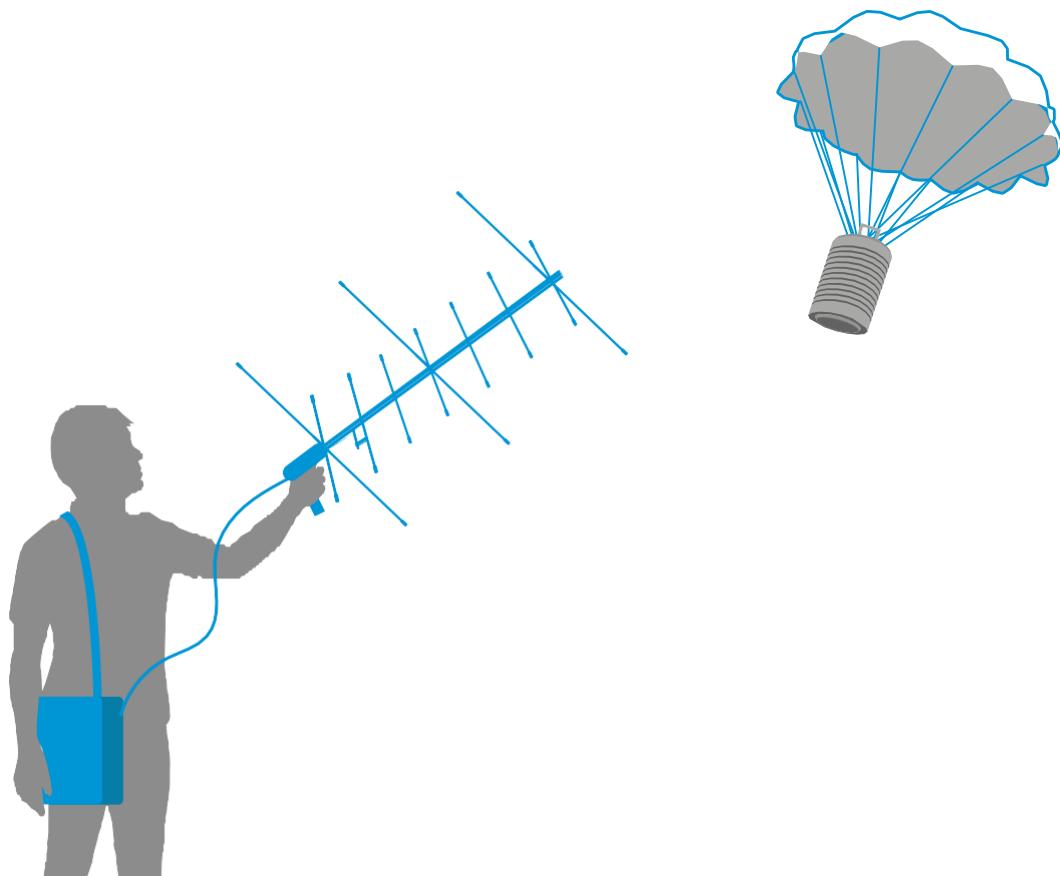


Tecnologia | T11

# A scuola con lo spazio

## → COMUNICARE CON LE ONDE RADIO

“Ground control to Major CanSat”



Guida insegnante & appunti studenti

Traduzione e adattamento da parte di ESERO Italia



## Guida insegnanti

Caratteristiche principali	pag 3
Indice delle attività	pag 4
Attività 1: Le basi delle onde radio	pag 6
Attività 2: Le onde radio in satelliti e telecomunicazioni	pag 6
Attività 3: Scegliere la frequenza ideale	pag 6
Attività 4: AM o FM?	pag 7
Attività 5: Ricevere dati	pag 8
Attività 6: Testare le telecomunicazioni	pag 8
Appunti per gli studenti	pag 9
Link	pag 23

**A scuola con lo spazio – Comunicare con le onde radio | T11**  
[www.esa.int/education](http://www.esa.int/education)

L'ufficio ESA Education accoglie feedback e commenti a  
[teachers@esa.int](mailto:teachers@esa.int)

**Una produzione ESA Education in collaborazione con ESERO Nordic**  
Copyright 2018 © European Space Agency

## → COMMUNICARE CON LE ONDE RADIO

### “Ground control to Major CanSat”

#### Caratteristiche principali

**Età:** 14 - 20 anni

**Discipline curricolari:** fisica, elettronica,

**Difficoltà:** intermedia

**Durata a lezione:** 120 minuti

**Luogo:** in classe

**Risorse di supporto:** Per cominciare con CanSat

**Costo:** circa 30 euro

**Parole chiave:** radio, telecomunicazioni, lunghezza d'onda, frequenza, spettro, CanSat.

#### Breve descrizione

Per comprendere come funzionano i dispositivi moderni come cellulari, router e satelliti, dobbiamo capire cosa sono le onde radio e come possiamo utilizzarle per trasmettere informazioni.

La comunicazione con onde radio è uno degli elementi chiave del CanSat. Dopo il lancio, infatti, CanSat invierà a terra via onde radio tutti i dati necessari per gli esperimenti scientifici che faremo.

#### Obiettivi di apprendimento

- o Capire le basi delle onde e dello spettro elettromagnetico
- o Capire come funziona la modulazione e perché serve alla trasmissione dei dati
- o Capire l'importanza di frequenza e lunghezza d'onda nella propagazione delle onde radio
- o Essere in grado di identificare gli elementi necessari al processo di comunicazione
- o Essere in grado di distinguere tra differenti protocolli di comunicazione
- o Essere in grado di programmare il proprio modulo radio
- o Essere in grado di costruire un'antenna e utilizzarla per ricevere informazioni

## → Indice delle attività

Indice delle attività					
	<b>Titolo</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Risultati</b>	<b>Requisiti</b>	<b>Tempo</b>
1	Le basi delle onde radio	Introduzione alle onde radio e al loro posizionamento nello spettro EM	Gli studenti capiranno l'importanza delle due grandezze principali di un'onda: lunghezza d'onda e frequenza	Nessuno	10 minuti
2	Le onde radio in satellite e telecomunicazioni	Panoramica sull'utilizzo delle onde radio nei sistemi di telecomunicazioni del mondo reale	Gli studenti potranno rendersi conto dell'ampio e diverso utilizzo delle onde radio	Attività precedenti	10 minuti
3	Scegliere la frequenza ideale	Analisi dell'importanza della lunghezza d'onda e della sua dipendenza dalla frequenza	Gli studenti saranno in grado di suggerire la frequenza migliore per alcune semplici attività	Attività precedenti	15 minuti
4	AM o FM?	Introduzione ai termini AM e FM e analisi dell'importanza della modulazione nelle comunicazioni radio	Gli studenti saranno in grado di spiegare la modulazione attraverso una semplice analogia	Attività precedenti	10 minuti
5	Ricevere dati	Introduzione alle antenne e al loro ruolo nei sistemi di telecomunicazioni	Gli studenti saranno in grado di descrivere i principi base del funzionamento di un'antenna	Attività precedenti	20 minuti
6	Testare le telecomunicazioni	Guida su come scrivere il codice per testare una comunicazione	Gli studenti saranno in grado di testare e mostrare un esempio di telecomunicazione con un modulo radio utilizzando il codice che avranno scritto.	Attività precedenti	55 minuti

## → Introduzione

In questa risorsa gli studenti esploreranno come si utilizzano le onde radio nei sistemi di telecomunicazioni e si renderanno conto di quanto siano utili per il progetto CanSat. Prima di poterlo fare, però, dovranno conoscere le caratteristiche di un'onda radio e il suo posizionamento nello spettro eletromagnetico. Dovranno anche imparare che esistono diversi tipi di onde radio e che ciascuna ha il suo utilizzo specifico, prima di usare un modulo radio e ricevere dati dal loro CanSat.

