

ANTENNE: DISPOSITIVI CAPACI DI IRRADIARE O CATTURARE ONDE ELETTRO MAGNETICHE

- RICEVENTI: CATTURANO LE ONDE E.M. TRASFORMANDOLE IN SEGNALI DI TENSIONE
- TRASMETTENTI: TRASFORMANO I SEGNALI DI CORRENTE CHE SCORRE NELL'ANTENNA IN ONDE E.M. CHE SI IRRADIANO NELLO SPAZIO CIRCOSTANTE

PRINCIPIO DI RECIPROCIITÀ:

LE CARATTERISTICHE DI UN'ANTENNA TRASMETTENTE SONO LE STESSA DI UN'ANTENNA RICEVENTE (E VICEVERSA)

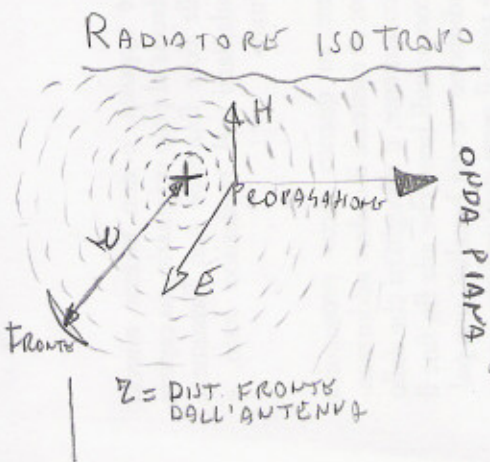
NOTA: I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI IRRADIATI SONO COSTANTEMENTE ORTOGONALI TRA LORO ED ENTRAMBI ORTOGONALI ALLA DIREZIONE DI PROPAGAZIONE.

INOLTRE: IN OGNI ISTANTE E IN OGNI PUNTO DELLO SPAZIO LA LORO INTENSITÀ È RECIPROCAMENTE PROPORTIONALE. LA COSTANTE DI PROPORZIONALITÀ È L'IMPEDENZA CARATTERISTICA DEL MEZZO NEL QUALE SI PROPAGA L'ONDA.

CAMPO E.M. POLARIZZATO

$$\frac{E}{H} = \eta = \sqrt{\frac{\mu_0 \cdot \epsilon_0^{-1}}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{\text{RELSION}}}} \quad \eta_{\text{VUOTO}} = 377 \Omega$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$$



- ANTENNA PUNTIFORME CHE IRRADIA UNIFORMEMENTE IN TUTTE LE DIREZIONI (IDEALE)
- NEL CASO REALE UN'ANTENNA PUÒ ESSERE CONSIDERATA UN RADIATORE ISOTRORO A GRANDE DISTANZA DA ESSA. IN MODO CHE RISpetto AD ESSA L'ANTENNA POSSA CONSIDERARSI PUNTIFORME.
- A GRANDE DISTANZA, LE SFERE CONCENTRICHE DI RADIATIONE (FRONTE D'ONDA) POSSONO ESSERE CONSIDERATE DEI PIANI

DENSITÀ DI POTENZA ASSOCIATA AD UN'ONDA E.M. IN UN PUNTO

$$S = E_{\text{EFF}} \cdot H_{\text{EFF}} = \frac{E_{\text{MAX}}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{H_{\text{MAX}}}{\sqrt{2}} = \frac{E_{\text{MAX}} \cdot H_{\text{MAX}}}{2} = \frac{E_{\text{MAX}}^2}{2 \cdot \eta} \quad \left( \text{SI MISURA IN } \frac{W}{m^2} \right)$$

QUANTI W ATTRAVERANO LA SUPERFICIE SFERICA (r = DISTANZA DALL'ANTENNA)

