

Stazione ricevente AlphaSat in banda KA e in banda Q a Roma: misure e analisi dei dati di attenuazione

AlphaSat KA-Band and Q-Band receiving station in Rome: measurements and attenuation data analysis

Stefano Barbieri[□], Fernando Consalvi[♦], Marianna Biscarini[□], Gianmarco Fusco[•],
Frank Silvio Marzano[□],

♦ Fondazione Ugo Bordoni

□ DIET, Università di Roma La Sapienza

• DGTCISI-ISCTI, Ministero delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT)

Sommario

L'esperimento AlphaSat "Aldo Paraboni" è un esperimento scientifico dell'Agenzia spaziale europea (ESA) per studiare il canale di propagazione radio nelle bande Ka e Q. Il satellite AlphaSat è stato lanciato in orbita nel 2013 e da allora diversi gruppi di ricerca europei stanno monitorando i segnali beacon ricevuti per modellare gli effetti fisici dell'atmosfera sul campo elettromagnetico trasmesso. Questo articolo si propone di descrivere l'analisi dei dati raccolti dalla stazione AlphaSat di Roma durante il 2021.

L'attenzione sarà focalizzata su una procedura per l'individuazione di un livello di riferimento stabile (template) ricavato dal segnale di beacon ricevuto e che verrà poi sottratto al segnale grezzo. Il template è estratto mediante media e filtro passa basso in periodi non piovosi e mediante derivata ed interpolazione nel caso di eventi precipitativi. I risultati di attenuazione nelle due bande relativi all'anno esaminato sono stati confrontati con le statistiche di attenuazione derivate dal modello ITU-R.

Abstract

The AlphaSat experiment "Aldo Paraboni" is a European Space Agency (ESA) science experiment to study the radio propagation channel in the Ka and Q bands. The AlphaSat satellite was launched into orbit in 2013, and since then several European research groups have been monitoring the received beacon signals to model the physical effects of the

atmosphere on the transmitted electromagnetic field. This paper aims to describe the analysis of data collected by the AlphaSat station in Rome during 2021.

The focus will be on a procedure for finding a stable reference level (template) derived from the received beacon signal, which is then subtracted from the raw signal. The template is extracted by averaging and low-pass filtering in non-rainy periods and by derivative and interpolation in the case of precipitation events. Attenuation results in the two bands for the year examined were compared with attenuation statistics derived from the ITU-R model.

Keyword

Satellite communication system, tropospheric attenuation, Ka-band, Q-band, template

1–Introduzione

L'inarrestabile aumento degli utenti di comunicazioni mobili e dei servizi dati mobili richiede una larghezza di banda di frequenza sempre più ampia per soddisfare la velocità di trasmissione dei dati. A causa della saturazione dello spettro per le frequenze inferiori a 6 GHz, l'unica soluzione a questo problema è quella di guardare alla parte alta dello spettro di frequenza, dove le microonde e le onde millimetriche sono finora poco sfruttate per questo settore di applicazione [1].

Ancora oggi, una delle sfide più impegnative per la progettazione di collegamenti nelle comunicazioni a microonde e a onde millimetriche è la stima degli effetti di attenuazione sul segnale trasmesso, in termini di variazione di fase e di ampiezza, dovute alla turbolenza troposferica [2]. Interferenze che possono portare ad un degrado del rapporto segnale/rumore fino a diversi decibel e che aumentano con l'aumentare della frequenza e la riduzione delle dimensioni dell'antenna.

La missione spaziale geostazionaria AlphaSat, lanciata nel 2013, ha previsto tra i propri carichi utili anche il sistema trasmittente in banda Ka e Q all'interno dell'esperimento TDP5 denominato "Aldo Paraboni" [3]. Tale esperimento ha come obiettivo lo sviluppo di nuovi modelli di propagazione atmosferica satellitare nelle bande Ka e Q, da sottoporre all'attenzione del gruppo internazionale di lavoro WG3 ITU-R ([4]; [5]-[7]).

Le principali stazioni riceventi appartengono all'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), ma diversi gruppi di ricerca hanno aderito a questo progetto, ognuno con una stazione ricevente con caratteristiche e prestazioni diverse.

