# Un modello di canale per comunicazioni via piattaforma stratosferica

Fabio Dovis, Patrizia Savi
Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino,
C.so Duca degli Abruzzi, 24, Torino (Italy).
tel: +39(011)565-4175, fax: +39(011)564-4099,
e-mail: {dovis,savi}@polito.it

**Abstract**

In recent years there has been a great interest in the development of High Altitude platforms (HAP), which are low cost stratospheric payload platform, tailored for a wide range of applications within telecommunications and remote sensing, flying at altitudes between 15 and 30 km, with a potential endurance of weeks to months. This paper deal with the theoretical derivation of a channel model for the communication link between the platform and terrestrial mobile users or stations. Particular attention is payed to the determination of the average path loss due to ground reflection and diffraction from obstacles.

## I. Introduzione

Le piattaforme stratosferiche (HAP, High Altitude Platforms), aeroplani o altri velivoli che volano nella stratosfera ad una altezza compresa tra i 15 e 30 Km, sono state proposte come una valida alternativa ai sistemi di comunicazione terrestri o via satellite tradizionali [1].

L'Unione delle Telecomunicazioni Internazionali ha stabilito varie bande di frequenza per le applicazioni HAP. Le bande $47.2-47.5$ GHz e $47.9-48.2$ GHz per servizi fissi [2]; la banda $18-22$ GHz per applicazioni radiomobili a larga banda in alcuni paesi della Regione 3 [3]. Infine, per i sistemi di comunicazioni radiomobili di terza generazione sono state allocate le bande $1885-1980$ MHz, $2010-2025$ MHz, $2210-21170$ nelle Regioni 1 e 3, e le bande $1885-1980$ MHz e $2110-2160$ MHz nella Regione 2 [4].

Il canale di comunicazioni tra la piattaforma e gli utenti terrestri sia mobili che fissi, denominato canale LHAP (Land- High Altitude Platform), è selettivo nel tempo e nella frequenza e presenta caratteristiche differenti da quelle dei canali terrestri [5]. In questo lavoro, viene introdotto un modello di canale LHAP esteso che tiene conto delle fluttuazioni medie del segnale ricevuto dovute a riflessione dal terreno e diffrazione da ostacoli (attenuazione di larga scala) con particolare riferimento alle applicazioni radiomobili ($f = 2$ GHz)

## II. Attenuazione di tratta per il canale LHAP

*Riflessione dal terreno*

Nel caso di una stazione di terra (GS), gli effetti della riflessione dal terreno sulla attenuazione di tratta possono essere studiati con il modello a due raggi [6] che tiene conto sia del cammino diretto tra trasmettitore e ricevitore $d'$ che del cammino riflesso dal terreno $d''$ (vedi figura 1a).

Dato un campo elettrico polarizzato linearmente e perpendicolare al piano di incidenza, e con l'ipotesi di terra piana, il campo elettrico totale al ricevitore può essere espresso come la somma di due contributi: il campo elettrico dovuto al raggio diretto e quello dovuto al raggio riflesso dal terreno. L'ampiezza del campo elettrico totale nel dominio della frequenza può quindi essere espresso come:

$$|E(d)| = E_0 d_0 \sqrt{\frac{1}{d'^2} + \frac{\Gamma_\perp}{d''^2} + 2\,\frac{\Gamma_\perp}{d'd''}\cos\left(\omega\frac{d'-d''}{c}\right)}, \tag{1}$$

dove $E_0$ è il campo elettrico in spazio libero alla distanza di riferimento $d_0$ dal trasmettitore, $\Gamma_\perp$ il coefficiente di riflessione, $c$ la velocità della luce.