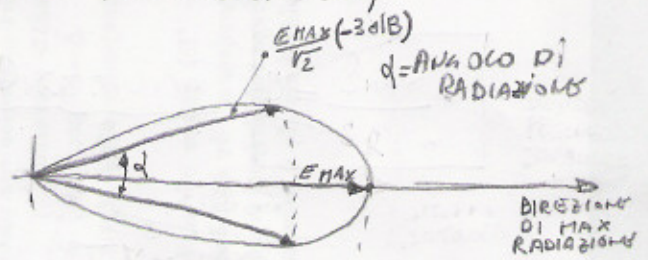
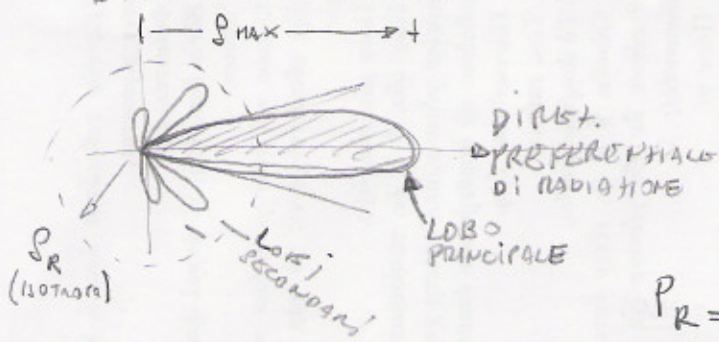
$$S = \frac{P_R}{4\pi r^2}$$

Si dipende dalla POT. RADIANTE (P<sub>R</sub>) e dalla DIST. (r)

1

• SE L'ANTENNA NON È ISOTROPA ⇒ IRRADIA PREFERENZIALMENTE IN ALCUNE DIREZIONI (S. ANTENNA DIRETTIVA)

DIAGR. DI RADIATIONE (DIAGRAMMA POLARE TRIDIMENSIONALE)



$P_R =$  POTENZA IRRADIATA DALL'ANTENNA

GUADAGNO

$$G = \frac{S_{R(max)}}{S_R}$$

DENS. POT. MAX (DIREZ. RADIANTE) IRRADIATA DALL'ANTENNA PER UNA DIR. DI MAX RADIATIONE.

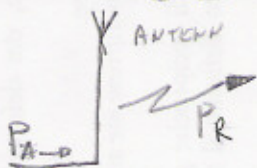
DENS. DI POT. PER UNA DIREZIONE DI MAX RADIATIONE DI UNA ANTENNA ISOTROPA CHE IRRADIA LA STESSA POTENZA  $P_R$  TOTALE

$$G = 4\pi R^2 \frac{P_{max}}{P_R}$$

$$E_{max} = \frac{1}{Z_R} \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot P_R \cdot G}{2\pi}} = \frac{1}{Z_R} \cdot \sqrt{60 \cdot P_R \cdot G}$$

DISTANZA DALL'ANTENNA

EFFICIENZA



L'ANTENNA NON IRRADIA TUTTA LA POTENZA FORNITA DALL'ALIMENTAZIONE (PARTE SI DISSIPA SOTTOFORMA DI PERDITE NEL CONDUTTORE)

$P_A =$  POTENZA FORNITA ALL'ANTENNA (ALIMENTAZIONE)  
 $P_T =$  " TRANSMessa

RENDIMENTO (EFFICIENZA) =  $\frac{P_R}{P_A}$

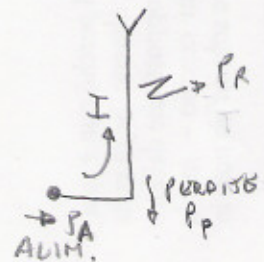
← POTENZA IRRADIATA  
← POTENZA DI ALIMENTAZIONE

RESISTENZA DI RADIATIONE ( $R_R$ )

