

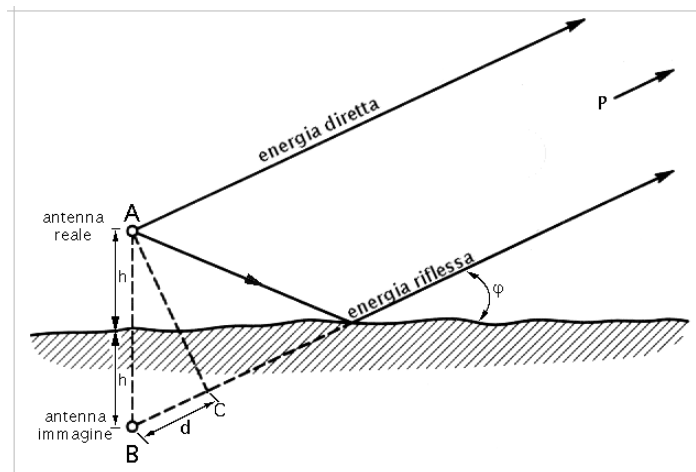
EFETTO DEL SUOLO

di Giovanni G. Turco, ik0ziz

Le caratteristiche d'irradiazione di un'antenna possono essere modificate, oltre che da eventi estranei, anche dal suolo sottostante. Infatti, quando l'antenna non si trova installata in spazio libero ma in prossimità del suolo, all'energia diretta si somma quella irradiata verso terra che la riflette.

Un'antenna non risente dell'effetto del suolo quando è collocata ad una distanza da esso pari a qualche lunghezza d'onda. Le antenne particolarmente vincolate alla presenza del suolo sottostante sono quelle che risonano fino a circa 50 MHz.

Le antenne VHF e oltre, grazie alla minor lunghezza d'onda, e quindi alla piccola grandezza meccanica, possono invece essere installate ad altezze molto più elevate in rapporto alla lunghezza d'onda di risonanza, perciò non subiscono l'effetto del suolo, e si possono considerare come operanti in spazio libero.



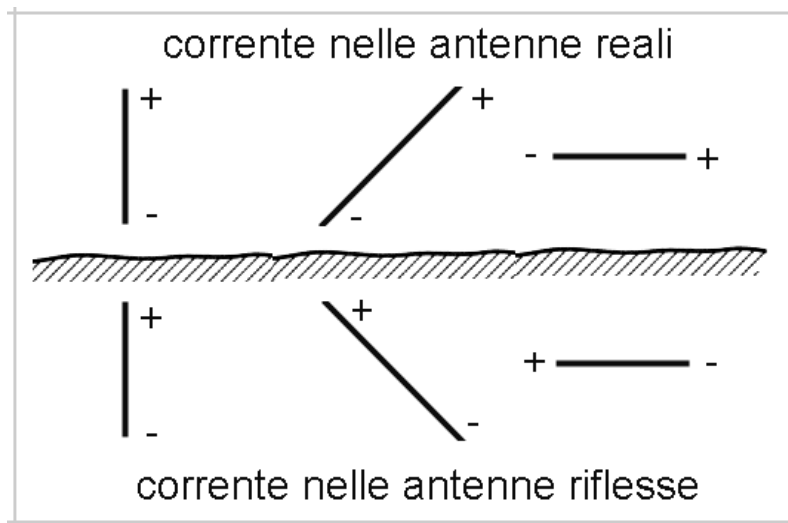
Effetto del suolo, quando è perfetto conduttore su un'antenna orizzontale. Nel punto P distante da l'aereo, la intensità di campo risulta rinforzata per somma tra la radiazione diretta e quella riflessa dal suolo che viaggia però con un ritardo di fase (d).

Il suolo sottostante all'antenna si comporta praticamente come uno specchio. L'energia riflessa può essere considerata proveniente da un'antenna immagine posta sotto il suolo, in posizione simmetrica rispetto a quella reale. Quando la superficie terrestre è piana, perfettamente riflettente, le correnti delle due antenne (quella reale e quella immagine) sono di ampiezza uguale.

