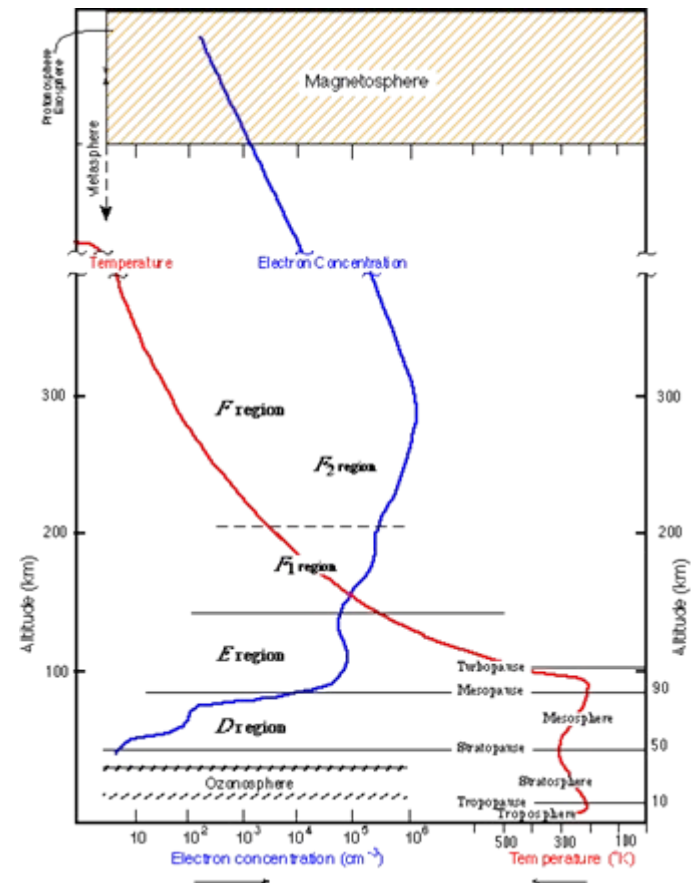
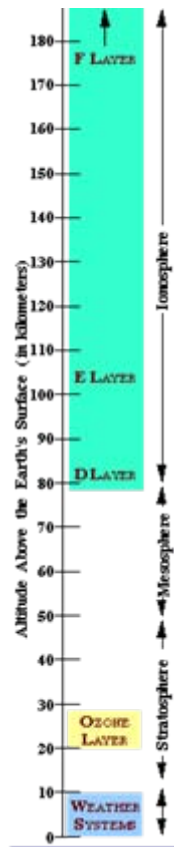


Il monitoraggio della ionosfera terrestre e i problemi nella propagazione HF

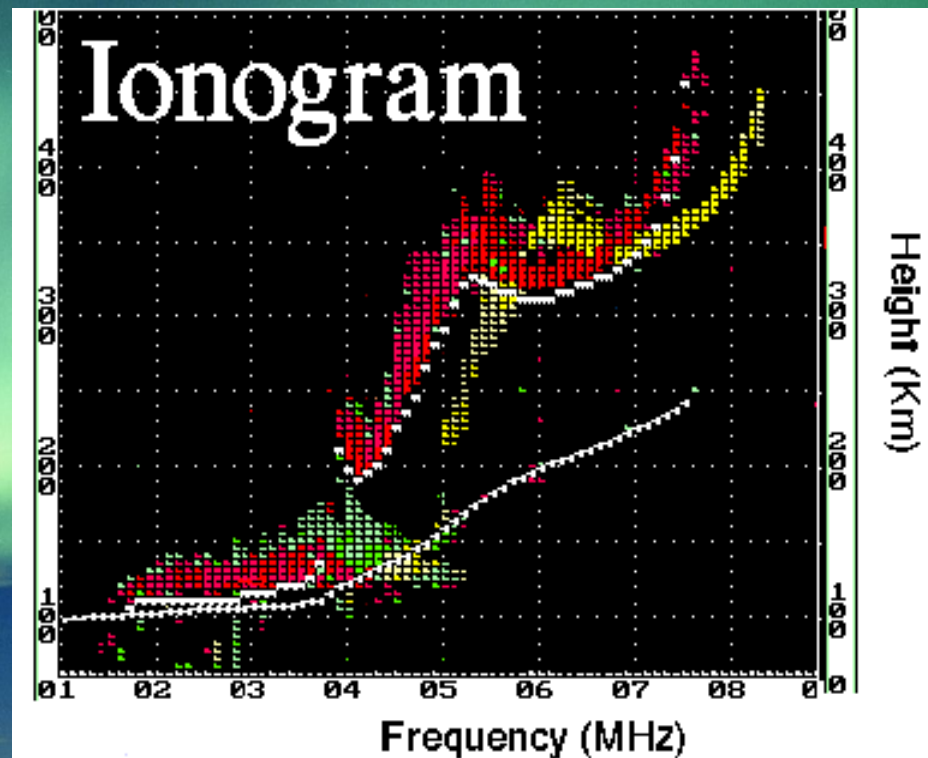
Carlo Scotto

La Ionosfera



La frequenza critica

Quando delle onde radio vengono inviate verticalmente verso la ionosfera esse verranno riflesse verso la terra, a tutte le frequenze inferiori a una certa frequenza f_c .



Frequenza di Plasma

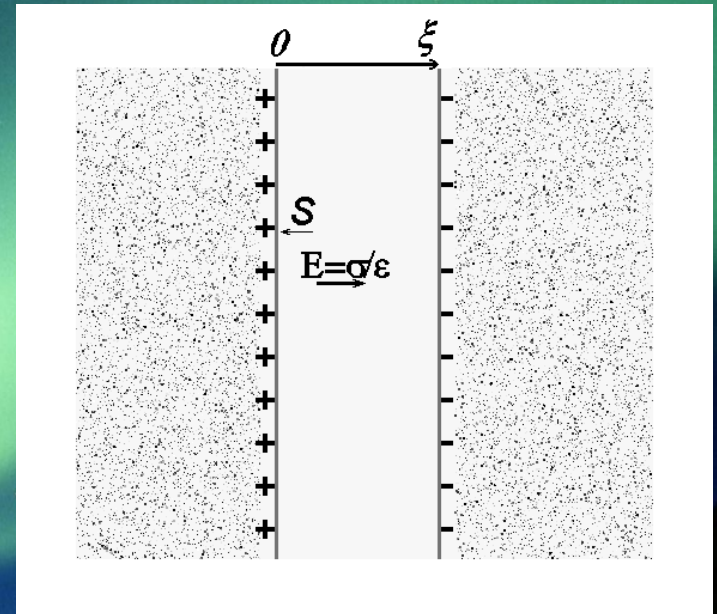
Su una certa distanza ξ è avvenuta una separazione di cariche. La quantità di carica spostata e che si addensa sulle superfici sarà $Q=NeS\xi$.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Ne\xi}{\epsilon_0}$$

$$-Ee = m\ddot{\xi}$$

$$\ddot{\xi} + \frac{Ne^2\xi}{m\epsilon_0} = 0$$

$$\omega_p^2 = \frac{Ne^2}{m\epsilon_0}$$



Distanza di Debye

La distanza di Debye è la distanza di schermo. Campi elettrici aventi dimensione caratteristica maggiore della lunghezza di Debye, vengono schermati.

$$\frac{1}{2} m (\omega_p \lambda_D)^2 = \frac{1}{2} K_B T$$

$$(\lambda_D)^2 = \frac{K_B T}{m} \frac{m \epsilon_0}{N e^2}$$

$$(\lambda_D)^2 = \frac{K_B T}{m \omega_p^2}$$

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{K_B T \epsilon_0}{N e^2}}$$

Condizioni di plasma

$$\frac{1}{2} K_B T \gg \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

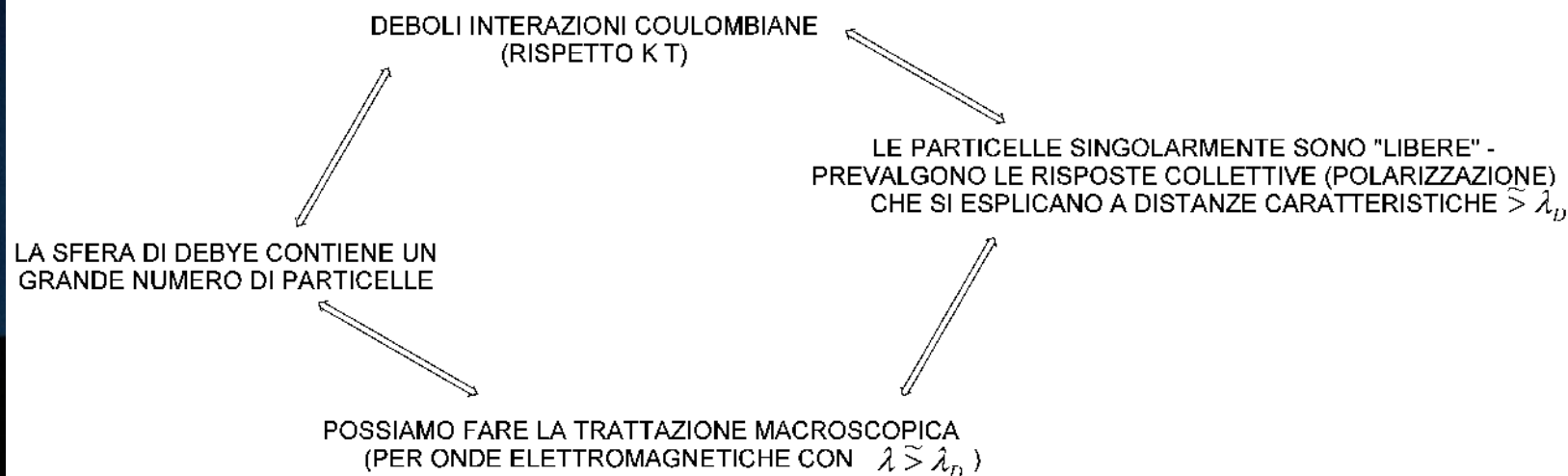
$$\frac{1}{2} K_B \frac{\lambda_D^2}{K_B} \frac{Ne^2}{\epsilon_0} \gg \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