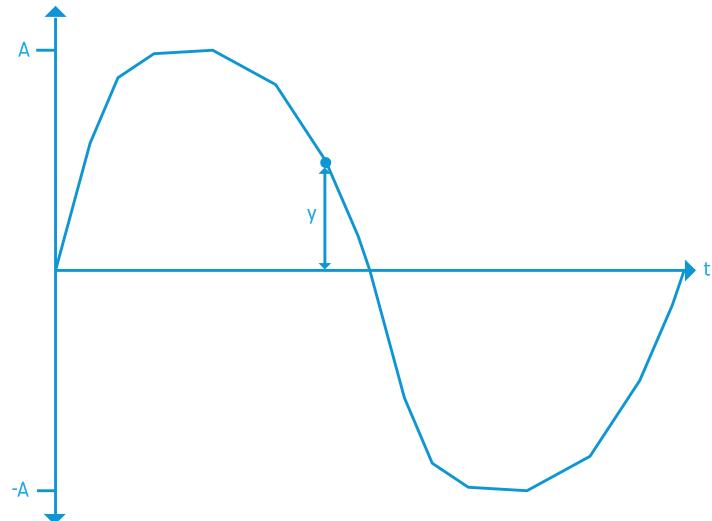
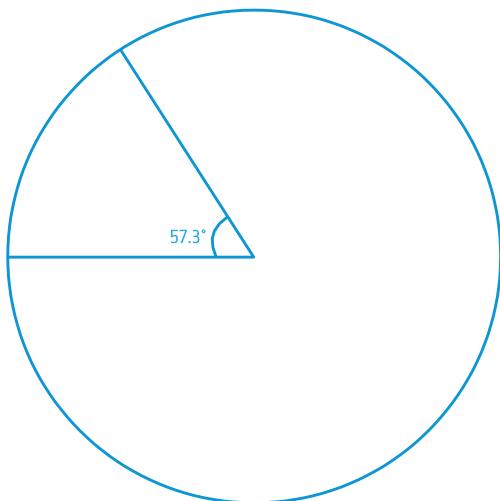
## Background: Onde, un approccio matematico

La forma base più semplice di qualunque tipo di onda è quella sinusoidale di ampiezza costante A e frequenza unica f. Lo “spostamento” dell’onda (y) dopo un tempo t sarà dunque:

$$y = A \sin(2\pi ft)$$

Il termine  $2\pi$  deriva dal fatto che in un ciclo di onda sinusoidale ci sono  $2\pi$  radianti. Il radiante è l’unità di misura che si usa spesso quando si parla di onde sinusoidali. In parole povere possiamo pensare al radiante come alla misura di un angolo: ogni radiante misura circa 57 gradi. Il tempo (t) si misura in secondi. Per una data onda  $2\pi f$  e A sono costanti, perciò, utilizzando l’equazione precedente, è facile determinare lo spostamento (y) in ogni dato valore t del tempo.

I due grafici sottostanti possono aiutarci a visualizzare meglio il concetto.



## → Attività 1: Le basi delle onde radio

In questa attività si introducono le onde radio, il loro posizionamento nello spettro elettromagnetico e le loro grandezze caratteristiche: lunghezza d'onda e frequenza.

### Esercizio

Agli studenti verrà chiesto di completare una tabella di informazioni relative alle onde radio. Potranno stimare le frequenze ottenendole dal grafico nell'attività (Figura A1) o calcolandole dai valori della lunghezza d'onda inseriti nel testo. I valori sottostanti sono approssimativi e servono solo per dare un'idea dell'intervallo di valori possibili.

Tabella 1			
	Unità di misura	Valore minimo	Valore massimo
Lunghezza d'onda	m	0.1	decine di km
Frequenza	Hz	$3 \times 10^4$	$3 \times 10^9$

## → Attività 2: Le onde radio in satellite e telecomunicazioni

In questa attività si presenta l'importanza delle onde radio nelle telecomunicazioni e i diversi usi possibili in funzione dell'intervallo di frequenze radio. Agli studenti verrà chiesto di determinare le proprietà di alcuni dei moduli radio usati comunemente in CanSat.

### Esercizio 1

- Calcola la FSPL (attenuazione di spazio libero) in decibel per un tipico trasmettitore CanSat ( $f = 433$  MHz) quando il CanSat sarà in posizione ( $R = 1$  km).

Usando l'equazione per la FSPL negli appunti a disposizione degli studenti e sostituendo i valori di  $f$  e  $R$ , si ottiene 85 decibel.

### Esercizio 2

Agli studenti viene chiesto di completare la seguente tabella di informazioni relative ai trasmettitori CanSat.

Tabella 2			
Trasmettitori	Frequenza	Lunghezza d'onda/m	Banda
APC220	418Mhz-455Mhz	0.66 - 0.72	UHF
LoRa	Varie (e.g. 868Mhz)	0.35	UHF
X-Bee	2.4Ghz	0.13	UHF

## → Attività 3: Scegliere la frequenza ideale

In questa attività si presenta l'importanza della larghezza di banda e del range di comunicazione quando si deve scegliere la frequenza per un dispositivo di telecomunicazioni. Si suggeriscono agli studenti alcuni semplici scenari per contestualizzare l'attività.

1. **Visto che ciascuna frequenza ha il suo proprio utilizzo, pensiamo a quali bande di frequenza (bassa/media/alta) potremmo utilizzare per trasferire i seguenti dati:**

Invio di un segnale SOS a molti chilometri di distanza - bassa frequenza  
Trasmissione di filmati video dal CanSat alla stazione a terra - alta frequenza  
Invio di un messaggio di testo - media frequenza

I tre tipi di trasferimento dati hanno differenti intervalli di frequenza e richiedono diversi tassi di trasferimento dati. Innanzitutto l'invio di un segnale SOS richiede una bassa frequenza (e quindi un'alta lunghezza d'onda) per coprire le grandi distanze. Al contrario, la trasmissione di un filmato video dal CanSat a terra preferisce una frequenza più alta perché richiede un tasso di trasferimento dati alto, ma su una distanza molto più corta. L'invio di un messaggio di testo ha esigenze che si posizionano a metà strada tra questi due estremi e quindi preferisce una frequenza intermedia.

2. **Se il cosiddetto “sweet spot” (punto ideale) si trova nella banda UHF, perché i satelliti usano principalmente la banda SHF?**

Le frequenze SHF occupano un punto chiave nello spettro radio, poiché grazie alle loro basse lunghezze d'onda possono essere indirizzate verso antenne con strette aperture di fascio come le parabole o le antenne a corno. Sono utilizzate nella comunicazione punto-punto, collegamento dati e radar.

Questo non sarebbe possibile con lunghezze d'onda più grandi (come quelle, ad esempio, della banda UHF).

Dall'altra parte, le frequenze SHF sono quelle più alte che possono essere usate per telecomunicazione terrestri a lunga distanza; infatti, le frequenze più alte della banda EHF (lunghezza d'onda millimetrica) sono in gran parte assorbite dall'atmosfera, che ne limita la propagazione a distanza di massimo 1 chilometro. Le alte frequenze delle telecomunicazioni nel microonde sono associate a una grande capacità di trasportare informazioni (larghezza di banda).

## → Attività 4: AM o FM?

In questa attività si presentano i concetti di AM e FM e viene data una spiegazione della modulazione. Gli studenti prendono in considerazione una semplice analogia che li aiuta a capire questo concetto.

### Esercizio

1. **Se il cosiddetto “sweet spot” (punto ideale) si trova nella banda UHF, perché i satelliti usano principalmente la banda SHF?**

Senza questa divisione di frequenze, è probabile che le squadre CanSat riescano a intercettare le trasmissioni da un'altra squadra, compromettendo il successo della missione!

## → Attività 5: Ricevere dati

In questa attività è spiegato il processo delle telecomunicazioni nella competizione CanSat e sono analizzati i principi base di funzionamento delle antenne. Gli studenti otterranno una maggiore comprensione della complessità di un'antenna. Sono presentati i tre principali tipi di antenne e le loro differenze.

### Esercizi

#### 1. Quale tipo di antenna sceglieresti per la stazione a terra e quale per il CanSat?

L'antenna a bordo del CanSat deve essere il più possibile isotropa, cioè deve trasmettere la stessa potenza in tutte le direzioni. Le antenne a monopolo hanno dimensioni che sono la metà di quelle a dipolo e quindi sono preferite quando c'è bisogno di un'antenna più piccola. L'antenna collegata alla stazione a terra può essere puntata verso il CanSat e può essere configurata come un'antenna direzionale ad alto guadagno, che riceve più onde elettromagnetiche da una direzione preferenziale.

#### 2. È possibile calcolare la lunghezza che un'antenna a quarto d'onda deve avere per ricevere un segnale Wi-Fi a 2,4 GHz?