Le fasi, nelle antenne verticali riflesse, sono identiche: le correnti scorrono nelle stesse direzioni (correnti in fase). Nelle antenne orizzontali riflesse, i versi delle correnti sono opposti (correnti in opposizione di fase).

Nel caso di antenne posizionate diversamente rispetto al suolo (inclinate), l'andamento della corrente nell'antenna immagine si ottiene considerando le due componenti, verticale ed orizzontale.

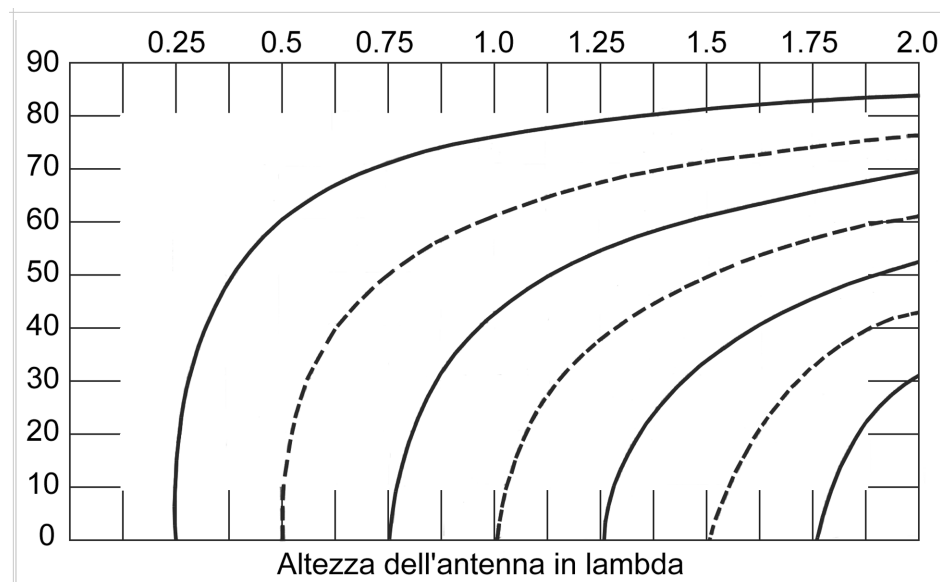
In pratica, la superficie terrestre, non essendo un perfetto conduttore, ha coefficiente di riflessione inferiore all'unità, pertanto l'ampiezza e la fase della corrente nell'antenna immagine devono essere leggermente modificate, con conseguente deformazione del diagramma di radiazione; ad esempio, si possono verificare una diminuzione dell'ampiezza dei lobi principali ed un aumento dei minimi del diagramma.



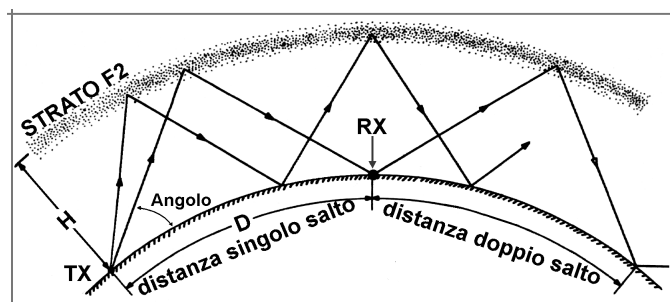
Correnti nelle antenne in posizione verticale, oblique e orizzontali.

Stabilire l'angolo di riflessione di un'antenna non è sempre facile poiché non è detto che la riflessione avvenga proprio sulla superficie del suolo, in quanto la conformazione del terreno è variabile. L'installazione di un sistema di antenna, che tenga conto anche e soprattutto della riflessione, prevede studi molto precisi sulla natura del terreno sottostante.

In teoria, sul grafico relativo all'altezza dell'antenna, le curve a linea continua indicano il massimo rafforzamento dell'intensità di campo del segnale trasmesso, e quelle con linea tratteggiata i minimi o le zone d'ombra.



Tanto più è basso l'angolo d'irradiazione, rispetto all'orizzonte, tanto più distante dall'antenna giunge il segnale. I salti possono essere anche più d'uno quindi, con cadute più o meno ampie ed intense in certe zone, che si ripetono con lo stesso presumibile angolo fino al naturale esaurimento dell'energia viaggiante.

