



**Sezione
di
Pisa**

Stasera parliamo di

Antenne

Parte prima

SWR e efficienza di radiazione

21/02/2025 © ARI Sezione di Pisa - i5WHC



E' noto a tutti come un buon sistema d'antenna costituisca di gran lunga l'elemento più importante di una stazione radio.

Quello che spesso viene invece trascurato è che anche una ottima antenna, se non è correttamente installata, non può fornire buone prestazioni.

Per una corretta installazione si deve tenere conto di molteplici aspetti che andremo ad analizzare in una serie di «serate a tema» dedicate a questo argomento

Questa sera cominceremo parlando di «SWR e efficienza di radiazione»

Campo Elettromagnetico

Un po' di Storia

I primi studi dei fenomeni fisici relativi all'elettromagnetismo risalgono alla prima metà del '800. I nomi dei principali scienziati che hanno studiato la materia ci risultano familiari perché i loro nomi spesso sono stati associati alle principali unità di misura



Michael Faraday 1791-1867 Fisico Inglese, si devono a lui i primi studi sull'induzione elettromagnetica (leggi di Farady)



Heinrich Friedrich Emil Lenz 1804-1865 Fisico Russo, si devono a lui i primi studi sulla forza elettromotrice indotta da un campo magnetico in variazione (legge di Lenz)



Joseph Henry 1797-1878 Fisico Statunitense, si dedicò allo studio delle correnti indotte realizzando i primi modelli di elettromagnete, si deve a lui l'elaborazione del primo modello di motore elettrico



Andrè-Marie Ampère 1775-1836 Fisico Francese, dette un contributo determinante ai primi studi sull'elettromagnetismo ed in particolare sulla relazione che esiste tra la corrente che scorre in un conduttore e il campo magnetico concatenato che si genera (legge di Ampere)



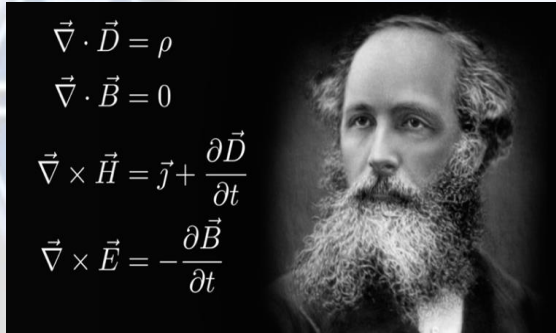
Carl Friedrich Gauss 1777-1855 Matematico e Fisico Tedesco, si deve a lui la formulazione di una importante legge relativa al campo elettrico (teorema del flusso) nota appunto come legge di Gauss



Heinrich Rudolf Hertz 1857-1894 Fisico Tedesco, Per primo dimostrò sperimentalmente l'esistenza delle onde elettromagnetiche con un apparato di sua costruzione, il dipolo hertziano

Campo Elettromagnetico

Un po' di Storia

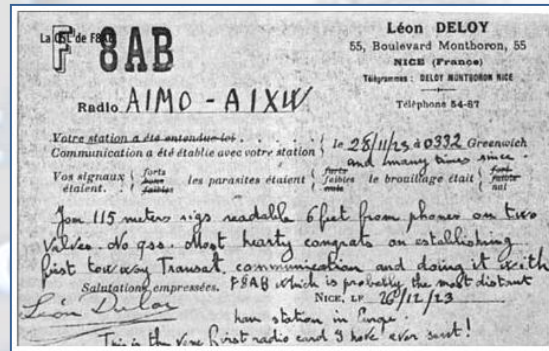


Ma la svolta epocale si ha nel 1873 quando il fisico scozzese **James Clerk Maxwell** elabora la prima teoria moderna sull'elettromagnetismo formulando un modello matematico (**Equazioni di Maxwell**) che sarà la base per l'evoluzione degli studi successivi sui campi elettromagnetici. Il modello matematico elaborato da Maxwell dimostra come ***campi elettrici e campi magnetici «in variazione» siano sempre tra loro correlati dando origine un «campo elettromagnetico» che si propaga nello spazio sotto forma di onde*** ad una velocità $C=299792458$ m/s (velocità della luce).



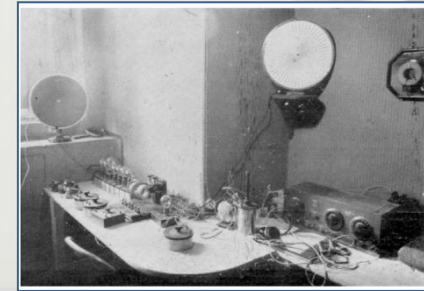
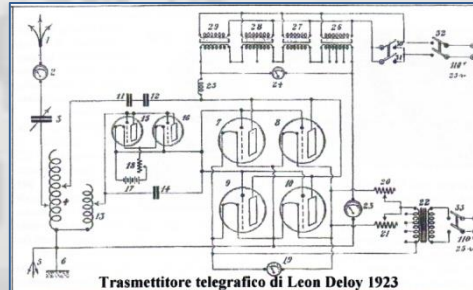
Guglielmo Marconi 1874-1937 - La possibilità di sfruttare i campi elettromagnetici per le comunicazioni a distanza si deve però a **Guglielmo Marconi** che nel 1901, sfidando i pareri contrari della comunità accademica dell'epoca, riuscì a dimostrare sperimentalmente la possibilità che un campo elettromagnetico potesse propagarsi a grande distanza realizzando il **12 dicembre 1901** il primo collegamento radio transoceanico tra Poldhu in Inghilterra e San Giovanni di Terranova in Canada

Un po' di Storia



Ma c'è un'altra data che mi piace ricordare e che ci riguarda più da vicino:

La notte del 27 Novembre 1923 alle 03:32z due OM, l'americano Fred Schnell A1MO e il Francese Léon Deloy F8AB, stabilirono il primo contatto radio transoceanico in HF con apparati di "debole potenza" operanti sulla lunghezza d'onda di 103 mt. (2,9 MHz) dimostrando così la superiorità delle "onde corte" nei collegamenti a lunga distanza rispetto a quanto fatto alcuni anni prima (1901) da Guglielmo Marconi con l'impiego però di sistemi ad onda lunga e apparati di notevole potenza.



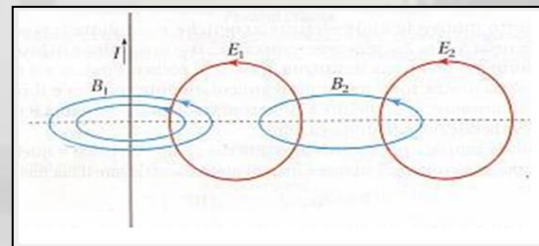
Antenne – elementi fondamentali

Per iniziare un breve richiamo sui «fondamentali»:

Che cosa è l'antenna?

E' un «*trasduttore*» ovvero un dispositivo che ha la funzione di trasferire *l'energia elettrica* ad alta frequenza, generata dal TX e che percorre la linea di trasmissione, in un *campo elettromagnetico* che si propaga nello spazio circostante e viceversa.

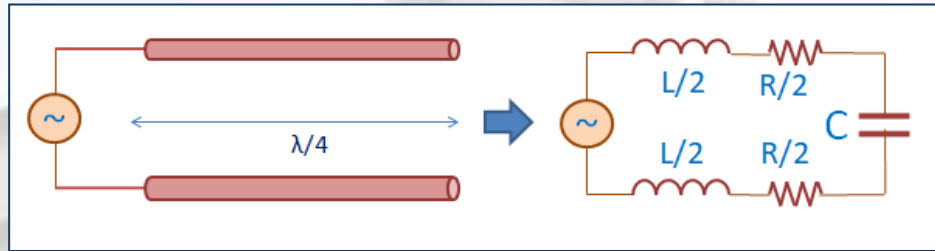
E' noto infatti che un conduttore percorso da una corrente variabile genera nel suo intorno un *campo elettromagnetico* che si propaga nello spazio circostante così come è noto che un conduttore immerso in un *campo elettromagnetico* è sede di una *corrente indotta* proporzionale all'intensità del campo stesso.



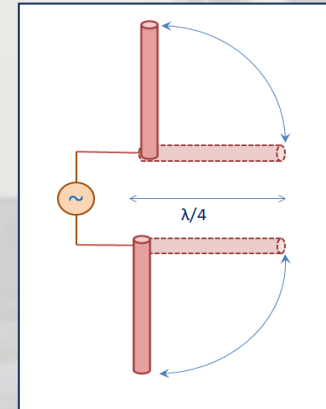
Antenne – elementi fondamentali

Abbiamo detto all'inizio che l'antenna è un trasduttore che trasforma l'energia elettrica a RF in un campo elettromagnetico che si propaga nello spazio circostante. Vediamo di comprendere meglio come ciò avviene :

Sappiamo dalla teoria delle linee che un tronco di linea lungo $\lambda/4$, aperto all'estremità, si comporta come un circuito risonante «serie».



