

**Frank Silvio Marzano,**  
**Augusto Maria Marziani**  
 "Sapienza" Università di Roma  
 - Dipartimento di Ingegneria  
 dell'Informazione, Elettronica e  
 Telecomunicazioni  
**Giuseppe Pierri,**  
**Elio Restuccia**  
 Istituto Superiore delle  
 Comunicazioni e delle  
 Tecnologie dell'Informazione -  
 ISCOM  
**Fernando Consalvi**  
 Fondazione Ugo Bordoni

## **Analisi delle Scintillazioni in Aria Chiara del Collegamento Alphasat in Banda Q di Spino d'Adda Tramite Utilizzo di Radiosondaggi**

### ***Clear-Air Scintillation Analysis of Q-Band Alphasat Link at Spino d'Adda Using Radiosounding Data***

*Sommario: Le scintillazioni si manifestano come una variazione aleatoria indesiderata del segnale ricevuto. In questo articolo verrà data una prima analisi dei dati acquisiti dalla stazione ricevente del satellite Alphasat in banda Q di Spino d'Adda. Verrà inoltre effettuato uno studio di correlazione tra i dati meteorologici misurati a terra e il valore di scintillazione misurato tramite il ricevitore in banda Q. Dati relativi ai radiosondaggi della stazione di Milano Linate sono stati acquisiti per l'intero anno 2015 e sono stati usati per calcolare la costante di struttura dell'indice di rifrazione. Tramite il modello Rytov è stato stimato il valore relativo di scintillazione lungo la tratta interessata dal collegamento. I risultati così ottenuti tramite modellistica sono stati confrontati con le misure dirette di scintillazione, effettuate tramite il ricevitore a terra, focalizzando la correlazione in aria chiara tra dati simulati e misurati.*

*Abstract: Scintillations affect the propagated signal with an unwanted aleatory oscillation at the receiver. A first analysis of data acquired from Alphasat Q-band receiver station, located in Spino d'Adda (Italy), is performed. Correlation between meteorological measurements at the ground and measured scintillation from the Q-band beacon receiver (i.e. fluctuation of the received electromagnetic field) is investigated. Radio sounding data from north Italy station of "Milano Linate" have been collected for the entire year 2015 and used to calculate the refractive index structure constant. Subsequently the amplitude scintillation variance is derived through the use of the Rytov model on the slant path. Results obtained using the scintillation model are compared with measured data, from Alphasat beacon receiver, investigating the statistical correlation in clear air condition between simulated and measured data.*

## 1. Introduzione

L'aumento inarrestabile degli utenti e delle applicazioni afferenti al servizio radiomobile, richiede da parte dei service provider l'allocazione di una banda sempre maggiore per poter soddisfare le esigenze di data rate e qualità del servizio (QoS) richiesti oggi. A causa della saturazione dello spettro elettromagnetico, a frequenze al di sotto dei 6GHz, l'unica soluzione al problema è quella di investigare la parte superiore dello spettro, dove le microonde e le onde millimetriche risultano ancora poco sfruttate per tali fini [1].

Ancora oggi una delle sfide maggiori nella caratterizzazione della tratta di un collegamento radio nella banda delle microonde e delle onde millimetriche è rappresentata dalla stima degli effetti delle scintillazioni dovute alle turbolenze troposferiche, sia per quanto riguarda gli effetti sull'ampiezza che sulla fase del segnale ricevuto [2]. Poiché l'interesse nelle comunicazioni satellitari e terrestri ad alta frequenza cresce di giorno in giorno, l'analisi degli effetti delle scintillazioni ha guadagnato nuovamente interesse nella comunità scientifica. Questi effetti, infatti, possono manifestarsi con un abbassamento del rapporto segnale rumore in ricezione di diversi dB e sono dovuti ad una variazione dell'indice di rifrazione del mezzo attraversato. Le variazioni di questo tipo non sono direttamente misurabili e vengono trattate in maniera statistica tramite funzioni dette di struttura dipendenti dalla direzione di propagazione e capaci di contenere le informazioni sufficienti ad una caratterizzazione completa del mezzo. Per turbolenze localmente isotropiche la funzione di struttura dell'indice di rifrazione può essere riscritta come divisa in una parte dipendente ed una indipendente dal vettore direzione. Quest'ultima è detta costante di struttura dell'indice di rifrazione e viene comunemente utilizzata come parametro per la caratterizzazione del mezzo [9]. Caratteristica peculiare delle scintillazioni è che il loro effetto è maggiore all'aumentare della frequenza, mentre diminuisce con l'aumentare delle dimensioni di antenna.

