

A.R.I.

Sezione di Udine

Il Sole

e

la Propagazione Ionosferica

dalle HF ai 160 metri

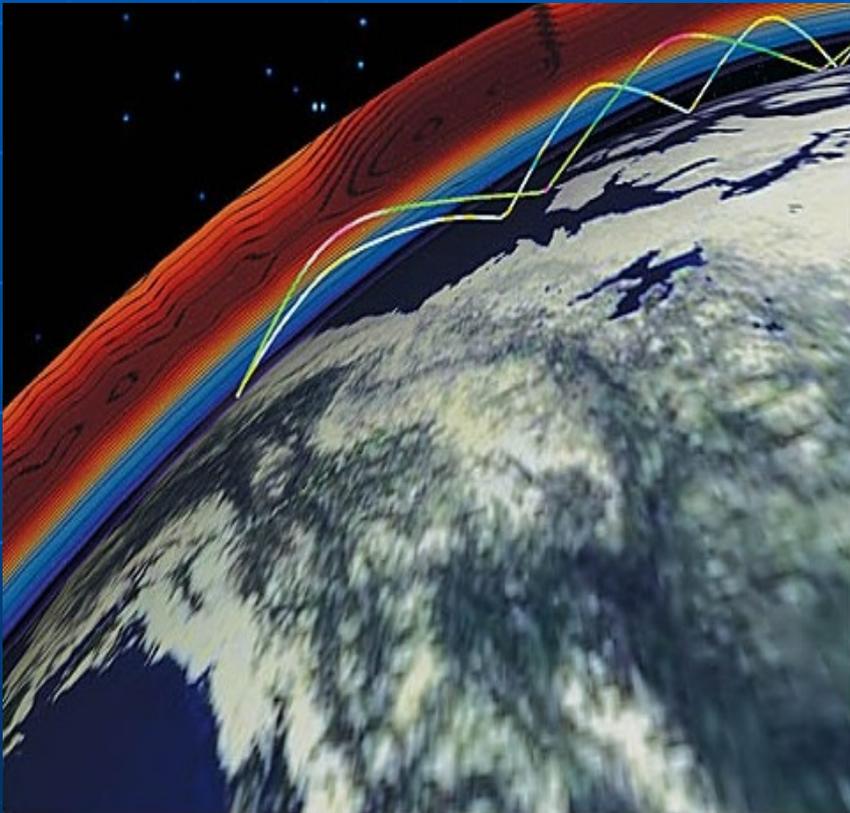
Parte 1°

a cura di IV3PRK Pierluigi Mansutti

IV3PRK

Contenuti della presentazione

suddivisa in quattro parti



1. Il Sole e le sue attività.
Il campo geomagnetico e l'aurora.
Il ciclo solare 23°.
2. Gli strati ionosferici.
I meccanismi di propagazione e le MUF.
Assorbimenti, perdite ed SNR.
3. Le previsioni di propagazione.
VOACAP ed altri software.
Dalle HF alle basse frequenze.
4. Le bande basse con focus sui 160 metri.
Grafici, analisi con Proplab e 20 anni di esperienze sulla Topband.

Il Sole



- Il Sole, oltre ad essere la fonte della vita sulla Terra, è indispensabile per le comunicazioni radio a lunga distanza e ne condiziona il comportamento.
- Dalle sue molteplici attività hanno origine le radiazioni necessarie alla formazione della ionosfera, ma anche le esplosioni che provocano tempeste ionosferiche e le perturbazioni nel campo magnetico terrestre.
- Questa immagine rende l'idea dell'enormità delle masse e dei fenomeni che andremo ad esaminare

La struttura del Sole

- Il sole è un oggetto molto complesso, distante circa 150 milioni di km. che solo recentemente, grazie ai satelliti, si è potuto studiare profondamente.
- Ha un raggio di 109 volte maggiore della Terra, ruota su se stesso con un ciclo di circa 27 giorni ed è immerso in un'atmosfera che si suddivide in tre strati ben distinti:
- La Fotosfera è lo strato inferiore (la superficie visibile) con uno spessore da 200 a 400 km., dal quale proviene gran parte della luce che riceviamo sulla Terra. La sua temperatura è di circa 5800°K , la più bassa del Sole, (aumenta sia verso l'interno che verso gli strati più alti) ed ha una densità molto bassa, pari a circa un millesimo di quella dell'atmosfera terrestre. Sulla sua superficie si sviluppano le macchie solari, regioni attive con intensi campi magnetici, che appaiono più scure a causa delle temperature più basse di circa 2000°K rispetto all'area circostante

La struttura del Sole

- La Cromosfera è l'area immediatamente sopra la Fotosfera ed è molto più spessa (si estende fino a 12.000 km di altezza). Le temperature aumentano rapidamente fino a superare i 100.000°K . In questo strato hanno origine le esplosioni solari (solar flares) ed il fenomeno delle specule.
- La Corona è la regione esterna e più diffusa dell'atmosfera solare; è visibile soltanto durante un'eclisse totale oppure con le moderne attrezzature satellitari. A causa della bassissima densità dei gas di cui è composta, non riesce a trasmettere la luce ma, grazie alle enormi temperature raggiunte (da uno a due milioni di gradi Kelvin), produce copiose emissioni di radiazioni X. Principali fenomeni associati a questa regione sono i coronal holes, punti più brillanti (buchi), privi di radiazioni X, ma attraverso i quali fuoriescono potenti getti di particelle cariche, ed i CME (coronal mass ejections) che possono raggiungere entrambi la Terra provocando disturbi alle radio comunicazioni ed un aumento dell'attività geomagnetica.
- Tutti questi fenomeni seguono la rotazione del Sole e possono apparire dall'altro lato dopo circa 14 giorni.

Le osservazioni solari

- Sin dal 1750 si osservano le macchie solari e se ne conta il numero R , da cui si ricava l'indice ufficiale dell'attività solare (SSN)
- Dagli anni '50 ad Ottawa viene rilevato il rumore proveniente dal Sole (Solar Flux) alla frequenza di 2.800 MHz (10,7 cm.)
- Con i satelliti geostazionari GOES 8,10,11 e 12 si misurano le radiazioni X, ed i flussi di protoni e di elettroni che raggiungono la Terra
- Grazie al programma SOHO si è giunti all'esplorazione diretta del sole con immagini della corona e rilevazione degli eventi correlati (CME, vento solare, ecc.)



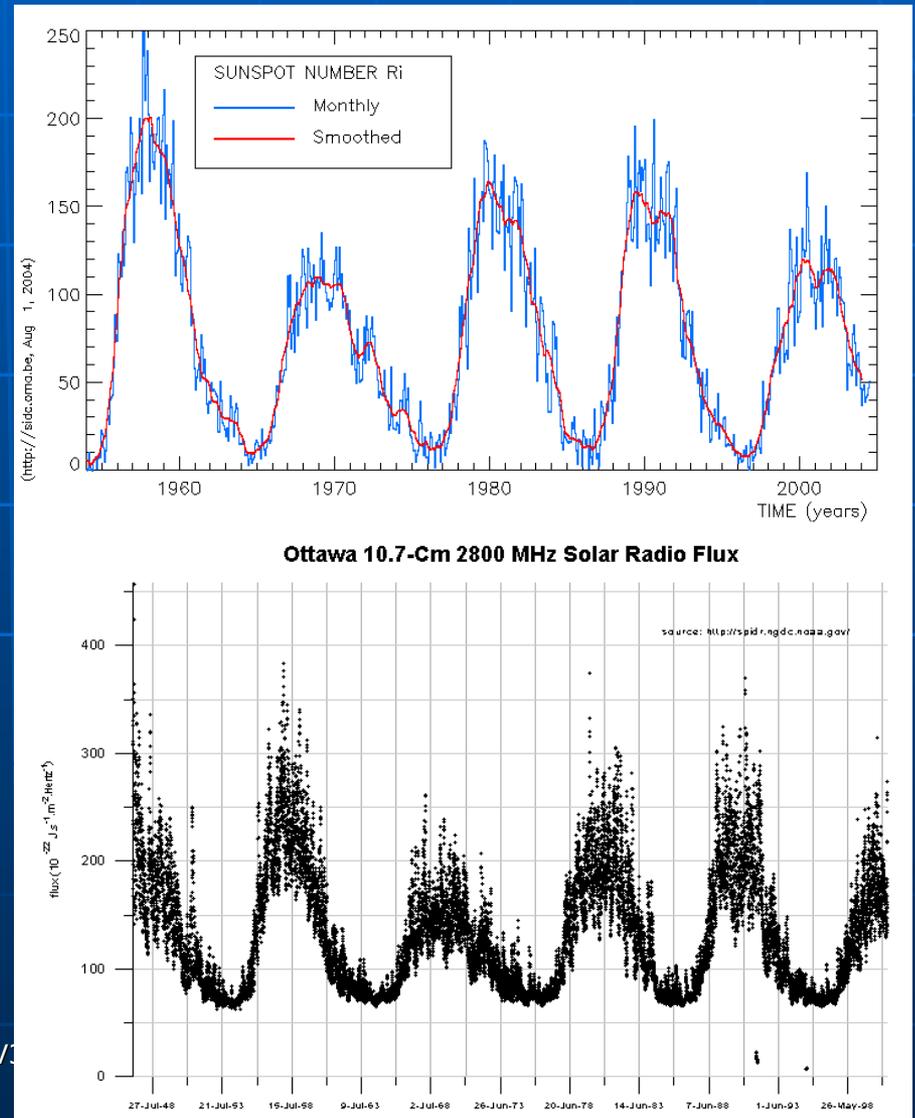
L'attività solare

- Per rendere possibile la trasmissione di un segnale radio in HF è innanzitutto indispensabile la ionizzazione degli strati alti dell'atmosfera.
- Ciò avviene grazie alle normali radiazioni UV, a buona parte delle radiazioni X ed a diverse altre emissioni di particelle e flussi di materiale carico di energia, originati in prevalenza nelle regioni attive del Sole.
- A queste regioni, corrispondono generalmente le Macchie Solari, zone scure, con un'elevata attività magnetica.
- Hanno un diametro medio di 37.000 km. ma si presentano in gruppi molto complessi. Il loro numero varia di giorno in giorno e la loro vita può durare da alcune settimane a più rotazioni del Sole e pertanto se ne può osservare un andamento ciclico di 27 giorni.
- Ma la caratteristica più nota delle macchie solari è la loro presenza ciclica secondo un periodo molto lungo di circa 11 anni, il Ciclo Solare, prossimo ormai alla conclusione del 23° (il minimo è previsto agli inizi del 2007).
- L'andamento del Ciclo Solare è strettamente correlato con le condizioni di propagazione sulle onde corte.

Il Ciclo Solare

- Il numero medio delle macchie solari (SSN) varia da un minimo di "zero" ad un massimo di oltre 200
- Il flusso solare (SF) a 2800 MHz (10,7 cm.) varia da un minimo di circa 70 ad un massimo di oltre 300
- I due indici sono legati dalla seguente relazione:

$$SF = 73,4 + 0,62 * SSN$$



Le Macchie Solari

- Qui vediamo le immagini della fotosfera riprese dal satellite SOHO in due fasi diverse:
- A fine ottobre 2003, coincidente con un picco abnorme dell'attività solare: numero 330 macchie
- A gennaio 2005 con il "Sole calmo" il numero era sceso sotto le 40 macchie



Le Macchie Solari

- Ma anche quando sembra calmo, il sole riserva sempre sorprese con improvvisi e non prevedibili ritorni di attività.
- Qui sotto ne vediamo un esempio recente :
 - il 10 gennaio 2005 il disco solare era pulito da macchie;
 - il giorno successivo ne apparve una nuova che nel giro di un paio di giorni raggiunse dimensioni enormi, pari a quelle del pianeta Giove (l'immagine rappresenta l'evolversi della situazione dal 10 al 14 gennaio)
 - provocando poi due forti eruzioni di classe X dal 15 al 20 gennaio.

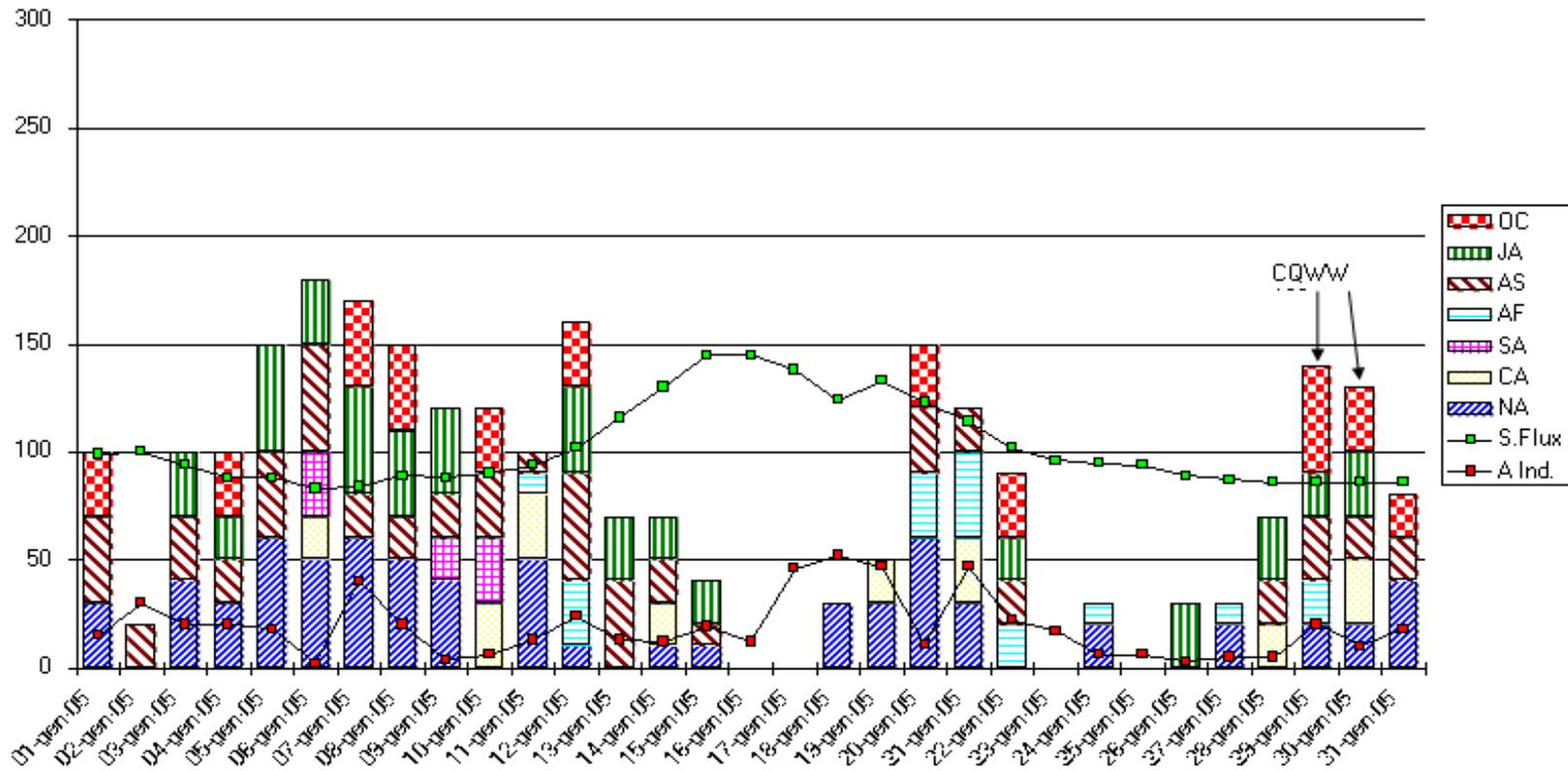


L'effetto negativo sulle bande basse è immediato.

