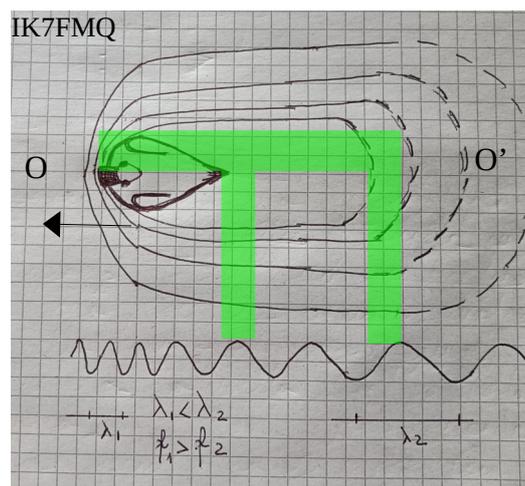


# EFFETTO DOPPLER

## Ovvero i satelliti come paperette!



Una paperetta nuota in uno stagno muovendosi in linea retta. Il suo incedere produce delle onde sull'acqua. Facendo attenzione, notiamo che davanti alla paperetta le onde hanno creste ravvicinate, mentre, le stesse, si allargano dietro al nostro amico pennuto.



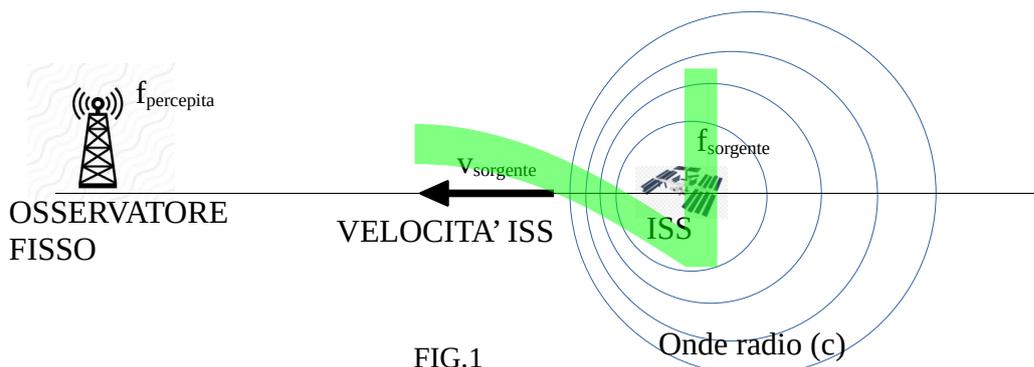
La paperetta nuotando dritta verso un osservatore fisso **O**, produrrà delle onde tali che saranno percepite da questo con frequenza  $f_1 > f_2$ . Dove  $f_2$  è la frequenza percepita da un osservatore **O'** posto in un punto fisso dietro alla traiettoria della paperetta che si allontana da **O'**. Analogamente, all'avvicinarsi di un treno in stazione, il suo fischio sarà *percepito* da un osservatore fermo nella sala d'aspetto, con *frequenza* maggiore (più acuto) da quella effettiva emessa dalla sorgente sonora. Questo fenomeno è conosciuto come **EFFETTO DOPPLER**, e si applica in molteplici situazioni che coinvolgono le onde in generale. La relazione che esprime questi eventi è:

$$(1) \quad f_{\text{percepita}} = \frac{V}{V - v_{\text{sorgente}}} f_{\text{sorgente}}$$

$V$  = velocità di propagazione dell'onda;  $v_{\text{sorgente}}$  = velocità di spostamento della sorgente;  
 $f_{\text{percepita}}$  = frequenza percepita dall'osservatore;  $f_{\text{sorgente}}$  = frequenza emessa dalla sorgente.

La relazione precedente esprime il valore della frequenza percepita da un osservatore fisso mentre la sorgente è in movimento. La velocità della sorgente  $v_{\text{sorgente}}$ , sarà positiva se la sorgente si avvicina all'osservatore, sarà negativa se la sorgente si allontana dall'osservatore.

