

Realizzazione di modelli di antenne con NEC

La guida per il principiante di W4RNL

liberamente tradotta e commentata da I4MFA / W4MFA

Prefazione

Alcuni anni fa, quando si iniziò a parlare dei programmi per la modellazione di antenne, avevo iniziato a redigere un articolo, che purtroppo non arrivò mai a conclusione in quanto l'argomento era talmente tanto lungo da richiedere un libro per essere esaustivo. Poi l'approccio di W4RNL mi ha convinto che la preparazione di una semplice guida per il principiante può essere cosa utile ed interessante; da qui il presente articolo, che spero possa rappresentare una spinta per quei RadioAmatori che utilizzano il computer come una calcolatrice evoluta con cui affrontare professionalmente le proprie esperienze sulla realizzazione di antenne.

Parte Prima: Seditiamoci comodi ed incominciamo.

La realizzazione di modelli di antenne tramite computer è diventata recentemente una popolare attività progettuale anche fra i radioamatori. Su molte riviste tecniche se ne possono vedere i risultati: diagrammi di radiazione azimutali, diagrammi di radiazione zenitali, altrimenti detti di elevazione, diagrammi che rappresentano il ROS al variare della frequenza per una data antenna. Molti radioamatori sono in grado di procurarsi questi programmi, che sono a volte gratuiti e a volte di costo limitato ed accessibile, e quindi le prime domande che il neofita di questa tecnologia si pone sono:

- posso anche io realizzare modelli di antenna ed osservare la stessa tipologia di risultati presentati sulle riviste tecniche ?
- inoltre questa tecnica mi consente di investire i miei sforzi in modo da produrre risultati ed informazioni utili, che non sarei in grado di ottenere in modo altrettanto semplice con altre tecniche ?

La risposta ad entrambe queste domande è SI. Con un piccolo allenamento ed un poco di pratica ogni radioamatore può progettare antenne con tecniche di modellazione a computer, e questa piccola guida per il principiante, in quattro parti, si offre di dare le basi ad una attività che ognuno potrà poi autonomamente ampliare con esercitazioni pratiche.

Nella prima parte ci si propone di capire il significato della modellazione di antenne tramite programmi, evidenziando gli elementi per una corretta realizzazione di un modello; successivamente si analizzerà con maggiore dettaglio i punti cruciali di questa attività, per rendere la modellazione più semplice ed i suoi risultati più interessanti.

Quando parliamo di programmi per la realizzazione di modelli di antenne, o modellazione, ci riferiamo ad uno specifico di essi noto come NEC-2, i cui algoritmi sono stati ripresi da tutti i più noti programmi di modellazione, siano essi gratuiti o a pagamento, ed alla sua versione ridotta, denominata MININEC, realizzato da Rockway e Logan per gli amanti dei Personal Computer; possiamo trovare MININEC disponibile sotto il nome di NEC4WIN sul sito web di Orion (<http://www.cam.org/mboucricri> o sue ridirezioni) o col nome di ELNEC sul sito web di W7EL (<http://www.eznec.com>); possiamo richiedere AO a k6sti@n2.net oppure richiedere MININEC alla E.M Scientific, il cui sito web è <http://www.emsci.com>; comunque sia, il cuore del programma è sempre lo stesso. Se desideriamo approfondire poi gli argomenti sulla modellazione ricordiamoci che au ARRL Antenna Compendium sono presenti interessanti articoli a cura di J. Belrose e L. Cebik.

Per procurarvi quindi NEC-2 potete procurarvi EZNEC sul sito web di W7EL, o NECWin Plus dalla Nittany Scientific (<http://www.nittan-scientific.com>), o Antenna Solver dalla Grating Solver Dvp Co. (<http://www.gsolver.com>). W4RNL ha utilizzato i primi due programmi descritti, EZNEC e NECin Plus, senza sostanziali differenze e tutti i suggerimenti qui offerti prescindono dal programma utilizzato.

Cosa intendiamo per modello di una antenna

Quando parliamo di un modello di automobile o di imbarcazione intendiamo solitamente un esemplare in scala ridotta dell'originale, spesso realizzato per diletto; da qui il termine di aereomodellista, ad esempio. Per quanto concerne invece l'utilizzo del termine modello che viene fatto in questo articolo nulla sembra essere più distante dalla realtà, per cui partiamo da un esempio concreto per capire questo nuovo concetto.

La formula $L = 468 / f$, dove L è in piedi e f è in MHz, ci consente di calcolare la lunghezza di un dipolo; per meglio dire, essa rappresenta il primo rudimentale passo verso il modello *matematico* di un dipolo. Ponendo $f = 7.15$ MHz si ottiene $L = 65.45$ piedi (NdT: per evitare errori di calcolo si riportano le stesse unità di misura proposte da W4RNL). Sappiamo però che l'esperienza ci suggerisce di tagliare il filo un poco più lungo ed aggiustare l'antenna per il minimo ROS, in fase di installazione, accorciandolo a mano a mano. Il diametro del filo non appare in questa formula, e neppure le caratteristiche del materiale utilizzato. Non appare neppure la altezza da terra del nostro dipolo, così come nessun riferimento viene fatto alla conducibilità del terreno. Possibile che non esista una formula che tenga in considerazione anche questi, apparentemente importanti, elementi?

