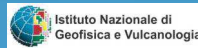


# *Il monitoraggio e lo studio delle Scintillazioni Ionosferiche come supporto ai sistemi di posizionamento e navigazione satellitare*

L. Spogli, L. Alfonsi, G. De Franceschi, V. Romano



*1° Congresso Nazionale di ANFeA  
Roma, Auditorium ISPRA, 1 e 2 dicembre 2011  
Settore Fisica della Terra, dell'ambiente e del territorio*

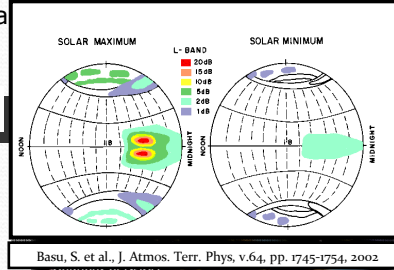
## Indice

- Introduzione
  - Scintillazione ionosferica
  - Problematiche navigazione satellitare
- Misura delle Scintillazioni
  - Ricevitori e network
- Ground Based Scintillation Climatology
  - Studi scientifici
  - Caratterizzazione di stazioni di misura
- Sfide del prossimo futuro
  - Mitigazione
  - Previsione
- Conclusioni

# Introduzione (I)

- Accoppiamento Vento Solare-Magnetosfera
- Perturbazione della Ionosfera
  - Variazioni (+/-) della  $\rho_{\text{elett}}$
  - Fluttuazioni dell'indice di rifrazione

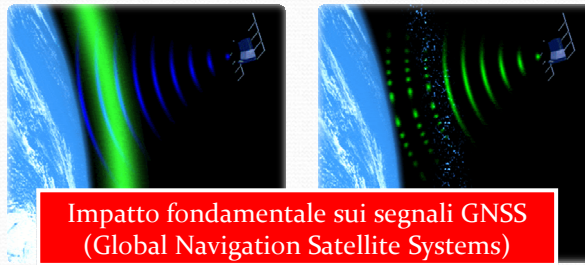
$$\Delta n \approx -\frac{r_e \lambda^2}{2\pi} N$$



Basu, S. et al., J. Atmos. Terr. Phys, v.64, pp. 1745-1754, 2002

## SCINTILLAZIONE IONOSFERICA:

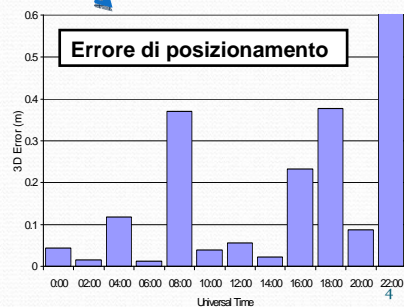
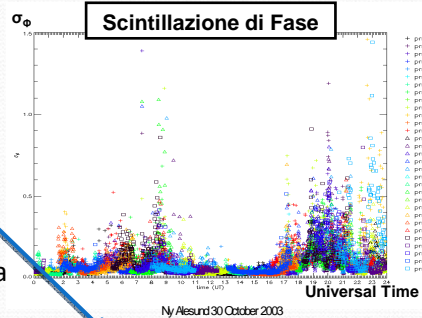
- Fluttuazione dei segnali trans-ionosferici
  - Fase
  - Ampiezza
- Poli ed equatore magnetici



Impatto fondamentale sui segnali GNSS  
(Global Navigation Satellite Systems)

# Introduzione (II)

- **Scintillazione:** ridotta accuratezza di pseudorange e fase
  - aumento errore di posizionamento.
- Intensi eventi di scintillazione:
  - Perdita del collegamento
  - Posizionamento impossibile
- Grande rilevanza scientifica e tecnologica (GPS, GLONASS, GALILEO)
  - Prossimo massimo solare: 2013
  - Meteorologia spaziale (Space Weather)



# Misura delle Scintillazioni

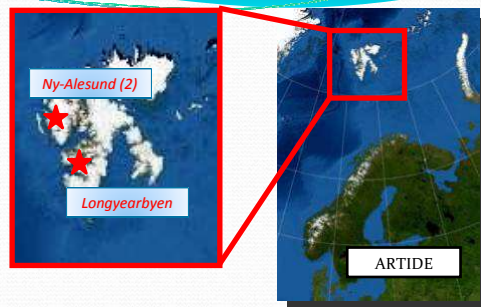
- Fenomeno su ampie scale spaziali e temporali
  - Da cm a migliaia di km
  - Da secondi ad ore
- Ricevitori ad alta frequenza di campionamento
  - Frequenza multipla (es: GPS-L1=1575,42 MHz e GPS-L2=1227,6 MHz)
  - 50 Hz/ 20 ms
  - Capacità multicostellazione (GPS, GLONASS, GALILEO, Geostazionari, ...)
- Indici statistici di scintillazione (60 secondi)
  - S4 (Ampiezza)  $s_4^2 = (\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2) / \langle I \rangle^2$ .
  - $\sigma_\phi$  (Fase)  $\sigma_\phi^2 = \langle \phi^2 \rangle - \langle \phi \rangle^2$
- Contenuto elettronico totale (TEC) e sua variazione (ROT)