Usando l'equazione presentata agli studenti durante l'attività, si ricava il risultato:

$$L = c/4f = 3 \times 10^8 / (4 \times 2.4 \times 10^9) = 0.03m = 3cm$$

## → Attività 6: Testare le telecomunicazioni

In questa attività gli studenti usano Arduino e il modulo APC 220 per completare un semplice test di comunicazione. Sono poi invitati a paragonare i loro risultati a quelli di un'antenna Yagi.

### Esercizi

#### 1. A che distanza il tuo compagno può arrivare prima di smettere di ricevere il segnale?

I risultati sperimentali di questo esercizio possono variare tra gli studenti.

#### 2. Cosa puoi cambiare per migliorare la distanza?

Ci sono diverse cose che possono essere modificate per migliorare la distanza di trasmissione tra cui:

- o aumentare la potenza della trasmissione
- o ridurre la frequenza (aumentando la lunghezza d'onda). In ogni caso, miglioramenti di questo tipo sono osservabili solo su grande scala. E' improbabile che gli studenti riescano a osservare qualche cambiamento all'interno dell'intervallo di funzionamento dei loro trasmettitori.
- o assicurarsi di avere una linea di vista libera tra trasmittente e ricevente. Nota: è più semplice osservare questo fenomeno quando gli ostacoli hanno dimensioni comparabili o più grandi della lunghezza d'onda utilizzata nella trasmissione
- o usare una trasmissione diretta (antenna Yagi)

#### 3. Cosa puoi cambiare per migliorare la distanza?

Se gli studenti provano ad utilizzare l'antenna a quarto d'onda (papera) sia per trasmettere che per ricevere i dati, scopriranno che i valori di distanza permessi si riducono. Le antenne papera sono omnidirezionali perciò la potenza in uscita in ogni singola direzione sarà inferiore a quella prodotta da un'antenna Yagi. Per questo motivo, nella competizione ha più senso usare un'antenna papera all'interno del CanSat e un'antenna Yagi per la stazione a terra.

# → COMMUNICARE CON LE ONDE RADIO

## “Ground control to Major CanSat”

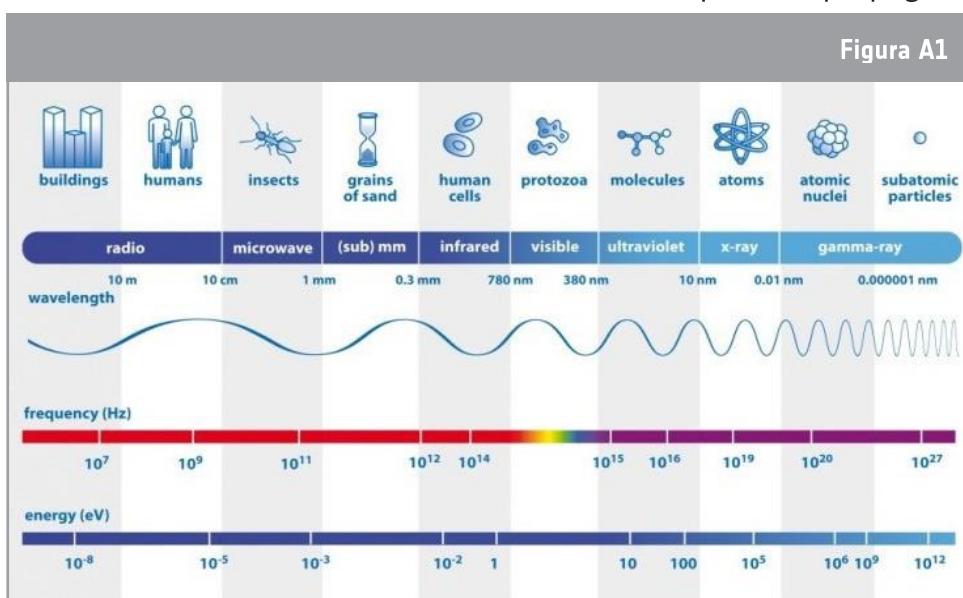
### → Attività 1: Le basi delle onde radio

Siamo circondati dalle onde radio in tutti gli aspetti della nostra vita quotidiana, ma cos'è un'onda radio e perché è importante per la tua missione CanSat? La maggior parte delle telecomunicazioni giornaliere avvengono via onde radio, non solo la radio dell'auto, ma anche cose che forse non ti aspetteresti come il WiFi e il Bluetooth.

Ora scopriremo insieme cosa sono esattamente le onde radio e come le potremo utilizzare nelle comunicazioni con il CanSat.

### Cos'è un'onda radio?

In ogni tipo di comunicazione, ci serve una sorgente, un vettore, un ricevitore e un mezzo di propagazione. Un esempio molto semplice è la comunicazione orale: in questo caso chi parla è la sorgente, l'onda sonora è il vettore, la persona che ascolta è il ricevitore e il mezzo di propagazione è l'aria. Le comunicazioni radio inviano le informazioni da un luogo ad un altro usando le onde radio, un tipo di onde nella parte estrema dello spettro elettromagnetico caratterizzato da grandi lunghezze d'onda. A differenza delle onde sonore, le onde radio possono propagarsi nel vuoto.



↑ Lo spettro elettromagnetico

La loro lunghezza d'onda può variare da 0,1 m a 10 km. La frequenza di un'onda (che è il numero di cicli al secondo e d è misurata in Hz) può essere calcolata a partire dalla lunghezza d'onda utilizzando la seguente equazione:  $\lambda \cdot f = c$ , dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda (che è la lunghezza di un ciclo dell'onda),  $f$  è la frequenza e  $c$  è la velocità della luce ( $c=3\times10^8\text{ ms}^{-1}$ ).

### Esercizio

Usando le informazioni e l'equazione sopra, complete la tabella per le onde radio qui sotto:

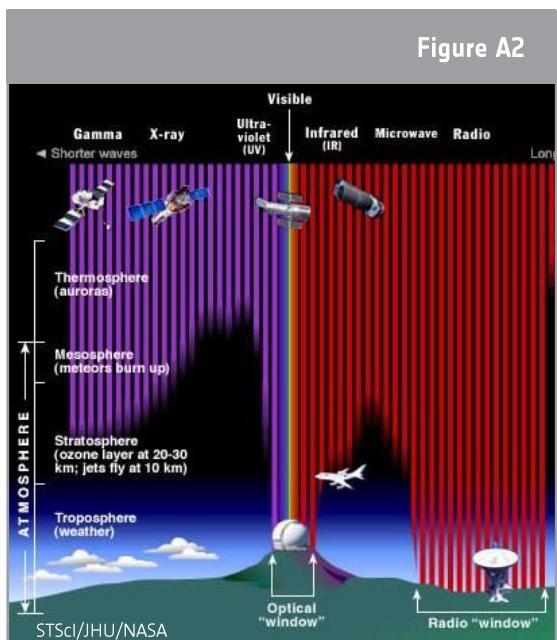
	Unità di misura	Valore minimo	Valore massimo
Lunghezza d'onda			Decine di km
Frequenza			

## → Attività 2: Le onde radio in satellite e telecomunicazioni

Le onde radio sono probabilmente le onde elettromagnetiche più utilizzate nelle telecomunicazioni quotidiane. Ma perché sono così utili? In questa attività impareremo insieme quali sono i vantaggi delle onde radio nelle telecomunicazioni e in che modo la frequenza e la lunghezza d'onda scelte per le onde radio sono cruciali per il nostro progetto.

### La mia onda si è persa!

Ci sono solo alcuni tipi di onde nello spettro elettromagnetico che non sono assorbite dall'atmosfera. L'immagine seguente mostra da che punto l'atmosfera inizia ad assorbire le onde dallo spazio.



↑ Lo spettro elettromagnetico

Come puoi vedere le onde radio occupano un posto privilegiato nello spettro perché la maggior parte di esse passano attraverso l'atmosfera senza essere assorbite!

Le onde radio, così come le microonde, sono quindi la scelta migliore da usare per le telecomunicazioni satellitari

### Attenuazione di spazio libero

C'è un altro aspetto di cui tenere conto nelle comunicazioni radio. L'attenuazione di spazio libero (FSPL) è la perdita che si ha nella forza del segnale di un'onda elettromagnetica in un percorso lungo la linea di vista attraverso lo spazio libero senza ostacoli nelle vicinanze. Ma se non ci sono ostacoli, perché abbiamo una perdita nella forza del segnale?

