

A.R.I.

Sezione di Parma

Conversazioni del 1° Venerdì del Mese

POLARIZZAZIONE ORIZZONTALE O VERTICALE?

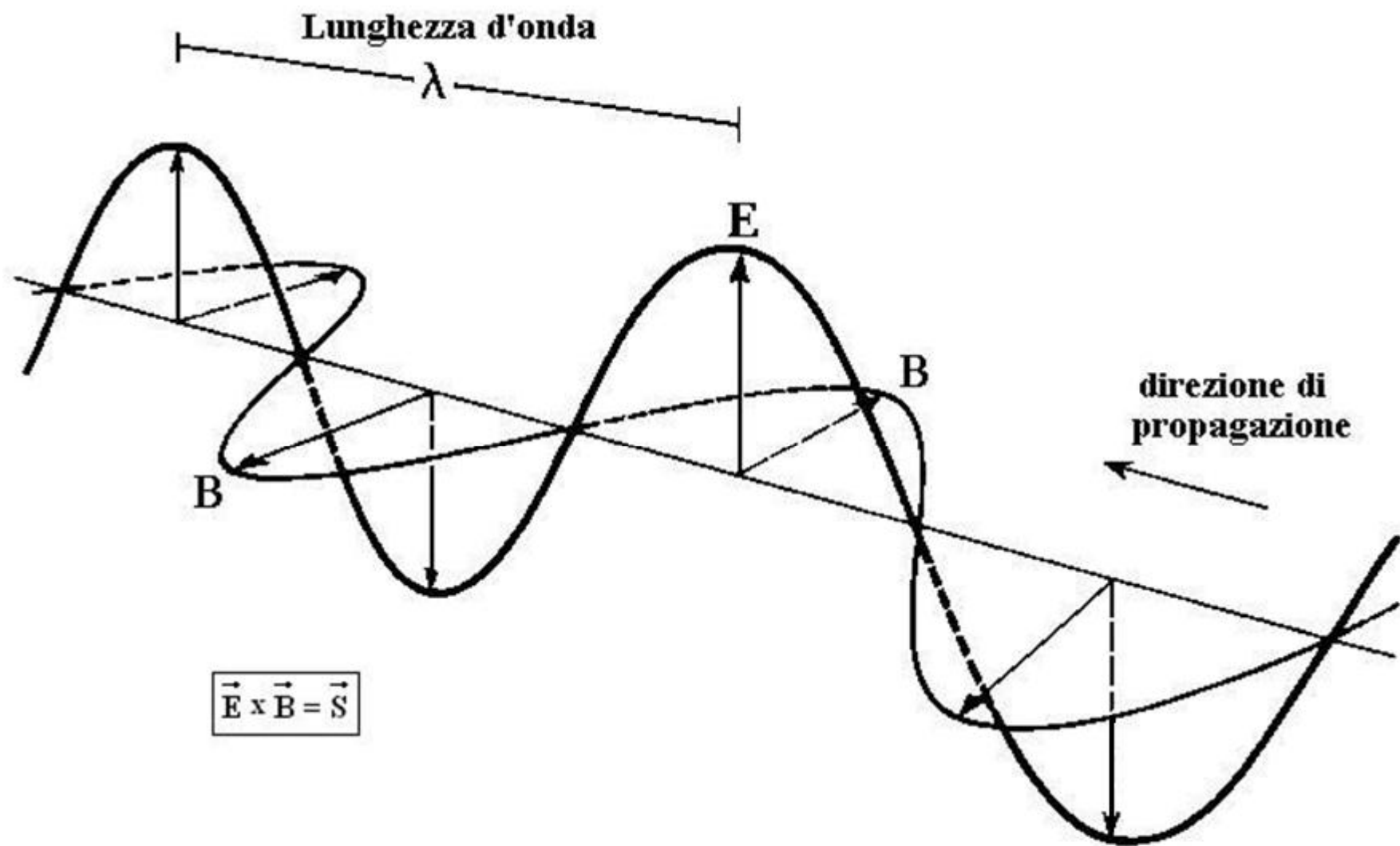
Venerdì, 7 dicembre, ore 21:15 -

Carlo, I4VIL



Oscillatore e risuonatore di Hertz

(<http://www.sparkmuseum.com>)



Lunghezza d'onda

λ

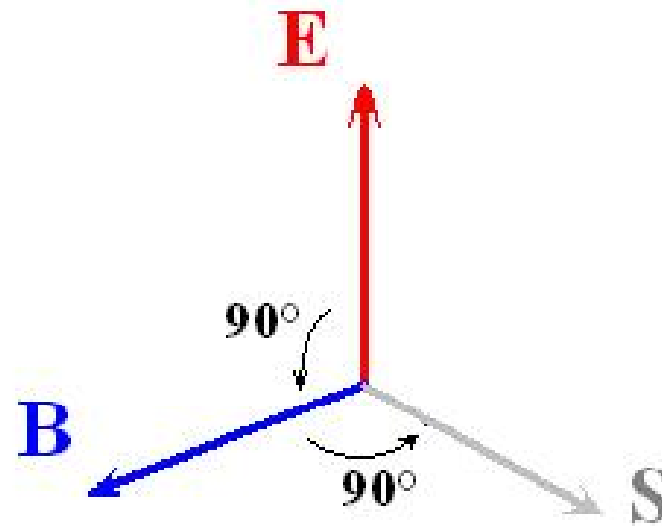
\vec{E}

\vec{B}

\vec{B}

direzione di propagazione

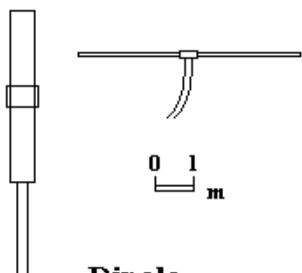
$$\vec{E} \times \vec{B} = \vec{S}$$



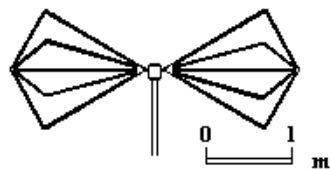
VETTORI DEL CAMPO ELETTROMAGNETICO

ANTENNE

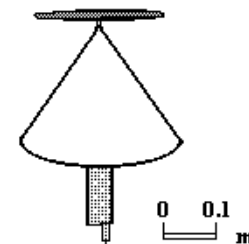
POLARIZZAZIONE LINEARE E CIRCOLARE



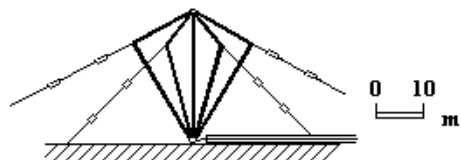
Dipolo



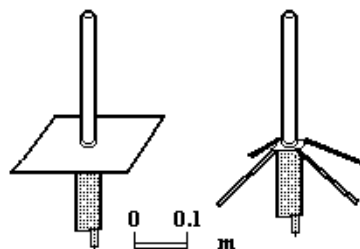
Biconica



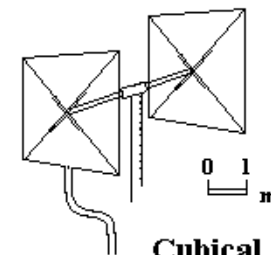
Discone



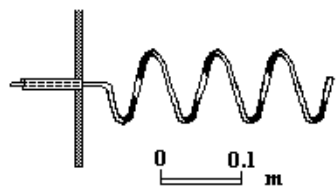
Marconi



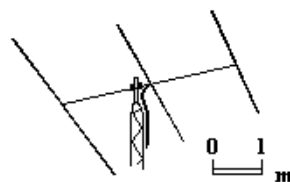
Ground Plane



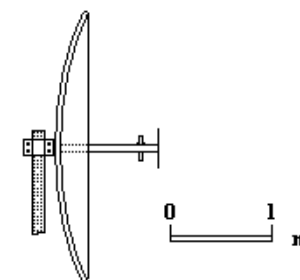
Cubical Quad



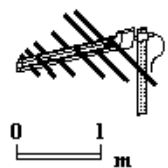
Elica



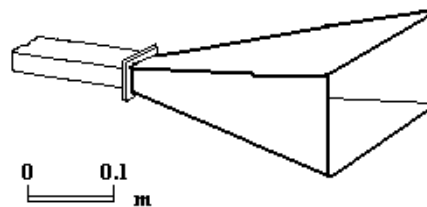
Yagi-Uda



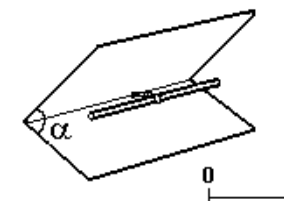
Parabolica



Log periodic



Tromba



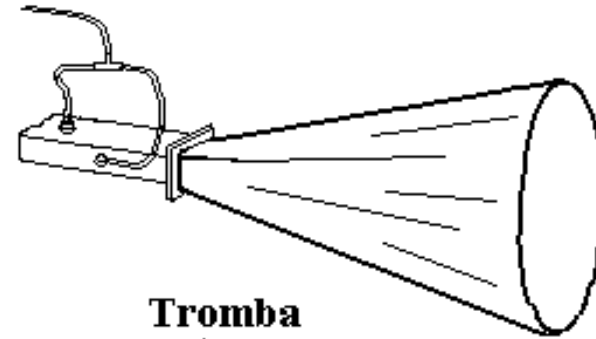
Corner reflector

ANTENNE

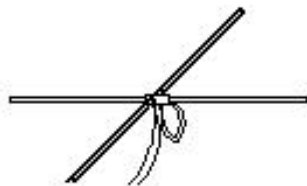
Polarizzazione circolare



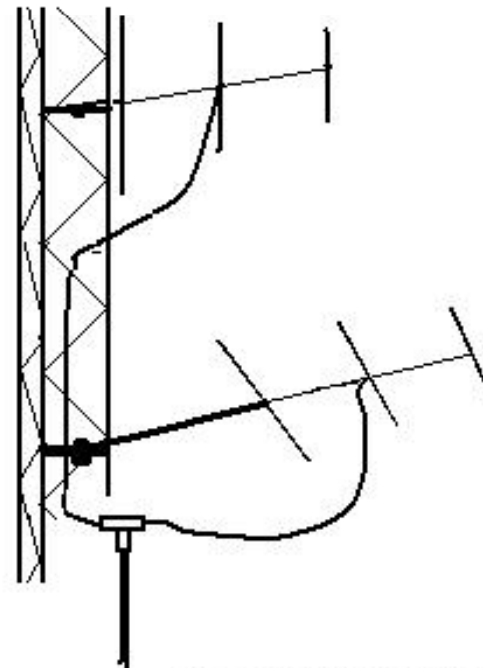
Elica



Tromba



**Turnstile
(Crossed Yagi)**



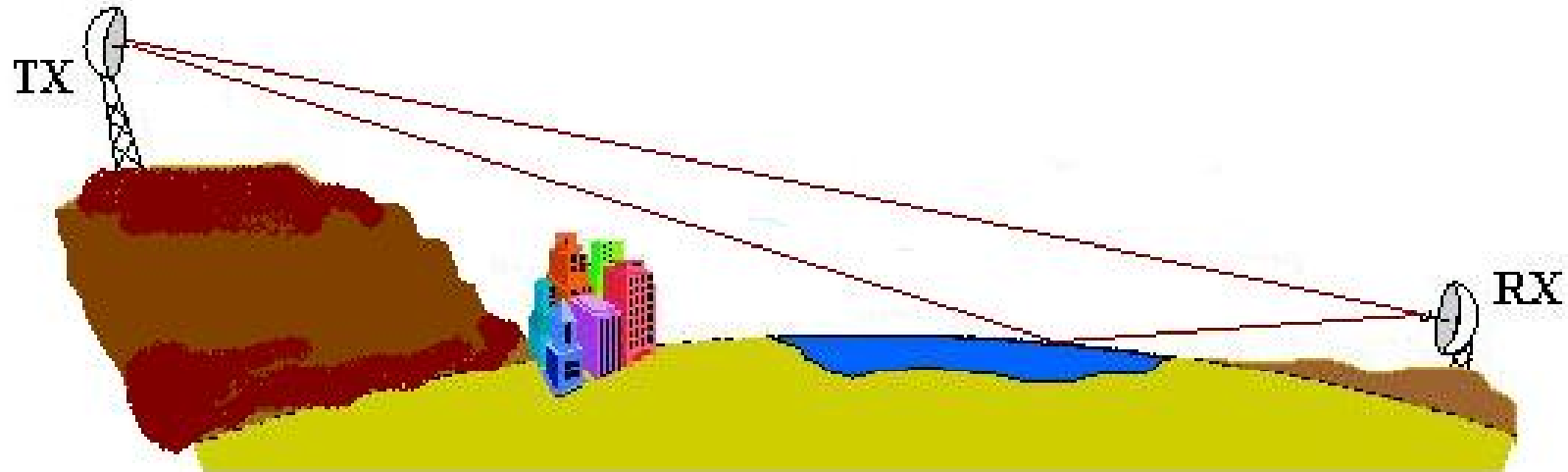
Dual offset yagis

ONDA ELETTROMAGNETICA

	polarizzazione lineare		polarizzazione circolare		
	H	V	RHCP	LHCP	
polarizzazione ANTENNA	orizzontale	0	∞	3	3
verticale	∞	0	3	3	3
circolare dx	3	3	0	∞	∞
circolare sx	3	3	∞	0	0

Attenuazione (in dB) da mismatching di polarizzazione

INTERFERENZA da RIFLESSIONE



Le due onde, diretta e riflessa, possono avere ampiezza abbastanza simile, ma fase differente. → **Interferenza costruttiva e distruttiva.** Sul mare, per la presenza delle maree, l'interferenza può cambiare nel tempo (il percorso "riflesso" cambia di lunghezza e, quindi di fase) e diviene riconoscibile il periodo "lungo" di circa 12 ore sull'ampiezza ricevuta.