La formula completa esiste, ma noi utilizziamo una formula semplificata, al fine di effettuare un numero inferiore di calcoli matematici; utilizzare una formula più completa ci permetterebbe di tagliare con maggior precisione il nostro filo. Potremmo anche determinare l'intensità di campo ad ogni angolo di elevazione ed in ogni direzione sul piano azimutale; NEC ci consente di demandare ad un computer la esecuzione di questi calcoli ed ottenere risultati più precisi di quelli ottenibili attraverso l'utilizzo della formula semplificata.

Ma anche NEC effettua delle semplificazioni rispetto ad una formula matematica ancora più generale e complessa; questo programma utilizza una particolare tecnologia matematica, definita Metodo dei Momenti, che si basa sulla suddivisione di una antenna in segmenti sui quali vengono effettuate le analisi matematiche, che poi vengono ricombinate per offrirci la soluzione completa del problema, o per meglio dire del modello matematico, tenendo conto delle caratteristiche dei materiali, dei carichi induttivi o capacitivi presenti sulla antenna, degli effetti del terreno su di essa.

Fra le cose da sottolineare all'interesse del principiante vi è sia la validità e precisione, qualora si utilizzi correttamente il programma, di questo modello che la necessità di pensare in termini di *segmenti* dei nostri elementi di antenna; non preoccupiamoci più quindi delle formule matematiche ma impariamo invece a realizzare un *modello* matematico, una semplificazione, simile alla formula originale, ma che tenga conto soltanto di quegli elementi che hanno un visibile riscontro nella realtà da noi osservabile: proprio in modo analogo alla semplificazione rappresentata dal modello di un aereo o di una imbarcazione.

Il linguaggio della modellazione

Occorre a questo punto creare un nuovo vocabolario di termini per esprimerci correttamente nell'arte della modellazione. Il primo di questi termini è il *segmento*, in inglese *segment*, che possiamo facilmente, ma erroneamente, assimilare agli elementi tubolari che compongono un elemento. Vediamone con alcuni esempi la differenza.

Consideriamo un dipolo; esso potrebbe essere composto da due elementi tubolari; il suo modello invece dovrebbe essere rappresentato da nove segmenti. Consideriamo una quad; visibilmente una sua realizzazione potrebbe presentarci quattro elementi filari; il suo modello dovrebbe invece essere rappresentato attraverso cinque segmenti per ogni elemento filare. In una antenna ad estremi ripiegati, come la Moxon, sarebbero facilmente identificabili tre elementi filari, che nulla o quasi avrebbero a che vedere con il suo modello, globalmente composto da undici segmenti, di cui sette disposti sulla parte orizzontale e due su ciascuno degli estremi ripiegati.

Invece esiste un rapporto più facilmente unificabile fra i suddetti elementi filari e tubolari ed il concetto di *filo*, in inglese *wire*, attraverso il quale è possibile con NEC realizzare qualsiasi forma di antenna; infatti una antenna circolare potrebbe essere approssimata inizialmente attraverso un ottagono, per passare poi ad un poligono regolare con un maggior numero di lati. Risulta quindi facile identificare in un *wire* il modello di un dipolo, in quattro *wire* il modello di una quad, in tre *wire* quello di una Moxon e così via.

Per realizzare quindi un corretto modello trasformeremo il disegno di ogni singolo elemento di una antenna in *wire*, sulla base della geometria dell'elemento stesso: ad esempio un *wire* per un dipolo, quattro per una quad e tre per un dipolo ad estremità ripiegate; ogni *wire* verrà successivamente suddiviso in più *segment*.

Come suggerimento per il principiante consideriamo le seguenti linee guida per la corretta impostazione di un modello da utilizzarsi con NEC:

- utilizzare almeno nove *segment* per ogni mezza lunghezza d'onda, cinque per un quarto d'onda e così via, scegliendo preferibilmente numeri dispari (più avanti capiremo i vantaggi di questa scelta);
- la lunghezza fisica di un *segment* deve essere almeno quattro volte maggiore del diametro del filo; esiste una complessa equazione, la cui comprensione oltrepassa gli obiettivi del presente articolo, che ne chiarisce le motivazioni;
- ove possibile mantenere la lunghezza fisica dei *segment* identica in ogni parte del modello.

Se noi consideriamo un dipolo come formato da un *wire* suddiviso in undici *segment*, il programma sarà in grado di calcolare la lunghezza di un *segment* dividendo la lunghezza del *wire* per undici e realizzando tutti i *segment* di pari lunghezza; se però noi abbiamo una antenna complessa, composta da più *wire*, sarà compito nostro effettuare questa operazione al fine di definire una suddivisione dei *wire* in *segment* che abbiano tutti, approssimativamente, la stessa lunghezza; la lunghezza del *segment* di un *wire* sarà sempre la lunghezza di quel *wire* divisa per il numero di *segment* che lo compongono.

Affrontiamo adesso il nostro primo esempio pratico, il modello di un dipolo.

Per prima cosa scegliamo l'orientamento del dipolo, ad esempio un dipolo orizzontale; pensiamolo per i 40m, con una frequenza di risonanza $f = 7.15$ MHz. Utilizziamo la formula precedentemente illustrata come base di partenza per la sua lunghezza L che sarà pari a 65.46 piedi. Cerchiamo infine di vedere in un mondo a tre dimensioni il modello che andiamo a realizzare.

