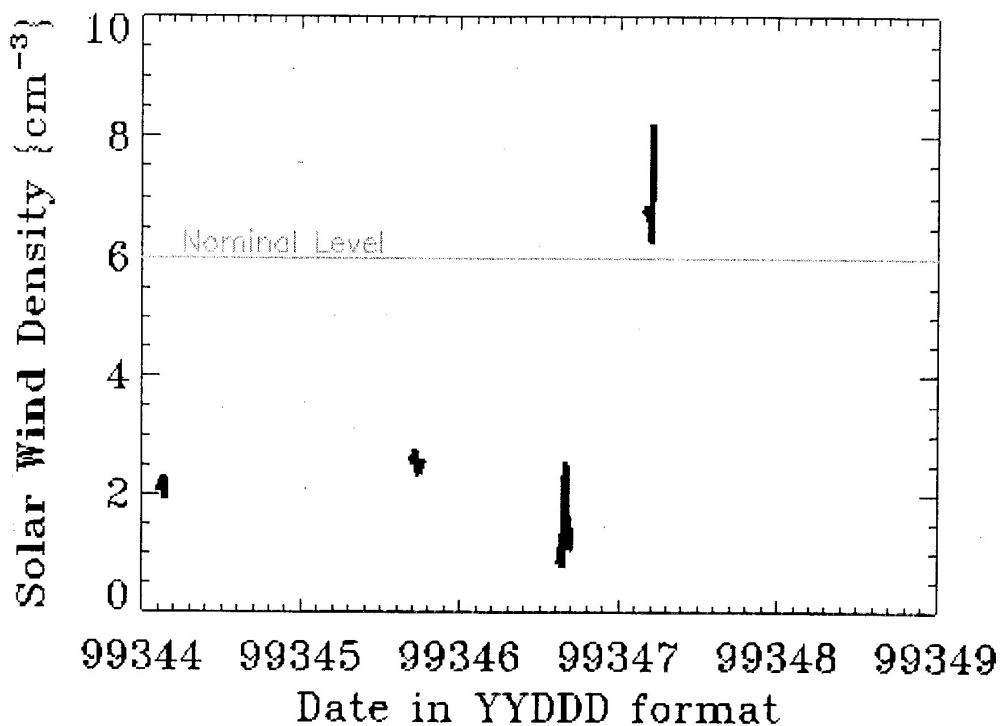
Leptoni

e^- ν_e^-
 μ^- ν_μ^-
 τ^- ν_τ^-

Quark

u d
 c s
 t b

3) *Solar Wind Ion Density*

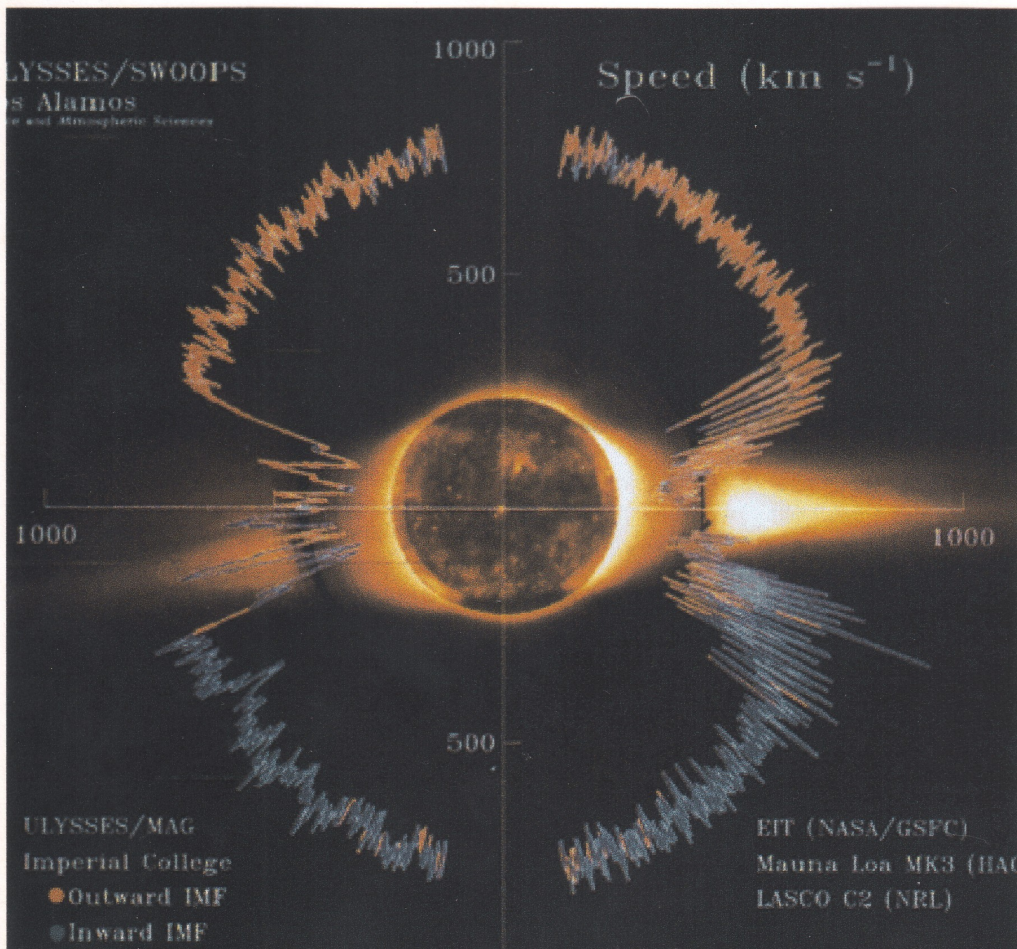


Vento solare:

- **Bipolare: veloce**
- **Equatoriale: lento**