Polarizzazione e riflessione

Un'onda polarizzata orizzontalmente oppure verticalmente si comporta in modo diverso nella riflessione.

La legge di Snell viene sempre rispettata: l'onda incidente e l'onda riflessa giacciono nello stesso piano e l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.

In prima approssimazione, un'onda polarizzata orizzontalmente subisce uno sfasamento di 180° rispetto alla fase dell'onda incidente nel punto di riflessione.

Il modulo del coefficiente di riflessione è sempre abbastanza grande.

Un'onda polarizzata verticalmente presenta un'ampia variazione del modulo del coefficiente di riflessione che è minimo per un angolo di incidenza detto angolo di Brewster. Ad angoli maggiori dell'angolo di Brewster lo sfasamento è minimo, ad angoli minori è prossimo a 180° ed all'angolo di Brewster è 90° .

Coefficiente di riflessione

Consideriamo l'effetto del terreno sulla propagazione dell'onda riflessa attraverso il coefficiente di riflessione definito come il rapporto tra l'ampiezza del campo elettrico dell'onda riflessa ed il campo elettrico dell'onda incidente. I coefficienti dipendono dall'angolo di incidenza e dalle caratteristiche fisiche del punto di riflessione (ϵ e μ): dipendono, poi, anche dal tipo di polarizzazione (orizzontale o verticale) e dalla frequenza. Esistono altre definizioni (per esempio prendendo in considerazione il campo magnetico).

I coefficienti di riflessione sono numeri complessi (hanno una parte reale ed una immaginaria e possono essere espressi in forma polare con modulo e fase).

Le equazioni di Maxwell e le condizioni al contorno (le ampiezze e fasi devono soddisfare la continuità delle componenti tangenziali di E e di H - teoremi di Gauss e di Stoke) portano alle equazioni di Fresnel che descrivono il comportamento delle onde sulla superficie di separazione tra due mezzi.

Nel caso ideale (superficie di separazione piana e onda incidente piana ed uniforme) l'onda riflessa si propaga in direzione speculare nello stesso piano di incidenza e l'onda rifratta soddisfa la legge di Snell.

Specialmente in ottica viene spesso usato il coefficiente di riflessione inteso, però, come rapporto tra le intensità (è il quadrato del precedente R e spesso definito, più propriamente, riflettività).

Nel caso di piano riflettente ideale perfettamente conduttore non si ha onda rifratta e l'ampiezza del raggio riflesso è uguale a quella del raggio incidente, con stessa fase se la polarizzazione è verticale oppure fase opposta se la polarizzazione è orizzontale.

In casi reali l'ampiezza del segnale riflesso è minore di quella del raggio incidente (parte dell'energia viene dispersa nel raggio trasmesso (rifratto)).

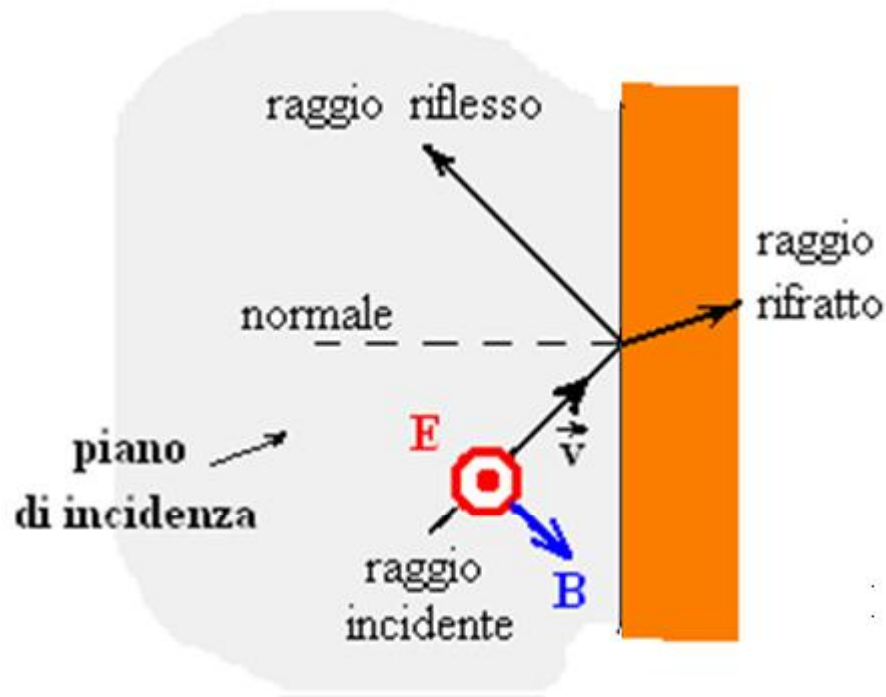
La correzione della fase (ai valori del caso ideale) è minima nel caso di polarizzazione orizzontale ma, per polarizzazione verticale, presenta importanti modificazioni con un minimo di riflessione ad un angolo di incidenza particolare (angolo di Brewster).

Proprietà elettromagnetiche dei suoli

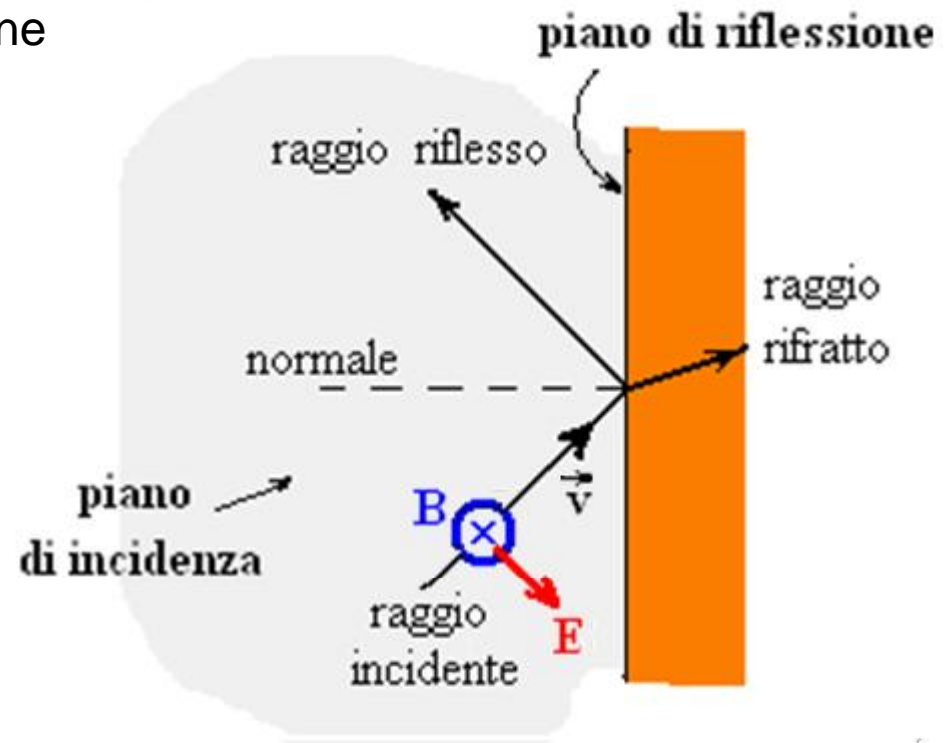
	Costante dielettrica relativa ϵ_r	Conducibilità σ [mho/m]
Acqua di mare	80	4
Acqua dolce	80	$10^{-2} \div 10^{-3}$
Terreno paludoso	30	10^{-2}
Terreno coltivato bagnato	24	0.6
Terreno coltivato secco	2	0.03
Terreno desertico	3	$7 \cdot 10^{-3}$

RIFLESSIONE SU MATERIALE POCO CONDUTTORE

Varie definizioni della polarizzazione



campo elettrico E normale
al piano di incidenza
(perpendicular polarization)
polarizzazione "S" (*Senkrecht*)
[polarizzazione orizzontale]
modo TE



campo elettrico E nel
piano di incidenza
(parallel polarization)
polarizzazione "P" (*Parallel*)
[polarizzazione verticale]
modo TM

EQUAZIONI DI FRESNEL

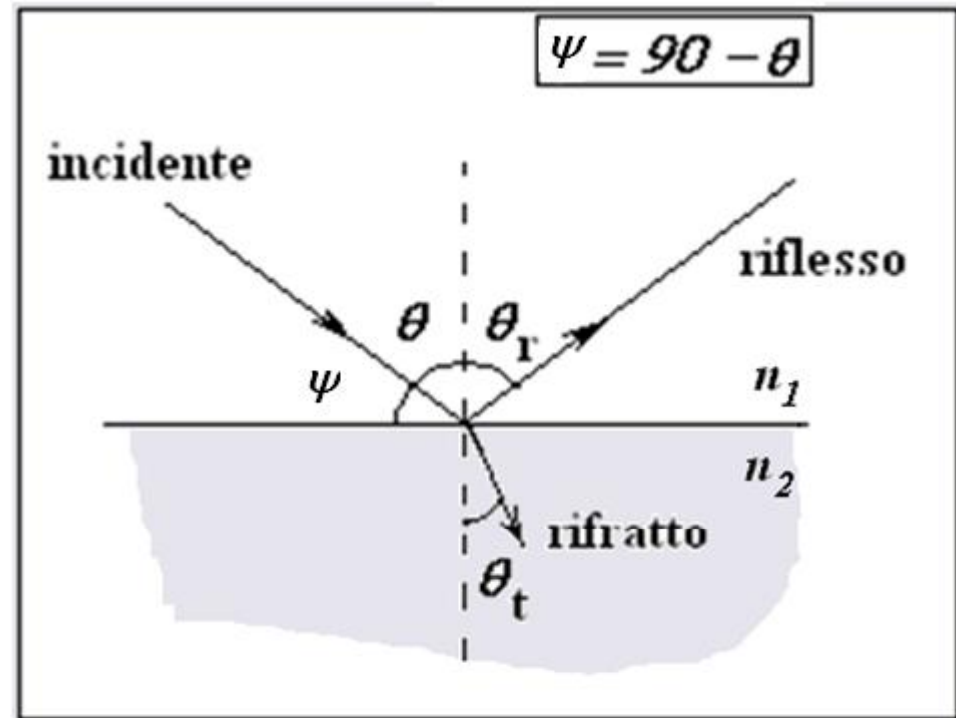
POLARIZZAZIONE ORIZZONTALE

Coefficiente di riflessione
Raggio riflesso

$$R(\theta) = \frac{\cos(\theta) - \sqrt{n^2 - \sin(\theta)^2}}{\cos(\theta) + \sqrt{n^2 - \sin(\theta)^2}}$$

Coefficiente di trasmissione
Raggio trasmesso (rifratto)

$$T(\theta) = \frac{2 \cdot \cos(\theta)}{\cos(\theta) + \sqrt{n^2 - \sin(\theta)^2}}$$



$$n \equiv \frac{n_{\text{trasmesso}}}{n_{\text{incidente}}} = \frac{n_2}{n_1}$$

EQUAZIONI DI FRESNEL

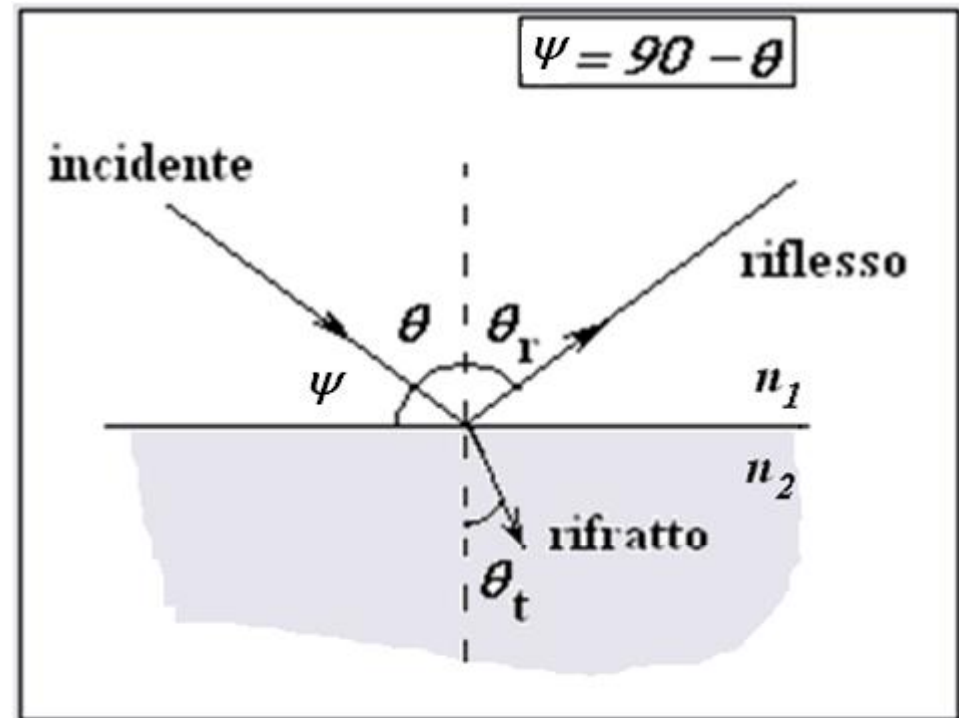
POLARIZZAZIONE VERTICALE

Coefficiente di riflessione
Raggio riflesso

$$R(\theta) = \frac{-n^2 \cos(\theta) + \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}}{n^2 \cos(\theta) + \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}}$$