SE  $I$  È LA CORRENTE CHE ALIMENTA L'ANTENNA

$$R_R = \frac{P_R}{I^2}$$

← POTENZA IRRADIATA



LA RESISTENZA OHMICA  $R_p$  DELL'ANTENNA È DATA INVECE DA

$$R_p = \frac{P_A - P_R}{I^2}$$

S. 4 p. 182

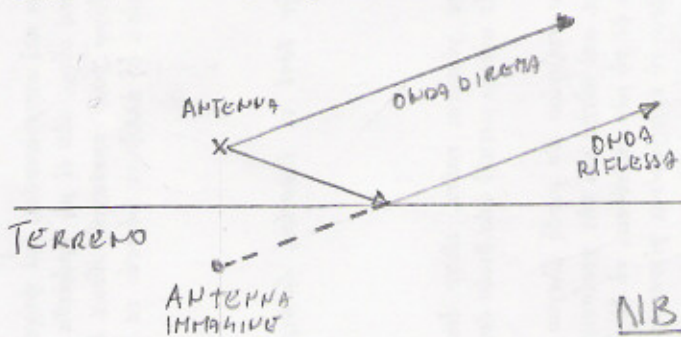
$R_p$  RAPPRESENTA LE PERDITE OHMICHE E DISPERSIVE DOVUTE AI DISADATTAMENTI

# PRINCIPIO DELLE IMMAGINI

- IL SUOLO PRODUCE EFFETTI DI RIFLESSIONE COME UNO SPECCHIO A CAUSA DELLA SUA ALTA CONDUCEBILITÀ.

LA RIFLESSIONE È DOVUTA A CORRENTI NEL SUOLO CHE VENGONO PRODOTTE DA TENSIONI INDOTTE DALLE ONDE E.M. STESSE.

L'EFFETTO È SIMILE A QUELLO CHE PRODUCE LA LUCE CHE INCIDE SU DI UNO SPECCHIO



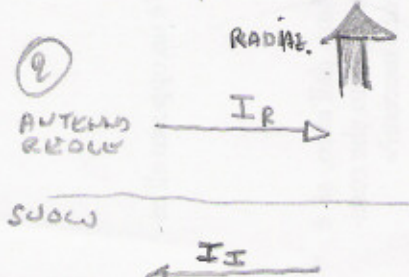
SI HA QUINDI L'EFFETTO DI UNA DOPPIA ANTENNA, QUELLA REALE E QUELLA (IMMAGINE) DISPOSTA SIMMETRICAMENTE RISPETTO AL TERRENO.

NB A CAUSA DELLA CONDUCEBILITÀ DEL TERRENO, LE TENSIONI INDOTTE NEL TERRENO DALLE ONDE E.M. PARALLELE AL TERRENO STESSO VENGONO ANNULLATE.

• QUINDI

1) SE L'ANTENNA È DISPOSTA VERTICAMENTE RISPETTO AL TERRENO L'ANTENNA IMMAGINE PRODUCE UNA CORRENTE CON CORDE CON QUELLA REALE E QUINDI GLI EFFETTI SI SOVRAPPONGONO. I DUE CONTRIBUTI SI SOMMANO

IL CAMPO ELETTRICO È VERTICALE



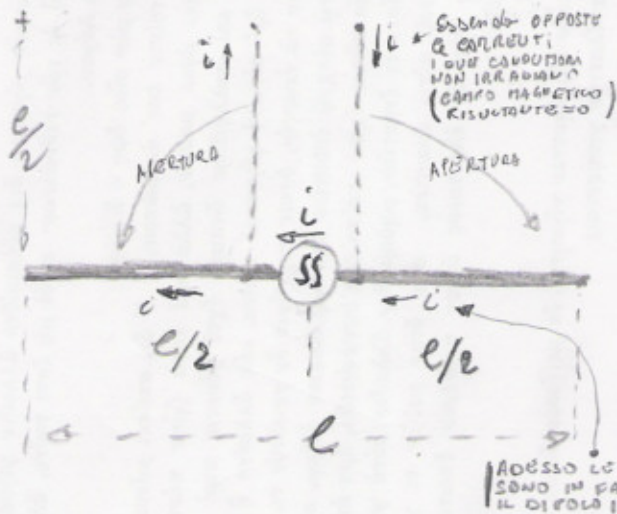
IL CAMPO ELETTRICO INDOTTO NEL TERRENO È ORIZZONTALE ED È ANNULLATO

NEL CASO IN CUI L'ANTENNA REALE SIA DISPOSTA ORIZZONTALMENTE LE DUE CORRENTI (REALE E IMMAGINE) SONO IN CONTROFASE E QUINDI SI HA L'ANNULLAMENTO DEI DUE CONTRIBUTI NELLA DIREZIONE SECONDO LA QUALE È DISPOSTA L'ANTENNA.