Per i satelliti che succede? A titolo di esempio, consideriamo la ISS con i suoi radio trasmettitori per APRS ( $f_{\text{sorgente}} = \text{MHz } 145,825$ ) e FM ( $f_{\text{sorgente}} = \text{MHz } 437,800$ ). La velocità della Stazione Spaziale,  $v_{\text{sorgente}}$ , è circa  $7,7 \text{ Km/s}$  \*. La velocità di propagazione delle onde radio è assimilabile a quella della luce ( $c$ ), cioè circa  $300000 \text{ Km/s}$ . Proviamo a calcolare l'effetto Doppler ( $f_{\text{percepita}}$ ) per i due esempi di frequenze emesse dall'ISS ( $f_{\text{sorgente}}$ ) che si muove ( sorgente in movimento) verso la nostra stazione radio (ossevatore fisso).



La figura sopra sintetizza in modo chiaro e completo la situazione esposta precedentemente. Notiamo come il moto della ISS verso l'osservatore fisso, incalza il treno di onde da lei emesse generando nello osservatore fisso la percezione di ricevere il segnale sorgente con frequenza maggiore (onde ravvicinate). Il contrario avverrà nella situazione in cui la ISS si dovesse allontanare dall'osservatore fisso (onde distanziate).

Passando alla pratica e sostituendo i valori noti nella (1), si ricava:

$$f_{\text{percepita APRS}} = \frac{300000}{300000 - 7,7} \cdot 145,825 = \mathbf{145,829 \text{ MHZ}}$$

(2)

$$f_{\text{percepitaFM}} = \frac{300000}{300000 - 7,7} \cdot 437,800 = \mathbf{437,811 \text{ MHZ}}$$

Rileviamo, come atteso, un aumento delle frequenze percepite rispetto a quelle generate. L'Effetto Doppler è direttamente proporzionale alla frequenza della sorgente, infatti lo scarto a  $145,825$  è di soli  $4 \text{ Khz}$  mentre a  $437,800$  è di ben  $11 \text{ Khz}$ . Questa è la ragione per cui è necessario memorizzare sul nostro trx almeno 3 frequenze di downlink (caso ISS FM/UHF). Per l'uplink in due metri FM, la deviazione FM di  $5 \text{ Khz}$  compensa la variazione di frequenza, rendendo non espressamente necessario il medesimo accorgimento. Il lettore attento avrà notato che i valori ottenuti si discostano rispetto alla realtà. Ciò non autorizza a ritenerli errati. Essi fanno riferimento al caso in cui l'ipotetico satellite si avvicina all'osservatore in linea diretta (FIG.1).

\* vedi <https://sito.libero.it/ik7fmq/wp-content/uploads/sites/2261/2019/07/GIOCCONFISxsito1.1-1.pdf>

Nella realtà ogni transito, per esempio per la ISS, è assimilabile a un percorso curvilineo (Fig.2) e il valore della velocità radiale del satellite sarà dato da:

$$V_{RSat} = V_{sorgente} \cos\alpha$$

con  $\alpha$  l'angolo compreso tra il vettore velocità di  $V_{sorgente}$  e la retta che unisce l'osservatore al satellite.