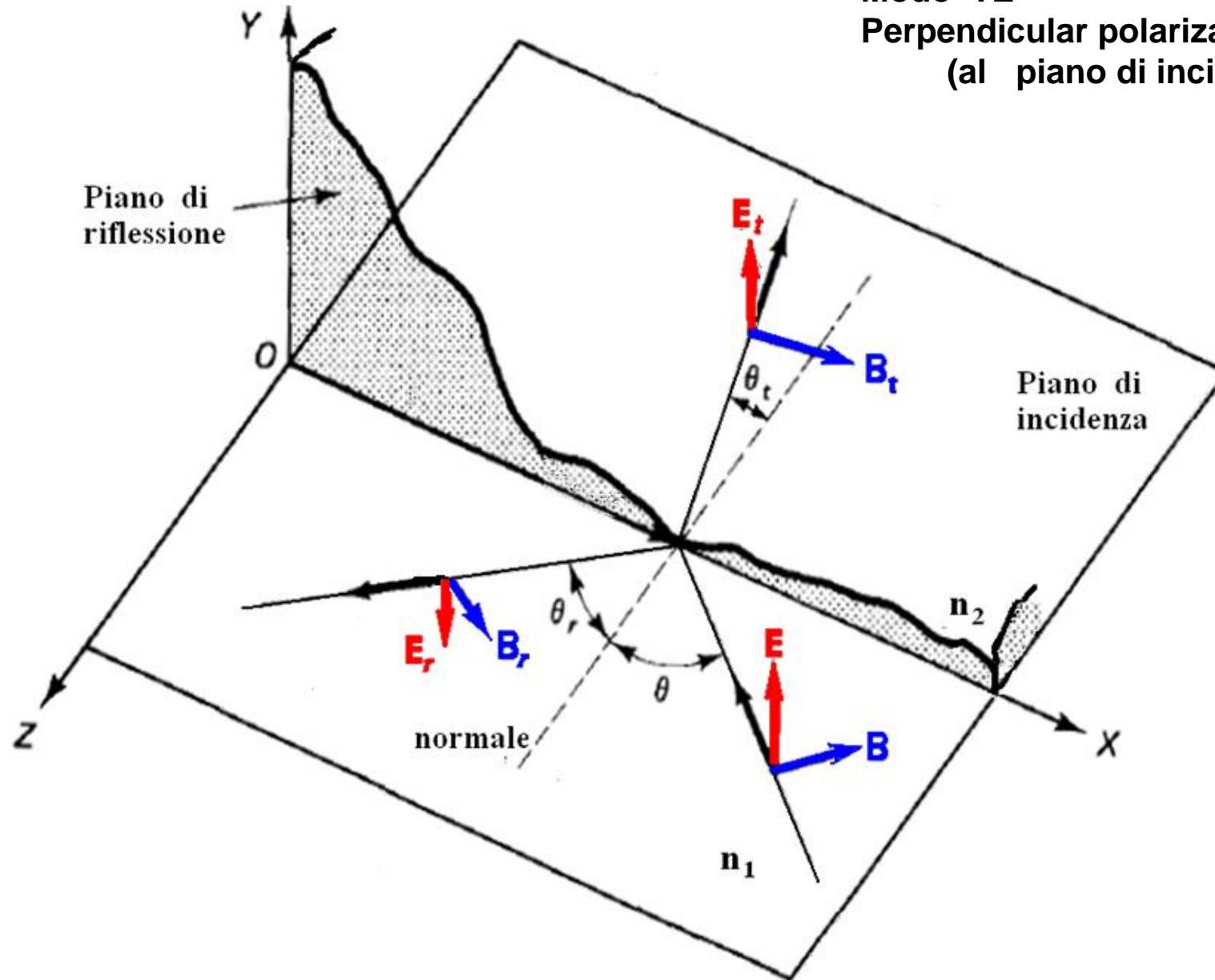
Coefficiente di trasmissione
Raggio trasmesso (rifratto)

$$T(\theta) = \frac{2n \cdot \cos(\theta)}{n^2 \cos(\theta) + \sqrt{n^2 - \sin^2(\theta)}}$$

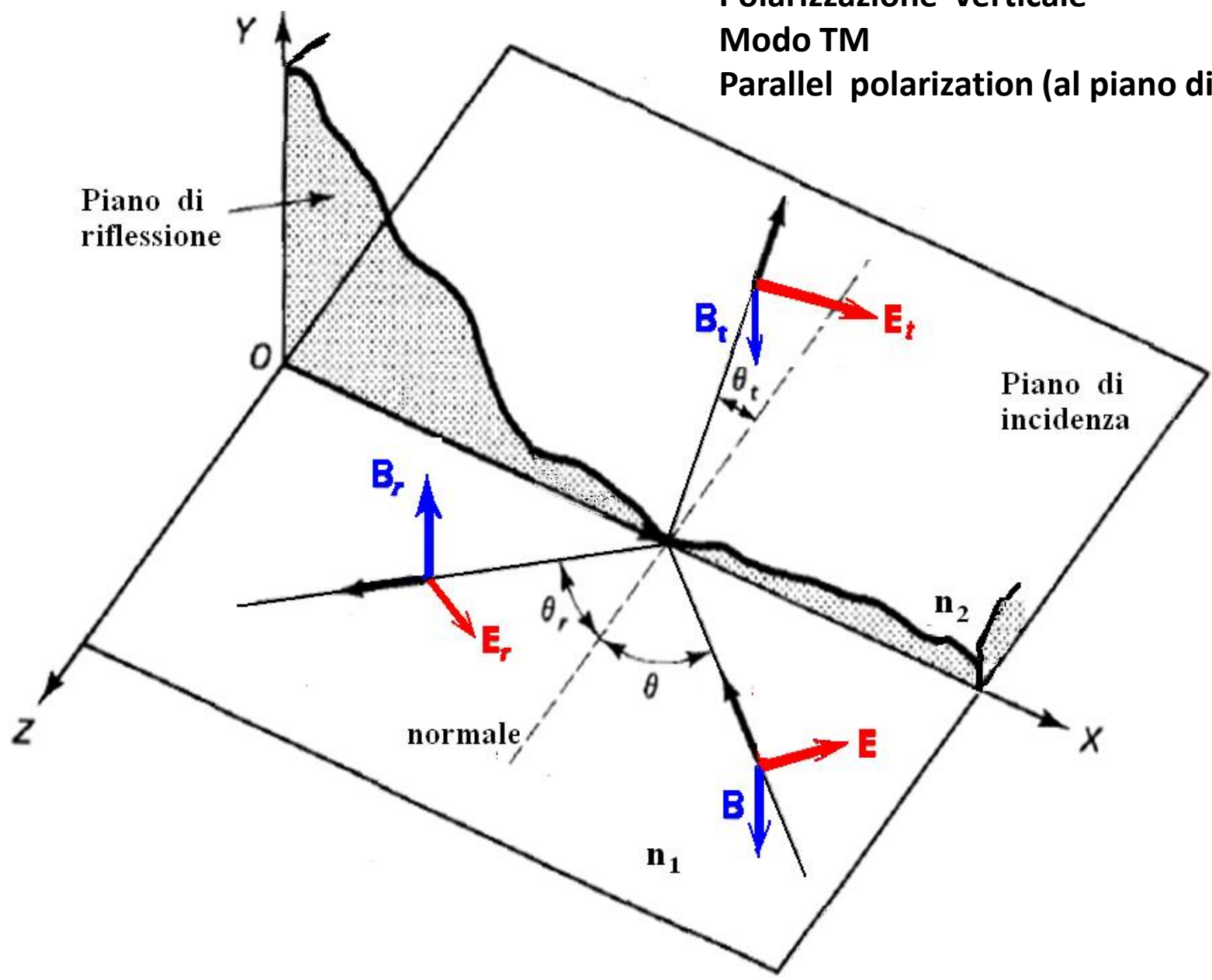


$$n \equiv \frac{n_{\text{trasmesso}}}{n_{\text{incidente}}} = \frac{n_2}{n_1}$$

Polarizzazione orizzontale
Modo TE
Perpendicular polarization
(al piano di incidenza)



Polarizzazione verticale
Modo TM
Parallel polarization (al piano di incidenza)



Piano di riflessione

Piano di incidenza

normale

n_1

n_2

Y

Z

X

O

B_r

E_r

θ_r

θ

B

E

B_t

E_t

θ_t

RIFLESSIONE su SUPERFICIE CONDUTTRICE

Se la superficie di incidenza è conduttrice, il campo elettrico E dell'onda incidente induce una corrente sulla stessa superficie e così fa il campo elettrico dell'onda riflessa. Nel caso ideale di conducibilità infinita, la corrente indotta diverrebbe infinita; ciò, evidentemente, non è possibile.

Il campo elettrico E dell'onda riflessa deve essere, infatti, uguale e di fase opposta al campo elettrico dell'onda incidente così che la corrente totale indotta sulla superficie è nulla.

Essendo la superficie conduttrice, non c'è raggio rifratto.

Quando un'onda subisce una riflessione, il vettore di Poynting associato cambia di direzione e, necessariamente, o il vettore E o il vettore H deve pure cambiare direzione.

In questo caso di superficie conduttrice, il vettore E cambia di fase (180°) ed il vettore B no.

FADING DA INTERFERENZA ecc...

Se il segnale giunge all'antenna ricevente , oltre che per via diretta, anche per altre vie , si creano differenze di fase tra le tensioni indotte sull'antenna ricevente dalle varie onde che arrivano da percorsi di diversa lunghezza.

A seconda dell'ampiezza e fase di queste tensioni ha luogo un più o meno evidente affievolimento o fading da interferenza.

La propagazione attraverso più vie può essere dovuta a riflessioni su superfici verticali (edifici) o su superfici lisce orizzontali (specchi d'acqua) oltre che a molteplici percorsi per via troposferica.

Per ridurre il fading da interferenza, molto utile è la ricezione in diversità (diversity)

Condizioni alla superficie

Sulla superficie di confine tra i due mezzi (piano x-y) le componenti tangenziali delle onde contemporaneamente presenti devono essere uguali su entrambi i lati della superficie di confine.

Se \vec{n} è la normale alla superficie, deve essere:

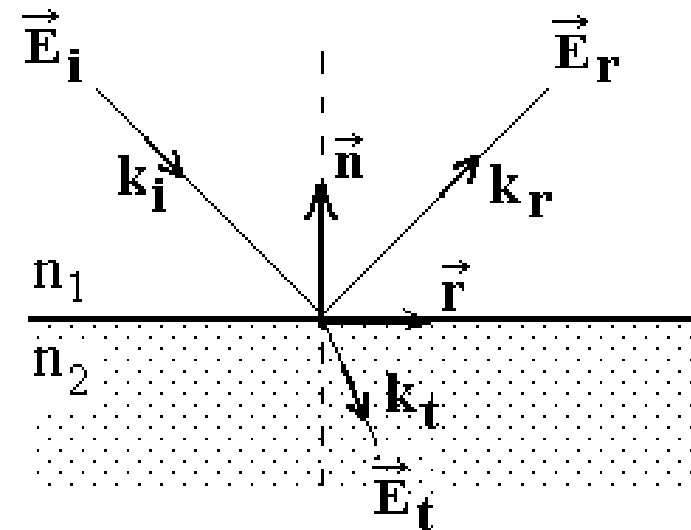
$$\vec{n} \times \vec{E}_i + \vec{n} \times \vec{E}_r = \vec{n} \times \vec{E}_t$$

$$\vec{k}_i \times \vec{r} = \vec{k}_r \times \vec{r} = \vec{k}_t \times \vec{r}$$

$$|\vec{k}_i| = n_1 k_0$$

$$|\vec{k}_r| = n_1 k_0$$

$$|\vec{k}_t| = n_2 k_0$$



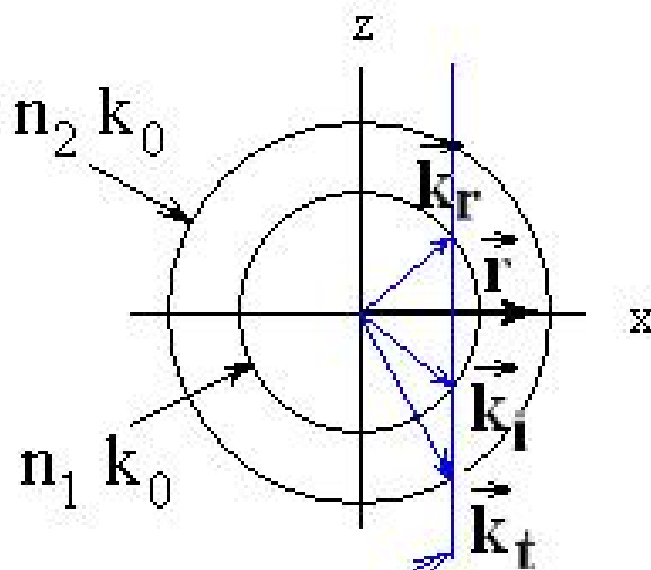
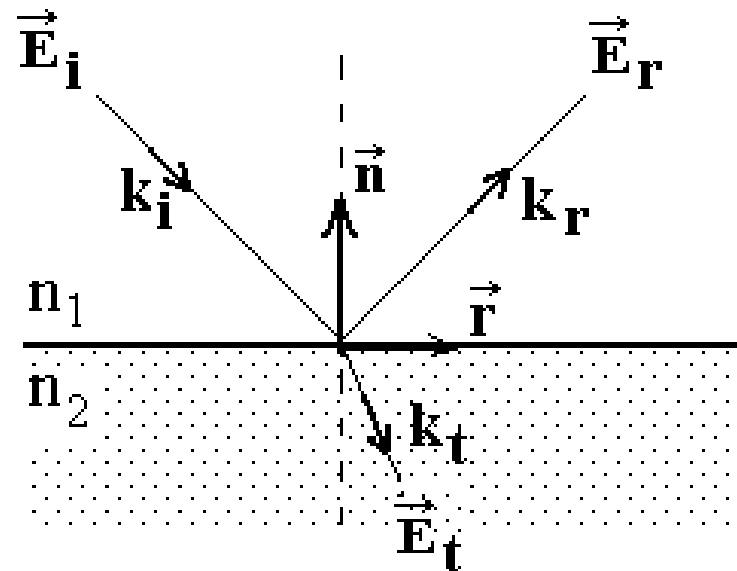
$\vec{k}_i, \vec{k}_r, \vec{k}_t$ giacciono nel piano di incidenza