Misure effettuate da sonde spaziali Soho, Ulysses...

ULYSSES : SOLAR MINIMUM (bassa attività)



5)

Inversione di polarità del campo magnetico solare: flip.

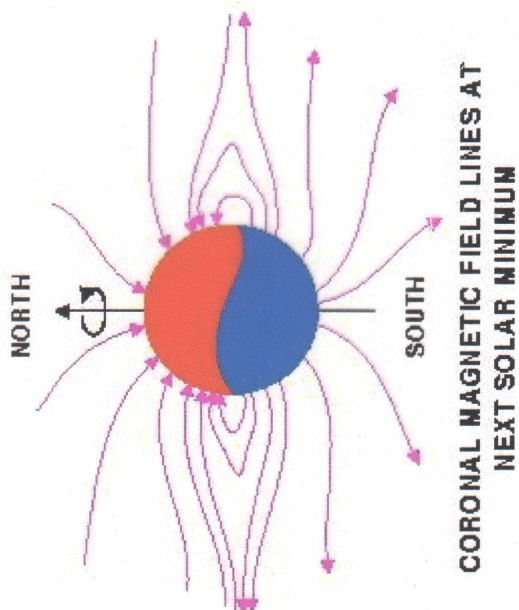
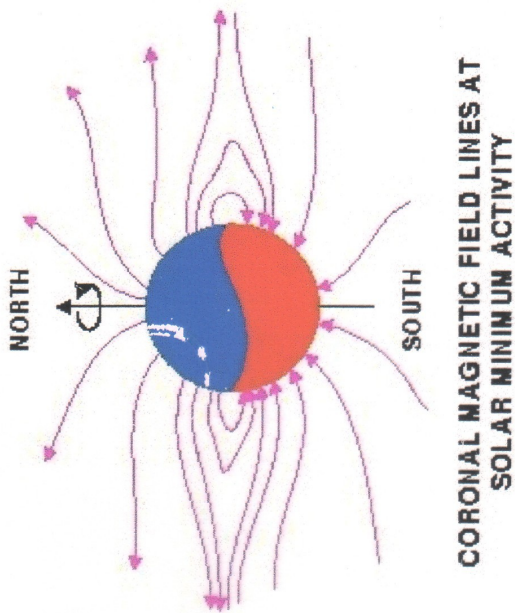
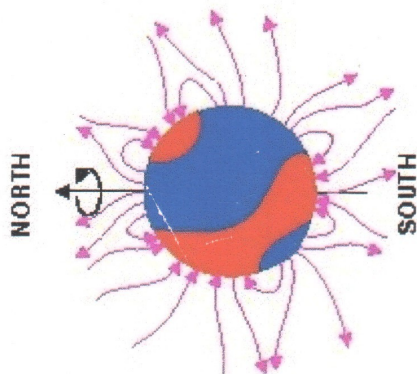