$$\frac{1}{2} K_B \frac{\lambda_D^2}{K_B} \frac{e^2}{\epsilon_0} \frac{1}{r^3} \gg \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r}$$

$$\frac{\lambda_D^2}{r^2} \gg \frac{1}{2\pi}$$

Le particelle cariche risentono più della temperatura che dell'interazione coulombiana per cui viste singolarmente sono libere. Le risposte collettive (polarizzazione) si vedono per campi elettrici con dimensione maggiore o dell'ordine della sfera di Debye.

Se la materia è allo stato di plasma...



Indice di rifrazione in assenza di campo magnetico

$$e\mathbf{E} = m \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2}$$

$$e\mathbf{E} = -m\omega^2 \mathbf{x}$$

$$\mathbf{P} = -\varepsilon_0 \frac{Ne^2}{\varepsilon_0 m \omega^2} \mathbf{E} = -\varepsilon_0 \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \mathbf{E}$$

$$\chi = -\frac{\omega_p^2}{\omega^2}$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \varepsilon_0 \chi \mathbf{E} = \\ = \varepsilon_0 (1 + \chi) \mathbf{E}$$

$$n^2 = \varepsilon_r = (1 + \chi) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$$

Indice di rifrazione con campo magnetico

$$\begin{cases} \operatorname{div}(\mathbf{D}) = \rho \\ \operatorname{div}(\mathbf{B}) = 0 \\ \operatorname{curl}(\mathbf{E}) = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \operatorname{curl}(\mathbf{H}) = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{D} &= \varepsilon_0 \mathbf{E} \\ \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{H} \\ \mathbf{j} &\neq 0 \end{aligned}$$



$$\begin{cases} \varepsilon_0 [\mu^2 - 1] E_x = P_x \\ \varepsilon_0 [\mu^2 - 1] E_y = P_y \\ -\varepsilon_0 E_z = P_z \end{cases}$$

$$\mu^2 = 1 - \frac{X}{1 - \frac{Y_T^2}{2(1-X)} \pm \sqrt{\frac{Y_T^4}{4(1-X)^2} + Y_L^2}}$$

$$e(\mathbf{E} + \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}) = m(d^2 \mathbf{x} / dt^2)$$



$$\begin{cases} \varepsilon_0 X E_x = -P_x - i Y_L P_y + i Y_T P_z \\ \varepsilon_0 X E_y = -P_y + i Y_L P_x \\ \varepsilon_0 X E_z = -P_z - i Y_T P_x \end{cases}$$

Indici di rifrazione di gruppo (1)

(a) Senza campo magnetico:

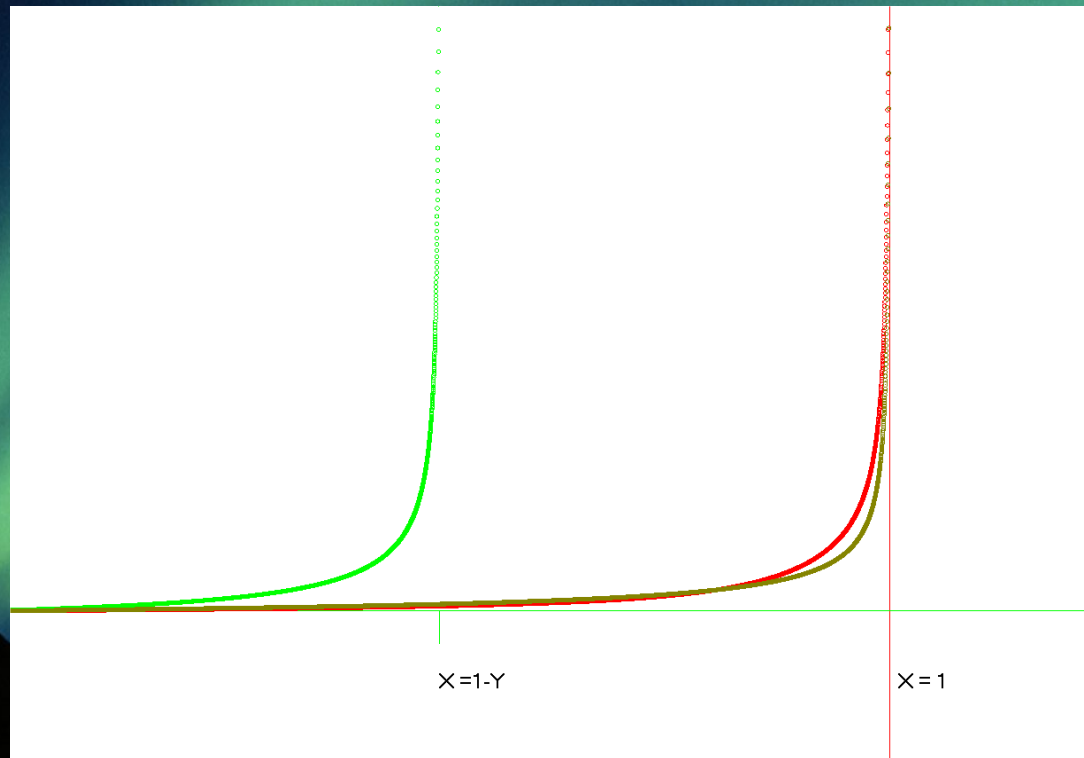
$$\mu_g = \frac{1}{\mu_f} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}}}$$

(b) Con campo magnetico:

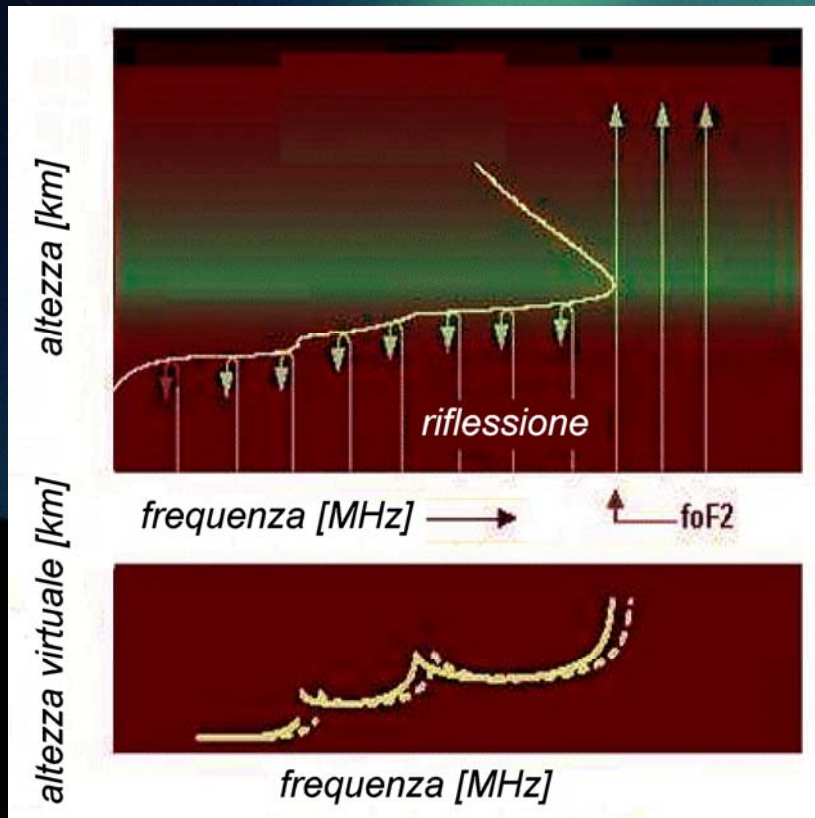
$$\mu_g = -\frac{1}{2f\mu} \left\{ \frac{1}{f^2 D} \left[2f_p^2 f - (f^2 \mu^2 - f^2) \frac{Y_L^2 f(1-X^2)}{\sqrt{\frac{1}{4}Y_T^4 + Y_L^4(1-X)^2}} \right] + 2f \right\}$$

$$D = (1-X) - \frac{Y^2 \sin^2 \theta}{2} \pm \sqrt{\frac{Y^4 \sin^4 \theta}{4} + Y^2(1-X)\cos\theta}$$