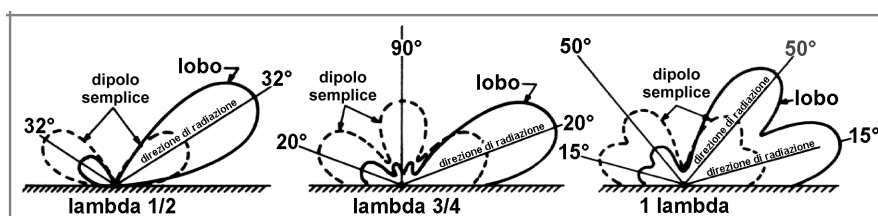


Salto singolo, che copre una distanza di 4 mila Km. per raggiungere il ricevitore e altro salto successivo inutilizzato. Ad altro angolo al ricevitore non giunge segnale.

In pratica però tutto ciò avviene raramente, infatti la rifrazione che le onde subiscono nella ionosfera e altre deviazioni, non ultime quelle causate dalle condizioni meteorologiche, fanno sì che l'ampiezza dell'angolo d'irradiazione non corrisponda a quello con il quale il fronte d'onda incontra l'antenna di ricezione.

Perciò è chiaro che nella realtà non esiste un angolo d'irradiazione esatto, che si possa calcolare in funzione della frequenza di trasmissione, ma per buona norma, queste regole vanno comunque osservate, il più possibile, per essere nella condizione più veritiera.

Conviene sempre posizionare l'antenna orizzontale ad un'altezza dal suolo di almeno 0.6 di lambda, punto in cui la resistenza d'irradiazione rispetto al suolo (mutua impedenza) si mantiene attorno a 58 ohm, con un leggero guadagno d'intensità.



Piano artificiale di terra

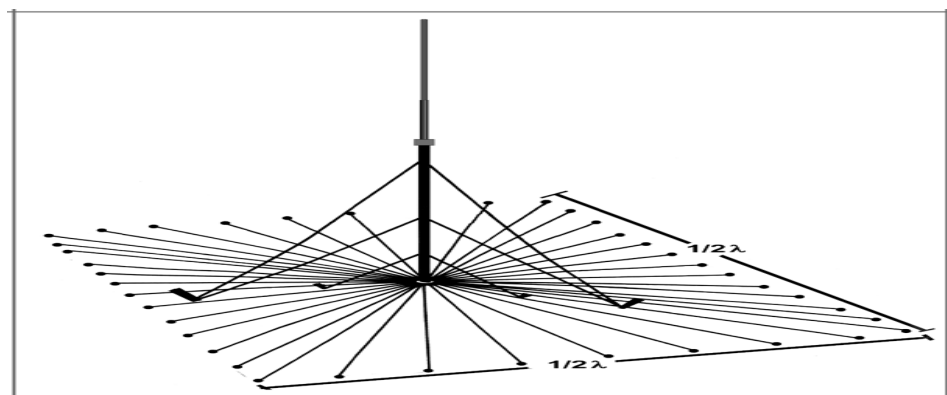
E' possibile simulare un affidabile piano di terra disponendo, sotto l'antenna, una rete metallica elettrosaldada, con un raggio uguale o superiore a 1/2 lunghezza d'onda della sua frequenza di risonanza.

La rete determinerà l'esatta altezza dell'antenna da terra e quindi il suo angolo di riflessione, la resistenza d'irradiazione e l'intensità relativa. Si verificherà un leggero ritardo di fase, dovuto alla differenza di tempo d'irradiazione tra il fascio diretto e quello riflesso.

