Uno smartphone moderno contiene diversi **trasmettitori e ricevitori radio** (chiamati ricetrasmettitori o *transceiver*), ognuno dei quali lavora su frequenze diverse per gestire comunicazioni specifiche.

In media, uno smartphone include **tra i 5 e i 7 sistemi radio distinti**, ciascuno dei quali possiede uno o più trasmettitori (TX) e ricevitori (RX).

Ecco il dettaglio approfondito dei componenti radio principali e dei loro utilizzi:

1. Modem Cellulare (4G / 5G / 3G / 2G)

- **Tipo:** Trasmettitore e Ricevitore (Ricetrasmettitore)

- **Utilizzo:** È la radio primaria per la connessione alla rete telefonica mobile.

    - **Ricevitore:** Riceve chiamate, SMS e dati da Internet dalle antenne (misure) degli operatori telefonici.

    - **Trasmettitore:** Invia la tua voce durante una chiamata, invia SMS e carica dati in rete (upload).

- **Curiosità:** Gli smartphone 5G moderni utilizzano la tecnologia **MIMO** (*Multiple Input, Multiple Output*), il che significa che ci sono **più antenne e ricetrasmettitori lavorando in parallelo** all'interno dello stesso modulo per garantire velocità elevate e stabilità del segnale.

2. Modulo Wi-Fi

- **Tipo:** Trasmettitore e Ricevitore

- **Utilizzo:** Permette la connessione wireless a reti locali (modem di casa, ufficio o reti pubbliche) e per la funzione di **Hotspot personale** (trasformando il telefono in un router).

- **Frequenze usate:** Opera principalmente sulle bande a **2.4 GHz**, **5 GHz** e, nei modelli più recenti (Wi-Fi 6E / 7), **6 GHz**.

3. Modulo Bluetooth

- **Tipo:** Trasmettitore e Ricevitore

- **Utilizzo:** Comunicazione a corto raggio (entro circa 10-100 metri) a basso consumo energetico.

    - Collegamento di accessori come cuffie wireless, smartwatch, casse audio, tastiere e mouse.

    - Scambio diretto di file (es. *Quick Share* o *AirDrop*).

4. Ricevitore GPS / GNSS (Satellitare)

- **Tipo: Solo Ricevitore** (il telefono non trasmette nulla ai satelliti)

- **Utilizzo:** Calcola la posizione geografica esatta del telefono ricevendo i segnali orari inviati dai satelliti in orbita (GPS americano, GLONASS russo, Galileo europeo, BeiDou cinese).

- **Nota:** Poiché è un dispositivo puramente passivo, il GPS riceve soltanto informazioni e non consuma dati internet per rilevare le coordinate.

5. Modulo NFC (Near Field Communication)

- **Tipo:** Trasmettitore e Ricevitore

- **Utilizzo:** Comunicazione a brevissimo raggio (meno di 4-10 cm).

- **Pagamenti contactless:** Emula carte di credito/debito per pagare con Google Wallet o Apple Pay nei POS.

- **Lettura e scrittura tag:** Per leggere schede di trasporto, carte d'identità elettroniche (CIE) o automatizzare azioni al tocco di un tag.

6. Modulo UWB (Ultra-Wideband) *(Presente sui modelli flagship/top di gamma)*

- **Tipo:** Trasmettitore e Ricevitore

- **Utilizzo:** Localizzazione spaziale e calcolo della distanza ad altissima precisione (entro pochi centimetri).

- Trovare dispositivi smarriti con indicazioni millimetriche (es. *AirTag* o *SmartTag*).

- Apertura di porte d'auto o serrature intelligenti avvicinandosi al veicolo.

7. Comunicazione Satellitare di Emergenza *(Presente su smartphone recenti)*

- **Tipo:** Trasmettitore e Ricevitore satellitare avanzato

- **Utilizzo:** Permette di inviare messaggi di soccorso (SMS di emergenza o posizione) direttamente ai satelliti in orbita bassa quando non c'è alcuna copertura di rete cellulare o Wi-Fi.

8. Altri componenti radio secondari/opzionali

- **Trasmettitore a Infrarossi (IR Blaster):** Presente su molti telefoni Android (Xiaomi, Huawei, ecc.), trasmette impulsi di luce infrarossa per usare lo smartphone come telecomando per TV o condizionatori (*solo trasmettitore*).