I 160 metri In particolare risultano praticamente chiusi dal 15 al 20 gennaio, interrompendo un periodo di ottima propagazione.

160 meters DX conditions from IV3PRK

January 2005



Il flusso delle radiazioni-X

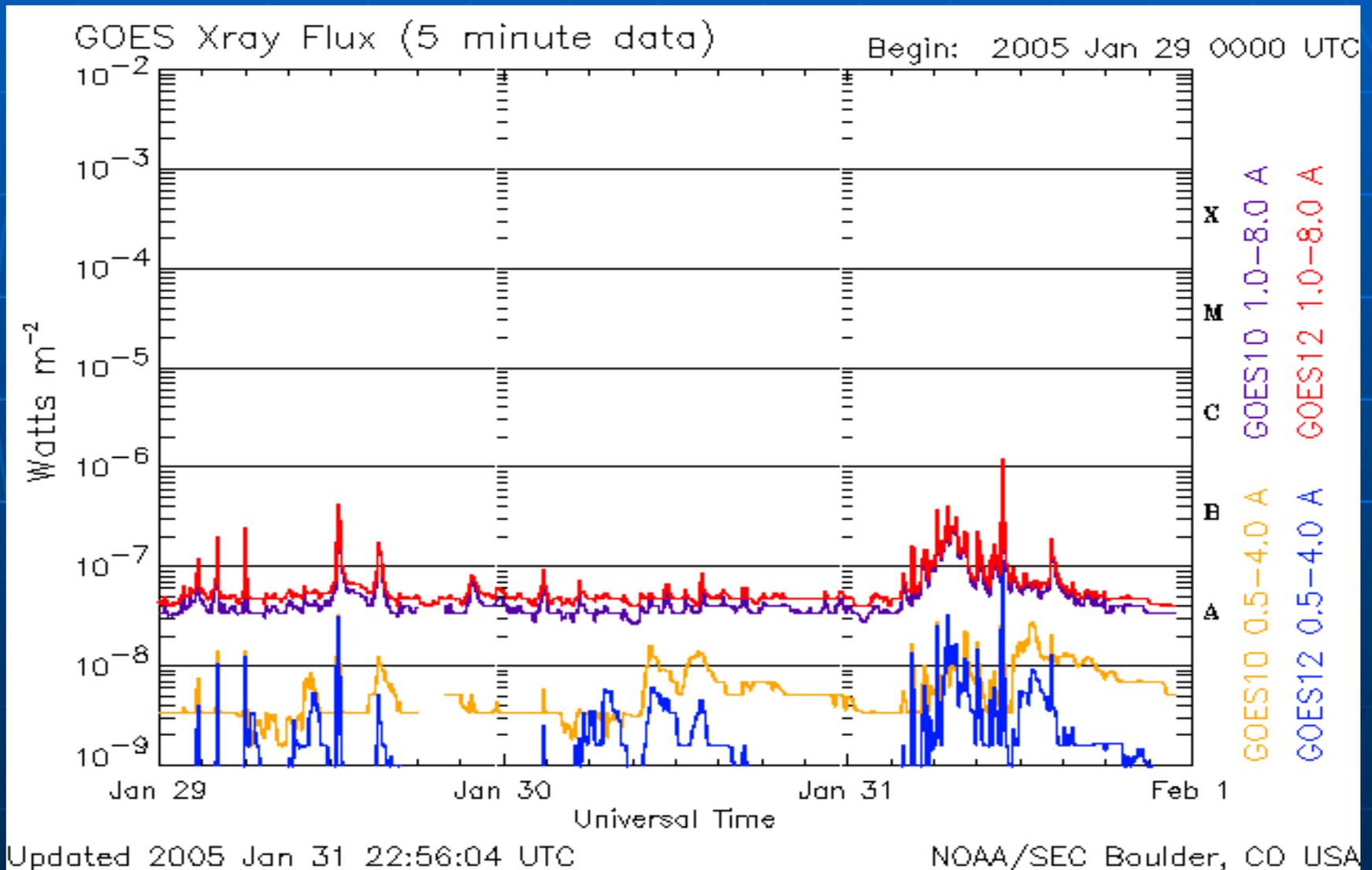
- Tuttavia, nonostante gli indici di SSN e di SF siano generalmente riconosciuti ed utilizzati per lo studio della propagazione e le previsioni a medio/lungo termine, si è scoperto ultimamente che il flusso delle radiazioni X offre una misura più efficace dell'attività solare, immediata e più appropriata ai fini delle radio comunicazioni.
- I raggi X provengono da regioni centrali dell'emisfero visibile del Sole, in linea diretta con la Terra.
- Sono necessari 10 eV per ionizzare un atomo nell'atmosfera terrestre: l'energia dei fotoni delle radiazioni X è di 1000 eV, molto più elevata (cento milioni di volte) di quella dei fotoni a lunghezza d'onda di 10,7 cm del flusso solare (0,00001eV) .
- Pertanto il flusso solare a 2800 MHz indica solo l'evolversi delle regioni attive sul Sole, ma non rappresenta direttamente lo stato di ionizzazione della ionosfera.
- E' un errore pensare che variazioni nel flusso solare siano sempre associate direttamente con gli strati ionosferici e quindi con la propagazione delle onde radio, (anche se abbiamo verificato proprio questo con la slide precedente!)

GOES Solar X-ray Flux

Rilevazione del flusso delle radiazioni X

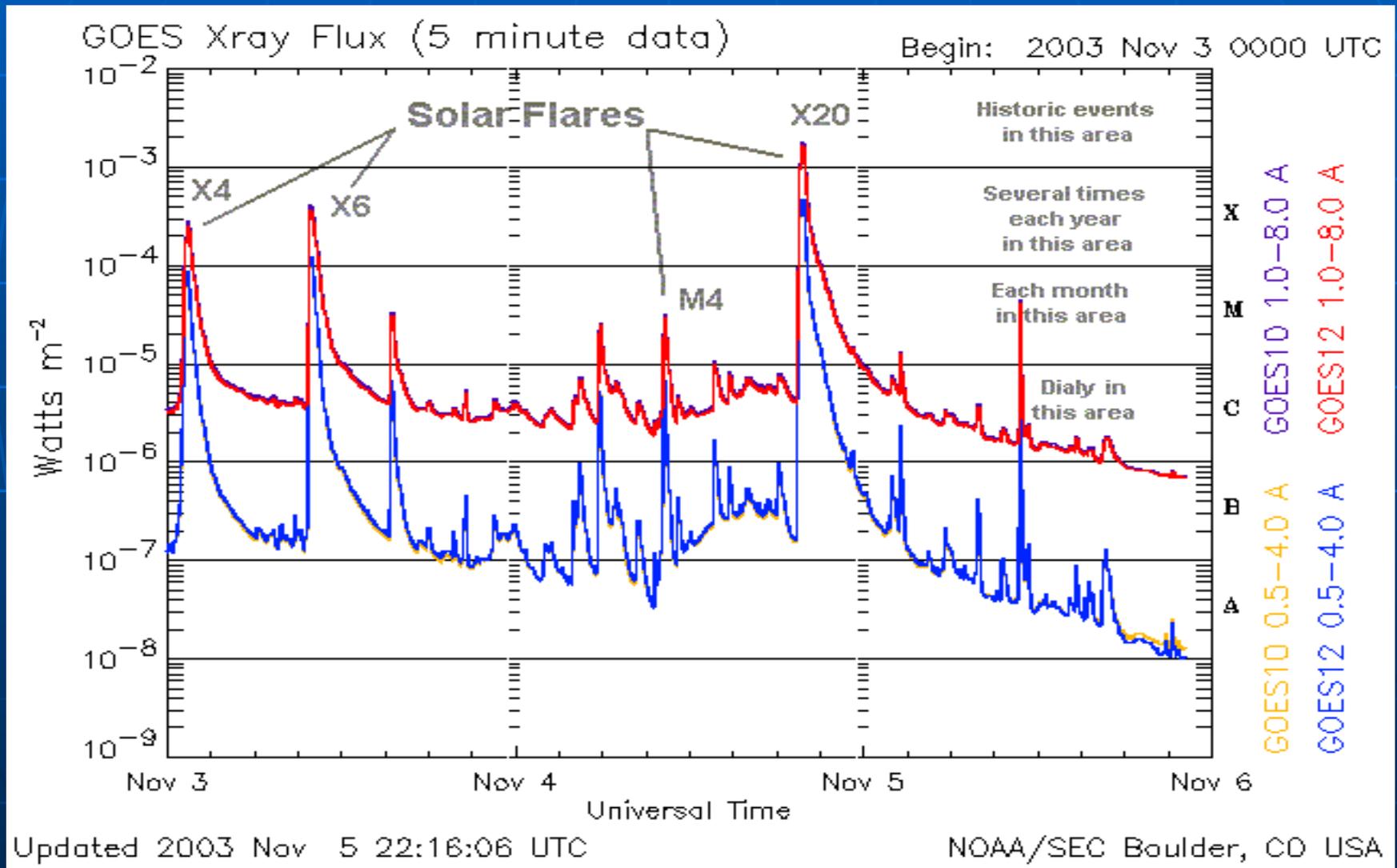
- Viene misurata dai satelliti GOES 10 (75°W) e GOES 12 (135°W) alle larghezze di banda di 1-8 e 0.5-4 Angstrom ed aggiornata sul Web ogni 5 minuti
- Il flusso, misurato in Watt per mq., viene assegnato ad una categoria contraddistinta da una lettera e da un numero moltiplicatore:
 - A = $1.0 \times 10E-8$: al minimo del ciclo solare
 - B = $1.0 \times 10E-7$: sole calmo negli anni intermedi
 - C = $1.0 \times 10E-6$: valori medi al massimo del ciclo
 - M = $1.0 \times 10E-5$: esplosioni solari di forte intensità
 - X = $1.0 \times 10E-4$: esplosioni solari di massima intensità
- Il flusso delle radiazioni X costituisce pertanto l'indicatore più comune delle perturbazioni solari che vengono catalogate come M5, X7, ecc.
- In data 4 nov.2003 il satellite è stato saturato dalla più forte esplosione della storia, classificata poi come X28.