La Sapienza Università di Roma, in collaborazione con la Direzione Generale TCSI-ISCTI e la Fondazione Ugo Bordoni (FUB), ha aderito al progetto con due ricevitori, uno per ciascuna frequenza, installati presso il Ministero delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT) a Roma.

2–Stazione di ricezione e data set

I due segnali di beacon inviati dal satellite AlphaSat attraverso l'atmosfera sono rispettivamente alla frequenza di 19,701GHz (Ka-band) e 39,402GHz (Q-band) [8].

L'antenna del ricevitore in banda Ka è una parabola a riflettore singolo di 1,5 metri di diametro mentre quella in banda Q è di circa 40 centimetri (figura 1). Per entrambe la gamma dinamica di misura supera i 20 dB.



Figura 1—Stazione ricevente Alphasat in banda Ka e Q presso il MIMIT, Roma.

Il segnale da AlphaSat [9] è soggetto, oltre a variabilità legata all'atmosfera, anche ad un instabile movimento spaziale ondulatorio proprio del satellite stesso [10]. Una parte fondamentale di entrambe le stazioni è costituita da un sistema di tracciamento automatico della posizione del satellite basato sulle effemeridi satellitari che è in grado di evitare oscillazioni indesiderate del segnale dovute proprio al movimento del satellite.

I dati acquisiti dalle due stazioni sono visualizzati in tempo reale ed archiviati a cadenza giornaliera, permettendo un'analisi completa della potenza ricevuta a valle del collegamento. Al fine di effettuare sia studi di attenuazione supplementare, sia delle scintillazioni troposferiche, i dati archiviati del 2021 sono stati sottoposti ad un primo processo di scrematura per essere catalogati in funzione della presenza di fenomeni precipitativi o loro assenza (cielo sereno) e di tutti i casi di fuori o parziale servizio: fuori allineamento satellite-ricevitore, spegnimento della stazione per manutenzione ed attivazione ripetuta per test.

3 –Elaborazione dati ed estrazione del template

Complessivamente i dati nelle due bande, Ka e Q, costituiscono una serie temporale del livello del segnale (in unità dBm) con frequenza di campionamento di 64 Hz. La diminuzione del segnale è causata dall'attenuazione atmosferica (pioggia, nuvole, grandine, neve, vapore acqueo, ossigeno...) e dal movimento spaziale satellitare [10] indesiderato. Quest'ultima variazione può essere notevolmente ridotta mediante l'inseguimento del satellite, ma non eliminata completamente.

Al fine di stimare l'attenuazione in eccesso, le serie temporali del livello del beacon acquisito, dopo una prima selezione per individuare i casi di fuori e parziale servizio, sono state sottoposte ad un processo di filtraggio allo scopo di calcolare un livello di riferimento in condizioni di aria limpida (template), livello che verrà sottratto dalla serie temporale stessa. Questo riferimento corrisponde al segnale medio di cielo sereno. Per la sua individuazione sono state adottate due metodologie distinte nel caso di cielo sereno o in presenza di eventi atmosferici. Nel primo caso si è utilizzato un filtro passa-basso che estrae dallo spettro del segnale le variazioni lente dovute agli effetti periodici, visibili in figura 2 in bassa frequenza.