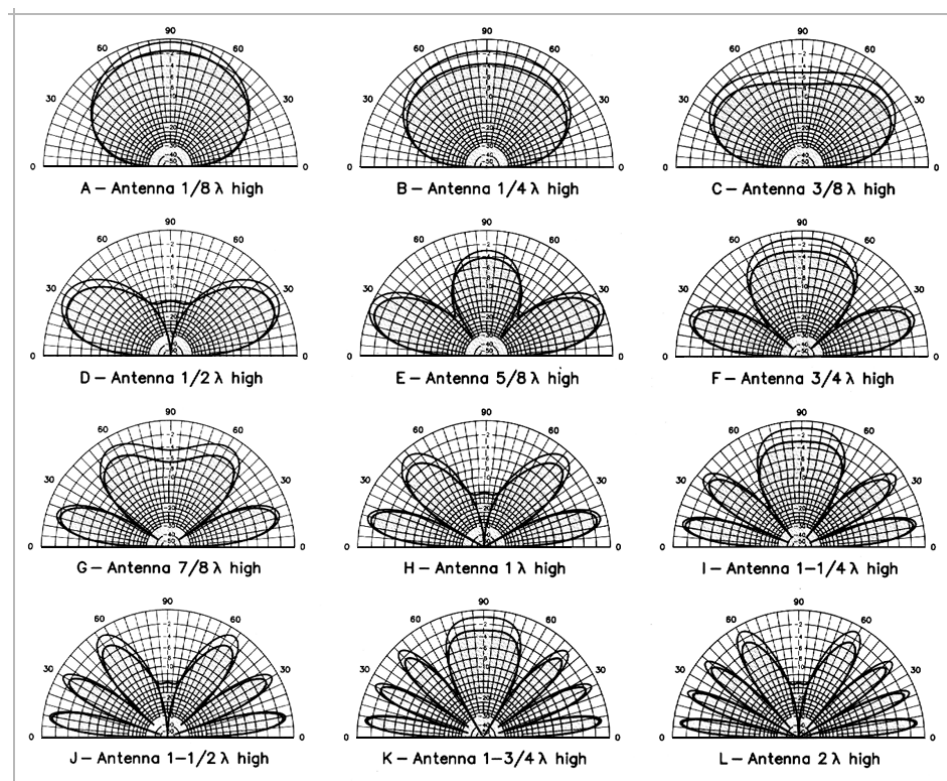
Con o senza rete, il ritardo di fase permarrà provocando uno sfasamento sotto certi angoli verticali in cui, i campi diretto e riflesso invece di sommarsi possono giungere, in taluni punti, anche completamente sfasati.

BANDA	range di elevazione conveniente	altezza ottimale dell'antenna in metri
40 metri	12° - 40°	14
20 metri	10° - 25°	12
15 metri	7° - 20°	11,6
10 metri	5° - 14°	10,5

Tabella indicante il miglior angolo d'irradiazione verticale per le bande radioamatoriali.



Un'antenna verticale con piano di terra artificiale con raggio di $\lambda/2$.



Fattori di riflessione per antenne orizzontali a varie altezze dal suolo uniforme.

Altezza delle antenne VHF

Un'antenna risonante in banda VHF o oltre, se installata ad almeno tre lunghezze d'onda dal suolo, o da qualsiasi altro piano riflettente, viene considerata come fosse libera nello spazio e l'irradiazione non ne è influenzata.

Se questa condizione non viene rispettata, la resistenza d'irradiazione si modifica, quindi si può dire che essa dipende dall'altezza dal suolo.

Nella tabella H-Rr si può notare la variazione dell'impedenza al variare dell'altezza, fino a tre λ dal piano riflettente perfetto conduttore.