GOES X-ray flux a fine gennaio 2005 bassa attività solare

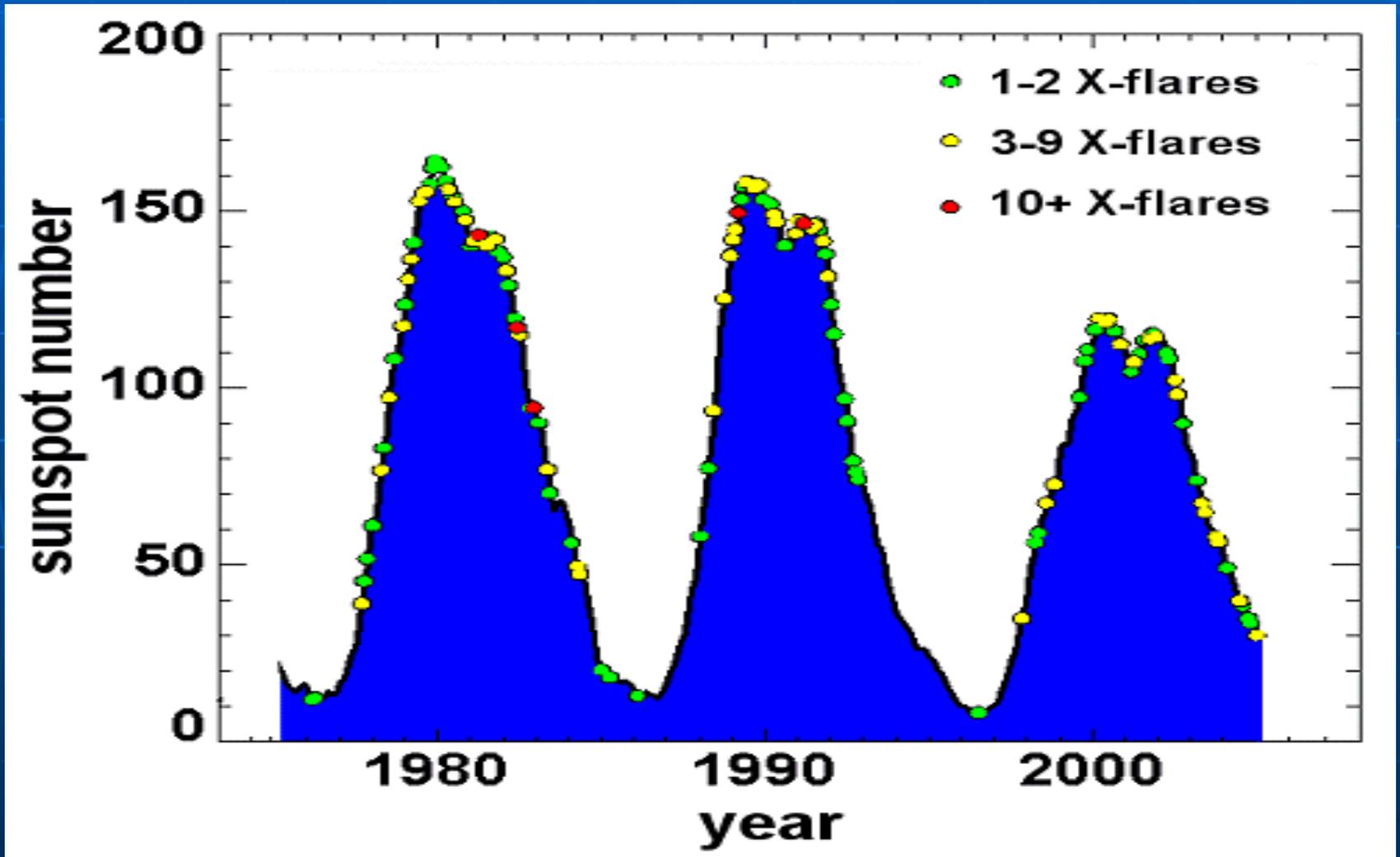


GOES X-ray flux – inizio novembre 2003

Massima attività del Ciclo 23°



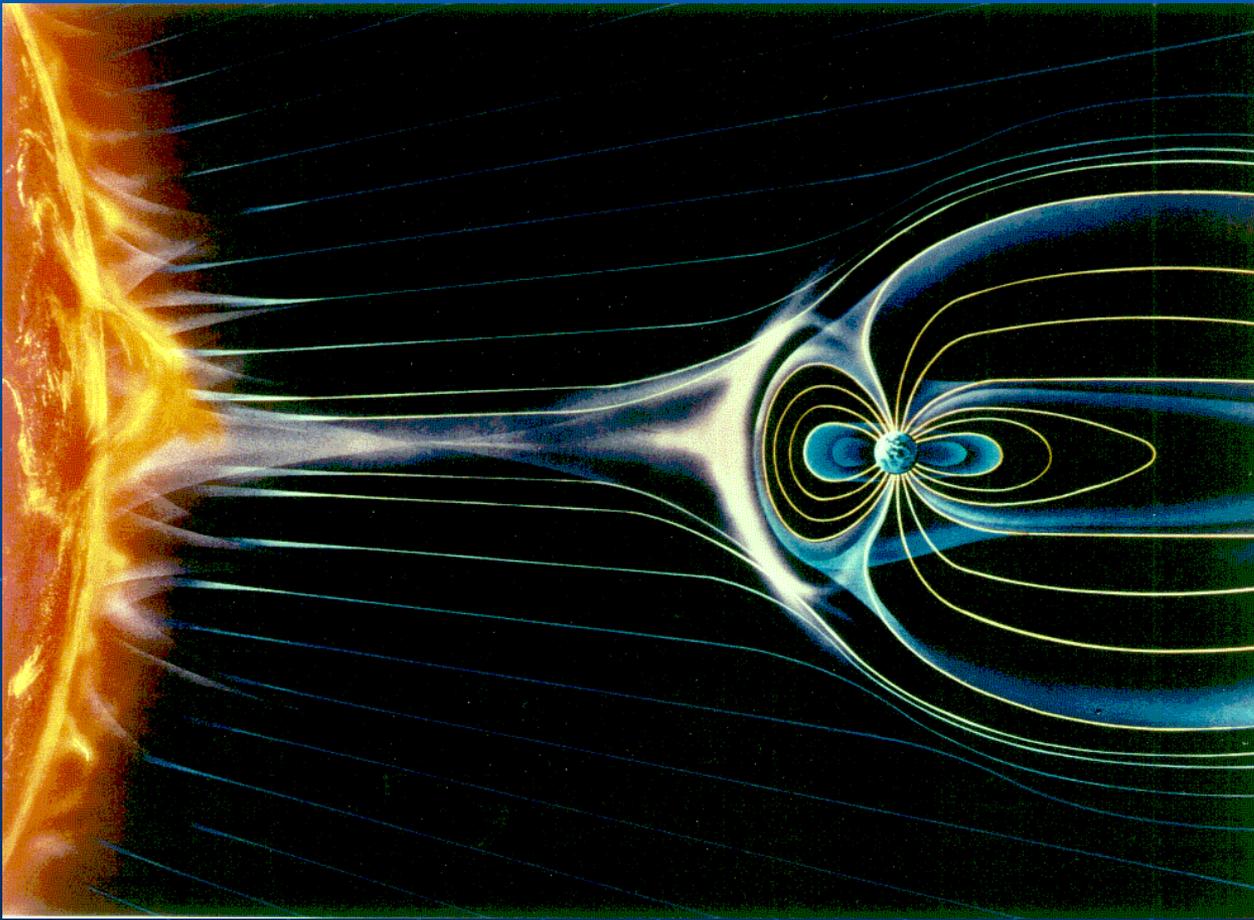
Frequenza mensile delle flares di categoria X verificatesi negli ultimi tre cicli solari (da 1 a 2, da 3 a 9, 10 e più eventi al mese)



L'attività solare

- Ma oltre alle normali radiazioni UV ed ai raggi X, che provvedono ogni mattina alla formazione degli strati ionosferici, dal sole provengono anche altre emissioni:
- Il vento solare, un getto continuo di plasma a velocità da 200 a 700 km/s, e che può aumentare ancora in caso di
- CME (coronal mass ejections), grosse emissioni di plasma dalla corona che raggiungono la Terra da 36 a 96 ore dopo un evento di
- Solar Flares, enormi esplosioni che si verificano nella Cromosfera in corrispondenza delle sottostanti regioni più attive (delle macchie) ed a volte accompagnate da altri eventi quali
- Proton Flares, eruzioni di protoni (particelle cariche positivamente) che raggiungono la Terra entro un'ora dall'esplosione e vengono attratte nelle regioni polari dove provocano un immediato assorbimento delle onde radio

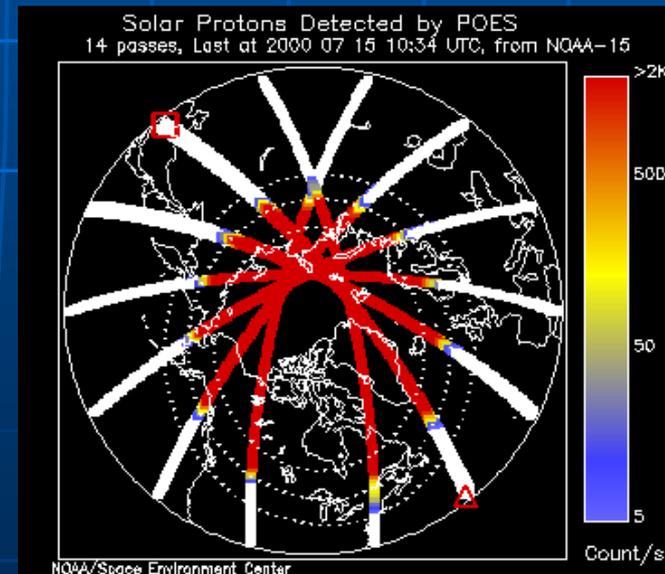
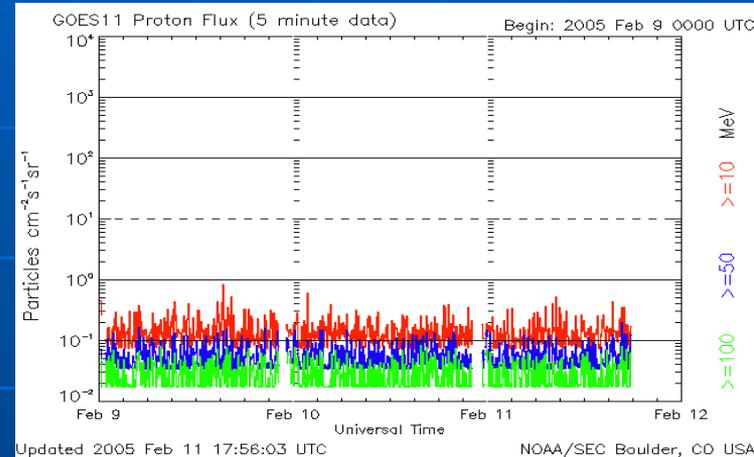
Il vento solare



- E' un flusso continuo di plasma (protoni ed elettroni) a velocità ed intensità variabile.
- La Terra ne è ben protetta dalla Magnetosfera ma
- una parte riesce a penetrare, attratta nelle due zone polari

Il flusso di protoni

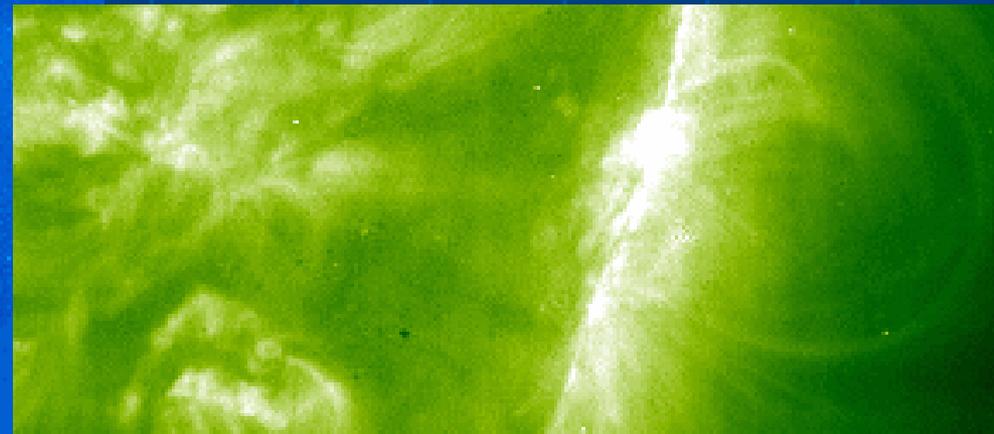
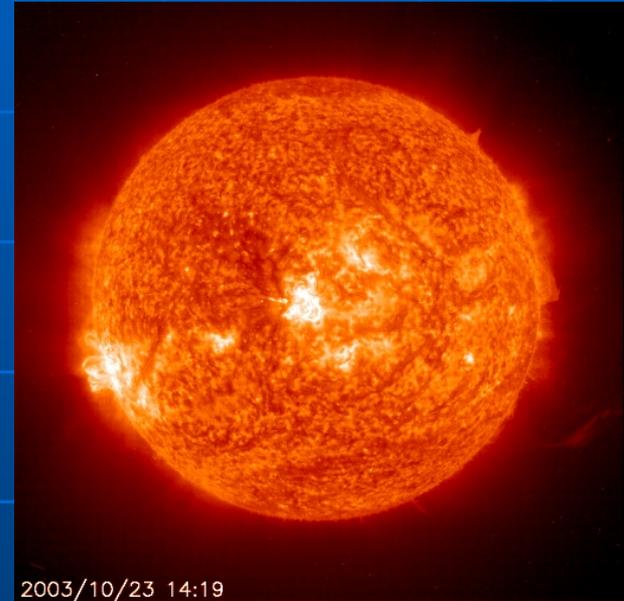
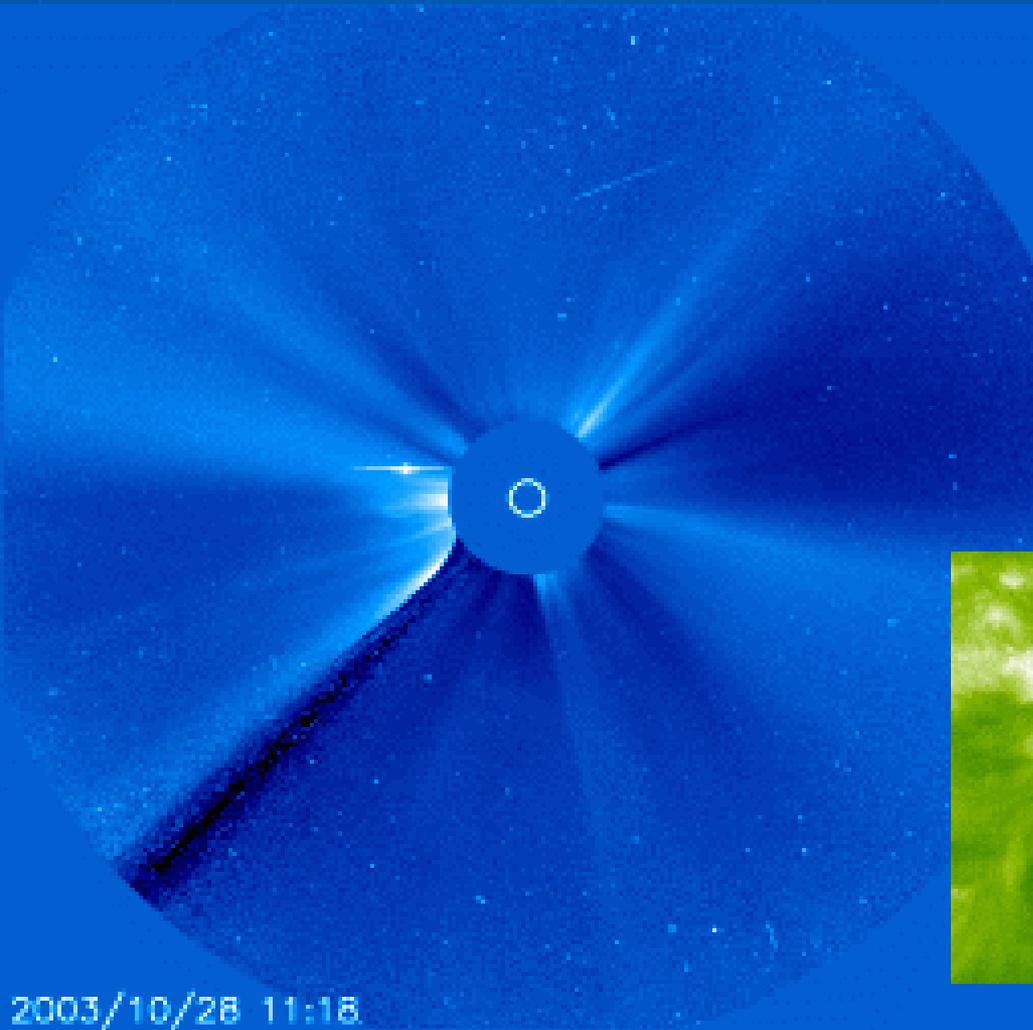
- Sono ioni carichi positivamente e rappresentano una componente importante del plasma.
- Occasionalmente si verificano degli SPE (Solar Proton Events) con forte impatto sulle comunicazioni in HF.
- Anche il flusso dei protoni viene monitorato dai satelliti geostazionari GOES in quota e dai satelliti polari POES che ne verificano gli effetti sotto i 100 km.



