

# Capitolo 1

## Sistemi a microonde

### 1.1 Introduzione

Il termine microonde è comunemente utilizzato per indicare il campo di frequenze compreso tra 1 e 300 GHz. Come mostrato nella Tab. 1.1, introdotta dall'Istituto degli Ingegneri Elettrici ed Elettronici (IEEE), l'intervallo delle microonde si colloca tra le frequenze ultra alte (UHF) e quelle submillimetriche. Nella tabella sono anche riportate le denominazioni proposte dall'IEEE per le diverse bande in cui è stato suddiviso il campo delle microonde.

Tab. 1.1

Denominazioni	Intervallo di frequenza GHz ( $10^9$ Hz)
HF	0.003 - 0.030
VHF	0.030 - 0.300
UHF	0.300 - 1.000
banda L	1.000 - 2.000
banda S	2.000 - 4.000
banda C	4.000 - 8.000
banda X	8.000 - 12.000
banda Ku	12.000 - 18.000
banda K	18.000 - 27.000
banda Ka	27.000 - 40.000
Millimetrico	40.000 - 300.000
Submillimetrico	> 300.000

Le applicazioni più comuni dei sistemi a microonde riguardano le comunicazioni terra-terra e terra-spazio-terra, i radar, il telerilevamento, i sistemi industriali e medicali e quelli di misura. In tutti questi sistemi si utilizzano tecniche di progetto diverse da quelle dell'elettronica delle basse frequenze (costanti distribuite al posto delle costanti concentrate, etc.). Inoltre si utilizzano anche componenti che non sono presenti nell'elettronica delle basse frequenze (accoppiatori direzionali, etc.).

I vantaggi che si ottengono dall'uso di sistemi che operano nel range delle microonde, rispetto a sistemi operanti in altri intervalli dello spettro elettromagnetico, sono essenzialmente connessi alla direttività delle antenne radianti, alla purezza spettrale delle sorgenti e alle bande utilizzabili. Alle sopra citate frequenze delle microonde corrispondono lunghezze d'onda comprese tra 0.1 e 30 cm. Con queste lunghezze d'onda si possono utilizzare antenne

radianti di piccole dimensioni mantenendo buoni valori di direttività mentre, riducendo la frequenza, si rendono necessarie, a parità di direttività, antenne più grandi. Nella regione dell'infrarosso, dove sarebbe possibile ridurre ulteriormente le dimensioni delle antenne, le sorgenti monocromatiche sono difficili e costose da realizzare; inoltre, queste radiazioni sono fortemente attenuate quando si propagano nell'atmosfera. L'ultimo vantaggio dei sistemi a microonde è connesso all'ampio spettro utilizzabile per le telecomunicazioni. Infatti se si considera una banda del 10% intorno a 10 GHz, si ha un intervallo di frequenze di 1 GHz: maggiore di tutto il campo compreso tra la continua e le VHF.

## 1.2 Esempi

Nel seguito verranno descritti alcuni tipici sistemi a microonde con particolare riferimento ai sottosistemi che li compongono. I dettagli del progetto dei sottosistemi e dei componenti con cui questi sono realizzati saranno illustrati nei capitoli successivi.

### 1.2.a Sistema rice-trasmittente terrestre

I sistemi rice-trasmittenti costituiscono una delle maggiori applicazioni dei sistemi a microonde. Questi sistemi sono tipicamente utilizzati per la trasmissione di segnali sia telefonici che televisivi. I segnali trasmessi possono essere sia di tipo analogico che digitale con questi ultimi in forte crescita negli ultimi anni.

In Fig. 1.1 è mostrato, ad un certo livello di dettaglio, un sistema rice-trasmittente di tipo analogico.