Un'antenna è sempre assimilabile ad un circuito risonante «serie» in cui L e C dipendono dalle dimensioni fisiche dell'elemento radiante e ne determinano la frequenza di risonanza mentre R , in assenza di perdite, coincide con la «resistenza di radiazione», ma vedremo meglio più avanti questo aspetto

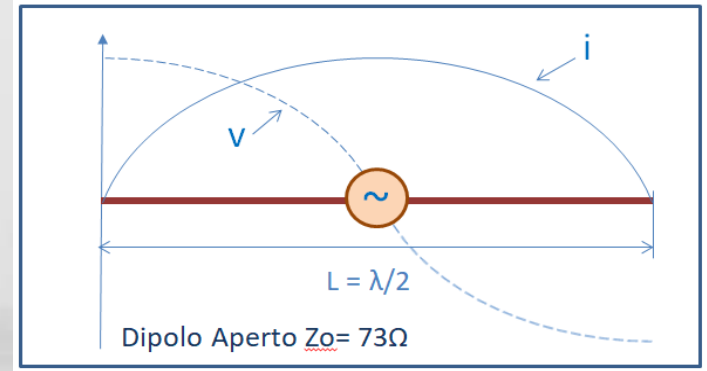
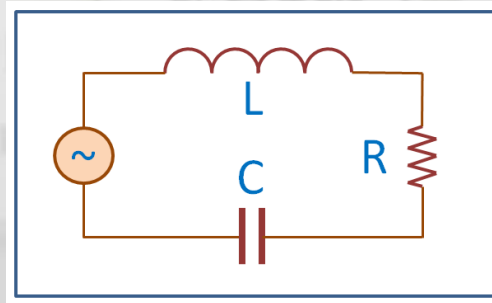


Antenne – elementi fondamentali

Alla risonanza un'antenna alimentata al centro (es. dipolo) si comporta come una linea aperta di lunghezza $\lambda/4$ dove, nel punto di alimentazione, la corrente i è massima e la tensione v è minima mentre agli estremi la corrente si annulla e la tensione raggiunge il valore massimo.

Sempre alla risonanza l'impedenza nel punto di alimentazione è puramente resistiva e il suo valore è dato dal rapporto tra la tensione V e la corrente I applicate nel punto di alimentazione.

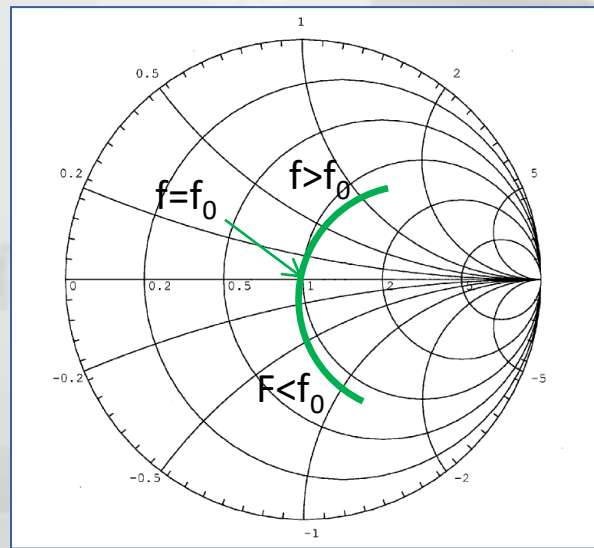
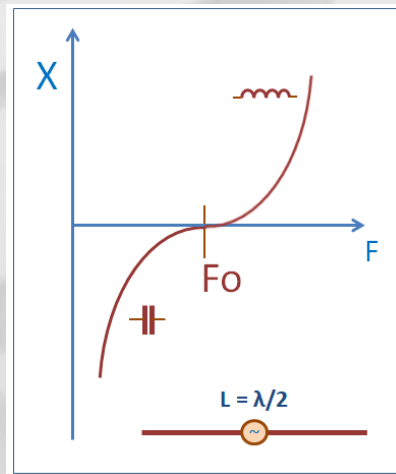
Vedremo meglio in seguito che questo valore non sempre coincide con la «resistenza di radiazione»



Antenne – elementi fondamentali

Se ci spostiamo dalla frequenza di risonanza, analogamente ad un circuito risonante, la nostra antenna presenterà nel punto di alimentazione un'impedenza Z_0 che non sarà più puramente resistiva ma inizierà a presentare una componente reattiva assumendo la forma $Z_0 = R + jX$, componente che sarà di tipo capacitivo ($-jX$) per frequenze inferiori a f_0 e di tipo induttivo ($+jX$) per frequenze superiori. Anche la componente resistiva andrà lentamente ad aumentare per frequenze superiori e a diminuire per frequenze inferiori.

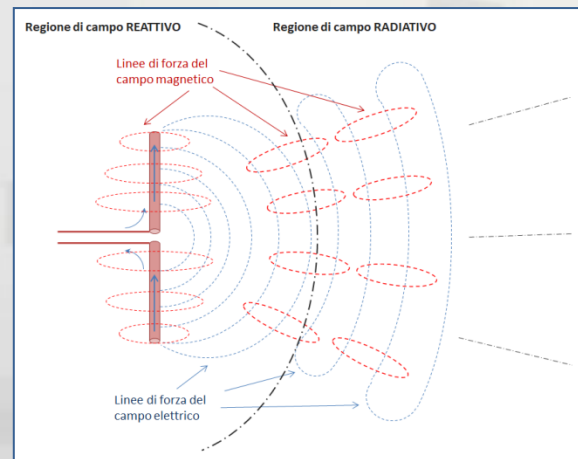
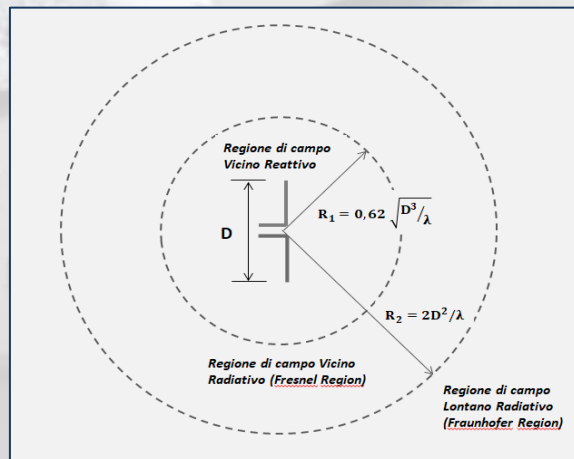
Questo comportamento è ben evidenziato in forma grafica dalla rappresentazione su carta di Smith che si può facilmente ottenere con impiego di un VNA, rappresentazione che se opportunamente interpretata può fornire molte utili informazioni



Antenne – elementi fondamentali

Analogamente a quanto avviene in ogni conduttore, la corrente RF, che percorre l'elemento radiante, da origine ad un campo elettromagnetico che si propaga linearmente nello spazio circostante, Il meccanismo con cui ciò avviene è estremamente complesso e la sua rappresentazione matematica è data dalle «equazioni di Maxwell».

A noi interessa solo sapere che esistono 3 diverse aree in funzione della distanza dall'antenna, in cui il comportamento dei campi è diverso



Antenne – elementi fondamentali

- **Area o regione di Campo Vicino Reattivo (Reactive Near Field)**

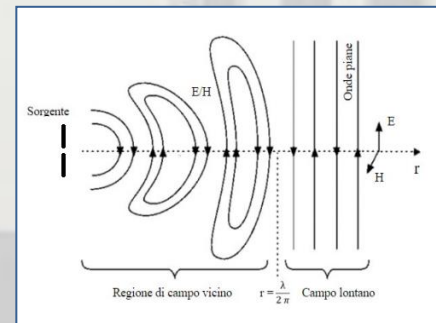
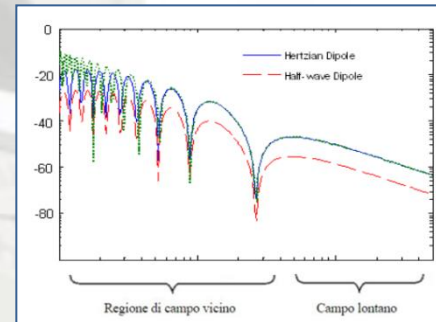
L'area si estende nell'immediato intorno dell'elemento radiante fino ad una distanza pari a circa $0,1 \lambda - 0,4 \lambda$ in funzione della dimensione fisica dell'antenna. In questa zona il comportamento dei campi è esclusivamente reattivo e i campi E e H non sono tra loro correlati.

- **Area o regione di Campo Vicino Radiativo (Radiative Near Field – Fresnel Region)**

L'area si estende da una distanza pari a circa $0,1 \lambda - 0,4 \lambda$ fino a distanze di circa $0,5 \lambda - 1,5 \lambda$ in funzione della dimensione fisica dell'antenna stessa. In questa area i campi E e H iniziano ad essere tra loro correlati, il campo complessivo non ha ancora assunto le caratteristiche di un'onda sferica e la sua intensità presenta significative fluttuazioni a causa delle differenze di fase dovute ai contributi provenienti dalle diverse parti dell'antenna.

- **Area o regione di Campo Lontano Radiativo (Radiative Far Field – Fraunhofer Region)**

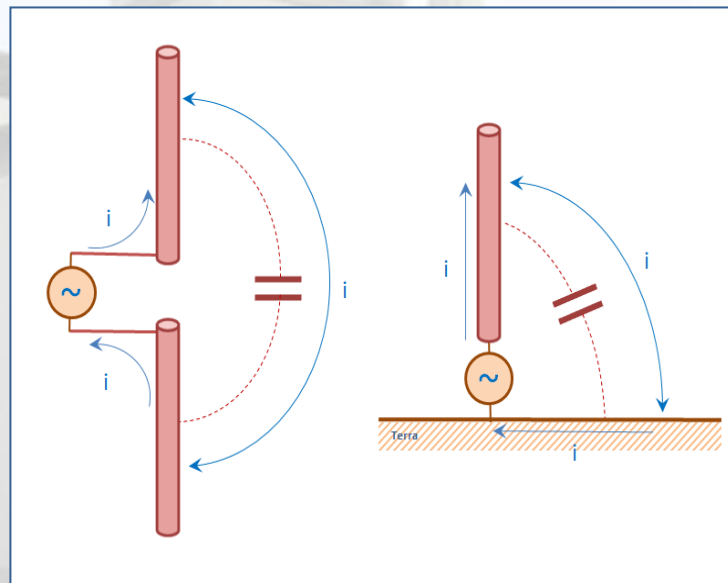
Questa area si estende a partire dal confine esterno della regione di Fresnel fino all'infinito, i campi E e H in questa area sono totalmente correlati e si propagano radialmente assumendo le caratteristiche di un'onda sferica.