Le esplosioni solari

- Sono originate dall'improvviso rilascio di energia accumulata nei campi magnetici delle regioni attive del sole e possono essere immensamente potenti fino all'equivalente ad una bomba di 10 miliardi di megaton
- L'evento può durare da pochi minuti a diverse ore, portando le temperature fino a 5 milioni di gradi con enormi emissioni di:
 - Ultravioletto e radiazioni X che raggiungono la Terra in 8 minuti causando un immediato abnorme aumento della ionizzazione con effetti nell'emisfero illuminato
 - Protoni fortemente accelerati che raggiungono la Terra in un'ora e vengono deviati verso le regioni polari
 - Particelle di materiale carico che impiegano circa due giorni e vengono attratte nelle regioni polari dove provocano il fenomeno dell'Aurora ed il blocco delle radio comunicazioni per diversi giorni
- Nei casi più rilevanti hanno un forte impatto sul campo magnetico terrestre provocando anche danni ai sistemi delle radio comunicazioni, dei satelliti, degli impianti e delle linee elettriche che possono venire colpite da elevate correnti indotte.
- Un esempio dell'effetto degli eventi di ottobre/novembre 2003 e di novembre 2004 sulle comunicazioni radio è dimostrato su:160prk.XLW

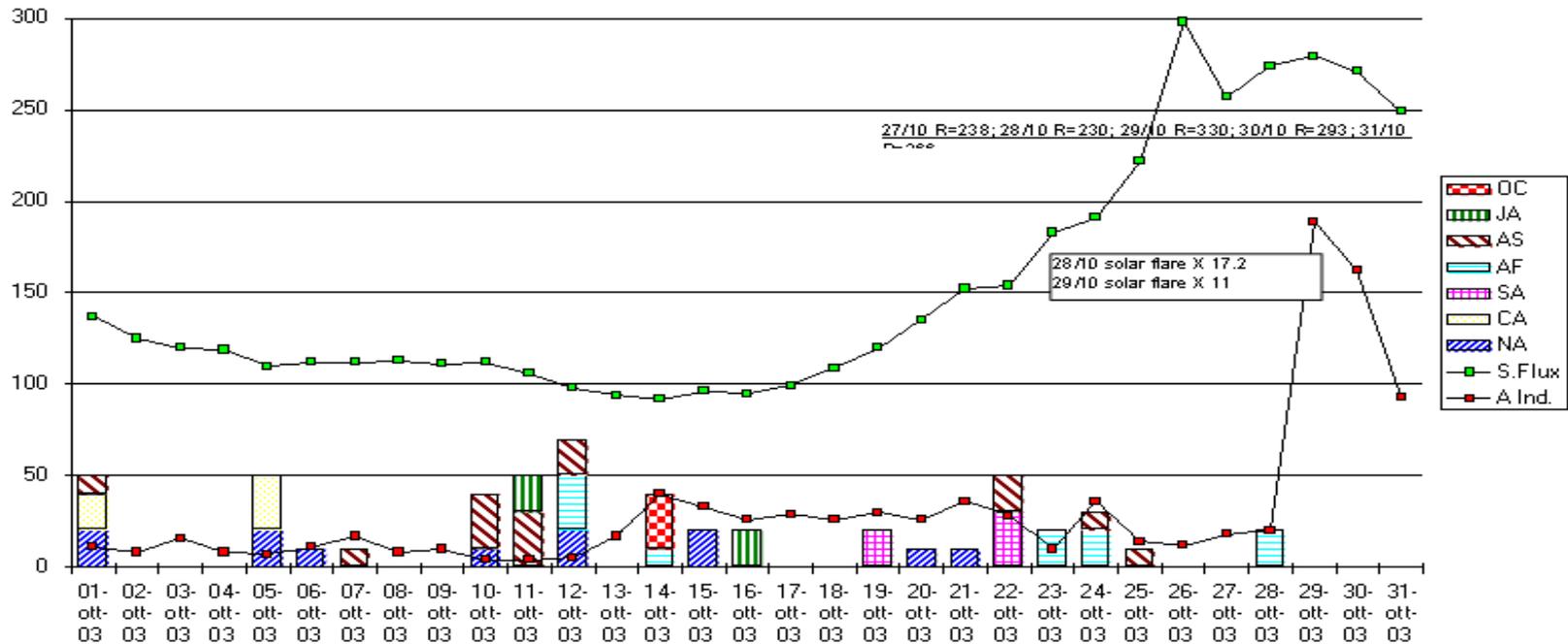
Le Solar Flares (esplosioni solari) di fine ottobre 2003 dal satellite SOHO



L'attività solare interrompe bruscamente la fase discendente facendo registrare il picco massimo del ciclo 23°, con tempeste devastanti
 La banda dei 160 metri diventa praticamente inutilizzabile per molti giorni

160 meters DX conditions from IV3PRK

October 2003

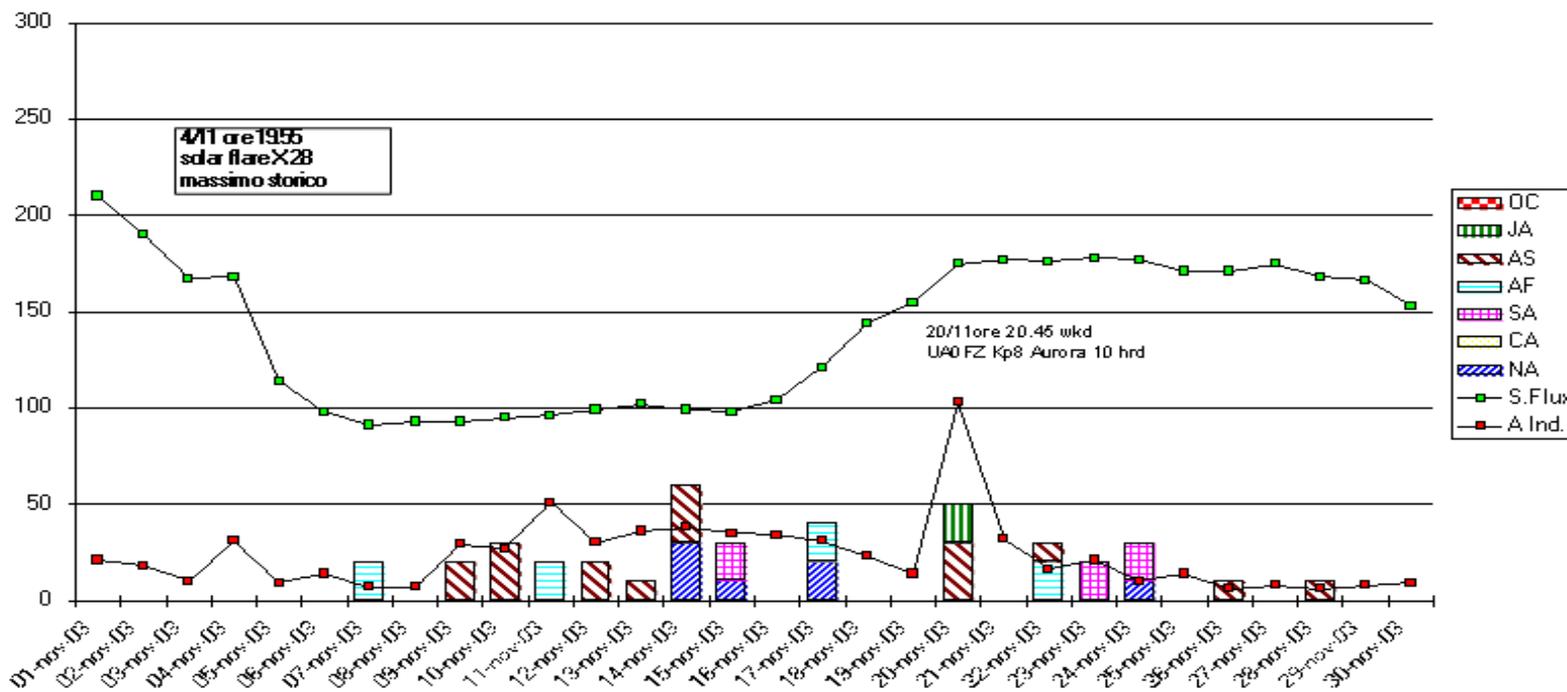


Location: Lat.: 46.10 N Long.: -13.10 W

Con esplosioni solari di livello X che segnano il nuovo massimo storico Per 25 giorni non si ascolta il minimo segnale da oltre Atlantico, neppure VE1ZZ o VY2ZM

160 meters DX conditions from IV3PRK

November 2003

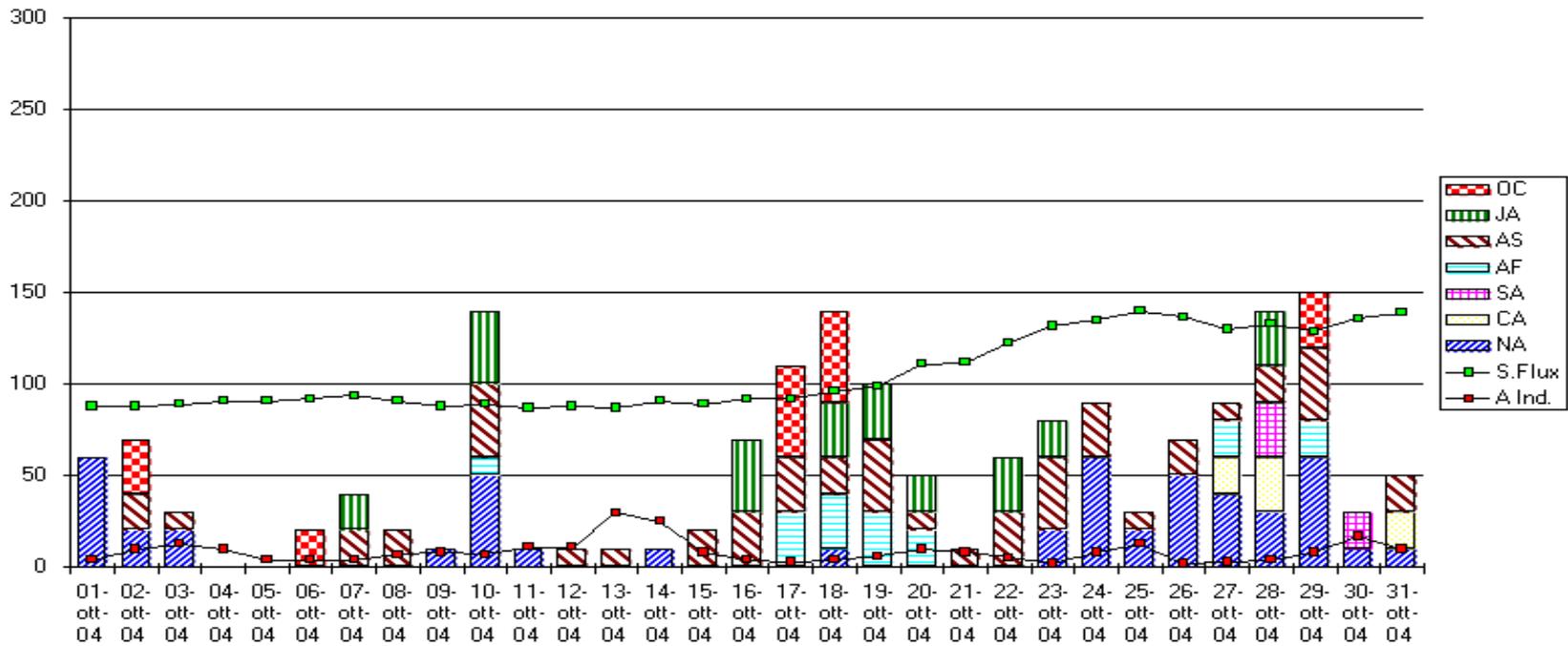


Location: Lat.: 46.10 N Long.: -13.10 W

Queste invece sono le condizioni tipiche che si verificano in ottobre con un'attività solare tranquilla, con le prime aperture verso Giappone e la West Coast

