

CARATTERIZZAZIONE DELL'EFFETTO DI NUBI SU SCINTILLAZIONI A LUNGO TERMINE IN BANDA MILLIMETRICA

F. S. Marzano¹, C. Riva²

¹ Dip. di Ingegneria Elettrica – Centro di Eccellenza CETEMPS, Università dell'Aquila
Monteluco di Roio, 67040 L'Aquila, Italy
marzano@ing.univaq.it

² Dipartimento di Elettronica e Informazione, Politecnico di Milano
Piazza Leonardo da Vinci, 32 - 20133 Milano, Italy
riva@elet.polimi.it

Abstract

A physical-statistical analysis of cloud-induced effects on millimeter-wave amplitude scintillation along earth-satellite slant paths is presented. Using numerical simulations derived from a cloud radiative model, a dual-channel non-linear retrieval algorithm is set up to estimate simultaneously cloud columnar water vapor and liquid water contents from measured ground-based brightness temperatures. The latter are related in cloudy conditions to surface meteorological variables and columnar water vapor and liquid water contents. ITALSAT ground-station data consisting of time series of beacon scintillation at 18.7, 39.6 and 49.5 GHz, surface meteorological data and radiometric observations at 13.0, 23.8 and 31.6 GHz, are used for an experimental analysis of cloud-induced scintillation by selecting a period of six-year from 1994 till 1999. The results show a significant correlation between amplitude scintillation variances and cloud columnar contents on a monthly basis (i.e. averaged on time intervals of one month). Considerations about possible impact of this analysis on the development of scintillation prediction models are finally illustrated.

INTRODUZIONE

I nuovi servizi di telecomunicazione fissa e mobile si stanno avviando all'uso operativo della frequenze in banda Ka e oltre. A queste frequenze le scintillazioni svolgono un ruolo importante come sorgente di degradazione del segnale, specialmente se in presenza di terminali di piccole dimensioni. Il fenomeno delle scintillazioni è attribuibile alle disomogeneità turbolente della rifrattività atmosferica con l'effetto di indurre variazioni aleatorie dell'ampiezza, della fase e dell'angolo di arrivo del segnale ricevuto. Il rinnovato interesse nello studio delle scintillazioni è anche dovuto al loro rilevante impatto sulle prestazioni di collegamenti digitali a basso margine ed elevata disponibilità.

Recentemente, l'applicazione di modelli di propagazione in regime di debole fluttuazione è stata proposta per lo sviluppo di metodi di predizione delle scintillazioni in aria chiara a partire da misure meteorologiche [1]. Tale approccio ha aperto la possibilità di includere altri predittori, oltre quelli classici relativi a temperatura e umidità superficiali, quali il contenuto integrato di vapore. La base di queste nuove tecniche di stima delle scintillazioni è legata alla correlazione tra scintillazioni e temperature di brillantezza [2]. Al crescere della frequenza in banda millimetrica diventa

non trascurabile anche l'effetto di turbolenza dovuta all'acqua liquida delle nubi, le quali oltre a produrre un'attenuazione dell'onda e.m. che le attraversa possono indurre un significativo incremento dell'ampiezza di scintillazione rispetto ai valori tipici in aria chiara [3]. Tale fenomeno ha ricevuto fino ad oggi poca attenzione in letteratura.

In questo lavoro, si mostra un'analisi numerica e sperimentale dell'effetto dell'acqua liquida delle nubi sull'ampiezza di scintillazioni lungo percorsi inclinati terra-satellite. Al fine di quantificare tale effetto, la stima del valore integrato dell'acqua liquida e vapore di nubi non-precipitative è ottenuta da misure di multi-frequenza di temperatura di brillanza, usando una tecnica di regressione non-lineare addestrata mediante un modello di trasferimento radiativo applicato a profili atmosferici forniti da un archivio annuale di radiosondaggi. Le misure analizzate si riferiscono a un sistema radiometrico installato presso la stazione ITALSAT di Spino d'Adda presso Milano. Tali stime, effettuate su base mensile dal 1994 al 1999 e disponibili ogni minuto, sono state allineate temporalmente ai dati meteorologici a terra e alle misure di varianza di scintillazione del collegamento ITALSAT a 18.7, 39.6 e 49.5 GHz. L'analisi di correlazione tra valori integrati di acqua liquida e vapore di nubi e varianza di scintillazione ha mostrato valori dal 70% all'90%, variabili con la frequenza e stagionalmente.