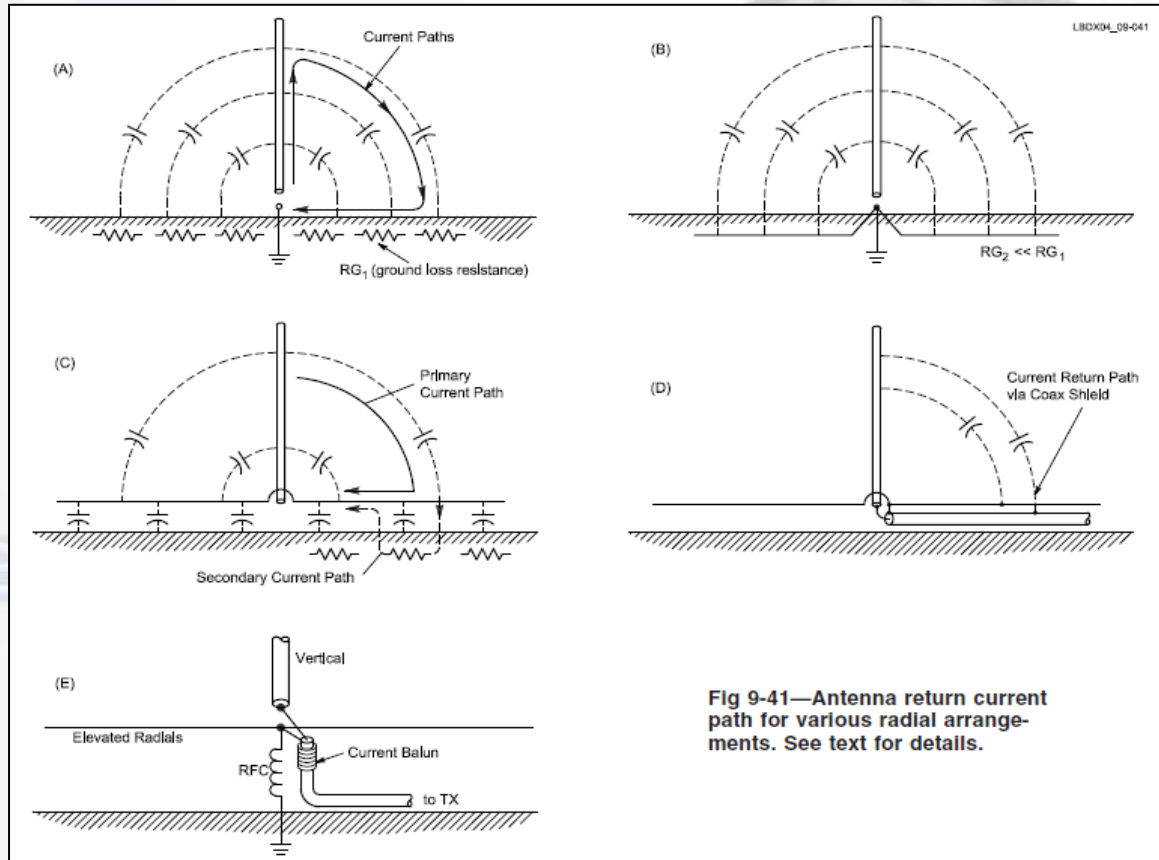
Antenne – elementi fondamentali

Affinché possa circolare una corrente nell'elemento radiante, che come abbiamo già detto è il meccanismo che sta alla base del processo di radiazione, è sempre necessario che le cariche elettriche dispongano di un «percorso» attraverso il quale la corrente stessa possa richiudersi verso il generatore.

Questo significa che un elemento radiante, in particolare se si tratta di un'antenna «sbilanciata», deve sempre avere un adeguato «contrappeso» attraverso il quale possa richiudersi la corrente RF verso il generatore, ma come vedremo, il problema riguarda in parte anche le antenne «bilanciate». Tale aspetto, spesso sottovalutato è invece elemento determinante per il corretto funzionamento e la buona efficienza di un'antenna

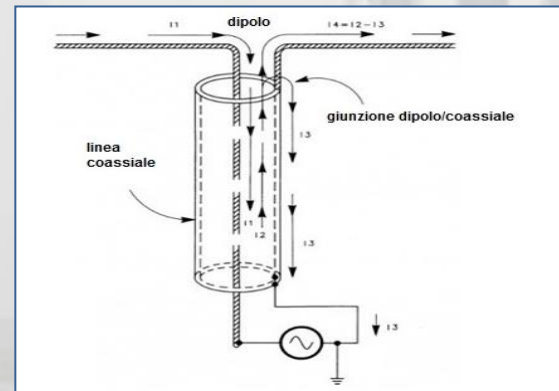
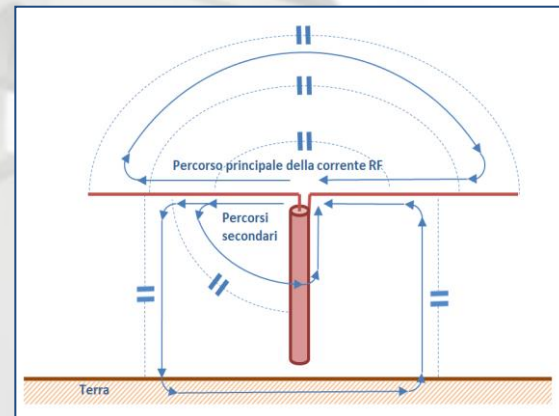


Antenne – elementi fondamentali



Antenne – elementi fondamentali

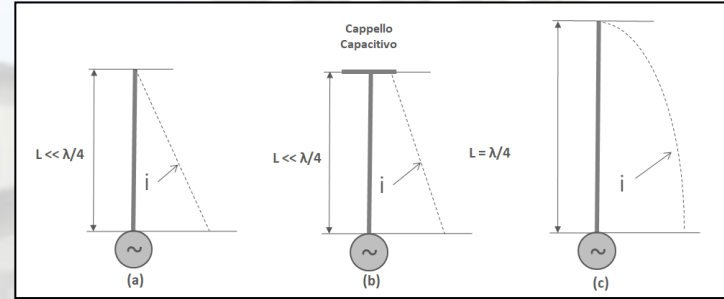
Contrariamente a quanto si potrebbe pensare il problema della corretta richiusura delle correnti RF interessa non solo le antenne «sbilanciate» come una verticale ma anche antenne «bilanciate» come un dipolo in quanto sebbene la maggior parte della corrente RF fluisca tra i due bracci simmetrici esiste comunque la possibilità che una parte della corrente RF possa attraversare anche percorsi diversi a causa degli immancabili accoppiamenti capacitivi con gli elementi circostanti primi fra tutti la calza esterna del cavo di discesa (correnti di modo comune) e il piano di terra. Questo è il motivo per cui è sempre opportuno prevedere un adeguato blocco RF (choke) nel punto di alimentazione



Antenne – Efficienza di radiazione

La teoria dei campi EM ci dice che l'intensità del campo irradiato da un'antenna è proporzionale al quadrato della corrente efficace che scorre nell'elemento radiante, la formula nel caso teorico dell'antenna «elementare» è:

$$P_{ir} = 40\pi^2 \frac{(2h)^2}{\lambda^2} |I|^2$$



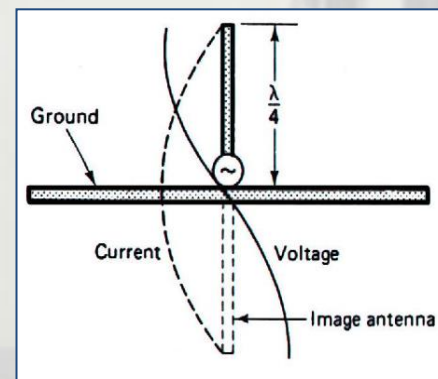
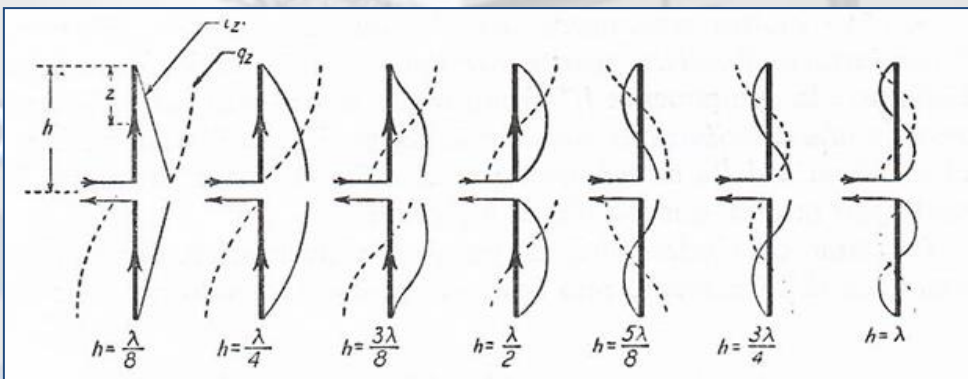
Poiché dimensionalmente il rapporto tra una potenza e il quadrato di una corrente rappresenta una resistenza la formula può essere scritta più genericamente come:

$$P_{ir} = R_{rad} * |I|^2$$

Si definisce quindi «Resistenza di Radiazione» di un'antenna il rapporto tra la potenza effettivamente irradiata e il quadrato della corrente che percorre l'elemento radiante.