$$|\vec{k}_i| = n_1 k_0$$

Condizioni alla superficie

$$|\vec{k}_r| = n_1 k_0$$

$$|\vec{k}_t| = n_2 k_0$$



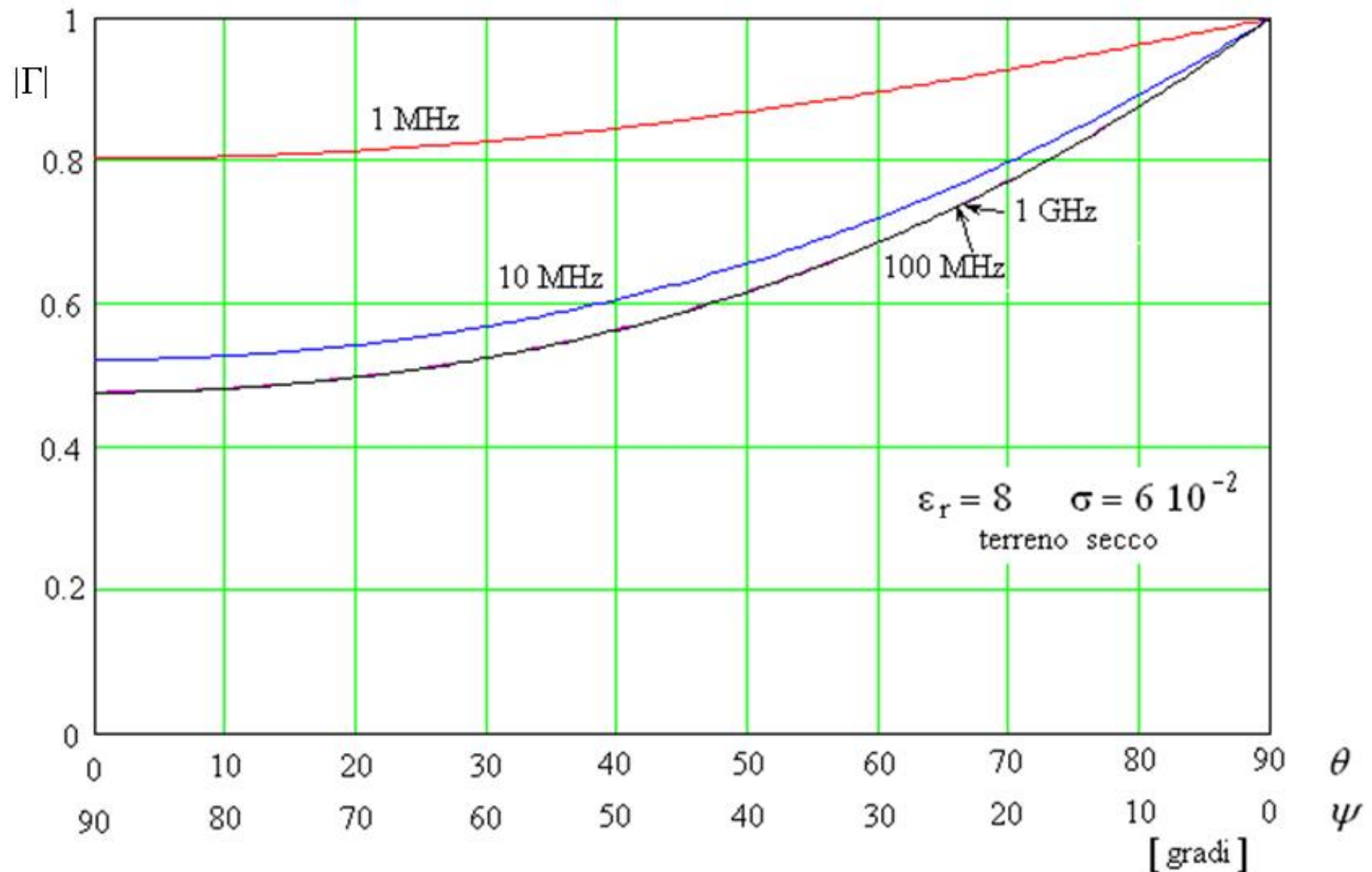
**piano normale al
piano di incidenza**

Nel caso di propagazione radio ionosferica o troposferica il primo mezzo in cui si propaga l'onda è l'atmosfera ($\epsilon_r = 1$, $\sigma = 0$, $\mu_r = 1$) mentre il secondo mezzo può essere il terreno, superficie marina, o ambiente antropizzato.

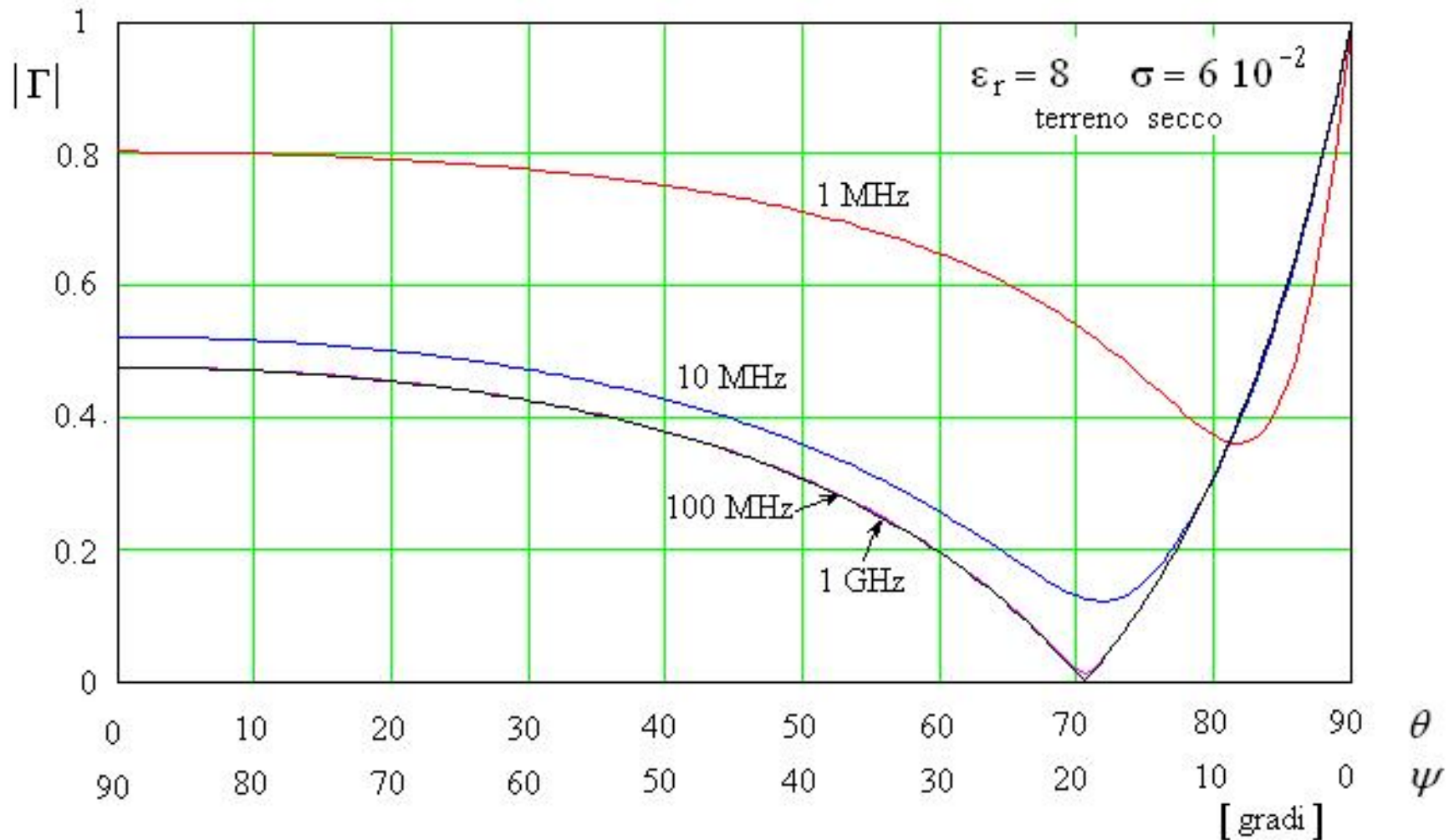
Il coefficiente di riflessione è una quantità complessa il cui valore dipende dalle proprietà dei due mezzi sulla cui superficie di separazione avviene la riflessione (e rifrazione), dalla rugosità della superficie, dalla frequenza di lavoro , dalla polarizzazione dell'onda e dall'angolo di incidenza.

Proprietà elettromagnetiche dei suoli

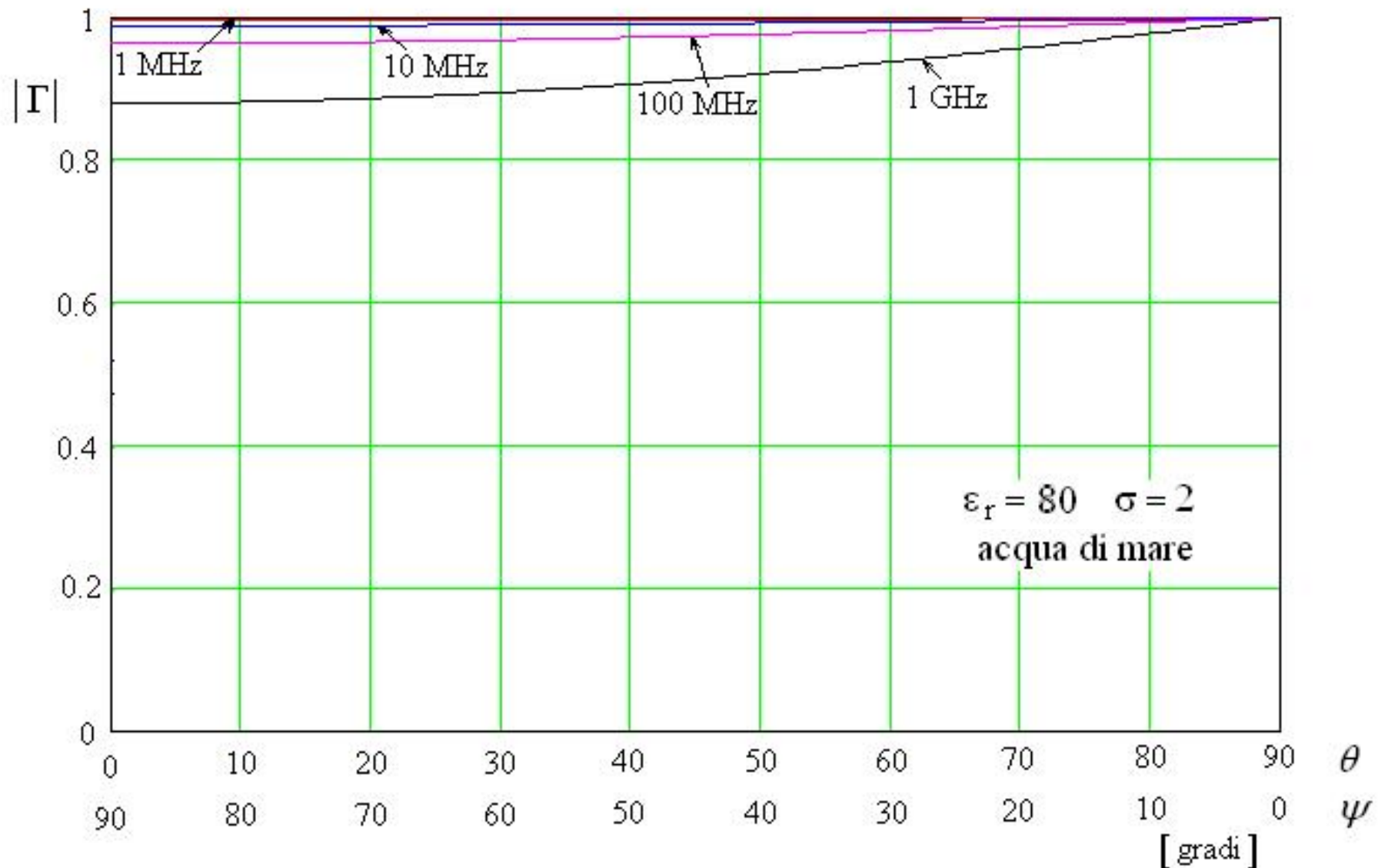
	Costante dielettrica relativa ϵ_r	Conducibilità σ [mho/m]
Acqua di mare	80	4
Acqua dolce	80	$10^{-2} \div 10^{-3}$
Terreno paludoso	30	10^{-2}
Terreno coltivato bagnato	24	0.6
Terreno coltivato secco	2	0.03
Terreno desertico	3	$7 \cdot 10^{-3}$