160 meters DX conditions from IV3PRK

October 2004

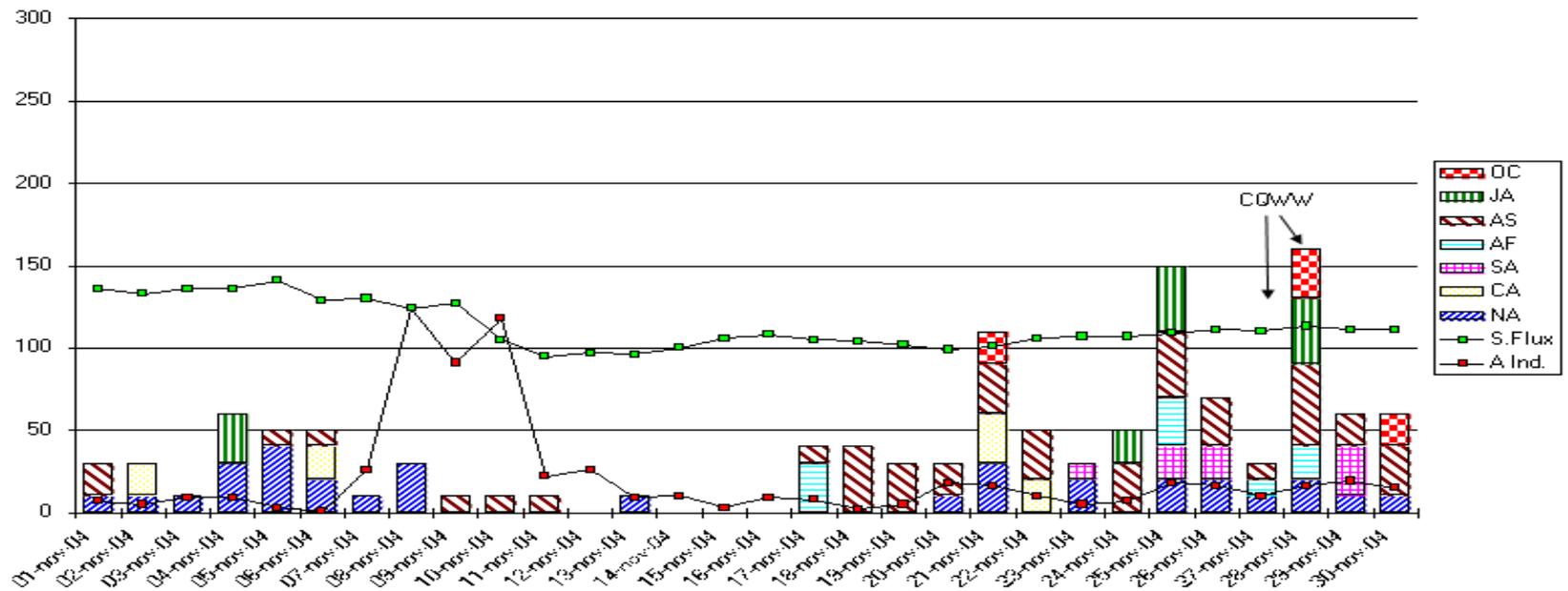


Location: Lat.: 46.10 N Long.: -13.10 W

Seguito però da una fortissima attività geomagnetica (K9) e diversi giorni di “Aurora” – il primo giorno risulta “interessante” con segnali anche forti, devianti e con molto QSB – poi nei giorni successivi, neppure il rumore – ottimi i 6 metri!

160 meters DX conditions from IV3PRK

November 2004



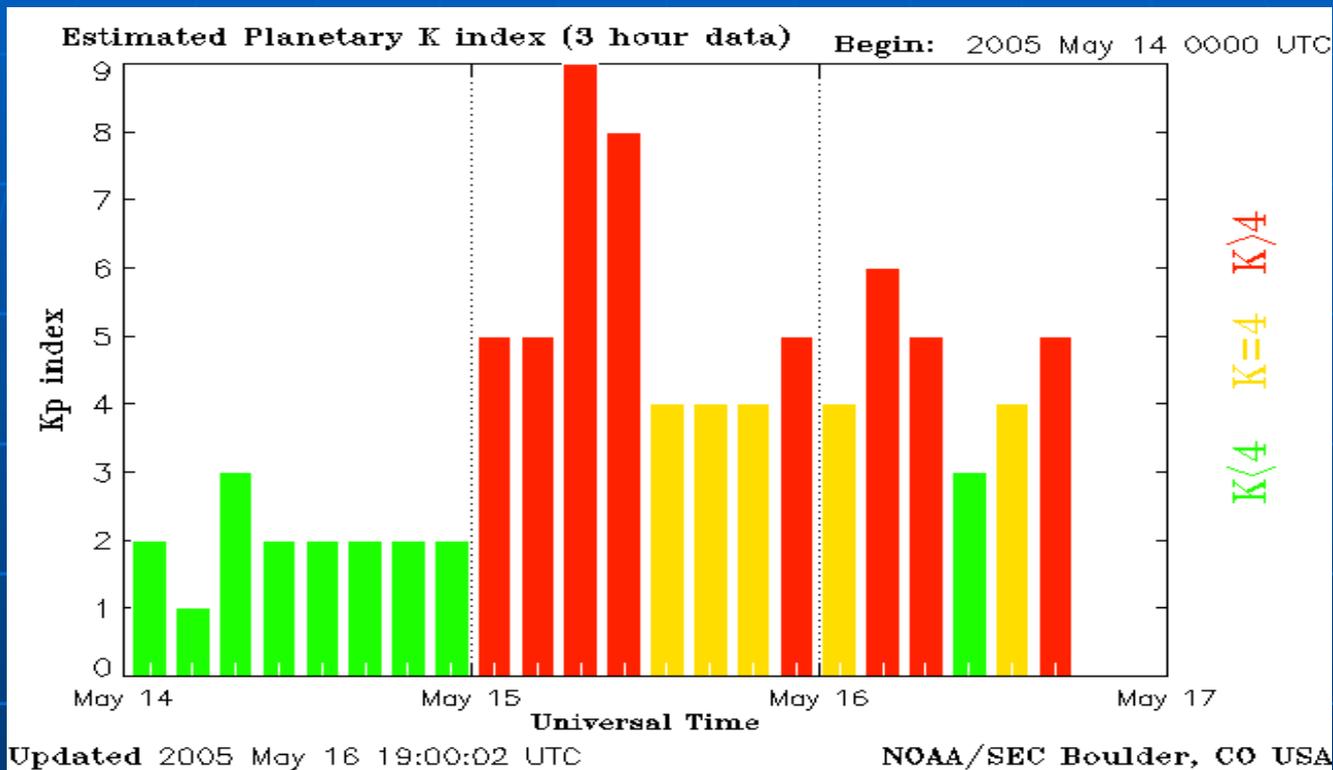
Location: Lat.: 46.10 N Long.: -13.10 W

L'attività geomagnetica

E' stato così introdotto l'altro fattore fondamentale per le comunicazioni radio a lunga distanza,

- Il campo magnetico terrestre, che viene fortemente e direttamente influenzato dai flussi di plasma (composto da protoni ed elettroni) proveniente dal Sole, ed a sua volta condiziona la propagazione in HF ed MF.
- L'attività geomagnetica è rappresentata dagli indici A e K, e più sono bassi, migliori risultano le condizioni di propagazione, a prescindere dal livello del flusso solare
- L'indice K viene rilevato ogni 3 ore e varia da un minimo di K0 ad un massimo di K9, riflette la situazione in essere
- L'indice A congloba le rilevazioni medie planetarie (A_p) del giorno precedente e varia da un minimo di A0 ad un massimo di A400, viene utilizzato nelle analisi storiche.
- Quando gli indici si alzano ($K > 4$ o $A > 30$) la propagazione diventa instabile e si deteriora, con maggior effetto alle alte latitudini fino ad inibire i percorsi polari;
- Minori sono gli effetti sui percorsi transequatoriali.

L'indice K



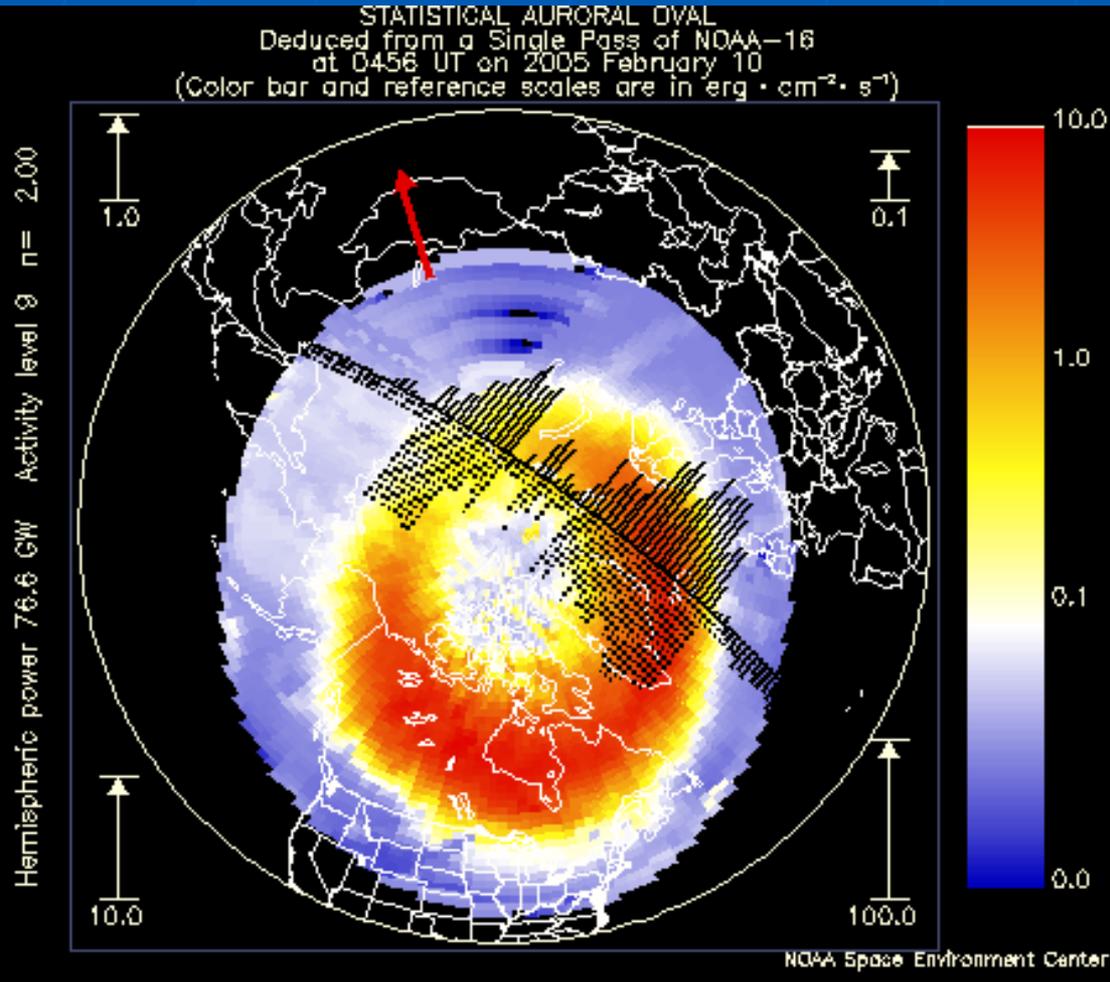
- Venerdì 13 maggio 2005 alle 16.50z ebbe luogo un'enorme esplosione nella zona centrale del Sole, in direzione verso la Terra
- Per l'intero sabato l'indice K è rimasto normalmente basso
- Il campo magnetico terrestre viene colpito alle 02.30z di domenica 15, provocando una tempesta geomagnetica "estrema" di livello K9 ed aurora visibile fino in Arizona.

L'Aurora

- Le cariche dei protoni ed elettroni attratti nelle regioni polari a seguito di solar flares e CME's collidono con gli atomi di ossigeno ed azoto dell'atmosfera, formando un gas fluorescente di varie colorazioni.
- Questa è il fenomeno dell'aurora, avviene all'altezza di circa 100 km ed è visibile e fotografato a centinaia di km. di distanza in Nord America e Nord Europa.
- Gli assorbimenti diventano proibitivi, con black-out delle comunicazioni radio in onde medie e corte, ma possono verificarsi condizioni eccezionalmente favorevoli in 6 metri e VHF



L'ovale dell'aurora



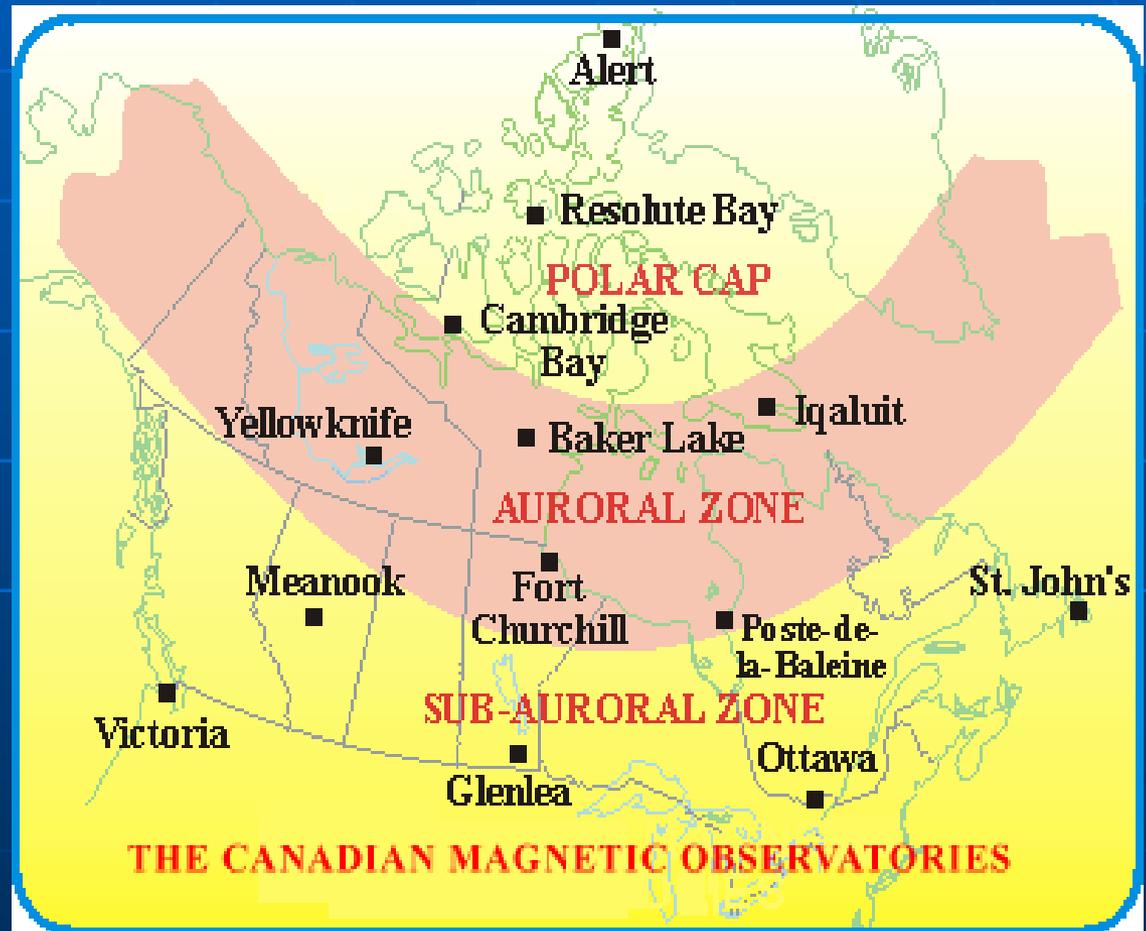
Con i satelliti polari POES la NOAA misura, e pubblica in tempo reale ad ogni passaggio, il flusso di protoni ed elettroni sulle regioni polari.