Scegliamo di conseguenza quello che in matematica si chiama piano di coordinate cartesiane, che altro non è che un metodo per specificare versi e direzioni nello spazio; esso può essere pensato come una tovaglia a quadretti, precedentemente piegata in quattro, aperta ed appoggiata sul prato; le pieghe individueranno due cosiddetti assi ortogonali, disposti a novanta gradi, che chiameremo assi X ed Y , entrambi paralleli alla superficie del terreno; piantiamo adesso un bastone al centro della tovaglia ed ecco definito il terzo asse ortogonale, che chiameremo Z , e che ci identifica in un certo qual modo la altezza rispetto al suolo. Infine, se oltre alla direzione vogliamo un verso, riteniamo direzioni positive quelle individuate dalla regola della mano sinistra: pollice in alto, asse Z crescente, indice in avanti, asse Y crescente, medio verso destra, asse X crescente.

Pensiamo adesso come descrivere in questo piano cartesiano la geometria della nostra antenna. Possiamo pensare che essa sia disposta lungo l'asse Z , con gli estremi equidistanti dall'asse X ; siccome la sua lunghezza totale è 65.46 pollici, questo significa che un estremo avrà per Y il valore 33.73 mentre l'altro estremo avrà $Y = -33.73$; entrambi gli estremi avranno $X = 0$; se poi supponiamo che il dipolo sia ad una altezza di 70 piedi ecco trovato anche il valore per Z . Quindi, in questa ipotesi, chiamando End-1 il primo estremo del *wire* di cui il dipolo risulta composto, End-2 il secondo estremo, avremo che End-1 viene individuato da $X = 0, Y = 33.73, Z = 70$; End-2 viene invece individuato da $X = 0, Y = -33.73, Z = 70$. Le unità di misura sono in piedi. Il modello del dipolo risulta un singolo *wire*, denominato #1, i cui estremi End-1 ed End-2 hanno i valori di X, Y e Z precedentemente citati. Se fossimo dei bravi disegnatori potremmo facilmente rappresentare su una carta millimetrata, in prospettiva a cavaliere, questo nostro primo modello nella sua geometria tridimensionale.

Molti programmi NEC hanno una *utility* che consente la rappresentazione tridimensionale della geometria del modello impostato per coordinate. Su un foglio di carta millimetrata potremmo facilmente disegnarne la proiezione sul piano XY . L'importante per ora è avere capito come disegnare la geometria, come recuperare le coordinate X, Y, Z degli estremi dei *wire* che compongono gli elementi della nostra antenna.

Dobbiamo adesso collegare la alimentazione alla nostra antenna, esattamente al centro di essa. Siccome i *segment* sono definibili come le unità elementari utilizzate in NEC, gli oggetti attraverso i quali comporre i *wire* e, attraverso essi, la nostra antenna, la affermazione: *la alimentazione della antenna e' collegata al centro dell'elemento* diventa equivalente a dire: *la alimentazione della antenna e' collegata al segment #n del wire #1*. Ma poichè nella realtà la alimentazione è collegata al centro della antenna, anche nel modello essa deve essere collegata al *segment* che si trova al centro del *wire #1*. Se il *wire* fosse diviso in un numero pari di *segment* non sarebbe possibile individuare il *segment* al centro, cosa che diventa possibile se il *wire* viene diviso per un numero dispari di *segment*, ad esempio undici, come precedentemente suggerito. La nostra sorgente di alimentazione viene quindi posta, in modo puntiforme (dimentichiamo il concetto di centrale e calza di un cavo coassiale e vediamo come il connettore), sul *segment #6*, con un valore di 1 per la ampiezza e 0 per la fase, valori che hanno interesse solo in presenza di molteplici sorgenti di alimentazione e che quindi non influenzano, per questo semplice modello, in alcun modo i risultati di guadagno ed impedenza od i diagrammi di radiazione.

A seconda del programma che andremo ad utilizzare cambia il modo per immettere i valori di X,Y,Z e gli altri parametri; occorre quindi rifarsi al manuale del programma specifico; EZNEC offre un specie di foglio Excel con le caselle in cui inserire i valori; ELNEC permette di muoversi con il cursore sui vari campi e vuole i valori di X,Y,Z di End-n separati da virgole; anche qui avremo quindi la necessità di leggerci il manuale, come quando utilizziamo per la prima volta un ricetrasmittitore, onde evitare che il programma ci dica... *wrong VFO, split up!*

Altre utili voci da impostare in un modello

Fino adesso quello che abbiamo fatto corrisponde a ritagliare un pezzo di filo ed appenderlo a due supporti, che abbiamo chiamato End-1 ed End-2. Questo rappresenta il primo necessario passo. Adesso possiamo definire, ad esempio, il diametro del filo; alcuni programmi lo vogliono in mm, altri accettano i valori AWG; su NEC-Win Plus posso anche definire il materiale utilizzato: rame (copper), argento (silver), alluminio puro o nelle sue varie leghe, quali 6063-T832 o 6061-T6, ottone (brass), bronzo fosforoso, acciaio e così via.

Analogamente possiamo definire le caratteristiche del terreno, ipotizzando che l'antenna sia ad una altezza tale da renderle ininfluenti, come se fosse nello spazio, o chiedendo al programma di ipotizzare un suolo ideale su cui applicare la teoria di Sommerfeld-Norton sulla riflessione del suolo, od infine impostando i parametri di conduttività a valori diversi dal classico standard di 0.005 S7m e di costante dielettrica, solitamente 13.

