Complesso Microradar

Catalogazione

Liceo Leopardi Majorana
Alessandro Bigi, Ermal Kokollari & Giovanni De Zan

2024



(a) Amplificatore di basse frequenze



(b) Antenne tronco - piramidali



(c) Alimentatore per Klystron



(d) Sonda ricevente

Figura 1: Principali componenti del complesso *Microradar*

Indice

1 Descrizione **3**

2 Funzionamento **5**

2.1 Klystron Reflex 6

2.2 Diodo al germanio 6

3 Accessori **7**

4 Dati scientifici **16**

4.1 Inventore 16

4.2 Costruttore, azienda distributrice 16

4.3 Periodo di costruzione 16

4.4 Dimensioni, misure (in centimetri) 17

4.5 Materiali 19

4.6 Scheda tecnica del costruttore/rivenditore 19

5 Dati storici **20**

5.1 Data di entrata o di acquisto 20

5.2 Vecchi numeri d'inventario 20

5.3 Valore di acquisto 20

5.4 Numero di inventario attuale (inventario Liceo Leopardi-Maorana 2024) 20

6 Dati relativi al restauro **20**

6.1 Stato di conservazione 20

6.2 Interventi di restauro, sostituzioni 20

6.3 Schede storiche di esperimenti 21

6.4 Osservazioni. Utilizzo per la didattica 21

7 Dati relativi alla conservazione **22**

7.1 Collocazione 22

7.2 Armadio 22

7.3 Ripiano 22

7.4 Archivio fotografico/video 22

7.4.1 Foto allegate 22

7.4.2 Esperienze possibili 22

7.5 Bibliografia e sitografia 23

1 Descrizione

Il complesso microradar è costituito da quattro componenti principali, questi sono: l'amplificatore di basse frequenze (con incisione amplificatore di B. F.), figura (a), l'alimentatore per Klystron, figura (c), due antenne tronco piramidali (un micro-emettitore e un micro-ricevitore), figura (b), e una sonda ricevente, figura (d). Tutte e quattro le componenti sono di base metallica, con alcuni elementi in plastica, in gomma (come i cavi di alimentazione e di collegamento) o in legno (come il manico della sonda ricevente). Il complesso è suddivisibile in due *macro* gruppi, la parte generatrice e quella ricevitrice. La prima, quella generatrice, è composta dall'alimentatore per *Klystron*[1] e dall'antenna tronco piramidale dotata di valvola *Klystron*[1]. La seconda invece, quella ricevitrice, è composta dall'antenna tronco piramidale, dalla sonda ricevente, entrambe dotate di diodo al germanio lungo 1,5 cm, e dall'amplificatore di basse frequenze. Storicamente il complesso può essere datato intorno al 1970, anno in cui compare per la prima volta nel catalogo FISICA E COLLEZIONI DI CHIMICA, Paravia. Il complesso mostrato nel catalogo, con numero identificativo **51937**, non è perfettamente identico a quello in possesso dalla scuola, ma differisce nella forma dello sterio dell'amplificatore di basse frequenze.

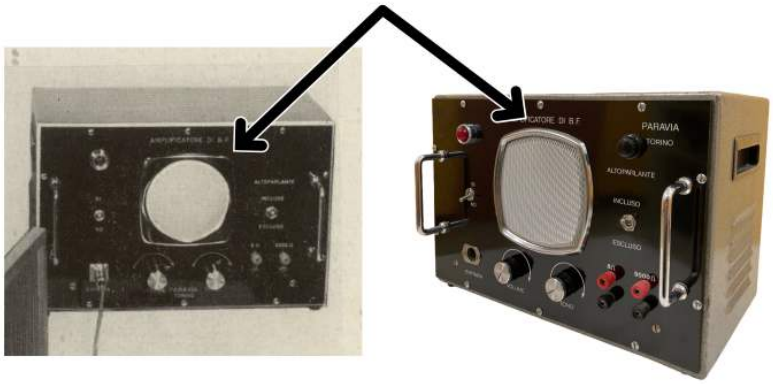


Figura 2: Differenze tra i due amplificatori di B.F.

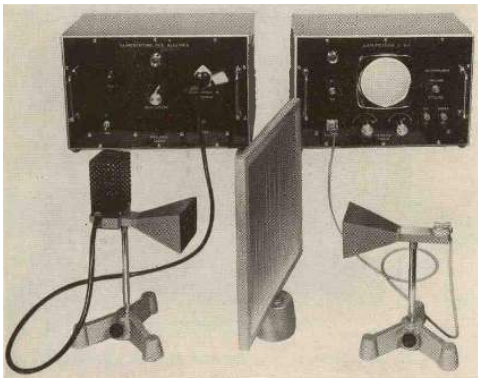
Inoltre, a conferma di questa datazione, analizzando i registri della scuola, risulta essere stato acquistato nel 1972, anno in cui compare nel registro degli acquisti, per 350.000 lire, con numero di inventario 797. Successivamente sembra essere stato rivalutato nel

1980 per 630.000 lire.

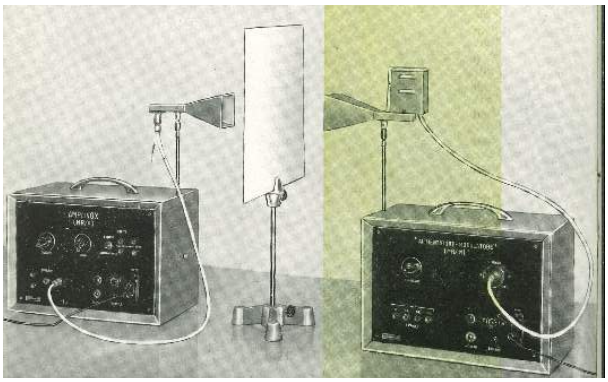


Figura 3: Catalogo 1972

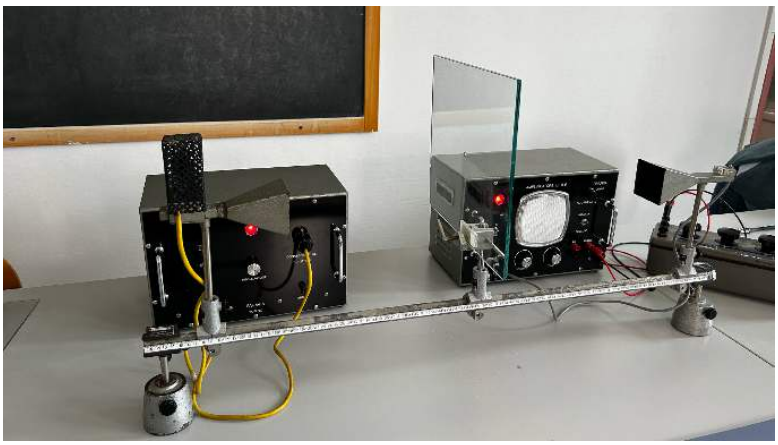
Il complesso all'epoca veniva definito all'avanguardia, dato che permetteva di svolgere esperienze di ottica geometrica e fisica effettuabili con le radiazioni luminose ma con una minore complessità nella realizzazione. Il Microradar permette infatti, attraverso l'utilizzo dei suoi molti accessori, di verificare le proprietà principali di queste onde elettromagnetiche, come riflessione, rifrazione, diffrazione, interferenza e polarizzazione.



(a) Complesso nel catalogo Paravia del 1970



(b) Complesso nel fascicolo illustrativo Paravia delle esperienze di laboratorio



(c) Complesso di proprietà della scuola

Figura 4: Complessi a confronto

2 Funzionamento

Il complesso Microradar, essendo un sistema ricetrasmittente utilizzato per lo studio dei fenomeni legati alle microonde e al loro comportamento, basa il suo funzionamento sulle loro proprietà: le microonde sono radioonde la cui lunghezza d'onda varia da un limite superiore di 1 metro (300 MHz) a un limite inferiore che si aggira intorno al millimetro, e comprendono le onde decimetriche (UHF) da 300 a 3000 MHz, le centimetriche (SHF) da 3000 a 30.000 MHz e quelle millimetriche (EHF) oltre i 30.000 MHz.

Il trasmettitore del complesso (*antenna tronco piramidale*) è composto da un tubo elettronico speciale chiamato Klystron Reflex, utilizzato come oscillatore nei circuiti a microonde, questo tubo è alimentato da un modulatore che necessita di 220 V di rete per il funzionamento (*alimentatore per Klystron*).

Il micro-ricevitore e la micro-sonda del complesso presentano un diodo al germanio lungo 1,5 cm collegato ad un amplificatore amplivox (amplificatore per Klystron), che necessita anch'esso di 220 V di rete per funzionare. I circuiti e le linee in cui le microonde si localizzano e si propagano non possono essere costituiti da combinazioni di capacità, induttanze e resistenze, poiché le altissime frequenze non consentono di separare i fenomeni elettrostatici dai fenomeni elettromagnetici. Pertanto, i circuiti del Microradar sono costituiti da cavità risonanti, nelle quali le costanti del circuito (C, L, R) sono distribuite. Il tubo Klystron Reflex viene utilizzato invece come oscillatore e i circuiti a cavità risonanti per la propagazione delle onde. In breve l'alimentatore per Klystron fornisce l'energia necessaria all'antenna tronco piramidale trasmittente per funzione, questa genera le microonde, che vengono ricevute dalla seconda antenna tronco piramidale, grazie al diodo al germanio, ma poiché le onde sono a bassissima frequenza e intensità è necessario l'amplificatore di basse frequenze per udirne la ricezione. Il complesso genera onde già polarizzate, verticalmente, ad una frequenza variabile, attraverso la manopola regolazione nell'alimentatore per Klystron: tra $8,702 \cdot 10^9$ Hz e $9,548 \cdot 10^9$ Hz, perciò la lunghezza d'onda (λ) varia tra 3,14 cm e 3,44 cm. A causa del suo aspetto puramente qualitativo, non siamo stati in grado di determinare questa variazione sperimentalmente, poichè $\Delta\lambda$ è troppo piccolo per essere rilevato; siamo riusciti però a calcolare la lunghezza d'onda con la *regolazione* al massimo: 3,2 cm.

2.1 Klystron Reflex

Il Klystron Reflex, brevettato per la prima volta nel 1938 William W. Hansen e Russell H. Varian e utilizzato principalmente durante la seconda guerra mondiale per i radar dei sottomarini, è un tubo elettronico utilizzato dal complesso per produrre le microonde. Il modello fornito per il Microradar è il 723 A/B, sostituito in seguito dal 2k25. È stato prodotto dalla Western Electric, azienda con sede negli USA. Il suo funzionamento si basa sulle variazioni di velocità di una corrente di elettroni, sottoposta ad accelerazione e decelerazione da parte di specifici elettrodi. Il tubo è composto da un catodo, una griglia acceleratrice, due griglie solidali con la cavità risonante e un repulsore a potenziale negativo rispetto al catodo.

Quando viene applicata una tensione al catodo, gli elettroni vengono emessi e accelerati verso la griglia acceleratrice. Successivamente, gli elettroni attraversano le due griglie solidali con la cavità risonante, all'interno della quale viene indotta un'oscillazione elettromagnetica. La corrente di elettroni cede potenza alla cavità risonante, aumentando l'ampiezza delle oscillazioni.

Il repulsore, a potenziale negativo rispetto al catodo, decelera gli elettroni, i quali tornano indietro attraverso le griglie e la cavità risonante, cedendo ulteriore potenza alle oscillazioni. Questo processo di andata e ritorno degli elettroni attraverso la cavità risonante consente di amplificare le oscillazioni elettromagnetiche.

Il Klystron Reflex può essere sintonizzato su una gamma abbastanza ampia di frequenze, variando le dimensioni fisiche della cavità risonante. La cavità risonante equivale a un circuito oscillante con un fattore di qualità (Q) elevatissimo, dell'ordine di alcune migliaia. Una spira di accoppiamento posta all'interno della cavità risonante consente di trasferire la corrente a radiofrequenza nel circuito utilizzatore. Tuttavia, il Klystron Reflex può erogare soltanto una potenza molto bassa.

2.2 Diodo al germanio

Il diodo al germanio, oggi sostituito con il diodo al silicio, nasce come dispositivo semiconduttore che consente il flusso di corrente in una direzione e blocca il flusso di corrente nella direzione opposta. È altamente utilizzato in questo campo perchè permette di convertire segnali ad alta frequenza in segnali a bassa frequenza, che possono essere poi elaborati più facilmente. Nella ricezione delle microonde però viene utilizzato come rivelatore di inviluppo, che converte i segnali a microonde in segnali a banda

base. Nel dettaglio, quando il segnale a microonde raggiunge il diodo, questo crea una variazione del campo elettrico all'interno del dispositivo, che di fatto viene alterato dal componente elettrica delle microonde. Questa variazione provoca la formazione di portatori di carica, che iniziano a muoversi all'interno del materiale semiconduttore. Se la polarità del segnale fa sì che i portatori di carica si muovano verso la giunzione tra il materiale N-doped (ricco di elettroni) e il materiale P-doped (ricco di lacune), allora il diodo si *chiude* e la corrente può scorrere attraverso di esso. Se invece la polarità del segnale è opposta, i portatori di carica si allontanano dalla giunzione e il diodo si *apre*, interrompendo il flusso di corrente.

3 Accessori

Il complesso vanta una grande gamma di accessori, che garantiscono molteplici esperienze di laboratorio. Alcuni sono stati acquistati a parte dalla scuola, o annessi in seguito perchè idonei, mentre altri sono dichiarati nello stesso catalogo Paravia 1970, dove viene indicato essere riposti in un contenitore di plastica o per quanto riguarda i pannelli, infilati verticalmente in una guida di legno.

3.1 Schermi metallici



(a) (b)

Figura 5

I due schermi metallici, di dimensioni cm. 30 x 30, permettono di svolgere diverse esperienze legate alla riflessione delle microonde. I materiali metallici infatti, oltre ad avere un alto assorbimento, hanno anche un alto coefficiente di riflessione per le microonde. Inoltre sono protagonisti di quasi ogni esperimento:

- Esperimenti sulla riflessione delle onde
- Principio di funzionamento dei radar (insieme al diaframma di plexiglass)
- Esperimenti sulle onde stazionarie
- Esperimenti sulla diffrazione delle onde
- Esperimenti sull'interferenza delle onde e delle onde nelle lamine sottili (insieme al diaframma di plexiglas)

3.2 Diframma di faesite



Figura 6

Il diaframma di faesite, sempre di dimensioni cm. 30 x 30, essendo un materiale legnoso è associato ad una bassa riflessione ed un'alta trasmissione, per questo è perfetto per esperienze di laboratorio come:

- Esperimenti sulla trasmissione delle microonde
- Esperimenti sull'interferenza delle microonde

3.3 Diaframma di plexiglass



Figura 7

Il diaframma di plexiglass, sempre cm. 30 x 30, essendo anch'esso un materiale non conduttore si presta alle stesse esperienze di laboratorio del diaframma di faesite, inoltre è utile per esperienze che dimostrano il funzionamento dei dispositivi antiradar, insieme al diaframma metallico, le stesse che permettono di determinare la lunghezza d'onda

del dispositivo.

3.4 Diaframma reticolare



Figura 8

Il diaframma reticolare è una quadrato cm 30 x 30 composto da una cornice in legno placcato, con annessi dei piccoli cilindri, precisamente 51, che servono a replicare il funzionamento di un polarizzatore: le catene assorbono infatti le onde il cui campo elettrico vi è parallelo e lasciano passare quelle il cui campo elettrico vi è normale. Il diaframma serve principalmente per le esperienze che dimostrano la natura polarizzata delle onde generate dal complesso, ma garantisce inoltre una serie di esperimenti sulle onde polarizzate come:

- Rotazione del piano di polarizzazione mediante reticoli metallici

- Assorbimento di un polarizzatore

3.5 Parallelepipedo di legno

Il parallelepipedo di legno, presente nella scheda fornita dalla Paravia, è stato sostituito non avendo trovato quello originale. Permette di svolgere esperienze di laboratorio legate all'assorbimento dei materiali, alla diffrazione e all'interferenza delle microonde.