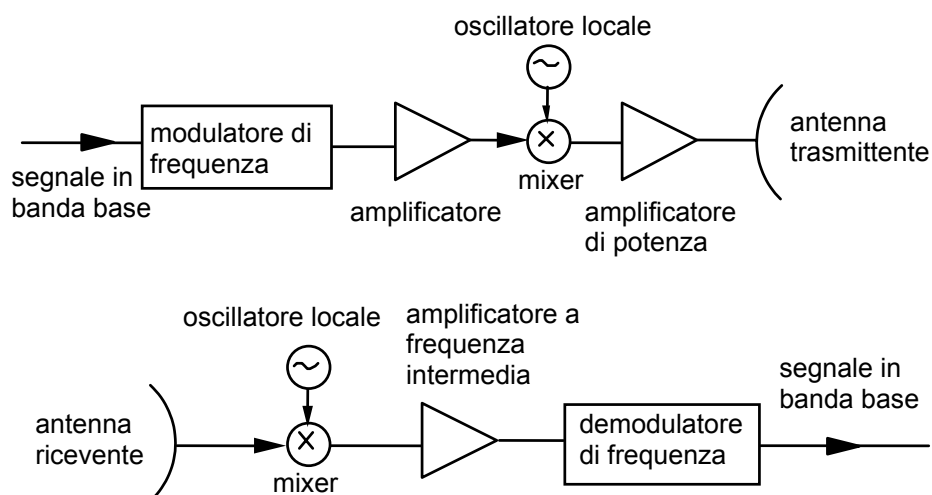


Fig. 1.1

Il segnale in banda base d'ingresso è ottenuto multiplexando a divisione di frequenza vari segnali telefonici e/o televisivi. Questo segnale è poi inviato in un modulatore di frequenza con portante a 70 MHz, amplificato, ed inviato in un traslatore di frequenza (up-converter) realizzato con un mixer.

L'oscillatore locale del mixer è tipicamente un oscillatore a diodo Gunn o un oscillatore a transistor. Il segnale passa poi attraverso un amplificatore di potenza ed infine è inviato all'antenna trasmittente.

Dal lato ricevente il percorso è duale; si trova infatti un traslatore (down-converter), un amplificatore a frequenza intermedia ed il blocco di demodulazione che riporta il segnale in banda base. Questo segnale è poi inviato ad un demultiplexer.

### 1.2.b Transponder su satellite

Nei satelliti per telecomunicazioni i sistemi a microonde costituiscono una grossa percentuale del costo totale del satellite. In particolare su questi satelliti sono spesso presenti i transponder, cioè dei sistemi rice-trasmittenti con conversione di frequenza. Questa conversione evita che l'antenna ricevente rilevi il segnale irradiato dall'antenna trasmittente.

In Fig. 1.2 è mostrato lo schema a blocchi di un transponder per segnali digitali.

Nei sistemi digitali il segnale in banda base è usualmente ottenuto attraverso una moltiplicazione a divisione di tempo dei vari canali. La stringa digitale così ottenuta va direttamente a modulare in fase il segnale di un oscillatore a microonde. La tecnica di modulazione maggiormente utilizzata prevede quattro diverse fasi (Quadrature-phase-shift keying - QPSK).

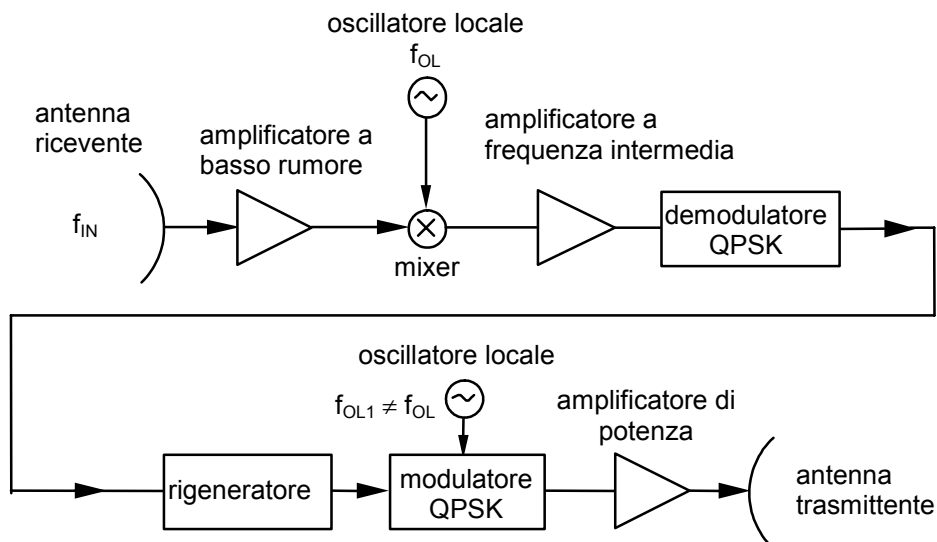


Fig. 1.2

Nel transponder per segnali digitali, l'antenna ricevente è seguita da un amplificatore a basso rumore e da un traslatore di frequenza a mixer seguito da un demodulatore. In uscita al demodulatore il segnale digitale viene rigenerato (v. par. 1, Vol. 3) modulato, amplificato ed inviato all'antenna trasmittente.