I programmi NEC sono in grado di calcolare gli effetti della altezza dal suolo anche per valori pari ad un decimo di lunghezza d'onda. Mentre l'altezza dal suolo rappresenta un fattore critico per il nostro modello, le caratteristiche del terreno sono molto meno influenti; pertanto impostiamo correttamente l'altezza della antenna dal suolo ed accettiamo con fiducia i valori proposti per la conduttività e la costante dielettrica, o permittività. Eventualmente su ARRL Antenna Book possiamo trovare alcuni riferimenti per questi valori.

Ricordiamoci di impostare la frequenza di lavoro, 7.15 MHz nel nostro esempio. Alcuni programmi consentono anche di impostare una frequenza minima ed una massima in modo da rappresentare poi i risultati al variare della frequenza di lavoro.

Come si può facilmente vedere un modello matematico si compone di elementi legati alla geometria della antenna così come di elementi legati all'ambiente in cui tale antenna opera ed infine anche di elementi collegati alla costituzione fisica della antenna stessa. La realizzazione di un modello matematico ha quindi una complessità analoga a quella della realizzazione fisica della antenna stessa. Così come non dobbiamo stupirci se la nostra antenna non funziona perchè il vento l'ha spezzata, in conseguenza di un nostro errore di valutazione, meccanico, dei parametri da dare alla antenna stessa, così non dobbiamo stupirci se il nostro modello non funziona a causa di un valore impostato che non corrisponde alla realtà.

E' facile anche notare come il modello sia, fin dall sua definizione iniziale, ben diverso dalla realtà: non abbiamo descritto pali, alberi e costruzioni accanto alla antenna, il suolo non ha una definizione planimetrica che faccia capire al programma se esso è pianeggiante o collinare, se vi sono collinette o buchi nel terreno, anche in prossimità della antenna, ecc. ecc. Il modello rappresenta una semplificazione della realtà e questo condiziona i risultati che esso produce.

I tipi di rappresentazione ottenibili per un modello

Prima di chiedere al programma una analisi del modello testè impostato occorre configurare un ulteriore parametro: il tipo di *pattern* che desideriamo visualizzare, ovverossia il tipo di diagramma, azimutale o zenitale (altrimenti detto di elevazione).

Il programma, in assenza di tale specifica, potrebbe calcolare l'impedenza della nostra antenna, ma non sarebbe in grado di darci una rappresentazione grafica del guadagno e del lobo di radiazione, cosa utile ed affascinante.

Possiamo quindi impostare la visualizzazione del diagramma di radiazione sul piano zenitale, riferendoci ad una direzione di zero gradi, equivalente alla direzione dell'asse X nel sistema di coordinate cartesiane precedentemente considerato, direzione in cui noi già sappiamo, per acquisita esperienza, irradiare il dipolo.

Inoltre possiamo impostare ogni quanti gradi di elevazione calcolare il predetto diagramma ed eventualmente l'angolo iniziale e finale da considerare; tipicamente un grado di incremento rappresenta una logica scelta; possiamo aumentare a 3 gradi qualora il nostro computer venisse affaticato da questo calcolo, mentre scendere al di sotto di un grado rappresenta solitamente un inutile dispendio di energie; zero e 180 sono i classici valori per l'angolo iniziale e quello finale di elevazione.

Possiamo adesso eseguire la elevazione; solitamente il comando RUN ci consente questo ultimo passo. Con EZNEC vedremo subito rappresentato il diagramma, mentre con NEC-Win Plus dovremo esplicitamente richiamare gli elementi che vogliamo visualizzare. Anche in questo caso, visto che differenti programmi utilizzano differenti comandi per produrre i risultati desiderati, la lettura del manuale è d'obbligo.

Il diagramma di radiazione zenitale produce subito una serie di interessanti informazioni. Per prima cosa si nota che una antenna posta ad una bassa altezza espressa in lunghezze d'onda, ponendo quindi $Z = 40$ piedi nel nostro esempio, irradia prevalentemente ad angoli molto alti, troppo alti per la maggior parte degli skip ionosferici. Ripetendo la simulazione con questi ultimi dati per Z troveremmo un guadagno massimo di circa 5.8dBi per un angolo prossimo ai 45 gradi.

Il calcolo del guadagno in dBi rappresenta la scelta tradizionale di NEC di raffrontarsi ad un teorico radiatore isotropico, una antenna in grado di irradiare uniformemente per qualsiasi valore di angolo sia sul piano azimutale che su quello zenitale. Questa scelta potrebbe disorientare il neofita; nulla osta che ci si prepari un piccolo insieme di modelli di antenne standard a cui comparare il nostro modello mediante semplici sottrazioni dei valori di guadagno espressi in dB.

Ricordiamoci che, sebbene i valori siano spesso espressi con due cifre decimali, un decimo di dB non è assolutamente rappresentativo: figuriamoci poi un centesimo! Pertanto, sebbene matematicamente il programma possa presentare valori come 5.87dBi, abituiamoci ad arrotondarli subito a 5.9 e non disperiamoci se da precedenti calcoli avevamo ottenuto 5.8 o 6.0, perchè comunque differenze così minime non hanno impatto alcuno sulle nostre attività radioamatoriali.