E' stato fissato un indice di attività come segue:

Potenza dissipata Gigawatts	Indice di Attività	Indice Kp
4-6	3	1+
10-16	5	2+
24-39	7	3+
61-96	9	5 -

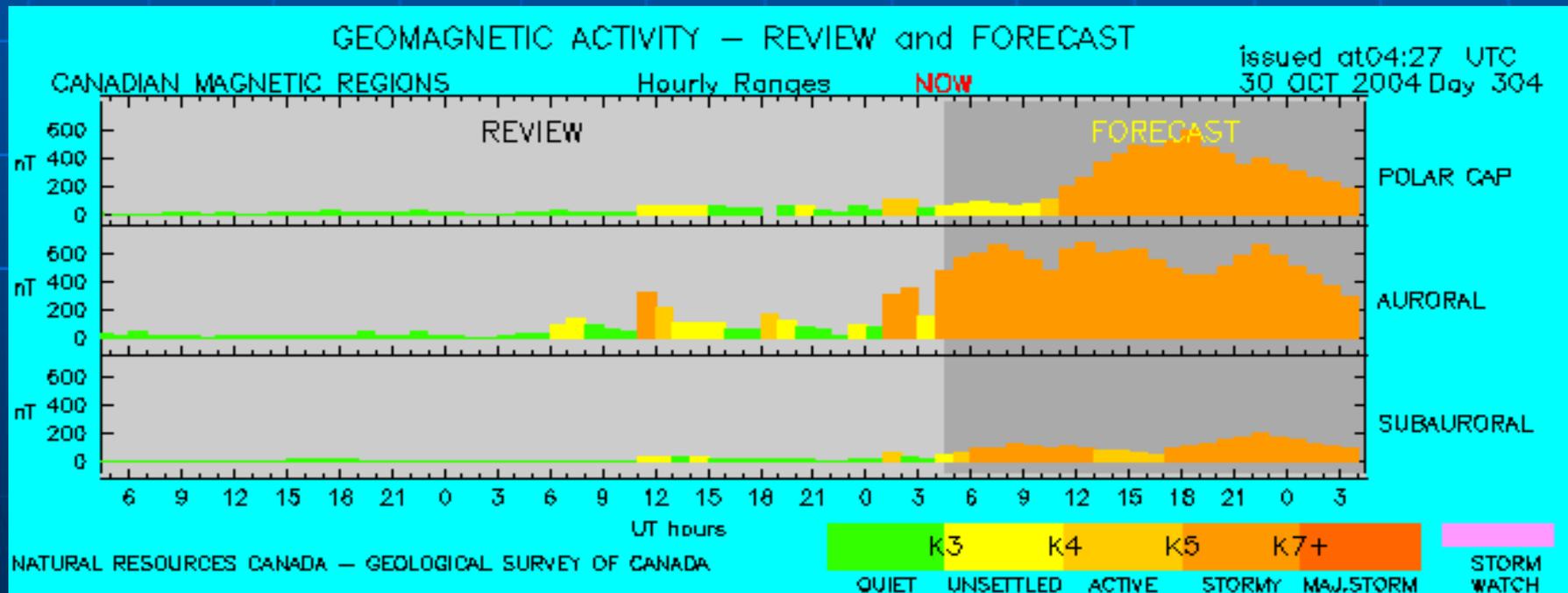
Previsioni a brevissima scadenza dell'attività geomagnetica

- I dati forniti dai diversi Osservatori Magnetici del Canada sono utilissimi per gli utilizzatori delle gamme basse.
- Sono reperibili sia direttamente <http://www.spaceweather.gc.ca/>
- che dall'ottimo sito di VE6WZ <http://www.qsl.net/ve6wz/geomag.html>

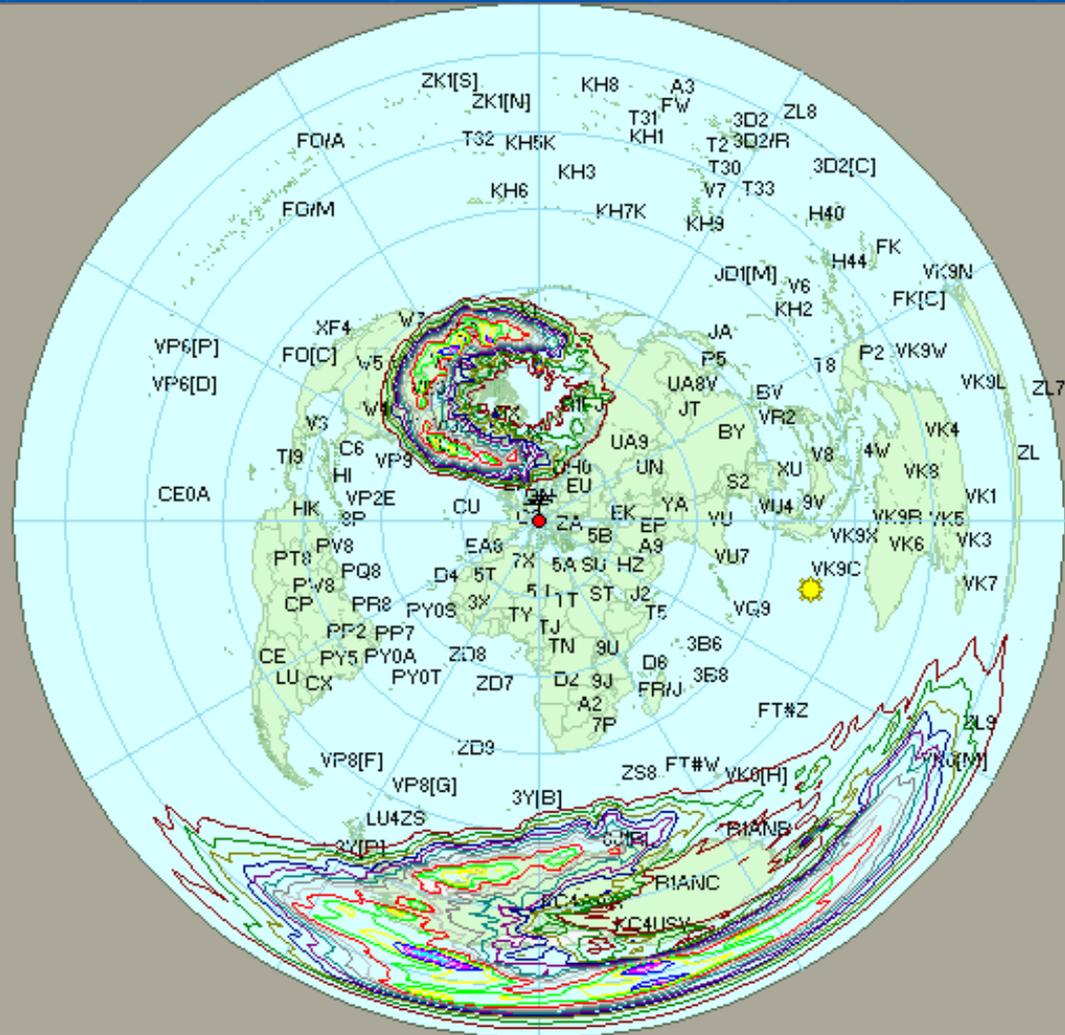


Previsioni a brevissima scadenza dell'attività geomagnetica

- Vengono forniti i grafici per ogni singolo Osservatorio, con dati anche sensibilmente diversi, a dimostrare l'elevata variabilità e turbolenza della regione.
- Per noi sono più indicativi i dati compattati per tre fasce:

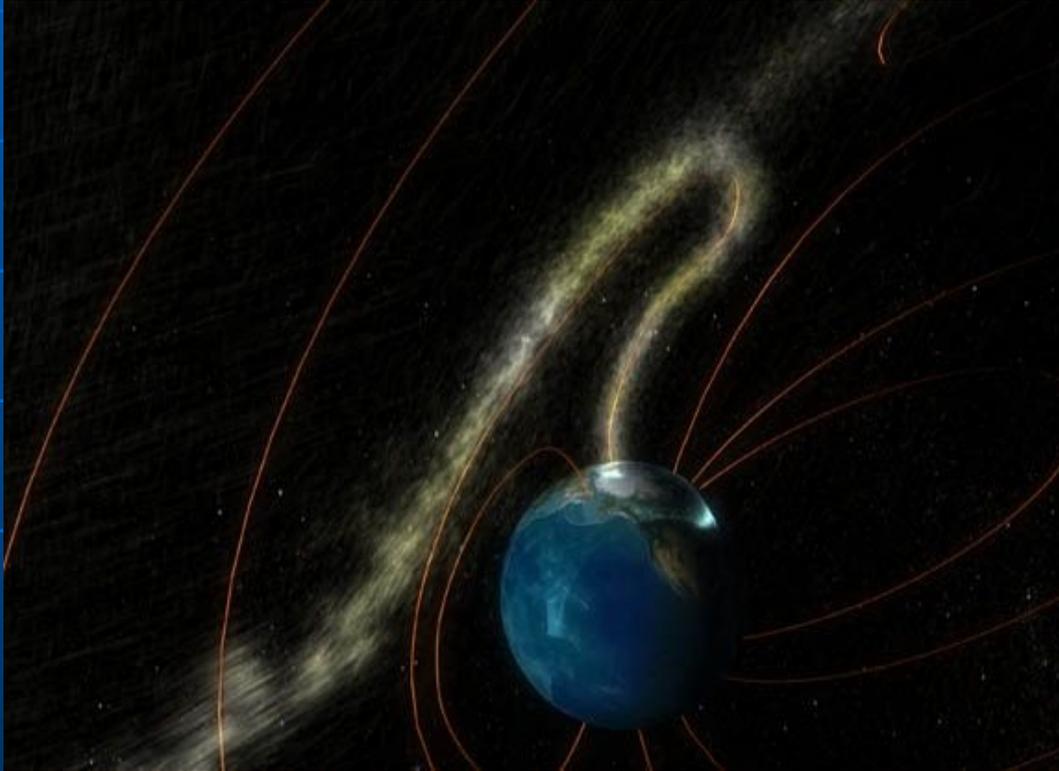


L'ovale dell'aurora (visto) da IV3



- Questa è una proiezione polare tratta da DX Atlas con l'indice di aurora posto a 10 (o K5)
- E' evidente che i percorsi verso gli USA ed il Pacifico Centrale sono fortemente penalizzati
- Analogamente l'aurora è presente anche sulla calotta polare australe ma ha una scarsa influenza per l'Europa

Il ciclo attuale



- Dove siamo ?
- Quale futuro ?