Come detto in precedenza, la frequenza dell'oscillatore in uscita ( $f_{OL1}$ ) deve essere diversa da quella dell'oscillatore in ingresso ( $f_{OL}$ ) al fine di evitare interferenze.

### 1.2.c Radar altimetrico

I sistemi radar utilizzano l'energia a microonde per rivelare e visualizzare oggetti anche in condizioni (distanza, visibilità, etc.) proibitive per l'occhio umano. Il radar invia una forma d'onda nota sull'oggetto e rivela l'energia di ritorno (eco) al fine di ottenere informazioni sulla distanza, velocità e dimensioni dell'oggetto investito. I sistemi radar sono utilizzati per il controllo del traffico aereo, per l'avvistamento e l'osservazione di veicoli e per le misure altimetriche.

Nel seguito verrà descritto un sistema per le misure altimetriche in grado di valutare l'altezza di un oggetto sopra il livello della superficie terrestre.

Il radar altimetrico riportato in Fig. 1.3 utilizza un oscillatore pulsato, realizzato con un diodo IMPATT, il cui segnale viene amplificato ed inviato all'antenna trasmittente.

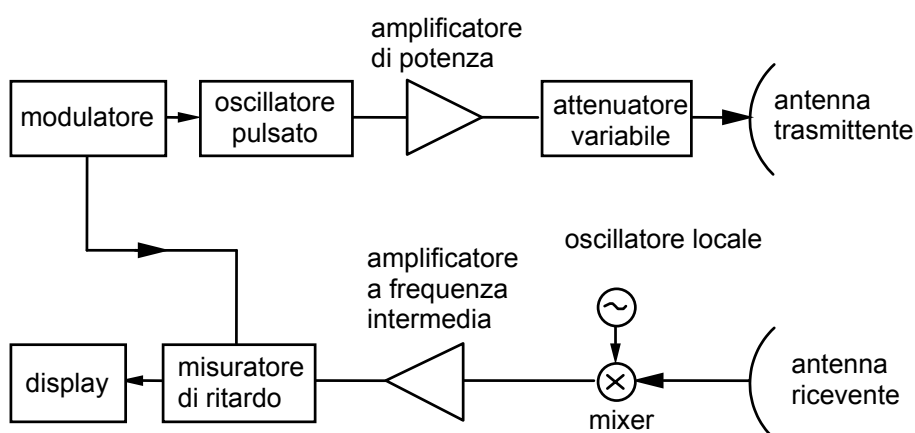


Fig. 1.3

Nel canale è previsto anche l'inserimento di un attenuatore variabile da utilizzare quando l'oggetto riflettente è vicino al radar: in queste condizioni infatti il segnale riflesso potrebbe essere eccessivamente ampio e fare uscire di dinamica il ricevitore.

In ricezione sono presenti un mixer ed un misuratore di ritardo che misura la differenza temporale tra l'impulso trasmesso e quello ricevuto.

### 1.2.d Radiometro

I sistemi radiometrici sfruttano il principio fisico per cui tutti i corpi, quando si trovano ad una temperatura superiore a quella dello zero assoluto, emettono energia sotto forma di radiazione elettromagnetica. Questa proprietà è utilizzata nel telerilevamento per valutare la temperatura del suolo terrestre o dell'atmosfera, ma trova applicazioni anche in medicina per la valutazione della temperatura corporea.

Nei radiometri sono particolarmente critiche le instabilità nel guadagno degli amplificatori. Tali instabilità decrescono con la frequenza divenendo praticamente trascurabili a frequenze superiori al kHz.

Un tipico sistema radiometrico (radiometro Dicke) è riportato in Fig. 1.4.

Nel radiometro Dicke prima della sezione di rivelazione, costituita da un amplificatore a RF a basso rumore, un mixer, un amplificatore a frequenza intermedia ed un rivelatore quadratico, si inserisce un deviatore il quale commuta l'ingresso del rivelatore tra l'antenna e un carico di riferimento.

