
Onde Elettromagnetiche nella banda delle microonde

Studio di un fascio di microonde
nella banda X (10 GHz)

Lodovico Lappetito

Sommario

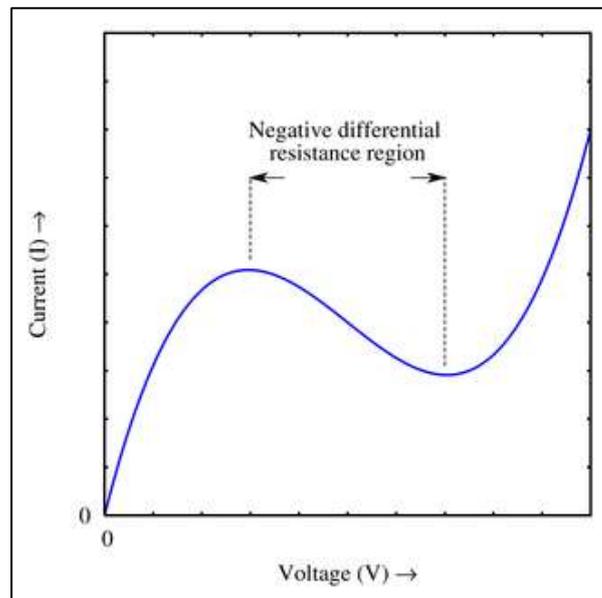
Il Diodo Gunn.....	3
Il Gunnplexer	3
Microwave Transceiver basato su Gunnplexer	5
Microwave Receiver basato su Gunnplexer	6
Attenuazione del fascio e onde stazionarie	7
Profilo del fascio	8
Esperimenti di polarizzazione di un fascio di microonde	9
Esperimenti di polarizzazione nel visibile.....	11
Riflessione di un fascio di microonde.....	12
Assorbimento di un fascio di microonde.....	12
Diffrazione di un fascio di microonde da una fessura	13

Il Diode Gunn

Il diodo **Gunn**, detto anche TED (transferred electron device), è una sorta di diodo usato nell'elettronica ad alta frequenza. Consiste solo di semiconduttore drogato N, mentre solitamente i diodi consistono della giunzione di entrambe le regioni drogate P ed N. Nel diodo Gunn esistono 3 regioni: 2 drogate pesantemente N su entrambi i terminali e, all'interno, uno strato sottile e debolmente drogato. Quando viene applicata una tensione al dispositivo il gradiente elettrico sarà maggiore attraverso lo strato più sottile. La conduzione ha luogo come in ogni semiconduttore, con la corrente proporzionale alla tensione applicata. Alla fine, a valori di campo maggiori, le proprietà conduttive dello strato centrale vengono alterate aumentando la sua resistività e diminuendo il gradiente attraverso di esso, frenando l'ulteriore flusso della corrente, che inizia così a diminuire.

In sostanza il diodo Gunn ha una regione a differenziale di resistenza negativo.

Il differenziale di resistenza negativo, assieme alle proprietà temporali dello strato intermedio, permette la costruzione di un oscillatore a rilassamento in radiofrequenze semplicemente applicando una corrente continua regolabile attraverso il dispositivo.



Nella figura sopra si vede una approssimazione della curva V/I per un diodo Gunn, che evidenzia la regione a differenziale di resistenza negativo

Il Gunnplexer

Il sistema Gunnplexer è una combinazione di un oscillatore a microonde (basato sul diodo Gunn) con un mixer (diodo Schottky). Ci sono alcune variazioni sul tema, ma ogni Gunnplexer ha almeno questi componenti. Nei Gunnplexer che operano a 10 GHz e frequenze superiori, l'intero sistema a microonde è incorporato in una guida d'onda, e l'antenna di solito di tipo a corno completa il sistema.

La figura riportata più avanti mostra un tipico layout fisico ed uno schema di principio, anche se specifiche configurazioni possono variare rispetto a questo layout. John B. Gunn ha studiato originariamente questa diodo fonte di microonde nel 1960.