Durante gli ultimi venti anni sono stati svolti diversi esperimenti riguardo questo argomento. Tra questi ricordiamo i satelliti Olympus ed Italsat i quali ospitavano entrambi carichi sperimentali a bordo [3]. Oggi abbiamo a disposizione il nuovissimo satellite Alphasat, il quale, grazie all'agenzia spaziale europea (ESA), ospita a bordo diversi carichi scientifici. Tra questi vi è l'esperimento di propagazione "Aldo Paraboni" (esperimento "TDP5") che consiste in due esperimenti di propagazione rispettivamente nelle bande Ka e Q e in un esperimento di telecomunicazione nelle bande Q/V [4]. Per svolgere uno studio più accurato, stazioni riceventi sono state installate in diverse località europee e gestite da differenti gruppi di ricerca in modo da garantire la massima partecipazione a livello scientifico.

Acquisire i dati direttamente da un collegamento satellitare è solo un modo per stimare gli effetti di propagazione sui sistemi di telecomunicazione. Poiché questo tipo di esperimenti è generalmente molto costoso e difficile da realizzare, molti degli sforzi della comunità

scientifici sono focalizzati sull'approccio modellistico. Sviluppare un modello, infatti, renderebbe possibile predire gli effetti delle scintillazioni sul canale, insieme ovviamente anche ad altri effetti, senza la necessità di un satellite in orbita per effettuare misure dirette. La stratificazione atmosferica può essere caratterizzata attraverso dati meteorologici e, successivamente, tramite l'uso di un appropriato modello di interazione tra turbolenza atmosferica e propagazione elettromagnetica, è possibile predire un valore statistico per la scintillazione lungo il collegamento di interesse ad una data frequenza (per il quale incidono anche l'angolo di elevazione e le dimensioni dell'antenna). Come è possibile attendersi, l'accuratezza dei risultati ottenuti dipende dal modello utilizzato. I dati meteorologici presi in esame possono essere di diverso tipo [5] [7]. È possibile ad esempio utilizzare dati provenienti dai radiosondaggi effettuati in una zona vicina alla località del ricevitore o di stazioni meteorologiche al suolo (termometri, igrometri, radiometri, etc.) [10]. Questo ultimo caso risulta particolarmente interessante in quanto molte stazioni riceventi per segnali satellitari sono già provviste di strumentazioni meteo. Tuttavia modelli di propagazione atmosferica basati sui radiosondaggi risultano essere più accurati in quanto la costante di struttura dell'indice di rifrazione è ottenuta tramite misure effettuate a diverse altitudini dal suolo lungo la tratta di interesse, e, di conseguenza, le caratteristiche dell'atmosfera vengono meglio caratterizzate [6], [8].

In questo articolo verranno analizzati i dati della stazione ricevente di Spino d'Adda per l'anno 2015 con particolare attenzione alla correlazione tra ampiezza di scintillazione misurata e dati meteorologici al suolo. Verranno evidenziate differenze tra i dati diurni e notturni. Successivamente tramite un approccio modellistico si effettuerà una stima degli effetti delle scintillazioni sulla stessa tratta utilizzando i radiosondaggi della stazione di Milano Linate. I risultati ottenuti tramite le simulazioni verranno poi confrontati con le misure dirette effettuate tramite il ricevitore per effettuare una stima della correlazione tra il modello utilizzato e dato misurato.

## **2. Analisi dei dati Alphasat**

In Italia l'esperimento di propagazione "Aldo Paraboni" è affidato primariamente all'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), la quale ha realizzato due stazioni riceventi, la prima presso Spino d'Adda in nord Italia e la seconda presso Tito Scalo per il sud Italia.

La stazione ricevente di Spino d'Adda è dotata di due ricevitori in modo da poter acquisire sia il segnale in banda Ka che quello in banda Q in entrambe le polarizzazioni. È dotata di un'antenna Cassegrain di 4.2 metri di diametro con sistema di tracking automatico tramite utilizzo di mono-pulse. L'elevazione media del collegamento è di 35.5°. I dati vengono acquisiti con una frequenza di 20 Hz e la dinamica consentita dal ricevitore è di circa 30 dB. La stazione ricevente è affiancata da una stazione meteorologica completa e da un radiometro a 14 canali, 7

canali tra 22.234 GHz e 31.4 GHz per la stima dell'umidità e 7 canali tra 51.26 GHz e 58.5 GHz per la stima della temperatura fino a 1000 metri di altitudine.