||| UN'ANTENNA PARALLELA AL TERRENO PUÒ IRRADIARE SOLO NELLA DIREZIONE ORTOGONALE AL TERRENO. |||

# DIPOLO HERTZIANO (p. 185) (o DIPOLO A $\frac{\lambda}{2}$ )

PUO' ESSERE STUDIATO COME UNA LINEA APERTA



PERA' QUALE I TRATTI PARALLELI DI CONDUZIONE VENGONO ALLIENATI AL GENERATORE DI CORRENTE  
 N.B. LA LINEA APERTA PRESENTA UNA IMPEDENZA PURAMENTE REATTIVA

$$Z(l) = -j Z_0 \cot(\beta l)$$

IL CAMPO E.M. SI PROPAGA NELLO SPAZIO CIRCONSTANTE CHE RAPPRESENTA IL DIELETTICO INTENOSTO FRA I DUE RAMI CONDUTTORI ( $\epsilon = \epsilon_0, \mu = \mu_0$ )

CONDIZIONE DI RISONANZA SERIE SI HA PER UNA FREQ. TALE DA ANNULARE L'IMPEDENZA IN CORRISPONDENZA DEL GENERATORE ( $V=0$ )  $\Rightarrow$  SI HA LA MASSIMA RADIATIONE DI ONDE E.M. POSTO  $l = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow Z(\frac{\lambda}{2}) = -j Z_0 \cot(\beta \frac{\lambda}{2}) = 0$

quindi:  $\cot(\beta \frac{\lambda}{2}) = 0 \Rightarrow \beta \frac{\lambda}{2} = \pm n \cdot 90^\circ = \pm n \frac{\pi}{2} \Rightarrow \left( \text{DATO CHE } \beta = \frac{2\pi}{\lambda} \right) \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \pm n \frac{\pi}{2}$

NB la cotangente è nulla a  $90^\circ$  e  $-90^\circ$

$$l = n \frac{\lambda}{2}$$

( $n=1, 3, 5, 7, \dots$ )

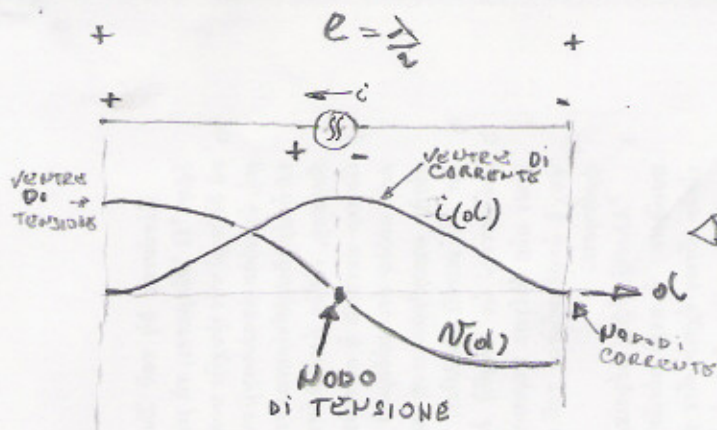
IL DIPOLO RISONA PER UN N° DISPARI DI MEZZE LUNGHEZZE D'ONDA

$C = \lambda \cdot f$  (vel. luce)  $\Rightarrow f_0 = \frac{n \cdot C}{2l}$  (FREQUENZE DI RISONANZA DEL'ANTENNA)

X  $n=1 \Rightarrow$  FREQ FONDAMENTALE

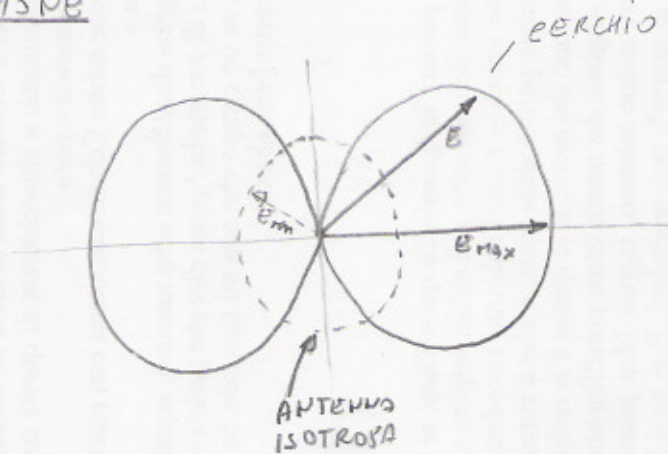
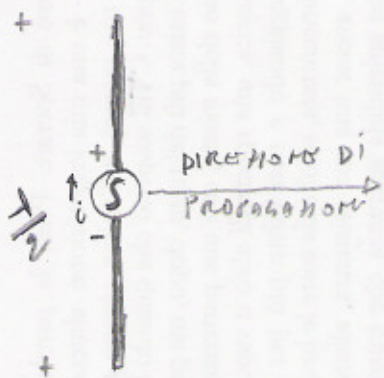
$f_0 = \frac{C}{2l} \Rightarrow$  DIPOLO A MEZZ'ONDA