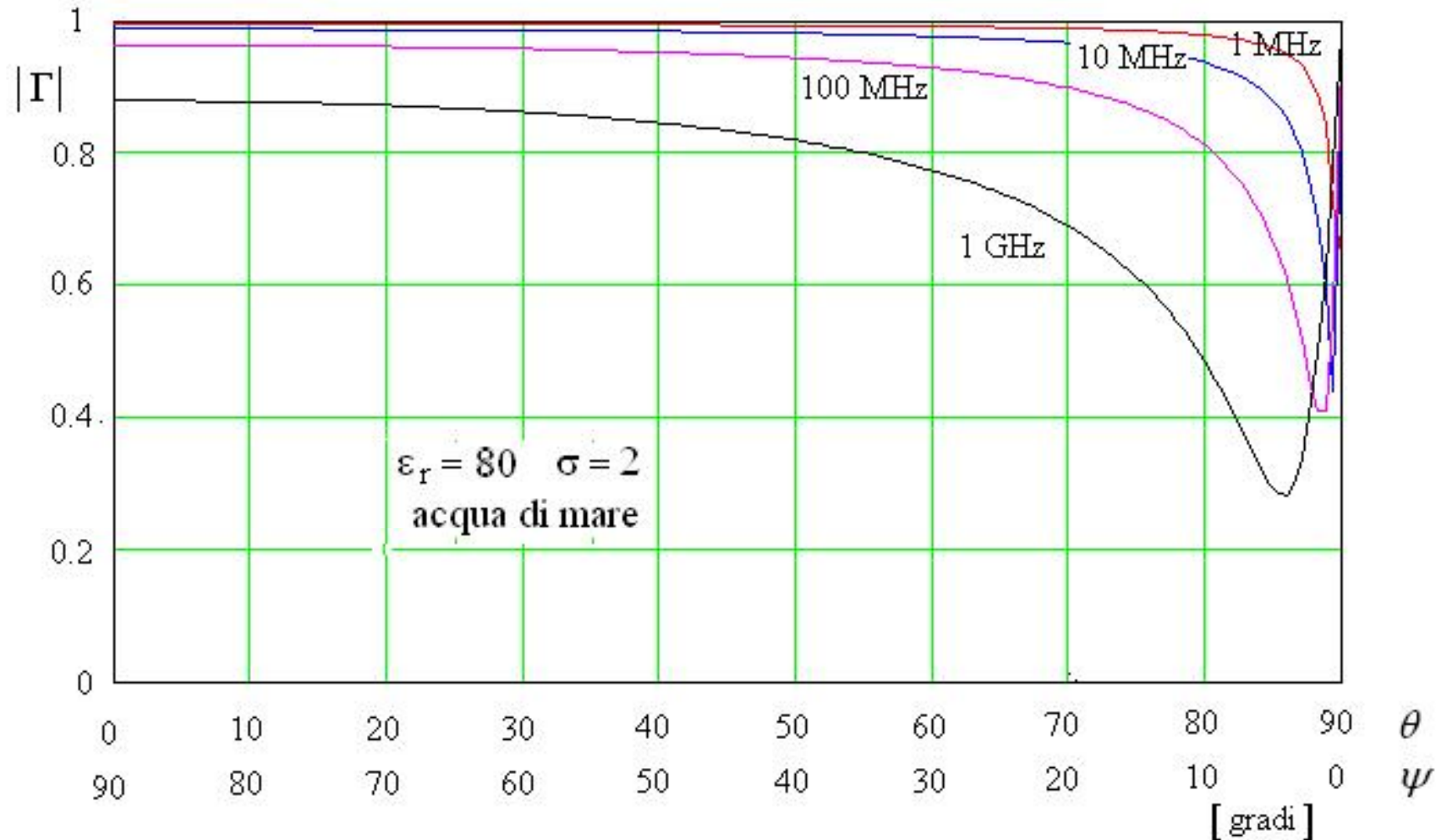
POLARIZZAZIONE ORIZZONTALE (Polarizzazione perpendicolare al piano di incidenza). Modulo del coefficiente di riflessione in funzione dell'angolo di incidenza q (e dell'angolo di radenza $\psi = 90 - q$) per alcune frequenze di lavoro, per terreno secco e non rugoso (riferito alla lunghezza d'onda).



POLARIZZAZIONE VERTICALE (Polarizzazione parallela al piano di incidenza).
 Modulo del coefficiente di riflessione in funzione dell'angolo di incidenza q
 (e dell'angolo di radenza $\psi = 90 - q$) per alcune frequenze di lavoro, per terreno
 secco e non rugoso (riferito alla lunghezza d'onda).



POLARIZZAZIONE ORIZZONTALE (Polarizzazione perpendicolare al piano di incidenza). Modulo del coefficiente di riflessione in funzione dell'angolo di incidenza q (e dell'angolo di radenza $\psi = 90 - q$) per alcune frequenze di lavoro, per riflessione su superficie marina non increspata (riferito alla lunghezza d'onda).



POLARIZZAZIONE VERTICALE (Polarizzazione parallela al piano di incidenza).

Modulo del coefficiente di riflessione in funzione dell'angolo di incidenza q (e dell'angolo di radenza $\psi = 90 - q$) per alcune frequenze di lavoro, per riflessione su superficie marina non increspata (riferito alla lunghezza d'onda).

INCIDENZA NORMALE ($q = 0$)

Si osserva dai grafici o dalle stesse equazioni di Fresnel che quando l'onda incidente è normale al piano di riflessione ($q = 0$) le due polarizzazioni che può avere l'onda non si distinguono più ed il coefficiente di riflessione diviene unico, sia per polarizzazione orizzontale sia verticale.

Il suo valore dipende solo dal valore di ε (in generale, complesso), ovvero dalle caratteristiche fisiche del mezzo riflettente in funzione della frequenza:

$$R(0) = \frac{1 - \sqrt{\varepsilon}}{1 + \sqrt{\varepsilon}} \quad \text{con} \quad \varepsilon = \varepsilon_r - i \frac{\sigma}{\omega}$$

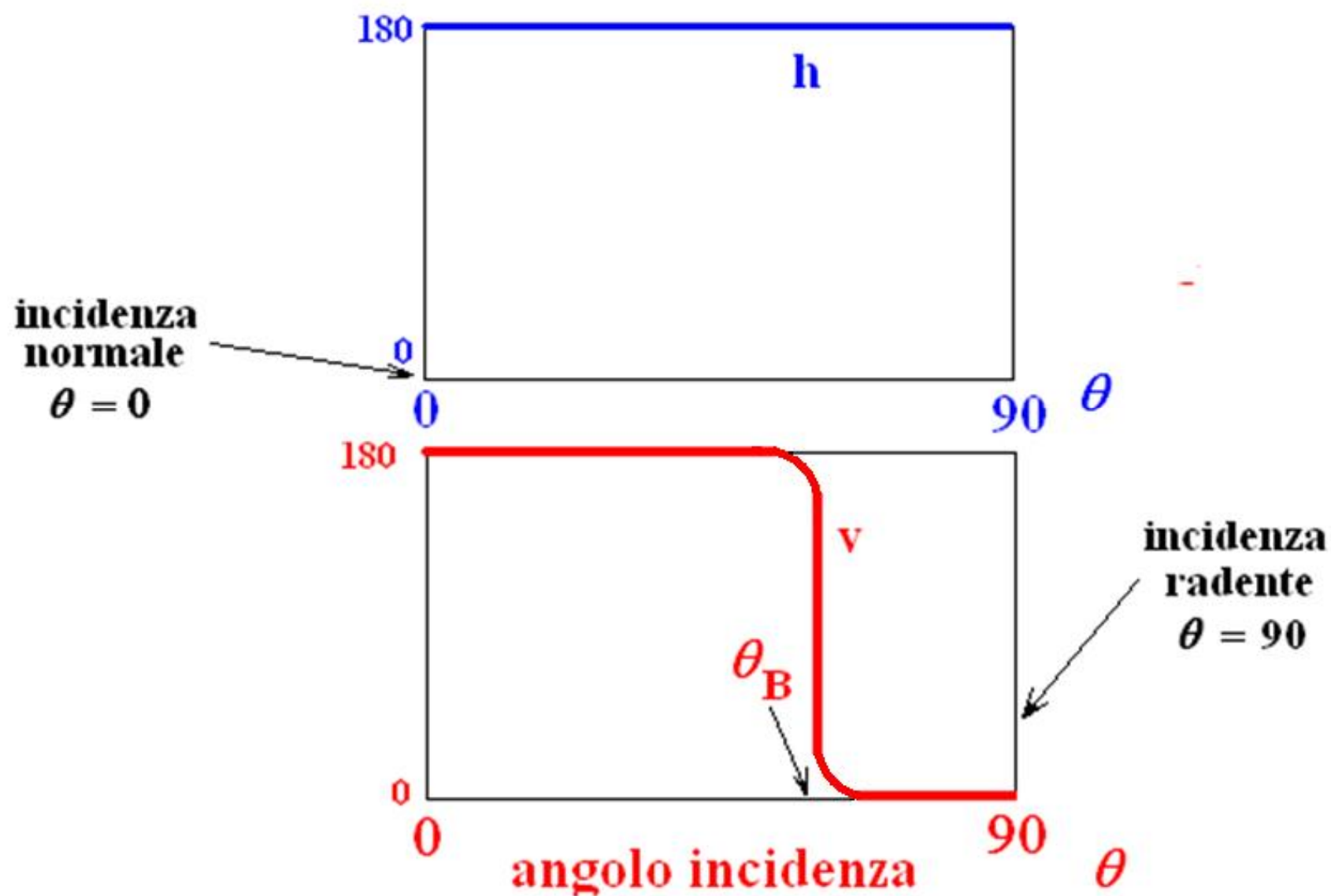
Nel caso particolare di superficie riflettente ideale ($s = \infty$) si ha :

$$R(0) = -1 \quad T(0) = 0 \quad (\text{riflessione al } 100 \% \text{ con sfasamento di } 180^\circ \text{ e coefficiente di trasmissione nel mezzo nullo})$$

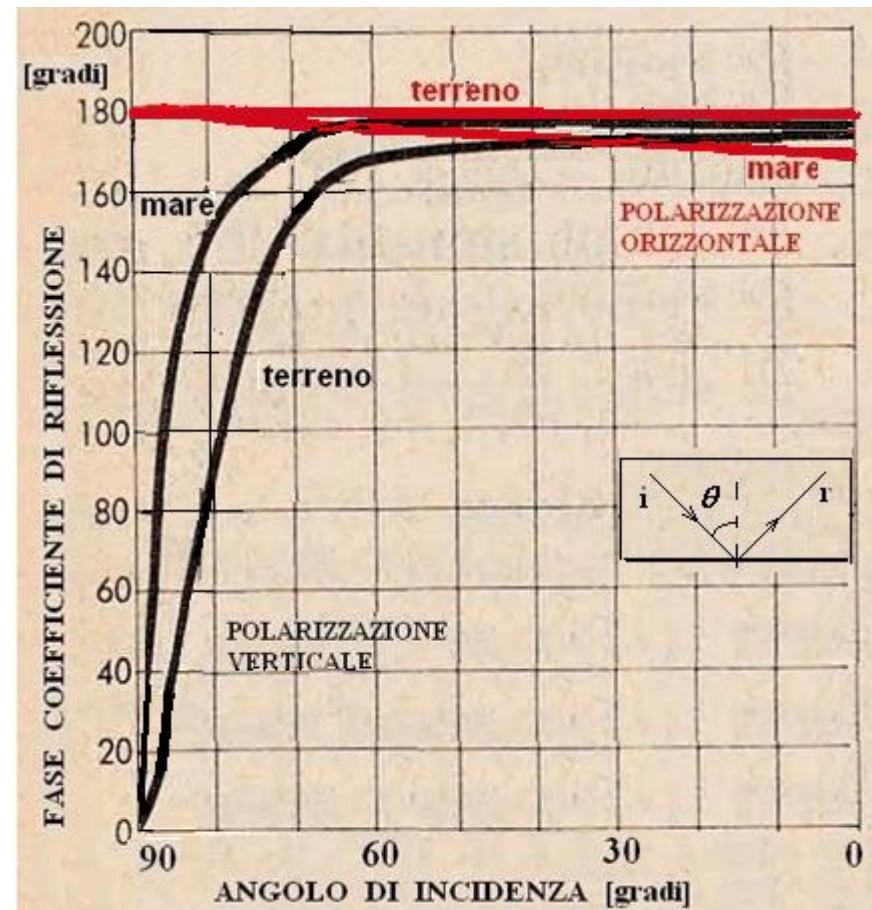
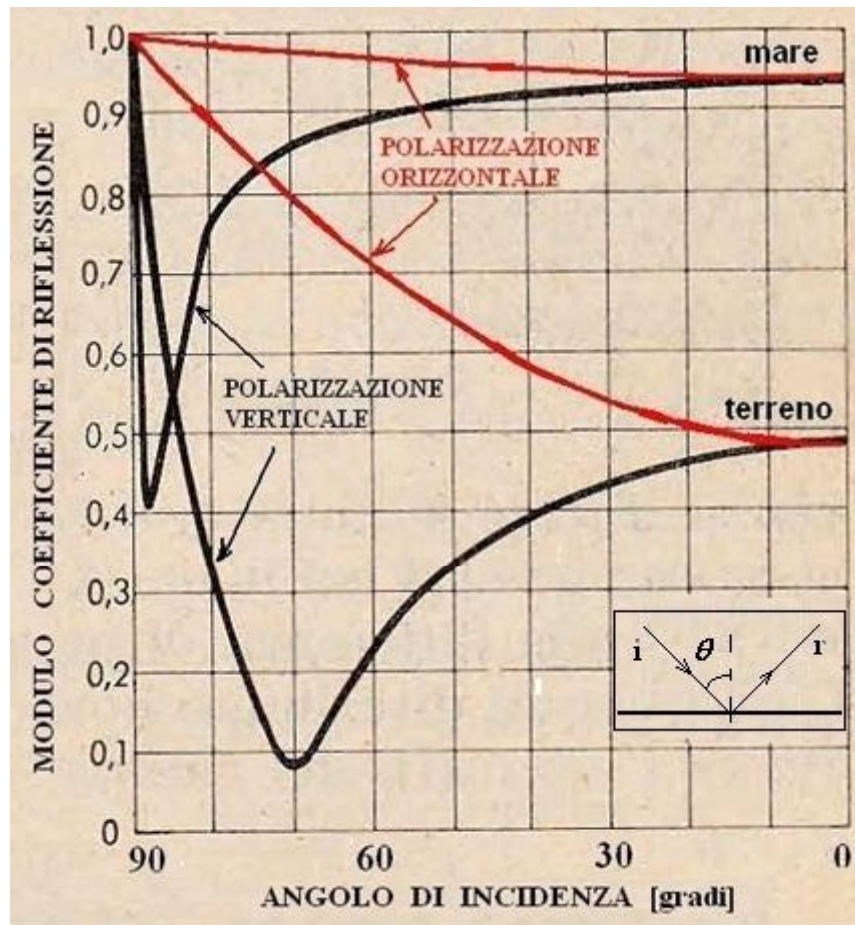
Nel caso particolare di mezzo riflettente dielettrico senza perdite ($\sigma = 0$) si ha:

$$R(0) = \frac{1 - \sqrt{\varepsilon_r}}{1 + \sqrt{\varepsilon_r}} \quad (\text{Il coefficiente di riflessione } R \text{ dipende solo dalla costante dielettrica del mezzo riflettente})$$

Schematizzazione sfasamenti nella riflessione, $n_2 > n_1$



Coefficiente di riflessione



Il coefficiente di riflessione (modulo e fase) dipende dalle caratteristiche fisiche del punto di riflessione (costante dielettrica, conducibilità), dalla polarizzazione dell'onda e dalla frequenza. E' riportato un esempio.

