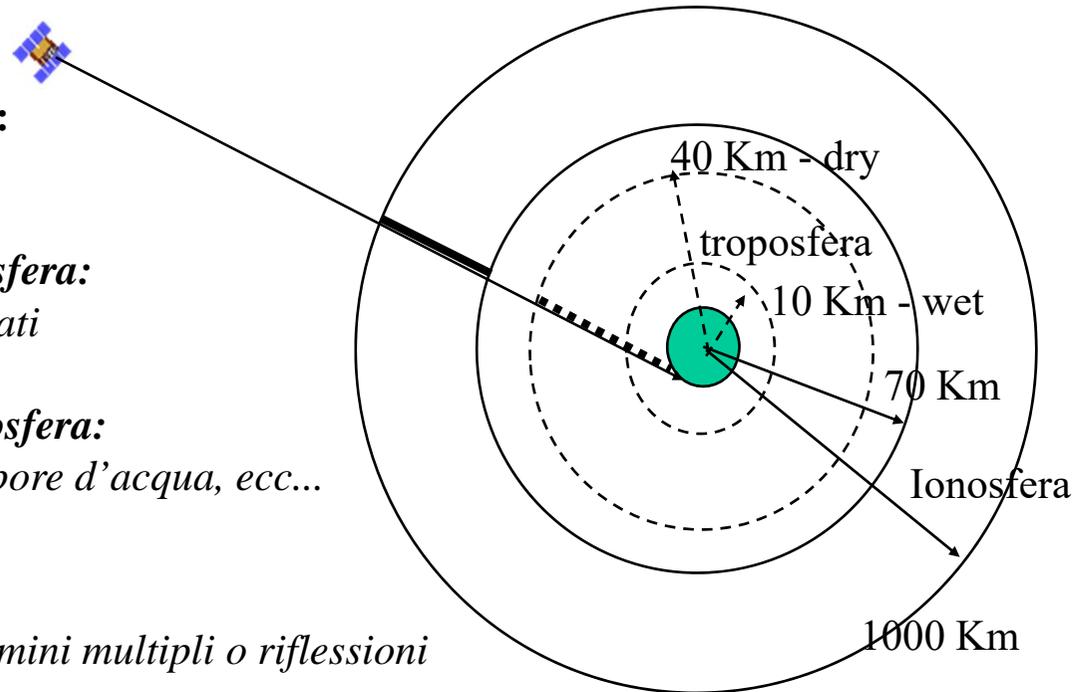

Effetto della propagazione sulla Radiolocalizzazione satellitare

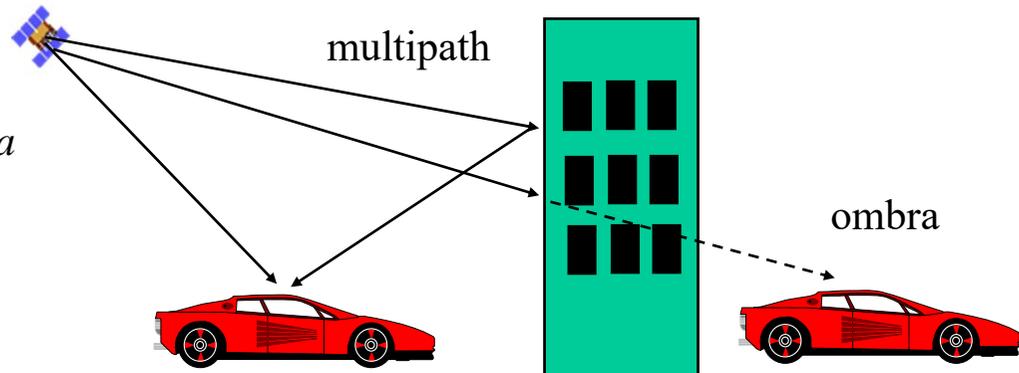
Errori dovuti alle osservazioni

- **Errori atmosferici:**
 - *propagazione nella ionosfera:*
densità di elettroni ionizzati
 - *propagazione nella troposfera:*
contributo di umidità, vapore d'acqua, ecc...