Grazie alla collaborazione dell'Agenzia Spaziale Italiana, è stato possibile ottenere i dati acquisiti dalla stazione di Spino d'Adda. Questi sono stati elaborati in modo da ottenere dati mediati al minuto. Successivamente, vista la necessità di comparare questi dati con quelli ottenuti dai radiosondaggi, è stata effettuata un'ulteriore riduzione selezionando solamente i dati a cavallo degli orari di lancio delle sonde, ovvero le 12 e le 24, per un intervallo di un'ora. Sono state ridotte così le acquisizioni originali solo a quelle tra le 12 e le 13 e tra le 00 e le 01 di ogni giorno, con una frequenza di un'acquisizione al minuto.



I dati ottenuti sono stati organizzati tramite un software di elaborazione in una struttura di 2 righe (una per i dati del giorno ed una per quelli della notte) e 365 colonne (una per ogni giorno), con ogni cella composta dai dati acquisiti in un'ora da tutti gli strumenti della stazione (ricevitore in banda Q e dati meteorologici). Le celle vuote, a causa di giorni in cui non sono state effettuate misurazioni per problemi tecnici e le misure errate, sono state eliminate. I giorni di misurazione ottenuti sono 348 e ridotti successivamente a 132 considerando solamente i giorni di aria chiara. Quest'ultimo sottogruppo è stato ottenuto filtrando i dati in base all'intensità di pioggia (rainrate, "RR") ed all' "Integrated Liquid Water Content" (ILWC) ottenuti dal radiometro (RR=0 mm/h, ILWC<0.1 mm).

È stato così possibile effettuare uno studio di correlazione tra l'ampiezza di scintillazione in aria chiara valutata con la deviazione standard del logaritmo del campo ricevuto ( $\sigma_x$  [dB]) ed i dati meteorologici disponibili. In particolare in figura 2 possiamo vedere 4 diverse analisi effettuate.

Come atteso e come largamente dimostrato in letteratura [6] [7], la miglior correlazione si ha nel confronto di  $\sigma_x$  con la temperatura al suolo. Nella figura i punti rossi indicano le acquisizioni diurne mentre le

---

*Fig. 1. Stazione ricevente del satellite Alphasat di Spino d'Adda*

---

croci blu indicano le misurazioni notturne. La miglior approssimazione lineare ottenuta, rappresentata dalla linea nera, non è lontana dall'andamento ideale della bisettrice a pendenza uno e presenta un R-squared di 0.46 e un RMSE di 0.023 K (dove R-squared rappresenta il coefficiente di determinazione, ovvero con quale precisione la regressione approssima i dati originali. L'RMSE invece è il Root Mean Square Error, ovvero l'errore quadratico medio). Nel secondo riquadro della figura 2 è rappresentata la correlazione tra la scintillazione e l'umidità relativa. In questo è evidente la differenza tra le misurazioni diurne, sempre rappresentate dai punti rossi, e quelle notturne, rappresentate da croci blu, che mostrano come durante la notte i valori di umidità siano mediamente molto più alti. Questo influenza il fitting complessivo ottenuto usando l'insieme dei dati diurni e notturni. In questo caso il risultato ottenuto è una curva del secondo ordine con un basso R-squared di circa 0.12. Nel terzo riquadro è visibile la correlazione con il vapore acqueo integrato, ottenuto tramite misurazioni con l'ausilio del radiometro. In questo caso la correlazione tra i due è molto elevata e si ottiene un R-squared di 0.40. Anche la correlazione con la Wet Refractivity è molto elevata e mostra un valore di R-squared di 0.49. La Wet Refractivity è stata calcolata come da ITU-R P.453-8 [11] come si vedrà in seguito nel dettaglio.