Quando viene aumentata la tensione applicata, la corrente continua a salire fino ad un punto chiamato tensione di soglia. Se la tensione applicata viene aumentata oltre questo punto, la corrente inizia a diminuire e continua a farlo fino al raggiungimento della tensione di breakdown. La porzione della curva dove la tensione e la corrente si muovono in direzioni opposte è chiamata la regione a resistenza negativa.

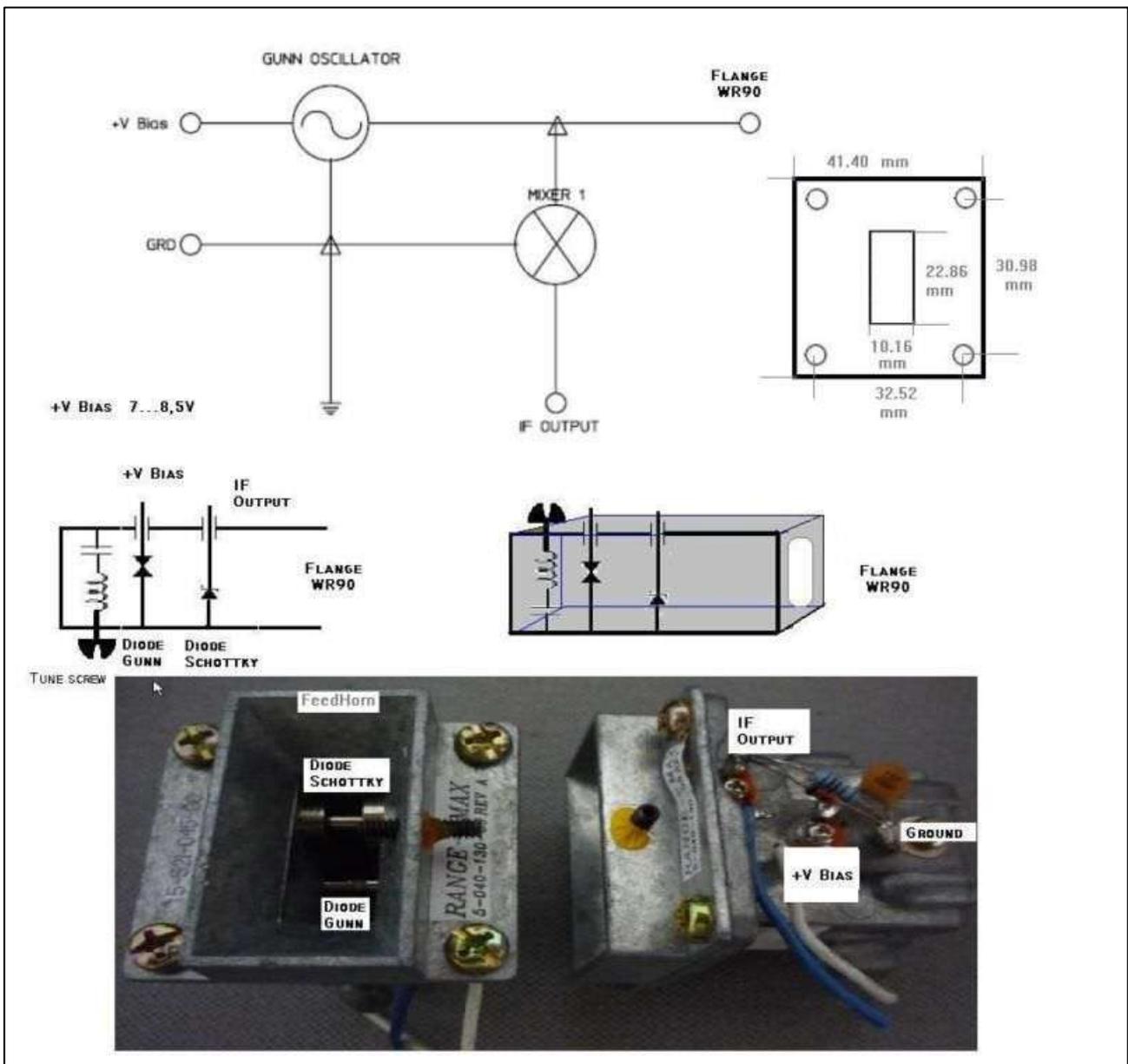
Se il dispositivo viene inserito in un circuito risonante e sollecitato con una tensione continua in questa regione, darà luogo ad una emissione RF.