Antenne – Efficienza di radiazione

Il valore di R_{rad} dipende sostanzialmente dalle dimensioni fisiche dell'antenna e dalla conseguente distribuzione della corrente lungo l'elemento radiante. Come già visto la corrente nell'elemento radiante non è costante ma varia da un massimo, in genere coincidente con il punto di alimentazione, fino a scendere a zero agli estremi, peraltro questo comporta che l'energia irradiata dall'antenna, proporzionale al quadrato della corrente, non è uniforme lungo l'elemento ma decresce con il decrescere della corrente spostandosi lungo l'elemento.

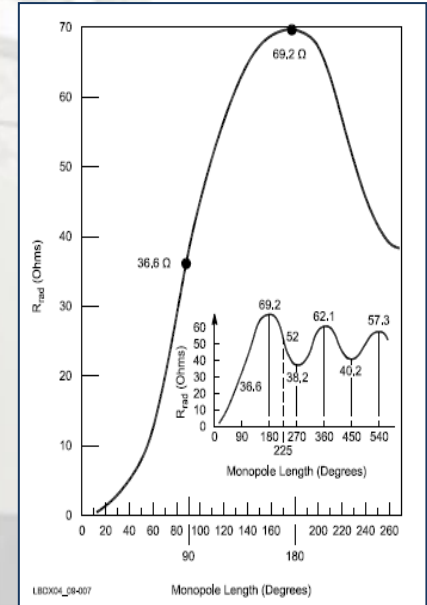
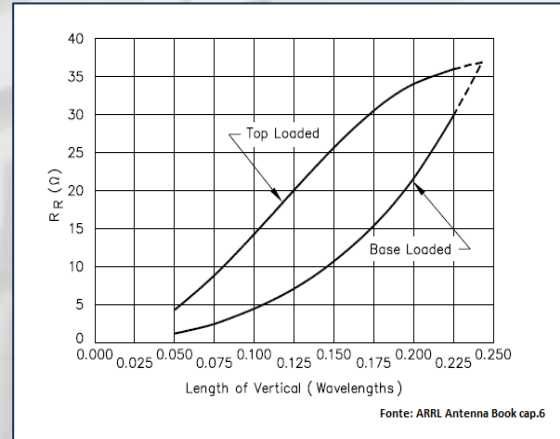


Antenne – Efficienza di radiazione

Senza entrare nella complessità del calcolo si può comunque affermare che il valore della resistenza di radiazione diminuisce drasticamente con il diminuire delle dimensioni fisiche dell'antenna in relazione alla lunghezza d'onda.

A parità di energia irradiata un'antenna “corta” è sempre percorsa da una corrente maggiore a causa del suo minor valore di R_{rad}

Nella pratica elementi radianti che hanno una dimensione inferiore a $1/10 \lambda$ hanno una R_{rad} così bassa da renderli di fatto, come vedremo, pressochè inutilizzabili a causa di un'efficienza di radiazione bassissima

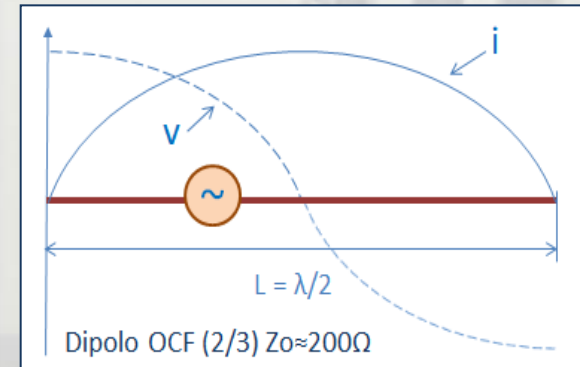
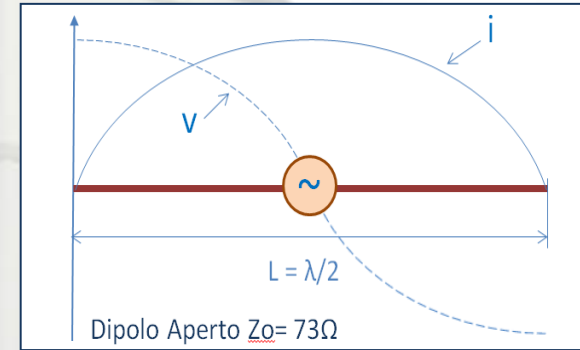


Antenne – Efficienza di radiazione

Purtroppo c'è un errore molto comune che viene commesso ed è quello di confondere la «**resistenza di radiazione**» R_{rad} di un'antenna con il valore della sua «**impedenza nel punto di alimentazione**» Z_0 che come abbiamo visto all'inizio può presentare anche componenti reattive. L'impedenza nel punto di alimentazione è data dal rapporto tra la tensione RF applicata e la corrente che scorre in quel punto e quindi varia spostandosi lungo l'elemento (casi tipici i dipoli OCF o delle EFHW) mentre il valore della resistenza di radiazione è costante e il suo valore è, per definizione, *sempre puramente resistivo*.

I due valori coincidono in un unico caso «teorico»:

Alla risonanza quando il punto di alimentazione è posto nel punto di massima corrente e l'antenna è totalmente priva di perdite



Antenne – Il dipolo OCF

80 -> $\lambda/6$ 14m

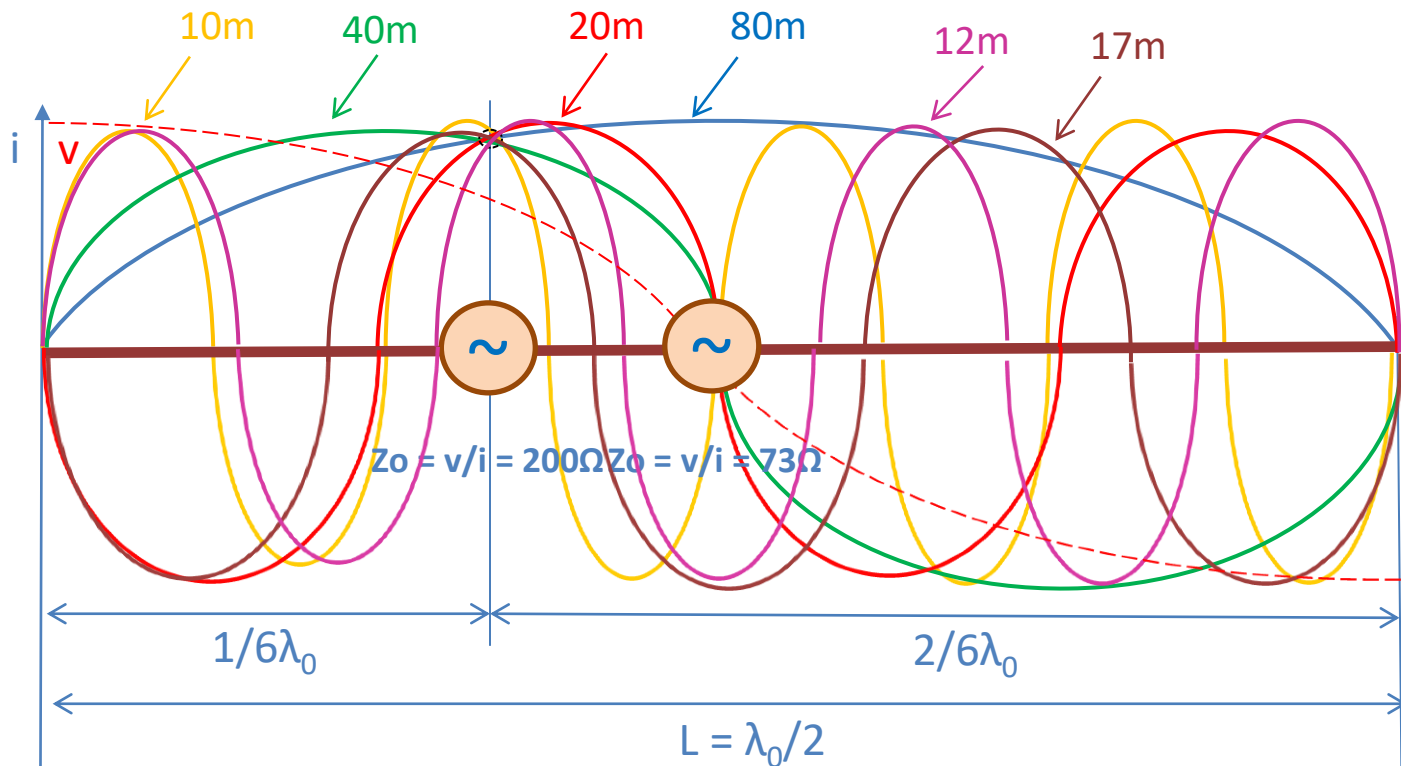
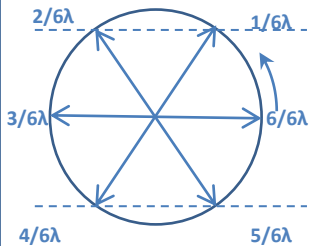
40 -> $2\lambda/6$ 14m