Indici di rifrazione di gruppo (2)



Ionogramma: inviamo onde alle frequenze HF (3-30 MHz) e misuriamo il tempo che i segnali impiegano a percorrere il tragitto Terra-Ionosfera-Terra.



$$h_v = ct = c \int_0^{h_r} dh \frac{1}{v_g} = \int_0^{h_r} n_g dh$$

$\frac{1}{v_g} = \frac{n_g}{c}$

n_g ha un'espressione complicata
ove compare $N(h)$

Ma il nostro problema è quello inverso

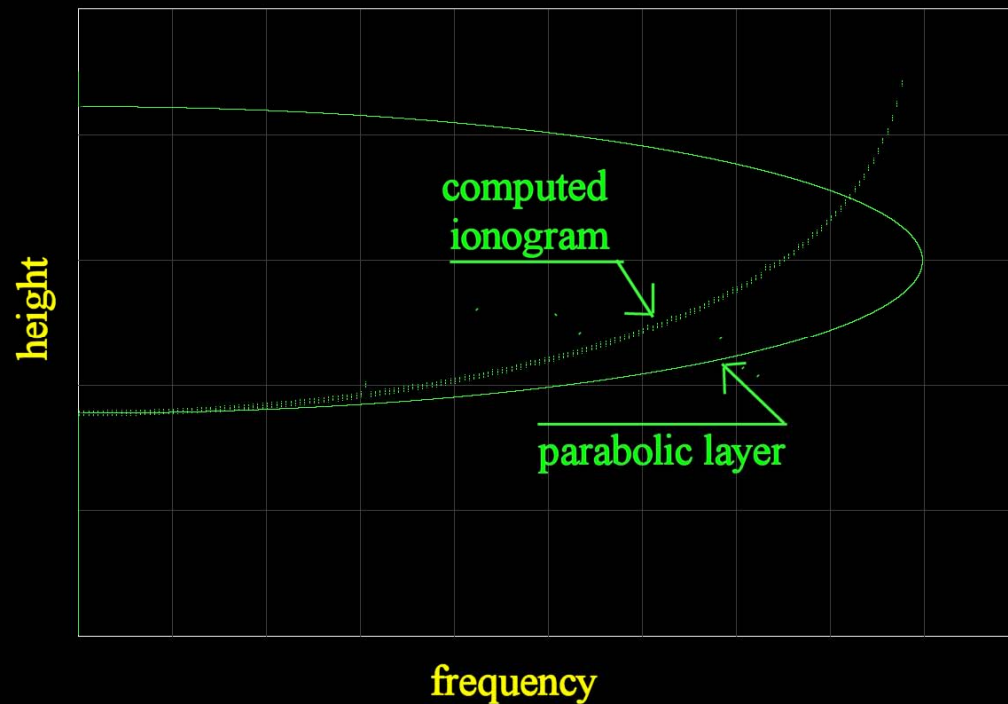
Inversione dello ionogramma con il metodo della “target function”

Questo metodo può essere spiegato usando questo esempio.

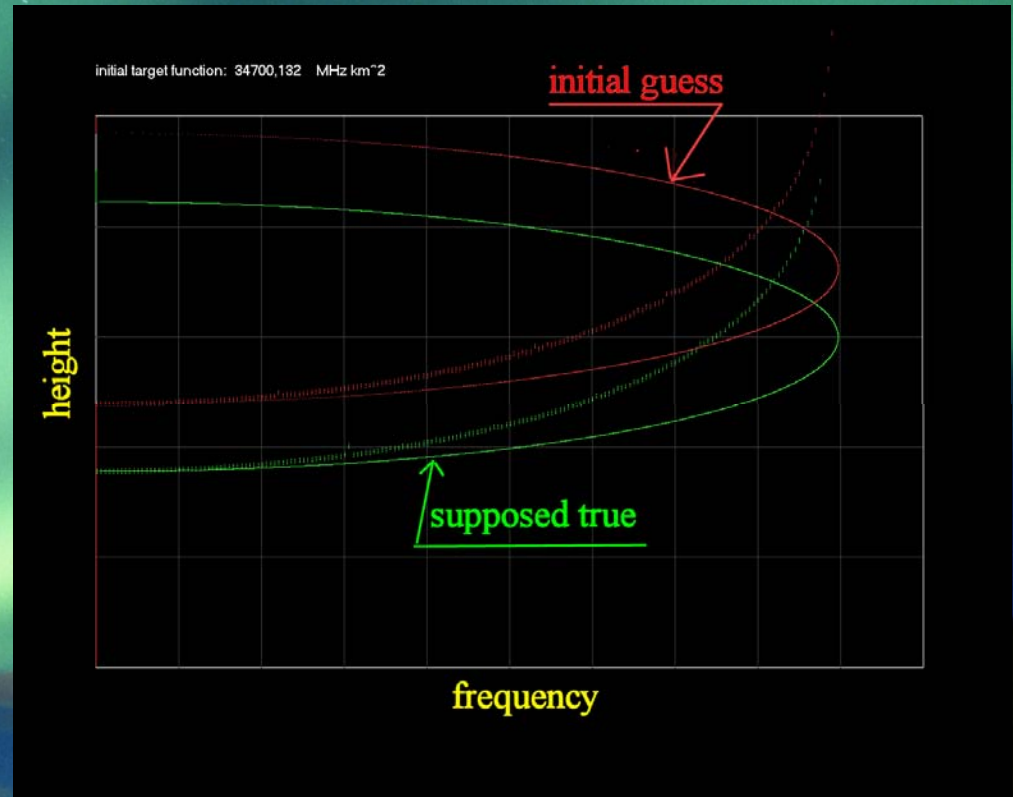
Assumiamo che, a un dato istante di tempo, la densità elettronica nella ionosfera possa essere descritta dalla seguente espressione analitica:

$$\begin{cases} n(z) = a \left[1 - \left(\frac{z - z_0}{D} \right)^2 \right] & \text{se } |z - z_0| < D \\ n(z) = 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$

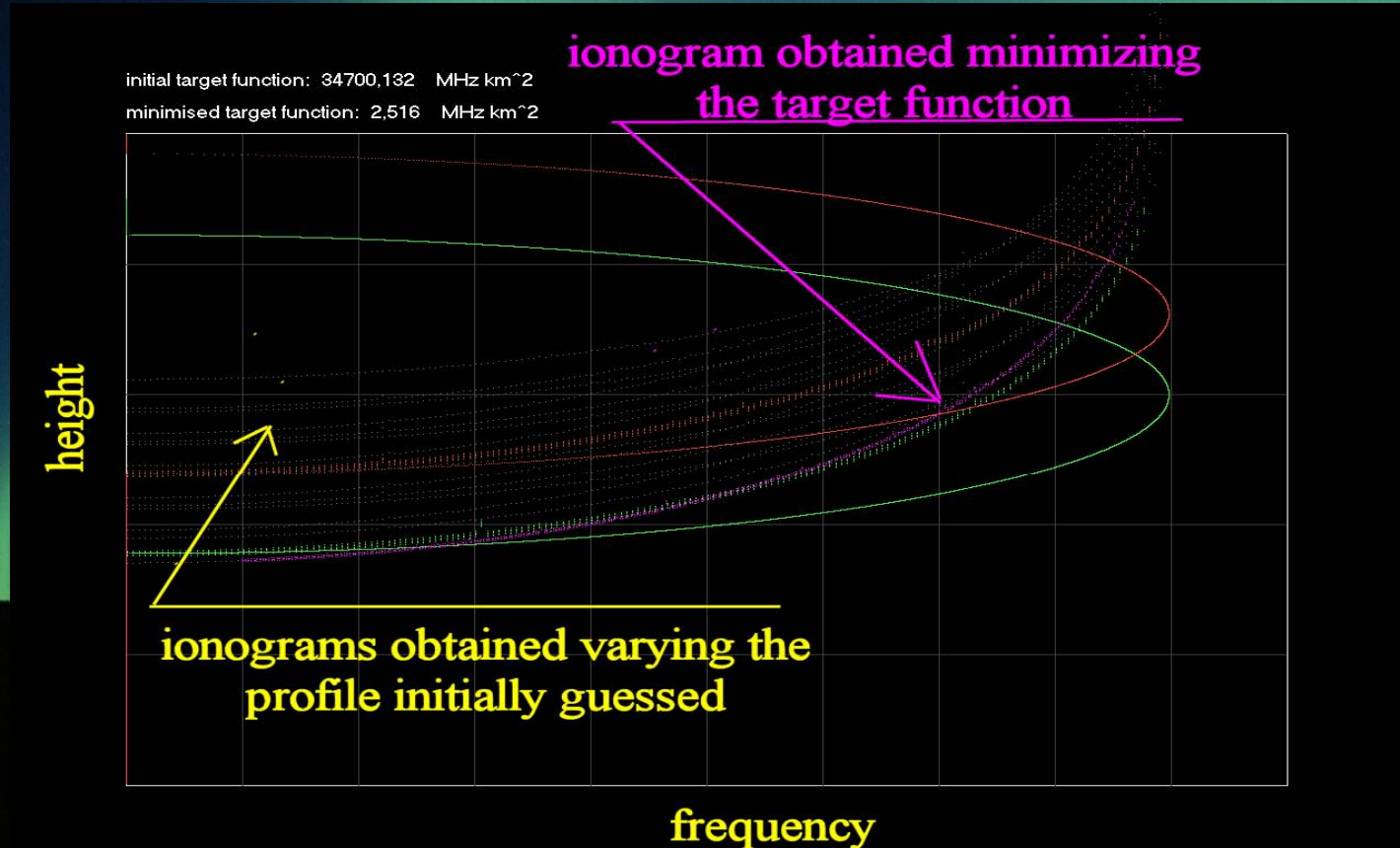
con parametri: $a = 10^{12} \text{ m}^{-3}$, $z_0 = 300 \text{ km}$, $D = 125 \text{ km}$