Tipici livelli di potenza sono 5 o 10 mW, ma sono disponibili anche dispositivi da 100mW. La migliore tensione di funzionamento è circa tre volte la tensione di soglia. Possono essere progettati e realizzati diodi Gunn con frequenze fino a circa 100GHz. Come in ogni oscillatore free-running sono necessari per un buon funzionamento stabilità meccanica, carico costante, tensione costante e temperatura stabile.

In termini pratici, un diodo Gunn free-running da 10 GHz in una cavità ben progettata, ad una temperatura stabile e carico stabile, può mantenere frequenza stabile entro qualche kilohertz per diversi minuti.

Il ricevitore per un Gunnplexer è basato su un diodo mixer. È possibile utilizzare lo stesso diodo Gunn come diodo mixer, e questo viene fatto in alcuni applicazioni molto economiche, ma per comunicazioni su distanze ragionevoli, è necessario un diodo mixer separato.

Un diodo Schottky ad alta sensibilità di tipo barriera è la scelta migliore. Viene posizionato nella guida d'onda in modo che intercetti energia che viene trasmesso e anche l'energia che viene ricevuta. Il diodo mixer miscela i segnali in uscita e in entrata e produce il segnale differenza che costituisce il segnale ricevuto dal Gunnplexer.

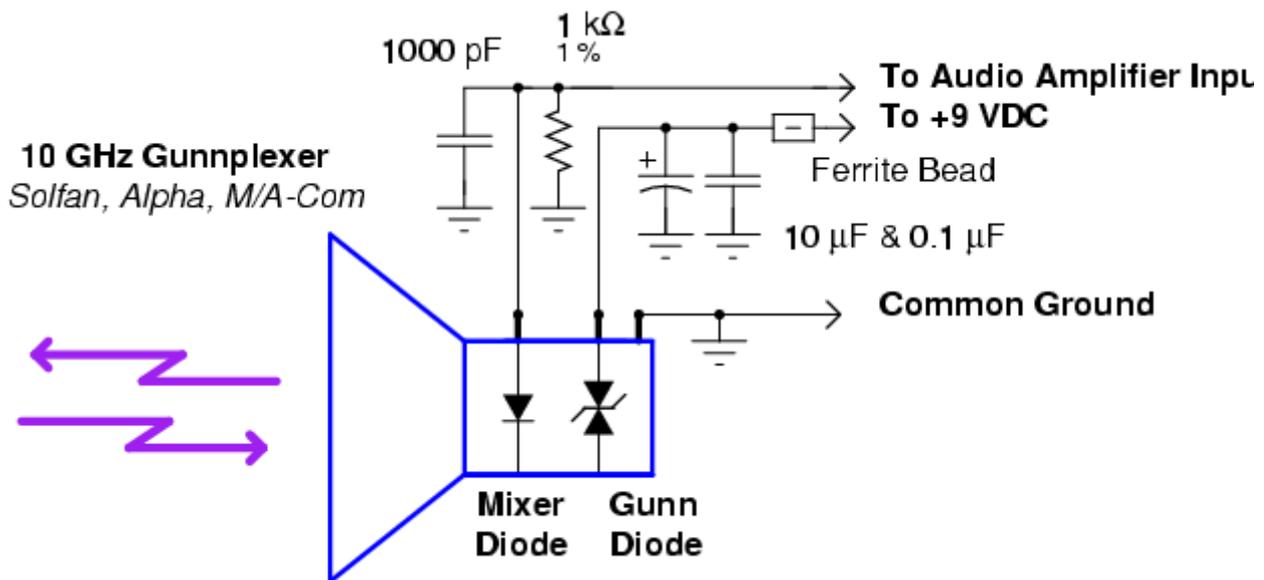


Nella figura sopra si vede un tipico Gunnplexer ed il relativo schema di principio