20 -> $4\lambda/6$ 14m

10 -> $8\lambda/6$ 14m

12 -> $7\lambda/6$ 14m

17 -> $5\lambda/6$ 14m

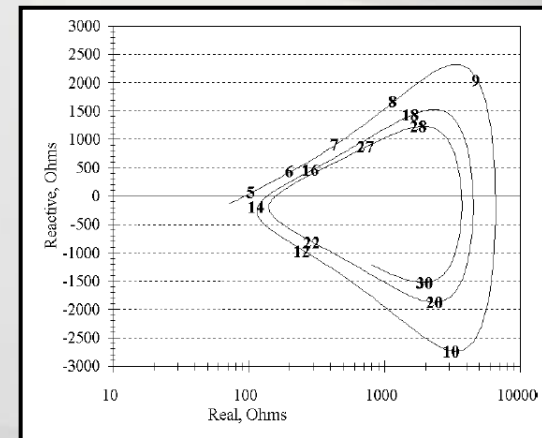
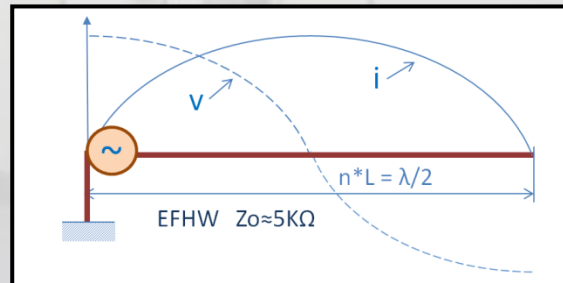


Antenne – EFHW Antenna

E' opportuno fare anche un accenno al caso delle antenne «END FEED» che contrariamente a quanto generalmente si ritiene possono essere considerate come un caso particolare di OCF in quanto, per le ragioni già viste, deve essere sempre presente un «contrappeso».

Sempre contrariamente a quanto spesso erroneamente si ritiene l'impedenza nel punto di alimentazione assume valori variabili in funzione della lunghezza e della frequenza.

L'impedenza nel punto di alimentazione assumerà valori elevati ($>5K\Omega$) e puramente resistivi solo in corrispondenza dei multipli interi di $\lambda/2$ parliamo in questo caso di End-Feed-Half-Wave Antenna.



Andamento dell'impedenza in funzione della frequenza per una EF della lunghezza di circa 15 mt.

Antenne – Efficienza di radiazione

A questo punto è lecito porsi una domanda:

Tutta la potenza elettrica generata dal mio trasmettitore è sempre irradiata sotto forma di campo elettromagnetico dall'antenna ?

La risposta è ovviamente «NO»

O meglio ciò potrebbe avvenire solo in un caso teorico ovvero quando l'antenna fosse posta in un ambiente ideale (spazio libero) privo di interferenze spaziali e l'antenna stessa fosse realizzata con un conduttore ideale (privo di resistenza).

Purtroppo nella realtà non è mai così

Si definisce quindi efficienza di radiazione di un'antenna il rapporto percentuale tra l'effettiva potenza irradiata sotto forma di campo elettromagnetico e la potenza fornita dal trasmettitore :

$$\eta_r = \frac{P_{ir}}{P_{Tx}}$$

Antenne – Efficienza di radiazione

Abbiamo già visto che il valore la potenza irradiata P_{ir} è uguale a:

$$P_{ir} = R_{rad} * I^2$$

Mentre la potenza fornita dal trasmettitore all'antenna P_{Tx} è uguale a:

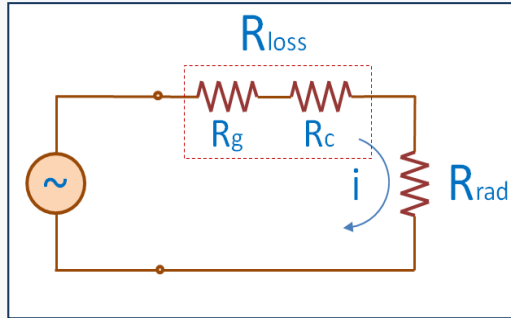
$$P_{Tx} = Z_0 * I^2$$

Dove con Z_0 indichiamo l'impedenza che l'antenna presenta nel punto di alimentazione.

E' ovvio osservare che se $Z_0 \neq R_{rad}$ anche $P_{Tx} \neq P_{ir}$

Antenne – Efficienza di radiazione

Nella realtà l'impedenza Z_0 che un'antenna presenta nel punto di alimentazione, anche se posto nel punto di massima corrente, **è puramente resistiva solo alla risonanza** ed è data dalla somma di più componenti :



R_{rad} Resistenza di Radiazione

R_{loss} Resistenza di perdita

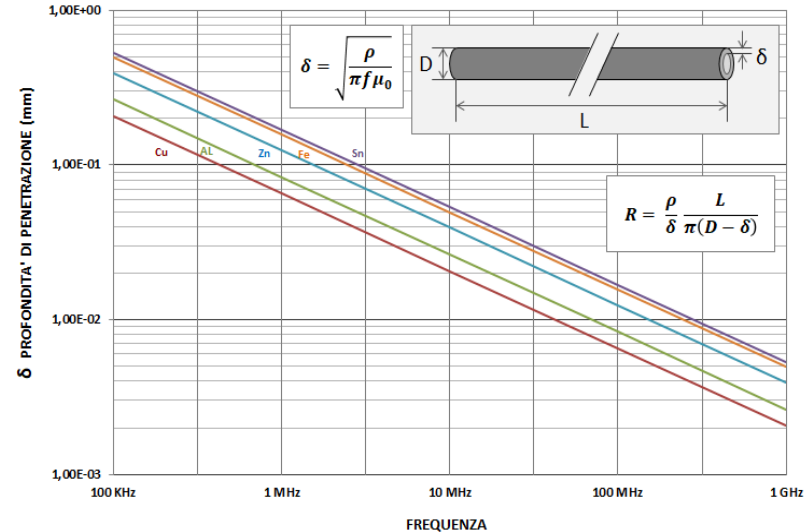
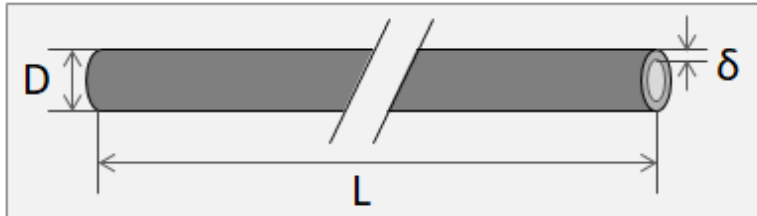
La resistenza di perdita R_{loss} è a sua volta la somma di vari contributi:

- La potenza dissipata per effetto Joule nella resistenza elettrica R_c degli elementi che costituiscono l'elemento radiante e le perdite nel dielettrico degli isolatori
- La perdite nel terreno o in oggetti conduttori circostanti R_g in cui circola la corrente indotta dal campo elettrico generato dall'antenna nell'area di «campo vicino reattivo»

Antenne – Efficienza di radiazione

E' bene ricordare come, a causa del «effetto pelle», una corrente RF percorre solo la parte esterna di un conduttore e la profondità di penetrazione δ dipende dalla frequenza e dal materiale con cui è realizzato il conduttore stesso.

Di conseguenza è come se la resistività del conduttore, a parità di sezione, aumentasse all'aumentare della frequenza.



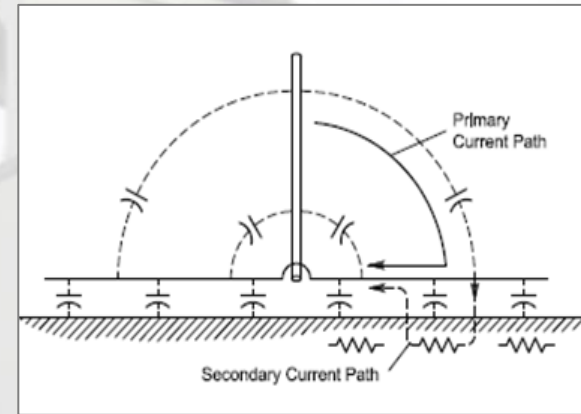
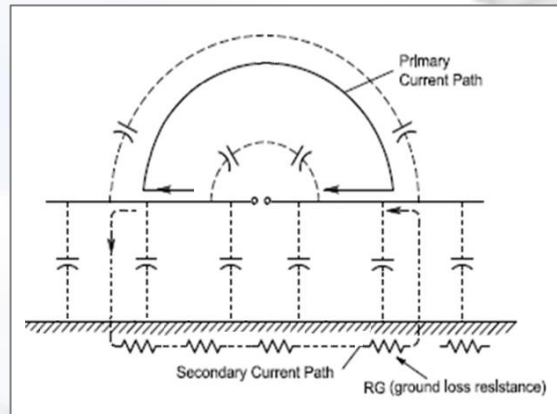
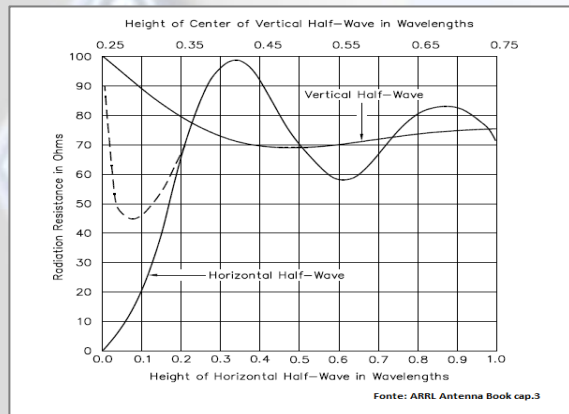
Antenne – Efficienza di radiazione

Resistenza di perdita nel conduttore (Ω) per un dipolo $\lambda/2$		Frequenza (MHz)					
		1,8	3,5	7	14	21	28
δ (mm)		0,049	0,035	0,025	0,017	0,014	0,012
Lunghezza (mt.)		80	40	20	10	7,5	5
Diametro Conduttore (mm)	1	9,26	6,36	4,45	3,13	2,86	2,20
	1,5	6,07	4,19	2,94	2,07	1,90	1,46
	2	4,51	3,13	2,20	1,55	1,42	1,09
	2,5	3,59	2,49	1,75	1,24	1,13	0,87

Le perdite dovute al «effetto pelle» sono particolarmente evidenti nel caso di antenne con rapporto di finezza l/d elevato come le «filari» di elevata lunghezza.