STIMA RADIOMETRICA DI PARAMETRI ATMOSFERICI

L'approccio seguito per lo sviluppo di stimatori di parametri atmosferici è basato sull'uso congiunto di un archivio di radiosondaggi, in grado fornire profili verticali di pressione, umidità e vento, e di un modello radiativo di nube. Nell'ipotesi di equilibrio termodinamico locale, la brillanza atmosferica a microonde può essere espressa attraverso la temperatura di brillanza (T_B).

Allo scopo di simulare le osservazioni di T_B da parte di un radiometro a microonde, è stato utilizzato il modello di assorbimento gassoso di Liebe, che fornisce una descrizione dettagliata dell'assorbimento del vapore acqueo e dell'ossigeno nella regione a microonde. L'equazione del trasferimento radiativo è stata risolta numericamente nell'ipotesi di atmosfera piano-parallela con ogni strato descritto da una misura di temperatura, umidità e pressione ricavata da un profilo di radiosondaggio. I radiosondaggi aventi umidità relativa superiore al 100% sono stati etichettati come relativi a presenza di nubi, la cui acqua liquida è stata introdotta mediante un modello approssimato.

Per effettuare le simulazioni, è stato selezionato un archivio di radiosondaggi relativi al 1989, acquisiti due volte al giorno intorno alle 12 e 24 GMT Milano. Sono state considerate le frequenze del collegamento ITALSAT a 18.7, 39.6 e 49.5 GHz con elevazione di 37.8° insieme con 4 frequenze radiometriche a 13.0, 23.8, 31.6 e 50.2 GHz allo stesso angolo di elevazione di 37.8° . Questi parametri sono quelli della stazione ITALSAT di Spino d'Adda (MI), considerata nell'analisi sperimentale. Da questo insieme di simulazioni, mostrate in Fig. 1, sono state ricavate mediante regressione multipla le espressioni degli stimatori non-lineari del contenuto integrato di vapore V e acqua liquida L a partire da misure multifrequenza di T_B :

$$\begin{aligned}
V &= a_o + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 a_{ij} [T_B(\mathbf{q}, f_j)]^i \\
L &= b_o + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 b_{ij} [T_B(\mathbf{q}, f_j)]^i
\end{aligned} \tag{1}$$

ove θ è l'angolo di elevazione e f_j la frequenza.

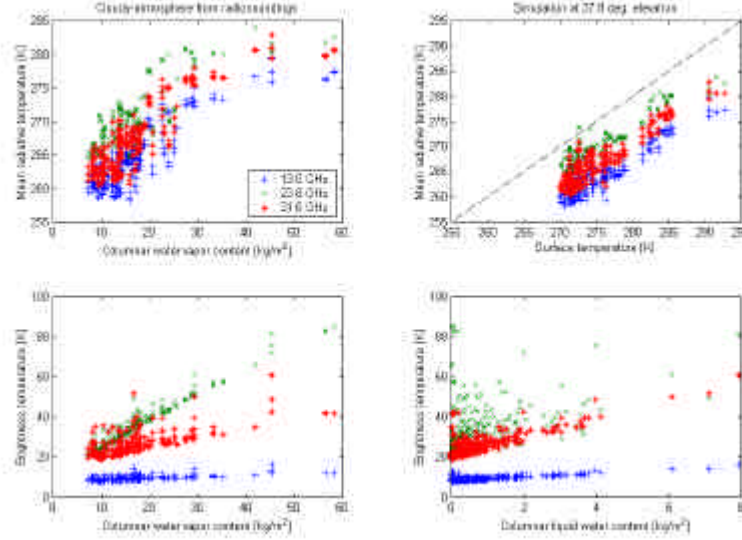


Fig. 1. Simulazioni di misure radiometriche in presenza di nubi.

ANALISI DI CORRELAZIONE A LUNGO TERMINE

Un modello statistico comunemente accettato per la caratterizzazione della varianza σ_x^2 di scintillazione di ampiezza è quello log-normale. Ciò implica che $\ln(\sigma_x^2)$ sia distribuito gaussianamente:

$$p(\mathbf{s}_c^2) = \frac{1}{\sqrt{2\hat{\mathbf{p}}_{LV}^2 \mathbf{s}_c^2}} e^{-\frac{[\ln(\mathbf{s}_c^2) - \hat{m}_{LV}]^2}{2\hat{s}_{LV}^2}} \tag{2}$$