$$TEC = \int_{raypath} N_e dS$$

$$ROT = \Delta TEC$$

5

# Network di ricevitori (INGV)



GISTM (GPS Ionospheric Scintillation and TEC monitor)

Dati dal Settembre 2003

6

# Ground Based Scintillation Climatology

Identificare le aree ionosferiche nelle quali la SI è più probabile

Investigare la Fisica delle SI

Contributo agli algoritmi di mitigazione

Forecasting degli eventi di Space

GBSC

“OCCUMAP”

Mappe di occorrenza di scintillazione sopra una soglia di riferimento

Physics studies

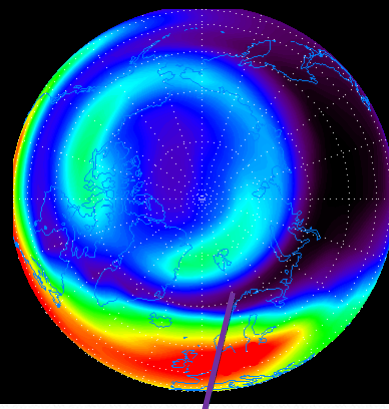
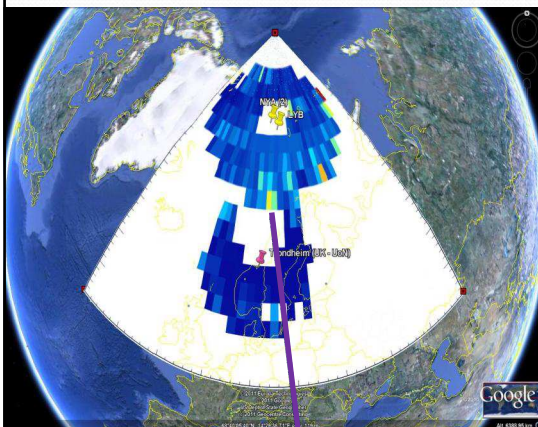
Receiver behaviour

“MEANMAP”

Mappe di valor medio e deviazione standard di:  $S_4$ ,  $\sigma_\phi$ , TEC e ROT, S/N ratio, Code Carrier Standard Deviation

7

## GBSC :Studi scientifici



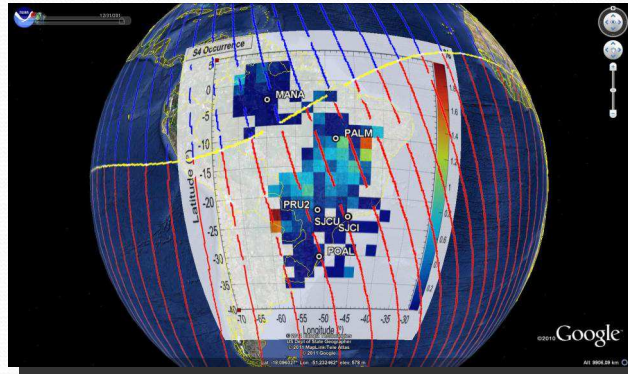
[www.apl.ucl.ac.uk/cmat/studies.html](http://www.apl.ucl.ac.uk/cmat/studies.html) Harris et al., 2002

Segnatura dell'ovale aurorale con l'occorrenza di scintillazione

Segnatura dell'ovale aurorale con densità elettronica

8

## GBSC analysis: studi scientifici

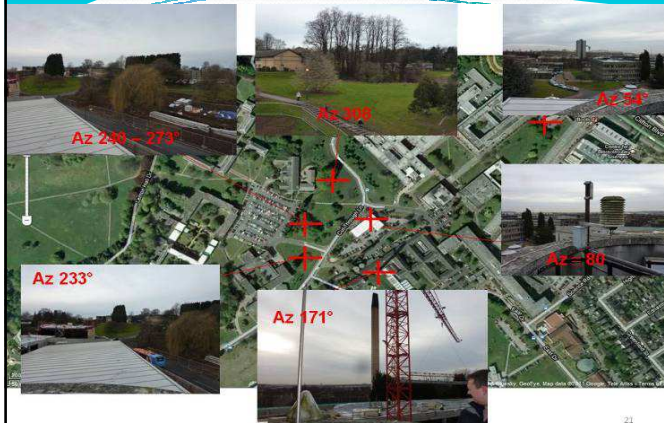


Percentuale di occorrenza di scintillazione di ampiezza tra Agosto e Settembre 2011 sul Brasile.