Cerchiamo di capirlo con un'analogia: immaginiamo di gonfiare un po' un palloncino e di disegnarci sopra un cerchio con un pennarello. Se proviamo a osservare all'interno non ci riusciremo perché il materiale del palloncino è troppo denso per essere trasparente. Proviamo quindi a gonfiarlo ancora un po' e ridisegniamoci sopra un cerchio delle stesse dimensioni del precedente. L'area attraverso cui stiamo osservando è la stessa, ma ora riusciamo a vederci attraverso perché il materiale è diventato meno denso man mano che il palloncino si è espanso in tutte le direzioni. La FSPL funziona in modo simile: appare nel vuoto in condizioni ideali, come ad esempio le comunicazioni radio tra satelliti, e può essere calcolata come il rapporto tra la potenza trasmessa e quella ricevuta:

$$FSPL = \log_{10} \left( \frac{P_{transmitted}}{P_{received}} \right) = \log_{10} \frac{(4\pi R f)^2}{c^2} = 20 \log_{10} \frac{4\pi R f}{k}$$

Dove  $f$  è la frequenza trasmessa e  $R$  è la distanza tra trasmittente e ricevente. Ricorda che questa è la perdita di segnale che avviene anche nel vuoto, nel mondo reale la perdita sarà molto maggiore!

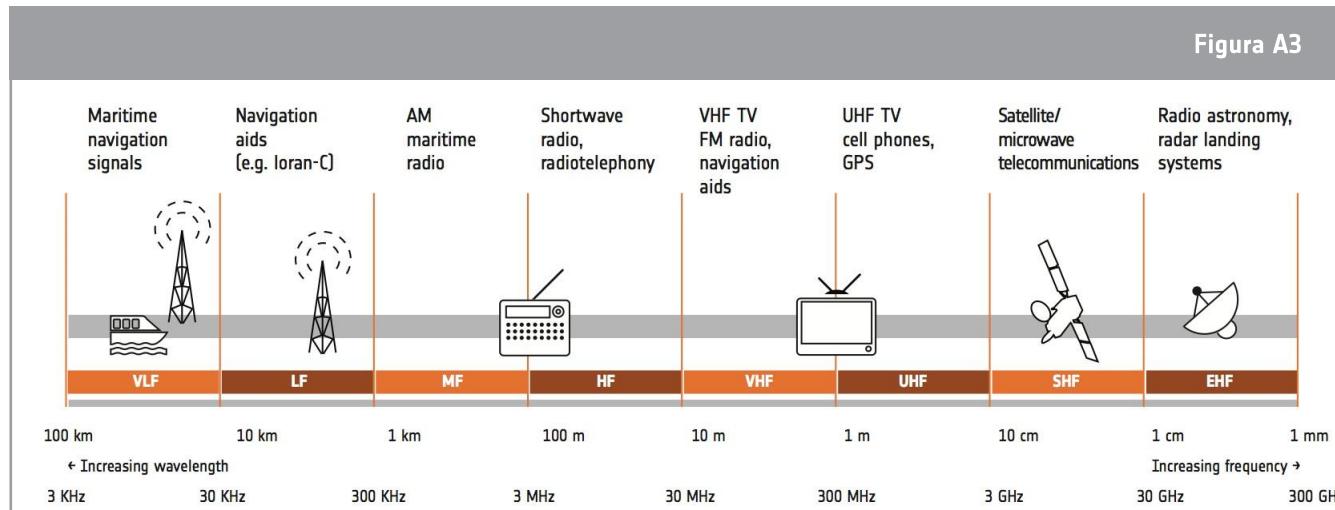
### Esercizio 1

- Calcola la FSPL (attenuazione di spazio libero in ingegneria delle telecomunicazioni) in decibel per un tipico trasmettitore CanSat ( $f = 433$  MHz) quando il CanSat sarà in posizione ( $R = 1$  km).

## Esplorare lo spettro radio

Scopriamo insieme le applicazioni dei diversi tipi di onde radio in funzione della loro frequenza.

Nell'immagine sottostante possiamo vedere quali onde radio sono usate per le diverse tipologie di telecomunicazioni, da quelle per la navigazione marittima a quelle radio dei sistemi di atterraggio.



↑ Lo spettro radio e le sue applicazioni

Come si vede, per le comunicazioni satellitari si usa la banda SHF (Super High Frequency - frequenza super alta) con frequenze da 2 a 30 GHz e lunghezza d'onda da 1 a 10 cm. Queste onde si identificano con il nome di microonde.

## Esercizio 2

Completa la seguente tabella con i valori delle lunghezze d'onda e il nome della banda dello spettro in cui operano tre dei più comuni trasmettitori CanSat.

Trasmettitore	Frequenza	Lunghezza d'onda/m	Banda
APC220	418Mhz-455Mhz		
LoRa	Varie (es. 868Mhz)		
X-Bee	2.4Ghz		

## → Attività 3: Scelta della frequenza ideale

Ci sono due considerazioni importanti da fare quando si decide quale frequenza utilizzare per un dispositivo di comunicazione. Il primo è “Quanti dati ho bisogno di trasmettere?”; il secondo è “A quale distanza voglio trasmettere i miei dati?” Entrambe le problematiche dipendono dalla frequenza utilizzata, perciò vediamo insieme come.

### Il punto ideale: larghezza di banda vs range di comunicazione

Con il precedente esercizio, abbiamo capito che tutte le ricetrasmettenti CanSat trasmettono informazioni nella stessa banda dello spettro radio. Ma per quale motivo?

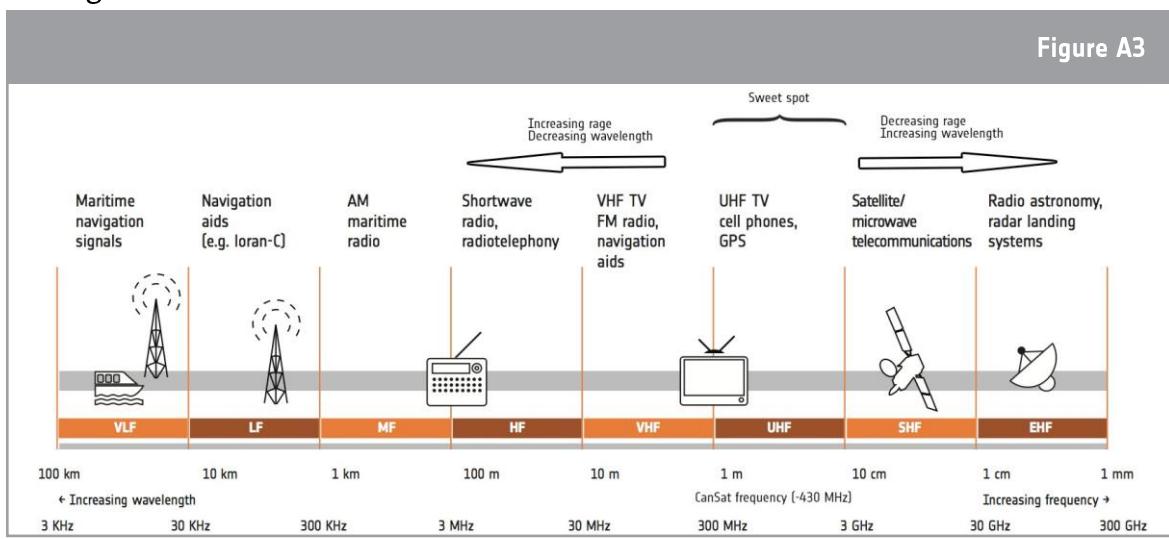
Due elementi giocano un ruolo chiave nella scelta della frequenza: larghezza di banda e il range di distanza.

**Larghezza di banda:** misurata in hertz, è l’intervallo di frequenza in cui cade la maggior parte della potenza dei trasmettitori. Più grande è il traffico dei dati trasmessi e maggiore deve essere la larghezza di banda. Per esempio, un sistema che opera tra i 150 e 200 MHz ha una larghezza di banda di 50 MHz (200 MHz - 150 MHz).