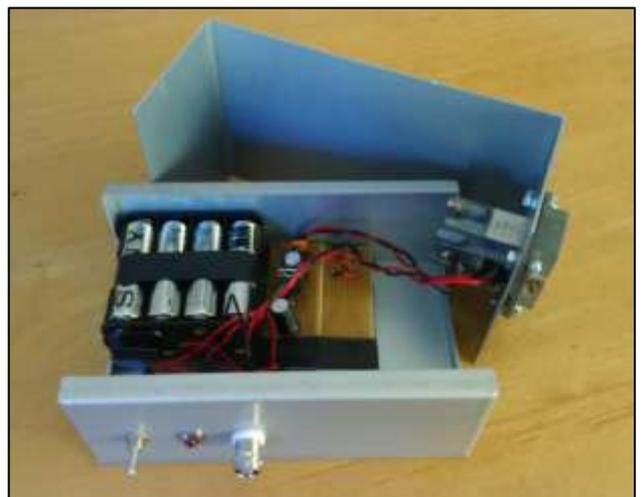
Microwave Transceiver basato su Gunnplexer

Il transceiver che è stato realizzato consiste in un Gunnplexer alimentato da una tensione continua stabilizzata da 8-9V. Nella nostra realizzazione è stato utilizzato un pacco di batterie da 1,5V collegate ad un riduttore di tensione di tipo 7808 che genera 8V stabilizzati. Il terminale del diodo mixer del Gunnplexer è stato collegato ad un connettore BNC in modo da poter utilizzare il dispositivo anche come ricevitore. Il segnale RF generato dal Gunnplexer ha una frequenza di circa 10GHz che corrispondono ad una lunghezza d'onda di 3cm.

$$f = 10\text{GHz}$$
$$\lambda = 30\text{mm}$$



Schema del transceiver con alimentazione stabilizzata sul diodo Gunn e segnale di output prelevato sul diodo mixer



Nella figura sopra si vede il transceiver con la guida d'onda frontale ed il connettore BNC per il segnale di output. A destra viene mostrato l'interno del transceiver con la sezione di alimentazione basata su 8 pile da 1,5V, per una tensione di 12V che viene ridotta e stabilizzata a 8V da un convertitore 7808

Microwave Receiver basato su Gunnplexer

Il Receiver che è stato realizzato consiste in un Gunnplexer sul quale viene prelevato e portato su di un connettore BNC il segnale presente sul diodo mixer. Il segnale viene letto da un millivoltmetro digitale come mostrato in figura.