Figure 1:

- Spin-flip recente nel 2001.



CORONAL MAGNETIC FIELD LINES AT
SOLAR MAXIMUM ACTIVITY

6)

Aumento periodico delle macchie solari – attività solare $P = 11 \pm 1.5$ anni

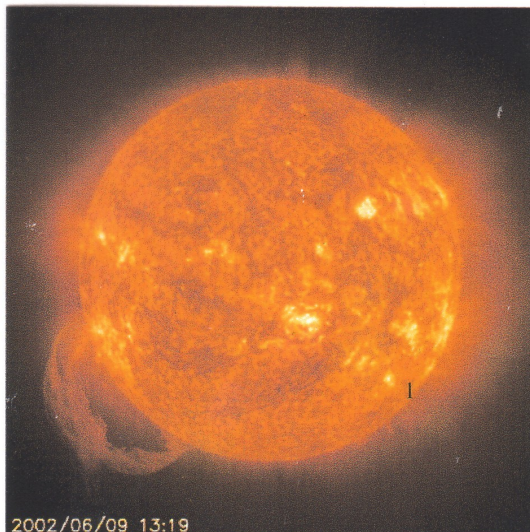
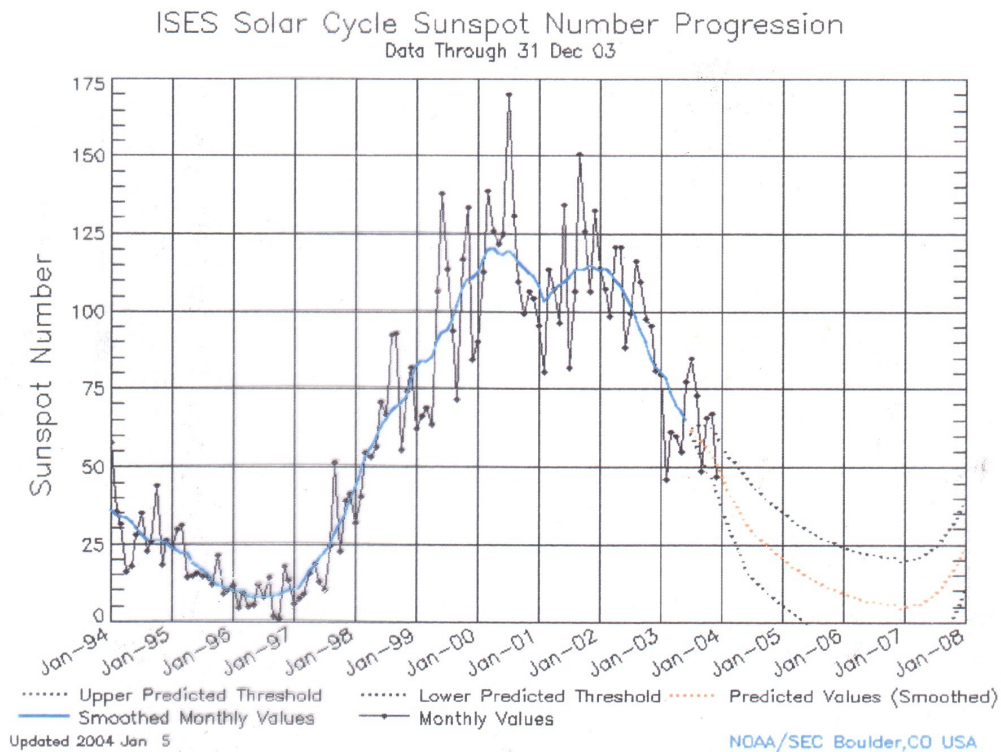
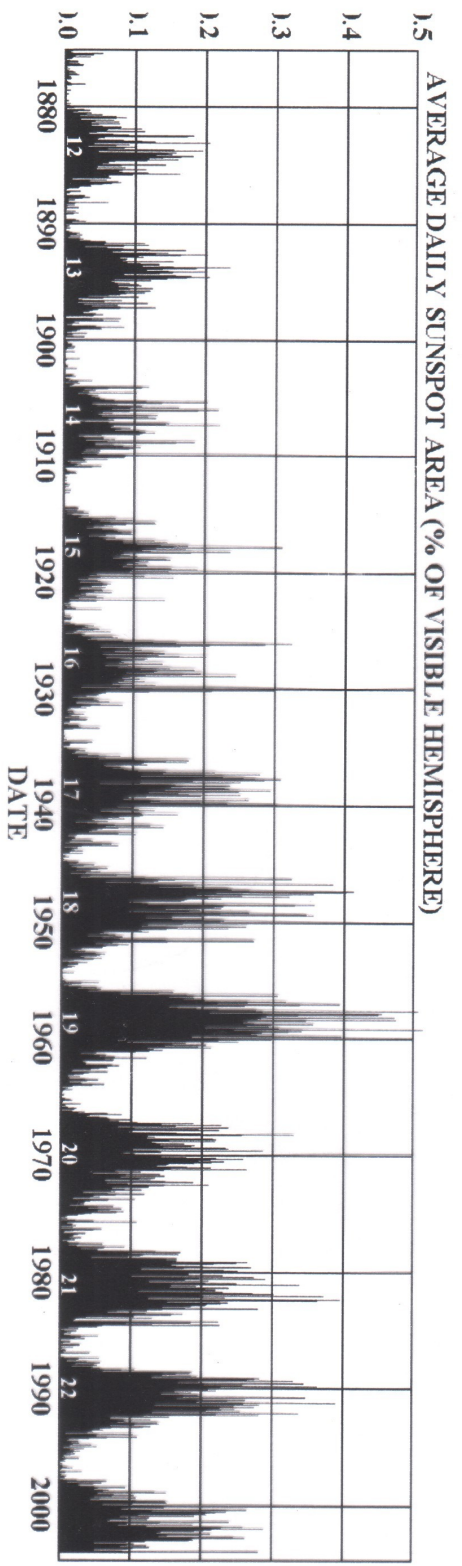
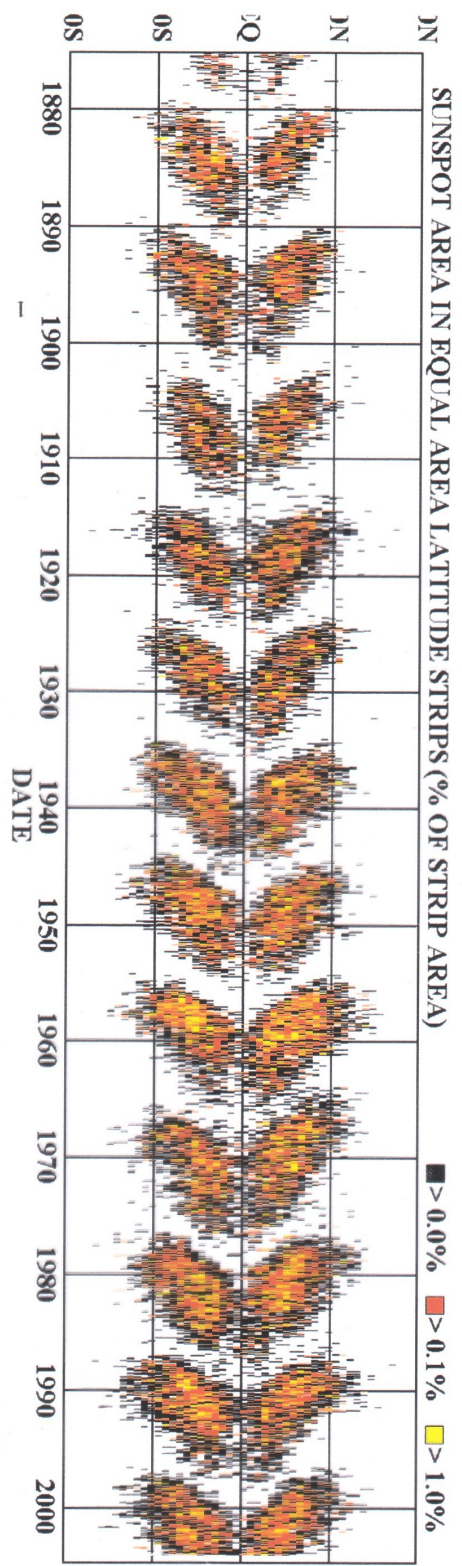