3.6 Treppiedi di sostegno

Utilizzati per sostenere le due antenne tronco piramidali sono parte integrante del complesso.



Figura 9

3.7 Diaframma anulare portalente



Figura 10

Il diaframma anulare serve unicamente come sostegno alla lente convergente. Il pezzo non è originale, ma è stato sostituito con un suo alterego contemporaneo della Phywe.

3.8 Lente convergente



Figura 11

La lente convergente, anch'essa sostituita con un elemento prodotto dalla Phywe, con fuoco f = 15 cm va utilizzata insieme al diaframma anulare portalente per esperienze di laboratorio legate all'interazioni tra onde e lenti, come:

- Onde hertziane attraverso una lente concava.
- Onde hertziane attraverso una lente convessa.
- Diffrazione di onde hertziane attraverso un diaframma anulare portalente (con lente annessa).

3.9 Diaframma circolare



Figura 12

Il diaframma circolare serve per esperienze di laboratorio come la diffrazione di un'onda per mezzo di un diaframma circolare.

3.10 Tavolino porta-prisma, prisma triangolare retto, schermo metallico rettangolare



Figura 13

Il prisma triangolare retto e il suo relativo tavolino porta prisma servono per esperienze di laboratorio legate alla diffrazione delle onde e alla loro deviazione, nel momento in cui attraversano il prisma. Lo schermo metallico rettangolare invece serve per le medesime esperienze relative al diaframma metallico.

3.11 Basette di supporto metalliche (non originali)



Figura 14

4 Dati scientifici

4.1 Inventore

Assente

4.2 Costruttore, azienda distributrice

L'azienda costruttrice è la Paravia, fondata nel 1802 a Torino (oggi appartenente al gruppo Pearson PLC).

4.3 Periodo di costruzione

Il complesso è stato costruito in una data compresa tra il 1970 (anno di uscita nel catalogo Paravia) e il 1972 (anno in cui è stato acquistato dalla scuola).

4.4 Dimensioni, misure (in centimetri)

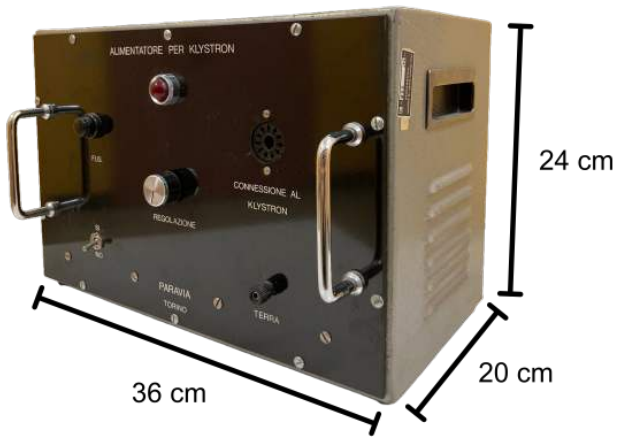


Figura 15: Alimentatore per Klystron

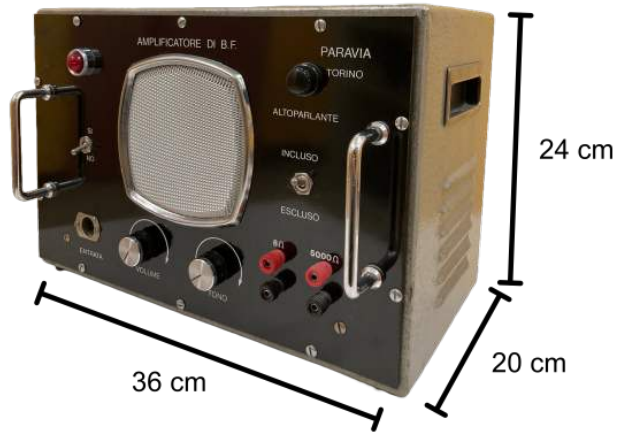
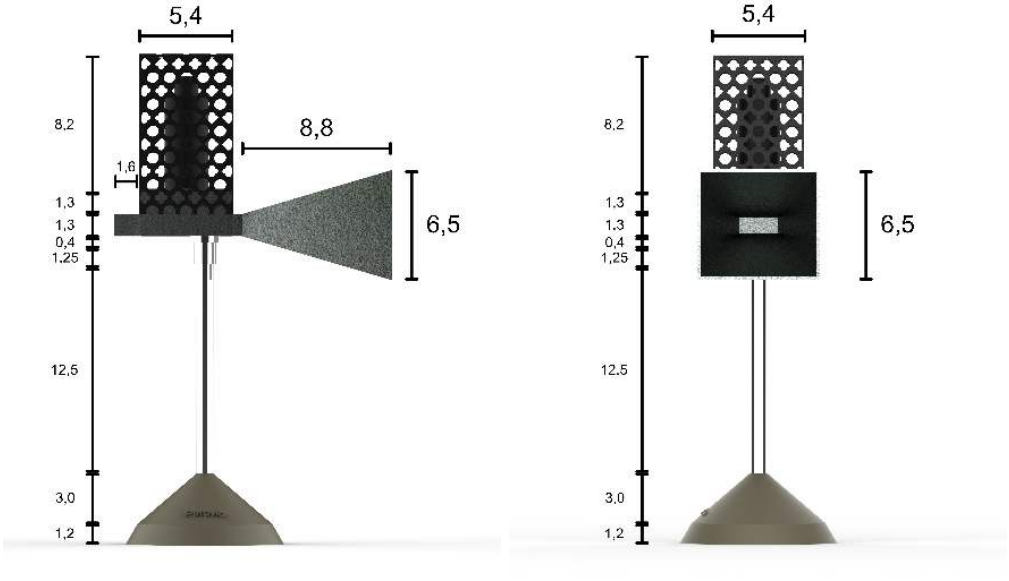
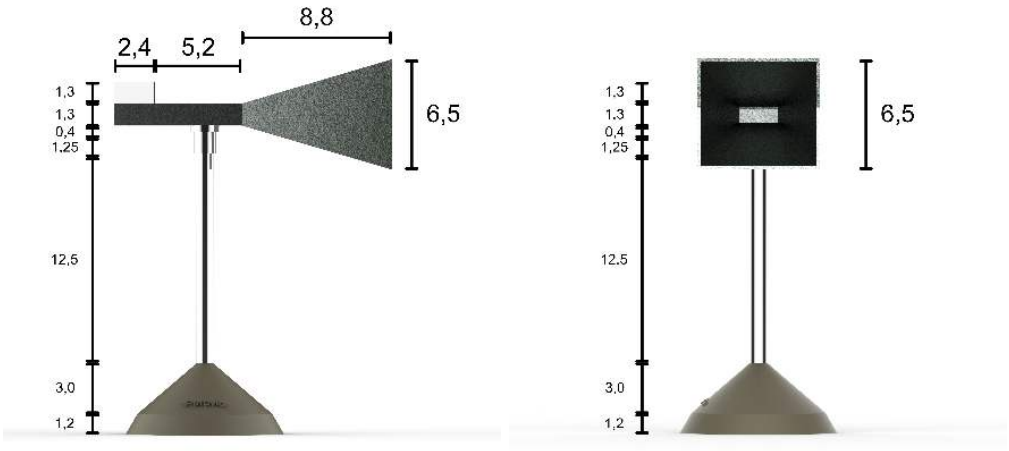


Figura 16: Amplificatore di basse frequenze (B.F.)



(a) Vista laterale (b) Vista frontale

Figura 17: Antenna tronco piramidale trasmittente



(a) Vista laterale (b) Vista frontale

Figura 18: Antenna tronco piramidale ricettrice



Figura 19: Antenne troncopiramidali

4.5 Materiali

Il complesso ha una base in acciaio ed alluminio con elementi di gomma/plastica, come il rivestimento dei cavi e i vari pulsanti e bottoni, mentre il manico della micro-sonda è in legno e vi sono inoltre elementi in germanio all'interno dei ricevitori (micro-sonda e micro-ricevitore) ed elementi in rame o altri materiali conduttori che compongono i circuiti dei macchinari.

4.6 Scheda tecnica del costruttore/rivenditore

Il complesso è presente nel catalogo FISICA E COLLEZIONI DI CHIMICA, Paravia 1970. Si può trovare il gruppo a pagina 83 con il nome di Microradar e codice 51397.

5 Dati storici

5.1 Data di entrata o di acquisto

Il complesso è stato acquistato dalla scuola nel 1972.

5.2 Vecchi numeri d'inventario

Il complesso si presentava nei registri del Liceo ginnasio statale Pordenone 1970 con il numero di inventario 797.

5.3 Valore di acquisto

Il complesso è stato acquistato per un valore di 350.000 lire, pari al valore di circa 2500€ odierni (Febbraio 2024) e rivalutato poi ad un valore di 630.000 lire nel 1980.

5.4 Numero di inventario attuale (inventario Liceo Leopardi-Maorana 2024)

Assente

6 Dati relativi al restauro

6.1 Stato di conservazione

Lo stato di conservazione è ottimo, sono presenti solo alcune ammaccature e qualche usura dei materiali da cui è composto, ma il complesso funziona alla perfezione.

6.2 Interventi di restauro, sostituzioni

Il complesso presentandosi in ottime condizione non ha subito molti interventi di restauro. Alcune parti sono state sostituite, con elementi del medesimo periodo, con elementi nuovi o con elementi analoghi, ma prodotti dalla Phywe, principale produttrice di attrezzatura di laboratorio insieme alla Paravia, ma per quanto riguarda i quattro elementi principali (in riferimento alla figura 1) si son conservati i pezzi originali. La lente convergente ed il suo relativo porta-lente risultavano mancanti e sono stati sostituiti con accessori prodotti dalla Phywe, inoltre per il funzionamento del amplificatore di basse frequenze è stato necessario aggiungere un complesso di resistenze a decadi

in cassetta, con valori combinabili, mediante quattro manopole, fra 1 e 10999 Ω e di dimensioni mm. 384x125x129. La resistenza, settata a 5000 Ω, permette di mantenere stabile il complesso e soprattutto di non far surriscaldare il Klystron, che senza in pochi minuti iniziava a diminuire le prestazioni. È presente una resistenza simile nel medesimo catalogo Paravia del complesso Microradar a pagina 69 con il codice 51115, ma questa possiede 5 manopole anziché quattro.



Figura 20: Resistenza a decadi

6.3 Schede storiche di esperimenti

La Paravia all'epoca forniva una fascicolo con alcuni esperimenti effettuabili chiamato "Apparecchiatura Microradar per le esperienze sulle microonde"

6.4 Osservazioni. Utilizzo per la didattica

Il complesso viene utilizzato per compiere esperimenti sulle microonde e per verificare le loro proprietà principali. Inoltre il gruppo serve per spiegare il funzionamento dello strato di Heaviside nelle radio comunicazioni e per dimostrare il principio di funzionamento del Radar.

7 Dati relativi alla conservazione

7.1 Collocazione

Il complesso, con tutti i vari accessori, è collocato negli armadi del corridoio antecedente al laboratorio di chimica al secondo piano della sede del liceo Leopardi-Majorana in Piazza Maestri del Lavoro.

7.2 Armadio

Primo armadio uscendo dal laboratorio di chimica sulla destra.

7.3 Ripiano

Il ripiano è quello centrale.

7.4 Archivio fotografico/video

7.4.1 Foto allegate

Link Drive, accessibile solo a persone interne al sistema Google Leo-Major.

7.4.2 Esperienze possibili

- Onde hertziane attraverso corpi conduttori di elettricità.
- Onde hertziane attraverso corpi non conduttori di elettricità.
- Riflessione delle onde hertziane da parte di corpi conduttori.
- Riflessione delle onde hertziane da parte dei corpi non conduttori.
- Collegamenti per onda riflessa.
- Principio di funzionamento del Radar.
- Dispositivi anti-radar.
- Onde stazionarie e loro controllo.
- Rifrazione delle onde hertziane.
- Onde hertziane attraverso una lente.

- Onde hertziane attraverso un prisma.
- Diffrazione delle onde hertziane.
- Collegamento per mezzo della diffrazione.
- Diffrazione per mezzo di un diaframma circolare.
- Diffrazione per mezzo di un diaframma anulare.
- Onde hertziane attraverso fessure.
- Interferenza delle onde hertziane (secondo Loyd).
- Interferenza delle onde hertziane (secondo Fresnell).
- Interferenza nelle lamine sottile.
- Polarizzazione delle onde hertziane.
- Rotazione del piano di polarizzazione mediante reticoli metallici.
- Assorbimento da parte di reticoli metallici (orientati nella direzione di polarizzazione).
- Assorbimento da parte di reticoli metallici (orientati perpendicolarmente alla direzione di polarizzazione).

7.5 Bibliografia e sitografia

- Paravia, FISICA E COLLEZIONI DI CHIMICA, G.B PARAVIA & C. Torino (Italia) 1970. Link e in allegato il file del catalogo originale presente a scuola.
- Paravia, APPARECCHIATURA MICRORADAR PER LE ESPERIENZE SULLE MICROONDE, G.B PARAVIA & C. Torino (Italia) 1970. Link e in allegato il file del fascicolo esperienze originale presente a scuola.
- Diodo al germanio.
- Klystron catalogo Philips, scheda tecnica.
- Liceo tecnico Montani: Complesso analogo al Microradar, antenna tronco piramidale trasmittente, Klystron Reflex 723 A/B Valvo.

- Radiomuseum.org: Mikrowellen-Apparatur.
- Libro di fisica: WALKER - VOLUME 2 (IL) (9788891916952) e WALKER - VOLUME 3 (IL) (9788891916969).
- Figura 1: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 2: immagine presa dal catalogo Paravia 1970 e immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 3: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 4: (a) presa dal catalogo Paravia 1970, (b) immagine presa dal fascicolo illustrativo Paravia delle esperienze di laboratorio e (c) immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14: immagini scattate da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 15 e Figura 16: immagini scattate da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi, con illustrazioni di Alessandro Bigi.
- Figura 17 e Figura 18: ricostruzioni 3D illustrate realizzate da Alessandro Bigi.
- Figura 19 e Figura 20: immagini scattate da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.

Messa a punto del complesso Microradar

Alessandro Bigi, Ermal Kokollari & Giovanni De Zan

2024 - Liceo Leopardi Majorana



(a) Amplificatore di basse frequenze



(b) Antenne tronco - piramidali



(c) Alimentatore per Klystron



(d) Sonda ricevente

Figura 1: Principali componenti del complesso *Microradar*

1 Introduzione

Il complesso Microradar (figura 1) è un insieme di attrezzature risalente agli anni '70; considerata all'epoca all'avanguardia, può essere ancora sfruttata al giorno d'oggi per diverse esperienze sulle microonde, che garantiscono una valida alternativa agli esperimenti canonici sulla propagazione della luce, in quanto possono essere svolti con oggetti a "*grandezza naturale*" grazie alla *dimensione* delle microonde: la loro lunghezza d'onda varia infatti tra 1 millimetro e 10 centimetri. Il complesso, che si presenta costituito da 4 componenti principali e molti accessori, si basa sul funzionamento del Klystron reflex, che è di fatto il componente protagonista della generazione delle microonde.