ANGOLO DI BREWSTER

In caso di polarizzazione orizzontale l'onda riflessa subisce uno sfasamento sempre prossimo a 180 gradi rispetto all'onda incidente. Per Diversamente, in caso di polarizzazione verticale, l'onda riflessa presenta comportamento molto singolare: presenta un minimo, a volte anche molto pronunciato, in caso di incidenza ad un particolare angolo θ_B (angolo di Brewster). A questo angolo, l'onda riflessa è sfasata di 90 gradi rispetto all'onda incidente. L'angolo di Brewster, dove avvengono questi fenomeni, è legato all'indice di rifrazione dei due mezzi ; se il primo mezzo è l'aria ($n_1= 1$), viene a dipendere solo dalle caratteristiche del suolo (terreno o superficie marina).

$$\theta_B = \text{atan} \frac{n_2}{n_1}$$

$$\theta_B = \text{atan} n_2$$

$(n_1 = 1)$

Per un'onda di generica polarizzazione che incida su una superficie con angolo di Brewster, ne emergerà un'onda riflessa che sarà polarizzata orizzontalmente ; la direzione dell'onda rifratta è tale da formare un angolo di 90° con la direzione dell'onda riflessa.

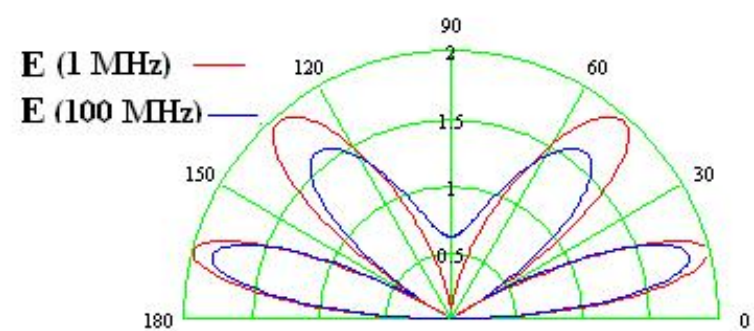
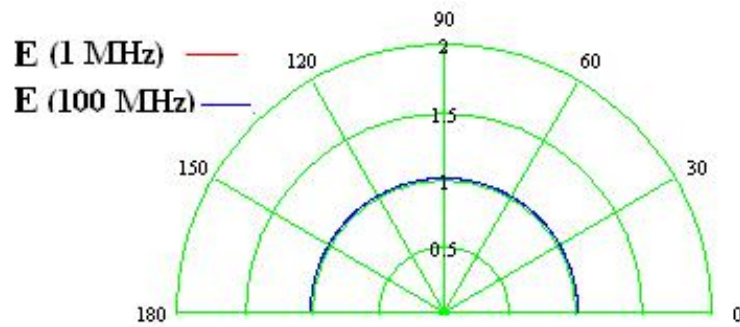
Conclusioni:

Un'onda polarizzata orizzontalmente che incide su una superficie piana riemerge dal punto di riflessione con un'onda di ampiezza elevata che aumenta sino ad essere praticamente uguale a quella incidente per incidenza radente.

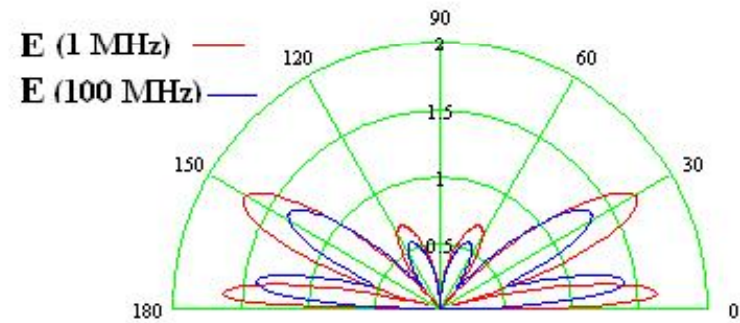
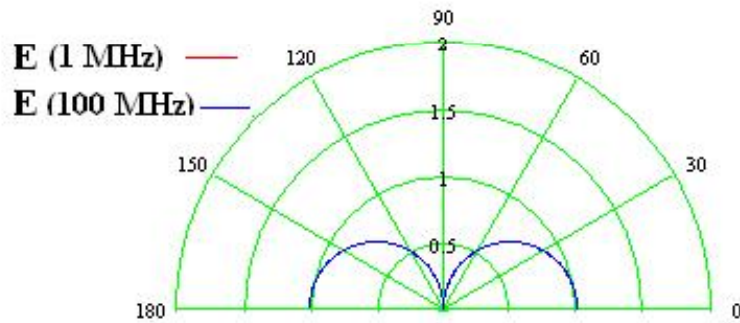
Il coefficiente di riflessione, in modulo, è sempre grande (prossimo a 1 per incidenza radente e con sfasamento iniziale prossimo a 180 gradi); questo non solo su superficie perfettamente conduttrice, o su superficie del mare, ma anche su terreni ordinari. Aumentando la frequenza il coefficiente di riflessione diminuisce leggermente in modulo.

Questo comporta che si è sempre in presenza di due percorsi per il segnale ricevuto /trasmesso: un'onda diretta ed un'onda riflessa che (a parte lo sfasamento di 180 gradi per la riflessione) presenteranno fenomeni di interferenza vistosi. I due cammini sono diversi e basta uno spostamento anche lieve (legato alla lunghezza d'onda) che si potrà avere interferenza costruttiva o distruttiva. L'interferenza costruttiva può arrivare sino a + 6 dB, ma l'interferenza distruttiva può portare a profonde attenuazioni del segnale! Per scopi radioamatoriali può essere conveniente sfruttare questo "guadagno" da riflessione, ma bisogna andarselo a cercare, magari cambiando l'altezza dell'antenna. Oppure aspettando il momento buono se c'è movimento (per esempio nel Moonbounce con la Luna all'orizzonte, anche se di fronte ad aumento del noise) . Questi effetti possono essere molto stressanti per l'operatore.....

L'onda polarizzata verticalmente , tranne il caso di superficie perfettamente riflettente, presenta normalmente un minimo vistoso ad un certo angolo di incidenza (angolo di Brewster). Per tale angolo non c'è quasi riflessione ed il sistema di trasmissione vede solo un'onda diretta. Tale angolo è legato fortemente al tipo di terreno dove avviene la riflessione, oltre che alla frequenza di lavoro. Fuori da tale angolo la ampiezza della riflessione è molto ridotta e così il fenomeno dell'interferenza. Il sistema è più tranquillo e sicuro, adatto a servizi fissi. Lo sfasamento iniziale dell'onda riflessa rispetto a quella incidente è sempre di 180 gradi solo per incidenza normale. In questo caso, sia l'onda polarizzata orizzontalmente, sia l'onda polarizzata verticalmente presentano il vettore campo elettrico parallelo al piano di riflessione e, di conseguenza, il coefficiente di riflessione è uguale per le due polarizzazioni. E' un modo per avere informazioni sulla natura del terreno (costante dielettrica e conducibilità). Solo per la polarizzazione verticale, aumentando l'angolo di incidenza, si passa dall'angolo di Brewster (dove lo sfasamento si riduce a soli 90 gradi) e per angoli di incidenza più elevati (onde "radenti" la superficie) lo sfasamento si annulla. All'aumentare della conducibilità del terreno il valore dell'angolo di Brewster aumenta e, per superficie perfettamente conduttrice, tende a zero (in pratica non lo si osserva per niente).

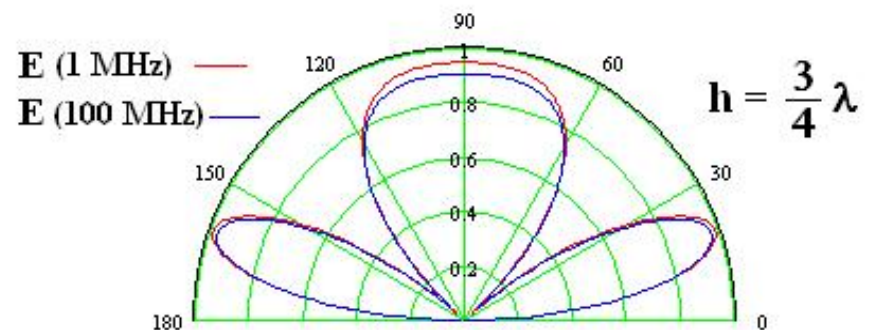
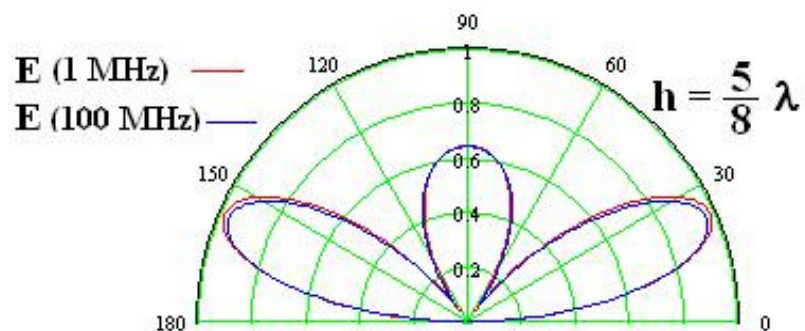
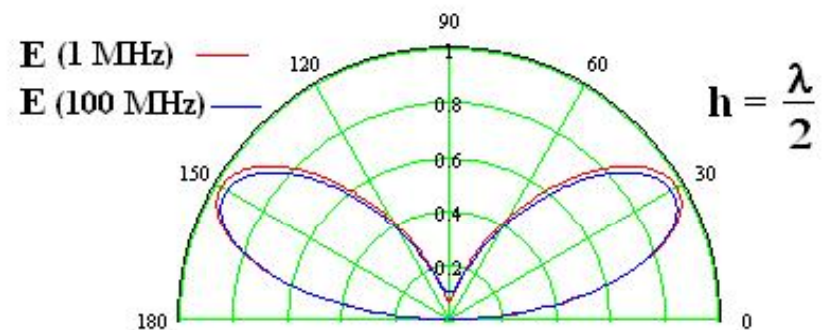
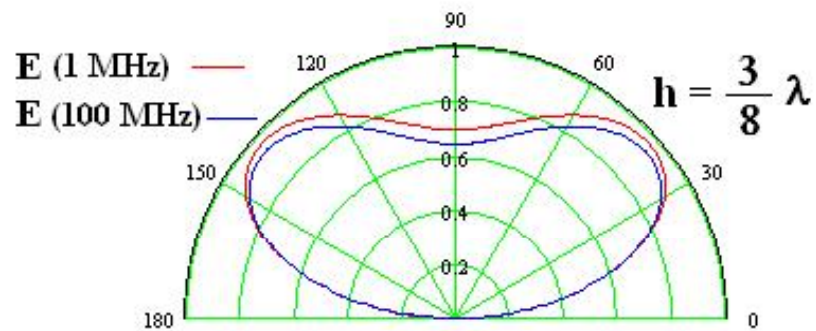
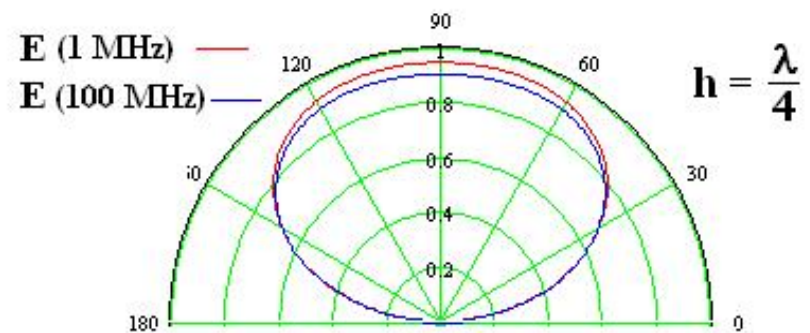
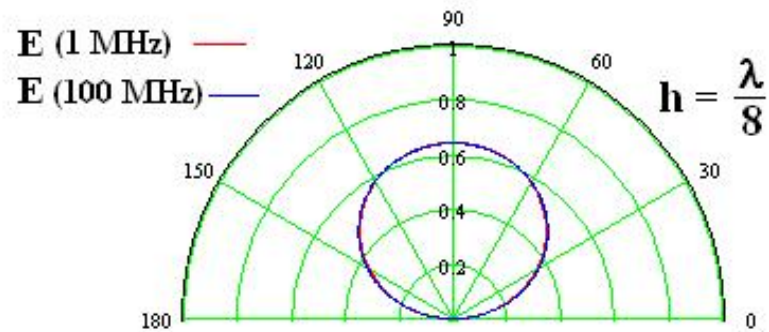