Lo stesso discorso si applica anche all'angolo sul piano zenitale per cui abbiamo il massimo guadagno della antenna, altrimenti detto angolo di take-off. 49 o 50 gradi non fanno alcuna differenza e sono spesso il risultato di approssimazioni introdotte dal computer sui complessi calcoli matematici effettuati per la analisi del modello.

Ricordiamoci quindi che valori leggermente diversi dati da differenti programmi od anche dallo stesso programma con modelli che rappresentiamo in differenti unità di misura non sono assolutamente significativi.

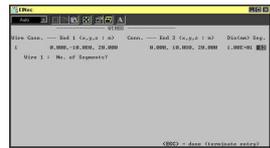
Significativa invece nella simulazione di questo modello di dipolo è la forma del lobo di radiazione che otteniamo sul piano azimutale, impostando un angolo di elevazione pari a 45 gradi, valore prossimo a quello in cui il dipolo presenta il massimo guadagno. Essa è ovale, ben diversa dalla forma ad otto tanto spesso vista sui libri; un ovale che ci evidenzia sì un minor guadagno della antenna sui lati, tuttavia sufficiente ad ottenere discreti rapporti. La ragione di questo lobo azimutale ovale è la prossimità della antenna al suolo, come precedentemente impostato per questo ultimo esempio 40 piedi, circa un quarto di lunghezza d'onda.

Un'altro dato ben diverso da quanto potevamo aspettarci è la impedenza, non la classica 75 ohm puramente resistiva ma qualcosa di prossimo a $90 + j20$.

Questo significa che la formula adottata per tagliare l'antenna nel modello del nostro dipolo non si è rivelata corretta, generando un modello di antenna troppo lungo, come dimostra il termine immaginario positivo corrispondente ad una reattanza induttiva. Anche la parte reale può rappresentare una sorpresa; cionondimeno questi risultati sono accurati e, nei limiti del modello impostato, esatti.

Se con un dipolo con queste dimensioni posto a 40 piedi trovate questi valori, allora il modello ipotizzato, trovando riscontro nella realtà, evidenzia il suo successo. E la tecnica di modellazione a computer delle antenne rivela che molte cose possono essere imparate con l'aiuto di queste tecniche matematiche che il nostro computer può aiutarci a sviluppare senza troppa fatica, evidenziando fatti curiosi a volte collegati anche alle antenne più semplici.

Il compito per casa



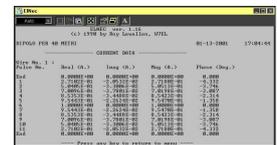
Prendo il mio Enecc, una vecchia versione 1.16 per dos che funziona bene anche sotto Windows98, il Manuale delle Antenne di I1ABA e via: dipolo per 40m, frequenza 7.07 MHz, altezza 20 metri dal suolo, filo da 10 mm, formula per la lunghezza 142.5 diviso 7.07 che mi segnala una lunghezza di 20.16 metri, unità di misura metri, X = 0, Y = -10.08, Z = 20 e X = 0, Y = 10.08, Z = 20. Questi parametri sono rappresentati in [figura1](#).

Imposto 12 segmenti perchè in questa release di Enecc il programma ruba l'ultimo segmento; occorre pertanto usare un numero pari di segmenti, considerare che l'ultimo viene rubato ed individuare quindi facilmente il centro: segmento numero 6, che si trova al centro di una disposizione in cui i segmenti 1,2,3,4,5 vengono prima di esso ed i segmenti 7,8,9,10,11 dopo di esso. Per definire il corretto posizionamento del source è possibile anche segnalare il wire e la percentuale di distanza dal suo primo estremo, nel nostro caso 1,50.



Avremo quindi il menu principale come da [figura2](#) e potremo procedere alle analisi. Prima di tutto usiamo il comando O e notiamo, come da [figura3](#), che l'impedenza non e' 75 ohm e la reattanza è capacitiva, essendo Z = 68 - j41 con termine immaginario negativo: antenna troppo corta, ROS 2.1 anzichè 1.5. Il

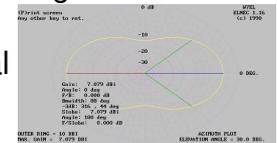
modello sembra ben fatto in quanto la disposizione delle correnti, che otteniamo con il comando C ed è visibile in [figura4](#), è simmetrica.



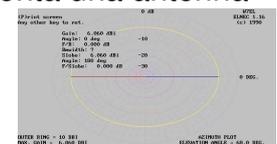
Il comando A ci dice che l'antenna ha 7.1 dBi di guadagno a 30 gradi di elevazione, con un lobo ampio 35 gradi a -3 dB; questo significa un comportamento uniforme, entro 3 dB, della nostra antenna fra 14 e 49 gradi di elevazione, come visibile in [figura5](#).

Ed ecco infine che con Invio otteniamo i diagrammi zenitale ed azimutale a 30 gradi del nostro dipolo, come da [figura6](#) e [figura7](#).

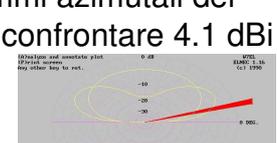
Rifacciamo la simulazione per una altezza di 10 metri dal suolo. L'impedenza passa a Z = 76 + j6, con ROS appena sopra ad 1.5, come troviamo sui sacri testi. Questo significa forse una migliore posizione per la nostra antenna? Vediamo cosa dicono i diagrammi zenitale ed azimutale, che riporto in [figura8](#) ed in [figura9](#). L'angolo di take-off sale a 68 gradi ed il guadagno passa a 6.1 dBi; inoltre il diagramma azimutale a 69 gradi presenta una antenna omnidirezionale.