Affligge meno gli elementi radianti di elevato diametro dove le perdite nell'elemento radiante sono principalmente dovute a problemi di isolamento

Antenne – Efficienza di radiazione



Le perdite nel terreno dipendono dalle caratteristiche dielettriche del terreno stesso e sono generalmente maggiori in terreni di scarse caratteristiche dielettriche.

Le perdite nel terreno sono molto importanti in caso di antenne verticali, soprattutto se montate a terra, che *richiedono sempre l'uso di un adeguato numero di radiali*.

Nel caso di un'antenna orizzontale le perdite nel terreno *dipendono essenzialmente dall'altezza a cui è installata* e diventano significative per altezze inferiori a $\lambda/4$

Antenne – Efficienza di radiazione

Come abbiamo già detto si definisce «efficienza di radiazione» η_r di un'antenna il rapporto tra la potenza effettivamente irradiata P_{ir} e la potenza rf P_{Tx} erogata dal TX :

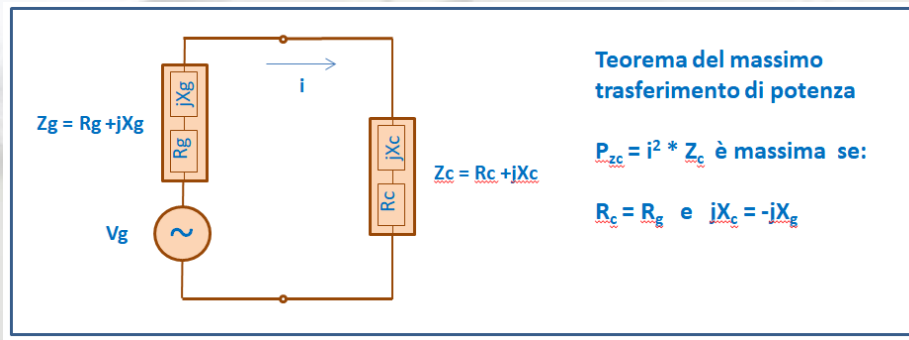
$$\eta_r = \frac{P_{ir}}{P_{Tx}} = \frac{I^2 * R_{rad}}{I^2 * Z_o} = \frac{I^2 * R_{rad}}{I^2 * (R_{rad} + R_{Loss})} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{Loss}}$$

Appare qui evidente come l'efficienza di radiazione della nostra antenna sia direttamente proporzionale al rapporto tra il valore della «**resistenza di radiazione dell'antenna R_{rad}** » e il valore complessivo della «**resistenza di perdita R_{loss}** ».

Appare altresì evidente come **un'antenna con un basso valore di R_{rad} , a parità di perdite, avrà un'efficienza minore.**

Antenne – Efficienza di radiazione

La legge di *Jacobi* nota anche come “teorema del massimo trasferimento di potenza” ci dice che la massima potenza che un generatore può erogare su un carico si ottiene quando il valore dell’impedenza del carico è pari al “complesso coniugato” dell’impedenza interna del generatore ovvero, tradotto in parole più semplici, **quando l’impedenza del carico ($Z = R + jX$) ha la stessa componente resistiva R dell’impedenza interna del generatore e componente reattiva jX di segno opposto a quella del generatore stesso**, così che le componenti reattive si annullino reciprocamente.

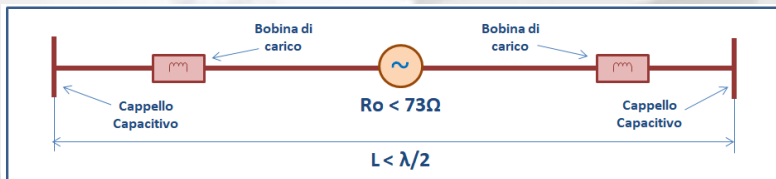


Nel nostro caso quindi in uscita dal trasmettitore avrò la massima potenza disponibile solo quando il trasmettitore sarà chiuso su una terminazione (linea) che presenta un’impedenza pari alla impedenza interna del TX, tipicamente i 50Ω puramente resistivi.

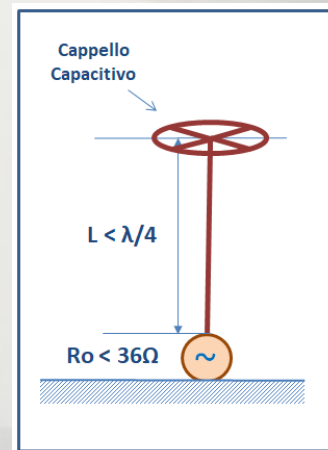
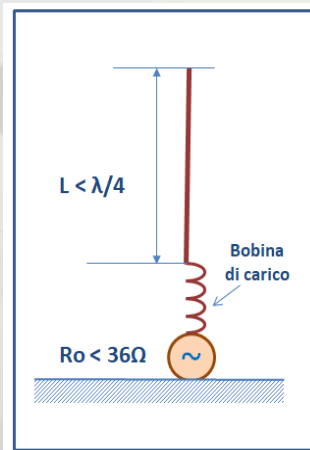
Antenne – Efficienza di radiazione

Dobbiamo tenere conto che se l'antenna non lavora alla risonanza la sua impedenza può avere, come abbiamo visto, componenti reattive che devono essere in qualche modo eliminate per ottenere il massimo trasferimento di potenza rf P_{TX} erogata dal TX.

Il caso tipico è quello delle antenne «accorciate» dove la componente reattiva viene annullata con l'impiego di una bobina di carico o di un «cappello capacitivo».



Sempre nell'ottica di ottenere il massimo trasferimento di potenza, può essere necessario prevedere un dispositivo di adattamento laddove il valore dell'impedenza che l'antenna presenta nel punto di alimentazione fosse diverso da quello della linea di discesa (cavo coax)

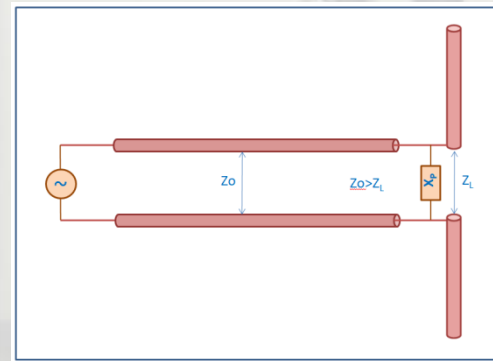


Antenne – Efficienza di radiazione

Per i motivi che vediamo meglio più avanti l'eventuale adattamento di impedenza, se necessario, è opportuno che sia effettuato direttamente sul punto di alimentazione dell'antenna anche se come vedremo, in certe condizioni, *il disadattamento può non essere così determinante sull'efficienza di radiazione.*

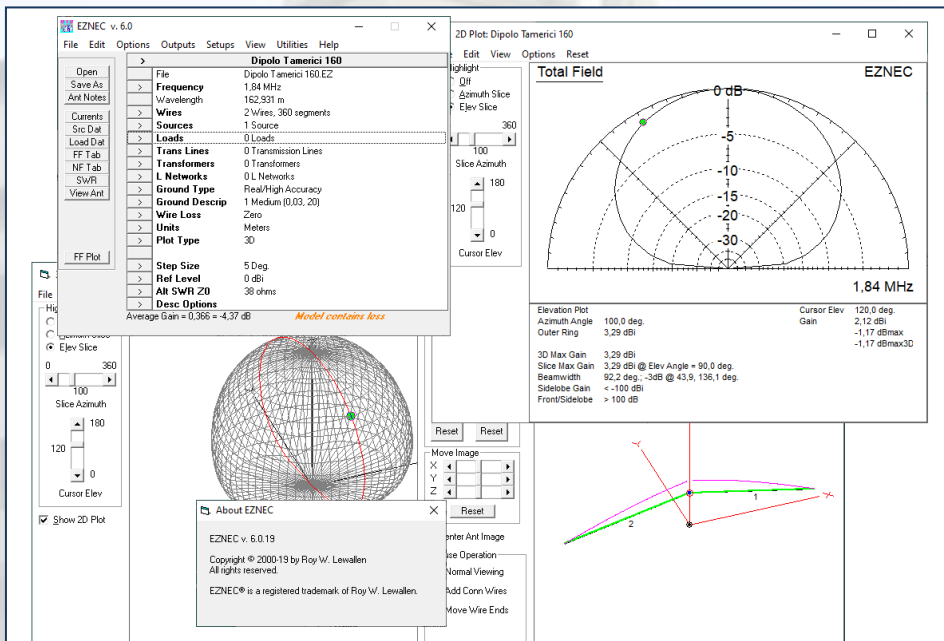
In alcuni casi un metodo abbastanza semplice per realizzare l'adattamento di impedenza è quello di porre in «parallelo» al punto di alimentazione una impedenza X_p di opportuno valore, che prende il nome di «STUB» (*mozzicone*) o «HAIRPIN» (*forcella*), metodo utilizzabile solo quando l'impedenza da adattare è minore di quella della linea. L'impiego dello STUB o del HAIRPIN determina una leggera diminuzione della frequenza di risonanza dell'antenna che quindi deve poi essere riadattata

$$X_P = Z_0 \sqrt{\frac{Z_L}{Z_0 - Z_L}}$$



Antenne – Efficienza di radiazione

Oggi chi vuole dedicarsi all'autocostruzione, rispetto al passato, dispone a buon mercato di molti strumenti sia HW che SW di ausilio al corretto dimensionamento e alla valutazione preliminare delle prestazioni di un'antenna. E' però necessario saper interpretare correttamente i molti dati che tali strumenti ci mettono a disposizione.