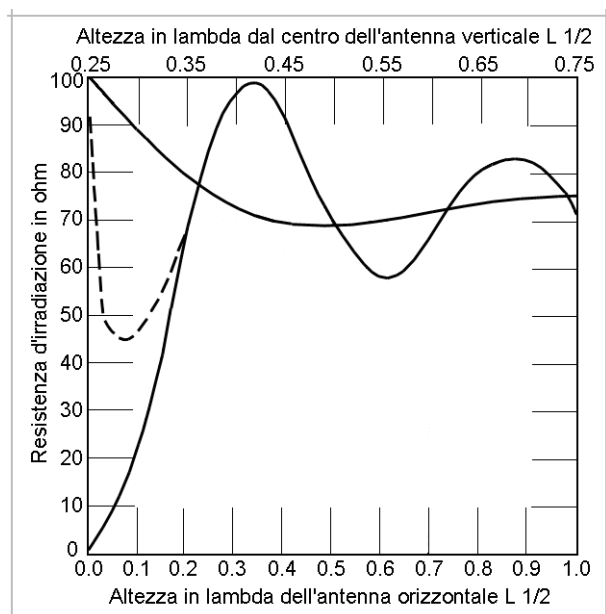
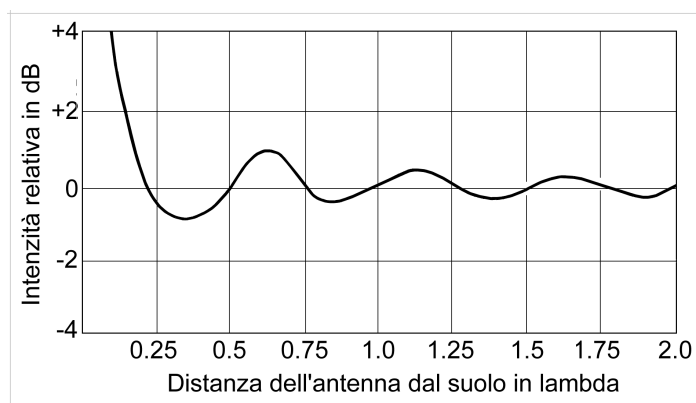


Tabella della variazione della resistenza d'irradiazione per antenne verticali ed orizzontali al variare della distanza dal suolo perfetto conduttore (linea continua). La linea tratteggiata rappresenta la componente resistiva presente all'ingresso linea.



Variazione di guadagno o perdita relativa all'intensità di corrente che scorre in antenna dipendente dalla distanza dal suolo quando è perfetto conduttore, e quindi dalla R_r .

Antenne sovrapposte

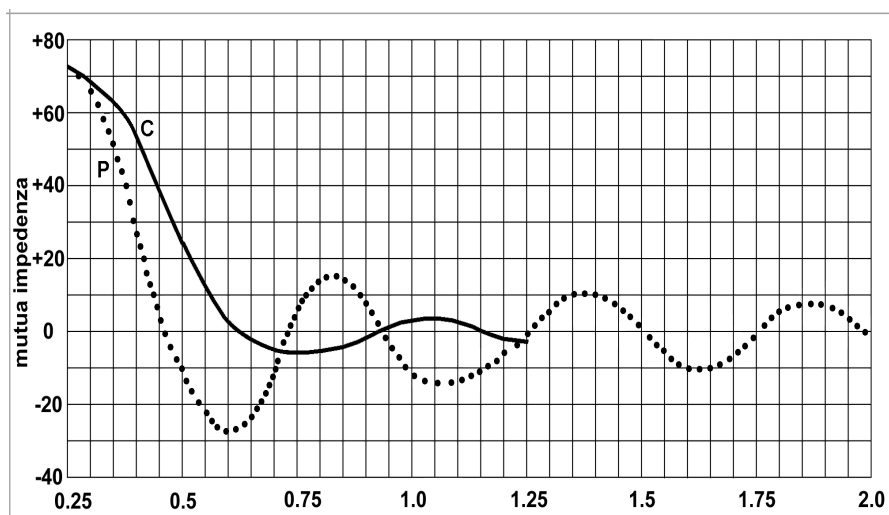
A volte, può essere necessario rafforzare il segnale in una particolare direzione.

Quando il numero dei direttori in un'antenna è già numeroso o non è possibile utilizzare boom molto lunghi, una soluzione è l'aggiunta di una o più antenne combinate tra loro, mediante un dispositivo di accoppiamento.