Facciamo adesso una semplice considerazione: quale angolo di take-off considerare? Occorre rifarsi alle tabelle di propagazione, che ci dicono che, ad esempio, i segnali di un W2, Stati Uniti orientali, arrivano in Europa con un angolo di 14 gradi. Rivediamo quindi i diagrammi azimutali dei due dipoli considerando 14 gradi, come in [figura10](#). Dobbiamo confrontare 4.1 dBi del dipolo a 20 metri con -1.3 dBi del dipolo a 10 metri, circa 5.4 dB di differenza; entrambi hanno oltre 20 dB di attenuazione sui lati.



In [figura11](#) ho meglio rappresentato il path tipico dei segnali provenienti da W2 assieme ai diagrammi zenitali dei due modelli considerati: l'altezza fa un punto S di differenza, come è facile notare anche in figura.



Parte Seconda: Dati e risultati della modellazione.

La volta scorsa abbiamo visto i concetti base della analisi di un modello di antenna e ci siamo familiarizzati con alcuni termini, come *wire* e *segment*. Abbiamo anche parlato delle differenze fra la struttura e l'ambiente di un modello di antenna. Adesso concentreremo la nostra attenzione su altri due fondamentali aspetti della modellazione.

Primo fra essi è la traduzione di un insieme fisico di fili e di elementi in un sistema di coordinate cartesiane tridimensionale da immettere nel programma. Secondariamente ci concentreremo sulla interpretazione dei diagrammi azimutali e zenitali forniti dal programma come risultato della simulazione. Non ci prefiggiamo come risultato una completa spiegazione di essi, ma più semplicemente consentirvene una facile leggibilità ed interpretazione. Tutti i diagrammi discussi sono ottenibili dai programmi Eznec e NEC-Win Plus presentati la volta scorsa.

Fili, *wire*, coordinate e convenzioni

Non è facile, per chi affronta questo argomento per la prima volta, trasformare le lunghezze degli elementi di una antenna nelle coordinate dei *wire*; per questo ci sono alcuni piccoli suggerimenti che possono ritornarvi estremamente utili. Abituarsi a realizzare il modello in modo ordinato, seguendo sempre lo stesso facile schema, è il segreto del successo personale nella realizzazione di modelli di antenne. E questo è vero anche se il metodo scelto non è il solo metodo per raggiungere un corretto risultato.

Ricominciamo quindi considerando un sistema di coordinate cartesiane tridimensionale, dove la nostra antenna giace sullo stesso piano su cui giacciono l'asse X ed Y e si erge lungo l'asse Z, che rappresenta la sua altezza. Non preoccupiamoci per ora se il concetto di altezza debba applicarsi alla antenna presa a se stante o debba includere anche l'altezza dell'antenna rispetto al suolo o rispetto al tetto di casa.

Quando realizziamo un modello, abbiamo varie scelte su come impostare i valori di X e di Y: sempre positivi, sempre negativi, parte positivi e parte negativi essi siano, questo non influenza i risultati del programma e quindi possiamo subito scegliere alcune semplici convenzioni.

1. **Convenzione 1:**

ove possibile realizziamo gli elementi in modo simmetrico, dividendoli in parti uguali al di qua ed al di là di una linea centrale; ad esempio un elemento di 8 piedi avrà -4 e 4 come valori per gli estremi.

1. **Convenzione 2:**

disponiamo gli elementi paralleli all'asse Y; ovviamente questo vale per elementi lineari, come quelli di una classica yagi od il filo di un dipolo orizzontale; quindi 8 piedi significano $Y = -4$ ed $Y = 4$.

2. **Convenzione 3:**

disponiamo il boom lungo l'asse X; una antenna senza boom, come un dipolo, avrà $X = 0$.

3. **Convenzione 4:**

utilizziamo Z per l'altezza della antenna.

Bene, avendo stabilito alcune convenzioni, vediamole adesso in alcuni esempi pratici.

Un dipolo

Passiamo adesso a realizzare il modello di un dipolo per i 10 metri, fisicamente ipotizzato composto da tre tubi di alluminio, uno centrale di diametro maggiore e due che si innestano a cannochiale sugli estremi di esso. Il diametro del tubo centrale sia 0.5 pollici e quello delle parti che si innestano in esso sia 0.375 pollici. Ipotizziamo il dipolo ad una altezza di 35 piedi. Se volessimo utilizzare il sistema metrico potremmo parlare rispettivamente di 12mm, 10mm e 10 metri.

Da un punto di vista meccanico il nostro progetto consiste in un tubo di sezione maggiore lungo 8 piedi e due tubi di sezione minore che fuoriescono dagli estremi del primo per 4.4 piedi. Ai fini della simulazione non ci interessa il fatto che il tubo di dimensione maggiore sia tagliato al centro per permettere il collegamento del cavo coassiale, così come non ci interessano le necessarie parti dei tubi agli estremi che si inseriscono nel tubo centrale, le eventuali fascette stringitubo o viti, i tappi di gomma agli estremi, eccetera eccetera.

Pertanto, ai fini del modello, avremo una lunghezza totale di 16.8 piedi e tre *wire*. Vediamo adesso una nuova convenzione che ci consentirà di immettere con più facilità i dati nel programma.