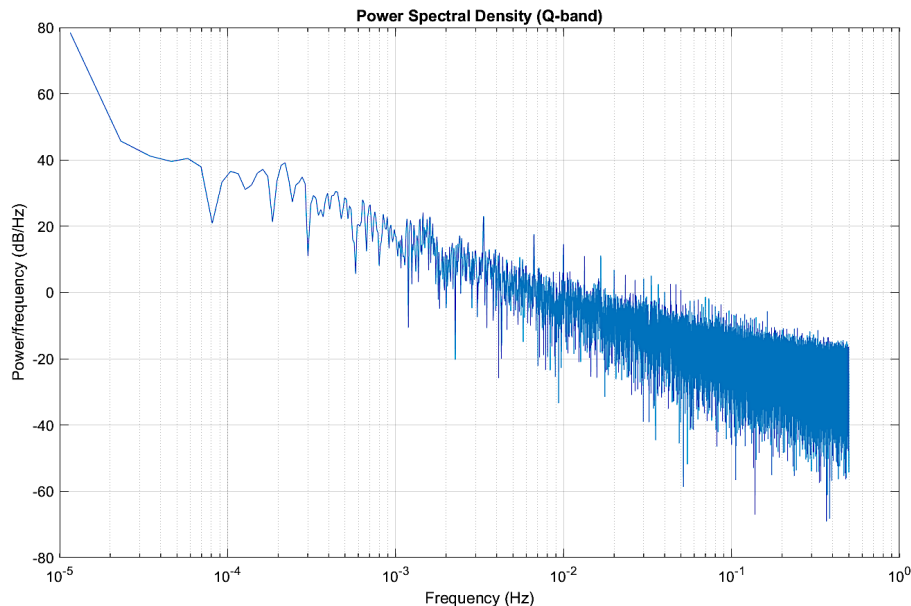


Figura 2—Esempio della densità spettrale di potenza del segnale di beacon in banda Q.

Per quanto riguarda i dati in cui sono presenti fenomeni perturbativi come pioggia, sganciamento del segnale, casi di fuori e parziale servizio, etc., sono stati trattati individuando nel segnale gli eventi di precipitazione, eliminando la porzione di segnale corrispondente e sostituendo poi i dati mancanti e non validi con un'interpolazione lineare a partire dai dati validi presenti. In seguito il segnale viene mediato con filtro passa-basso a media mobile a costituire il template.

La metodologia per la rilevazione della precipitazione si è ispirata, nell'approccio, al lavoro di [11] con la variante del calcolo della derivata del segnale. In letteratura esistono numerosi esempi di algoritmi di questo tipo, di rilevamento dei picchi di segnale, classificabili in funzione della loro complessità e delle loro prestazioni, soprattutto in ambito biomedico nel riconoscimento automatico del battito cardiaco ([12], [13]).

Il segnale è stato prima decimato, tramite la media ogni 64 campioni, riducendo così la frequenza di campionamento ad 1 Hz, e successivamente filtrato con un filtro FIR passa basso a media mobile con finestra di 5 minuti in modo da estrarre le variazioni lente.

Su questo segnale filtrato viene calcolata la derivata prima definita su una finestra mobile sempre di 5 minuti e calcolata la media e deviazione standard. Quando la derivata del valore medio del livello del beacon è maggiore della deviazione standard, il campione viene identificato come outlier e identificato come dato di precipitazione. I campioni che superano la soglia e distano meno di 5 minuti l'uno dall'altro sono accorpati nello stesso evento. Questa procedura identifica ed elimina dal segnale gli eventi di pioggia riconosciuti e reinterpola il segnale nei vuoti creati, ottenendo così il livello di riferimento o template a cielo sereno rispetto al quale saranno poi calcolate per sottrazione le attenuazioni supplementari.

Di seguito, in figura 3, è possibile vedere un esempio dell'algoritmo applicato al segnale in banda Q, campionato ad 1 Hz e mediato (linea blu), in presenza di eventi precipitativi durante la giornata del 30 marzo 2022. Nel grafico in basso (linea fucsia) è mostrata la derivata prima del segnale, con le linee tratteggiate rosse a definirne le soglie. Le linee tratteggiate in blu rappresentano gli eventi precipitativi identificati dal superamento delle soglie nella derivata. Infine la curva verde raffigura il livello di riferimento o template ricostruito.