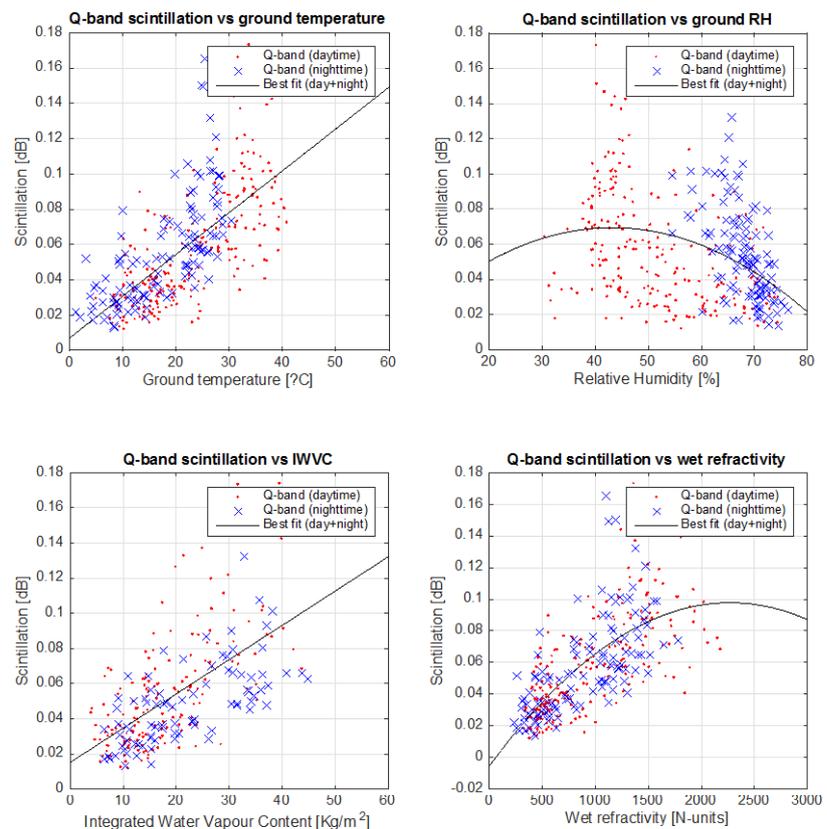
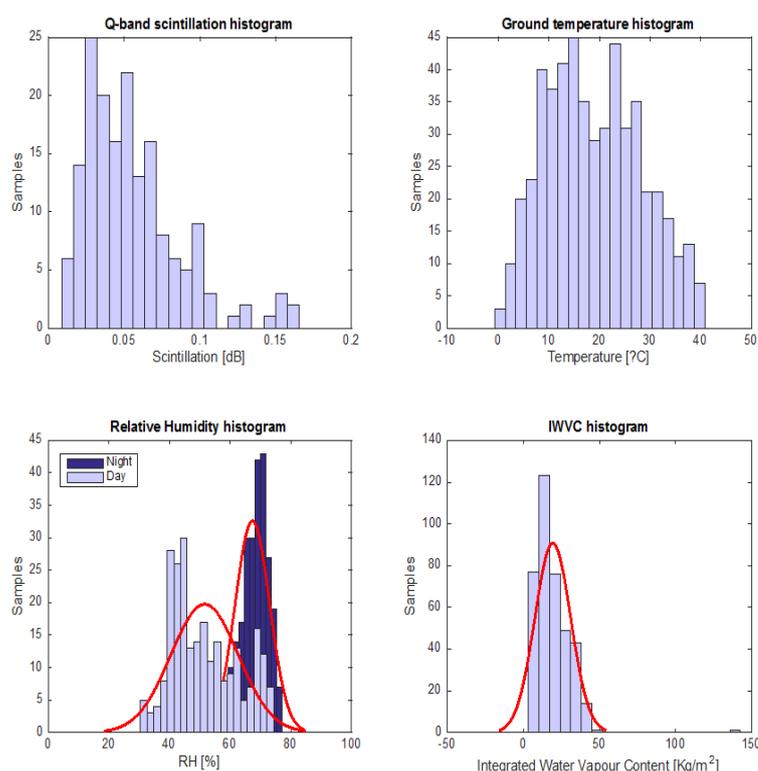


Fig. 2. Correlazione tra scintillazione Alphasat in banda Q misurata e dati meteorologici relativi al 2015

La figura 3 mostra invece una serie di istogrammi relativi ai dati della stazione Alphasat sempre relativi all'anno 2015. Il primo di questi si riferisce all'ampiezza della scintillazione  $\sigma_x$  e l'istogramma è visibilmente approssimabile ad una curva log-gaussiana che ne rappresenta la funzione di densità di probabilità (PDF). Il picco è centrato a circa 0.05 dB. Il grafico successivo rappresenta l'istogramma della temperatura misurata al suolo. In questo caso sono visibili due picchi distinti, questo è dovuto al fatto che le misure utilizzate sono solamente quelle in prossimità dei lanci dei radiosondaggi, di conseguenza si nota la differenza di distribuzione dovuta alla variazione di temperatura tra giorno e notte. Il terzo grafico accentua ancor più questo effetto. Infatti per quanto riguarda l'umidità questo fenomeno risulta essere più evidente. In questo caso per evidenziare gli andamenti l'istogramma presenta in azzurro le misure diurne ed in blu quelle notturne con le relative curve approssimate di PDF evidenziate in rosso. L'ultimo istogramma mostra l'andamento del contenuto di vapore acqueo integrato, dove si distingue nuovamente con facilità una distribuzione log-gaussiana.