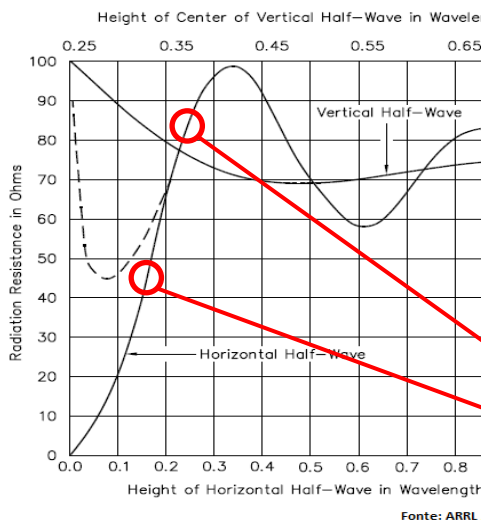


Antenne – Efficienza di radiazione

Per chiarire meglio i concetti fin qui esposti proviamo adesso a fare qualche esempio pratico:

- Caso 1) Dipolo orizzontale $F = 7\text{MHz}$ posto a 10m ($\lambda/4$) da terra diametro conduttore $1,5\text{mm}$ su terreno di caratteristiche medie alimentato con cavo coax $Z_0 = 50\Omega$
- Caso 2) Dipolo orizzontale $F = 3,5\text{ MHz}$ posto a 10m ($\lambda/8$) da terra diametro del conduttore $1,5\text{mm}$ su terreno di caratteristiche medie alimentato con cavo coax $Z_0 = 50\Omega$
- Caso 3) Verticale caricata in testa di lunghezza $\lambda/8$ posta a terra con 16 radiali $\lambda/8$ interrati, terreno di caratteristiche medie alimentato con cavo coax $Z_0 = 50\Omega$

Sezione
di
Pisa



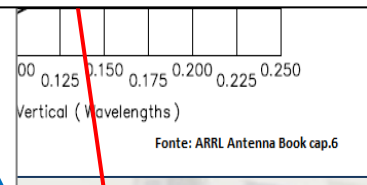
Resistenza di perdita nel conduttore (Ω) per un dipolo $\lambda/2$			
		1,8	3
δ (mm)		0,049	0,0
Lunghezza (mt.)		80	4
Diametro Conduttore (mm)	1	9,26	6,
	1,5	6,07	4,19
	2	4,51	3,13
	2,5	3,59	2,49

[Rif. Low-Band DXing cap.9]

Table 9-1
Equivalent Resistances of Buried Radial Systems

Radial Length (λ)	2	15	30	60	120
0.15	28.6	15.3	14.8	11.6	11.6
0.20	28.4	15.3	13.4	9.1	9.1
0.25	28.1	15.1	12.2	7.9	6.9
0.30	27.7	14.3	10.7	6.6	5.2
0.35	27.5	13.9	9.8	5.6	2.8
0.40	27.0	13.1	7.2	5.2	0.1

Diametro Conduttore (mm)	1	1,5	2	2,5	3	4
1	9,26	6,07	4,51	3,59	2,94	2,07
1,5	6,07	4,19	3,13	2,49	1,90	1,46
2	4,51	3,13	2,20	1,55	1,42	1,09
2,5	3,59	2,49	1,75	1,24	1,13	0,87



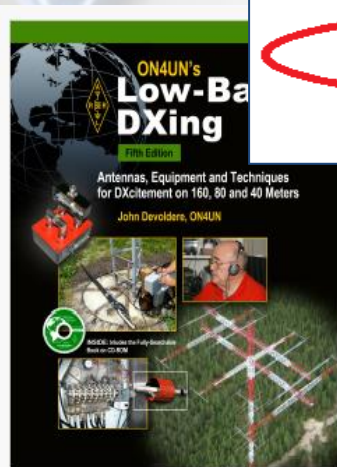
- Caso 1) Dipolo orizzontale $F = 7\text{MHz}$ posto a 10m ($\lambda/4$) da terra diametro conduttore $1,5\text{mm}$ su terreno di caratteristiche medie alimentato con cavo coax $Z_0 = 50\Omega$
- Caso 2) Dipolo orizzontale $F = 3,5\text{MHz}$ posto a 10m ($\lambda/8$) da terra diametro del conduttore $1,5\text{mm}$ su terreno di caratteristiche medie alimentato con cavo coax $Z_0 = 50\Omega$
- Caso 3) Verticale caricata in testa di lunghezza $\lambda/8$ posta a terra con 16 radiali $\lambda/8$ interrati, terreno di caratteristiche medie alimentato con cavo coax $Z_0 = 50\Omega$

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
R_{rad}	85 Ω	45 Ω	20 Ω
R_{Loss}	4 Ω	7 Ω	18 Ω
$R_L = R_{\text{rad}} + R_{\text{Loss}}$	89 Ω	52 Ω	38 Ω
SWR	1,78:1	1,04:1	1,31:1
η_r	95%	86%	52%

Antenne – Misura del SWR

L'analisi dei risultati dei tre casi presi ad esempio evidenzia un importante elemento troppo spesso non correttamente considerato:

«Un buon valore di SWR fornisce una indicazione attendibile circa il corretto adattamento di impedenza nel punto di alimentazione ma non può dare indicazioni attendibili circa l'efficienza di radiazione dell'antenna stessa»



Everyone has heard comments like "My antenna really gets out because the SWR does not rise above 1.5:1 at the band edges." Low SWR is no indication at all of good antenna performance! It is often the contrary. The "antenna" with the best SWR is a quality dummy load. Antennas using dummy resistors as part of loading devices come next (Ref. 603). The TTFD (Tilted Terminated Folded Dipole)

.....scriveva il compianto John Devoldere, ON4UN nel suo libro Low-Band DXing : "The Antenna with best SWR is a quality dummy load", "L'antenna con il miglior valore di SWR è un buon carico fittizio!" una provocazione che però rende bene il concetto che un basso valore di SWR non è sempre garanzia dell'efficienza di radiazione dell'antenna.

Sempre John aggiunge che la probabile spiegazione di questa errata percezione per la quale SWR sia un criterio di valutazione dell'efficienza di un'antenna deriva dalla semplicità con cui tale valore può essere misurato rispetto alla notevole difficoltà che si presenta invece nel poter valutare strumentalmente l'effettiva efficienza di radiazione di un'antenna....

Antenne – Misura del SWR

Dalla teoria delle linee di trasmissione sappiamo che una linea terminata su una impedenza diversa dall'impedenza caratteristica della linea stessa è sede di un regime di onde stazionarie la cui entità è misurata dal valore del SWR (Standing Wave Ratio) ne consegue che **«la misura del SWR è un valido indicatore del livello di adattamento di impedenza tra linea e carico»**.

In base a quanto abbiamo appena visto circa il teorema del massimo trasferimento di potenza, **un basso valore di SWR è anche garanzia di trasferimento della massima potenza erogabile dal trasmettitore**.

SWR	% P _r	dB
1	0,0	0,00
1,1	0,2	-0,01
1,2	0,8	-0,04
1,3	1,7	-0,07
1,4	2,8	-0,12
1,5	4,0	-0,18
1,6	5,3	-0,24
1,7	6,7	-0,30
1,8	8,2	-0,37
1,9	9,6	-0,44
2	11,1	-0,51
2,5	18,4	-0,88
3	25,0	-1,25
4	36,0	-1,94
5	44,4	-2,55
10	66,9	-4,81

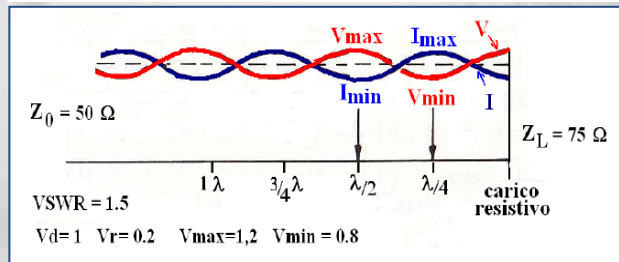
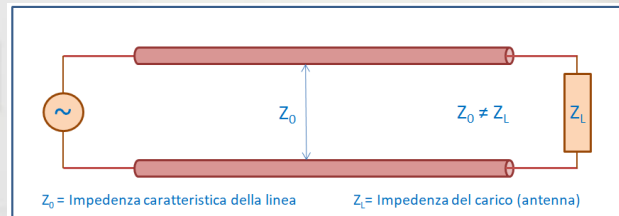
Alcune formule utili :

$$SWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + \sqrt{Pr/Pd}}{1 - \sqrt{Pr/Pd}}$$