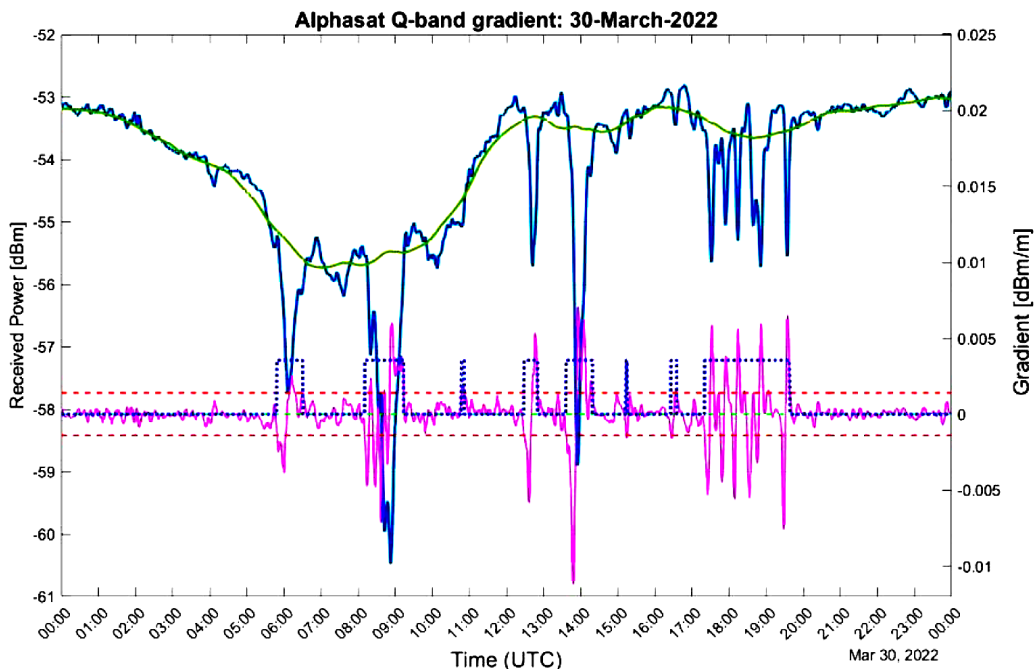


Figura 3—Esempio di segnale ricevuto in banda Q nelle 24 ore in caso di precipitazione. Sono mostrati il template ricostruito (linea verde), la derivata prima del segnale (linea fucsia), con le linee tratteggiate rosse a definirne le soglie e gli eventi precipitativi identificati dal superamento delle soglie nella derivata (linee tratteggiate in blu).

In figura 4, è mostrato lo stesso segnale di figura 3, campionato ad 1 Hz (linea arancione), la sua media a 5 minuti (linea blu), e il template ricostruito (linea verde). In basso gli intervalli temporali (ON-OFF) che attraverso la derivata identificano gli eventi precipitativi (linea blu tratteggiata) e, come controllo, il livello di precipitazione misurato da un pluviometro (linea celeste), distante meno di un chilometro, nella stessa giornata.