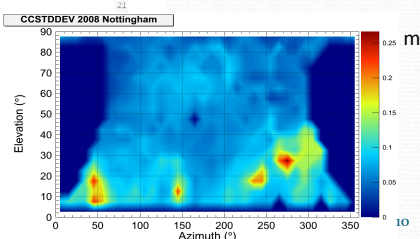
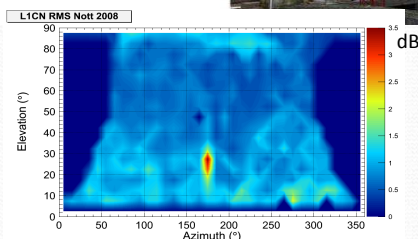
La scintillazione aumenta in una fascia parallela all'equatore magnetico a circa 20°S di latitudine (effetto fontana equatoriale)

9

## GBSC: Caratterizzazione di stazioni di misura

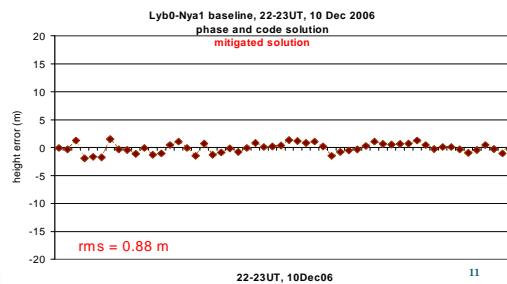
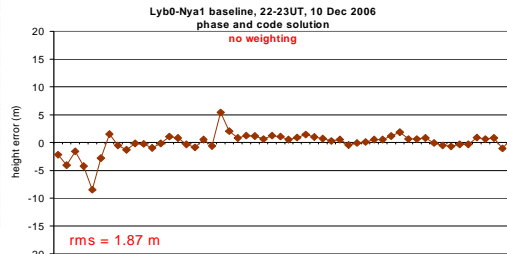
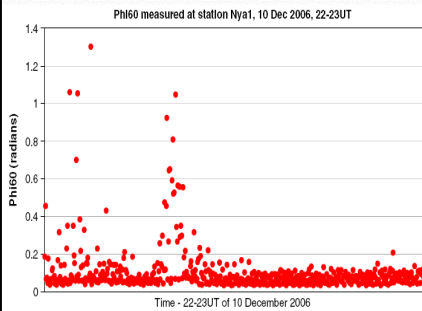


Campus dell'Università di Nottingham



## Osservazioni sperimentali supportano lo sviluppo di **tecniche di mitigazione** della degradazione del posizionamento GPS in caso di scintillazione ionosferica

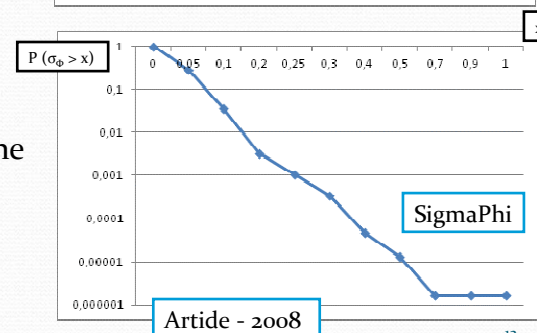
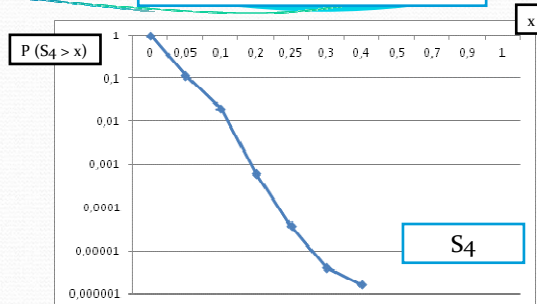
La baseline **NyAlesund-Longyearbyen** (125 km) è stata utilizzata per testare un approccio originale in grado di **mitigare** gli errori di posizionamento dovuti alla scintillazione ionosferica



## Previsione

- Funzioni cumulative come strumento per lo sviluppo di modelli empirici di previsione
- Approcci:
  - Tecniche Non-Lineari
  - Teoria del caos
  - Teoria dell'Informazione
- Sfida principale per il prossimo futuro