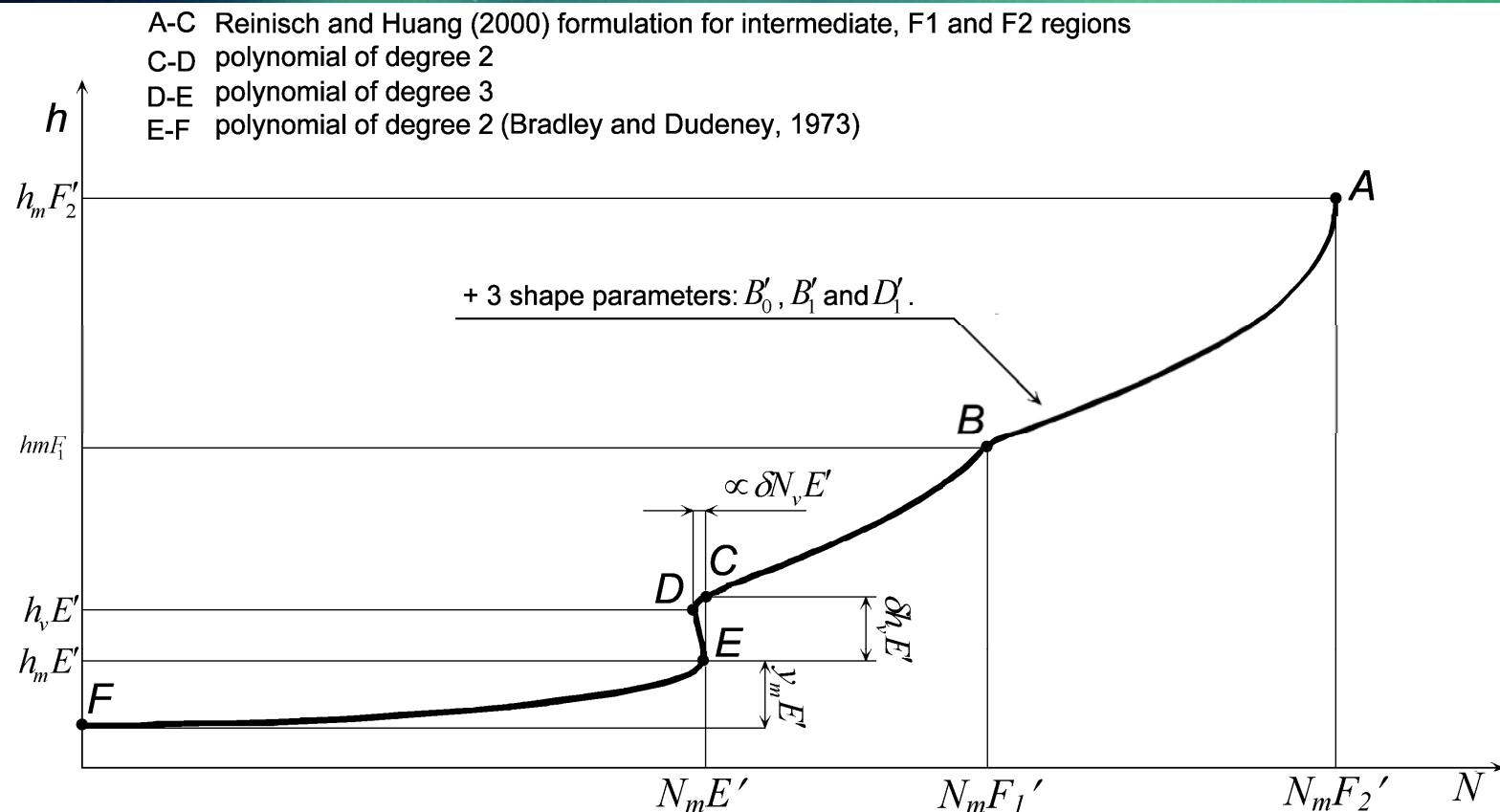
$$T = \int [h'(f) - h'_g(f)]^2 df$$



Minimizziamo la target function.

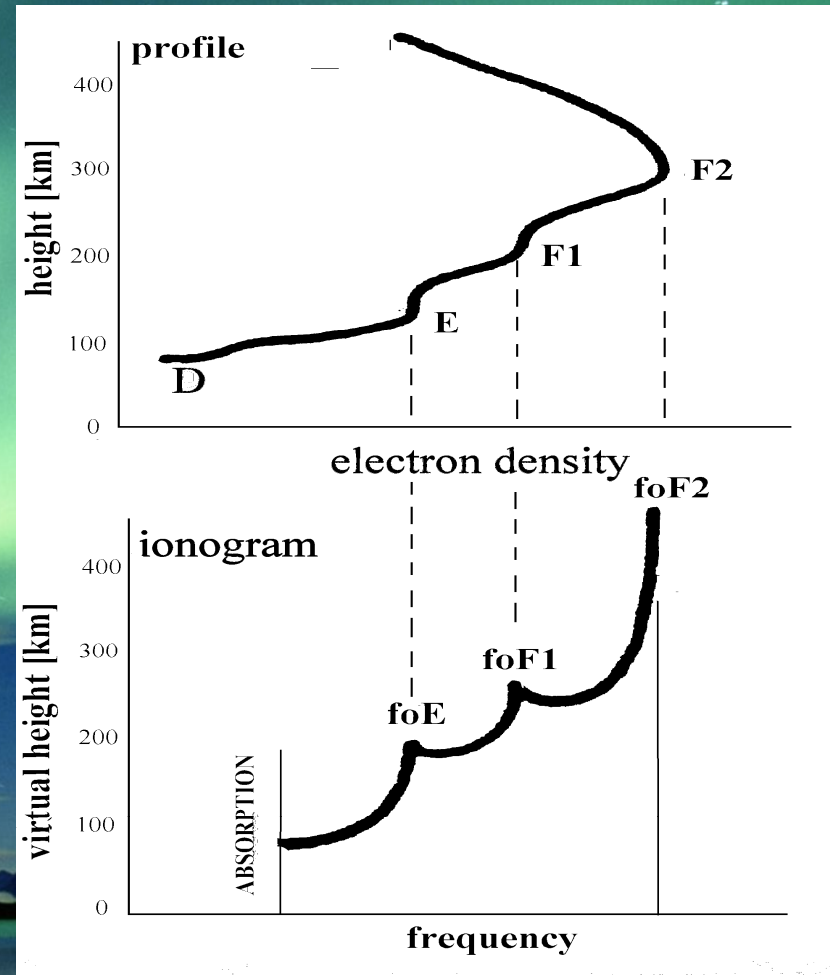


Per la ionosfera reale la parabola non basta.
Questo modello ha **12 parametri liberi**.



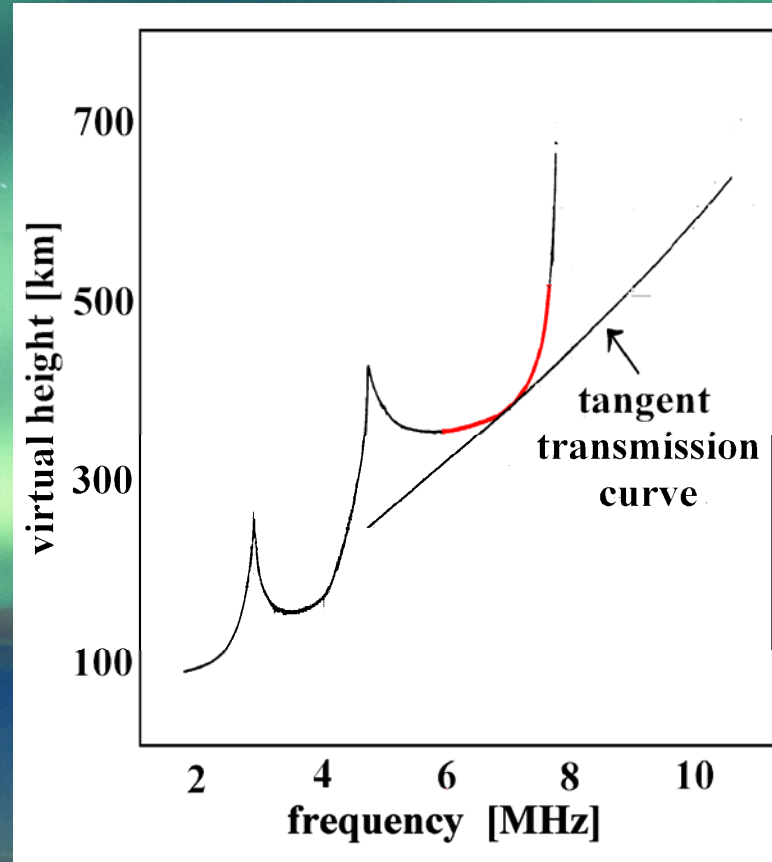
Principali parametri ionosferici (1)