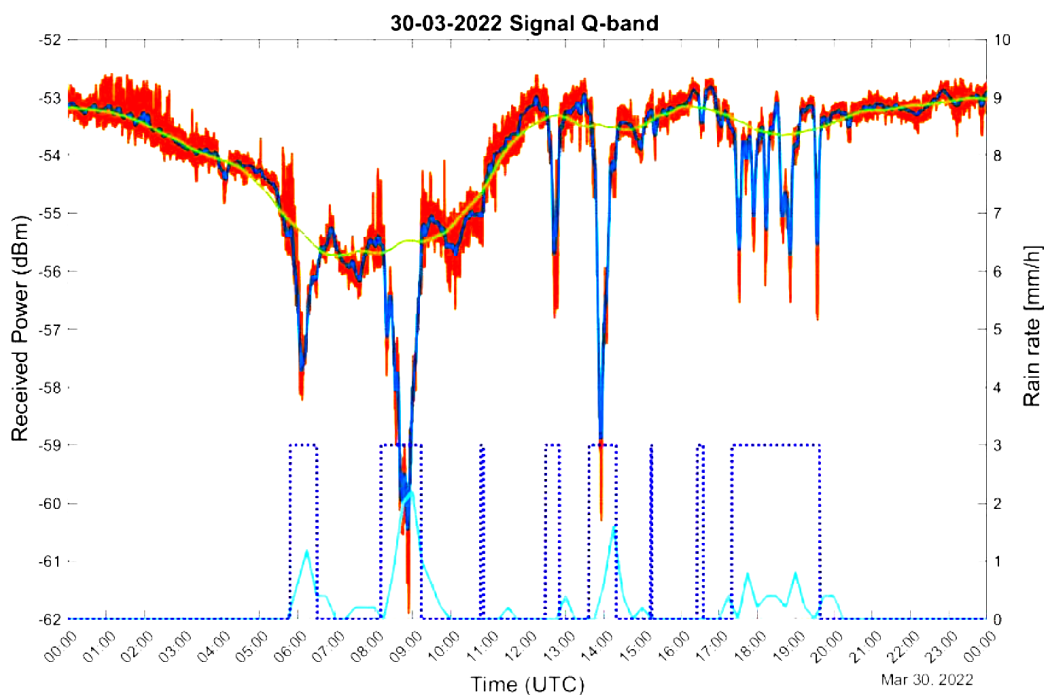


Figura 4—Esempio di segnale ricevuto in banda Q nelle 24 ore in presenza di eventi di precipitazione. Il livello di riferimento del segnale a cielo sereno è indicato dalla linea verde, l'evento di precipitazione è indicato dalla linea blu tratteggiata (ON-OFF) e livello di precipitazione misurato dal pluviometro dalla linea celeste.

4 –Statistiche di attenuazione

I segnali Alphasat ricevuti nel 2021 sono stati analizzati applicandovi il metodo dinamico di generazione del template a cielo sereno descritto nel paragrafo precedente e calcolata l'attenuazione troposferica supplementare (Figura 5).

L'analisi ha rilevato che non tutti i dati archiviati sono stati utilizzati, specialmente in banda Q, dove a causa di manutenzioni, malfunzionamenti e fuori servizio della stazione avvenuti durante l'anno esaminato, hanno limitato la disponibilità di dati utili: è stato analizzato il 75% dei dati in banda Ka mentre solo il 29% in banda Q.

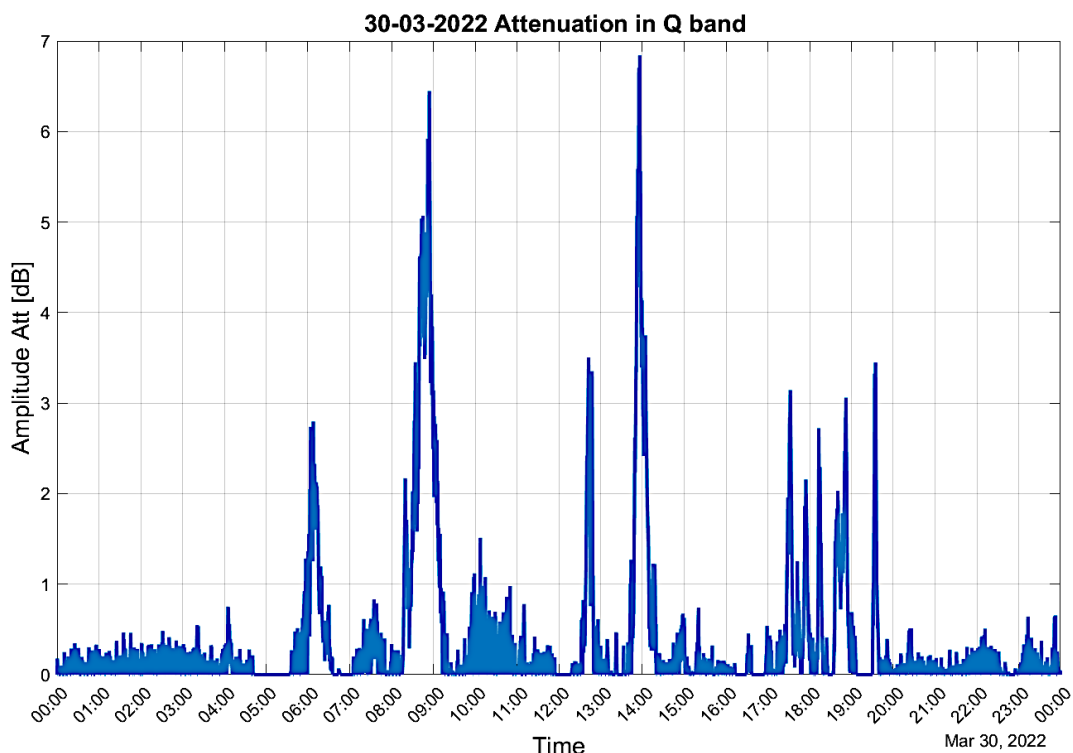


Figura 5—Rappresentazione dell'attenuazione troposferica supplementare in banda Q rilevata il 30 marzo 2022.