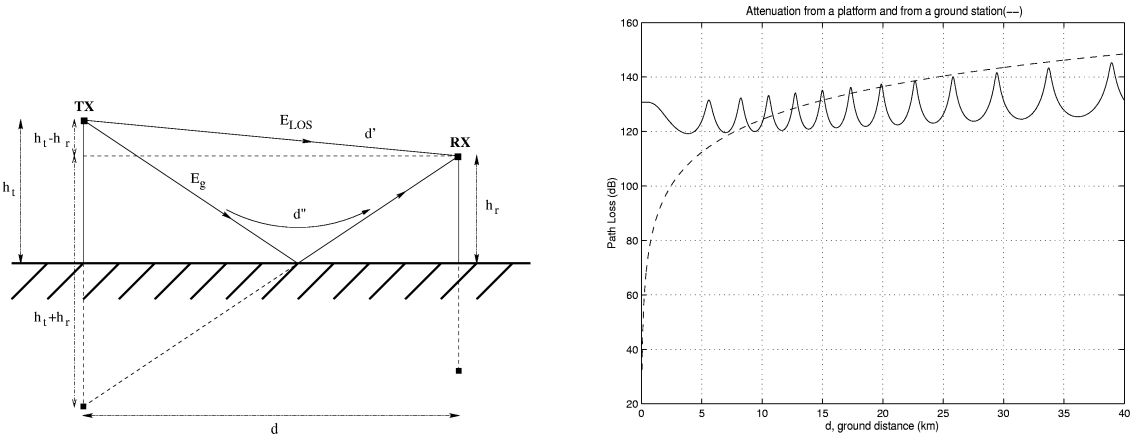


Fig. 1. *a*) Geometria del modello a due raggi. *b*) Confronto tra l'attenuazione di un collegamento via terra (linea tratteggiata) ed un collegamento via piattaforma stratosferica (linea continua) (f=2 GHz).

Se $d$ è la distanza a terra, definita come la distanza tra il ricevitore e la stazione di terra, e $h_T$, $h_R$ le altezze delle antenne trasmittenti e riceventi rispettivamente, se $d >> h_T, h_R$ ne segue che $d \sim d' \sim d''$. Inoltre approssimando la differenza di cammino $\Delta R = \frac{2\pi}{\lambda}(d' - d'') \sim 2h_T h_R/d$, la (1) diventa:

$$|E_{TOT}(d)| \approx E_0 d_0 \frac{4\pi h_T h_R}{\lambda\, d^2} \tag{2}$$

Pertanto, la potenza totale ricevuta alla distanza $d$ dal trasmettitore può essere espressa come:

$$P_R(d) = P_T G_T G_R L_{GS}^{-1} \tag{3}$$

dove $L_{GS}$ è l'attenuazione di tratta definita da:

$$L_{GS} = \frac{d^4}{h_T^2 h_R^2} \tag{4}$$

A grande distanza, la potenza ricevuta decresce con la quarta potenza della distanza, ossia molto più rapidamente che in spazio libero.

Nel caso della piattaforma stratosferica (PS), definendo la distanza a terra come la distanza tra il piede della verticale della piattaforma e il ricevitore, le approssimazioni del caso precedente non sono più valide. In questo caso la potenza totale ricevuta può essere espressa come:

$$P_R(d) = P_T G_T G_R L_{PS}^{-1} \tag{5}$$

dove l'attenuazione di tratta $L_{PS}$ risulta data da:

$$L_{PS} = \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 \left[\frac{1}{d'^2} + \frac{\Gamma_\perp}{d''^2} + 2\,\frac{\Gamma_\perp}{d' d''} \cos\left(\omega \frac{d' - d''}{c}\right)\right]^{-1} \tag{6}$$

Nella figura 1b, sono riportate l'attenuazione di tratta di un collegamento a terra (linea tratteggiata) e di uno con piattaforma stratosferica (linea continua) in funzione della distanza a terra ($d$) alla frequenza di 2 GHz. Si può osservare che per i primi 8 km di copertura, l'attenuazione del collegamento via terra è minore. Questo è ovviamente dovuto al fatto che il trasmettitore nel collegamento terrestre è più vicino che non nel caso della piattaforma. Tuttavia, al crescere della distanza a terra, alla frequenza di 1 GHz, le condizioni di propagazione nel caso PS sono più favorevoli. Pertanto, in questo caso, una piattaforma stratosferica è più adatta alla copertura di una ampia area in cui non siano presenti ostacoli, ad esempio in ambiente rurale.