- $foF2$ non predicibile
- $foF1$ predicibile
- foE predicibile

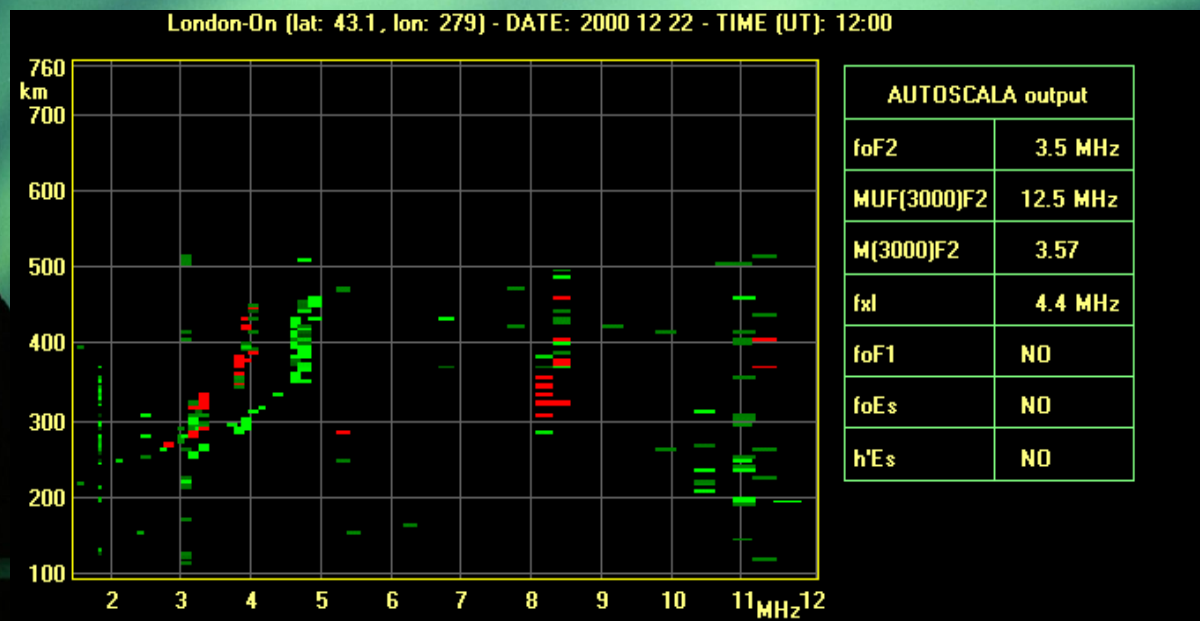


Principali parametri ionosferici (2)

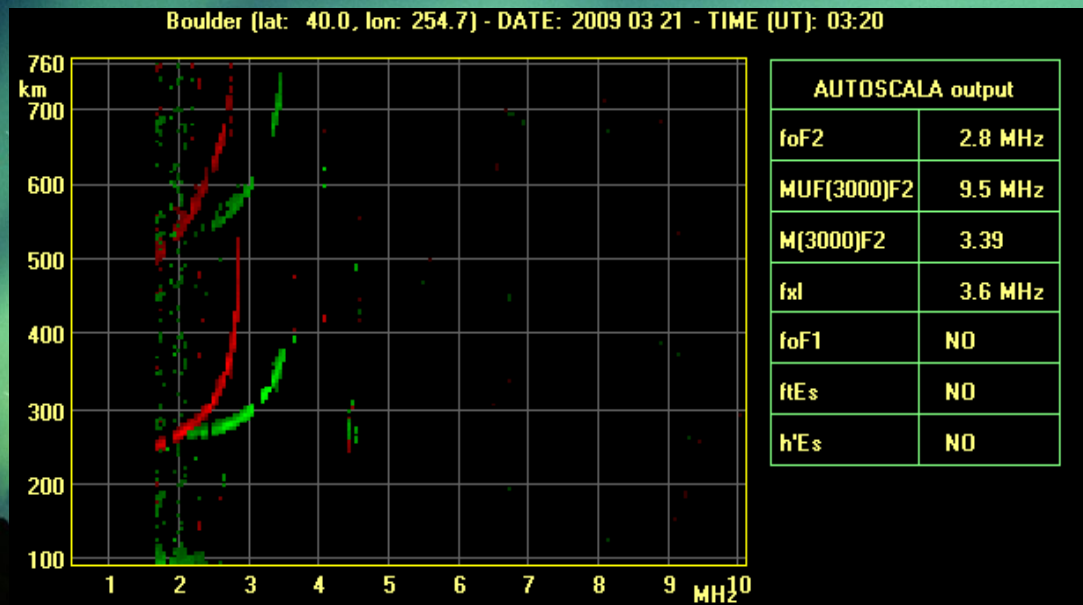
- ***MUF(3000)F2***



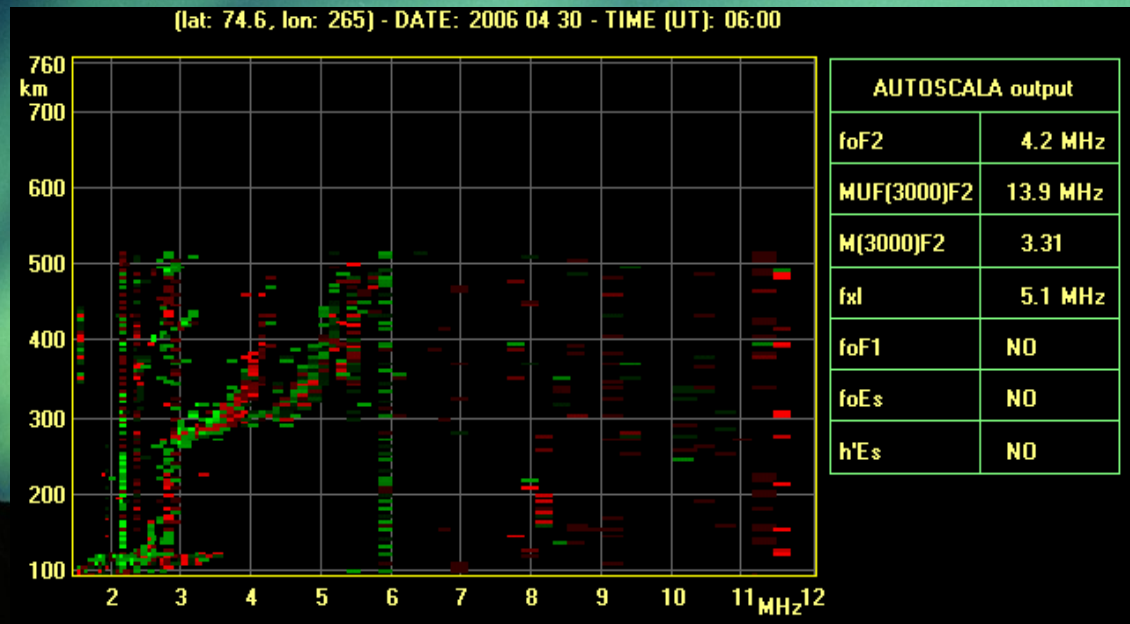
Dov'è il “pattern” la cui forma è ben nota?
**Ionosonda CADI, London
(ON), Canada.**