ove m_{LV} and s_{LV} indicano i momenti (media e deviazione standard) stimati. Per tale valutazione, sono state considerate le misure della stazione ITALSAT di Spino d'Adda (MI), dove i canali di radio-propagazione (campionati a 1 Hz) sono ricevuti mediante antenne di 3.5 m di diametro puntate a 37.8° di elevazione. Le varianze di scintillazione sono state calcolate con un filtraggio passa-alto ogni minuto. I dati meteorologici, costituiti da temperatura, pressione umidità al suolo sono acquisiti ogni 10 minuti. Nello stesso sito sono disponibili anche 4 canali radiometrici a 13.0, 23.8, 31.6 e 50.2 GHz puntati a 37.8° lungo il collegamento ITALSAT. Per questo lavoro, sono stati analizzati 6 anni di dati (1994-99). Le misure sono state isolate con finestre di 45 minuti intorno alle 12 e 24 GMT per congruità con i radiosondaggi. Le medie mensili sono state calcolate così da avere 24 campioni per ogni misura.

La Fig. 2 mostra correlazione su base mensile tra la media m_{LV} della log-varianza a 39.6 GHz, la temperatura superficiale, il contenuto integrato di vapore e acqua liquida.

Le barre d'errore si riferiscono alla variabilità mensile che risulta essere maggiore nella stagione estiva. La Tab. 1 riassume tali risultati mediante coefficienti di correlazione.

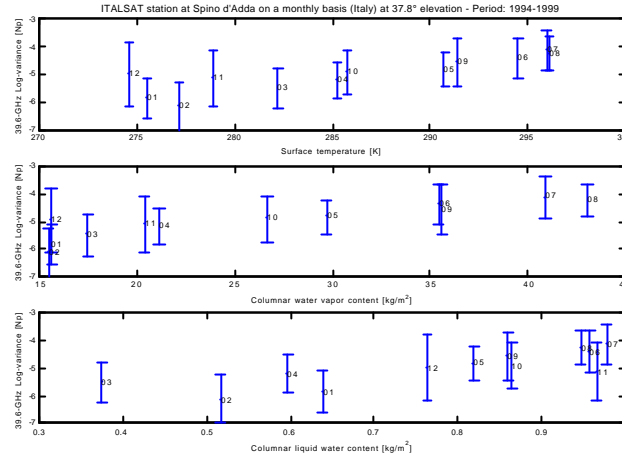


Fig. 2. Analisi di correlazione tra misure di scintillazione a 39.6 GHz e parametric di nube

I risultati confermano l'esistenza di un effetto del vapore e dell'acqua sulle misure di scintillazione, specialmente alle alte frequenze. Tale impatto si può ricondurre alla dinamica dei processi turbolenti all'interno di nubi che si manifestano come scintillazioni di ampiezza nei collegamenti a microonde. Tale analisi evidenzia come, in banda millimetrica, l'acqua liquida delle nubi possa svolgere un ruolo significativo come predittore di scintillazioni.

Tab. 1 Analisi di correlazione su base mensile

Monthly data from ITALSAT ground-station during 1994-1999	18.7-GHz Log-variance mean value m_{LV} [Np]	39.6-GHz Log-variance mean value m_{LV} [Np]
Surface temperature T_s [K]	0.98	0.84
Surface relative humidity RH_s [%]	-0.56	-0.27
Surface wet refractivity N_{ws} [%]	0.97	0.89
Columnar water vapor content V [kg/m ²]	0.97	0.89
Columnar liquid water content L [kg/m ²]	0.66	0.80
13.0-GHz Brightness temperature T_B [K]	0.96	0.79
23.8-GHz Brightness temperature T_B [K]	0.97	0.90
31.6-GHz Brightness temperature T_B [K]	0.96	0.92
18.7-GHz Log-variance mean value m_{LV} [Np]	1.00	X
39.6-GHz Log-variance mean value m_{LV} [Np]	X	1.00

Ringraziamenti: tale lavoro è stato parzialmente finanziato da MIUR e EU.

BIBLIOGRAFIA

- [1] F.S. Marzano and G. d'Auria, "Model-based prediction of amplitude scintillation variance due to clear-air tropospheric turbulence along earth-satellite microwave links", *IEEE Trans. Ant. Propagat.*, vol. 46, pp. 1-13, 1998.
- [2] F.S. Marzano and C. Riva, "Evidence of long-term correlation between clear-air scintillation and attenuation at microwave and millimeter-waves", *IEEE Trans. Ant. Propagat.*, vol. 47, pp. 1749-1757, 1999.
- [3] F.S. Marzano and C. Riva, "Cloud-induced effects on monthly averaged scintillation amplitude along millimeter-wave slant paths", *IEEE Trans. Ant. Propagat.*, vol. 51, in press, 2003.