Il ciclo solare 23° è prossimo alla fine

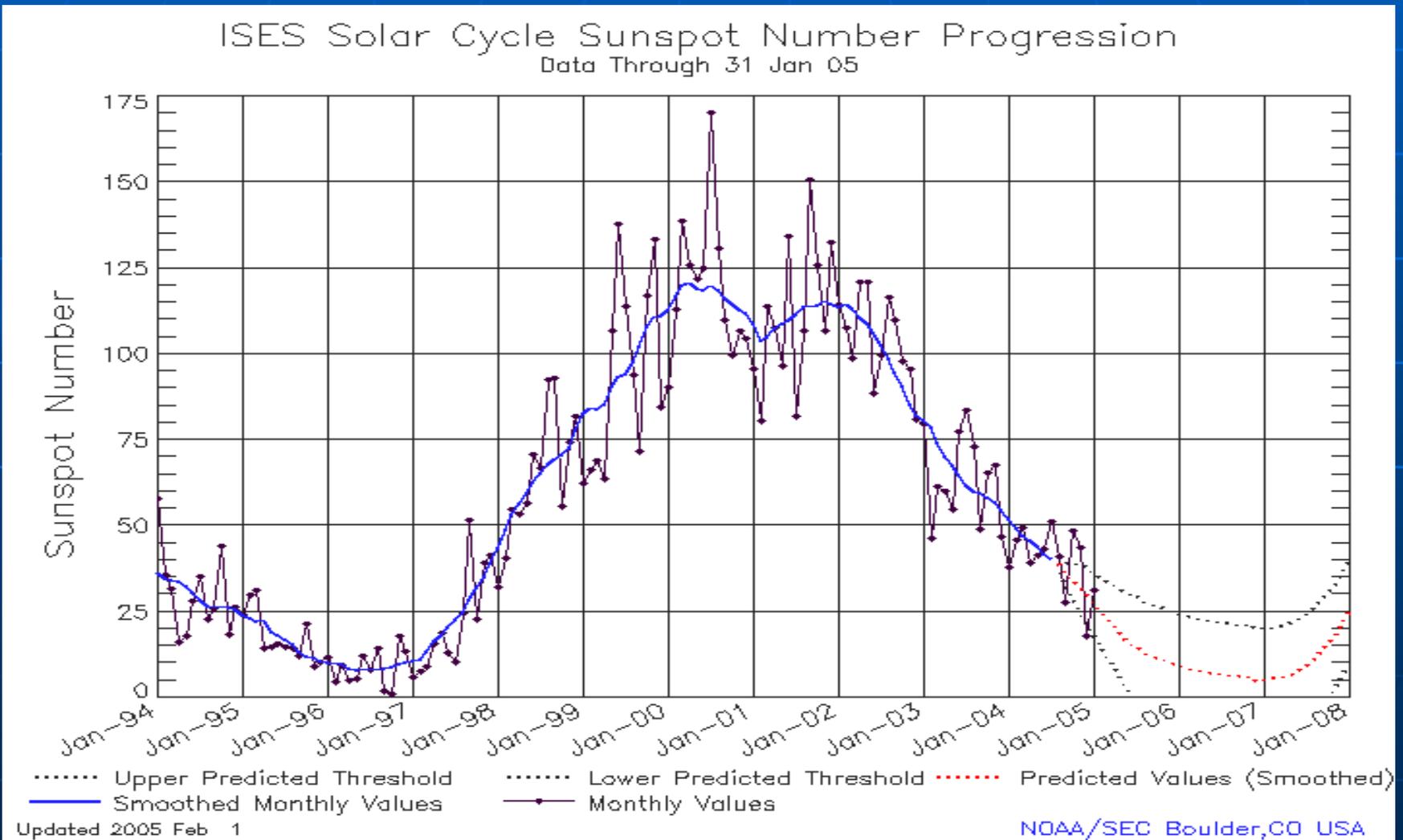
- Dopo aver registrato il picco massimo delle macchie solari (media mobile di 12 mesi delle medie mensili) con un SSN di 121 centrato ad aprile 2000, ha iniziato la fase discendente,
- ma ha avuto una fortissima ripresa alla fine del 2001 segnalando i massimi del flusso solare.
- Alla fase calante è corrisposta una forte ripresa di turbolenze ed esplosioni solari, che hanno provocato un sensibile aumento dell'attività geomagnetica, con massimo storico ad ottobre/novembre 2003, e di conseguenza
- abbiamo subito, in questi ultimi anni, un netto peggioramento delle condizioni di propagazione, soprattutto sulle bande più basse.

La tabella ufficiale dei numeri di SSN del ciclo 23°
utilizzabili per le previsioni di propagazione è quella tenuta dal NGDP
 (National Geophysical Data Center) ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1996										9	10	10
1997	10	11	13	16	18	20	23	25	28	32	35	39
1998	44	49	53	56	59	62	65	68	70	71	73	78
1999	83	85	84	86	91	93	94	98	102	108	111	111
2000	113	117	120	121	119	119	120	119	116	115	113	112
2001	109	104	105	108	109	110	111	114	114	114	116	115
2002	114	115	113	110	109	106	103	99	95	91	85	82
2003	81	79	74	70	67	65	62	60	59	58	57	55
2004	52	49	47	46	44	42	40	38	36	35	34	33
2005	31	30	29	28	25	24	23	23	22	22	21	20
2006	19	18	17	16	16	15	15	14	13	13	12	11
2007	11	11	11	11	11	11	12	13	14	14	15	16

Il ciclo solare 23°

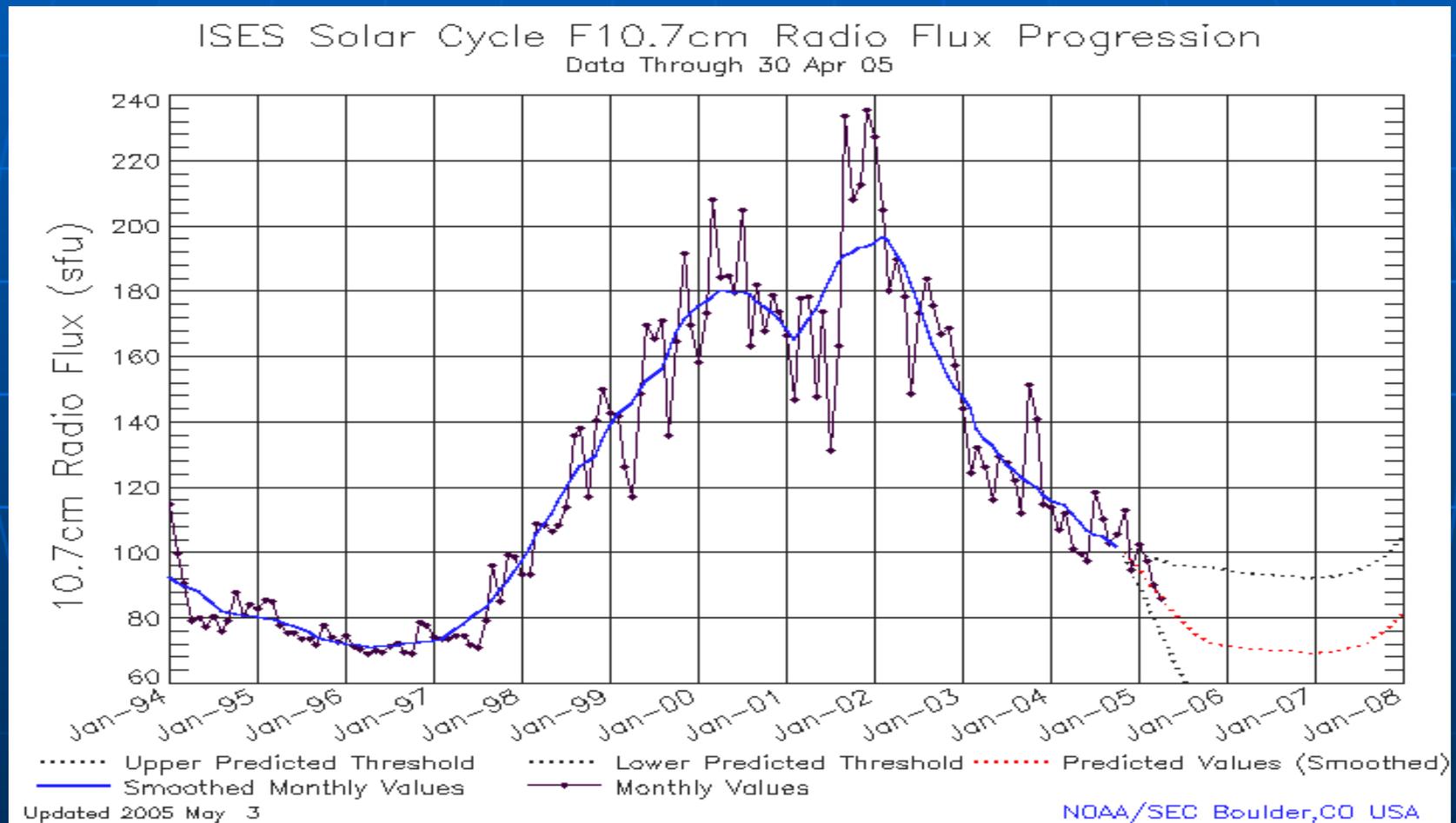
Andamento del numero medio livellato delle Macchie Solari
Picco massimo ad Aprile 2000 – minimo previsto ad inizio 2007



Il ciclo solare 23°

Andamento della media mensile del Flusso Solare

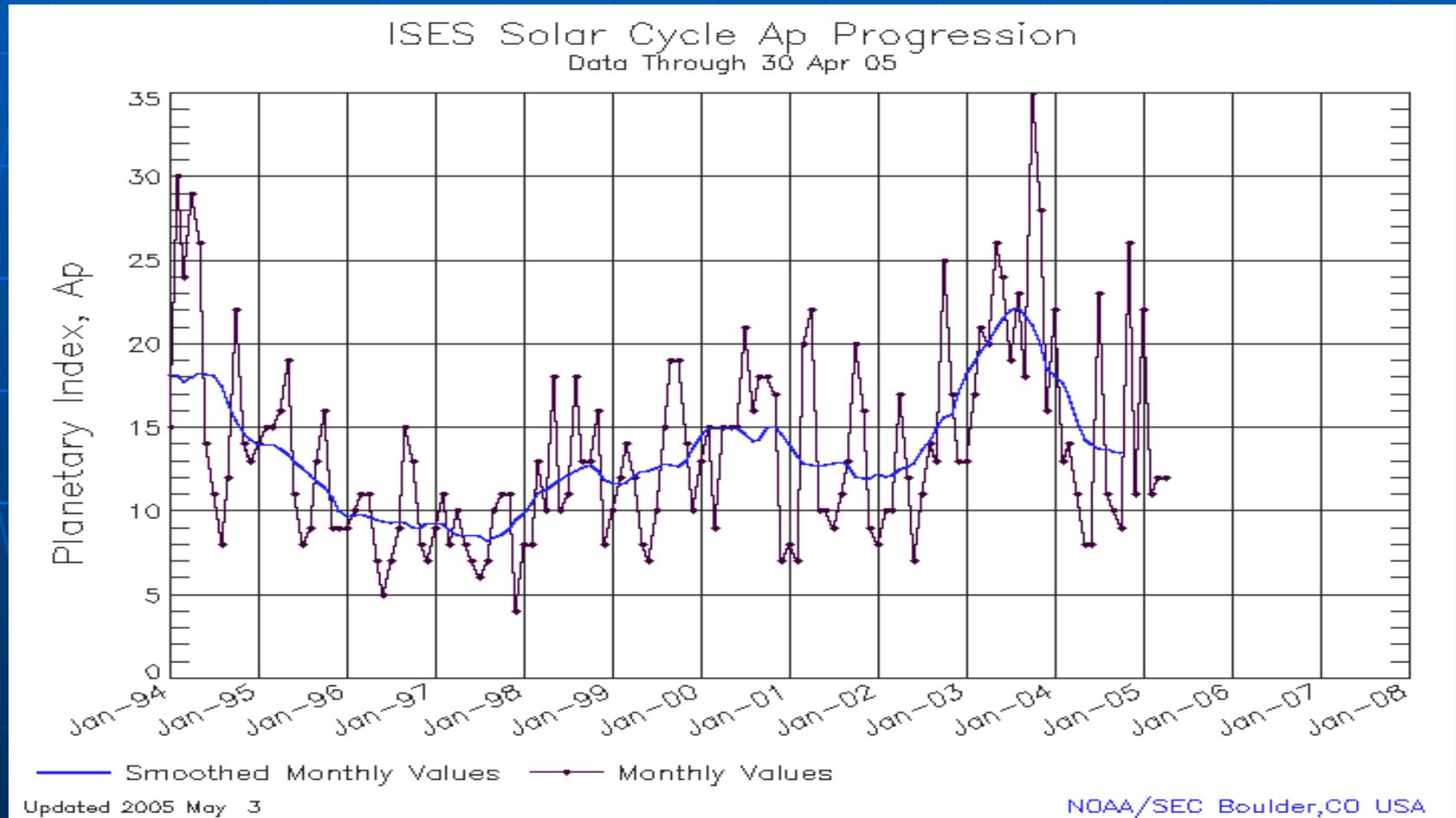
Picco massimo a dicembre 2001



Il ciclo solare 23°

Andamento della media mensile dell'indice Ap

Picco massimo ad ottobre 2003



Percentuale dei giorni “disturbati” negli ultimi cicli solari da maggio a novembre nel quarto anno successivo al picco

Ciclo	Data Massimo	Picco SSN	Mag/Nov. 4°anno succ	% giorni $K \geq 4$
19°	3/1958	201	1961	18,9%
20°	11/1968	111	1972	13,1%
21°	12/1979	164	1983	26,8%
22°	7/1989	158	1993	21,3%
23°	4/2000	121	2003	39,5%

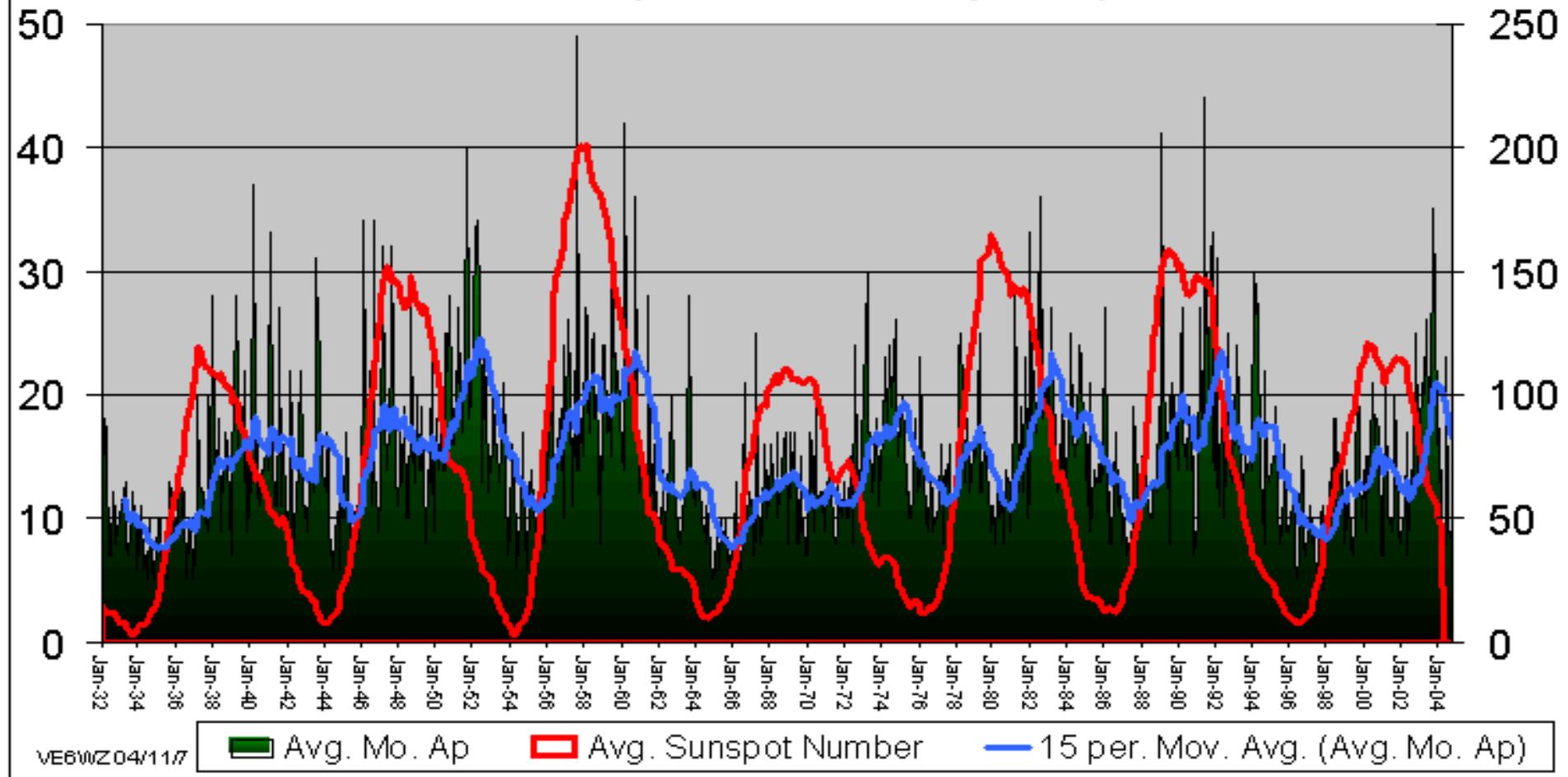
Cosa possiamo aspettarci per il resto del ciclo ? È veramente anomalo rispetto ai precedenti ?