### 3. Simulazione degli effetti di scintillazione

Le misure effettuate tramite radiosondaggi, anche abbreviate come RAOB (RAWindsondeOBservations) consistono nel lancio di una radiosonda la cui posizione viene monitorata durante l'ascensione. La sonda presenta a bordo diversi strumenti meteorologici che permettono di caratterizzare il profilo atmosferico tramite misure di

*Fig. 3. Istogrammi dei dati in aria chiara di Spino d'Adda*

pressione, umidità e velocità/direzione del vento. I dati RAOB possono essere utilizzati anche per la stima dell'ampiezza delle scintillazioni [6], [8]. I dati RAOB a bassa risoluzione temporale sono gratuitamente fruibili a scopi scientifici tramite il sito del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Per questa ricerca sono stati acquisiti i dati relativi ai radiosondaggi di Milano Linate per l'intero anno 2015. Anche in questo caso un'elaborazione dei dati è stata d'obbligo. Durante l'ascensione, infatti, le sonde non acquisiscono dati sempre alla stessa altitudine causando un disallineamento dei dati. Per questo motivo i dati sono stati elaborati prima tramite interpolazione lineare e poi è stato selezionato uno step di 50 metri tra una misura e l'altra allineando le altitudini per l'intero anno. Successivamente è stato effettuato un filtraggio per eliminare dati mancanti o falsati a causa di malfunzionamenti strumentali. Infine i dati RAOB così ottenuti sono stati adattati alla struttura precedentemente realizzata per i dati della stazione in banda Q. La struttura finale risulta quindi essere composta da 4 righe rispettivamente relative a: dati RAOB ore 00:00, dati RAOB ore 12:00, dati Alphasat notturni, dati Alphasat diurni e da 365 colonne.

Si noti che le misurazioni del segnale Alphasat utilizzate sono relative ad un intervallo di un'ora successiva al lancio della sonda (dalle ore 00:00 alle 01:00 UTC per i dati notturni e dalle ore 12:00 alle 13:00 UTC per i dati diurni). Ad una frequenza di un'acquisizione al minuto si ottengono così 120 dati Alphasat per ogni lancio di sonda. I dati RAOB includono misure che vanno dai 0 m di altitudine fino ai 12050 m, con step di 50 m tra una misurazione e l'altra. Si ottengono così, ogni giorno,  $24 \times 2 = 48$  diverse misure per ogni parametro fisico atmosferico d'interesse (2 lanci di sonda al giorno). Come già accennato in precedenza filtrando i dati per le condizioni di aria chiara i giorni di acquisizione sono stati ridotti a 132.

I dati RAOB di Milano Linate sono stati utilizzati per calcolare come prima cosa la costante di struttura dell'indice di rifrazione ( $C_n^2(z)$ ), dopo di che è stata stimata la varianza di scintillazione ( $[dB^2]$ ) per ottenere infine il valore della scintillazione misurato in dB. Per calcolare il  $C_n^2(z)$  è stato usato il modello descritto in [9], basato sulla temperatura potenziale  $\vartheta$  e il gradiente di umidità  $q$ . Questo modello, rispetto all'originale proposto da Tatarski [2], basato sulla temperatura pseudo potenziale, permette una migliore stima di flussi verticali d'aria di grandi dimensioni e per questo motivo risulta più appropriato per la descrizione di ampi volumi di atmosfera libera. La formula, suggerita da Cherubini [9] ed usata in questo studio è la seguente:

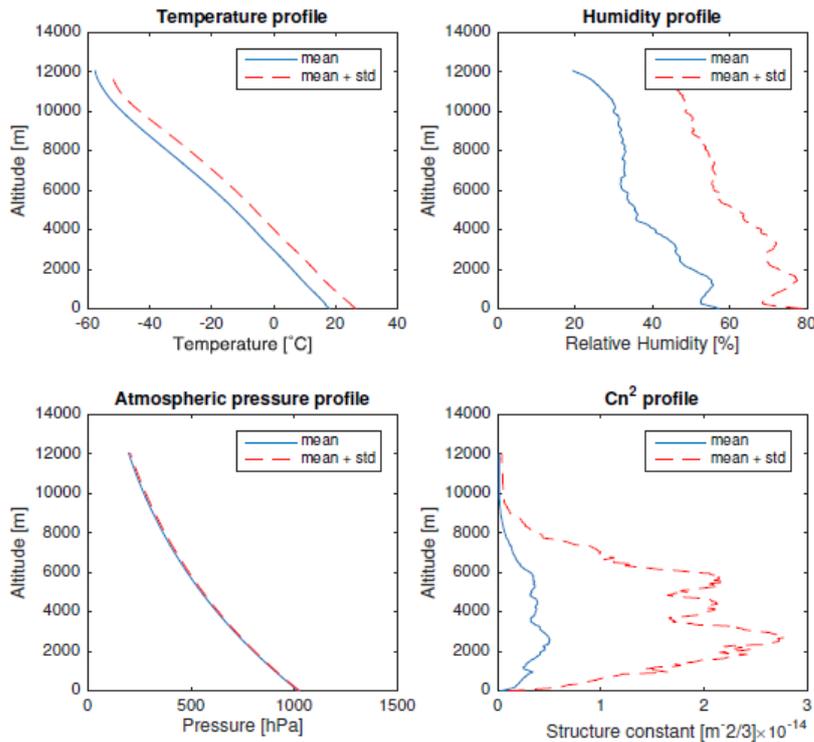
$$C_n^2(z, \vartheta) = -\frac{80 \times 10^{-6} p}{T \vartheta} a^2 (K_H / K_M) L_0^{4/3} M_{Wet}^2 \quad (1)$$

dove  $M_{Wet}^2$  è espresso dalla:

$$M_{Wet}^2 = \left( 1 + \frac{2 \times 480 \times 1.62 q}{T} \right) \frac{d\vartheta}{dz} - \frac{4800 \times 1.62}{T \vartheta} \frac{dq}{dz} \quad (2)$$

con  $T$  temperatura assoluta,  $\vartheta$  temperatura potenziale,  $p$  pressione atmosferica,  $a$  costante empirica,  $L_0$  la dimensione esterna della turbolenza,  $K_H$  e  $K_M$  coefficienti di scambio per il calore e per il momento e  $dq$  il gradiente di umidità.

Utilizzando i RAOB si è così ottenuta una dettagliata caratterizzazione dell'atmosfera. La figura 4 mostra il profilo verticale annuo medio per la Temperatura, l'umidità relativa, la pressione e la costante di struttura dell'indice di rifrazione  $C_n^2$ .



Dal  $C_n^2$  così ottenuto è possibile stimare la log-varianza (e la deviazione standard) dell'ampiezza di scintillazione come descritto in [8] e [6]. In particolare per il calcolo del  $\sigma_\chi^2$  è stata usata la seguente formula:

$$\sigma_\chi^2 = 42.48 \frac{k^{7/6}}{(\sin \theta_e)^{11/6}} \sum_z \langle C_n^2(z) \rangle z^{5/6} \Delta z \quad (3)$$

dove  $k$  è il numero d'onda,  $\theta_e$  è l'angolo di elevazione e  $z$  l'altitudine.

Il valore di scintillazione così ottenuto tramite simulazione è stato confrontato con il valore misurato dal ricevitore Alphasat in banda Q di Spino d'Adda. Sono stati effettuati studi di correlazione sull'ampiezza di scintillazione misurata e simulata nel caso dei dati diurni, dei dati notturni e nel caso globale. Il risultato di tale correlazione è mostrato in figura 5. Il coefficiente di correlazione ottenuto è di 0.6223 nel caso delle misure diurne, e di 0.6462 per le misure notturne. Nel caso le misure vengano considerate insieme il coefficiente è leggermente inferiore attestandosi ad un valore di 0.596 (i dati diurni sono rappresentati da punti rossi, i dati notturni come croci blu). La miglior

Fig. 4. Profili medi ottenuti tramite dati RAOB in aria chiara

approssimazione lineare ottenuta per entrambi i set di dati presenta un R-squared di 0.38 per il caso diurno e di 0.41 per il caso dei dati notturni.