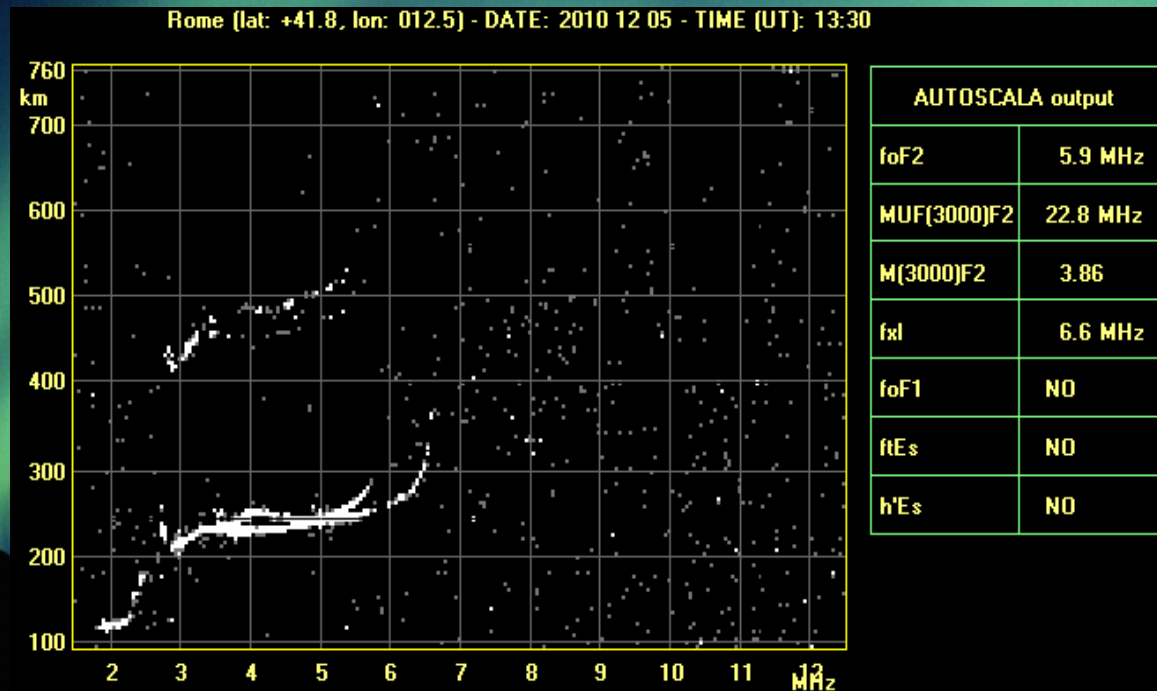
Ionosonda VIPIR, Boulder, Colorado.



Ionosonda CADI, Resolute Bay, Canada



Ionosonda AIS - INGV, Rome



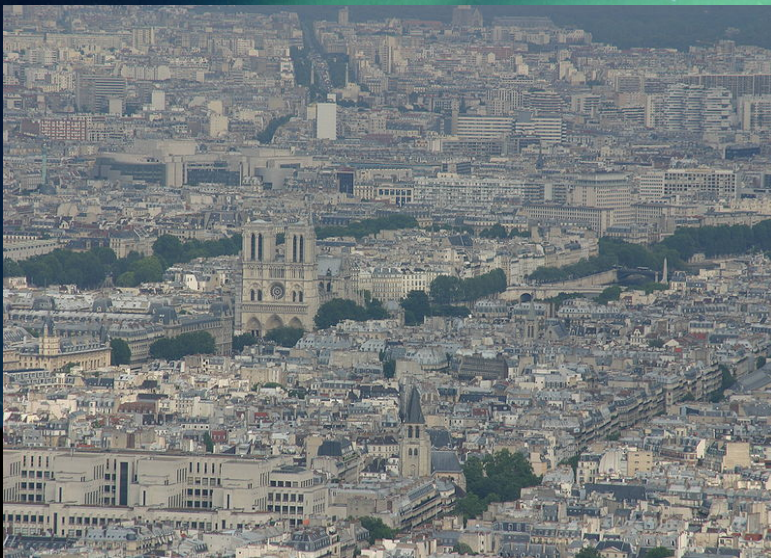
Le reti neurali più efficienti (biologiche) sembrano essere in grado di riconoscere il contrasto. Dobbiamo pensare che l'evoluzione ha portato a riconoscere il contrasto perché esso contiene la massima informazione.



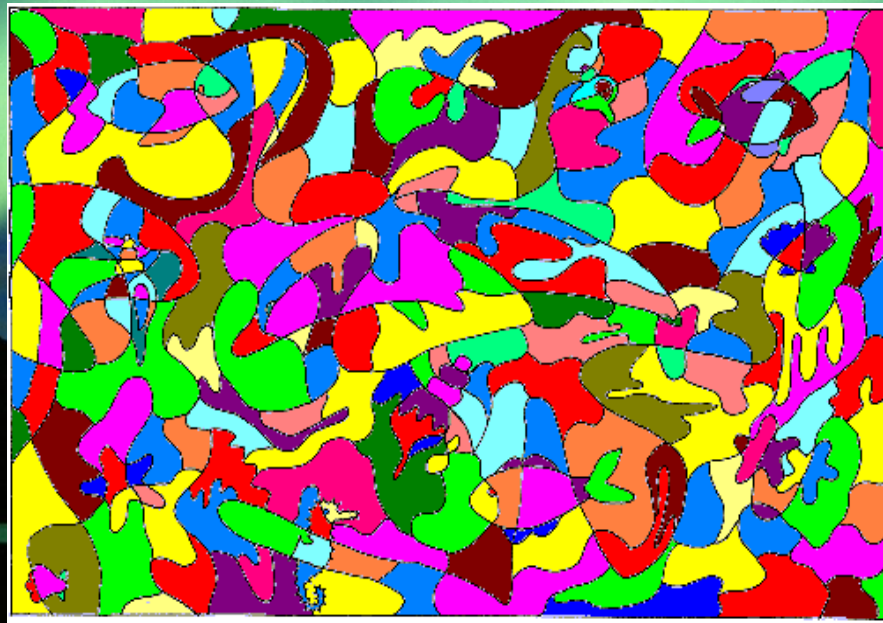
Pattern con elevato contrasto: è facile vedere gli uccelli pure se sono piccoli

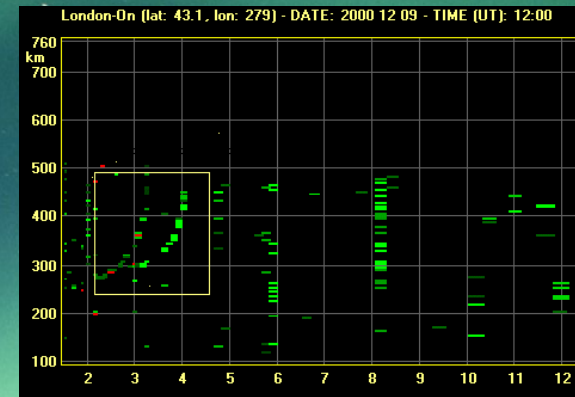
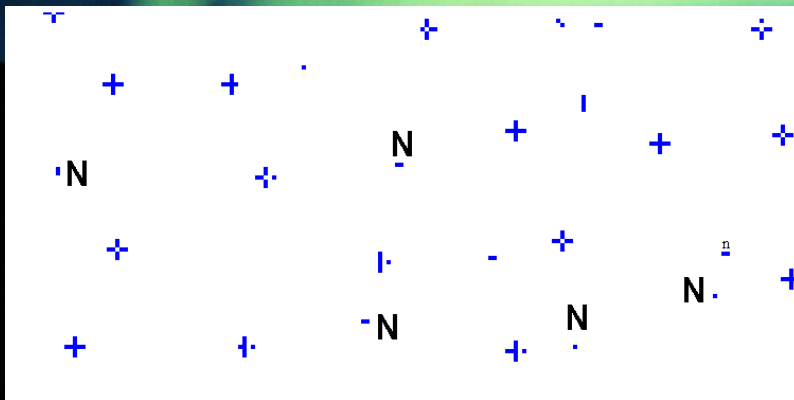
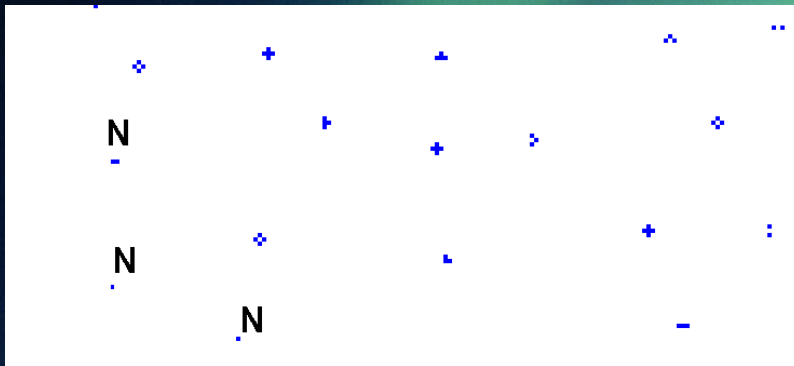
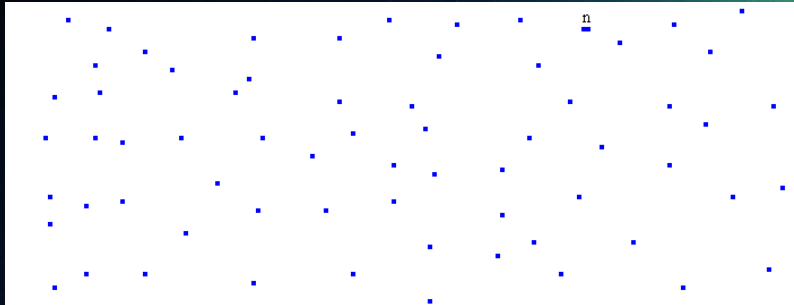


Se il contrasto è basso è difficile cogliere alcuni dettagli.