2 Impostazione del complesso

Prima di svolgere le diverse esperienze è necessario impostare nel corretto modo il sistema. Cominciare ponendo a circa un metro di distanza l'amplificatore di basse frequenze (MR/A) e l'alimentatore per Klystron (MR/M) e sopra di essi porre le rispettive antenne tronco-piramidali, collegare l'antenna trasmittente (figura 2 (b)) all'alimentatore per Klystron e l'antenna ricevente (figura 2 (a)) all'amplificatore di basse frequenze. Prima di accendere il sistema collegare la resistenza a decadi al MR/A negli appositi fori per i 5000 Ω ed impostarla alla stessa misura. Impostare la regolazione nel MR/M al massimo ed attendere qualche minuto fino alla ricezione del suono. Fare attenzione al tipo del suono, infatti, poichè le frequenze sono molto basse, si rischia di confondere il rumore di fondo con il suono che indica la ricezione: prestare perciò ascolto al suono che sembra quasi graffiante. Per famigliarizzare con lo strumento si consiglia di spostare le antenne in modo tale da capire quale sia il vero segnale amplificato dal MR/A



(a) (b)

Figura 2: Antenne tronco piramidali rice-trasmittenti

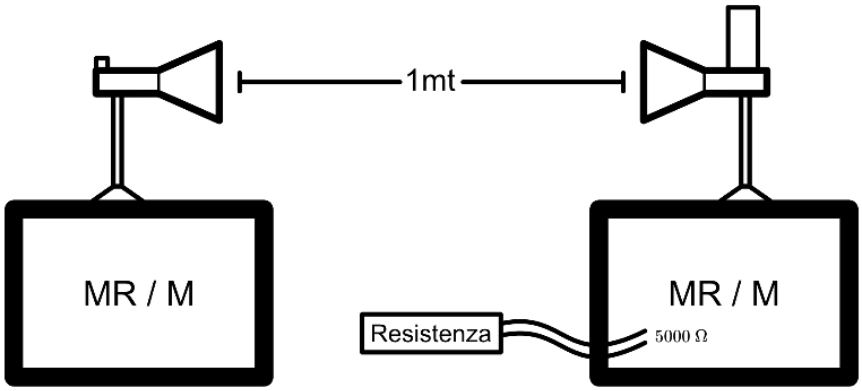


Figura 3: Messa a punto inziale

3 Considerazioni teoriche

3.1 Onde elettromagnetiche e microonde

Le onde elettromagnetiche sono perturbazioni periodiche dei campi elettrici e magnetici che si propagano nello spazio e nel tempo. Le microonde sono un tipo di queste onde

che hanno una frequenza (ν) compresa tra i 300 MHz e 300 GHz, perciò tra $3 \cdot 10^8$ Hz e $3 \cdot 10^11$ Hz. Inoltre, poichè tutte le onde elettromagnetiche si propagano alla velocità della luce ($3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$), attraverso la legge:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \tag{1}$$

si è in grado di calcolare la loro lungezza d'onda (λ), che varia tra un metro e un millimetro. La frequenza del complesso varia invece tra $8,702 \cdot 10^9$ Hz e $9,548 \cdot 10^9$ Hz, perciò la sua lunghezza d'onda (λ) varia tra 3,14 cm e 3,44 cm. Le microonde sono ampiamente utilizzate in una varietà di applicazioni tecnologiche, tra cui le comunicazioni, la navigazione, il riscaldamento e la cottura degli alimenti, la medicina e la ricerca scientifica. Le microonde possiedono alcune proprietà che le rendono perfette per gli esperimenti di laboratorio. Innanzitutto avendo una lunghezza d'onda particolarmente lunga sono in grado di dimostrare fenomeni fisici in un ottica macroscopica, come accennato nel paragrafo Introduzione ed inoltre avendo una frequenza relativamente bassa sono meno nocive di altre onde che con sé portano più energia come i raggi X.

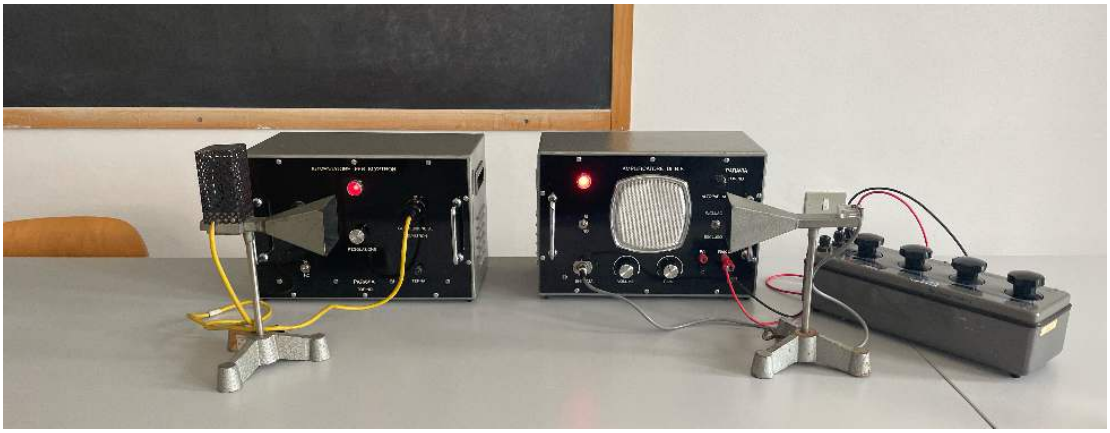


Figura 4: Messa a punto base

4 Bibliografia

- Paravia, APPARECCHIATURA MICRORADAR PER LE ESPERIENZE SULLE MICROONDE, G.B PARAVIA & C. Torino (Italia) 1970. Link.
- Libro di fisica: WALKER - VOLUME 2 (IL) (9788891916952) e WALKER - VOLUME 3 (IL) (9788891916969).
- Figura 1: immagini scattate da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 2: ricostruzioni 3D realizzata da Alessandro Bigi.
- Figura 3: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi.
- Figura 4: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.

Polarizzazione delle onde

Alessandro Bigi, Ermal Kokollari & Giovanni De Zan

2024 - Liceo Leopardi Majorana

1 Caratteristiche del complesso

Il complesso Microradar è costituito da un generatore e da un ricevitore di microonde, ma queste non sono semplici microonde. Esso, infatti, genera onde già polarizzate. Tale informazione non è stata ricavata dai cataloghi originali, bensì dalle prove sperimentali svolte in laboratorio a scuola.

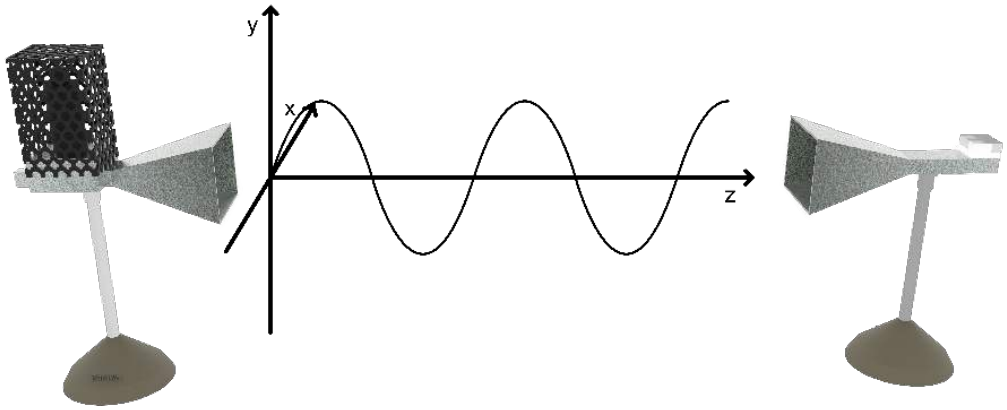


Figura 1: Onde polarizzate

2 Materiali

- Apparecchiatura Microonde (complesso Microradar)
  - Micro-emettitore (MR/T)
  - Alimentatore per Klystron (MR/M)
  - Micro-ricevitore (MR/R)
  - Amplificatore di basse frequenze (MR/A)
- Filtro Polarizzatore



3 Considerazioni teoriche

3.1 Onde polarizzate

Le onde elettromagnetiche sono caratterizzate da una componente elettrica e una magnetica, oscillanti in direzioni perpendicolari tra loro e perpendicolari alla direzione di propagazione dell'onda. Quando il campo elettrico e quello magnetico oscillano sempre lungo le stesse direzioni, l'onda si dice polarizzata linearmente. Esistono però altri tipi di polarizzazione, come quella circolare o ellittica. Per convenzione la direzione di polarizzazione di un onda coincide con quella in cui oscilla la componente elettrica dell'onda. Le polarizzazioni sono quindi di tre tipi:

- Polarizzazione lineare: quando la componente elettrica dell'onda oscilla in una sola direzione.
- Polarizzazione circolare: quando la componente elettrica dell'onda oscilla in senso orario o antiorario.
- Polarizzazione ellittica: quando la componente elettrica descrive un'ellisse durante l'oscillazione.

Questi tre tipi di polarizzazione si suddividono a loro volta in altre sottocategorie. La polarizzazione lineare può essere orizzontale, verticale o inclinata rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. La polarizzazione circolare invece può essere destrorsa o sinistrorsa. Ed infine la polarizzazione ellittica può essere di vario tipo, a seconda della forma dell'ellisse descritta dalla componente elettrica, ma in generale anch'essa viene suddivisa in destrorsa e sinistrorsa.

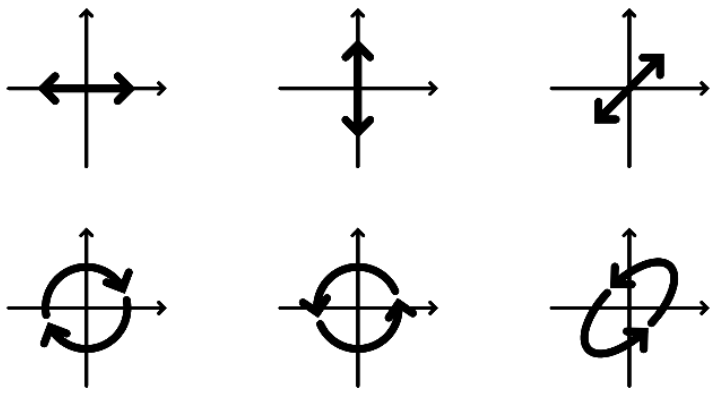


Figura 2: Tipi di polarizzazione

3.1.1 Influenza sulla propagazione delle onde

Le onde polarizzate interagiscono in modi diversi con i corpi e questo può influenzare la propagazione dell'onda stessa. Per esempio, quando un'onda polarizzata di tipo lineare interagisce con una superficie riflettente, questa può alterare la direzione della polarizzazione. Inoltre, la polarizzazione può influenzare l'assorbimento e la trasmissione

delle onde attraverso materiali diversi. E questo è la proprietà che verrà utilizzata per dimostrare la polarizzazione delle onde generate dal Microradar.

3.1.2 Come si polarizza un'onda

Se una normale onda attraversa un cosiddetto *filtro polarizzatore*, questa diventa polarizzata. Questo filtro è essenzialmente un materiale costituito da sottili catene parallele, attraverso le quali gli elettroni possono muoversi liberamente. La dimensione delle catene dipende dalla lunghezza d'onda dell'onda: nel caso specifico della luce, che ha λ compresa tra i 400 e 700 nanometri, queste catene sono formate da molecole, mentre per le microonde, data la loro lunghezza d'onda significativamente più lunga rispetto a quella della luce, sono composte da cilindri. Quando un'onda non polarizzata attraversa il filtro polarizzatore, la componente del campo elettrico parallela alle catene del polarizzatore stimola il movimento degli elettroni e, di conseguenza, viene assorbita. Al contrario, la componente normale al polarizzatore riesce ad oltrepassarlo con intensità indebolita.

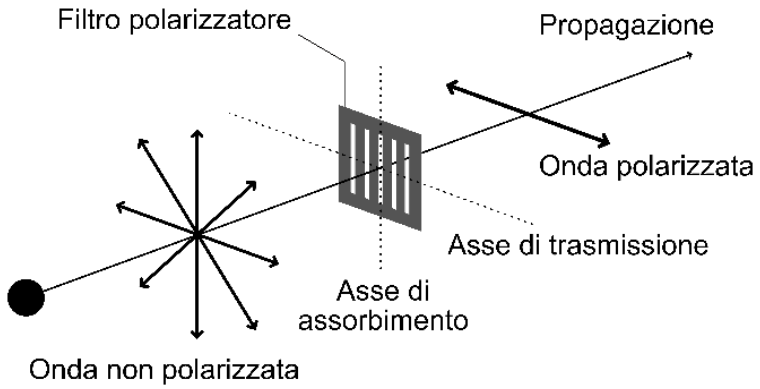


Figura 3: Polarizzazione delle onde

- Onda non polarizzata: il campo elettrico delle microonde non polarizzate vibra in tutte le direzioni.
- Onda polarizzata: il campo elettrico vibra vibra in direzione parallela all'asse di trasmissione del filtro polarizzatore.

3.1.3 Onde polarizzate e filtri polarizzatori

Dato che un filtro polarizzatore lascia passare indisturbate solo le componenti dell'onda a lui ortogonali, se il campo elettrico di un onda già polarizzata vibra in direzione parallela all'asse di trasmissione, questa non viene interrotta, mentre se il campo magnetico vibra in direzione parallela all'asse di assorbimento la totalità dell'onda viene assorbita e completamente interrotta.

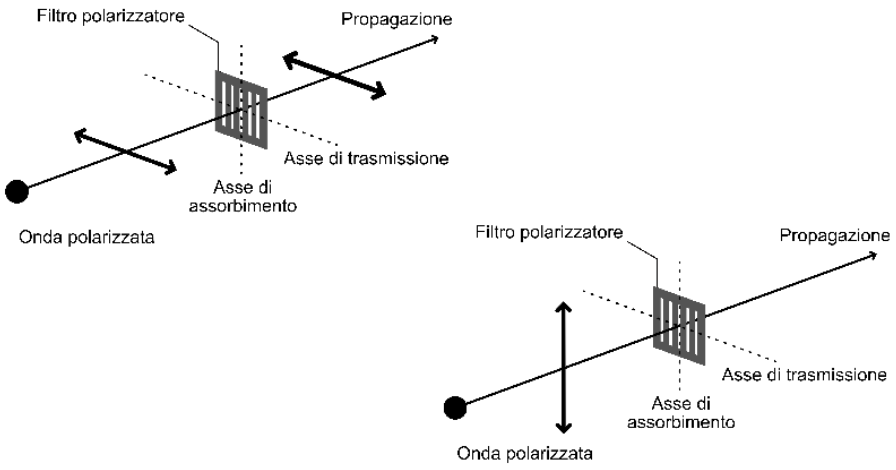


Figura 4: Comportamento delle onde polarizzate

4 Prima dimostrazione

Per dimostrare che il complesso generi onde polarizzate, e poi successivamente polarizzate verticalmente (riferimento alla figura 2) bisogna sfruttare le loro peculiarità e i loro modi di interagire con i filtri polarizzatori (riferimento al paragrafo Onde polarizzate). Poichè entrambe le antenne sono predisposte per emettere e ricevere onde polarizzate, posizionando queste perpendicolarmente tra di loro, il segnale non dovrebbe essere percepito.

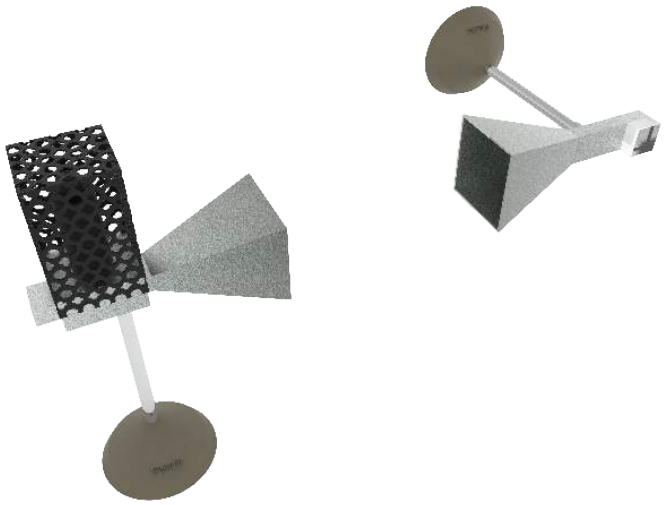


Figura 5: Disposizione antenne

L'ipotesi teorica risulta verificata dato che il segnale non viene ricevuto dall'antenna ricevente e di conseguenza nemmeno amplificato dall'amplificatore di basse frequenze. Perciò le onde emesse si possono considerare già polarizzate.