Figure 1:

**Flip del campo
magnetico
solare avviene
quando
l'attività solare
è al massimo**



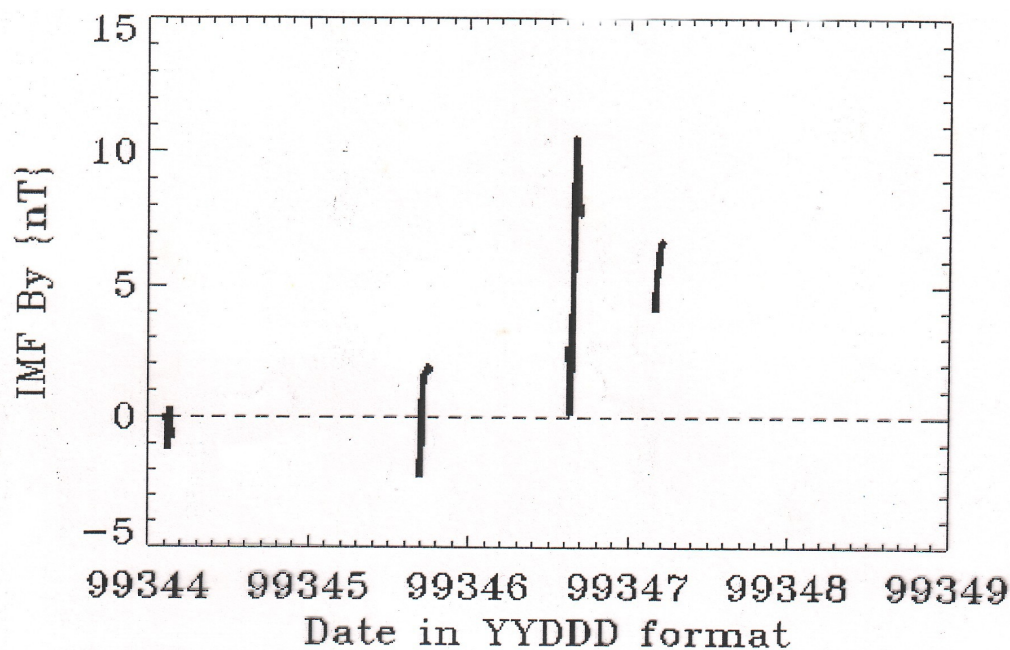
DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