NB  $\otimes$  C deve essere moltiplicato x un fattore coeff. di fine conto del fatto che la velocità lungo l'antenna non è quella della luce nel vuoto  $\Rightarrow$  Al posto di "C"  $\rightarrow$  "k.C" (k=0,95)



- ALLE DUE ESTREMITA' LE TENSIONI SONO UGUALI ED OPPOSITE, MENTRE LA CORRENTE (ESSENDO APERTA) E' NULLA.
- LA CORRENTE E' MASSIMA NEL GENERATORE MENTRE LA TENSIONE E' COSTANTEMENTE NULLA (NOO DI TENSIONE E VENTRO DI CORRENTE).
- PER FREQ DIVERSE DA QUELLE DI RISONANZA, PUR MANTENENDOSI GLI STESSI VENTRI E GLI STESSI NOO, LE TENSIONI E LE CORRENTI HANNO AMPIEZZE RIDOTTE (COME IN UN CIRCUITO RISONANTE SEME A COSTANTI CONCENTRATE)

DIAGRAMMA DI RADIATIONE



IL CAMPO EM IRADIATO E' MAX NELLA DIREZIONE ORTOGONALE ALL'ASSE DEL DIPOLO E NULLO NELLA DIREZIONE DEL DIPOLO STESSO

SE IL DIPOLO E' FILIFORME ( $\phi \ll \lambda$ )

$G_{\text{DIPOLO HERTZIANO}} = 1,65$  (ovvero 2,17 dB)

$R_{\text{RADIATIONE}} = 73 \Omega$

DIMINUISCE (55-60  $\Omega$ ) PER CONDUCTORI TUBOLARI

L'ALIMENTATORE VERSO L'ANTENNA COME UN CARICO  
(IMPIEDENZA DI ALIMENTAZIONE)

$$Z_A = R_p + jX_p \quad \checkmark$$

$$R_A = R_R + R_p$$

RESISTENZA  
DI RADIAZIONE

RESISTENZA  
OHMICA

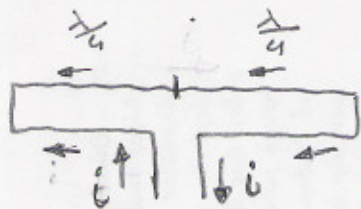
$$R_p \approx 1 \Omega \text{ (trascurabile)}$$

$$\Rightarrow R_A = R_R$$

N.B. SE IL DISCO È A MEZZ'ONDA (RISONANZA)  
LA REATTANZA  $X_R = 0 \Rightarrow Z_A \cong R_R \approx 73 \Omega$

§ 5 pg 189

## DIPLO RIFLEGGATO (Pg 189)



EQUIVALE A UN DOPIO DIPOLO HERTZIANO (A  $\frac{\lambda}{2}$ )

LE CORRENTI CHE PERCORRONO I DUE DIPOLI SONO UGUALI E OPPOSTE  $\Rightarrow$  E' COME UN DIPOLO SEMPLICE PERCORSO DA DUE CORRENTI OGNUNA LA META' (PERCORRO + LUNGO)

LA RESISTENZA DI RADIATIONE NEL DIPOLO RIFLEGGATO E':

$$R'_R = \frac{P_R}{\left(\frac{I}{2}\right)^2} = 4R_R$$

RESIST. RADIANTE DEL DIPOLO RIFLEGGATO

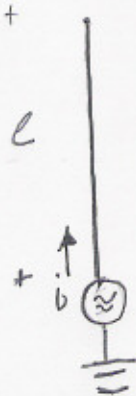
RESISTENZA RADIANTE DEL DIPOLO HERTZIANO A  $\lambda/2$