5 Seconda dimostrazione

Successivamente per capire di che polarizzazione si tratti è necessario far uso di un diaframma reticolare, come corpo polarizzatore. In modo tale che ruotandolo si possa determinare il piano in cui giace il campo elettrico delle onde. Ruotandolo si nota infatti che, quando il reticolo viene disposto orizzontalmente, il segnale viene ricevuto, mentre, quando il reticolo viene disposto verticalmente, il segnale risulta assente. Perciò la polarizzazione delle onde è orientata verticalmente, ovvero il suo campo elettrico giace perpendicolare al suolo, mentre il suo campo magnetico vi è parallelo.



Figura 6: Polarizzatore verticale: segnale interrotto

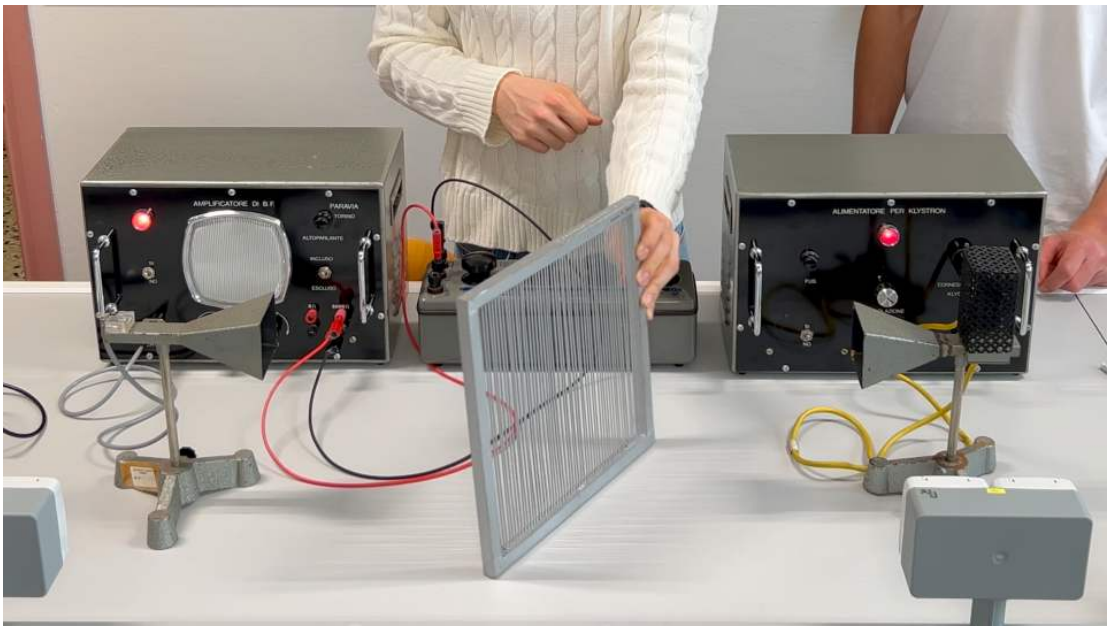


Figura 7: Polarizzazione verticale in laboratorio: segnale interrotto

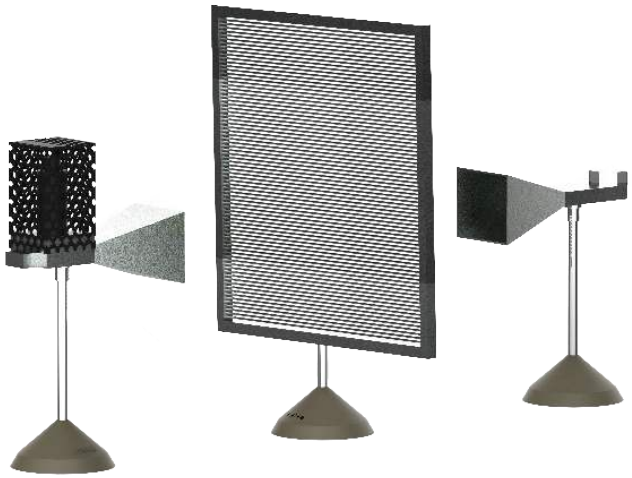


Figura 8: Polarizzatore orizzontale: segnale trasmesso

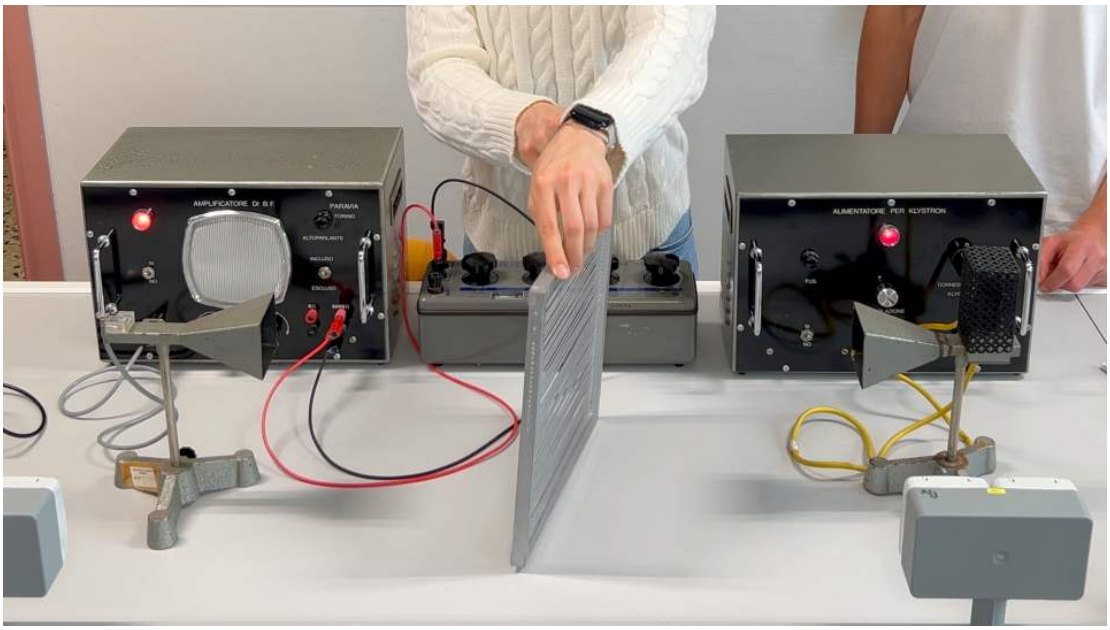


Figura 9: Polarizzatore orizzontale in laboratorio: segnale trasmesso

6 Bibliografia

- Paravia, APPARECCHIATURA MICRORADAR PER LE ESPERIENZE SULLE MICROONDE, G.B PARAVIA & C. Torino (Italia) 1970. Link.
- Libro di fisica: WALKER - VOLUME 2 (IL) (9788891916952) e WALKER - VOLUME 3 (IL) (9788891916969).
- Figura 1: ricostruzione 3D realizzata da Alessandro Bigi.
- Figura 2: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi.
- Figura 3 e Figura 4: disegni illustrativi realizzati da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo della Zanichelli sulle onde polarizzate. Link.
- Figura 5 e Figura 6: ricostruzioni 3D realizzate da Alessandro Bigi.
- Figura 7: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 8: ricostruzione 3D realizzata da Alessandro Bigi.
- Figura 9: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.

Assorbimento delle microonde

Alessandro Bigi, Ermal Kokollari & Giovanni De Zan

2024 - Liceo Leopardi Majorana

1 Scopo dell'esperienza

Come le onde luminose anche le microonde sono onde elettromagnetiche e si comportano quindi in modo analogo. Come si può verificare con vari esperimenti di ottica, esistono corpi che quando vengono colpiti da onde luminose non le lasciano passare, ma le assorbono o le riflettono; inoltre esistono corpi che permettono alle onde luminose di trapassarli completamente o parzialmente, fenomeno chiamato trasmissione. Quindi, quando un'onda elettromagnetica interagisce con un corpo, si possono verificare tre fenomeni: riflessione, trasmissione e assorbimento.

Con questa esperienza si osserva e si verifica il comportamento delle microonde, analizzando in particolare il fenomeno dell'assorbimento.

2 Considerazioni teoriche

2.1 L'assorbimento

L'assorbimento è il fenomeno fisico con il quale l'energia trasportata dall'onda elettromagnetica viene arrestata dal corpo con cui entra in contatto; l'energia assorbita viene trasformata in un'altra forma di energia, generalmente calore. L'assorbimento dipende da due principali fattori:

- La natura del materiale del corpo: la diversa natura del materiale influisce sulla capacità di assorbimento di quest'ultimo, rendendolo più assorbente o meno.
- Frequenza dell'onda: al variare della frequenza dell'onda il materiale riesce ad assorbire le onde in maggiore o minore misura.

Per questo motivo l'assorbimento di un materiale è spesso utilizzato per determinarne la natura.

2.2 Frequenza delle onde e il tipo di materiale

Come osservato inizialmente l'assorbimento dipende sia dal tipo di materiale, sia dalla frequenza delle onde. Per indicare la tipologia di materiale, si utilizza un coefficiente di assorbimento: più è alto il coefficiente e più è assorbente quel tipo di materiale. Oltre a ciò l'assorbimento è strettamente legato alla frequenza, infatti ad una certa frequenza f un materiale risulta trasparente, invece per differenti valori di f esso può risultare assorbente.

Un alto coefficiente di assorbimento viene associato ad un'alta riflettività: i materiali conduttori sono degli ottimi riflettori di onde elettromagnetiche, essi le assorbono e le riflettono a loro volta. Se si considerano invece i materiali isolanti, si può dire che essi hanno un coefficiente di assorbimento più basso e quindi sono caratterizzati da un processo di assorbimento molto basso, di conseguenza le onde elettromagnetiche riescono ad attraversare il corpo.

Prendendo in considerazione l'acqua, essa è una sostanza molto assorbente e la sua riga di assorbimento si trova a 2450 Mhz. Di conseguenza, se si emettono delle onde elettromagnetiche alla frequenza caratteristica dell'acqua, si verifica un totale assorbimento delle onde e dell'energia da esse trasportata che, in questo caso, si converte in calore. Tale fenomeno spiega il principio con cui vengono scaldati gli alimenti all'interno del forno a microonde: le molecole d'acqua contenute nei cibi si scaldano dopo l'assorbimento delle microonde e conseguentemente viene scaldato l'intero alimento.

2.3 Effetti a livello macroscopico e microscopico

Se si considerano delle onde elettromagnetiche come ad esempio le onde luminose, le quali si comportano in modo analogo alle microonde, nel momento in cui vengono assorbite dal materiale con cui entrano in contatto si osserva a livello macroscopico un indebolimento dell'intensità luminosa. Per attuare la stessa osservazione anche con le microonde invisibili ad occhio nudo, si può utilizzare il complesso microradar, che mette in evidenza l'abassamento dell'intensita della radiazione tramite l'indebolimento dell'intensità sonora prodotta.

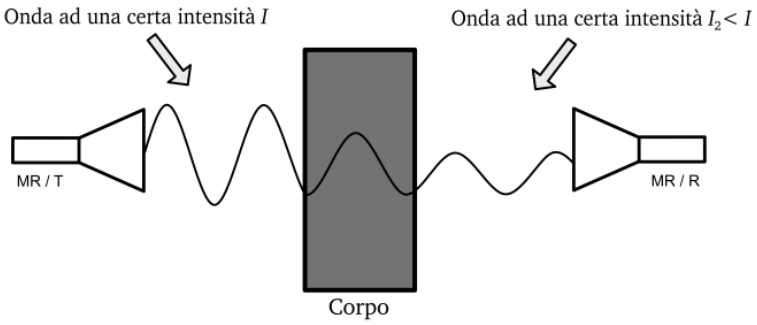


Figura 1: Processo di assorbimento

Analizzando il processo a livello microscopico si nota che gli atomi dei diversi materiali si comportano in maniera diversa in base al tipo di materiale, infatti essi assorbono l'energia trasportata dalle onde in base alle proprie caratteristiche. In generale le particelle assorbono l'energia trasportata dalle onde convertendola in un'altra forma di energia, la più comune è il calore.

2.4 La legge di Lambert Beer

La legge di Lambert definisce la variazione di intensità di un onda che entra in contatto con un mezzo di spessore x. Tale legge afferma che l'intensità dell'onda trasmessa da un corpo in funzione dello spessore x attraversato diminuisce esponenzialmente. Oltre allo spessore, la variazione di intensià dipende dall'intensità della radiazione incidente e dal coefficiente di assorbimento del corpo, o coefficiente di attenuazione lineare, dipendendente sia dal tipo di materiale sia dalla frequenza dell'onda. L'andamento dell'intensità trasmessa dal mezzo I si può calcolare attraverso la seguente relazione:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{1}$$

Dove I_0 rappresenta l'intensità della radiazione incidente, μ il coeficiente di assorbimento e x lo spessore del mezzo attraversato dall'onda.

In tale relazione è espressa l'assorbanza, cioè l'intensità della radiazione assorbita dal corpo:

$$A = \mu x \tag{2}$$

pertanto, dalla legge di Lambert si può determinare il valore dell'assorbanza:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \longrightarrow I = I_0 e^{-A} \longrightarrow A = -log_e \frac{I}{I_0} \tag{3}$$

In questo modo è possibile calcolare l'intensità della radiazione assorbita.

3 Materiale occorrente

- Apparecchiatura microonde
  - Micro-emettitore (MR/T)
  - Alimentatore per Klystron (MR/M)
  - Micro-ricevitore (MR/R)
  - Amplificatore di basse frequenze (MR/A)
- Colonna metallica di supporto (BS)
- Treppiede di sostegno (TP)
- Schermo metallico (DM)
- Diaframma di plexiglass (DP)
- Diagramma di faesite (DF)
- Lastra di vetro (DV)
- Acqua
- Specchio

4 Procedura

1. Si prepari l'apparecchiatura Microradar seguendo le indicazioni della scheda "*messa a punto del complesso*".
2. Una volta posizionati i due apparecchi (MR/M e MR/A) a circa un metro di distanza l'uno dall'altro e poste le antenne alla stessa altezza ed affacciate, si

accenda il complesso e si attenda circa un minuto fino alla ricezione del segnale emessa acusticamente dall'amplificatore di basse frequenze.

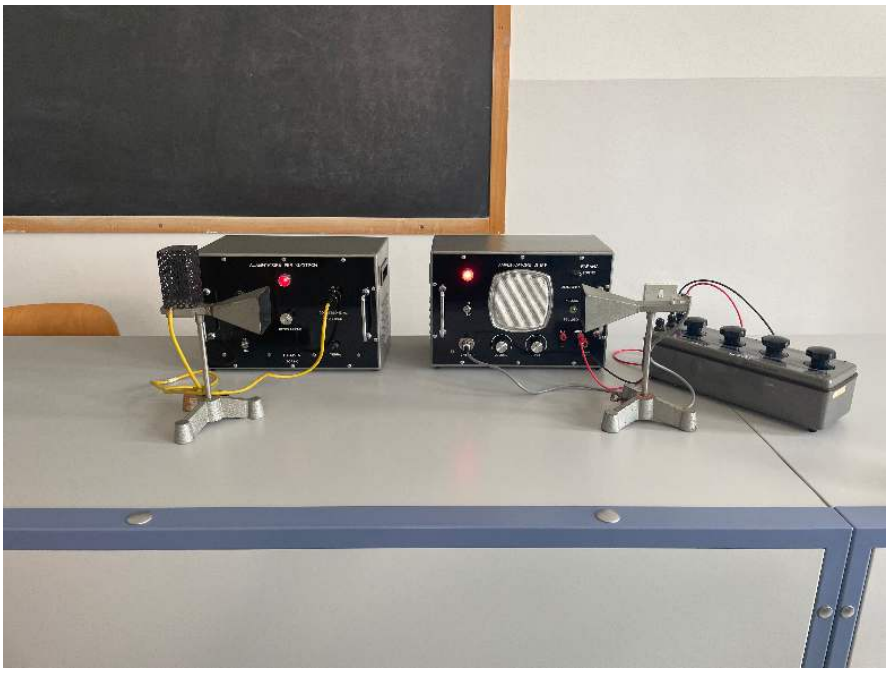


Figura 2: Disposizione base del complesso

3. Si predispongano il diaframma di faesite (DF), diaframma di plexiglass (DP) e la lastra di vetro (DV) per il primo esperimento e si osservi come il segnale risulti indebolito, ma non interrotto.