In figura 6 è possibile vedere la correlazione tra la scintillazione e la wet refractivity. Quest'ultima è definita dall'ITU-R [11] e rappresenta un parametro di alto interesse da un punto di vista propagativo in quanto è ottenuta come combinazione di temperatura ed umidità. La formula che li lega è la seguente:

$$N_{Wet} = 3.732 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (4)$$

dove:  $e = \frac{He_s}{100}$  e:  $e_s = a \exp\left(\frac{bt}{t+c}\right)$  con le seguenti definizioni:

$e$ =pressione di vapore acqueo

$T$ =temperatura assoluta

$H$ =umidità relativa

$e_s$ =pressione di saturazione

$t$ =temperatura Celsius

$a$ =costante

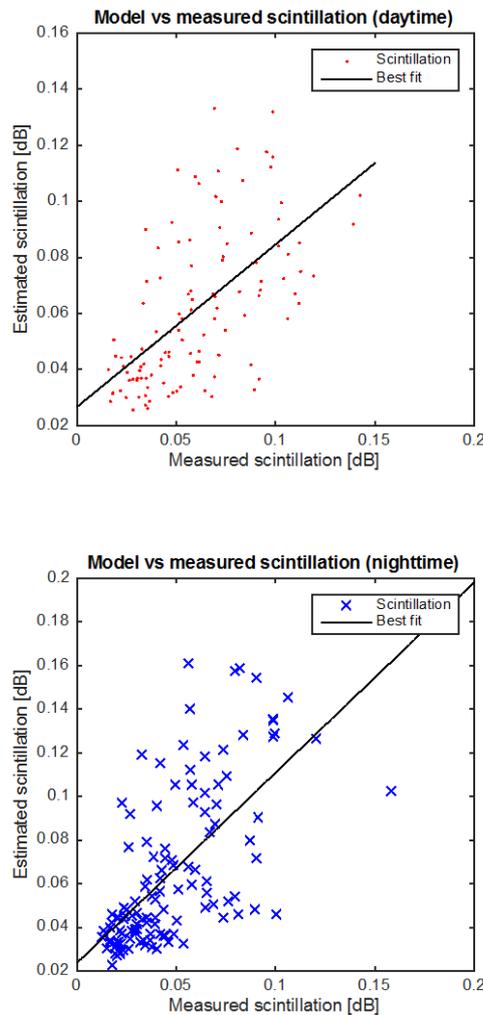


Fig.5. Correlazione tra scintillazione in aria chiara misurata e stimata della stazione Alphasat di Spino d'Adda nel 2015

Il grafico in figura 6 mostra la scintillazione misurata su  $N_{wet}$  tramite croci blu e la variazione di scintillazione stimata sempre rispetto alla wet refractivity in punti rossi. Le due linee, la blu continua e la rossa tratteggiata rappresentano rispettivamente la miglior approssimazione lineare per i dati relativi alla scintillazione stimata e misurata. In banda Q la wet refractivity al suolo si conferma come un buon parametro di predizione delle ampiezze delle scintillazioni.

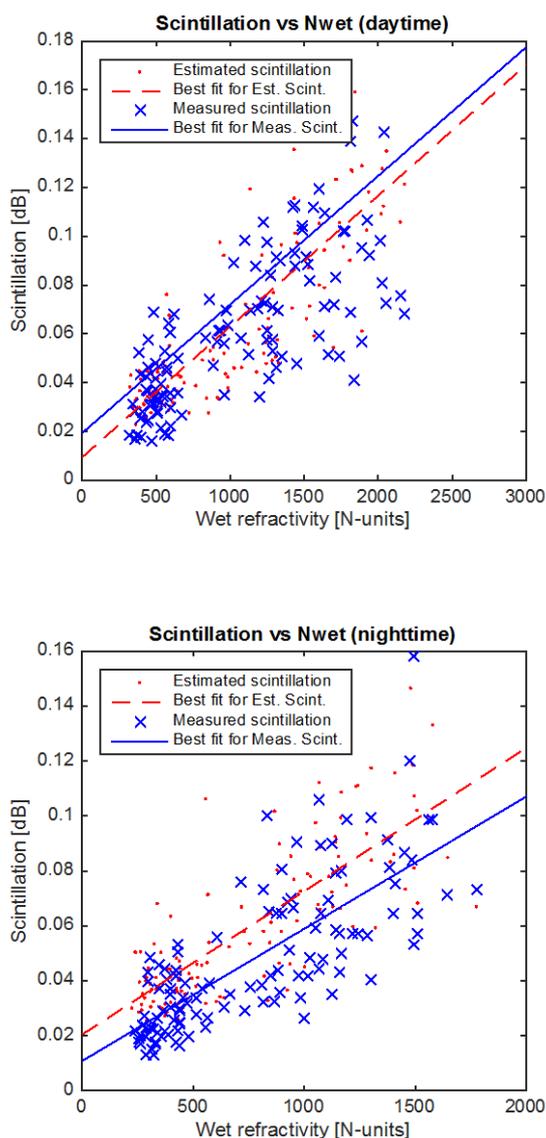


Fig.6. Correlazione tra scintillazione in aria chiara e wet refractivity al suolo