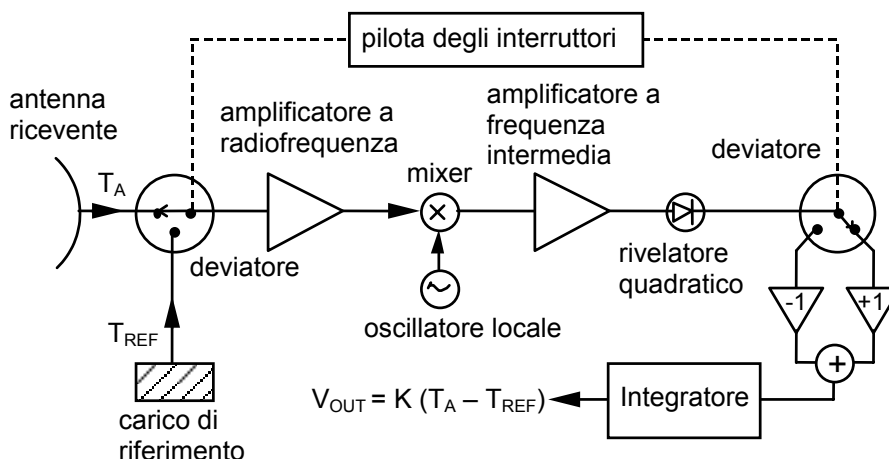


Fig. 1.4

Dopo il rivelatore è inserito un altro deviatore, che lavora in sincronismo con il primo e che invia il segnale in due amplificatori a guadagno unitario con sfasamenti rispettivamente di 0 e 180°. Le uscite dei due amplificatori sono poi sommate ed inviate ad un integratore.

Si può dimostrare che se la frequenza di commutazione del deviatore è maggiore della massima frequenza di fluttuazione del guadagno del sistema (circa 1 kHz) l'uscita del radiometro è proporzionale alla differenza tra la temperatura del corpo radiante ( $T_A$ ) e quella della sorgente di riferimento ( $T_{REF}$ ) e non dipende dalle fluttuazioni del ricevitore e dal suo rumore (questo dipende dal fatto che durante un ciclo di commutazione il guadagno non cambia).

Con i radiometri Dicke si possono ottenere risoluzioni fino a 0.1 °C e sensibilità doppie rispetto a quelle della sola sezione di rivelazione.

### 1.2.e Analizzatore di reti vettoriale

L'analizzatore di reti vettoriale serve a valutare i parametri di scattering complessi (modulo e fase) in funzione della frequenza per reti contenenti componenti attivi e/o passivi.

Uno schema circuitale semplificato di un analizzatore vettoriale è riportato in Fig. 1.5.

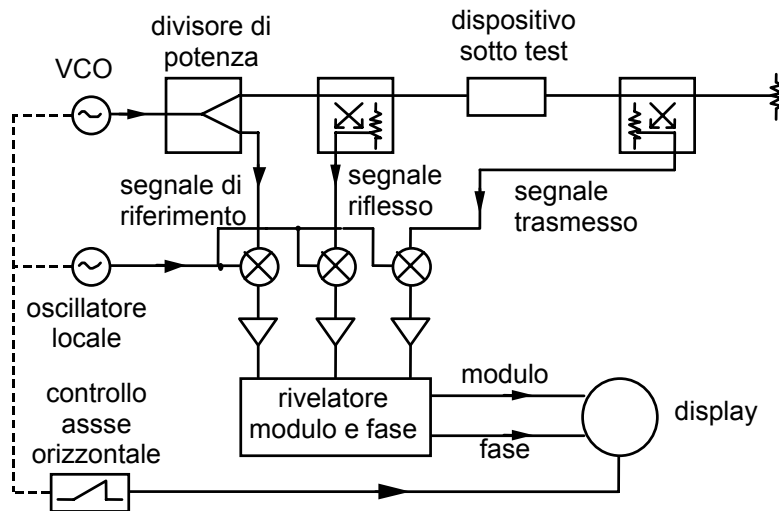


Fig. 1.5

La sorgente a RF è costituita da un oscillatore a frequenza variabile (VCO) seguito da un divisore di potenza le cui uscite costituiscono rispettivamente il segnale incidente ed il segnale di riferimento. Una frazione dei segnali riflessi dal dispositivo sotto test (DUT = Device Under Test) e trasmessi attraverso il DUT è prelevata tramite due accoppiatori direzionali e, insieme al segnale di riferimento, è mescolata con il segnale proveniente da un oscillatore locale anch'esso a frequenza variabile.

Il segnale in uscita dai mixer è amplificato ed inviato in un sistema per la rivelazione del modulo e della fase dei rapporti tra questi segnali. Le uscite del rivelatore pilotano l'asse verticale del display il cui asse orizzontale è pilotato dalla rampa di tensione che controlla la frequenza del VCO e dell'oscillatore locale.