*Diffrazione da ostacoli*

Per tenere in conto anche gli effetti di diffrazione, è stato esteso al caso del collegamento via piattaforma il modello analitico proposto da [8]. Secondo tale modello l'attenuazione totale in decibel per un sistema di terra può essere espressa come la somma di tre contributi:

$$L = L_{fs} + L_{rts} + L_{md} \tag{7}$$

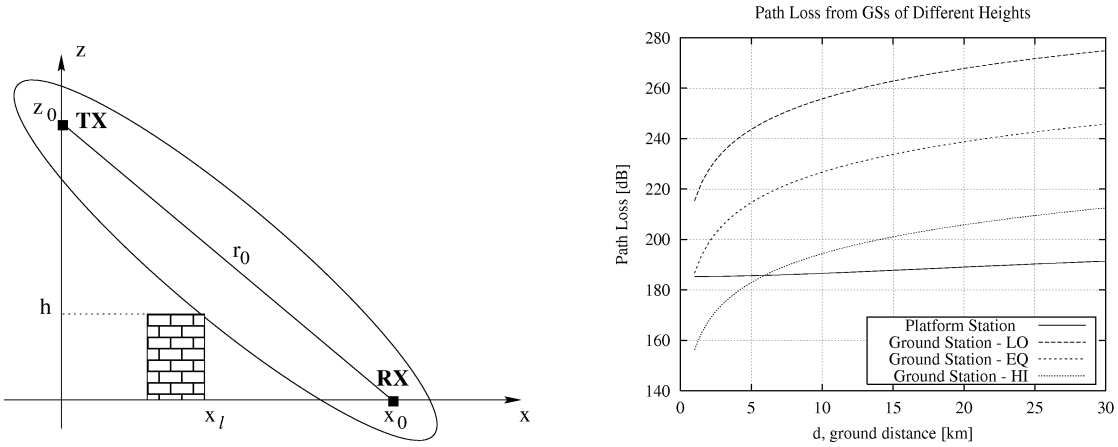


Fig. 2. *a*) Prima zona di Fresnel nel caso di piattaforma stratosferica. *b*) Confronto tra l'attenuazione dovuta alla diffrazione da ostacoli per collegamento via terra e via piattaforma con diverse posizioni dell'antenna

dove $L_{fs}$ è l'attenuazione in spazio libero, $L_{rts}$ l'attenuazione dovuta alla diffrazione dai tetti, e $L_{md}$ tiene conto della diffrazione multipla tra file di edifici. Le espressioni di tali contributi sono riportate in [8], equazioni (3),(4) e (5). Nel caso di un collegamento con piattaforma stratosferica il terzo termine può essere trascurato. Infatti, come ben noto, solo gli ostacoli che cadono nella prima zona di Fresnel hanno effetti sulla potenza ricevuta.

Nel caso della piattaforma, la prima zona di Fresnel è una ellisse i cui fuochi sono la piattaforma stessa ed il ricevitore come mostrato in figura 2a. Con considerazioni geometriche è quindi possibile determinare la posizione $x_l$ nella quale un oggetto di altezza $h$ entra nella prima zona di Fresnel e concludere che nel caso di collegamento via piattaforma, la diffrazione da file successive di edifici può essere trascurata.

Nella figura 2b sono riportate l'attenuazione di un collegamento via piattaforma stratosferica e e di un collegamento via terra per diverse posizioni dell'antenna: antenna al livello dei tetti (caso EQ, $\Delta h_b = 0$m), antenna sopra il livello dei tetti (caso HI, $\Delta h_b = 15$m), antenna sotto il livello dei tetti (caso LO, $\Delta h_b = -5$m). Si può osservare che, per distanze superiori a 6 Km il collegamento via piattaforma stratosferica presenta un attenuazione minore.

*Attenuazione da pioggia*

La pioggia è tra gli effetti atmosferici che più possono deteriorare le prestazioni di un sistema di comunicazione radio. L'attenuazione $\gamma_r$ (dB/km) può essere calcolata dal tasso di piovosità utilizzando la seguente relazione [9]:

$$\gamma_r = kr^{\alpha} \tag{8}$$

I valori di $k$ e $\alpha$ possono essere ottenuti da ITU-R PN 838-1 e dipendono dalla zona climatica e dalla frequenza utilizzata. Ad alta frequenza, l'attenuazione da pioggia è significativa ed impedisce collegamenti a terra di notevole lunghezza. Questo effetto è meno evidente nel caso di trasmissione da piattaforma stratosferica poichè lo strato di pioggia si trova nei primi 2.5 - 3 km dell'atmosfera.