Percentuale dei giorni con $K = > 4$ rilevati nei cinque anni successivi al picco

Ciclo solare	19°	20°	21°	22°	23°
SSN max	201	111	164	158	121
Mese max	3/1958	11/1968	12/1979	7/1989	4/2000
1° 12 mesi	25,4%	13,0%	12,9%	27,9%	18,5%
2° 12 mesi	29,5%	12,7%	22,4%	23,5%	12,6%
3° 12 mesi	32,2%	14,5%	36,0%	29,2%	25,0%
4° 12 mesi	15,3%	13,5%	30,3%	23,9%	37,0%
5° 12 mesi	19,0%	27,2%	30,7%	29,4%	?

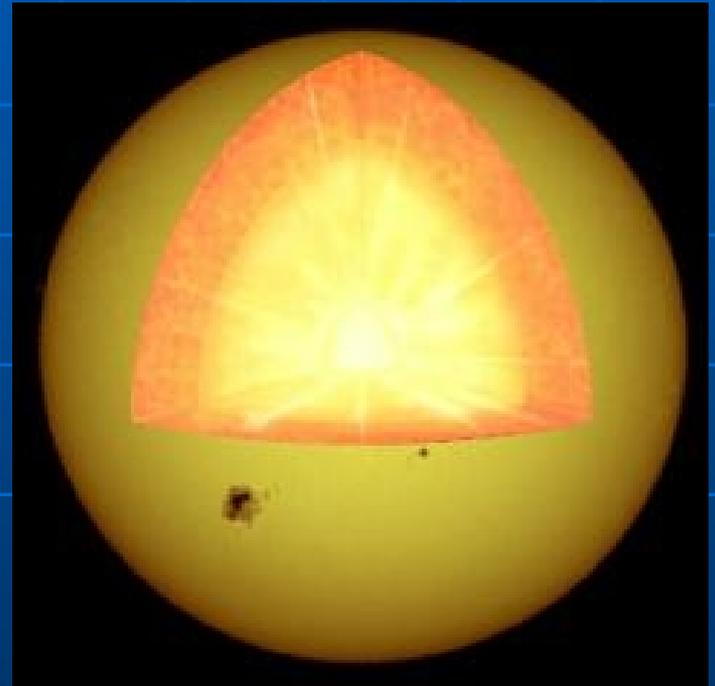
Cosa possiamo aspettarci per il resto del ciclo ? È veramente anomalo rispetto ai precedenti ?

Smoothed Sunspot No. Vs. Monthly Av. Ap index

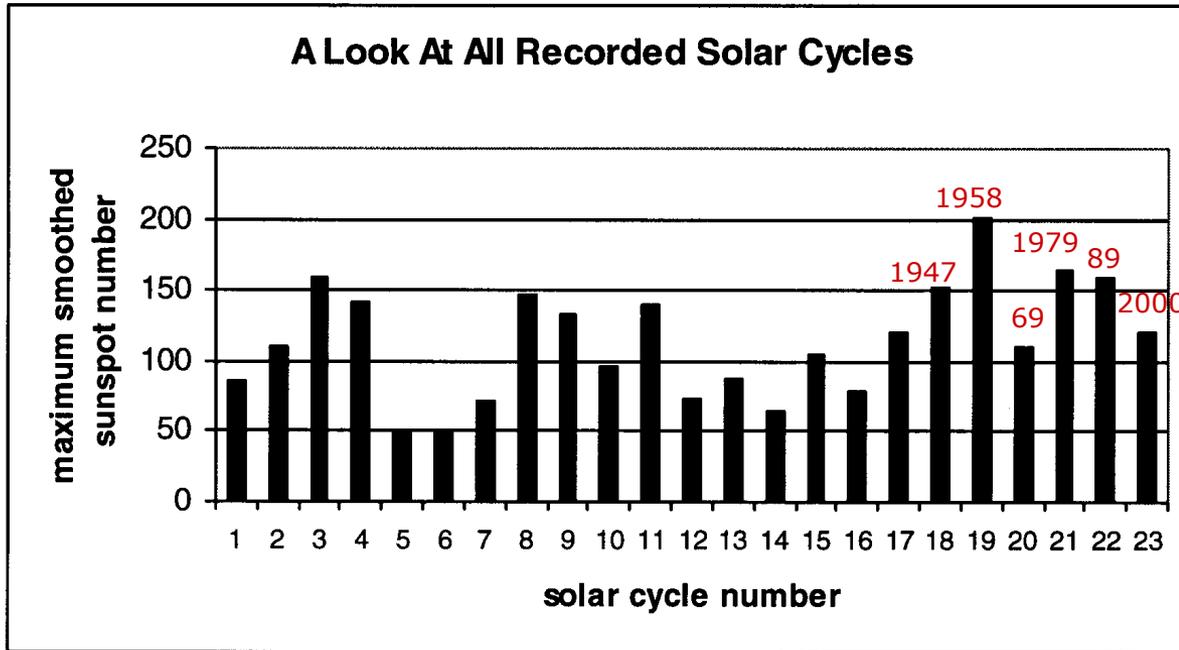


Il prossimo ciclo solare sarà il più debole degli ultimi 100 anni ?

- Le ultimissime ricerche, che esaminano l'interno del Sole per produrre le previsioni sulla formazione delle macchie solari con 7 anni di anticipo, hanno fornito i seguenti risultati, con i dati a marzo 2005:
- Picco del ciclo 24° previsto nel 2011 con un numero di macchie di 75 (margine di errore +/-8)
- Questo sarebbe il massimo più basso sin dal ciclo 14°, che raggiunse il numero di 64 nel 1906.



La serie di tutti i cicli solari registrati



F Maximum R_{12} for All Cycles

- I dati sono di natura ciclica
- Noi abbiamo sempre vissuto con cicli solari elevati
- Sembra molto probabile che ora andremo incontro ad un lungo periodo di cicli con bassa attività solare

Da K9LA al DX Forum di Dayton - 2005

Ultimissime dal DX Forum di Dayton 20-22 maggio 2005

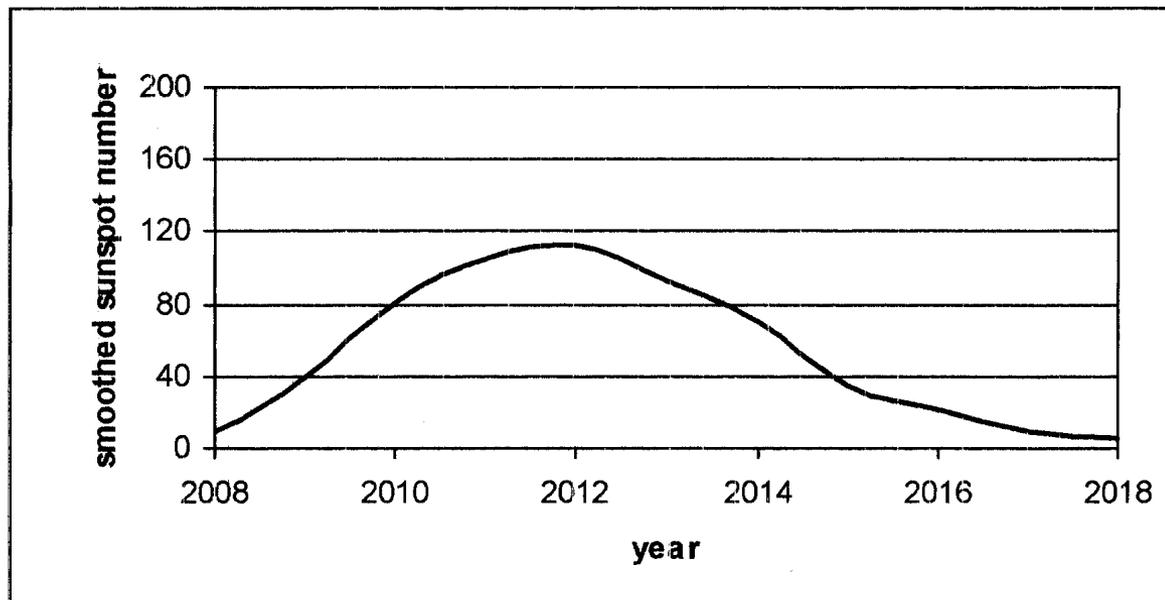


Figure 4 – Cycle 24 Prediction

Il ciclo 23° volge alla fine e stiamo vedendo sempre più previsioni sul prossimo da parte della comunità scientifica.

Tutti concordano sul fatto che il ciclo 24° non sarà più elevato del 23°

Alcuni prevedono addirittura un SSN medio massimo attorno a 75.

- Non abbiamo visto nulla di simile sin dal ciclo 16° (1923-1933)

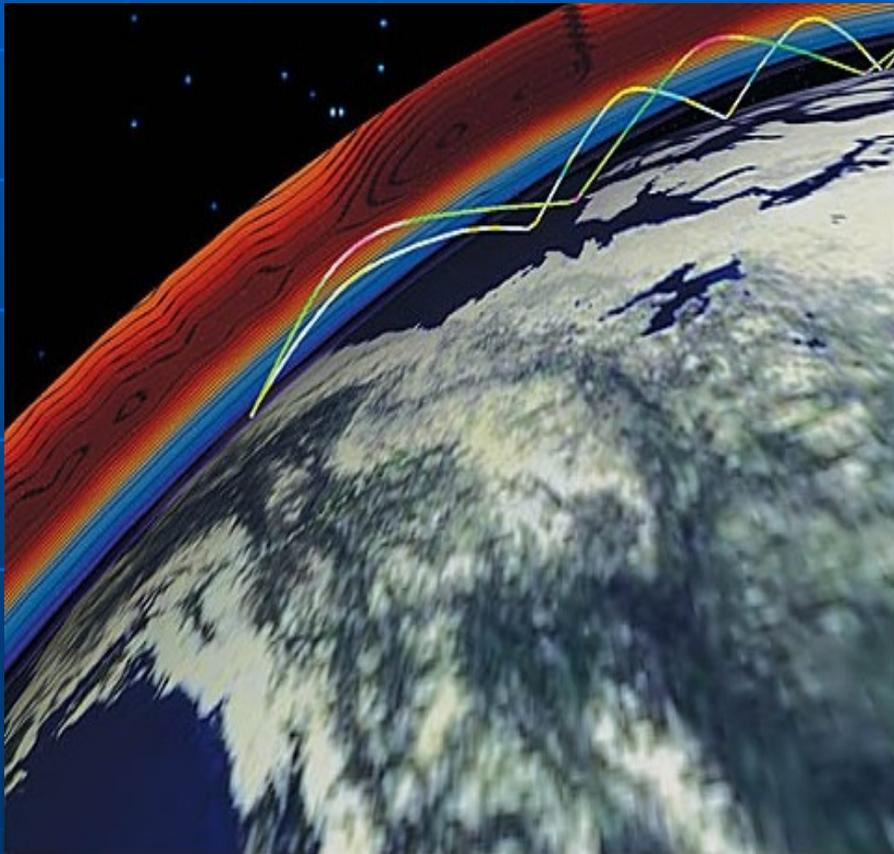
Da K9LA al DX Forum di Dayton - 2005

Conclusioni

- Siamo a circa un anno e mezzo dal minimo del ciclo
- Le condizioni DX sulle bande più alte (15m, 12m, e 10m) saranno quasi inesistenti, fatta eccezione per occasionali aperture nord-sud
 - ma attenzione all' E sporadico e tenere sempre d'occhio a cosa succede sul sole.
- Le bande basse avranno maggiore attività e miglioreranno in generale, ma soprattutto sui percorsi ad elevate latitudini;
 - gli anni dal 2006 al 2008 dovrebbero essere molto buoni in 80 e 160 metri.
- Il ciclo 24° sarà nel complesso piuttosto debole.

Da K9LA al DX Forum di Dayton – 2005

....alla prossima presentazione



1. Il Sole e le sue attività.
Il campo geomagnetico e l'aurora.
Il ciclo solare 23°.
2. **Gli strati ionosferici.**
I meccanismi di propagazione e le MUF.
Assorbimenti, perdite ed SNR.
3. Le previsioni di propagazione.
VOACAP ed altri software.
Dalle HF alle basse frequenze.
4. Le bande basse con focus sui 160 metri.
Grafici, analisi con Proplab, e 20 anni di esperienze sulla Topband.