- **Ricevitore Radio FM:** Presente su alcuni modelli economici, riceve le trasmissioni radiofoniche tradizionali su frequenze FM (usando spesso il cavo delle cuffie come antenna, *solo ricevitore*).

Riassunto della struttura

Se consideriamo l'architettura interna, la maggior parte di queste funzionalità radio (Wi-Fi, Bluetooth, GPS, NFC) è spesso integrata in un unico chip combinato (**SoC / Connectivity Chipset**), mentre la radio cellulare (4G/5G) risiede nel **Modem LTE/5G**, collegato a una complessa rete di antenne disposte lungo il bordo metallico dello smartphone.

Dettaglio delle **frequenze di lavoro** utilizzate da ciascun sistema radio presente nello smartphone:

1. Modem Cellulare (4G / 5G / 3G / 2G)

Le reti mobili operano su un ampio spettro di frequenze (divise in bande) per garantire copertura e velocità:

- **2G (GSM):** 900 MHz e 1800 MHz.
- **3G (UMTS):** 900 MHz e 2100 MHz.
- **4G (LTE):** Spazi ampi che vanno da **700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz fino a 2600 MHz**.
- **5G:** Si divide in due macro-categorie:
    - **Sub-6 GHz:** Frequenze medie tra **700 MHz e 3.7 / 4.2 GHz** (le più diffuse per la copertura nazionale).
    - **Onde Millimetriche (mmWave):** Frequenze molto elevate tra **24 GHz e 40 GHz** (usate per velocità ultra-rapide ma con raggio d'azione ridotto).

2. Modulo Wi-Fi

Il Wi-Fi utilizza bande di frequenza standardizzate a livello internazionale:

- **Banda 2.4 GHz:** Da 2.412 GHz a 2.484 GHz (lunga portata, maggiore interferenza).

- **Banda 5 GHz:** Da 5.170 GHz a 5.835 GHz (alta velocità, minor portata).

- **Banda 6 GHz (Wi-Fi 6E / Wi-Fi 7):** Da 5.925 GHz a 7.125 GHz (canali larghi e sgombri da interferenze).

3. Modulo Bluetooth

- **Frequenza:** Opera nella banda ISM industriale/scientifica/medica centrata sui **2.4 GHz** (esattamente da 2.402 GHz a 2.480 GHz). Utilizza la tecnica del *Frequency Hopping Spread Spectrum* (cambia frequenza migliaia di volte al secondo per evitare interferenze con il Wi-Fi).

4. Ricevitore GPS / GNSS (Satellitare)

I satelliti inviano segnali a frequenze specifiche (bande L):

- **GPS L1 / Galileo E1 / GLONASS L1:** Intorno a **1.57542 GHz** (la frequenza principale usata da tutti gli smartphone).

- **GPS L5 / Galileo E5:** Intorno a **1.17645 GHz** (frequenza secondaria ad alta precisione presente nei telefoni più recenti).

5. Modulo NFC (Near Field Communication)

- **Frequenza:** Opera rigorosamente a **13.56 MHz** (tecnologia a radiofrequenza a corto raggio induttivo).

6. Modulo UWB (Ultra-Wideband)

- **Frequenza:** A differenza delle altre tecnologie, usa bande di frequenza larghissime, solitamente comprese tra **6.0 GHz e 8.5 GHz** (con canali specifici centrati ad esempio intorno a 6.5 GHz o 8 GHz).

7. Comunicazione Satellitare di Emergenza

- **Frequenza:** Utilizza bande specifiche riservate ai servizi mobili satellitari (MSS), generalmente comprese tra **1.6 GHz e 2.4 GHz** (bande L e S), a seconda della costellazione di satelliti utilizzata (es. Globalstar o Iridium).

8. Componenti Secondari

- **Infrarossi (IR Blaster):** Non è propriamente una radiofrequenza ma luce a infrarossi, con una lunghezza d'onda intorno a **850 - 940 nanometri** (frequenza ottica invisibile all'occhio umano).

- **Radio FM:** Opera nella banda广播 FM tradizionale compresa tra **87.5 MHz e 108 MHz**.