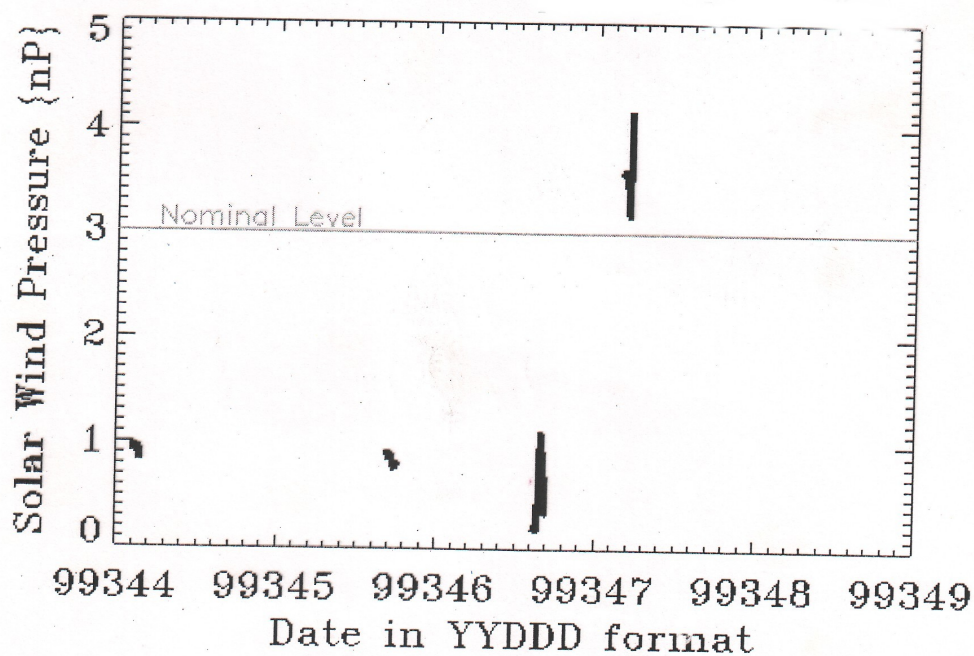
Periodicità dell'attività solare

8

CAMPO MAGNETICO INTERPLANETARIO



Solar Wind Ram Pressure



$$1 \text{ Pascal} = 10 \text{ ge. cm}^2/\text{s}^2$$

9- VENTO SOLARE & CAMPO MAGNETICO INTERPLANETARIO

VENTO SOLARE: $p^+, e^- \dots$

PARAMETRI MEDI: $\rho \approx 5-8 \frac{p^+}{\text{cm}^3}$
 $v \approx 300-500 \text{ km/s}$
 $T_e \approx 10^5 \text{ K}$ } a 1 AU

IL SOLE RUOTA $T_{\text{rot}} \approx 25.4 \text{ giorni}$ $\Omega \approx 2.86 \times 10^{-6} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

LE LINEE di CAMPO MAGNETICO SONO TRASPORTATE DALL'ESPANSIONE del VENTO SOLARE (MHD).

CALCOLO del CAMPO B e delle LINEE di CAMPO

• SISTEMA ROTANTE CON IL SOLE:

Celle di plasma partono dalla superficie del sole in modo radiale.

