

## Propagazione di onde radio

Le onde elettromagnetiche svolgono un ruolo importante nelle nostre vite. Molte innovazioni tecnologiche si basano sulle proprietà di propagazione di queste onde. In questo esperimento dovrai studiare la propagazione delle onde radio nell'acqua, nell'aria e nelle guide d'onda.

### Strumenti

- Una sorgente di onde radio monocromatiche in un alloggiamento stagno contrassegnato con "A" nella Figura 1 (la frequenza varia nell'intervallo da 200 MHz a 5 GHz); in figura, la posizione della sorgente nel recipiente è mostrata con una linea tratteggiata. Essa è abbinata ad un ricevitore "B" che misura la potenza dell'onda elettromagnetica ricevuta  $P$  e mostra il risultato in decibel [lettura in decibel =  $10 \log_{10} \left( \frac{P}{1 \text{ mW}} \right)$ ]. Il ricevitore fa una lettura ogni 15 secondi. La posizione del sensore è contrassegnata sul dispositivo da un triangolo rosso. **NB! Il ricevitore non è impermeabile! L'alloggiamento dell'emettitore è impermeabile e sigillato e non devi aprirlo!**
- Una serie di tubi metallici "C" di vari diametri (diametri interni  $d_1 = 41$  mm,  $d_2 = 46$  mm,  $d_3 = 59$  mm,  $d_4 = 100$  mm).
- Un tubo di plastica "D" che ha un'estremità sigillata con un tappo.
- Una scatola di plastica "E" con fondo piatto. Lo sfasamento di onde radio che passano attraverso le pareti della scatola è sufficientemente piccolo da poter essere trascurato.
- Un rotolo di alluminio "F".
- Quattro pezzi di polistirolo "G" con cui è possibile costruire un supporto schermato (screening holder) per l'emettitore seguendo quanto suggerito in Figura 2.
- Un righello "H".
- Un secchio di plastica con acqua "I", una brocca "J", un bicchiere di plastica "K" e tessuti "L".
- Una corda sottile "M", una clip "N", un rotolo di nastro "O", elastici "P" e un'asta di legno "Q".

Il tuo emettitore è associato al tuo ricevitore e il ricevitore elimina il segnale di tutti gli altri emettitori. Però, ricorda che le onde radio sono riflesse da tutti gli oggetti nella stanza, compreso il corpo umano, dando luogo a interferenza di onde. Per esempio avvicinando la mano al ricevitore o spostandoti puoi influenzare la lettura del ricevitore. La potenza ricevuta dipende anche dall'orientamento del ricevitore e dell'emettitore. Fa' attenzione alla schermatura fatta con il foglio di alluminio: anche piccoli fori o fessure (ad esempio tra il foglio e la scatola nella Figura 2) potrebbero causare perdite di segnale.

I compiti dall'1 al 4 sono indipendenti e possono essere eseguiti in ordine arbitrario. Disegna tutti i montaggi dell'apparecchiatura usata, metti in evidenza eventuali dettagli importanti del montaggio, annota tutte le formule usate, annotando in tabelle tutti i dati misurati, e disegnando dei grafici laddove appropriato. Non c'è bisogno di stimare le incertezze di misura, ma cerca di

eseguire le misurazioni nella maniera più precisa possibile.

### Attività 1. Sensibilità del ricevitore (1p)

Qual è la più bassa potenza ricevuta misurabile (in mW)?

### Attività 2. Lunghezza d'onda in acqua (6p)

Determina la lunghezza d'onda delle onde radio nell'acqua. Puoi usare il montaggio mostrato in Fig. 2.

Nelle prossime attività studierai la propagazione di onde in tubi metallici riempiti con una sostanza (acqua o aria), nel qual caso

$$\vec{E} = \vec{E}_0(r, \varphi) e^{-\alpha z} e^{i(kz - \omega t)}, \quad (1)$$

dove  $\vec{E}$  rappresenta il vettore campo elettrico,  $\alpha$  descrive l'attenuazione dovuta alla dissipazione nel mezzo (per l'acqua  $\alpha > 0$ , per l'aria  $\alpha = 0$ ), e abbiamo usato coordinate cilindriche  $r, \varphi, z$ .

La funzione  $\vec{E}_0(r, \varphi)$  rappresenta un'onda stazionaria attraverso la sezione trasversale della guida d'onda. Diferenti onde stazionarie nella sezione trasversale corrispondono a differenti modi di propagazione dell'onda nella guida d'onda. La relazione di dispersione per le onde in una guida d'onda è data da

$$\omega^2 = (k_*^2 + k^2)c^2, \quad (2)$$

dove  $c$  è la velocità della luce nel mezzo che riempie la guida d'onda, e  $k_*$  è una costante positiva che dipende solo dal diametro del tubo e dal modo di propagazione. Nell'esperimento tieni conto solo del modo di propagazione con il più piccolo valore di  $k_*$  ignorando tutti gli altri modi di propagazione. Presta attenzione al fatto che un'onda può propagarsi lungo la guida d'onda senza attenuazione (con un vettore d'onda  $k$  che, in tal caso, assume un valore reale) solo se la frequenza di oscillazione è abbastanza alta,  $\omega \geq ck_*$ . Le equazioni (1) e (2) restano valide per le frequenze più basse che rendono puramente immaginario  $k$ ,  $k = i\mu$ , il quale corrisponde a un modo di propagazione smorzato (evanescente).

### Attività 3. Attenuazione in acqua (3p)

Determina il coefficiente di attenuazione in acqua. Suggerimento: le onde radio possono propagarsi lungo il tubo di plastica quando è pieno acqua e avvolto strettamente con un foglio di alluminio; utilizzare il nastro adesivo per evitare che il tubo cada.

### Attività 4a. Modi di propagazione smorzati in guide d'onda riempite d'aria (2p)

Metti l'emettitore nel tubo di alluminio del diametro  $d_1 = 46$  mm e studia come la potenza  $P$  delle onde ricevute dal ricevitore all'uscita del tubo dipende dalla distanza  $z$  dell'emettitore dalla stessa uscita del tubo. Dalla misura di  $P$  in funzione di  $z$  determina il valore del parametro  $\mu$  del modo di propagazione smorzato.

### Attività 4b. (4p)

Esegui una serie di misurazioni per determinare in che modo il parametro  $\mu$  dipende dal diametro  $d$  del tubo. Ipotizza una dipendenza funzionale tra questi parametri e verificala sperimentalmente.

**Attività 5. Lunghezza d'onda in aria e indice di rifrazione dell'acqua (3p)**

Determina la lunghezza d'onda di queste onde radio in aria e calcola l'indice di rifrazione dell'acqua per le onde radio.