4. Ascoltando attentamente il segnale acustico trasmesso dall'amplificatore si può notare che nel primo caso (diaframma di faesite) il segnale risulta più debole rispetto al secondo caso (diaframma di plexiglass), inoltre nel terzo caso (lastra di vetro) il segnale risulta altamente indebolito. Si può concludere che il vetro possiede un coefficiente di assorbimento maggiore rispetto alla faesite, che a sua volta ha un coefficiente di assorbimento più alto rispetto al plexiglass.

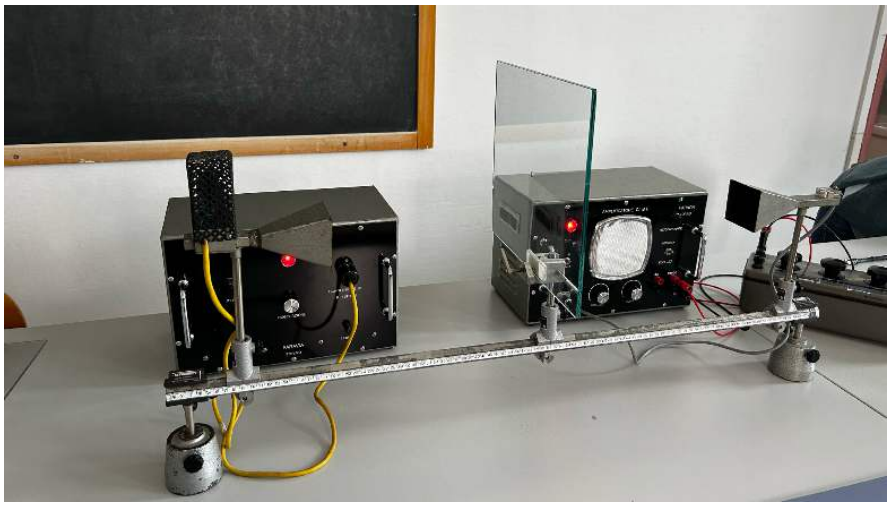


Figura 3: Prova di laboratorio con la lastra di vetro

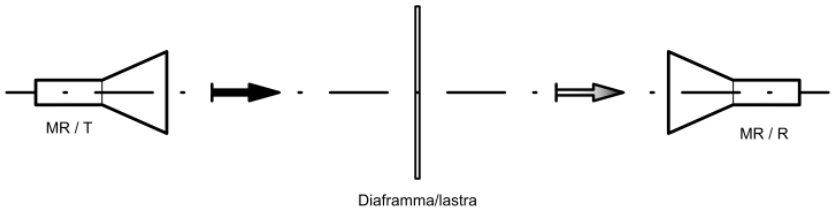


Figura 4: Prova di laboratorio con i diaframmi e la lastra di vetro

5. Interponendo dell'acqua tra l'emettitore ed il ricevitore si osservi il comportamento delle microonde. Si può notare che il segnale risulta fortemente indebolito o quasi assente. Infatti l'acqua dispone di grandi capacità assorbenti, nonostante le microonde non possiedano la frequenza adatta per il totale assorbimento.

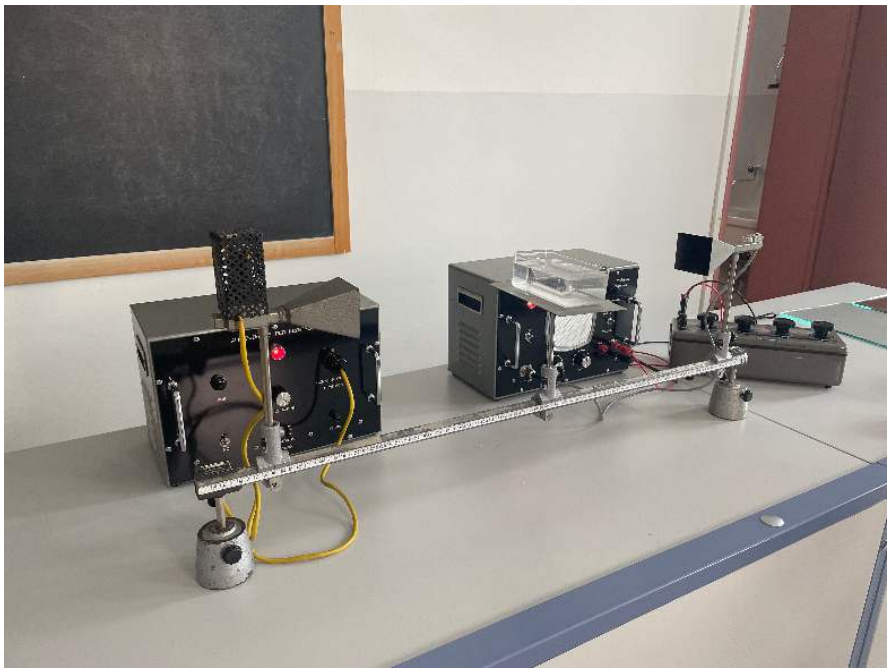


Figura 5: Prova di laboratorio con l'acqua

6. Ora si predisponga lo schermo metallico (DM) nella medesima posizione dei diaframmi e si osservi come il segnale risulti interrotto. Un fenomeno analogo si può osservare se si sostituisce lo schermo metallico con uno specchio.

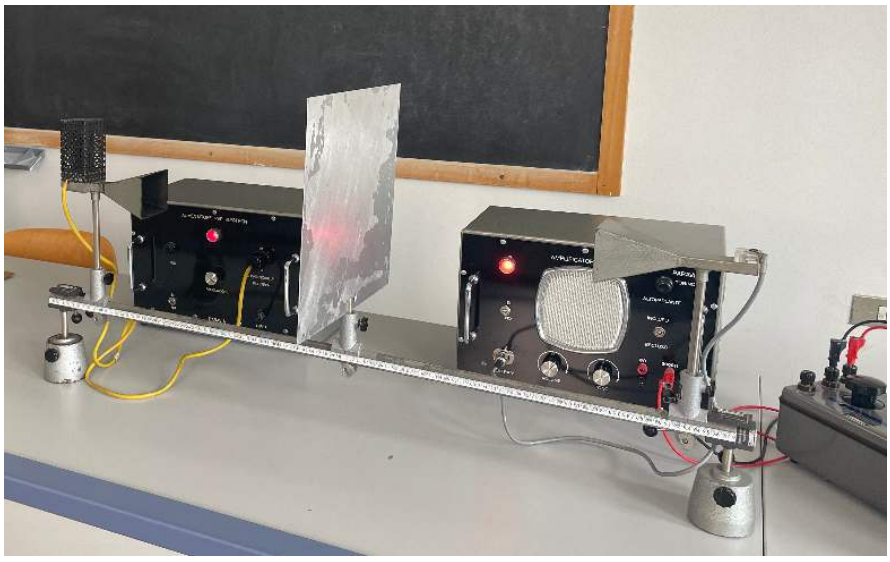


Figura 6: Prova di laboratorio con lo schermo metallico

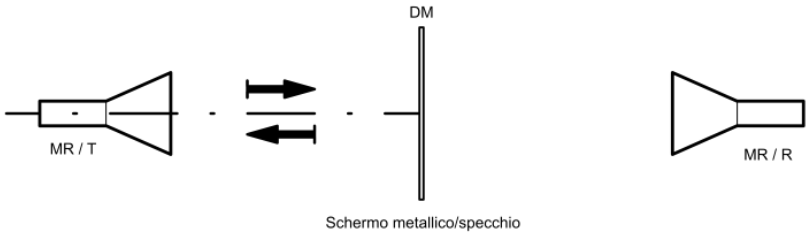


Figura 7: Prova di laboratorio con lo schermo metallico e con lo specchio

7. La stessa prova di laboratorio può essere estesa ad una grande varietà di materiali determinando le proprietà assorbenti di questi.

5 Conclusioni

Attraverso questa esperienza è stato possibile analizzare il fenomeno dell'assorbimento delle microonde da parte di corpi costituiti da materiali di diversa natura. Ascoltando attentamente il segnale acustico emesso durante le varie prove, è possibile definire quale tra i materiali utilizzati abbia maggiori proprietà assorbenti e quali tra questi sia riflettente. Dalla prima prova di laboratorio durante la quale sono stati utilizzati il Diaframma di faesite (DF), Diaframma di plexiglass (DP) e la lastra di vetro (DV), è possibile concludere che il vetro possiede un coefficiente di assorbimento più alto rispetto al diaframma di faesite, che però presenta maggiori proprietà assorbenti rispetto al diaframma di plexiglass. In generale tutti questi tre materiali trasmettono le microonde. Un fenomeno analogo è stato ottenuto interponendo tra le due antenne l'acqua, che è riuscita ad assorbire una considerevole quantità di intensità delle microonde, nonostante queste ultime non possiedano la frequenza adatta al totale assorbimento (2450 Mhz). Diversamente avviene se si sostituisce l'acqua con uno schermo metallico o uno specchio, che grazie alle loro grandi proprietà riflettenti non trasmettono le microonde ma le fanno rimbalzare costringendole a tornare indietro, di conseguenza non si potrà sentire il segnale acustico.

6 Bibliografia

- Paravia, APPARECCHIATURA MICRORADAR PER LE ESPERIENZE SULLE MICROONDE, G.B PARAVIA & C. Torino (Italia) 1970. Link.
- Libro di fisica: WALKER - VOLUME 2 (IL) (9788891916952) e WALKER - VOLUME 3 (IL) (9788891916969).
- Figura 1: disegno illustrativo realizzato da Ermal Kokollari.
- Figura 2: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 3: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 4: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo delle esperienze di laboratorio Paravia. Link.
- Figura 5: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 6: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 7: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo delle esperienze di laboratorio Paravia. Link.

Riflessione delle Microonde
Proprietà delle onde Hertziane al variare dei materiali

Alessandro Bigi, Ermal Kokollari & Giovanni De Zan

2024 - Liceo Leopardi Majorana

Le microonde, come un qualsiasi altro tipo di onda elettromagnetica, nel momento in cui interagiscono con un materiale danno vita a 5 fenomeni principali: riflessione, rifrazione, diffrazione, interferenza e assorbimento. In questa scheda si affrontano e dimostrano le proprietà riflettenti di materiali diversi in relazione alle **microonde**, grazie al complesso ***Microradar***.

1 Considerazioni teoriche

La riflessione è il fenomeno per cui un'onda quando interagisce con un ostacolo non lo oltrepassa, ma la sua traiettoria viene deviata rispetto la direzione originale. Questa deviazione non è casuale, l'onda infatti viene riflessa di un angolo θ_2 uguale all'angolo di incidenza θ_1.

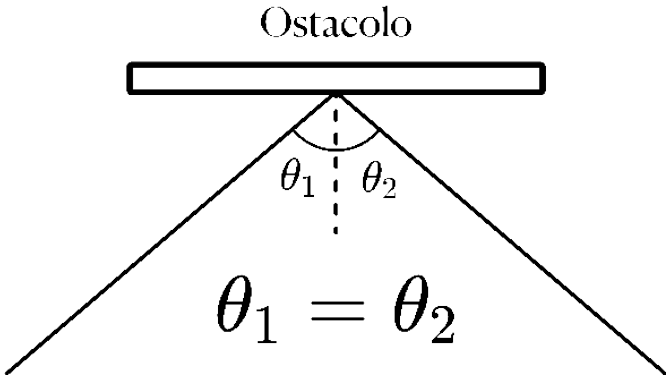


Figura 1: Angolo di incidenza θ_1 e angolo di riflessione θ_2

Non tutti i materiali però si comportano in maniera univoca come ostacoli. La riflessione dipende infatti dal *coefficiente di riflessione*, meglio definito dalle leggi di Fresnel, che cambia al variare del materiale dell'ostacolo. Il coefficiente di riflessione R (o riflettività spettrale) viene definito come il rapporto tra l'intensità della radiazione riflessa e quella della radiazione incidente, rispettivamente I_r e I_i, ed ha sempre un valore compreso tra 0 e 1, dove gli estremi rappresentato la massima trasparenza e la massima opacità.

$$R = \frac{I_r}{I_i} \tag{1}$$

La radiazione riflessa inoltre è strettamente legata a quella assorbita dall'ostacolo, calcolabile attraverso la legge di Lambert:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \tag{2}$$

Dove I_o rappresenta la radiazione incidente, μ rappresenta il coefficiente di assorbimento, o coefficiente di attenuazione lineare (dipendente sia dal materiale sia dalla frequenza dell'onda), ed x rappresenta lo spessore dell'ostacolo. In questo modo è possibile dunque calcolare l'intensità della radiazione riflessa, conoscendo le caratteristiche dell'ostacolo. In generale ad un'alta riflettività è associato un alto assorbimento e viceversa.

1.1 Ostacoli e microonde

Le microonde, ovvero quella parte delle onde Hertziane (o elettromagnetiche) che hanno frequenza compresa tra i 300 MHz e 300 GHz, tendono ad essere riflesse dai materiali conduttori e trasmesse da quelli non conduttori.

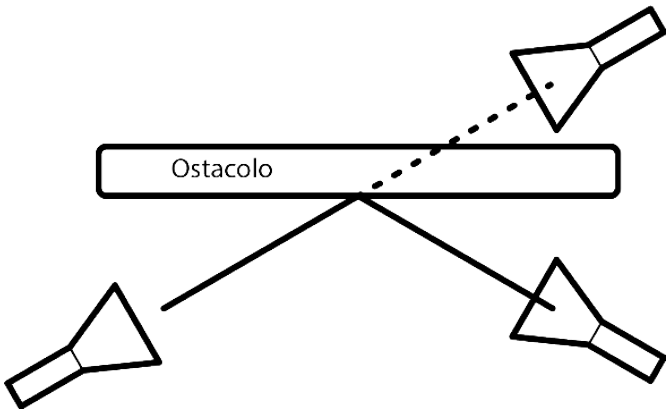


Figura 2: Comportamento di un'onda

Al variare di queste caratteristiche si verificano uno dei due casi seguenti:

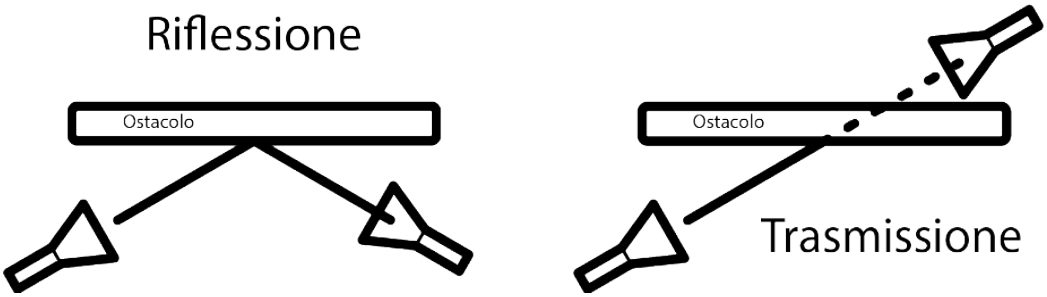


Figura 3: Riflessione o trasmissione

Inoltre la riflessione può essere totale, come nel caso della figura 3, oppure parziale, come nel caso della figura 4, in cui il coefficiente di riflessione è un numero compreso tra 0 e 1 estremi esclusi.