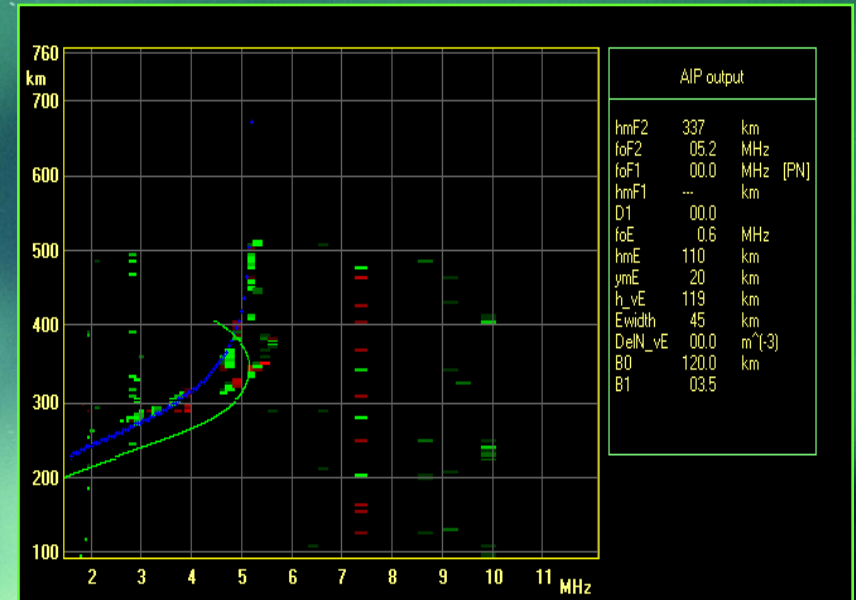
**E' difficile riconoscere gli animali marini.
Questo è un altro modo per avere basso
contrasto:
ci sono molti pattern che hanno lo stesso
contrasto di quello che stiamo cercando.**



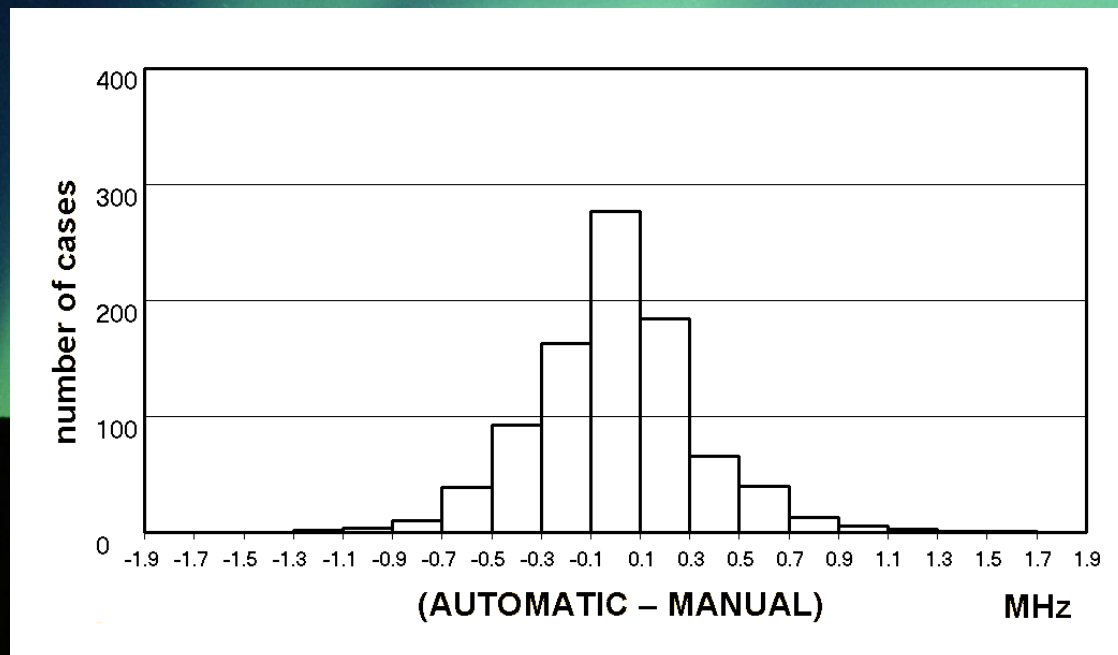


L'identificazione del pattern diventa più difficile man mano che diventa più grande. Si noti che quello che non può essere considerato pattern deve essere considerato rumore.

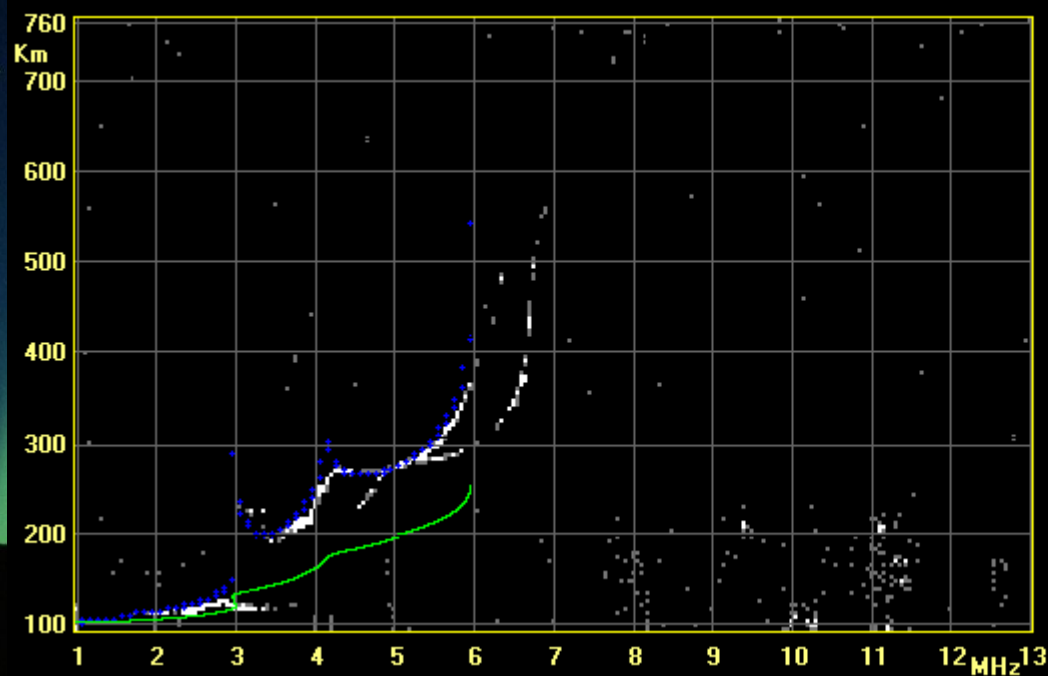
Il problema è stato circoscritto: dobbiamo identificare un pattern a scala abbastanza grande (dobbiamo cioè raggruppare I pixel) e il contrasto può essere il metodo.



Confronto coi risultati manuali

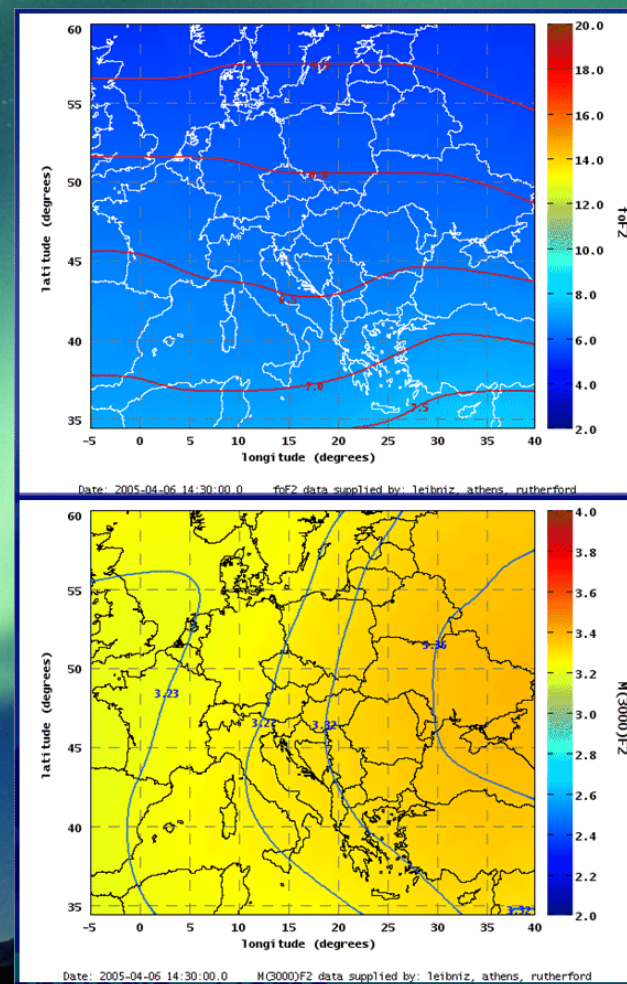


quello che otteniamo



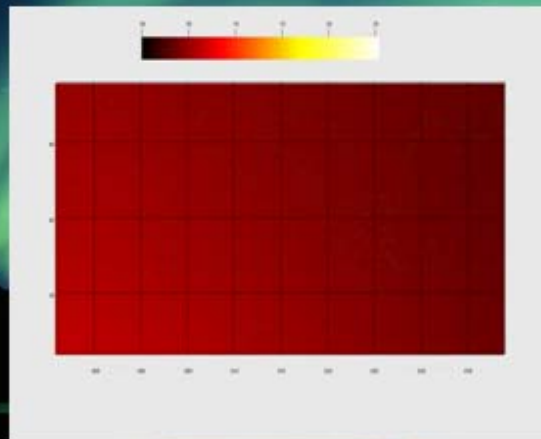
HAIP output		
hmF2	243	km
foF2	06.0	MHz
foF1	04.2	MHz [PY]
hmF1	165	km
D1	00.7	
foE	3.0	MHz
hmE	110	km
ymE	20	km
h_vE	122	km
Ewidth	15	km
DelN_vE	00.0	m ⁻³
B0	99.0	km
B1	03.0	