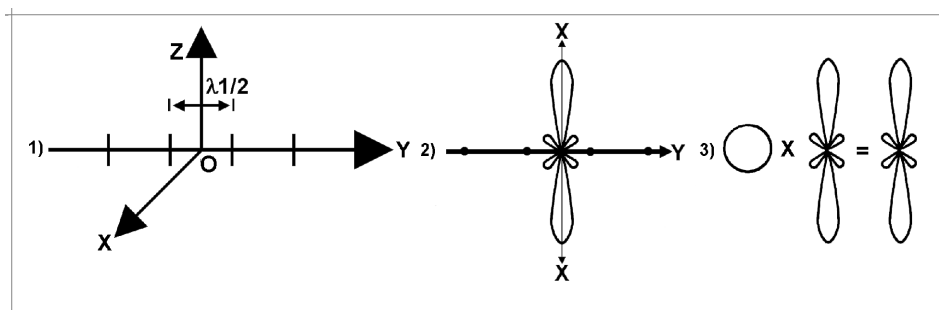
La regola della distanza dal suolo resta valida, infatti, a distanze inferiori a due lunghezze d'onda fra loro, le antenne si accoppiano e la resistenza d'irradiazione, che viene definita "mutua impedenza", varia con la distanza stessa.

Di conseguenza varia anche il lobo d'irradiazione che si stringe allungandosi in avanti, ottenendo un guadagno "G" che risulterà maggiore rispetto a quello avuto con una sola antenna.

Se quattro antenne, perfettamente uguali tra loro, sono disposte allineate orizzontalmente, il diagramma d'irradiazione corrispondente è un lobo molto stretto il cui centro è nel mezzo del sistema e la potenza a radiofrequenza che giunge all'antenna ricevente risulta molto rafforzata, pari ad un guadagno di circa 6 dBd.



Valori di mutua resistenza al variare della distanza tra due antenne accoppiate in collineare (C) e parallele (P). Ad esempio, due antenne accoppiate in parallelo, distanti tra loro 0.65λ , presenteranno una mutua impedenza di valore 50 ohm ($73 - 23 = 50$). Il calcolo è facilmente deducibile: alla impedenza del dipolo (73 ohm) viene sommato o sottratto il valore indicato a sinistra del grafico.



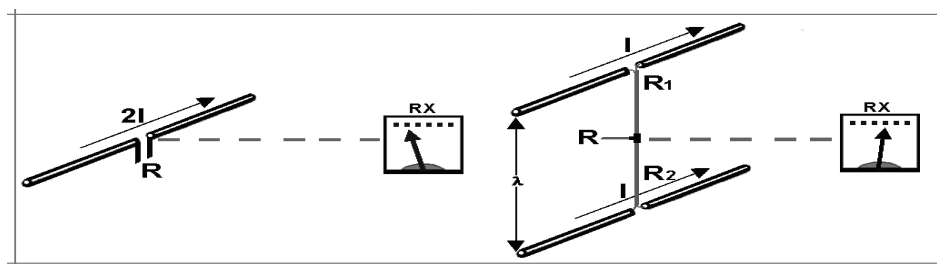
In figura, quattro dipoli elementari sono disposti con l'asse parallelo all'asse Z e allineati con l'asse Y.

Nella figura, all'allineamento rappresentato in 1) corrisponde il diagramma di radiazione 2) in piano X, Y del radiatore singolo (il dipolo elementare è isotropico nel piano perpendicolare all'asse) per il diagramma dell'allineamento di quattro radiatori isotropici distanti $\lambda/2$ (ottenuto con la seguente formula :

$$E = E_o / \sin\left(\pi \frac{d}{y} \cos \phi\right) / \sin\left(\pi \frac{d}{y} \cos \phi\right)$$

La somma dell'energia delle quattro antenne avviene a condizione che i campi di ognuna giungano in fase all'antenna ricevente, che le correnti siano uguali e che siano distanti tra loro tanto che quelle immesse in ognuna siano tanto minime da considerarsi trascurabili, ovvero che ognuna delle correnti conservi l'impedenza uguale alla condizione di singola antenna.

Normalmente, e non solo nel campo radioamatoriale, sulle bande VHF ed oltre è molto diffuso l'uso di antenne accoppiate in collineare (una sopra l'altra), distanziate di tanto a seconda del lobo che si vuole ottenere.



A sinistra irradiazione ricevuta da singolo dipolo, a destra il segnale è doppio, guadagno 3 dB.

E' da tenere presente che la distanza dal piano riflettente è da considerarsi a partire dal centro del sistema rispetto al suolo. Una distanza minima di tre lunghezze d'onda tra il centro dell'elemento più basso ed il suolo è indispensabile per l'ottimizzazione del rendimento.