Parlando di larghezza di banda è importante capire due termini fondamentali: larghezza di banda stretta e larghezza di banda larga. I segnali appartenenti alla prima hanno, come suggerisce il nome, una larghezza di banda più piccola (nel range dei kilohertz) e possono essere utilizzati per trasmissioni lente. I segnali appartenenti alla seconda lavorano nel range dei megahertz e possono trasmettere ad alta velocità, come nel caso dei filmati ad alta definizione.

**Range di comunicazione di un’onda:** il range viene definito come la distanza a cui può viaggiare un’onda in modo da essere ricevuta correttamente. La perdita di segnale avviene principalmente per attenuazione e assorbimento da ostacoli circostanti. In una situazione ideale, le onde possono propagarsi all’infinito (pensa, ad esempio, alla luce che proviene dalle stelle a milioni di anni luce di distanza). Tuttavia, oggetti e ambiente circostante possono assorbire e creare diffrazione tra le onde; in generale più grande è la lunghezza d’onda e più grandi sono gli oggetti che assorbono o diffangono le onde.

Lo scopo di ogni tipo di comunicazione radio è diverso: a volte vogliamo trasmettere molte informazioni a breve distanza, alter volte dobbiamo trasmettere poche informazioni a grandi distanze. La decisione di far funzionare il nostro CanSat con una frequenza o un’altra deriva dall’analisi degli obiettivi e caratteristiche della nostra comunicazione.



↑ Lo spettro radio e le sue applicazioni

Nell'immagine sopra vediamo che più è alta la frequenza che scegliamo e più deve essere larga la larghezza di banda, mentre il range diminuisce. Questo significa che possiamo trasmettere molte più informazioni se scegliamo frequenze alte, ma il range di distanza sarà decisamente più piccolo di quello di frequenze inferiori.

La questione risulta comunque più complessa perché la distanza a cui è utile una comunicazione varia significativamente non solo con la lunghezza d'onda, ma anche con altri parametri come la potenza del trasmettitore, la qualità del ricevitore, il tipo e le dimensioni dell'antenna, le modalità di trasmissione, il rumore di fondo e la presenza di segnali di interferenza.

La frequenza usata nei trasmettitori CanSat è scelta in base al cosiddetto "sweet spot" o punto ideale che si trova principalmente nella banda UHF (Ultra High Frequency, frequenze ultra alte) dello spettro radio. Le frequenze più alte sono, infatti, in gran parte assorbite dall'atmosfera, con una conseguente diminuzione del range di distanza, mentre frequenze più basse hanno una capacità inferiore nella larghezza di banda.

## Esercizi

1. Visto che ciascuna frequenza ha il suo proprio utilizzo, pensiamo a quali bande di frequenza (bassa/media/alta) potremmo utilizzare per trasferire i seguenti dati:

Invio di un segnale SOS a molti chilometri di distanza - \_\_\_\_\_

Trasmissione di filmati video dal CanSat alla stazione a terra - \_\_\_\_\_

Invio di un messaggio di testo - \_\_\_\_\_

2. Se il cosiddetto "sweet spot" (punto ideale) si trova nella banda UHF, perché i satelliti usano principalmente la banda SHF?

## Sapevi che...?

ESA gestisce alcune delle più sofisticate stazioni di tracciamento del mondo, distribuite in ogni punto del globo, permettendo alle sonde spaziali di mantenere contatti con la Terra mentre esplorano le profondità del Sistema Solare. Gli ingegneri possono individuare l'orbita di una sonda in orbita intorno a Marte o Venere - distanti più di 100 milioni di km da noi - con un'accuratezza inferiore al chilometro.



[http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/09/Tracking\\_spacecraft\\_deep\\_across\\_the\\_void](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/09/Tracking_spacecraft_deep_across_the_void)

## → Attività 4: AM, FM o ...?

AM e FM sono due termini che ti potrebbero essere già familiari. Puoi averli incontrati mentre ascolti la radio o se hai mai provato a costruire una tua stazione radio. Ma esattamente cosa significano e perché sono importanti per il nostro CanSat? Scopriamolo insieme!

### Ogni messaggio ha bisogno di un messaggero

La lettera “M” in AM e FM sta per “modulazione”. Per spiegare cosa sia bisogna prima capire due ulteriori concetti:

- o **il segnale**: l'onda che contiene l'informazione o il messaggio da trasmettere
- o **il vettore**: l'onda utilizzata come mezzo per trasportare l'informazione (normalmente un'onda elettromagnetica, come un'onda radio, la luce visibile, la corrente alternata)

Se usiamo le onde radio come vettore dobbiamo aggiungere l'informazione da trasportare alla radiofrequenza utilizzata. Questa operazione si chiama **modulazione**. Proviamo a eseguire un rapido esperimento che ci aiuta a capire questo concetto.

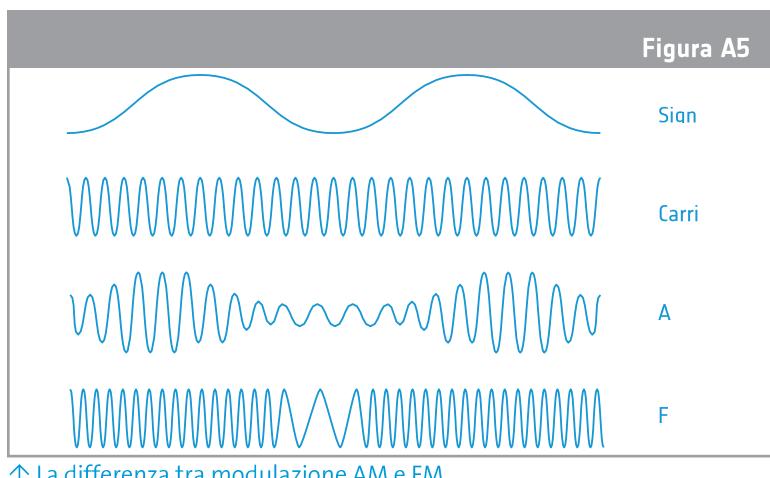
Prendi un po' di carta, come una busta, e prova a lanciarla a più di 10 metri di distanza. Ci riesci? Ora, prendi un sasso di media grandezza e avvolgigli intorno la carta. Questa volta riesci a lanciarlo a più di 10 metri di distanza?

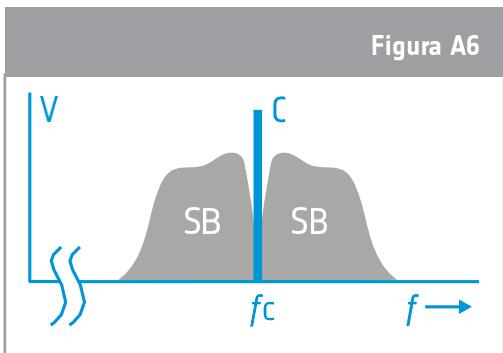
La carta che avvolge il sasso può raggiungere l'obiettivo (arrivare a 10 metri di distanza) perché abbiamo cambiato una delle proprietà del sistema. L'informazione che vogliamo inviare (la carta) può essere trasmessa usando il sasso come vettore.

In elettronica e telecomunicazioni la modulazione è un processo di trasmissione di un messaggio, per esempio una stringa digitale di bit o un segnale audio analogico, inserendolo dentro un altro segnale in modo che possa essere fisicamente trasmesso. In questo caso, si cambiano le proprietà del segnale, come la frequenza o la sua ampiezza.

Ci sono molti tipi di modulazione tra cui i più comuni sono AM e FM:

- o **con AM (modulazione di ampiezza)** l'informazione è trasmessa modificando l'ampiezza della frequenza del vettore;
- o **con FM (modulazione di frequenza)** si modifica la frequenza istantanea del vettore.





↑ Segnale radio modulato

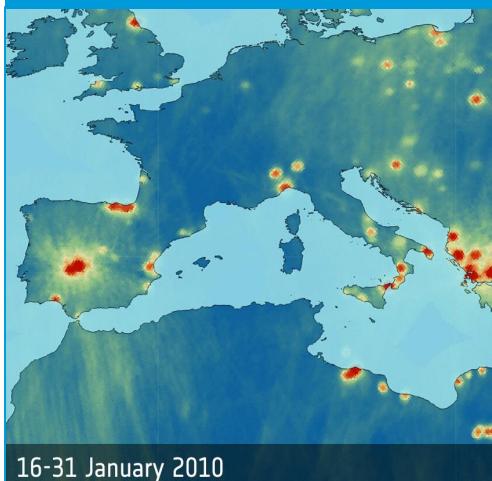
L'immagine in figura A6 mostra l'esempio di come appare alla fine un'onda modulata. Sull'asse y viene riportato la tensione V perché il segnale si misura inizialmente con questa unità di misura. Possiamo poi programmare i computer montati a bordo per convertire la tensione nella grandezza di nostro interesse.