1. Convenzione 5:

consideriamo sempre un elemento partendo da sinistra e procedendo verso destra; sulla sinistra individueremo i valori negativi e sulla destra quelli positivi.

Sulla base delle convenzioni fissate possiamo adesso determinare le coordinate dei tre *wire* di cui si compone il nostro dipolo.

Siccome parliamo di una antenna a singolo elemento avremo sempre $X = 0$.

Siccome questa antenna si trova a 35 piedi avremo sempre $Z = 35$, posto che le unità di misura siano piedi.

Siccome poniamo l'antenna simmetricamente a cavallo di una immaginaria mezzeria che si trova sull'asse X, avremo che la Y del primo estremo sarà pari alla metà della lunghezza della antenna, presa col segno meno; quindi visto che l'antenna è lunga 16.8 piedi, $Y = -8.4$ per l'estremo del primo *wire*; l'altro estremo si troverà 4.4 piedi sulla destra e dovremo quindi aggiungere 4.4 a -8.4 ottenendo $Y = -4$; ecco quindi le coordinate del primo *wire*: $X = 0$, $Y = -8.4$, $Z = 35$ e $X = 0$, $Y = -4$, $Z = 35$.

Siccome il secondo tubo inizia dalla fine del primo, diventa facile scoprire la sua coordinata iniziale; inoltre siccome è il tubo centrale, per le predette ragioni di simmetria risulta altresì facile trovare la sua coordinata finale, utilizzando un semplice cambiamento di segno; ecco quindi le coordinate del secondo *wire*: $X = 0$, $Y = -4$, $Z = 35$ e $X = 0$, $Y = 4$, $Z = 35$.

Siccome il terzo tubo inizia dove finisce il secondo, una coordinata è presto individuata; e poichè la seconda coordinata è l'altro estremo della antenna, per le precedentemente citate convenzioni di simmetria anche essa è facile da individuare: $X = 0$, $Y = 4$, $Z = 35$ e $X = 0$, $Y = 8.4$, $Z = 35$.

Si tratta quindi di riempire la tabella di un programma con i valori riportati nella sottostante *Tabella1*.

WIRE	Estremo 1			Estremo 2		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0	-8.4	35	0	-4	35
2	0	-4	35	0	4	35
3	0	4	35	0	8.4	35

Tabella1

A seconda del programma utilizzato questi valori dovranno essere immessi in particolari celle oppure a gruppi di tre, essendo tre le coordinate X Y Z, separati da virgole ed utilizzando il punto come separatore decimale, e così via. Questo rappresenta un elemento di utilizzo del programma specifico ed è quindi facile aiutarsi con l'apposito manuale di utilizzo.

Oltre ai suddetti valori si rende necessario anche l'inserimento, per ciascuno dei *wire*, del relativo diametro. Se il programma richiede di utilizzare le stesse unità di misura occorre dividere per 12 un valore in pollici per ottenere il corrispondente valore in piedi. Se dobbiamo impostare altri parametri, come il tipo di materiale, ad esempio alluminio 6063, questo è il momento giusto.

Non dimentichiamoci dei *segment*. Per avere almeno 10 *segment* per ogni mezza lunghezza d'onda dovremo tener presente, ricordandoci di impostare un numero dispari di *segment* per i *wire* che hanno un *source* collegato ad essi, la dimensione dei singoli *wire* rapportata alla mezza lunghezza d'onda. Possiamo quindi porre a 3 il valore di *segment* per i *wire* 1 e 3 ed a 5, numero dispari, il valore di *segment* per il *wire* 2.

Una yagi a tre elementi

Le convenzioni che riguardano la disposizione simmetrica rispetto all'asse X degli elementi risultano ulteriormente valide nel caso di una yagi a tre elementi.

Per semplicità la nostra yagi avrà elementi tubolari in singolo pezzo del diametro di 0.5 pollici. Questo significa avere un *wire* per ogni elemento fisico della antenna; una notevole semplificazione.

Consideriamo la frequenza pari a 51 Mhz, banda 6m. Poniamo l'antenna ad una altezza di 20 piedi, ovvero 240 pollici. Utilizziamo le seguenti lunghezze degli elementi:

- riflettore 114 pollici
- radiatore 110 pollici
- direttore 102 pollici

Gli elementi sono disposti simmetricamente attorno all'asse X su cui giace il boom e pertanto dividiamo per 2 i suddetti valori, ottenendo 57, 55 e 51, in modo da avere immediatamente i valori per Y.

Le spaziature scelte sono:

- Riflettore - radiatore 38 pollici
- radiatore - direttore 40 pollici

Sorge ora spontanea la domanda: come disponiamo i tre elementi lungo l'asse X ? Potremmo partire con il Riflettore avente una $X = 0$; potremmo altresì disporre gli elementi in modo simmetrico rispetto all'asse Y. Preferiamo scegliere una nuova convenzione:

1. Convenzione 6:

impostiamo per il radiatore $X = 0$, per i direttori una X positiva e per il Riflettore una X negativa; il valore di X per il Riflettore sarà uguale alla spaziatura Riflettore - radiatore; analogamente, nel caso di una tre elementi, il valore di X per il direttore sarà uguale alla spaziatura radiatore - direttore.