Il guadagno di un collegamento via piattaforma stratosferica normalizzato a quello di un collegamento a terra, può essere espresso come:

$$\frac{A_{rg}}{A_{rp}} = \frac{d}{h_{rl}\sqrt{1+\left(\frac{d}{h}\right)^2}} \tag{9}$$

dove $d$ è la distanza tra trasmettitore e ricevitore, $h_{rl}$ è l'altezza dello strato di pioggia e $h$ l'altezza della piattaforma. Si osservi come questo guadagno non dipende dalla attenuazione $\gamma_r$ e non è quindi funzione della frequenza.

In figura 3 il guadagno di un collegamento via piattaforma viene confrontato con quello di un collegamento via terra nel caso di uno strato di pioggia di 3 Km, in funzione della distanza da terra. Come previsto, vi è una distanza a terra, $d_c$, per la quale l'attenuazione da pioggia è minore per

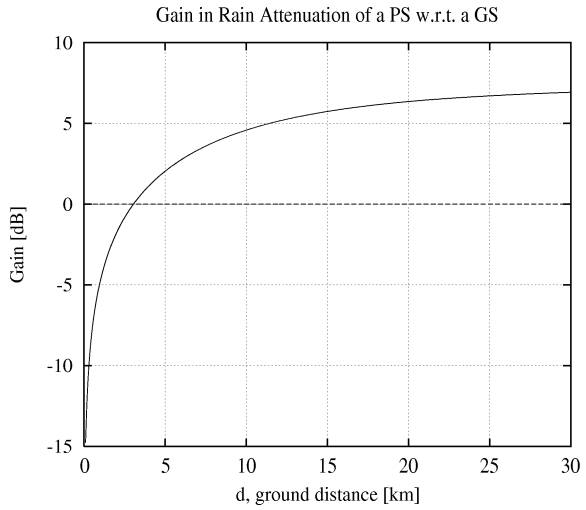


Fig. 3. Attenuazione da pioggia: guadagno di un collegamento via piattaforma rispetto ad un collegamento a terra per uno strato di pioggia di 3 Km

il collegamento via piattaforma. Tale distanza è il punto per cui $l_r(d_c) = d_c$, e può essere espressa come:

$$d_c = \frac{h_{rl}}{\sqrt{1 - \left(\frac{h_{rl}}{d}\right)^2}} \tag{10}$$

Per uno strato di pioggia di altezza 3 Km, tale distanza risulta essere 3.048 Km.

## III. Conclusioni

Sulla base dell'analisi effettuata, si può concludere che un collegamento via piattaforma stratosferica è più indicato di un collegamento via terra per coprire una ampia area dove non siano presenti ostacoli. Inoltre, il collegamento via piattaforma è più conveniente anche nel caso di ambiente urbano non solo perché è più visibile, ma anche perché l'oscuramento quando presente è minore.

Si osserva infine che, nel caso di collegamento via piattaforma, la potenza ricevuta varia più lentamente che non nel caso del collegamento via terra e questa caratteristica è particolarmente utile per quei servizi che richiedono un livello del segnale ricevuto costante.

## BIBLIOGRAFIA

1. G.M. Djuknic, J. Freidenfelds, Y. Okunev, "Estabilishing Wireless Communications Services via High Altitude Platforms: A Concept Whose Time has Come?", IEEE Communications Magazine, pp 128-135, Sept.1997
2. ITU-R Resolution F1500, 2000.
3. Draft New Rec. ITU-R f.[9B/Ka-HAPS], 2000.
4. ITU-R Resolution M.1456, 2000.
5. F. Dovis, R. Fantini, M. Mondin, P. Savi, "Small Scale Fading for High Altitude Platform (HAP) Propagation Channels", IEEE *Journal of Selected Areas in Communication*, April 2002.
6. T.S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice,* Prentice-Hall, 1996.
7. T.S. Rappaport, J.C. Liberti, "A Geometrically Based Model for Line-of-Sight Multipath Radio Channels", *46th IEEE Vehicular Technology Conference*, Atlanta USA. Apr/May 1996.
8. H.H. Xia," A Simplified Analytical model for predicting path loss in urban and suburban enviroments", IEEE Trans. on Vehicular Technology, pp.1040-1046, Nov. 1997
9. ITU Reccomendations Assembly,"Specific Rain Attenuation", *Reccomendation ITU-R PN.838-1*, 1992-4