$$Pr = Pd * \left(\frac{SWR-1}{SWR+1} \right)^2$$

$$SWR = \frac{Z_L}{Z_0} \quad \text{Per } Z_L > Z_0$$

$$SWR = \frac{Z_0}{Z_L} \quad \text{Per } Z_L < Z_0$$

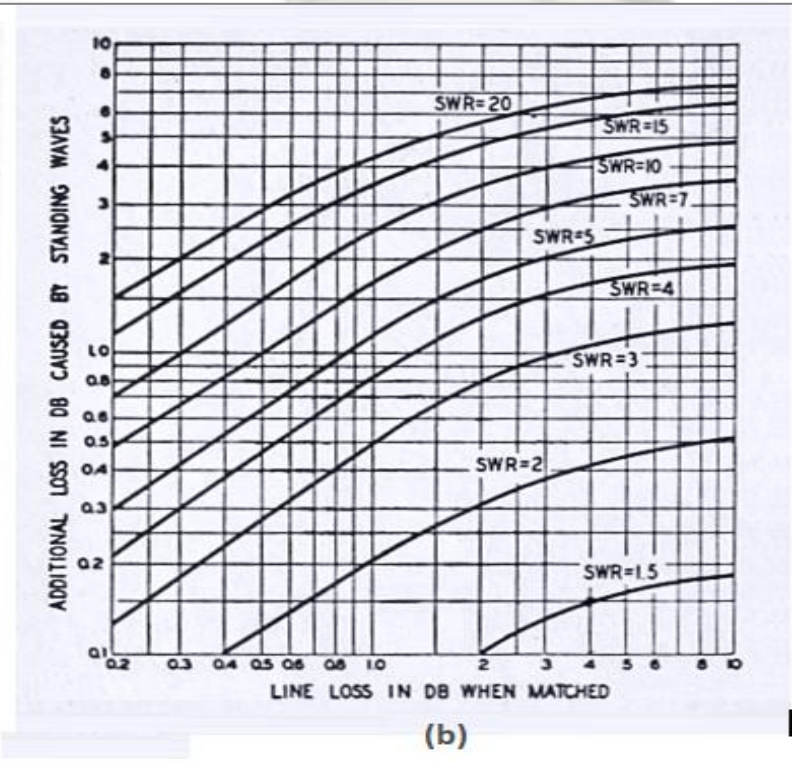
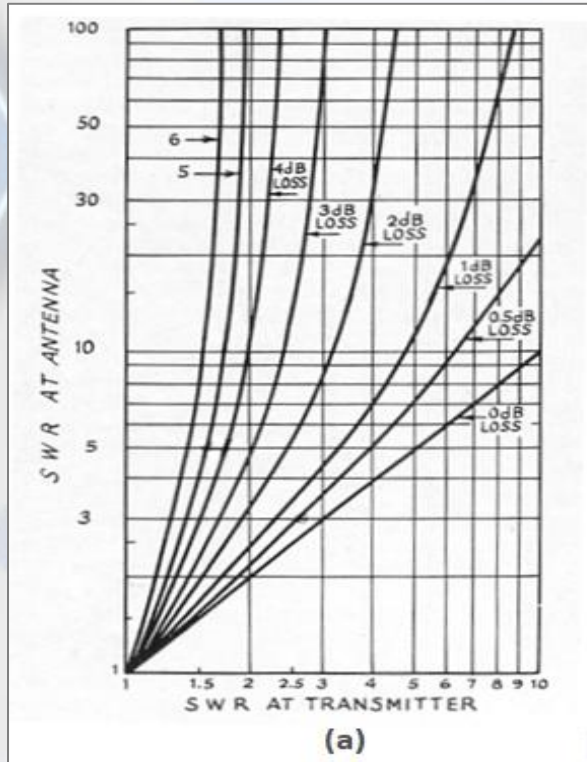


Antenne – Misura del SWR

Rimanendo nell'ambito della misura del SWR è opportuno evidenziare un aspetto importante, se la misura è effettuata lato TX, come avviene nella maggioranza dei casi, il valore misurato può risultare sottostimato in funzione delle caratteristiche di attenuazione del cavo che per questo motivo è bene che siano sempre ben note.



Antenne – Misura del SWR



Antenne – Misura del SWR

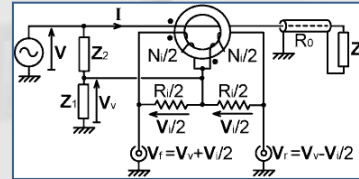
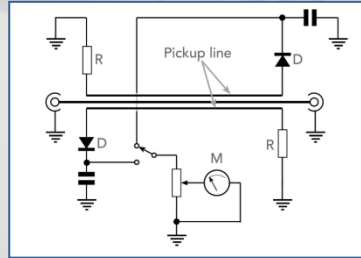
Come abbiamo visto effettuando la misura di SWR con lo strumento posto all'uscita del trasmettitore si può correre il rischio di **rilevare valori di ROS non totalmente attendibili se l'attenuazione del cavo è elevata**.

Ma errori nel valore di SWR possono determinarsi anche se la misura non è effettuata con un buon «**accoppiatore direzionale**».

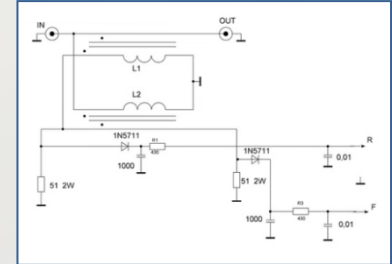
Purtroppo molti strumenti commerciali, per motivi di costo, non utilizzano accoppiatori direzionali ma utilizzano «**Bruene Bridge**» o «**Tandem Bridge**» che in particolari condizioni possono produrre misurazioni non del tutto attendibili.



Accoppiatore Direzionale

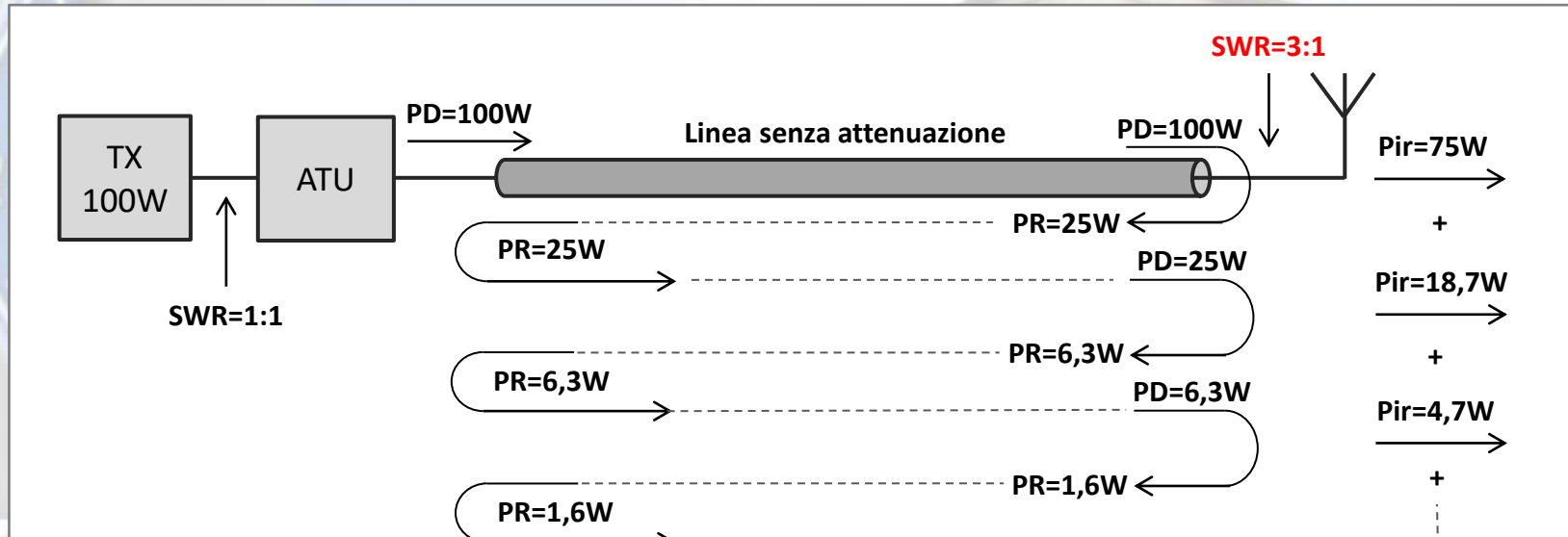


Bruene Bridge



Tandem Bridge

Antenne – Misura del SWR



Una ulteriore conferma del fatto che non esista un legame stretto tra SWR e efficienza di radiazione è l'esempio riportato che evidenzia come, anche in caso di disadattamento tra linea e antenna, **se la linea non ha attenuazione, tutta la potenza trasmessa può comunque raggiungere l'antenna anche con SWR elevato.**

Conclusioni

- L'efficienza di radiazione di un'antenna dipende oltre che dalle sue dimensioni soprattutto dall'ambiente in cui si trova e dalle modalità con cui viene installata.
- Un buon valore di SWR non da alcuna garanzia circa l'efficienza di radiazione della nostra antenna
- Più che preoccuparci del valore di SWR dovremmo preoccuparci delle caratteristiche del cavo coassiale, prima fra tutte la sua attenuazione, In caso di SWR elevato la potenza riflessa si dissipa sul cavo in proporzione sua attenuazione.
- In caso di SWR elevato è necessario l'adattamento di impedenza verso il TX affinché la potenza riflessa non si dissipi sulle stadio finale con le ovvie conseguenze, ma soprattutto perché il TX possa erogare la massima potenza .
- Utilizzando un accordatore lato TX , se il cavo utilizzato ha un'attenuazione molto bassa, anche in presenza di SWR elevato, tutta la potenza disponibile verrà comunque irradiata.....



Sezione
di
Pisa

***Grazie
per l'attenzione***



Sezione
di
Pisa

Discussione