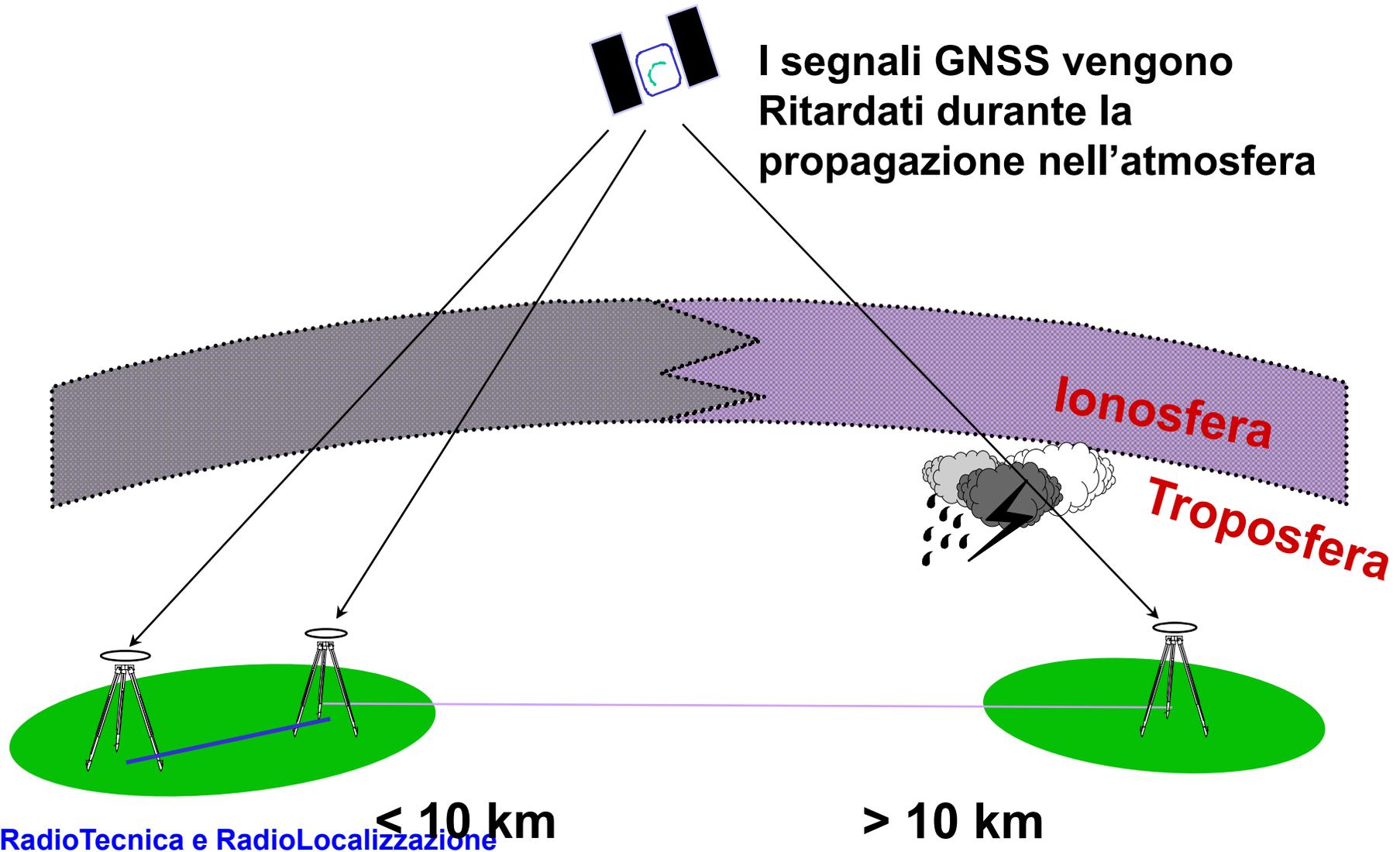


- **Multipath:** *cammini multipli o riflessioni*

- **Shadowing:** *zone di ombra*



Ritardo Atmosferico



Errori atmosferici

- Errori atmosferici:

$$n(f) = \frac{c}{v(f)}$$

- *indice di rifrazione dipende dalla frequenza*

$$S(f) e^{-j2\pi f \frac{d}{c} n(f)} = G(f - f_0) e^{-j2\pi f \frac{d}{c} n(f)} =$$

$$\approx G(f - f_0) e^{-j2\pi \frac{d}{c} \{f_0 n(f_0) + [n(f_0) + f_0 n'(f_0)](f - f_0)\}}$$



$$g\left(t - \left[n(f_0) + f_0 n'(f_0)\right] \frac{d}{c}\right) e^{j2\pi f_0 t} e^{-j2\pi f_0 n(f_0) \frac{d}{c}}$$

velocità di gruppo $v_g = c/n_g$

velocità di fase $v_p = c/n_p$



$$g\left(t - \left[n(f_0) + f_0 n'(f_0)\right] \frac{d}{c}\right) e^{j2\pi f_0 \left[t - n(f_0) \frac{d}{c}\right]}$$