Le componenti della v nel sistema rotante sono:

$$u_r = u$$

$$u_\theta = 0$$

$$u_\phi = -\Omega r \sin\theta$$

L'espressione generale della velocità in coordinate polari è:

$$\vec{V} = \dot{r} \vec{e}_r + r \dot{\theta} \vec{e}_\theta + r \sin \theta \dot{\phi} \vec{e}_\phi \quad \text{allora}$$

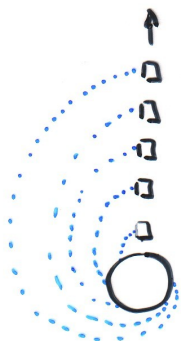
$$\frac{\dot{r}}{r \sin \theta \dot{\phi}} = \frac{\frac{dr}{dt}}{\frac{d\phi}{dt}} \frac{1}{r \sin \theta} = \frac{\frac{dr}{d\phi}}{r \sin \theta} = \frac{\mu r}{\mu \phi} =$$

$$= - \frac{\mu}{\Omega r \sin \theta} \quad \frac{dr}{d\phi} = - \frac{\mu}{\Omega}$$

con μ = velocità di espansione del vento solare.

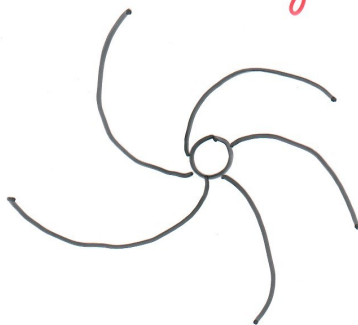
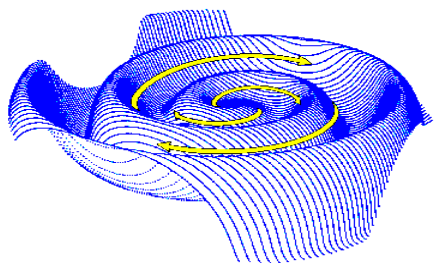
L'equazione della traiettoria della cella è:

$$r - r_0 = - \frac{\mu}{\Omega} (\phi - \phi_0)$$



La traiettoria della cella vista nel sistema rotante **COINCIDE** con la LINEA di CAMPO nel sistema inerziale:

La linea di campo rimane attaccata alla superficie del sole e segue la cella di plasma.



11. CALCOLO del CAMPO MAGNETICO

Equazioni da SODDISFARE:
$$\begin{cases} r - r_0 = -\frac{\mu}{\Omega} (\phi - \phi_0) \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \end{cases}$$

SOLUZIONE:
$$\begin{cases} B_r = B_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \\ B_\theta = 0 \\ B_\phi = -B_0 \frac{\Omega r_0}{\mu} \frac{r_0 \sin \theta}{r} \end{cases} \quad \text{I.M.F.}$$

• $\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 B_r) + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \phi} B_\phi + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} (B_\theta \sin \theta) = 0$

$\leftarrow = r_0^2 B_0$

$= 0$

- La curva $r - r_0 = -\frac{\mu}{\Omega} (\phi - \phi_0)$ può essere parametrizzata come:

$$\begin{aligned} r &= at + r_0 \\ \phi &= -\frac{\Omega}{\mu} at + \phi_0 \end{aligned}$$

Il vettore tangente $\vec{e}$:

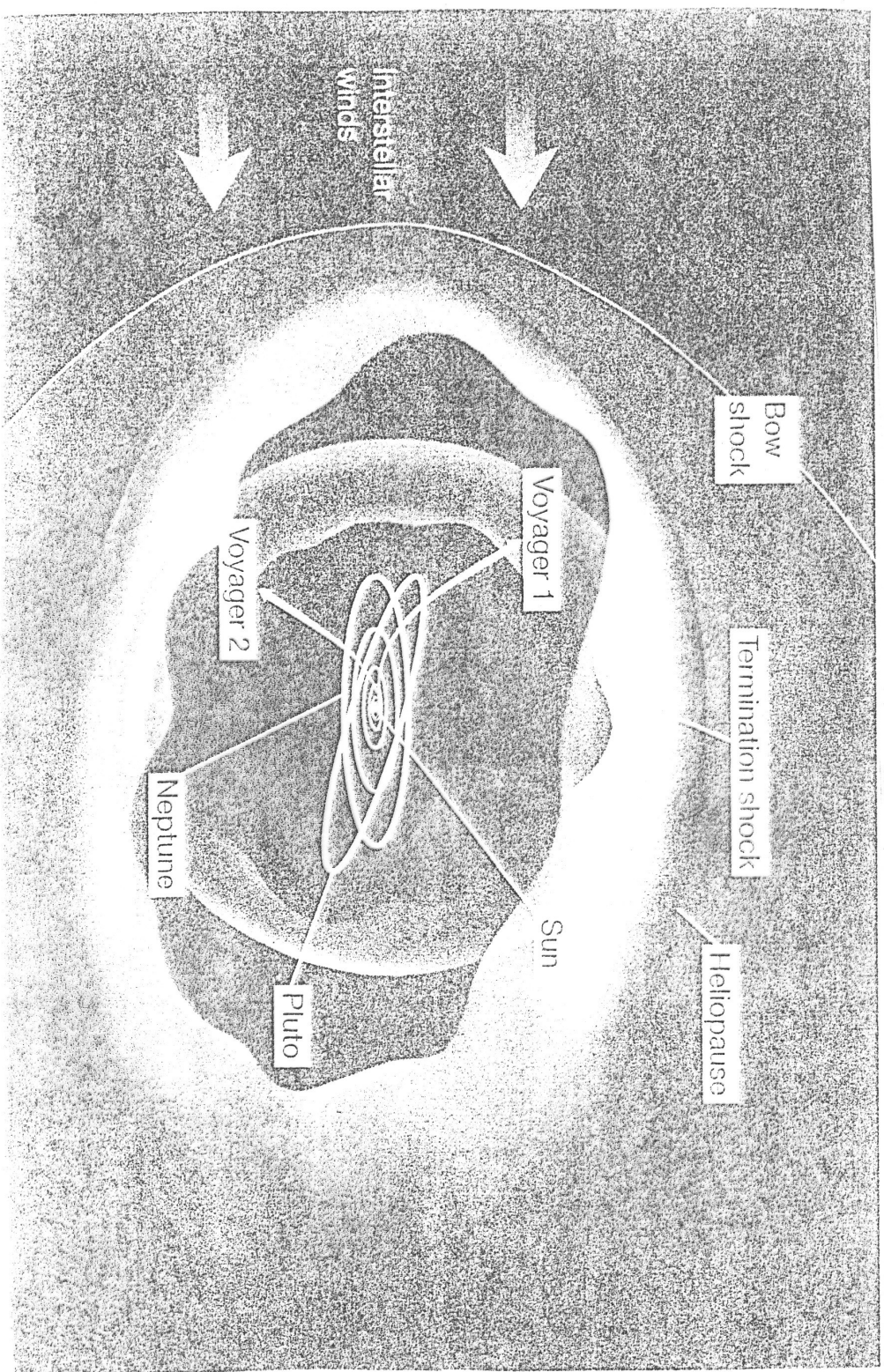
$$\begin{aligned} \vec{V}_+ &= \dot{r} \vec{e}_r + r \dot{\theta} \vec{e}_\theta + r \sin \theta \dot{\phi} \vec{e}_\phi = a \vec{e}_r + \\ &+ a r \sin \theta \left(-\frac{\Omega}{\mu} \right) \vec{e}_\phi \end{aligned}$$

Ora il rapporto tra la componente r e ϕ del vettore tangente COINCIDE con il rapporto tra la componente r e ϕ del campo $\vec{B}$:

$$\frac{B_r}{B_\phi} = - B_0 \frac{R_0^2}{r^2} \cdot \frac{\mu r}{B_0 R_0^2 \Omega \sin \theta} = - \frac{\mu}{\Omega} \frac{1}{r \sin \theta} =$$

$$= \frac{V_r}{V_\phi}$$

Allora il vettore $\vec{B}$ è TANGENTE alle linee di campo.



Limiti del campo magnetico solare: contatto con il campo magnetico galattico