I = CORRENTE CHE PERCORREREBBE IL DIPOLO HERTZIANO EQUIVALENTE.  
P<sub>R</sub> = POTENZA RADIANTE.

$$\Rightarrow R'_R = 292 \Omega$$

## DIPLO MARCONIANO (Pg 190) (O DIPOLO A $\frac{\lambda}{4}$ )

COMPUTORE VERTICALE DI LUNGHEZZA "l" CON L'ESTREMO SUPERIORE APERTO E QUELLO INFERIORE ALIMENTATO DA UN GENERATORE CHE HA L'ALTRO POLO A TERRA.



• SI PUO' PENSARE CHE SI COMPORTI COME UN DIPOLO HERTZIANO DISPOSTO VERTICALMENTE E CON UNO DEI DUE CONDUTTORI COSTITUITO DAL TERRENO

• SI FORMANO QUINDI TRE TIPI DI ONDE:

- 1) STAZIONARIE LUNGO IL CONDUTTORE
- 2) STAZIONARIE LUNGO IL TERRENO

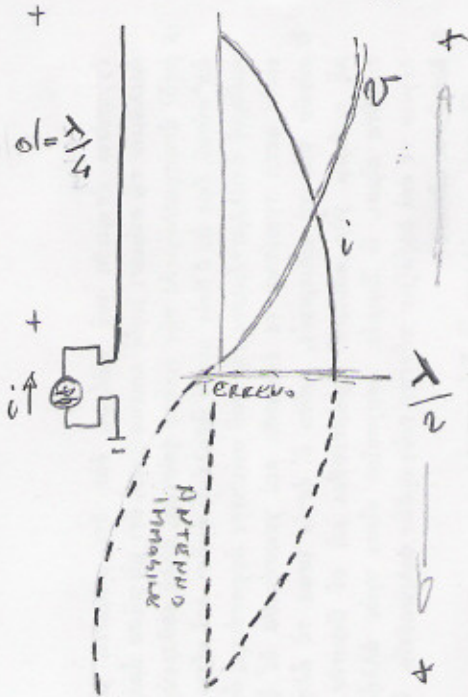
3) PROGRESSIVE NELLO SPAZIO CIRCOSTANTE.

L'IMPEDENZA DELLA LINEA E' PURAMENTE REATIVA QUINDI LA CONDIZIONE DI RISONANZA SEME SI OTIENE, COME PER IL DIPOLO HERTZIANO, POMEVDO NOLVA L'IMPEDENZA RISTA DAL GENERATORE

$$Z(d) = -jZ_0 \cot(\beta d) = 0 \Rightarrow \beta d = \pm n \cdot 90^\circ = \pm n \frac{\pi}{2} \text{ rad.}$$

(7)

Se  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} d = \pm m \frac{\pi}{2} \Rightarrow \boxed{d = m \frac{\lambda}{4}}$  con  $m = 1, 3, 5, \dots$  (DISPARI)



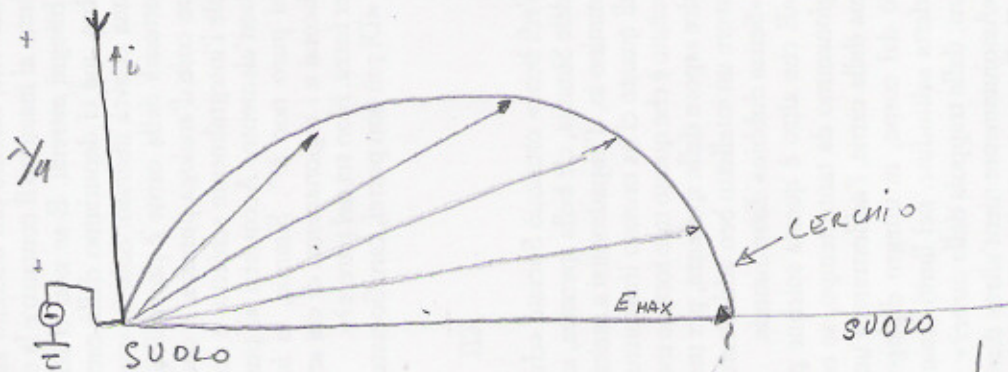
ESSENDO CHE  $\frac{\lambda}{4}$  OCCUPA L'INTERO CONDUTTORE ESISTE, IL DIPOLO MARCONIANO È EQUIVALENTE AD UN DIPOLO HERTZIANO DI LUNGHEZZA DOPIA ( $2\ell$ ) [PERCORRE DOBBO] [STESSA CORRENTE]