Polarizzazione orizzontale

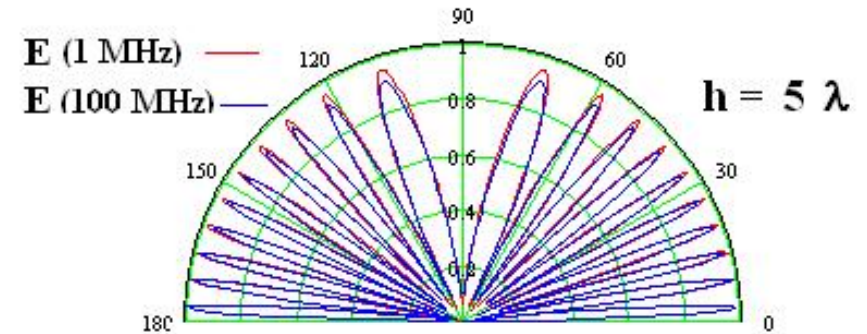
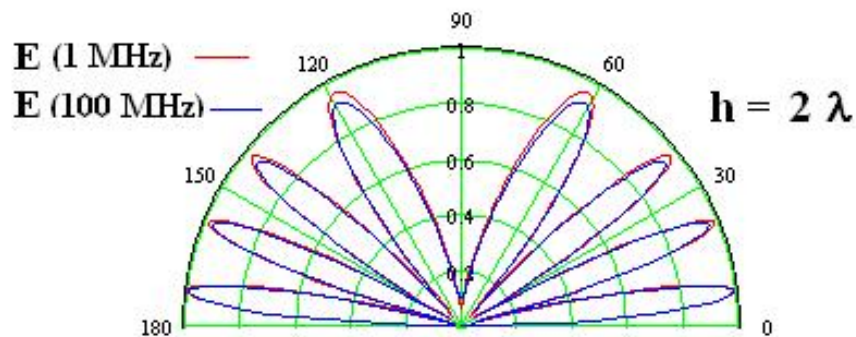
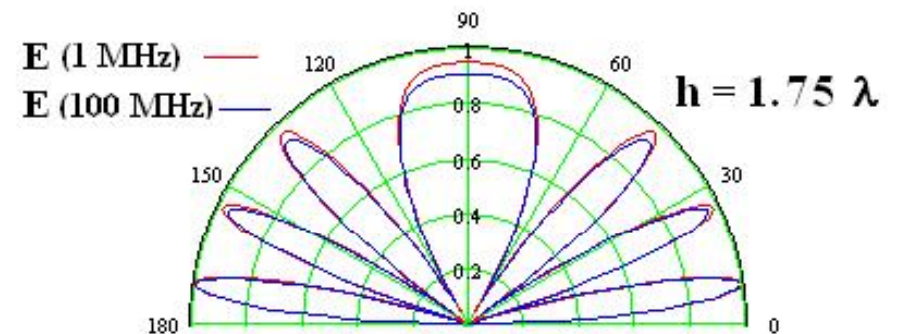
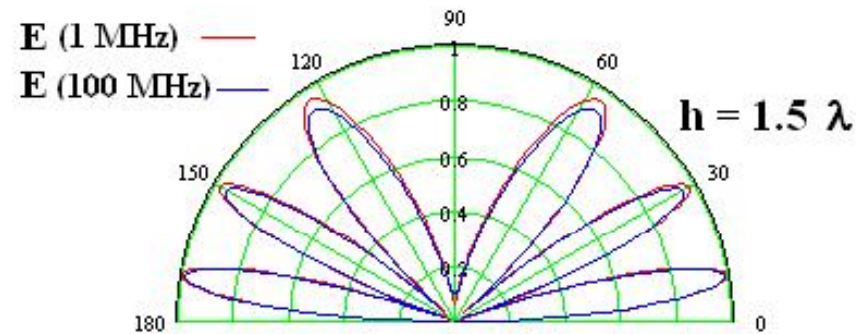
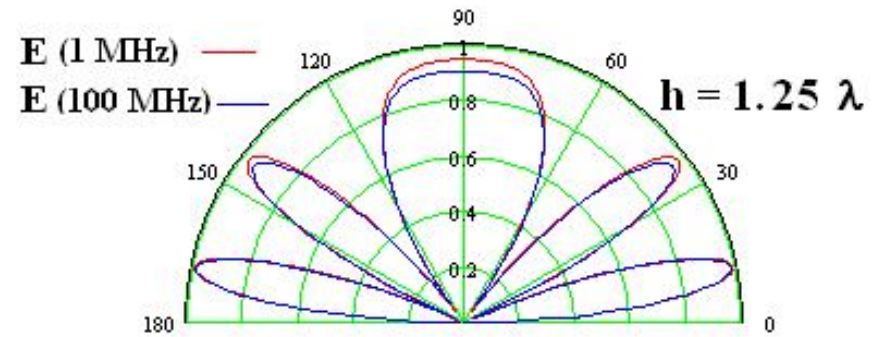
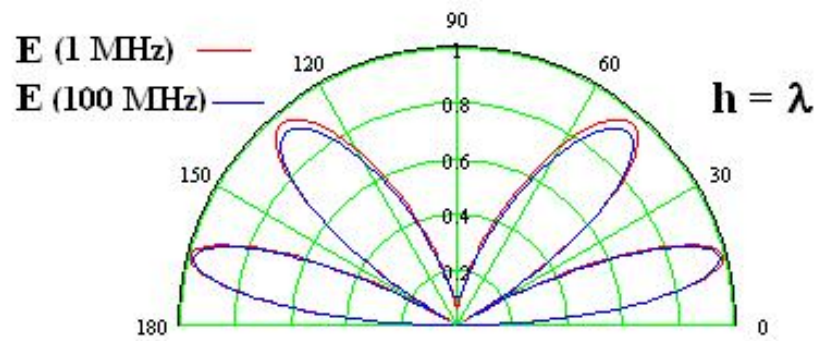


Polarizzazione verticale

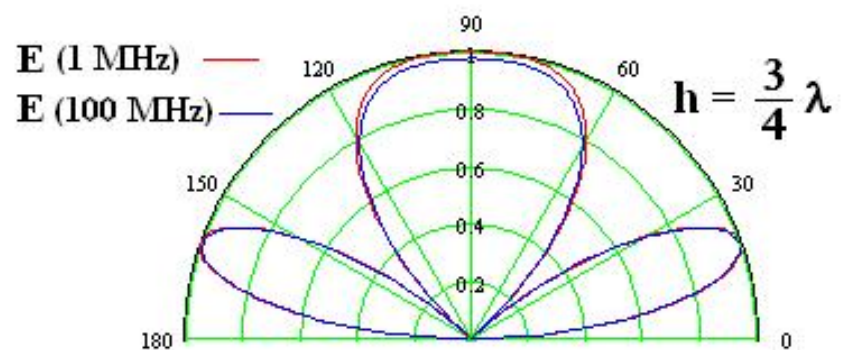
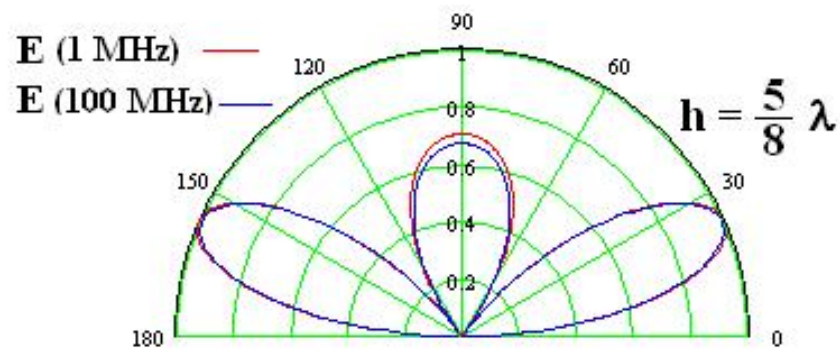
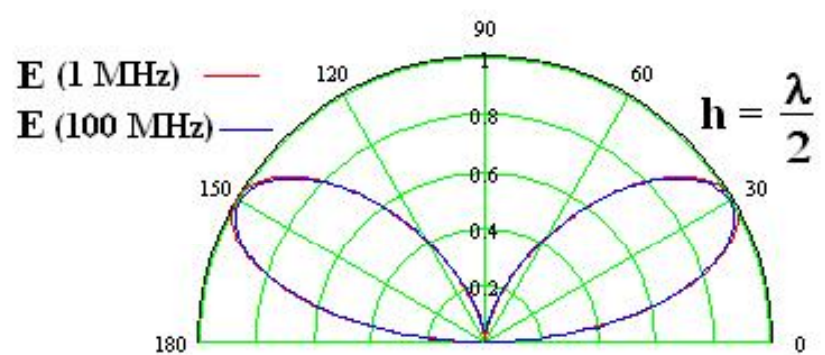
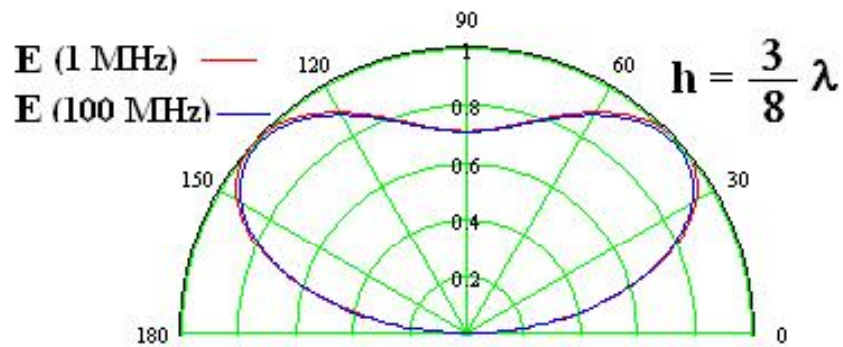
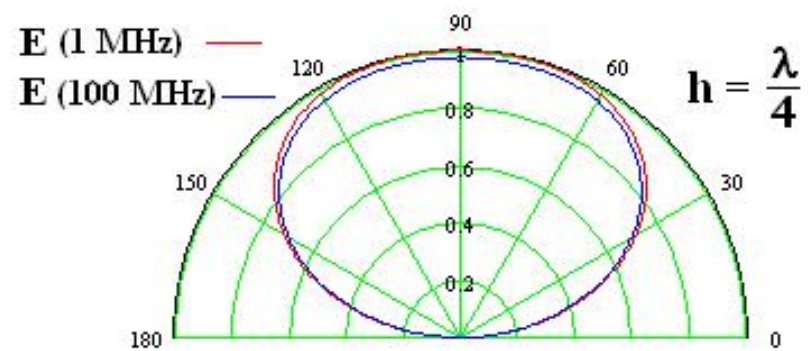
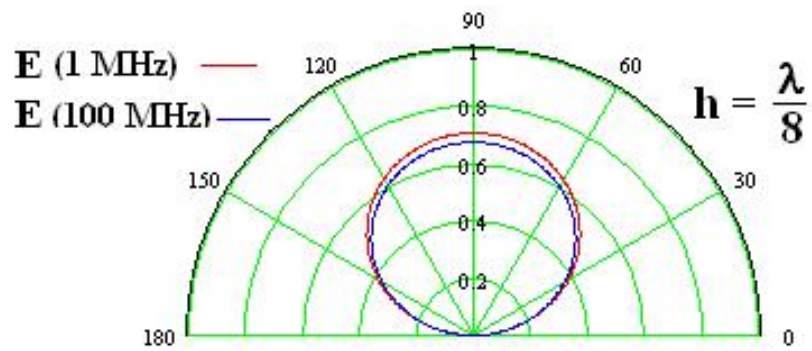
Confronto lobi di radiazione verticale in totale assenza di riflessione (sx) e con riflessione su terreno coltivato secco ($\epsilon_r = 2$, $\sigma = 0.03$) (dx) - $h = 1 \lambda$