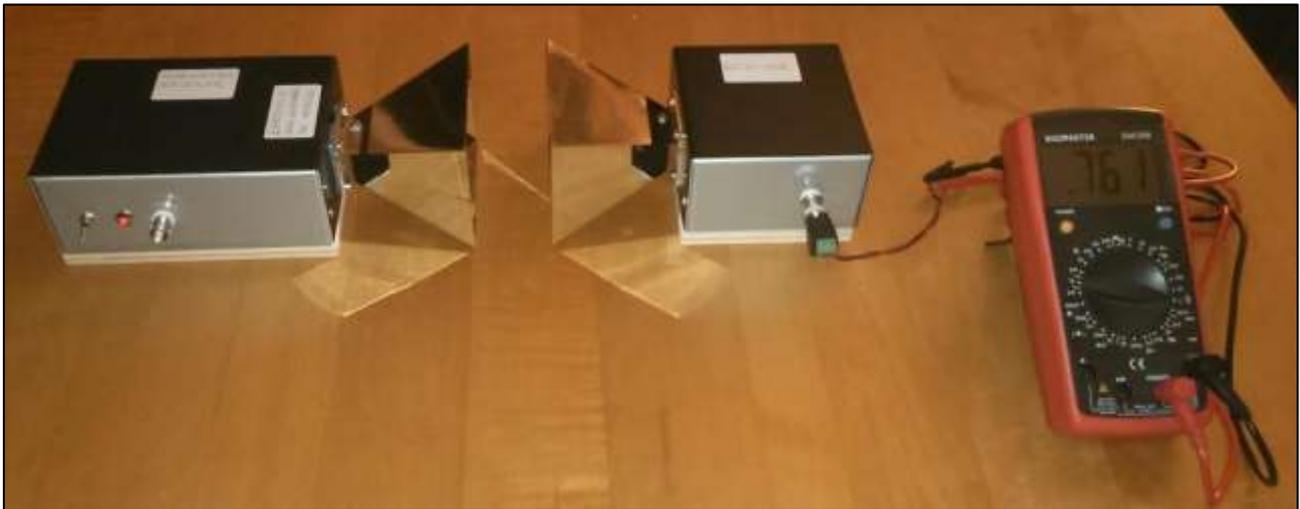
In particolare il ricevitore che rileva tali microonde è sensibile solo la componente del campo elettrico incidente parallelamente al suo asse. Se l'angolo tra il campo elettrico incidente (di ampiezza E_0 e l'asse del ricevitore è θ , allora la componente parallela del campo ha un'ampiezza $E_0 \cos \theta$). Poiché l'intensità di un'onda è proporzionale al quadrato della sua ampiezza, l'intensità misurata dal ricevitore è correlata alla intensità I_0 dell'onda incidente dalla seguente relazione :

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

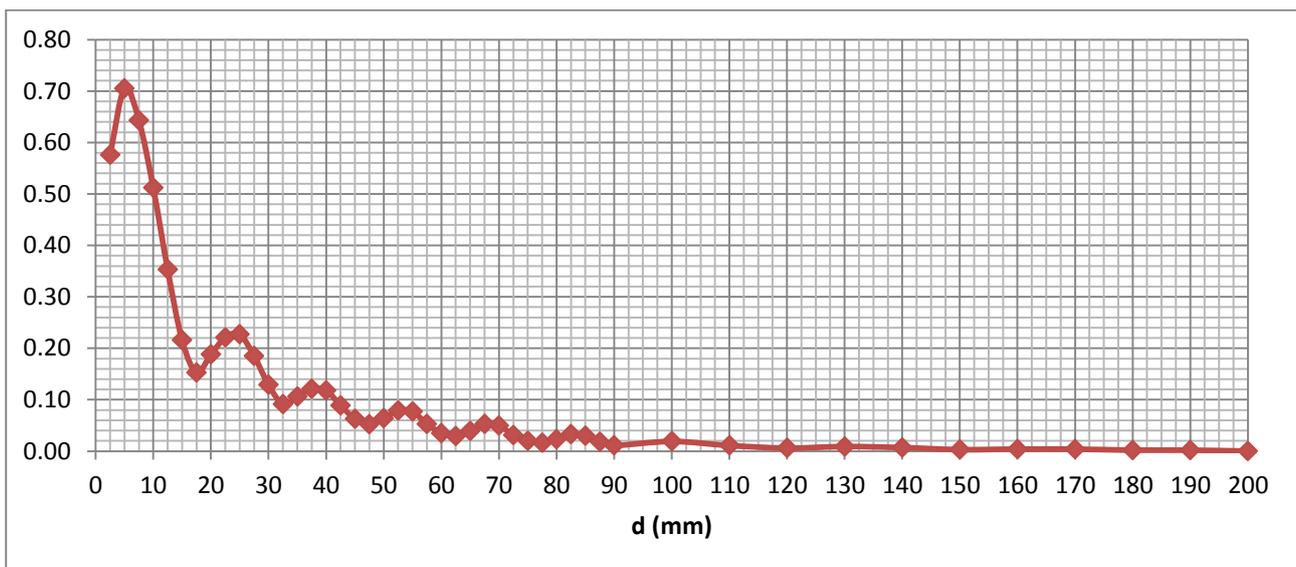


Nella figura sopra si vede il Receiver con la guida d'onda frontale ed il connettore BNC per il segnale di output

Attenuazione del fascio e onde stazionarie



Con il setup che si vede nella figura sopra è stata misurata l'intensità del fascio uscente dal Gunnplexer del Transceiver. Va tenuto presente che tra Receiver e Transceiver si forma una onda stazionaria dovuta alla interferenza tra l'onda trasmessa e quella riflessa da Receiver.