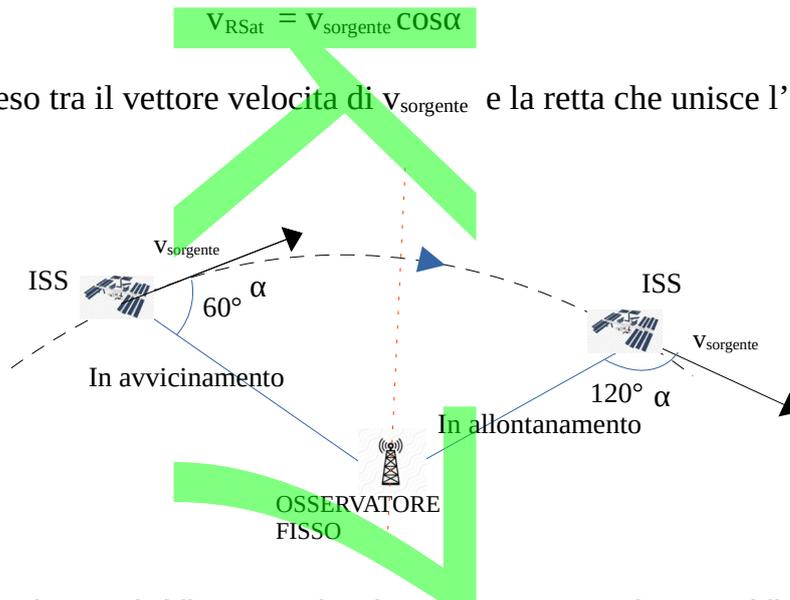


FIG.2- Orbita casuale della ISS. Considerando 2 momenti a caso sopra l'orizzonte dell'osservatore.

Pertanto i due casi analizzati precedentemente (ISS/APRS, ISS/FM) si scriveranno come:

Situazione ISS in avvicinamento

$$f_{percepita APRS} = \frac{300000}{300000 - 7,7 \cos 60^\circ} 145,825 = 145,827 \text{ MHz}$$

$$f_{percepita FM} = \frac{300000}{300000 - 7,7 \cos 60^\circ} 437,800 = 437,806 \text{ MHz}$$

Situazione ISS in allontanamento.

$$f_{percepita APRS} = \frac{300000}{300000 - 7,7 \cos 120^\circ} 145,825 = 145,823 \text{ MHz}$$

$$f_{percepita FM} = \frac{300000}{300000 - 7,7 \cos 120^\circ} 437,800 = 437,794 \text{ MHz}$$

Adesso trattiamo il caso in cui dalla nostra posizione, con il nostro trasmettitore, tentiamo di impegnare il ricevitore della stazione spaziale che viaggia veloce intorno alla Terra. In sintesi studiamo quello che avviene quando l'osservatore è in movimento e la sorgente radio è fissa. La relazione che definisce questo evento è data:

$$f_{percepita} = f_{sorgente} \left( 1 + \frac{V_{osservatore} \cos\alpha}{V} \right) \quad (3)$$

$f_{percepita}$  = frequenza ricevuta da ISS;  $f_{sorgente}$  = frequenza del nostro TX a terra;  $V$  = velocità onda radio;  $V_{osservatore}$   $\cos\alpha$  = velocità di avvicinamento di ISS alla nostra stazione.

Nello specifico, abbiamo la necessita di sapere a che frequenza sintonizzare il nostro TX per essere certi di essere ricevuti da ISS alla sua frequenza di ingresso 145,990 MHz. Per far ciò sarà sufficiente nella (3) ricavare  $f_{\text{sorgente}}$ , imponendo  $f_{\text{percepita}} = 145,990$  MHz (frequenza di uplink). Per cui:

$$f_{\text{sorgente}} = \frac{145,990}{\left(1 + \frac{7,7 \cos 60^\circ}{300000}\right)} = 145,988 \text{ MHz}$$

Ipotizzando che ISS si stia avvicinando al nostro TX come mostrato in FIG.2.

La frequenza di 145,988 (UPLINK) sarà quella a cui dovremo sintonizzare il nostro Tx per impegnare la ISS.

Non me ne voglia qualcuno per aver accostato la ISS a una paperetta, in fondo in gergo radioamatoriale i satelliti vengono chiamati BIRD.

73 de IK7FMQ Gabriele Albanese



N

#### BIBLIOGRAFIA

*EFFETTO DOPPLER* dott. Diego Tasselli astrofisico