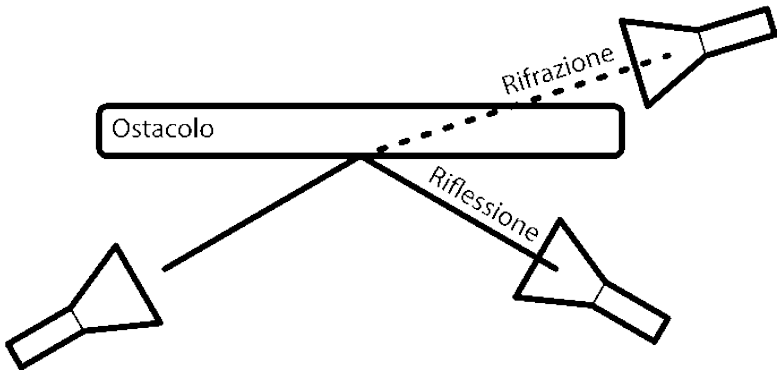


Figura 4: Materiale con $0 < R < 1$

In generale i materiali che riflettono meglio le microonde sono i metalli. Gli schermi metallici infatti, essendo materiali conduttori, sono un ottimi riflettenti, poichè hanno cariche elettriche libere che possono interagire con il campo elettromagnetico delle microonde. Quando le microonde colpiscono un materiale metallico, le cariche elettriche libere nel metallo si muovono in risposta al campo elettromagnetico, assorbendo parte dell'energia delle microonde e riflettendo la maggior parte di esse. Materiali come acciaio, ghisa, alluminio, rame e specchi sono ottimi riflettori. Invece i materiali che tendono ad essere opachi alle microonde sono i non metalli. Questo accade perchè i materiali non metallici hanno poche cariche elettriche libere e non sono buoni conduttori di elettricità. Perciò quando le microonde colpiscono un materiale non metallico, l'energia delle microonde viene assorbita o riflessa in base alle proprietà dielettriche del materiale. I materiali non metallici con una bassa costante dielettrica, come il plexiglass e la faesite o il vetro, permettono alle microonde di passare attraverso di essi con poca attenuazione o riflessione.

2 Materiale occorrente

- Apparecchiatura Microonde
  - Micro-emettitore (MR/T)
  - Alimentatore per Klystron (MR/M)
  - Micro-ricevitore (MR/R)
  - Amplificatore di basse frequenze (MR/A)

- Schermo metallico (DM)
- Diagramma di faesite (DF)
- Diaframma di plexiglass (DP)
- Lastra di vetro (DV)
- Treppiede di sostegno (TP)
- Specchio

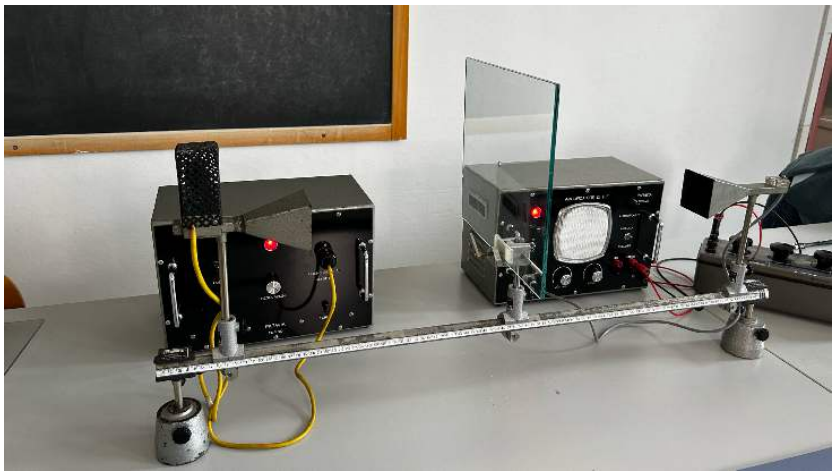


Figura 5: Disposizione base del complesso

3 Procedura

3.1 Onde Hertziane attraverso corpi conduttori e non conduttori di elettricità

1. Si prepari l'apparecchiatura Microradar seguendo le indicazioni della scheda "*messa a punto del complesso*"

2. Una volta posizionati i due apparecchi (MR/M e MR/A) a circa un metro di distanza l'uno dall'altro e poste le antenne alla stessa altezza ed affacciate si accenda il complesso e si attenda circa un minuto fino alla ricezione del segnale emessa acusticamente dall'amplificatore di basse frequenze.

3. Si predispongano il Diagramma di faesite (DF), Diaframma di plexiglass (DP) e la lastra di vetro (DV) per il primo esperimento sui materiali non metallici e si osservi come il segnale risulti indebolito, ma non interrotto.

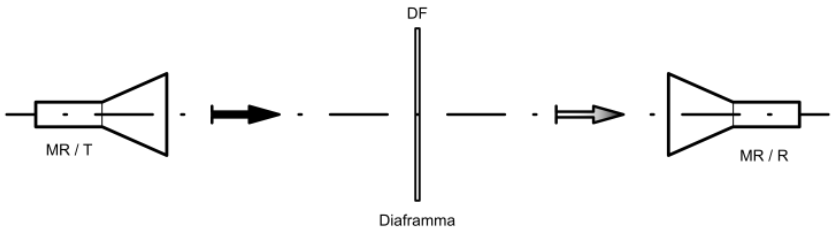


Figura 6: Microonde attraverso corpi non conduttori

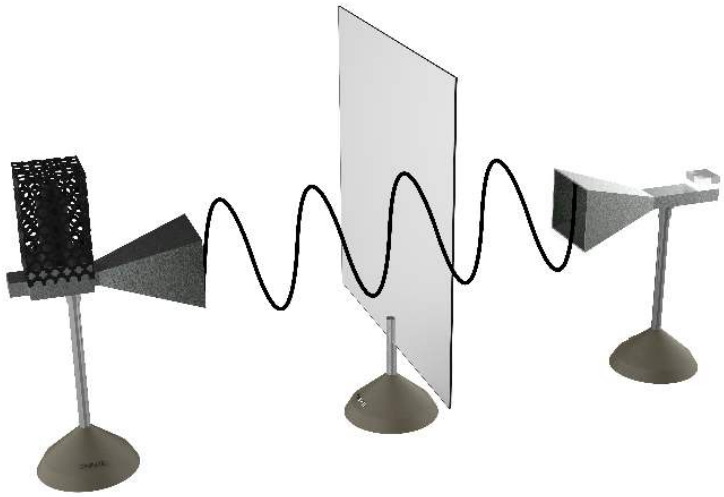


Figura 7: Microonde attraverso corpi non conduttori, ricostruzione 3D

4. Ora si predisponga lo schermo metallico (DM) nella medesima posizione dei diaframmi e si osservi come il segnale risulti interrotto. Il diaframma infatti riflette le onde e non ne consente il passaggio.

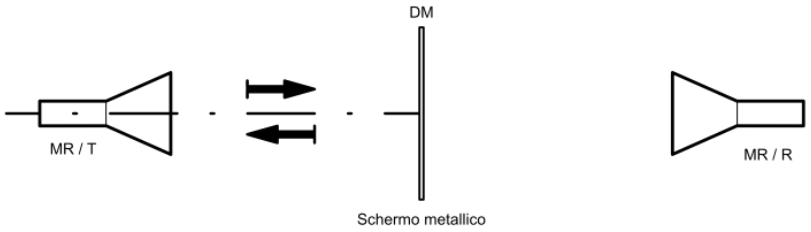


Figura 8: Microonde attraverso corpi conduttori

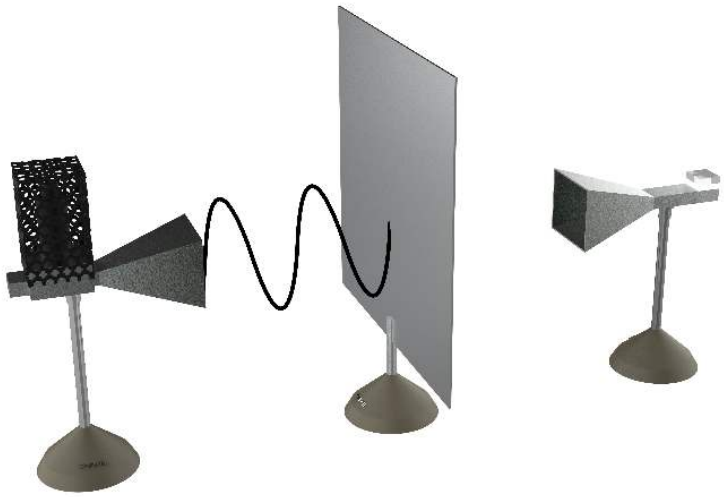


Figura 9: Microonde attraverso corpi conduttori, ricostruzione 3D

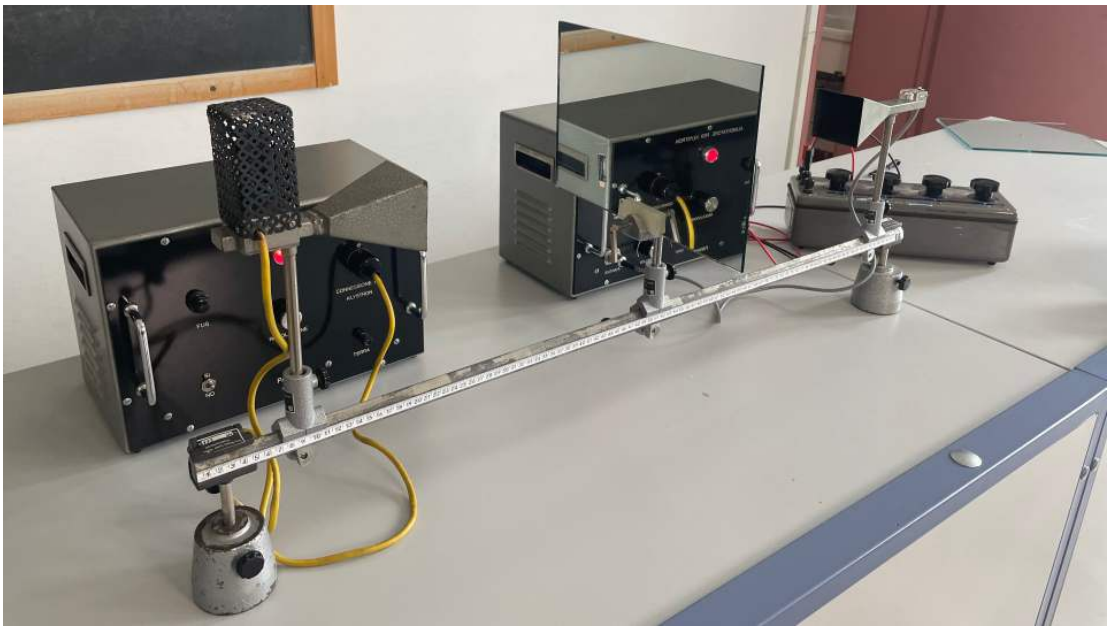


Figura 10: Situazione sperimentale con uno specchio

3.2 Dimostrazione dell'uguaglianza di θ_1 e θ_2

1. Per dimostrare che l'angolo di incidenza sia uguale a quello di riflessione si dispongano le antenne del trasmettitore e del ricevitore in modo che i loro assi formino, rispetto al piano del riflettore, due angoli uguali α.

2. Per verificare ulteriormente la natura trasparente dei materiali non metallici in relazione alle microonde, si inizi usando i tre diaframmi non conduttori come corpi riflettenti. Si noti quindi che il segnale non viene ricevuto, ma viene intercettato unicamente spostando l'antenna ricevente sullo stesso asse di quella trasmittente.

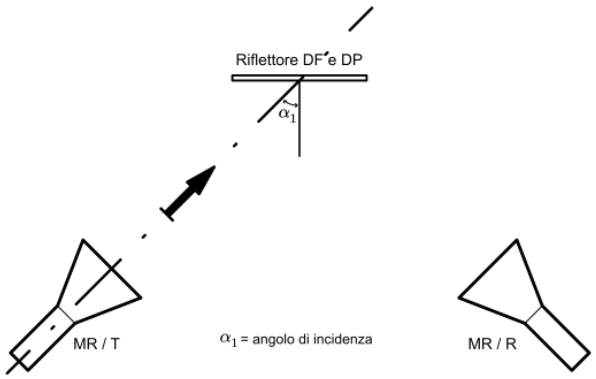


Figura 11: Corpi non metallici come ostacoli riflettenti



Figura 12: Disposizione delle antenne in modo che il segnale venga ricevuto

3. Si riposizionino ora le antenne a formare due angoli uguali rispetto al diaframma ostacolo e si disponga sotto il diaframma un goniometro, in modo da poter variare gli angoli. E si noti come le microonde vengano ricevute.

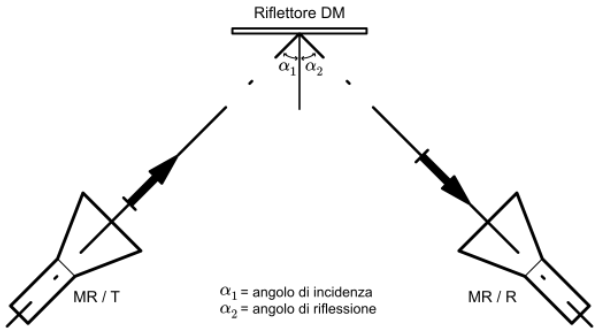


Figura 13: Corpi metallici come corpi riflettenti

4. Si ripeta ora l'esperimento variando gli angoli, come nelle figure seguenti, e si verifichi come l'angolo di incidenza sia sempre uguale a quello di riflessione.