Sull'asse x è rappresentata la frequenza f; con fc si indica la frequenza del vettore e SB sono le bande laterali. Puoi vedere come la tensione del segnale si azzera ai bordi delle bande laterali. Più è grande la larghezza di banda, più sono larghe le bande laterali.

## Esercizio

I dispositivi che utilizziamo quotidianamente non usano mai le stesse frequenze. Puoi vedere qualche esempio di frequenze operative in figura A3 dell'attività 2. Similmente nella competizione europea di CanSat le frequenze date a ciascuna squadra sono separate almeno da 0,1MHz. Sai spiegare perché?

### Sapevi che...?



Le missioni ESA Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) sono dedicate a osservare a livello globale l'umidità del suolo sulla terraferma e della salinità degli oceani. Quando il satellite SMOS dell'ESA fu lanciato in orbita nel 2009, si scoprì che numerosi trasmettitori illegali in tutto il mondo interrompevano il suo segnale. Lavorando con le autorità nazionali per la protezione delle frequenze, ad oggi il 75% di questi trasmettitori ha smesso di funzionare. Non è stata un'operazione facile tanto che alcune regioni, come la costa libica e la zona orientale del Mar Mediterraneo, rimangono ancora contaminate là dove le strategie non hanno funzionato

Quindi che tipo di modulazione dovremmo usare? Sappiamo che:

- quando amplifichiamo un segnale AM viene amplificato anche il rumore, cosa che non avviene in FM;
- in FM l'ampiezza del vettore è piccola rispetto all'ampiezza delle bande laterali quindi la maggior parte della potenza in trasmissione si distribuisce dove si trova anche l'informazione;
- la stessa informazione può essere trasmessa con meno potenza in FM rispetto a AM;
- la larghezza di banda per FM è maggiore di quella per AM;
- i modulatori e i demodulatori sono più complessi per FM rispetto a AM.

Tranne una, tutte le considerazioni evidenziate favoriscono FM rispetto a AM ed è il motivo per cui la modulazione di frequenza è usata di più nella vita quotidiana. Tuttavia, entrambe le modulazioni sono diventate antiquate oggi, perché altri tipi di modulazione come FSK (Frequency-Shift Keying, a spostamento di frequenza) permettono di trasmettere molte più informazioni rispetto a AM e FM. Uno dei trasmettitori più usati in CanSat, l'APC 220, usa questo tipo di modulazione.

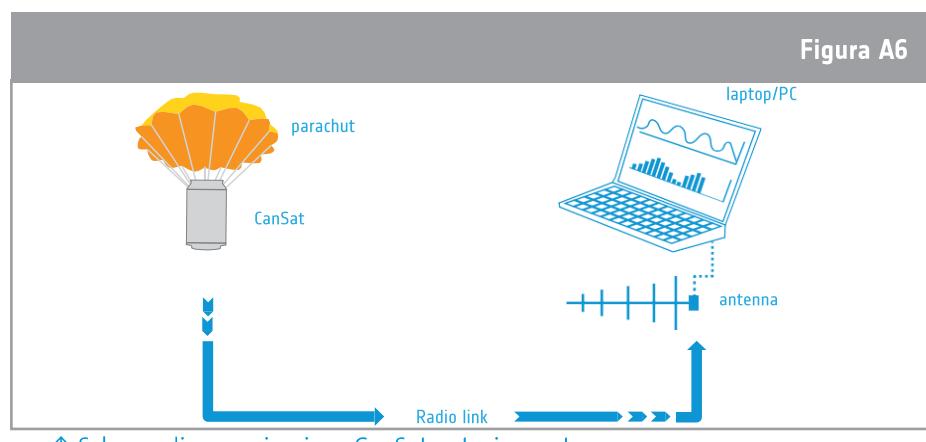
## → Attività 5: Ricevere dati

Un trasmettitore produce un segnale oscillatorio che viene trasferito a un'antenna via cavo. Il segnale viene convertito ed emesso come onda elettromagnetica attraverso l'antenna. All'estremità ricevente, parte dell'onda viene raccolta e trasformata nuovamente in corrente elettrica da un'altra antenna.

Il tuo progetto CanSat dovrà prevedere due antenne: la prima è l'antenna a bordo del CanSat e la seconda è l'antenna usata nella stazione a terra. È necessario che le due antenne siano costruite con diverse specifiche, anche se il modo di funzionamento è simile per entrambe. Dobbiamo dare un'occhiata alle caratteristiche di ciascuna antenna per scegliere la configurazione migliore sia per quella a bordo del CanSat sia per quella nella stazione a terra.

### In ascolto delle onde stazionarie

Mentre è in volo, il CanSat invia informazioni via onde radio e queste onde sono rilevate da un'antenna che si trova nella stazione a terra. Questi dati sono processati dal nostro codice e trasformati in informazioni comprensibili, come la misura di temperatura e di umidità. Un termine che potresti incontrare spesso in ricerche future per costruire la tua antenna è “antenna a quarto d'onda”. Ciò si riferisce alle dimensioni dell'antenna rispetto alla lunghezza d'onda dell'onda che stai cercando di ricevere. Quando l'onda interagisce con l'antenna, si creano onde stazionarie di elettroni nel metallo di cui è costituita. L'orientamento e la lunghezza dell'antenna assicurano che l'onda stazionaria finale rifletta accuratamente quella in ingresso. Il moto degli elettroni (corrente elettrica) prodotto può infine essere interpretato da un computer.



Tra i dispositivi che hanno al loro interno un ricevitore radio ci sono televisori, equipaggiamenti radio, radio a due vie, cellulari, reti wireless, navigatori GPS, dischi satellitari, radiotelescopi, dispositivi Bluetooth, apriporte automatici dei garage, baby monitor.

La qualità del collegamento radio dipende principalmente da tre aspetti: la potenza di trasmissione, la sensibilità del ricevitore e l'antenna usata. Tutti questi fattori possono essere modificati selezionando il tipo di trasmettitore e di antenna.

#### Sapevi che...?



Questa è la *Hertz Hybrid European RF and Antenna Test Zone* per testare le antenne a ESTEC, conosciuta prima con il nome di *Compact Payload Test Range*. Le pareti di metallo bloccano i segnali radio esterni e un rivestimento di schiuma con tante punte assorbe i quelli interni per creare le condizioni del vuoto dello spazio.

## Esercizio

- Quale tipo di antenna sceglieresti per la stazione a terra e quale per il CanSat?
- 
- 

## Tipi di antenne

Ci sono tre tipi di antenna comuni: antenna a quarto d'onda, antenna papera (o papera di gomma) e antenna Yagi. Esploriamo insieme in dettaglio le loro caratteristiche.

### Antenna CanSat di tipo 1: antenna a quarto d'onda

La forma più comune di un'antenna è l'antenna a monopolo, costituita da un'asta dritta di materiale conduttore. La più comune di questo tipo è l'antenna a quarto d'onda. L'origine del nome è molto semplice: la lunghezza dell'asta conduttrice è uguale a un quarto della lunghezza d'onda (radio) che riceve o trasmette!

La lunghezza richiesta di un quarto di lunghezza d'onda viene calcolata utilizzando la seguente equazione:

$$L = \frac{c}{4f}$$

dove:

L è la lunghezza richiesta dell'antenna [m]

c è la velocità della luce ( $3 \times 10^8$  km/s) [m/s]

f è la frequenza di funzionamento [Hz]

La formula mostra che la lunghezza di un'antenna per un ricevitore a 434MHz dovrebbe essere intorno a 17,3 cm. L'antenna deve essere a contatto con il trasmettitore con il filo direttamente saldato sopra oppure può essere posizionata a poca distanza, se si usa un cavo coassiale. In quest'ultimo caso gli ultimi 17,3 cm all'estremità del conduttore devono essere rimossi per formare l'antenna a quarto d'onda. Il sistema deve inoltre essere protetto da materiale isolante per evitare che il contatto con superfici di metallo possa danneggiare il trasmettitore.