Andamento della intensità misurata dal Receiver

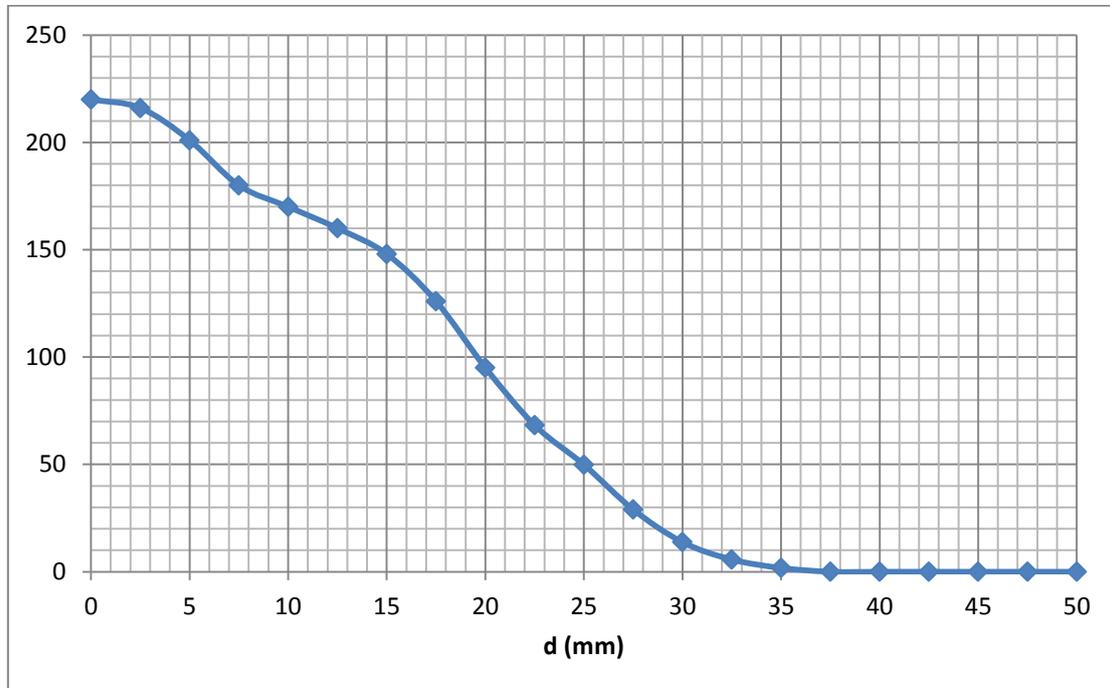
Dal grafico che riporta l'andamento della intensità si rileva un periodo spaziale di circa **15mm**, cioè l'intensità presenta un massimo relativo quando il Receiver si trova ad una distanza multipla di questa quantità, sapendo che l'onda stazionaria ha i massimi corrispondenti a $\lambda/2$, si deduce correttamente che la lunghezza d'onda ha un valore di **30mm**.

L'intensità segue un andamento decrescente come è logico attendersi, la diminuzione della intensità non segue però l'andamento $1/R^2$ di un emettitore isotropo, ma diminuisce più lentamente a causa del guadagno della piccola antenna horn posta in uscita al Gunnplexer.

L'utilizzo di una antenna più grande permetterebbe guadagni più grandi e quindi una diminuzione di intensità ancora meno pronunciata.

Profilo del fascio

Utilizzando lo stesso setup utilizzato per la misura della attenuazione del fascio è possibile, muovendo il Receiver lateralmente, lasciando quindi inalterata la sua distanza dal transceiver, valutare l'andamento spaziale del fascio di microonde.