Ritardo ionosferico (I)

- *propagazione nella ionosfera:*
densità di elettroni ionizzati n_e

$$n_p = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots$$

$$n_p = 1 - \frac{40.3 n_e}{f^2}$$

$$n_g = n_p + f n'_g = 1 - \frac{c_2}{f^2} - \frac{2c_3}{f^3} - \frac{3c_4}{f^4} + \dots$$

$$n_g = 1 + \frac{40.3 n_e}{f^2}$$

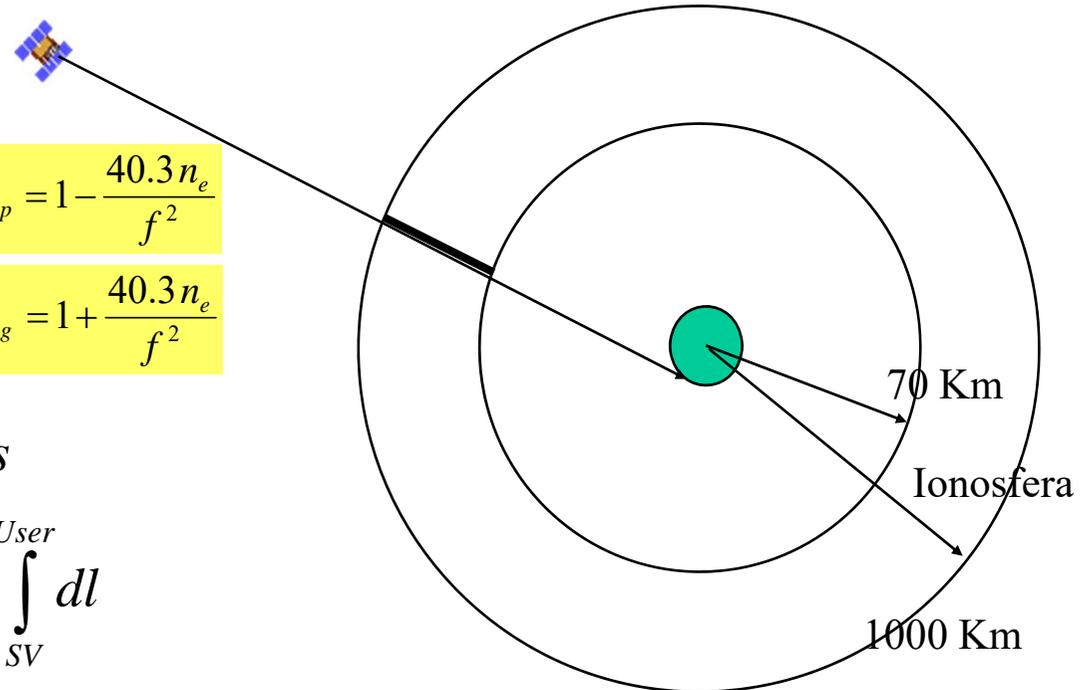
range misurato: $S = \int_{SV}^{User} n ds$

range line-of-sight $l = \int_{SV}^{User} dl$

$$\Delta S_{iono} = \int_{SV}^{User} n ds - \int_{SV}^{User} dl \approx \int_{SV}^{User} n dl - \int_{SV}^{User} dl = \int_{SV}^{User} (n - 1) dl$$

$$\Delta S_{iono,p} = -\frac{40.3}{f^2} \int_{SV}^{User} n_e dl = -\frac{40.3}{f^2} F_{pp} \cdot TEC$$

$$\Delta S_{iono,g} = \frac{40.3}{f^2} \int_{SV}^{User} n_e dl = \frac{40.3}{f^2} F_{pp} \cdot TEC$$



Ritardo ionosferico (II)

- *TEC= Total Electron Count* (definito sulla verticale)