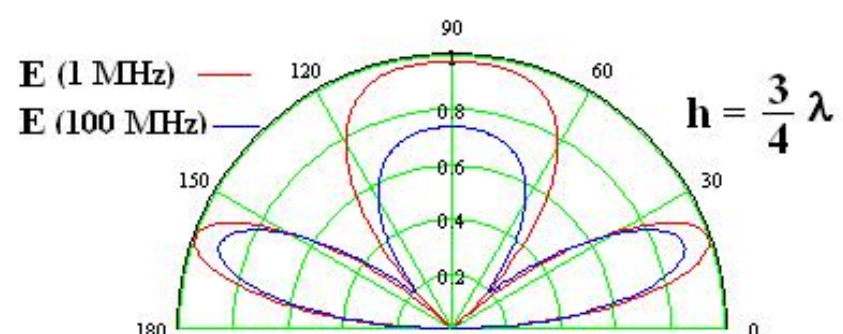
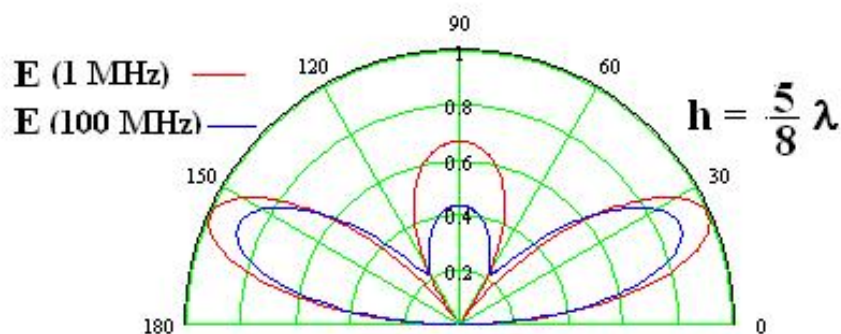
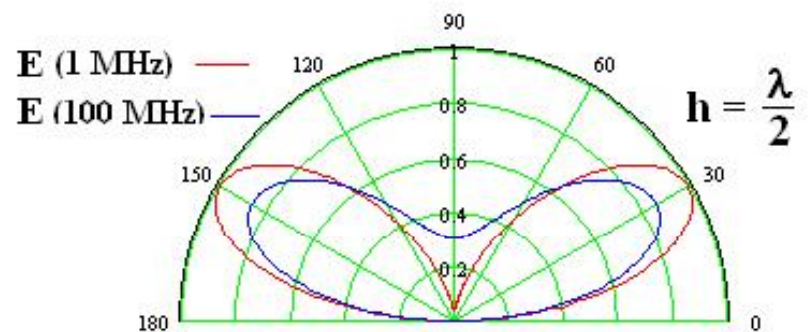
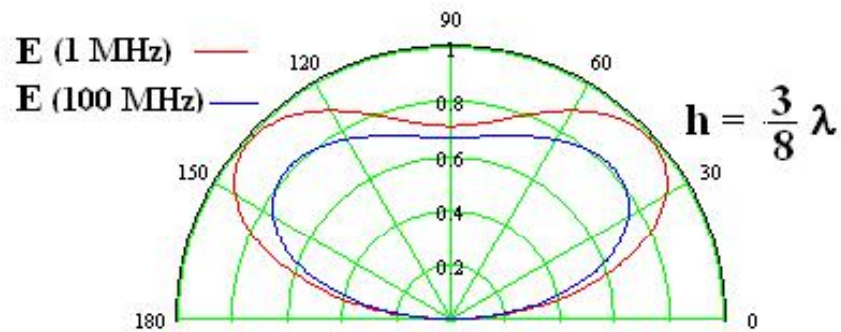
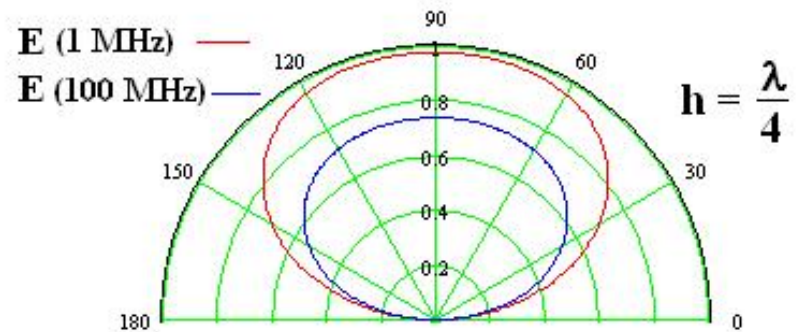
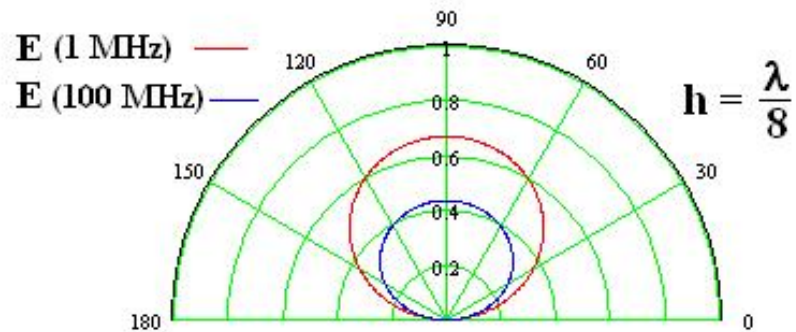
Riflessione su superficie d'acqua dolce ($\epsilon_r = 80$, $\sigma = 10^{-2}$) - Polarizzazione orizzontale



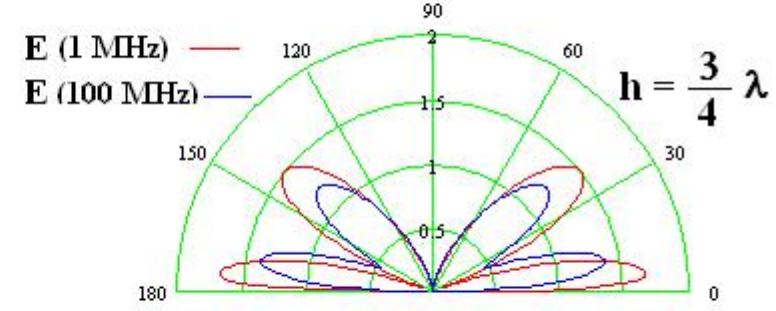
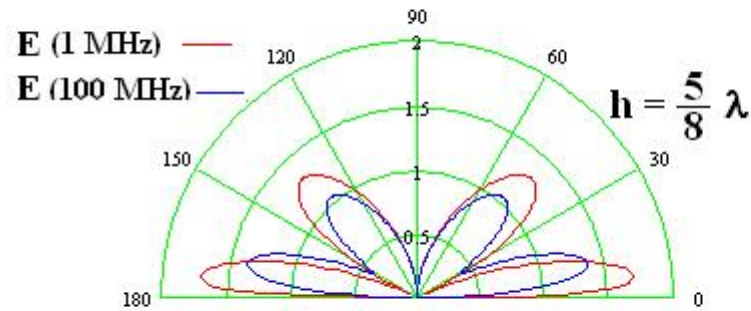
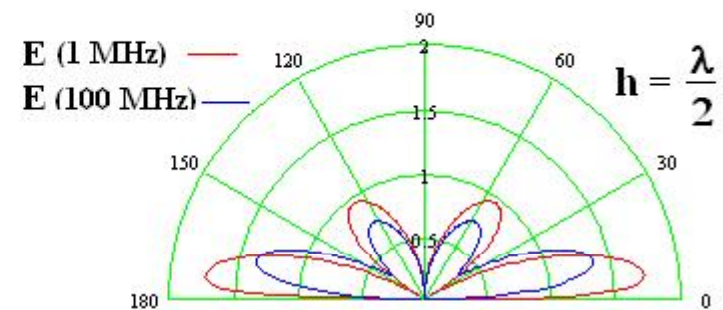
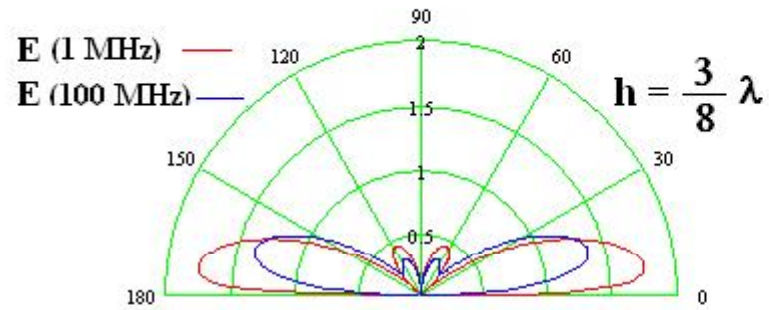
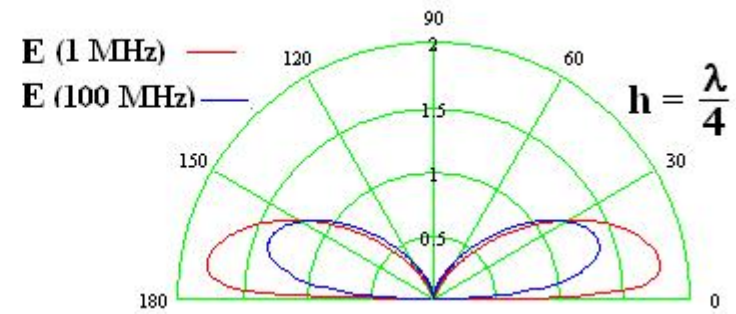
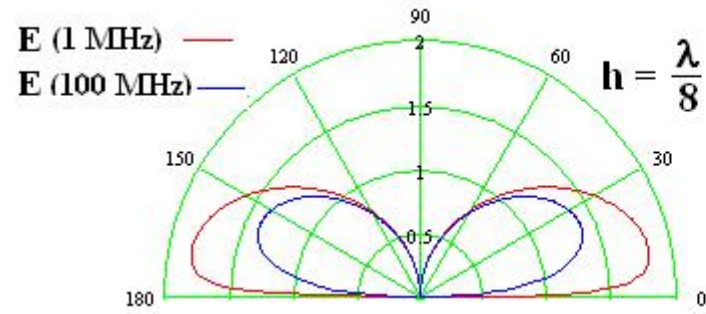
Riflessione su superficie d'acqua dolce ($\epsilon_r = 80$, $\sigma = 10^{-2}$) - Polarizzazione orizzontale



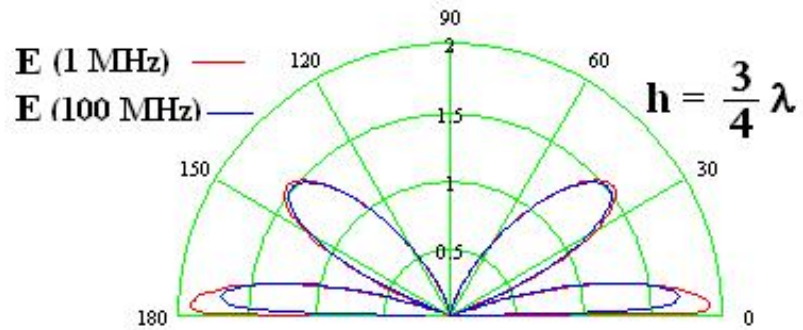
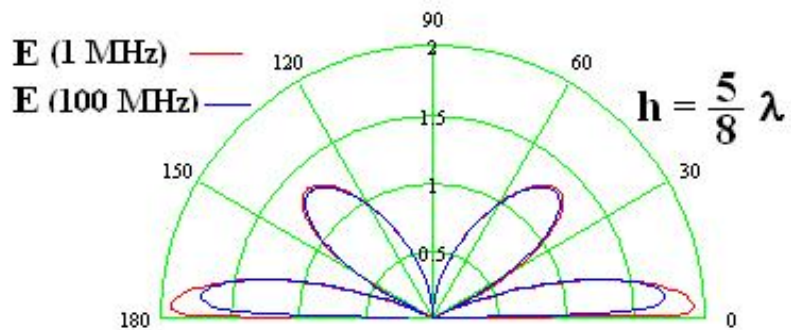
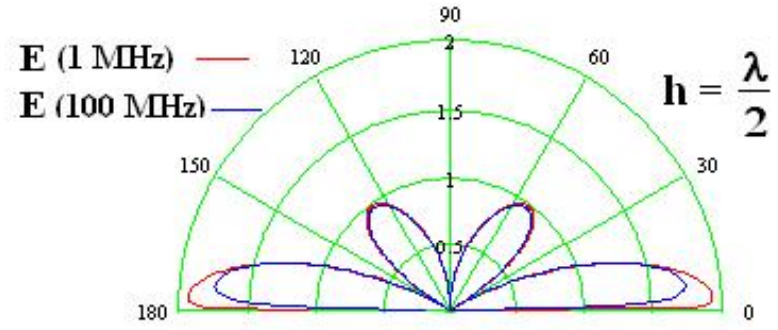
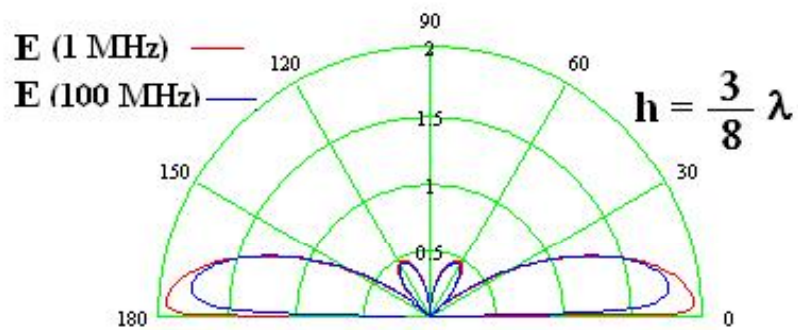
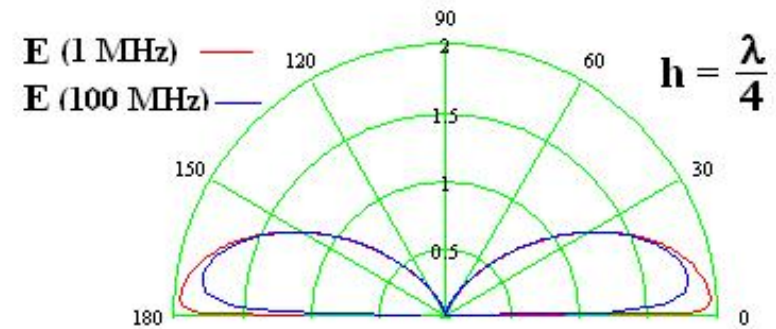
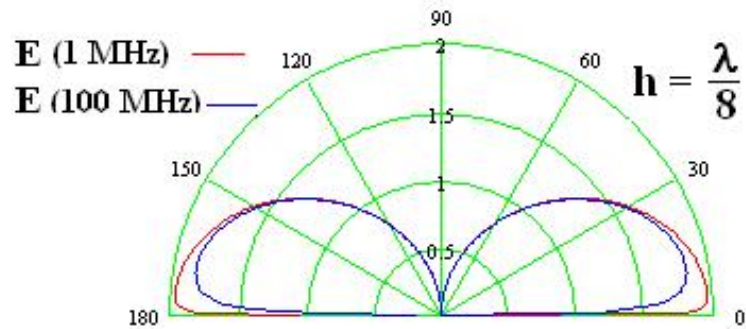
Riflessione su superficie del mare ($\epsilon_r = 80, \sigma = 4$) - Polarizzazione orizzontale



Riflessione su suolo secco ($\epsilon_r = 2$, $\sigma = 0.03$) - Polarizzazione orizzontale



Riflessione su terreno coltivato secco ($\epsilon_r = 2$, $\sigma = 0.03$) - Polarizzazione verticale



Riflessione su superficie del mare ($\epsilon_r = 80, \sigma = 4$) - Polarizzazione verticale

RICEZIONE IN DIVERSITA' (DIVERSITY)

Diversità spaziale –

il segnale viene ricevuto attraverso due (o più) antenne separate nello spazio (almeno decine di lunghezze d'onda) con due ricevitori.

Diversità di frequenza - Occorre trasmettere l'informazione contemporaneamente su due frequenze. E', quindi, molto meno probabile che il fading si presenti contemporaneamente sulle due frequenze.

Il sistema di diversità spaziale è da preferire dato che si occupa un solo canale di frequenze.