L'eccesso di attenuazione troposferica ricavato dai dati del 2021 è stato rappresentato, in figura 6, attraverso la funzione di distribuzione cumulativa complementare (CCDF) nelle due frequenze a 19,701 GHz (linea continua blu) e 39,402 GHz (linea continua arancione) e poi confrontate con le curve di probabilità di attenuazione ottenute tramite le raccomandazioni del modello di predizione ITU-R P.618-13 (linee tratteggiate gialla e viola) [14]. Questo perché le raccomandazioni ITU sono limitate all'utilizzo in casi di condizioni di aria chiara mentre, i dati misurati con la stazione ricevente AlphaSat, sono stati ottenuti anche in presenza di fenomeni atmosferici.

La curva CCDF mostra la quantità di tempo che il segnale di attenuazione trascorre al di sopra di un certo livello del segnale misurato o, in modo equivalente, la probabilità che l'attenuazione del segnale stesso sia superiore a un determinato livello di attenuazione. L'accordo tra i dati sperimentali e le curve del modello appare ragionevole, ma inizia a divergere verso valori di attenuazione più elevati in banda Q: ciò è dovuto principalmente alla minore disponibilità di dati raccolti.

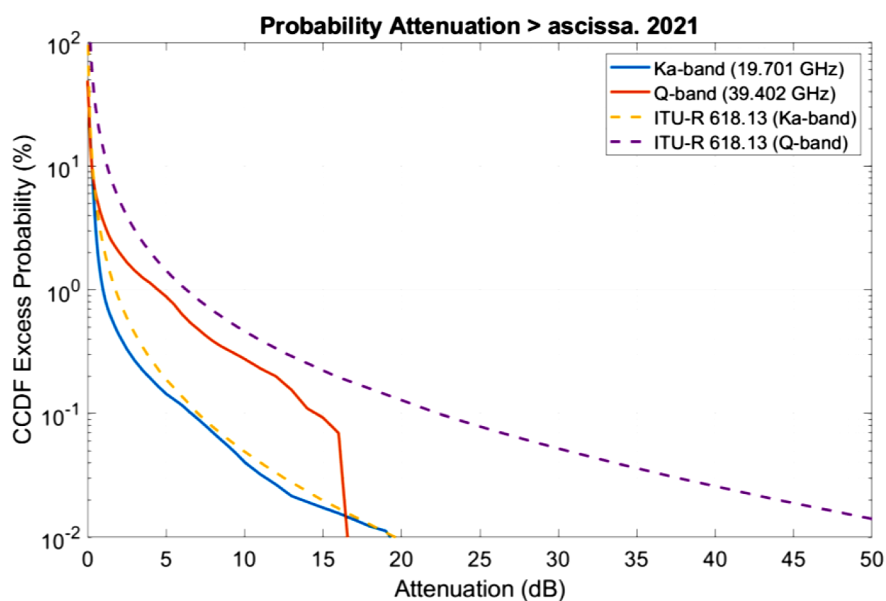


Figura 6 – CCDF dell'eccesso di probabilità dell'attenuazione (linee continue) misurata presso la stazione dell'EUR nel 2021 e modello di predizione da ITU-R P.618-13 (linee tratteggiate) a confronto.

5 – Conclusioni

L'aggiornamento del ricevitore AlphaSat in banda Ka con l'installazione del sistema di tracciamento automatico dei satelliti ha migliorato notevolmente le prestazioni della stazione, sbloccando la capacità di acquisire dati in modo coerente in entrambe le bande di frequenza senza oscillazioni indesiderate dovute al movimento del satellite. Dall'analisi spettrale non compaiono linee spettrali per una frequenza pari al tempo di aggiornamento del sistema di tracciamento, per cui l'effetto dovuto al movimento discreto dei motori è trascurabile.

L'analisi spettrale ha denotato anche un buon comportamento del ricevitore complessivo, mostrando i risultati attesi dalla letteratura.

Il confronto con il modello ITU-R dell'attenuazione statistica mostra una buona corrispondenza con i dati sperimentali annuali limitata dalla qualità del dato in banda Q. I dati saranno utilizzati anche per esaminare gli effetti dell'ampiezza di scintillazione a paragone con modello ITU-R.