- *fattore di obliquità:*

$$F_{pp} = \sqrt{1 - \left(\frac{R_e \cos \phi}{R_e + h_I} \right)^2}$$

ϕ = angolo dallo zenith

h_I = altezza della massima densità di elettroni (valore usato nel WAAS= 400 Km)

Stima del ritardo ionosferico

$$\Delta S_{iono,corrL1} = \left(\frac{L_2^2}{L_2^2 - L_1^2} \right) (\rho_{L1} - \rho_{L2})$$

con $(f_1/f_2)^2 = (77/60)^2$

RadioTecnica e RadioLocalizzazione

Ritardo troposferico

- *propagazione nella troposfera:*
contributo di umidità, vapore d'acqua, ecc...

$$\Delta S_{tropo} = \int_{SV}^{User} (n-1) ds = 10^{-6} \int_{SV}^{User} N ds$$

$$N = 10^6 (n-1) = N_d(h) + N_w(h)$$

componente dry:

$$N_d(h) = N_{d,0} \left[\frac{h_d - h}{h_d} \right]^\mu$$

$$N_{d,0} = a_1 \frac{p_0}{T_0} \quad h_d: \text{estensione superiore della zona dry}$$

componente wet:

$$N_w(h) = N_{w,0} \left[\frac{h_w - h}{h_w} \right]^\mu$$

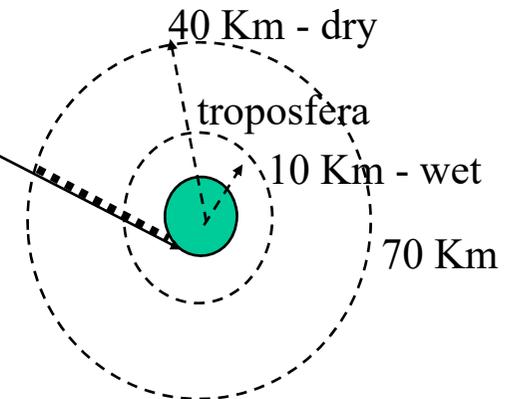
$$N_{w,0} = a_2 \frac{e_0}{T_0} + a_3 \frac{e_0}{T_0^2} \quad h_w: \text{estensione superiore della zona wet}$$

p_0 = pressione parziale della componente secca (mbar) al livello del mare

T_0 = temperatura assoluta (K) al livello del mare

costanti empiriche: $a_1 = 77.624 \text{ K/mbar}$, $a_2 = -12.92 \text{ K/mbar}$, $a_3 = 371,900 \text{ K}^2/\text{mbar}$, $\mu = 4$

e_0 = pressione parziale di vapore d'acqua al livello del mare (mbar)