#### **4. Conclusioni**

In questo studio è stata effettuata un'analisi preliminare dei dati acquisiti dalla stazione ricevente Alphasat in banda Q di Spino d'Adda in condizioni di aria chiara. Il modello scelto per la stima degli effetti di scintillazione è basato sul calcolo della costante di struttura dell'indice di rifrazione a partire da dati RAOB. I risultati ottenuti da tale modello mostrano una buona possibilità di approssimazione degli effetti sul segnale Alphasat a 40 GHz lungo la tratta satellite-terra. Dagli studi di correlazione si sono infatti ottenuti coefficienti di correlazione tra valore stimato e valore misurato mai inferiori allo 0.55.

Questi risultati sembrano promettenti per gli studi futuri che verteranno sulla riduzione dei parametri necessari alla stima delle scintillazioni e alla modifica dei modelli (con l'eventuale introduzione della variabile vento) per ottenere una stima accurata a partire dai soli parametri misurati al suolo, limitando così l'utilizzo dei radiosondaggi.

È inoltre in corso la realizzazione del sistema di tracking per il ricevitore in banda Q installato presso l'Istituto Superiore delle Comunicazioni e delle Tecnologie dell'Informazione, al termine del quale la sperimentazione continuerà tramite l'utilizzo dei dati della stazione ricevente di Roma.

#### **Ringraziamenti**

*Gli autori desiderano ringraziare la Dott. Rita Forsi e l'Ing. Giuseppe Pierri per avere consentito e messo a disposizione la strumentazione del Laboratorio Microonde ISCTI e contribuito alla realizzazione del sistema di tracking della stazione ricevente in banda Q installata presso l'Istituto. Desiderano inoltre ringraziare l'Agenzia Spaziale Italiana per aver fornito a titolo gratuito i dati della stazione ricevente Alphasat di Spino d'Adda relativi al segnale in banda Q.*

## BIBLIOGRAFIA

- [1] G. Maral and M. Bousquet, *Satellite Communications Systems 5th Ed.*, Wiley and Sons Ltd (Chichester, UK), 2009.
- [2] G. Brussaard and P.A. Watson, *Atmospheric modelling and millimetre wave propagation*, Chapman and Hall, London (UK), 1995.
- [3] B. R. Arbesser-Rastburg and A. Paraboni, European research on Kaband slant path propagation, *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 6, pp. 843852, Jun. 1997.
- [4] A. Paraboni, Description of Alphasat TDP5 Propagation Experiment, *Proceedings of the ESA Propagation Workshop ESA WPP 298*, 2008.
- [5] G. Peeters, F. S. Marzano, G. d'Auria, C. Riva, and D. Vanhoenacker-Janier, Evaluation of statistical prediction models for clear-air vscintillation using Olympus satellite measurements, *Int. J. Sat. Commun.*, vol. 15, pp. 73-88, 1997.
- [6] F. S. Marzano, G. d'Auria, Model-Based Prediction of Amplitude Scintillation Variance Due to Clean-Air Tropospheric Turbulence on Earth-Satellite Microwave Links, *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 46, no. 11, 1998.
- [7] F. S. Marzano, C. Riva, Evidence of Long-Term Correlation Between Clear-Air Attenuation and Scintillation in Microwave and Millimeter-Wave Satellite Links, *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 47, n. 12, 1999.
- [8] H. Vasseur, Prediction of Tropospheric Scintillation on Satellite Links from Radiosonde Data, *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 47, n. 2, 1999.
- [9] T. Cherubini, Another Look at the Refractive Index Structure Function, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 52, 2013.
- [10] F. S. Marzano, C. Riva, Cloud-Induced Effects on Monthly Averaged Scintillation Amplitude Along Millimeter-Wave Slant Path, *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 51, n. 4, 2003.
- [11] ITU-R, The radio refractive index: its formula and refractivity data, Recommendation ITU-R P.453-8.