### Funzioni cumulative

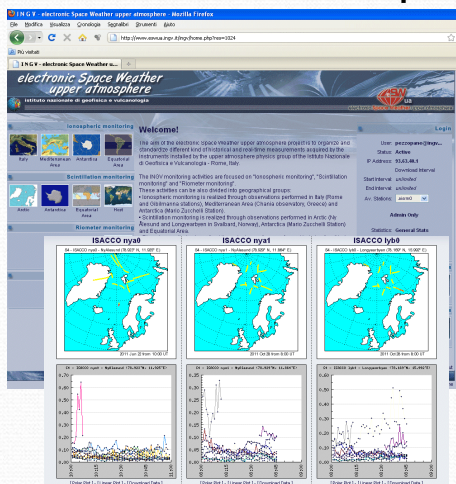


## In evidenza...

- Lo studio delle scintillazioni ionosferiche è fondamentale per sviluppare le previsioni che garantiscano la robustezza e affidabilità dei sistemi di comunicazione satellitare (GNSS)
- I modelli ionosferici empirici possono sopperire alle lacune dei modelli ionosferici attualmente adottati nei sistemi tecnologici (es.: GPS)
- Archivio INGV + Partner copre quasi un ciclo solare (dal 2003)
- La GBSC è una tecnica efficace nell'identificare zone critiche della ionosfera:
  - Modelli di scintillazione (climatologici, semiempirici)
  - Algoritmi di previsione
  - Mitigazione
- L'INGV collabora in progetti internazionali fornendo consulenza per applicazioni:
  - Avionica
  - Offshore e Onshore
  - Telecomunicazioni

13

## Grazie per l'attenzione!



### Bibliografia

#### GBSC:

- Spogli, L. et al.; Ann. Geophys., 27, 3429–3437, 2009.
- Spogli, L. et al., Il Nuovo Cimento B (2010).
- Alfonsi, L. et al., Radio Sci., 46, RSoD05 (2011).

#### Mitigazione:

- Aquino et al., Journal of Geodesy, 2009

[luca.spogli@ingv.it](mailto:luca.spogli@ingv.it)

**DB di dati di Scintillazione INGV: [www.eswua.ingv.it](http://www.eswua.ingv.it)**

14

backup slides

15

## *Climatologia (?)*

- **CLIMATOLOGY:** *Branch of the atmospheric sciences concerned with both the description of climate and the analysis of the causes of climatic differences and changes and their practical consequences. (da Encyclopedia Britannica)*
- **IONOSPHERIC CLIMATOLOGY:** *Studies of ionospheric climatology address general, synthetic, averaged and large spatial scale ionospheric features, in contrast to specific ionospheric and space weather events. (www.haystack.mit.edu/atm/science/space/ic/index.html)*
- **IONOSPHERIC SCINTILLATION CLIMATOLOGY:** *To assess the general recurrent features of the ionospheric irregularities dynamics and temporal evolution on long data series, trying to catch eventual correspondences with scintillation occurrence. (Alfonsi et al., Radio Science 2011).*

16



# eSWua: the INGV database

The screenshot displays the eSWua website interface. At the top, there are three maps of the Mediterranean region labeled 'ISACCO nya0', 'ISACCO nya1', and 'ISACCO lyb0'. Below these are three corresponding time-series plots showing data for each station. The interface includes a search bar, navigation tabs for 'Ionospheric monitoring' and 'Scintillation monitoring', and a detailed data plot for 'ISACCO nya1 - Nylfessund (79.329° N, 11.864° E)'. The plot shows multiple data series over time, with a legend at the bottom. A URL box at the bottom right contains the text: <http://www.eswua.ingv.it/ingv/>

## GPS ERROR SOURCES

Clock Errors

Orbit Errors

### GPS ERROR SOURCES

ERROR SOURCE	TYPICAL RANGE ERROR	DGPS (CODE) RANGE ERROR <100 KM REF-REMOTE
SV CLOCK	1 M	
SV EPHEMERIS	1 M	
SELECTIVE AVAILABILITY	10 M	
TROPOSPHERE	1 M	
IONOSPHERE	10 M	
PSEUDO-RANGE NOISE	1 M	1 M
RECEIVER NOISE	1 M	1 M
MULTIPATH	0.5 M	0.5 M
RMS ERROR	15 M	1.6 M
ERROR * PDOP=4	60 M	6 M

PDOP=Position Dilution of Precision (3-D) 4.0 is typical