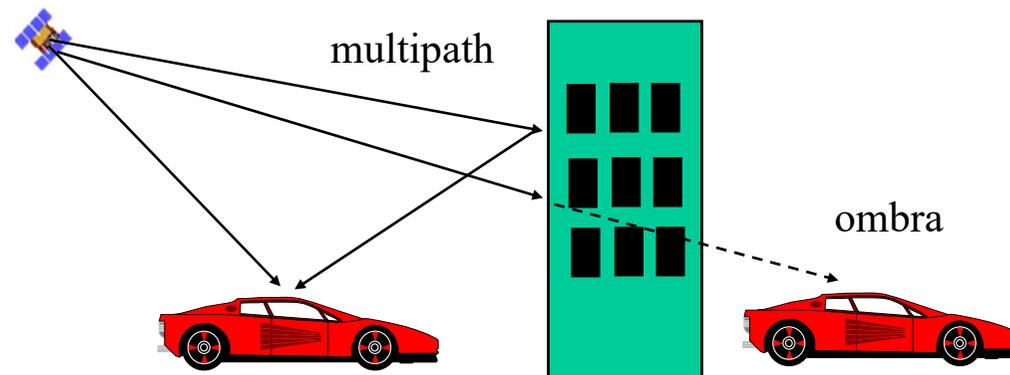


Satellite Mask Angle

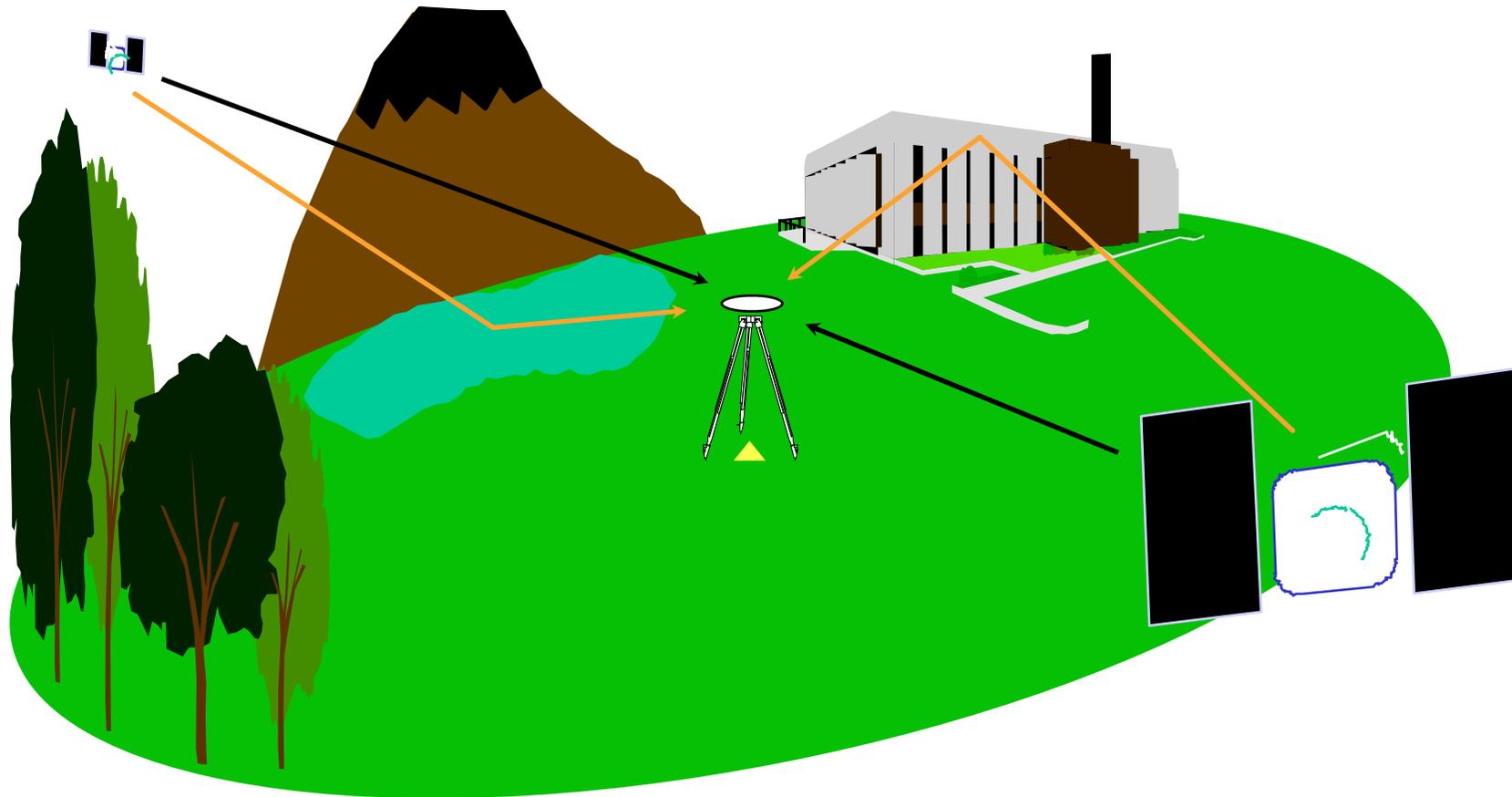
- Il ritardo troposferico è maggiore per satelliti a bassi angoli di elevazione poiché il segnale deve attraversare una maggiore porzione di troposfera.
- C'è un compromesso nella scelta dell'angolo di mascheramento: più si sceglie alto, più diminuisce il ritardo ionosferico, ma diminuisce anche il numero di satelliti in visibilità e cresce il DOP

Errori dovuti alle osservazioni (II)

- **Multipath:** *cammini multipli o riflessioni*
- **Shadowing:** *zone di ombra*