## Esercizio

- Sei in grado di calcolare la lunghezza che un'antenna a quarto d'onda deve avere per ricevere un segnale Wi-Fi a 2,4 GHz?
- 
-

## Antenna CanSat di tipo 2: Antenna papera



Figura A7

Un'antenna papera è quella che ti è più familiare: è dello stesso tipo di quelle che trovi sui router domestici o i modem a banda larga. Dentro all'involucro di plastica c'è un'elica di metallo usata per trasmettere o ricevere il segnale. Questo è il tipo di antenna incluso nel kit CanSat.

↑ Antenna papera

## Stazione di terra: Antenna Yagi

Un altro tipo di antenna che troverai familiare è l'antenna Yagi, che si trova comunemente sul tetto delle case per ricevere i segnali televisivi analogici o montato sopra i vecchi modelli di televisori. L'immagine mostra un'antenna Yagi direzionale che opera su due frequenze: ci sono 7 elementi Yagi per i 433 MHz e 3 elementi Yagi per i 145 MHz. Puoi vedere che i due gruppi di elementi hanno orientamento diverso in modo che le onde stazionarie che si formano per ciascuno non interagiscano fra loro. Un'antenna Yagi è una buona scelta per ricevere le onde radio del CanSat perché può essere costruita abbastanza facilmente usano materiale economico come legno e tubi di rame.

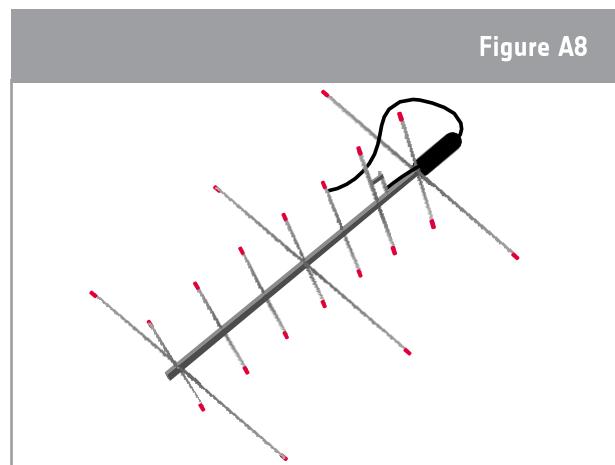


Figure A8

↑ Una "freccia", un'antenna Yagi a due frequenze

L'antenna del CanSat deve essere sufficientemente robusta per restare integra durante il lancio del razzo. L'antenna a quarto d'onda funziona molto bene per via delle dimensioni ridotte che rispettano i vincoli imposti. Il quarto d'onda si riferisce alla lunghezza dell'antenna rispetto alla frequenza usata. Il trasmettitore del Cansat funziona normalmente sui 433 MHz, anche se la frequenza precisa assegnata al tuo team durante la competizione europea cadrà tipicamente nell'intervallo 433-435 MHz per evitare che le frequenze delle diverse squadre interferiscano fra loro.

## Costruire un'antenna Yagi

Le antenne Yagi sono comuni e sono scelte da molte squadre CanSat. Ad ogni modo sei libero di usare altre tipologie di antenna e altri approcci. La scelta dei moduli radio del tuo CanSat sarà ancor più personale, basata sugli obiettivi di missione e dal budget e spazio a tua disposizione. È importante che controlli le specifiche tecniche del modulo a cui stai pensando prima di comprarlo, per capire se adatto alla tua missione.

La figura A8 mostra la struttura principale di un'antenna Yagi. È fondamentale la distanza tra ciascuno dei cosiddetti elementi parassiti; la loro lunghezza deve essere calcolata accuratamente (ci sono diversi strumenti online per aiutarti in questo). Gli elementi parassiti devono essere conduttori elettrici (un'asta di metallo è perfetta), ma non devono essere elettricamente collegati agli altri componenti.

Al seguente link puoi trovare una guida dettagliata su come costruire un'antenna Yagi a 430 MHz:

<https://www.youtube.com/watch?v=2paNzKMW-8c>. Se hai una versione stampata di questo documento, puoi anche digitare “DIY Yagi-Uda Antenna” nella barra di ricerca di YouTube per trovare il video.

## Nessun dolore, nessun guadagno

Il guadagno è il parametro chiave della performance di un’antenna che combina la direttività dell’antenna con l’efficienza elettrica. In un’antenna trasmittente, il guadagno descrive la qualità nella conversione della potenza elettrica in onde radio nella direzione voluta. In un’antenna ricevente il guadagno descrive l’operazione inversa. Quando non si specifica la direzione, il guadagno viene inteso come il suo valore di picco lungo la direzione in cui si trova il lobo principale dell’antenna. Il grafico del guadagno in funzione della direzione è chiamato diagramma di radiazione.

**Guadagno di potenza (o semplicemente guadagno)** è una misura adimensionale che combina l’efficienza  $E$  dell’antenna (calcolata come rapporto tra potenza in ingresso  $P_{in}$  e in uscita  $P_o$ ) e la direttività  $D$ :

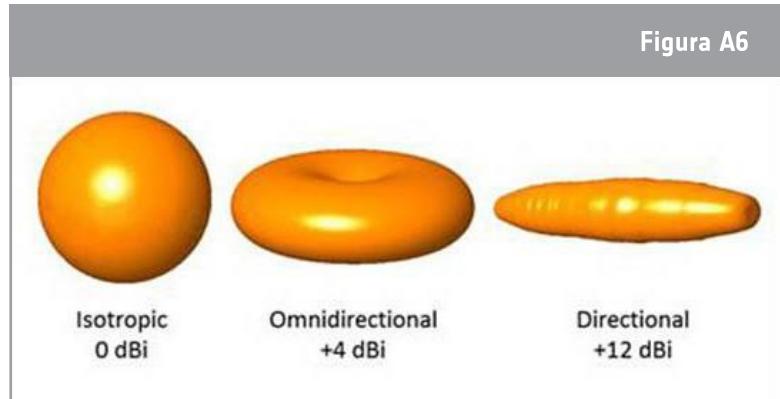
$$G = E_{antenna} \cdot D = \frac{P_o}{P_{in}} \cdot D$$

mentre il guadagno in decibel è calcolato come segue:

$$G_{decibels} = 10 \cdot \log_{10}(G)$$

Quando la direttività è convertita in decibel viene chiamata guadagno di antenna rispetto a una sorgente isotropa (dBi). Di solito più è alto il guadagno e più è efficiente la performance dell’antenna; inoltre sarà maggiore anche l’intervallo di distanza a cui l’antenna lavorerà.

Come si vede nell’immagine, le antenne direzionali (come la Yagi) hanno un guadagno più alto delle altre, ma hanno come svantaggio che possono emettere o ricevere bene solo in una certa direzione. Dall’altra parte, antenne omnidirezionali (ad esempio quelle monopolio) hanno guadagni inferiori in decibel, ma possono ricevere o emettere a 360°.



↑ Esempi di schemi di potenza di antenne diverse con il loro guadagno in decibel

## Considerazioni sul guadagno di un’antenna Yagi-Uda

Diversi fattori nel design di un’antenna Yagi influenzano il guadagno complessivo:

- **Numero di elementi:** uno dei fattori principali è il numero degli elementi presenti. Di solito un riflettore è il primo elemento aggiunto nella progettazione dell’antenna ed è anche quello che contribuisce maggiormente al guadagno. Successivamente vengono aggiunti gli elementi direttori.
- **Spaziatura tra gli elementi:** la spaziatura può avere un impatto, ma non così tanto come il numero degli elementi. Di solito un fascio con maggiore spaziatura tra gli elementi dà un guadagno maggiore rispetto a un fascio più compatto. Il posizionamento più critico è quello del riflettore e del primo elemento direttore perché dalla loro distanza dipende poi la posizione di tutti gli altri eventuali elementi aggiunti.

- **Lunghezza dell'antenna:** calcolando il posizionamento ottimale dei vari elementi si è visto che in uno schieramento Yagi multi-elemento il guadagno è generalmente proporzionale alla lunghezza dello schieramento. C'è un certo margine di manovra nel posizionamento degli elementi.