Profilo del fascio emesso dal Transceiver misurato ad una distanza di 25mm

Il profilo del fascio segue approssimativamente un andamento gaussiano con una FWHM di circa 40mm ad una distanza di 25mm. Considerando che l'apertura della guida d'onda è di 20mm si può dedurre una divergenza spaziale di circa 30°.

Esperimenti di polarizzazione di un fascio di microonde

I Gunnplexer sono trasmettitori e ricevitori di microonde polarizzate. Questo accade perché il campo elettrico dell'onda trasmessa oscilla nella stessa direzione del diodo Gunn e cioè verticalmente. Il fascio uscente dal transceiver è quindi polarizzato verticalmente, inoltre il receiver è sensibile al campo elettrico polarizzato nella stessa direzione del diodo mixer, anch'esso posizionato verticalmente.

Ruotando il receiver attorno al proprio asse la lettura passa da un massimo quando transceiver e receiver hanno la stessa orientazione ad un minimo prossimo allo zero quando sono posizionati ortogonalmente.

E' possibile costruire facilmente un filtro polarizzatore per microonde utilizzando una semplice stripboard, le piste di rame allineate assorbono la componente di campo elettrico avente la stessa direzione mentre lasciano passare quella ortogonale.



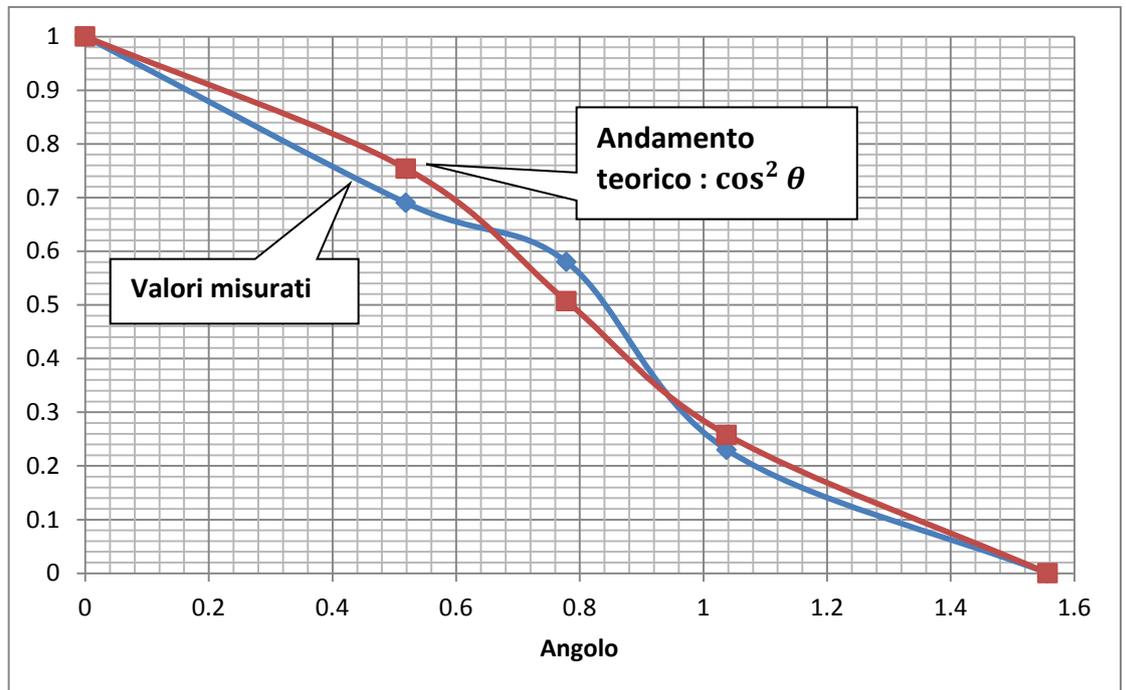
Schema di principio di un polarizzatore ed esempio di polarizzatore per microonde



Setup per le misure di polarizzazione del fascio con filtro polarizzatore

Ruotando il filtro polarizzatore attorno al proprio asse e misurando con il multimetro l'intensità dell'onda ricevuta dal receiver si ottengono i dati riportati nella tabella sotto ed inseriti nel grafico a lato.