- Mappe Ionosferiche sopra l'area Europea delle mediane mensili dell' foF2 ed M(3000)F2 [basate sul modello SIRM, Zolesi et al., 1993]
- Mappe Ionosferiche sopra l'area Europea, in real-time, dell'foF2 ed M(3000)F2 per la gestione in now-casting delle frequenze radio [basate sul metodo SIRMUP, Zolesi et al., 2004]
- Mappe Ionosferiche sopra l'area Europea dei valori istantanei di foF2 ed M(3000)F2 per tempi specificati dall'utente
- Mappe Ionosferiche di previsione a corto termine sopra l'area Europea per l' foF2 , fino a 24-ore in avanti [basate sul metodo SIRMUP, Zolesi et al., 2003, e sul modello di Muhtarov et al., 2002].



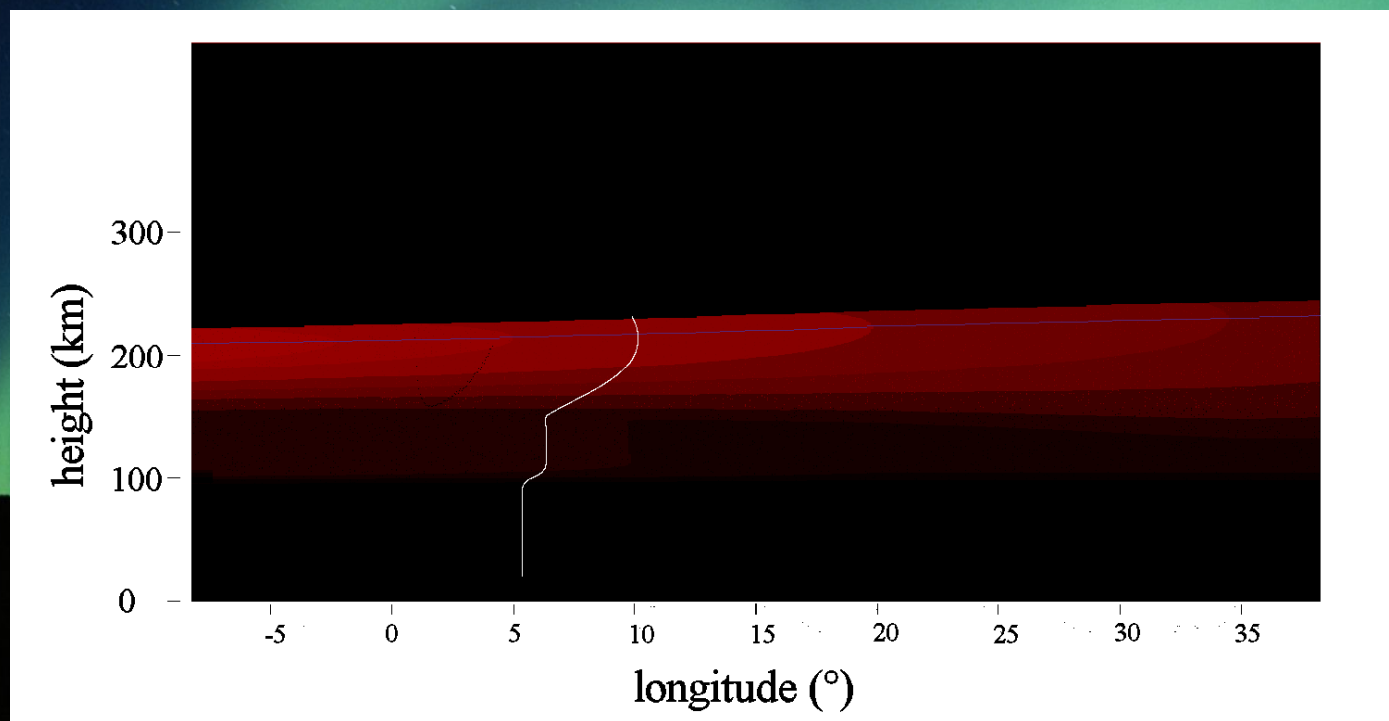
Convegno URSI Italia – Taormina, 21-22 giugno 2011

Mappa di foF2 aggiornata con dati in tempo reale

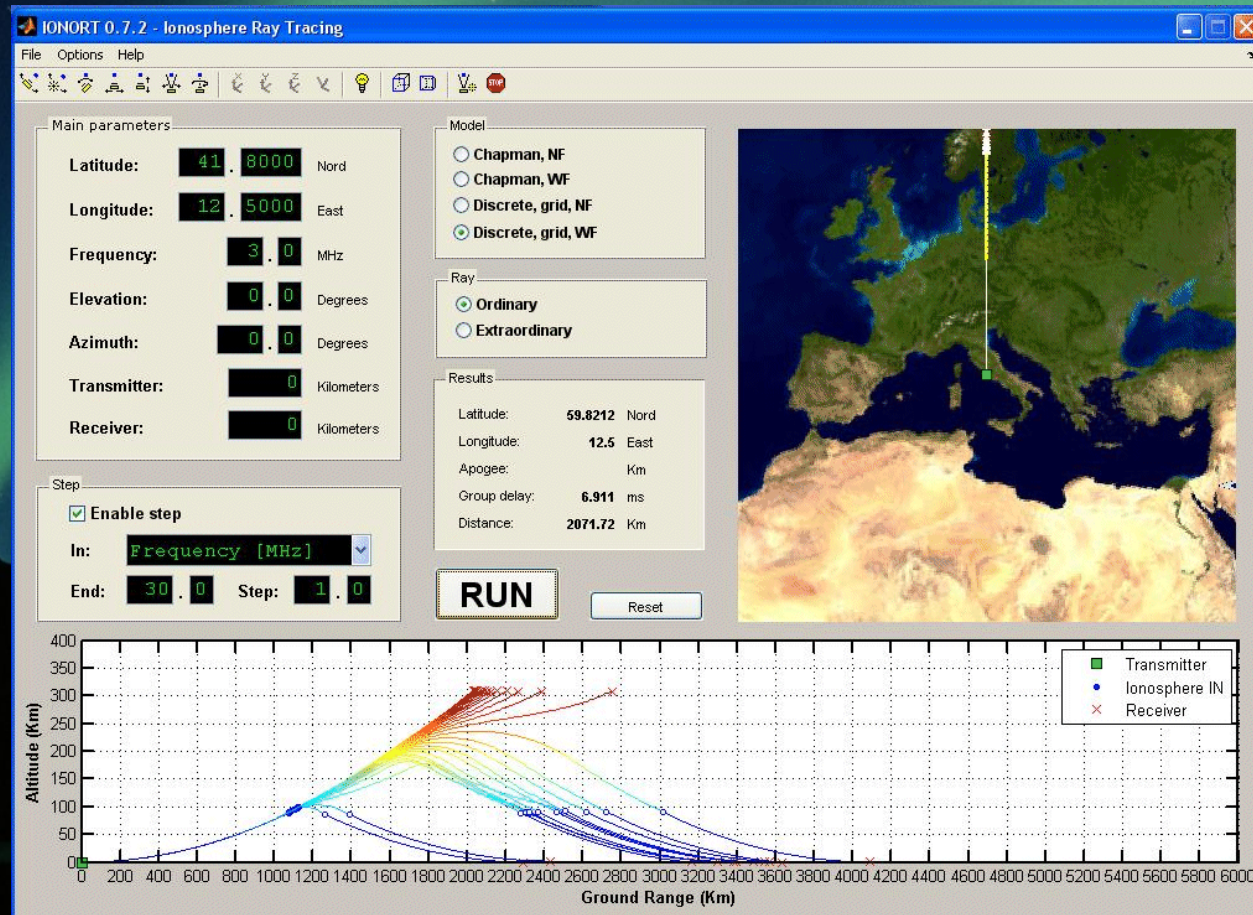


Carlo Scotto – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Roma

Sezione longitudinale di una ionosfera modellata introducendo anche dati in tempo reale



Ray Tracing: esempio



A photograph of the Aurora Borealis (Northern Lights) in a dark, starry sky. The aurora displays vibrant green and blue curtains of light. Below the sky, the dark silhouettes of mountains and a calm lake are visible, with the aurora's light reflecting on the water's surface.

Grazie