## → Attività 6: Testare le comunicazioni

Ora che abbiamo capito la complessità di una comunicazione radio siamo pronti per costruire e testare un sistema di comunicazioni completo. In questa attività eseguiremo qualche semplice test utilizzando il trasmettitore APC220 e un'antenna papera.

### Ricevere dati

Ci sono molti tipi di trasmettitori e ricevitori disponibili per essere utilizzati con il tuo CanSat e non possiamo descriverli tutti in dettaglio. In questa sezione scopriremo come usare il trasmettitore APC220 per inviare e ricevere qualche informazione.

**Nota:** le istruzioni di seguito potrebbero non funzionare correttamente per la tua precisa configurazione. Tutti gli elementi sono importanti: il sistema operativo usato, quale versione di Arduino, la scheda Arduino e i chip del trasmettitore. Per qualsiasi problema controlla le istruzioni e i dati tecnici del costruttore.

### Step 1: gli elementi

Oltre la scheda Arduino e un computer, avrai bisogno anche di un set di trasmettitori APC220, due antenne papera e un convertitore USB-TTL adatto. In questa guida usiamo il convertitore USB-TTL PL-2303.

**Nota:** avrai anche bisogno di un secondo computer o un alimentatore esterno per il tuo Arduino.

### Step 2: i driver

Per far interfacciare il convertitore USB-TTL con il computer, avrai bisogno innanzitutto di installare i driver che puoi trovare al seguente indirizzo:

[https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/APC220\\_Radio\\_Data\\_Module\(SKU:TEL0005\)#Communication\\_Test](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module(SKU:TEL0005)#Communication_Test)

**Nota:** Si sono riscontrati alcuni problemi con il sistema operativo Windows 8/10 e i convertitori USB-TTL PL-2303HXA PL-2303H. Se il tuo computer non riconosce la periferica, controlla i numeri della versione. Una volta installati i driver, controlla che il tuo dispositivo sia riconosciuto andando su START → Device Manager (Avvio → Gestione periferiche) e cercare nella sezione “Porte”. Se non è in elenco, riavvia il computer e controlla di nuovo.

### Step 3: accoppiare trasmettitore e ricevitore

Il prossimo passo è configurare entrambi i moduli APC220 in modo che siano sincronizzati sulla stessa frequenza e che trasmettano e ricevano allo stesso rate altrimenti non saranno in grado di comunicare fra loro.

Per far questo useremo uno sketch speciale di Arduino che può essere caricato sulla scheda Arduino Uno e usato per configurare i dispositivi.

Per prima cosa [scarica](#) il file di configurazione “.ino” del modulo APC220.

Successivamente apri e carica il codice su Arduino.

Ora collega il modulo APC220 a Arduino Uno come mostrato nella foto (dal pin 8 digitale a GND).



Una volta che l'APC220 è collegato, apri il monitor seriale in cui ti dovrebbe comparire un menu; se non dovesse farlo, digita “m” sulla riga di comando e premi enter.

Il menu ti dà le istruzioni su come configurare l'APC220. La cosa più importante è assicurarsi che entrambi i moduli APC220 siano configurati sulla stessa frequenza e stesso rate, ....

**Nota:** se hai una classe con diversi set di APC220, è una buona idea configurare ciascuna coppia con una frequenza diversa a meno che tu non voglia origliare ai messaggi degli altri gruppi! Ricordati che l'intervallo di funzionamento degli APC220 è 420-450 MHz.

Nel menu viene fatto e spiegato un esempio sul comando per configurare l'APC220.

## Step 4: E' tempo di test!

Siamo finalmente pronti per provare a inviare e ricevere qualche dato.

Per farlo abbiamo bisogno di programmi, l'Arduino IDE, che già conosci, e una utility per le porte seriali che può essere scaricato da [qui](#).

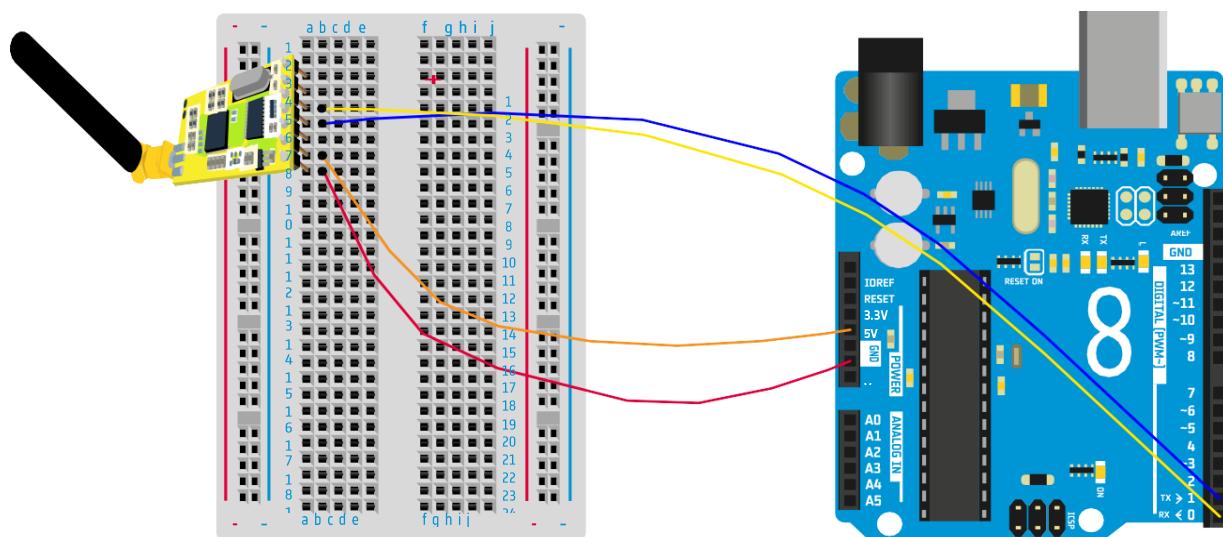
**Nota:** ci sono diversi programmi che possono essere utilizzati per leggere le porte seriali, sentiti libero di usare quello che ti è più comodo.

Prima di tutto collega la tua scheda Arduino e invia il codice sottostante

```
void setup()
{
    Serial.begin(9600);           //Set serial baud rate to 9600
}

void loop()
{
    Serial.println("Hello!");      //print out hello string
    delay(1000);                  //1 second delay
}
```

Ora scollega Arduino dal computer e imposta i circuiti come in figura.



Una volta che il circuito è stato impostato puoi collegarlo a un alimentatore esterno (non puoi collegarlo al computer che usi per ricevere i dati perché interferirebbe)

Infine collega l'altro modulo APC220 al computer via convertitore USB-TTL e apri l'utilità per le porte seriali.

Congratulazioni! Ora dovresti vedere il messaggio "Hello!". Se non lo vedi, controlla che stai leggendo la porta COM corretta e che Arduino IDE sia chiuso.

Puoi provare a estendere il test includendo altre misure al tuo codice e aggiungendo una marca temporale in modo da poter verificare i dati originali.

## Esercizi

Testiamo ora le capacità del tuo trasmettitore e ricevitore! Una volta che avrai preso sicurezza potrai trasmettere dati usando la guida sopra descritta. Scegli un partner e allontanati dal trasmettitore con il tuo ricevitore.

1. A che distanza il tuo compagno può arrivare prima di smettere di ricevere il segnale?

---

2. Cosa puoi cambiare per migliorare la distanza? Pensa a tutto quello di cui abbiamo parlato fino ad ora.

---



---

3. Costruisci un'antenna Yagi e ripeti i test. Se ne hai la possibilità, usa i tre moduli radio descritto nell'attività 2. Qual è la differenza principale tra un'antenna Yagi e una a quarto d'onda?

---

## → Link

Un esempio di antenna Wi-Fi facile da costruire  
[instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/](https://www.instructables.com/id/Easy-to-Build-WIFI-24GHz-Yagi-Antenna/)

Informazioni sul modulo radio APC220  
[dfrobot.com/wiki/index.php/APC220\\_Radio\\_Data\\_Module\(SKU:TEL0005\)](https://dfrobot.com/wiki/index.php/APC220_Radio_Data_Module(SKU:TEL0005))

Un esempio su dove comprare un modulo radio LoRa a 433 MHz  
[amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/](https://www.amazon.co.uk/Adafruit-Feather-RFM96-LoRa-Radio/dp/B071V71ZSD/)