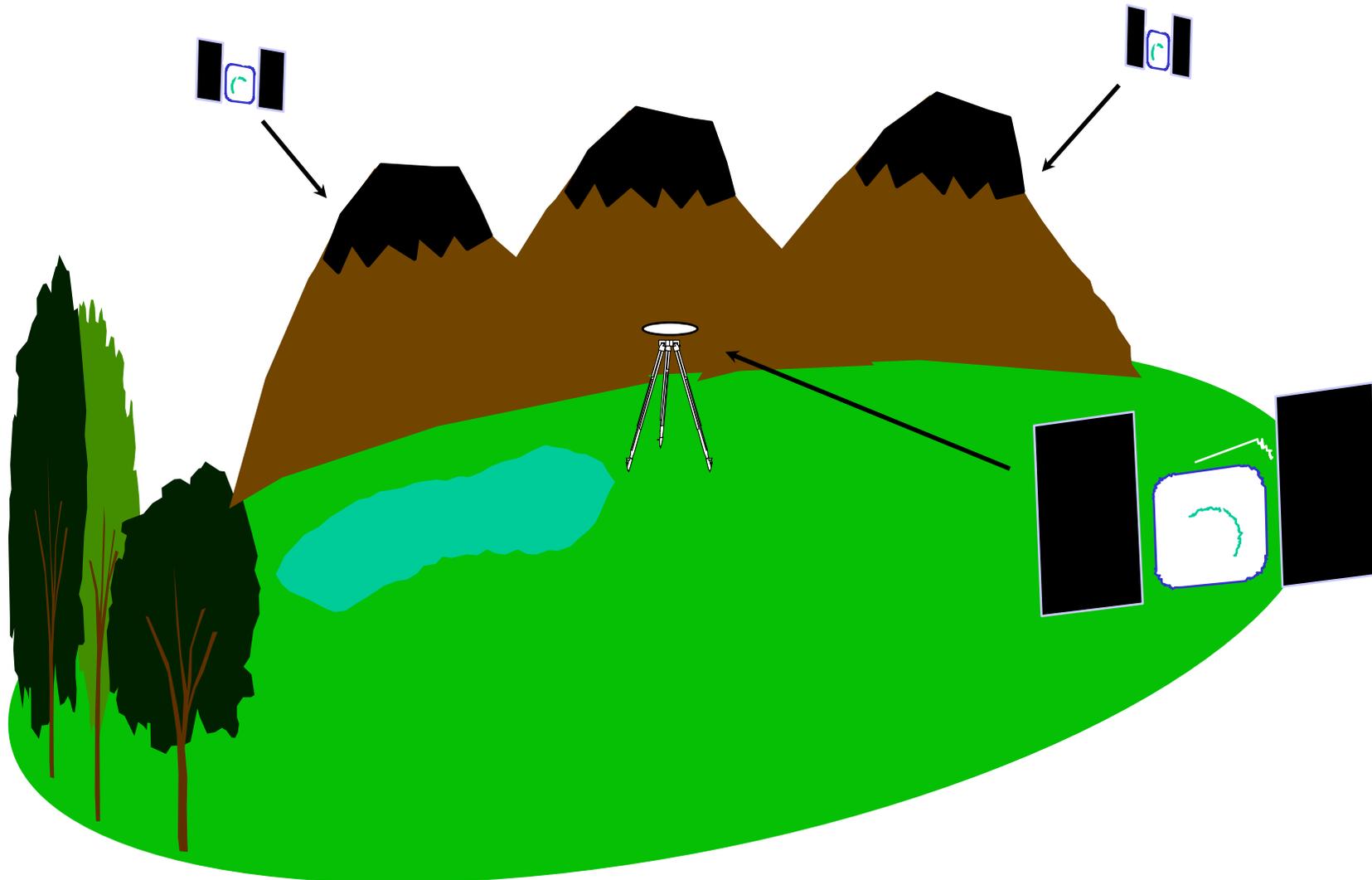
Multipath



Multi-Path Error

- Si presenta quando i segnali GNSS vengono riflessi ed il ricevitore rivela due segnali invece di uno soltanto in tempi diversi. Ciò causa confusione in ricevitori di basso livello, ma in genere è facile da correggere.
- Ricevitori di alto livello copmpensano il multipath
- Molti sistemi di misura usano soluzioni hardware: antenne con schermi o schemi di cancellazione del multipath

Obstruction



Ostruzione del segnale

- Si verifica quando qualche corpo blocca la propagazione del segnale GNSS.
- Aree con grande differenza di altezza
 - Canyons
 - Mountain Obstruction
 - Urban Environments
- Indoors