L'EFFETTO DEL SUOLO SI PUÒ STUDIARE APPLICANDO IL "PRINCIPIO DELLE IMMAGINI"

MA PER L'EQUIVALENZA SI DEVE PARAGONARE IL DIPOLO HERTZIANO LONTANO DAL SUOLO

DIAGRAMMA DI RADIATIONE



RESISTENZA DI RADIATIONE

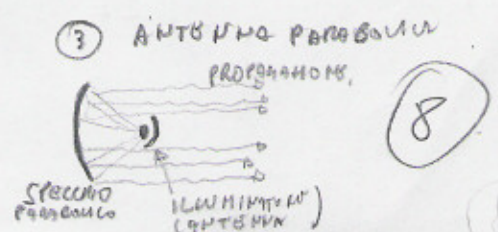
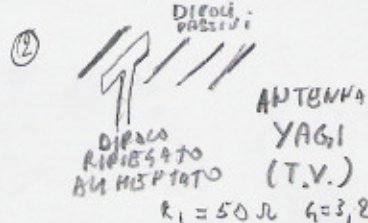
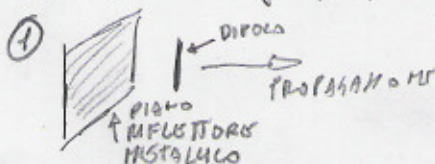
Se  $G_{HERTZ} = 1,65$   
 $\Downarrow$   
 $G_{MARCON} = 2 \cdot G_{HERTZ} = 3,3$

R NON IRRADIATA MA RIFLESSA SUPERMOMENTS DAL SUOLO

$R_R = R_R / \ell = 36,5 \Omega$  essendo  $P_R$  la metà del B.P. HERTZ.  
 ↑ DIPOLO MARCONIANO      ↑ DIPOLO HERTZIANO

AUMENTO DELLA DIRUTIVITÀ

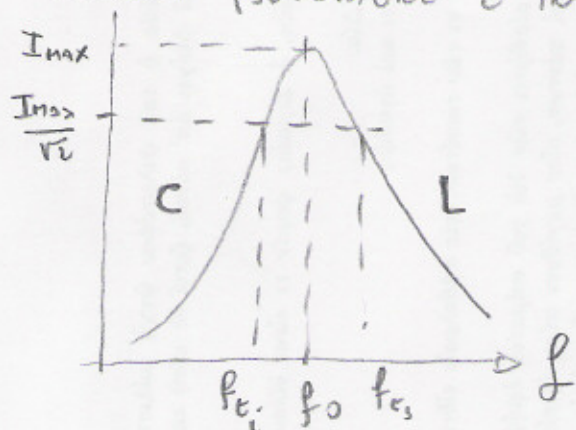
5) Pg 193 (6, 7, 8)





## LARGHEZZA DI BANDA DI UNA ANTENNA (12 197)

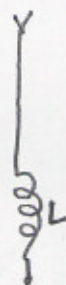
IL COMPORTAMENTO DI UNA ANTENNA È SIMILE A QUELLO DI UN CIRCUITO OSCILLANTE. PERTANTO, ANCHE PER ESSA LA RISPOSTA IN FREQUENZA È DEL TIPO "A CAMPANA" CON TANTO DI FREQUENZA DI RISONANZA E FREQ. DI TAGLIO (SUPERIORE E INFERIORE)



LA LARGHEZZA DI BANDA DI UNA ANTENNA DIPENDE DAL DIAMETRO DEL CONDUTTORE  $\phi$  RISPETTO ALLA LUNGHEZZA "e"