θ	mV
0°	300
30°	207
45°	175
60°	70
90°	0



Esperimenti di polarizzazione nel visibile



Filtri polarizzatori allineati



Filtro polarizzatore ruotato di 45° rispetto al primo



Filtri polarizzatori ruotati di 90° fra di loro

Riflessione di un fascio di microonde

Con il Transceiver ed il Receiver basati su Gunnplexer è semplice verificare che anche nella banda delle radiofrequenze valgono le leggi dell'ottica geometrica, in particolare la riflessione su di una superficie piana metallica. Si verifica sperimentalmente che l'angolo di incidenza rispetto alla normale è uguale all'angolo di riflessione.



Setup per la verifica della riflessione delle microonde da una superficie metallica

Assorbimento di un fascio di microonde



Una lastra **metallica** interposta tra Transceiver e Receiver scherma completamente il fascio di microonde ed il segnale letto sul Receiver è nullo



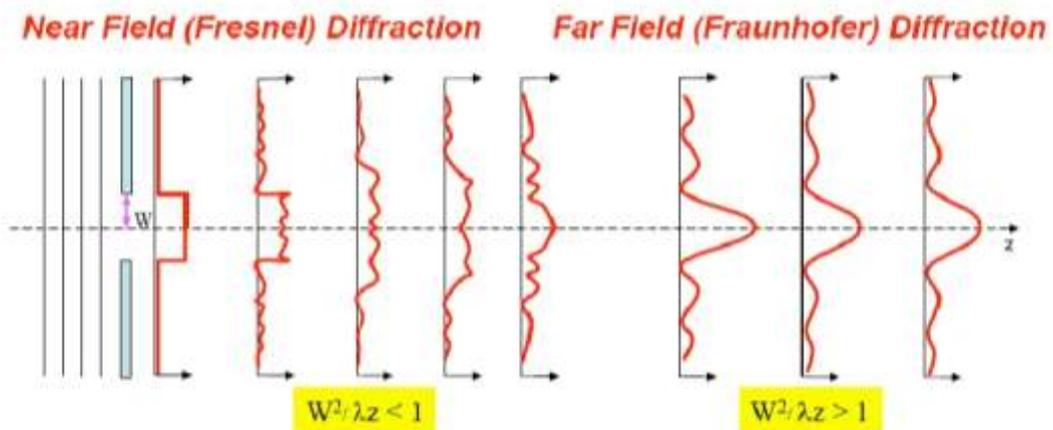
Una lastra di materiale non metallico e leggero come la **gommapiuma** non assorbe la radiazione RF e influisce minimamente sul segnale letto sul Receiver

Diffrazione di un fascio di microonde da una fessura

Con il Transceiver ed il Receiver è possibile verificare fenomeni ondulatori come la diffrazione da una singola fessura oppure l'interferenza del fascio che attraversa due fessure ravvicinate. Dato che la lunghezza d'onda delle microonde è di circa 3cm, le distanze in gioco sono dell'ordine delle decine di centimetri. Se transceiver e receiver vengono mantenuti a distanza ravvicinata siamo nel caso di campo vicino o di "Fresnel", se invece la distanza è molto superiore alla lunghezza d'onda si usa l'approssimazione di campo lontano o di "Fraunhofer", in questo caso è però necessario montare sui due gunnplexer delle antenna a tromba in modo da aumentare il guadagno e diminuire l'attenuazione del fascio.



Setup per la verifica della diffrazione da una fessura



- La luce che attraversa la maschera non ha diffrazione - *contatto*
- In campo vicino, la luce subisce diffrazione di Fresnel - *prossimità*
- In campo lontano, la luce subisce diffrazione di Fraunhofer - *proiezione*