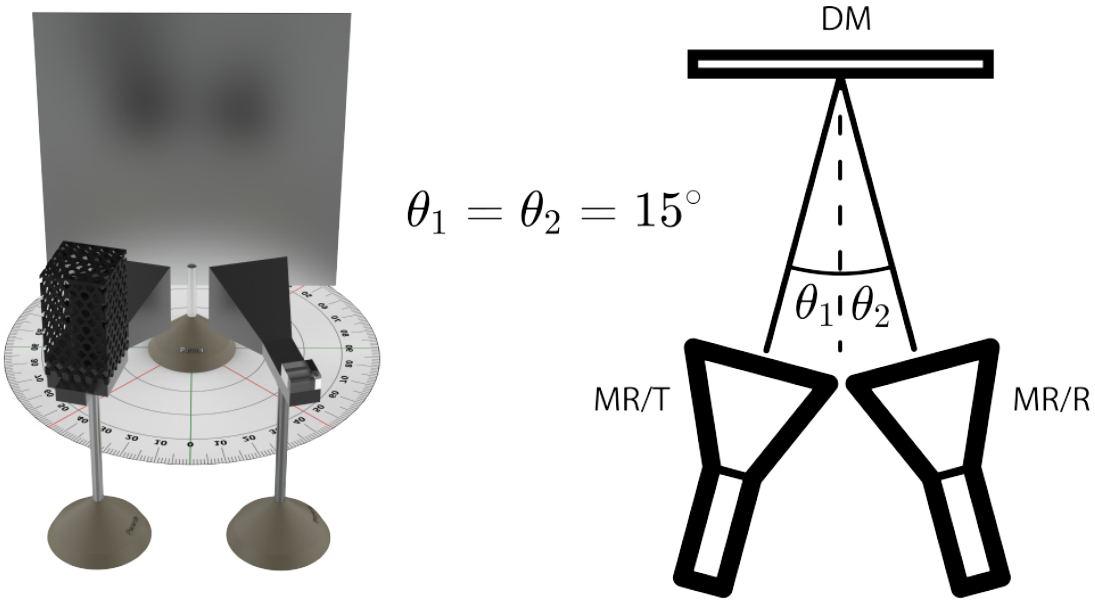


Figura 14: Riflessione con $\theta_1 = \theta_2 = 15^\circ$

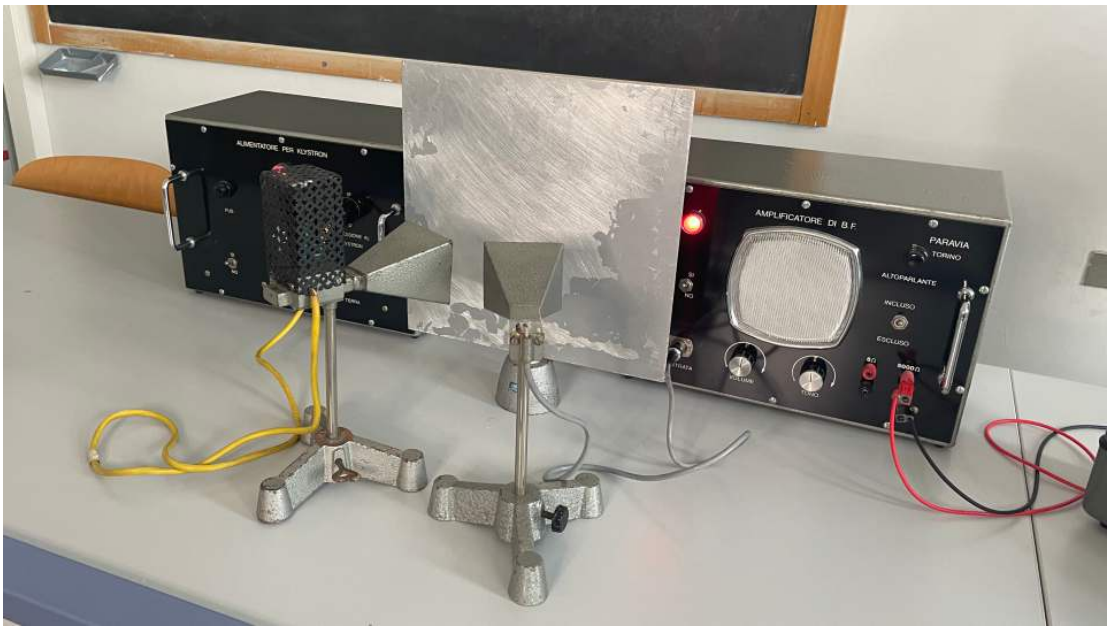


Figura 15: Riflessione con $\theta_1 = \theta_2 = 15°$ in laboratorio con il diaframma metallico

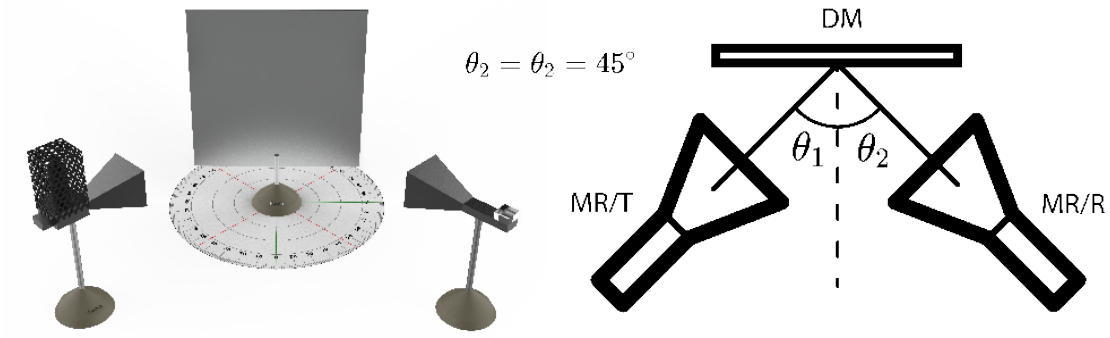


Figura 16: Riflessione con $\theta_1 = \theta_2 = 45°$

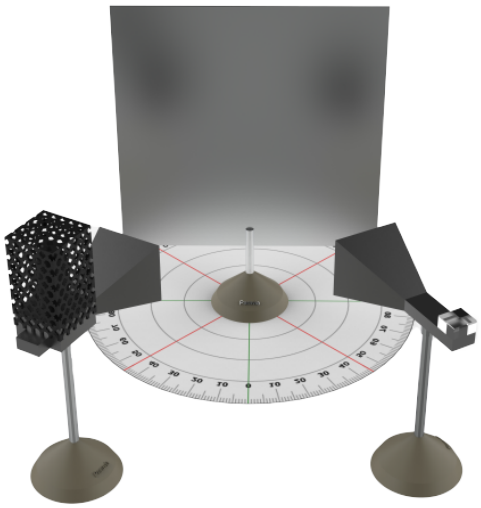


Figura 17: Riflessione con $\theta_1 = \theta_2 = 30°$

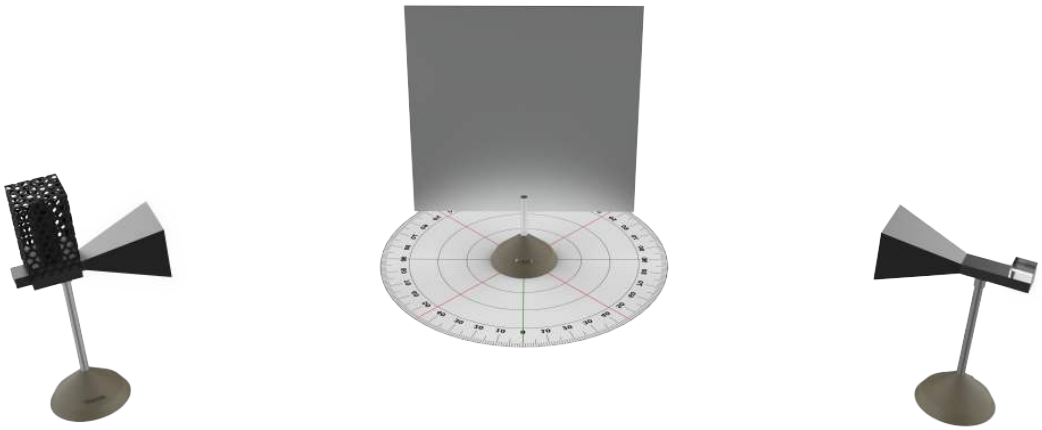


Figura 18: Riflessione con $\theta_1 = \theta_2 = 60°$

5. Rifare nuovamente le sperimentazioni cambiando il diaframma, utilizzando lo specchio.

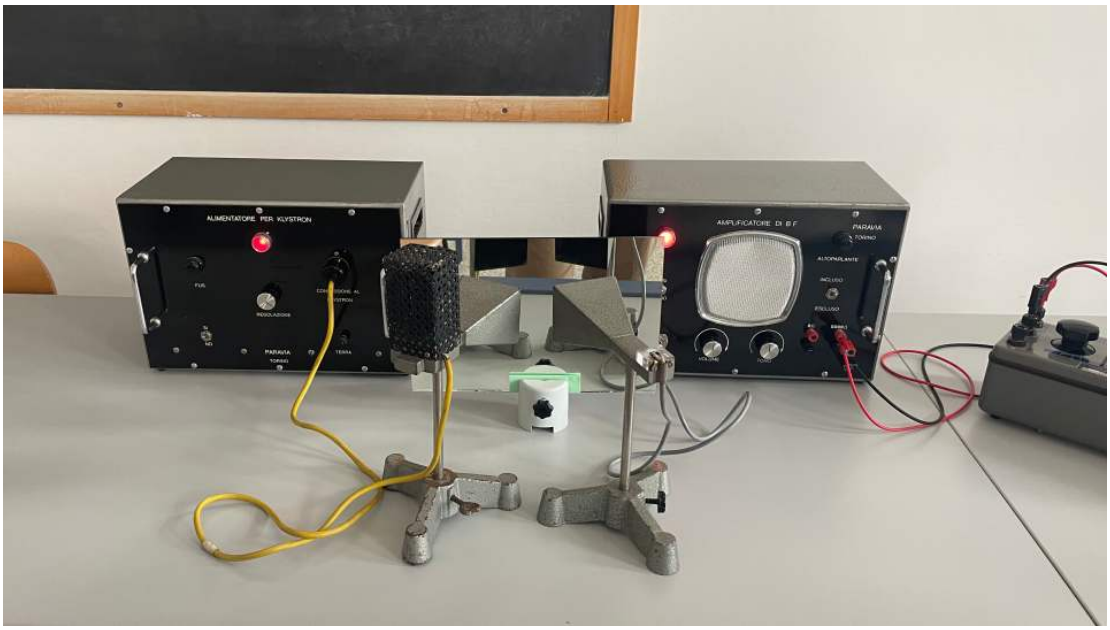


Figura 19: Riflessione con $\theta_1 = \theta_2 = 15°$ in laboratorio con uno specchio

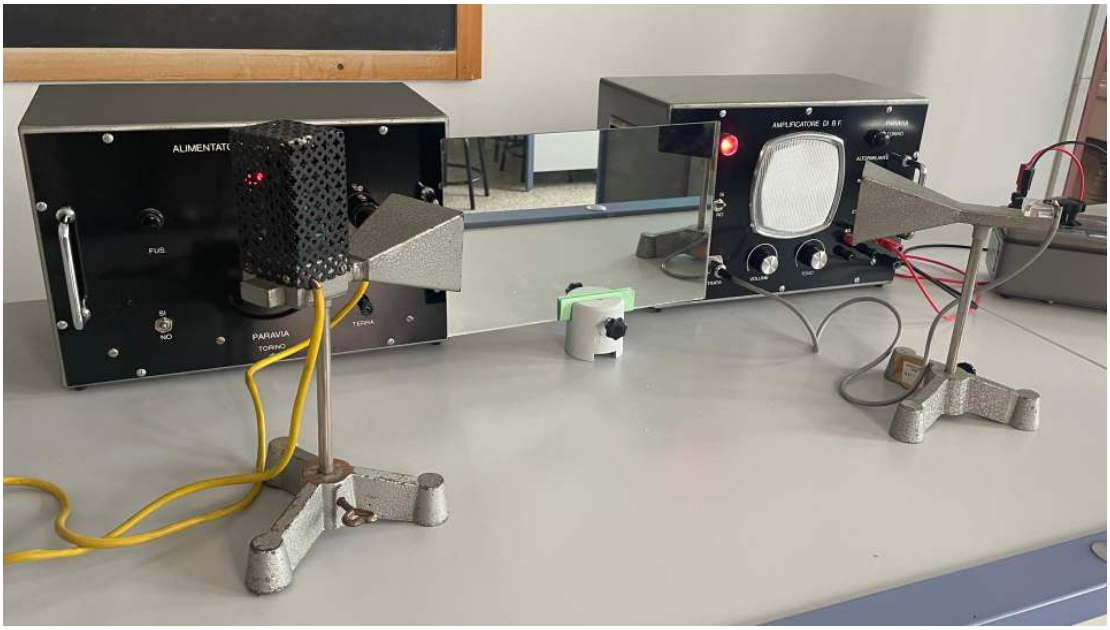


Figura 20: Riflessione con $\theta_1 = \theta_2 = 60°$ in laboratorio con uno specchio

4 Conclusioni

A seguito delle prove eseguite si può concludere che i corpi non conduttori ostacolino solo parzialmente le onde elettromagnetiche che li attraversano, mentre i corpi conduttori ne ostacolino completamente il passaggio, assorbendo buona parte della loro energia e riflettendo il resto. Perciò è possibile definire che i corpi non conduttori siano dei cattivi riflettori di microonde, mentre i corpi conduttori siano invece degli ottimi riflettori di microonde.

5 Bibliografia

- Paravia, APPARECCHIATURA MICRORADAR PER LE ESPERIENZE SULLE MICROONDE, G.B PARAVIA & C. Torino (Italia) 1970. Link.
- Libro di fisica: WALKER - VOLUME 2 (IL) (9788891916952) e WALKER - VOLUME 3 (IL) (9788891916969).
- Figura 1: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo delle esperienze di laboratorio Paravia. Link.
- Figura 2, Figura 3 e Figura 4: disegni illustrativi realizzati da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo delle esperienze di laboratorio Paravia. Link.
- Figura 5: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 6: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo delle esperienze di laboratorio Paravia. Link.
- Figura 7: ricostruzione 3D realizzata da Alessandro Bigi.
- Figura 8: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo delle esperienze di laboratorio Paravia. Link.
- Figura 9: ricostruzione 3D realizzata da Alessandro Bigi.
- Figura 10: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 11: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo delle esperienze di laboratorio Paravia. Link.

- Figura 12: ricostruzione 3D realizzata da Alessandro Bigi.
- Figura 13: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo delle esperienze di laboratorio Paravia. Link.
- Figura 14: ricostruzione 3D realizzata da Alessandro Bigi e disegno illustrativo realizzati da Alessandro Bigi.
- Figura 15: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 16: ricostruzione 3D realizzata da Alessandro Bigi e disegno illustrativo realizzati da Alessandro Bigi.
- Figura 17 e Figura 18: ricostruzioni 3D realizzate da Alessandro Bigi.
- Figura 19 e Figura 20: immagini scattate da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.

Determinazione della frequenza delle microonde emesse dal Klystron Reflex

Alessandro Bigi, Ermal Kokollari & Giovanni De Zan

2024 - Liceo Leopardi Majorana

1 Scopo dell'esperienza

L'alimentatore per Klystron presenta nella parte centrale della facciata anteriore una manopola di *regolazione*, essa però è priva di qualsiasi tipo di valore numerico, il che rende difficile conoscere la frequenza delle onde emesse dal Klystron Reflex. Nonostante ciò, nella scheda tecnica del Klystron sono presenti dei valori di massima e di minima frequenza delle microonde emesse.

Lo scopo di questa esperienza è quello di determinare sperimentalmente i valori della frequenza minima e massima della manopola di regolazione.

2 Considerazioni teoriche

La seguente esperienza si basa sulla creazione di onde stazionarie generate dall'interferenza di due onde: la prima è un' onda riflessa da un corpo che possiede proprietà riflettenti e la seconda è un' onda che viene trasmessa da un corpo costituito da materiale non conduttore.

2.1 Le onde stazionarie

Prendendo in considerazione una corda di chitarra, nel momento in cui si pizzica con attenzione quest'ultima vengono generate delle onde che si estendono verso gli estremi della corda. Quando le onde raggiungono le due estremità, esse si riflettono e si dirigono nel verso opposto, così generano diverse riflessioni consecutive. Le onde prodotte, che hanno tutte la stessa frequenza ma direzione di propagazione opposta, si sovrappongono

e generano un fenomeno chiamato *onda stazionaria*. Nelle onde stazionarie tutti i punti della corda oscillano di moto armonico con la stessa frequenza, ma con un'ampiezza che dipende dalla loro posizione all'interno della corda; i punti in cui il moto di oscillazione risulta nullo sono detti nodi, mentre i punti in cui l'ampiezza di oscillazione risulta massima sono detti ventri. Tra i vari ventri e nodi le distanze sono costanti: la distanza che intercorre tra due nodi o due ventri è pari alla metà della lunghezza d'onda presa in considerazione, quindi $\frac{\lambda}{2}$. Le onde stazionarie sono onde che non si propagano nello spazio e conseguentemente non trasportano energia da un punto all'altro dello spazio che esse occupano: l'energia dell'onda risultante è localizzata in zone ben definite.

Esistono diversi *modi normali* di oscillazione di un'onda stazionaria che differiscono tra loro per la frequenza e la lunghezza d'onda e quindi per il numero di nodi e ventri presenti.