$\frac{\phi}{e}$  PICCOLO  $\Rightarrow$  LARGA BANDA

NB x // VARIARE LA FREQUENZA DI RISONANZA SI POSSONO UTILIZZARE INDUTTORI (O CONDENSATORI) IN SERIE ALL'ANTENNA. "L" SI SOMMA ALLA INDUTTANZA EQUIV. SERIE DELL'ANTENNA ABBASSANDO LA FREQ  $f_0$



## ANTENNE RICEVENTI (12 198)

X PRINCIPIO DI RECIPROCIITÀ, LE CARATTERISTICHE DI UNA ANTENNA RICEVENTE SONO LE STESSA CHE HA SE FOSSE IMPIEGATA COME TRASMETTENTE

- DIAGRAMMI DI RADIATIONE = DIAGRAMMI DI RICEZIONE  $\Rightarrow$  STESSO GUADAGNO E DIRETTIVITÀ
- STESSA CONDIZIONI DI RISONANZA

### LUNGHEZZA EFFICACE:

X IL PRINCIPIO DI INDUZIONE ELETTICA, LA TENSIONE PRODOTTA SULL'ANTENNA DAL CAMPO ELETTROMAGNETICO È

$V = E \cdot e$  PERTANTO DATO IL CAMPO ELETTICO MAX E LA TENSIONE PRODOTTA SI DEFINISCE LUNGHEZZA EFFICACE

$$l_{eff} = \frac{V_{max}}{E_{max}}$$

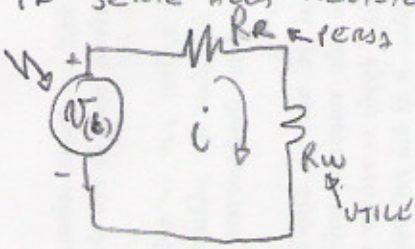
$$l_{eff} = \lambda \sqrt{\frac{R_r \cdot G}{\pi \cdot \eta}}$$

PER UN DIBOLO HERTZIANO/MARKOWICZIANO

$$l_{eff} \approx \frac{\lambda}{\pi}$$

# AREA EFFICACE

LA CORRENTE PRODOTTA DALLA TENSIONE INDOTTA IRRADIA ONDE EM NELLO SPAZIO COME SE FOSSE TRANSMITTENTE. TALE ENERGIA PERSA (O ESSERE PENSATA COME DISSIPATA DA UN RESISTENZA  $R_R$  IN SERIE ALLA RESISTENZA  $R_U$  ASSORBITA DALL'UTILIZZATORE.



CIRCUITO EQUIVALENTE DELL'ANTENNA

$$i_{\max} = \frac{V_{\max}}{R_R + R_U}$$

$$P_U = R_U \cdot \left( \frac{V_{\max}}{R_R + R_U} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{V_{\max}^2 \cdot R_U}{(R_R + R_U)^2}$$

Se  $R_U = R_R$  (MAX TRASFERIM. DI POTENZA)

$$P_{U \max} = \frac{1}{2} \frac{V_{\max}^2}{4 \cdot R_R}$$

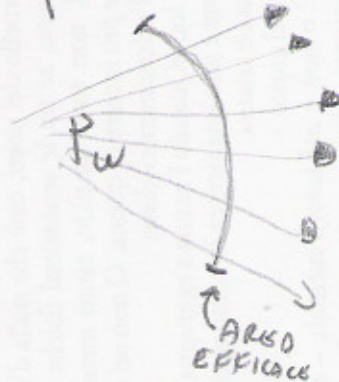
$$\text{Se } \begin{cases} l_{\text{eff}} = \lambda \cdot \sqrt{\frac{R_R \cdot G}{4\pi}} \\ V_{\max} = E_{\max} \cdot l_{\text{eff}} \end{cases}$$

$$P_{U \max} = \frac{E_{\max}^2}{2\eta} \frac{\lambda^2 G}{4\pi}$$

DENSITA' DI POTENZA

$$A_e = \frac{\lambda^2 G}{4\pi}$$

AREA EFFICACE



$$\Rightarrow P_{U \max} = A_e \cdot \frac{E_{\max}^2}{2\eta}$$

Es 9 pg. 200