Ringraziamenti

Siamo grati alla Direttrice e ai colleghi del DGTCSE-ISCTI MIMIT che hanno consentito le misure presso il Laboratorio di Microonde. Ringraziamo DGTCSE-ISCTI MIMIT e Sapienza Università di Roma che hanno cofinanziato questo lavoro. Un particolare ringraziamento va alla persona di Frank Marzano, recentemente scomparso, fonte di ispirazione e sempre presente.

Riferimenti bibliografici

- [1] Maral G. and Bousquet M., "Satellite Communications Systems" 5th Ed., Wiley and Sons Ltd (Chichester, UK), 2009.
- [2] Brussaard G. and Watson P.A., "Atmospheric modelling and millimeter wave propagation", Chapman and Hall, London (UK), 1995.
- [3] Riva C., L. Luini, M. D'Amico, R. Nebuloni, A. Marziani, F. Consalvi, and F.S. Marzano, "The Alphasat Aldo Paraboni propagation experiment: Measurement campaign at the Italian ground stations", *Int. J. of Satellite Communications and Networking*, vol. 37 (5), pp. 423-436, 2019
- [4] Marzano, F.S., A.M. Marziani, G. Pierri, E.R. Restuccia, F. Consalvi, "Analisi delle Scintillazioni in Aria Chiara del Collegamento Alphasat in Banda Q di Spino d'Adda Tramite Utilizzo di Radiosondaggi", *La Comunicazione NRN*, pp. 35-46, 2016.
- [5] Marziani A, Consalvi F, Chicarella S, Restuccia E, Amaduzzi L, Marzano FS. "AlphaSat Ka-band and Q-band Receiving Station in Rome: Development, status and measurements." *Proc. of the 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2015)*, 1–5, 12–17 2015, Lisbon, Portugal, 2015.

- [6] Marziani A.M., Riva C, Consalvi F., Restuccia E.R., Marzano F.S., “Clear-air scintillation analysis of Q-band AlphaSat downlink at Spino d'Adda using RAOB data”, Proc. of the 11th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2017), 1-5, 19-24 Mar. 2017, Paris, France, 2017.
- [7] Marziani A.M., F. Consalvi, G. Pierri, E.R. Restuccia, A. Martellucci, F.S. Marzano, “AlphaSat Aldo Paraboni Experiment Q-band Receiving Station in Rome (Italy): Upgrades and Preliminary Scintillation Measurements”, 2nd URSI AT-RASC, Gran Canaria, 28 May – 1 June 2018.
- [8] Paraboni A., “Description of Alphasat TDP5 Propagation Experiment”, Proceedings of the ESA Propagation Workshop ESA WPP 298, 2008.
- [9] Codispoti G., A. Vernucci, C. Cornacchini, S. Falzini, E. Russo, A. Pandolfi. “The Alphasat TDP#5 Experiment and Challenges for Future Q/V- band Systems Exploitation.” In: IET Seminar on Beyond Ka-Band: Meeting the Communication Bandwidth Requirements of the Future [online]. 2011 [cit. 2015- 05-11]. DOI: 10.1049/ic.2011.0222
- [10] Pek V., V. Brazda, O. Fiser. “Description of Alphasat satellite space motion and its consequences for signal reception.” Conference Radioelektronika, 2016.
- [11] Pastoriza-Santos, V.; Machado, F.; Nandi, D.; Pérez-Fontán, F. Low-Cost Ka-Band Satellite Receiver Data Preprocessing for Tropospheric Propagation Studies. *Sensors* 2022, 22, 1043. <https://doi.org/10.3390/s22031043>
- [12] Fraden J, Neuman MR. QRS wave detection. *Med Biol Eng Comput.* 1980 Mar;18(2):125-32.
- [13] Holsinger W. P. et al., A QRS preprocessor based on digital differentiation. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-18, pp. 212-217, 1971.
- [14] ITU-R recommendation P.618-13. “Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems,” Geneva, Switzerland, 2017. Jeannin N, Castanet L, Radzik J, Bousquet M, Evans B, Thompson P. Smart gateways for terabit/s satellite. *International Journal of Satellite Communications and Networking.* 2014;32(2):93-106. (<http://oatao.univ-toulouse.fr/11239/>)