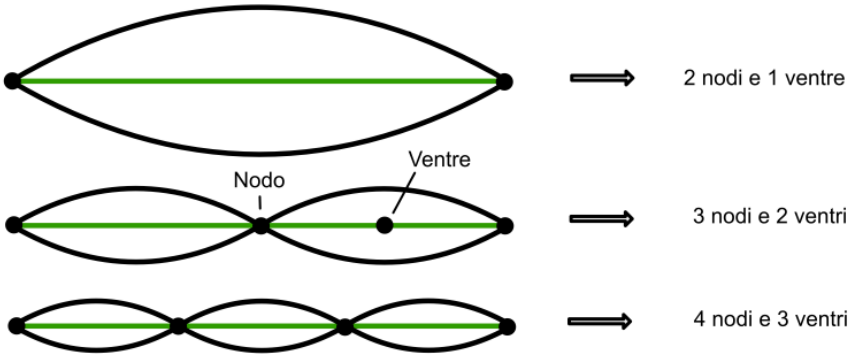


Figura 1: Alcuni modi normali di onde stazionarie

La prima immagine rappresenta un esempio di *prima armonica* o *frequenza fondamentale*, questa possiede due nodi e un ventre. La frequenza dell'onda in considerazione è $\nu = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L}$ (dove v è la velocità di propagazione e L la lunghezza della corda) e la lunghezza d'onda è $\lambda_1 = 2L$

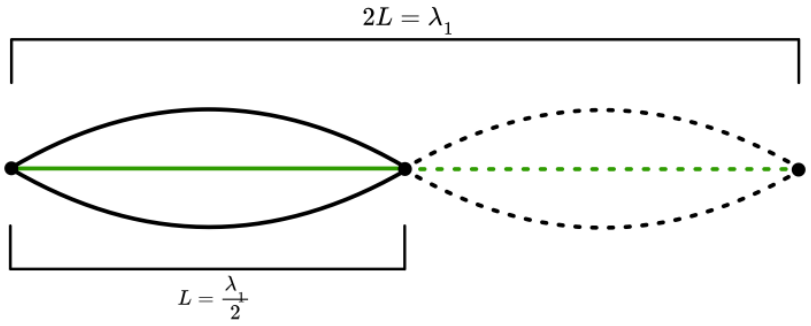


Figura 2: Prima armonica o frequenza fondamentale

La seconda immagine è un esempio di *seconda armonica* che presenta tre nodi e due ventri. La frequenza dell'onda in considerazione è $\nu = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{L}$ e la lunghezza d'onda è $\lambda_2 = L$

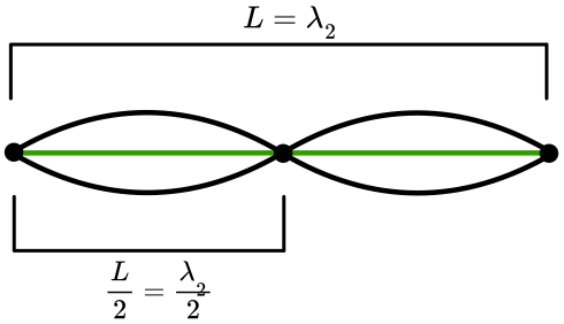


Figura 3: Seconda armonica

La terza immagine raffigura un esempio di *terza armonica* che possiede quattro nodi e tre ventri. La frequenza dell'onda in considerazione è $\nu = \frac{v}{\lambda_3} = \frac{v}{\frac{2}{3}L} = \frac{3v}{2L}$ e la lunghezza d'onda è $\lambda_3 = \frac{2}{3}L$.

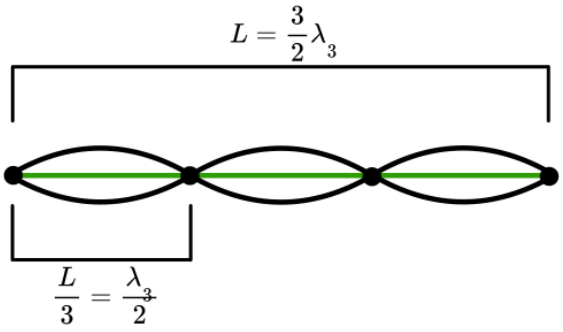


Figura 4: Terza armonica

2.2 Principio di sovrapposizione

Come detto precedentemente le onde stazionarie nascono dall'interferenza di due onde aventi la stessa ampiezza, frequenza e direzione, ma verso opposto. Tale interferenza segue il principio di sovrapposizione che definisce l'onda risultante, in seguito all'incontro di diverse onde in un punto, come la somma vettoriale delle onde originarie. Esistono due tipi di interferenze:

- **Interferenza costruttiva**
  Si prendono in considerazione due onde, di egual frequenza e quindi con la stessa lunghezza d'onda e stessa ampiezza, che si incontrano in un punto nello spazio in concordanza di fase. Secondo il principio di sovrapposizione, le due onde sommandosi vettorialmente danno origine ad un' onda avente ampiezza doppia rispetto alle onde iniziali. In generale l'interferenza costruttiva si ottiene quando due o più onde aventi la stessa ampiezza e frequenza sono in concordanza di fase. L'ampiezza dell'onda risultante è pari alla somma delle ampiezze delle onde originarie, quindi viene prodotta un' onda di ampiezza maggiore.

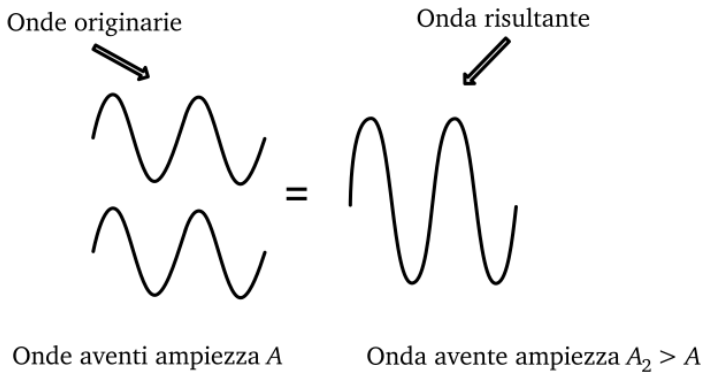


Figura 5: Interferenza costruttiva

Quindi nelle onde stazionarie l'interferenza costruttiva avviene in corrispondenza dei ventri.

- **Interferenza distruttiva**
  L'interferenza distruttiva si ottiene quando due o più onde aventi la stessa ampiezza e frequenza sono in opposizione di fase. In questo caso le due onde originarie si compensano e l'ampiezza risulta nulla.

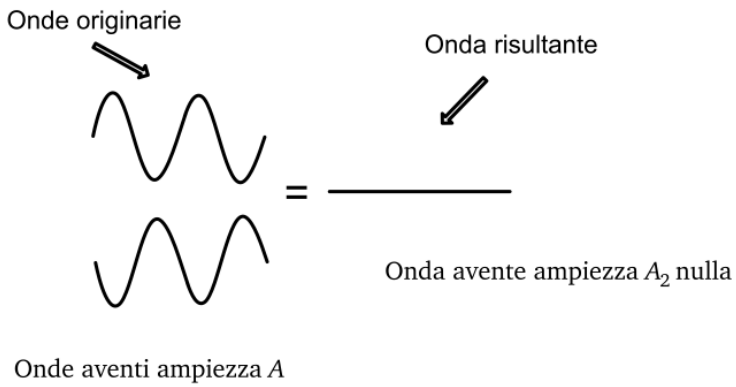


Figura 6: Interferenza distruttiva

Quindi nelle onde stazionarie l'interferenza distruttiva avviene in corrispondenza dei nodi.

3 Materiale occorrente

- Apparecchiatura Microonde
  - Micro-emettitore (MR/T)
  - Alimentatore per Klystron (MR/M)
  - Micro-ricevitore (MR/R)
  - Amplificatore di basse frequenze (MR/A)
- Schermo metallico (DM)
- Diaframma di plexiglass (DP)
- Colonna metallica di supporto (BS) - 2 pezzi
- Treppiede di sostegno (TP) - 2 pezzi
- Metro o banco ottico graduato

4 Procedura

1. Si prepari l'apparecchiatura Microradar seguendo le indicazioni della scheda "*messa a punto del complesso*".
2. Dopo aver collocato i due apparecchi (MR/M e MR/A) parallelamente tra loro e dopo aver posto le due antenne alla stessa altezza e con lo stesso verso, si disponga lo schermo metallico ad una certa distanza (si scelga la più opportuna) perpendicolarmente rispetto alla direzione delle onde. Si accenda il complesso e si attenda circa un minuto fino alla ricezione del segnale emesso acusticamente dall'amplificatore di basse frequenze.

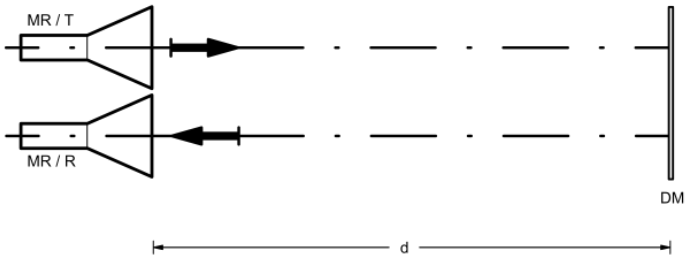


Figura 7: Disposizione base iniziale del complesso

3. Ora si prenda il diaframma di plexiglass (DP) e, interponendo quest'ultimo tra lo schermo metallico e le due antenne, si esplori lo spazio che intercorre tra questi. Con questa operazione si creeranno delle onde stazionarie, dovute alla sovrapposizione delle onde riflesse dallo schermo metallico e delle onde trasmesse dal diaframma.



Figura 8: Disposizione base del complesso



Figura 9: Disposizione base del complesso

4. Ascoltando attentamente il segnale acustico emesso dall'amplificatore, si potranno individuare dei punti in cui la ricezione risulta nulla e altri in cui è presente la massima intensità acustica. Questi punti sono rispettivamente dei nodi e dei ventri.

5. Dal momento che la distanza tra due nodi o due ventri è sempre pari a $\frac{\lambda}{2}$, misurando la distanza tra due nodi si potrà determinare $\frac{\lambda}{2}$ e quindi la lunghezza d'onda. La posizione del primo nodo corrisponde con la posizione dello schermo metallico, poichè da esso parte l'onda stazionaria.

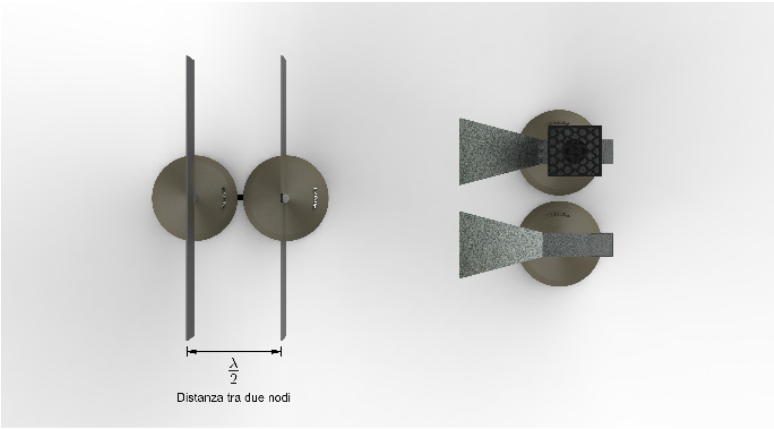


Figura 10: La distanza tra i due diaframmi

6. Per comodità si consiglia di misurare la distanza tra i vari nodi, dato che sono più facilmente individuabili.

7. Dopo aver effettuato le varie misurazioni, per calcolare il valore della frequenza è possibile utilizzare la seguente relazione che lega la frequenza (ν), la lunghezza d'onda (λ) e la velocità di propagazione della luce (c):

$$c = \lambda \cdot \nu \tag{1}$$

quindi si ricava la frequenza:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \tag{2}$$

Per ottenere dei valori più precisi si consiglia di ripetere l'esperimento tre volte.

5 Raccolta dei dati

Frequanza massima										
n° misurazione	$\frac{\lambda_1}{2}(m)$	$\frac{\lambda_2}{2}(m)$	$\frac{\lambda_3}{2}(m)$	$\frac{\lambda_4}{2}(m)$	$\frac{\lambda_5}{2}(m)$	$\frac{\lambda_6}{2}(m)$	$\frac{\lambda_{medio}}{2}(m)$	$\lambda(m)$	$\lambda_{medio}(m)$	$\nu(Hz)$
1	0,016	0,016	0,015	0,016	0,017	0,016	0,016	0,032		
2	0,017	0,014	0,016	0,016	0,016	0,017	0,016	0,032	0,032	$9,37 \cdot 10^9$
3	0,016	0,017	0,016	0,015	0,016	0,016	0,016	0,032		

Frequenza minima										
n° misurazione	$\frac{\lambda_1}{2}(m)$	$\frac{\lambda_2}{2}(m)$	$\frac{\lambda_3}{2}(m)$	$\frac{\lambda_4}{2}(m)$	$\frac{\lambda_5}{2}(m)$	$\frac{\lambda_6}{2}(m)$	$\frac{\lambda_{medio}}{2}(m)$	$\lambda(m)$	$\lambda_{medio}(m)$	$\nu(Hz)$
1	0,016	0,016	0,015	0,017	0,017	0,016	0,0162	0,0324		
2	0,015	0,017	0,014	0,017	0,017	0,016	0,016	0,032	0,0323	$9,29 \cdot 10^9$
3	0,015	0,017	0,016	0,017	0,016	0,016	0,0162	0,0324		

I valori ottenuti risultano molto simili e questo è dato dal fatto che la differenza tra la frequenza massima e minima emessa dal Klystron è molto piccola. Oltre a ciò, i valori ottenuti sono compatibili con i valori espressi nella scheda tecnica del Klystron Reflex, nella quale i valori di massimo e minimo sono rispettivamente $8,702 \cdot 10^9$ Hz e $9,548 \cdot 10^9$ Hz, quindi una lunghezza d'onda che varia tra i 3,14 cm e 3,44 cm. Le conseguenze della presenza di una differenza tra i valori ottenuti e quelli dati possono consistere in vari errori accidentali, come errori di parallasse durante la misurazione della distanza tra i vari nodi. Inoltre, possono essere presenti errori sistematici legati all'imprecisione delle rilevazioni del complesso microradar.

6 Conclusioni

In conclusione, è stato possibile determinare sperimentalmente i valori della frequenza massima e minima delle microonde emesse dal Klystron. Nonostante la presenza di diversi errori accidentali e sistematici, sono stati rilevati dei valori compatibili con quelli presenti nella scheda tecnica del Klystron Reflex.

7 Bibliografia

- Paravia, APPARECCHIATURA MICRORADAR PER LE ESPERIENZE SULLE MICROONDE, G.B PARAVIA & C. Torino (Italia) 1970. Link.
- Libro di fisica: WALKER - VOLUME 2 (IL) (9788891916952) e WALKER - VOLUME 3 (IL) (9788891916969).
- Figura 1: disegno illustrativo realizzato da Ermal Kokollari.
- Figura 2, Figura 3 e Figura 4: disegni illustrativi realizzati da Ermal Kokollari su ispirazione al fascicolo della Zanichelli sulle onde stazionarie. Link.
- Figura 5 e Figura 6: disegni illustrativi realizzati da Ermal Kokollari su ispirazione al fascicolo della Zanichelli sull'interferenza. Link.
- Figura 7: disegno illustrativo realizzato da Alessandro Bigi su ispirazione al fascicolo delle esperienze di laboratorio Paravia. Link.
- Figura 8: ricostruzione 3D realizzata da Alessandro Bigi.
- Figura 9: immagine scattata da Ermal Kokollari e Alessandro Bigi.
- Figura 10: ricostruzione 3D realizzata da Alessandro Bigi.