Un'altra domanda che sorge spontanea riguarda l'ordine in cui descrivere i *wire* degli elementi. Anche qui ci viene in aiuto una nuova convenzione:

1. Convenzione 7:

ordiniamo i *wire* partendo dal Riflettore, descrivendo poi il radiatore ed infine i direttori; questo per ogni singola antenna di un array.

Con l'aiuto delle convenzioni fin qui descritte prepariamo la tabella dei dati da inserire nel programma per il modello della yagi a tre elementi; utilizziamo i pollici come unità di misura.

Siccome il riflettore è lungo 114 pollici e la sua spaziatura è 38 pollici, dividendo 114 per 2 e ricordandoci che l'antenna si trova a 240 pollici di altezza, avremo che i due estremi del *wire* 1 avranno rispettivamente $X = -38, Y = -57, Z = 240$ e $X = -38, Y = 57, Z = 240$.

Siccome il radiatore è lungo 108 pollici, per lo stesso motivo di cui sopra avremo per gli estremi del *wire* 2 i valori di $X = 0, Y = -54, Z = 240$ e $X = 0, Y = 54, Z = 240$.

Siccome il direttore è lungo 102 pollici e la sua spaziatura è 40 pollici, dividendo 102 per 2 e ricordandoci che l'antenna si trova a 240 pollici di altezza, avremo che i due estremi del *wire* 3 avranno rispettivamente $X = 40, Y = -51, Z = 240$ e $X = 40, Y = 51, Z = 240$.

A questo punto potremo inserire i dati fisici della antenna, il materiale, la frequenza, il numero di *segment* per ogni *wire*, il *source*, i dati relativi ai diagrammi di radiazione desiderati ed eseguire la nostra simulazione.

Disponendo i valori di Y simmetricamente rispetto ad X abbiamo realizzato una antenna il cui boom coincide con l'asse X; disponendo poi i direttori sui valori positivi di X ed il riflettore sui valori negativi di X questa antenna avrà il lobo frontale che corrisponde ad un angolo di 0 gradi e quello posteriore che corrisponde ad un angolo di 180 gradi sul diagramma di radiazione azimutale.

Le convenzioni finora adottate sono quindi servite, oltre che per darci un metodo, a rendere di più facile leggibilità le risposte del computer.

Una quad a singolo elemento

Fino adesso le nostre antenne giacevano sul piano XY; lo studio di una quad, anche semplicemente ad un singolo elemento, ci permette di completare le nostre tecniche ed essere pronti a progettare antenne che si estendano in un qualunque modo nello spazio.

La nostra quad a singolo elemento è per la banda dei 2m, con frequenza pari a 145 MHz e lunghezza del loop di 88 pollici, ovvero 22 pollici ogni lato del quadrato. Si trova a 240 pollici di altezza e gli spider sono isolati e pertanto non influenzano il modello.

Siccome stiamo trattando un singolo elemento tutti i valori di X saranno pari a 0. I lati del quadrato si estendono lungo Y e lungo Z. Occorre a questo punto impostare nuove convenzioni.

1. Convenzione 8:

realizzeremo il modello del loop in modo che il secondo estremo del primo *wire* coincida con il primo estremo del secondo *wire*, il secondo estremo del secondo *wire* coincida con il primo estremo del terzo *wire*, il secondo estremo del terzo *wire* con il primo estremo del quarto *wire* ed infine il secondo estremo del quarto *wire* con il primo estremo del primo *wire*.

2. Convenzione 9:

progetteremo inizialmente l'antenna come se la sua altezza da terra fosse 0 e solo al termine andremo ad aggiungere ai vari valori di Z l'altezza della antenna.

Questa ultima convenzione ci permette di ribaltare anche sui valori di Z quel concetto di simmetria che avevamo visto per i valori di Y. Dividiamo quindi la lunghezza di un lato per 2 e consideriamo valori positivi e negativi sia per Y che per Z, nel nostro caso pari a 11 pollici.

Avremo quindi per gli 8 estremi dei 4 *wire* da considerare, posto $X = 0$, i valori di Y e Z riportati in *Tabella2*.

WIRE	Estremo 1			Estremo 2		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0	-11	-11	0	-11	11
2	0	-11	11	0	11	11
3	0	11	11	0	11	-11
4	0	11	-11	0	-11	-11

Tabella2

A questo punto aggiungiamo l'altezza della antenna dal suolo, pari a 240 pollici, a tutti i valori di Z, che diventano rispettivamente 229 e 251 anzichè -11 e 11.

Infine inseriamo la dimensione del filo, 0.5 pollici, il numero di segment per ogni wire, 7, il tipo di materiale, rame, e tutti i parametri richiesti dalla simulazione.

Utilizzando le convenzioni sopra descritte saremo in grado, con notevole semplicità, di realizzare antenne di qualsiasi complessità, con qualsiasi numero e tipo di elementi; semplicemente sedendoci accanto ad un foglio di carta a quadretti e preparando con ordine il sistema di coordinate che rappresenterà il nostro modello.

Visto il notevole interesse per le quad, molti programmi di modellazione stanno introducendo tecniche per l'inserimento automatico del valore di altezza della antenna dal suolo nelle coordinate degli estremi dei wire che descrivono una quad; in questo modo risulta possibile, una volta preparato il modello in modo simmetrico come descritto, modificare in un colpo solo tutti i valori di Z attraverso il parametro relativo alla altezza della antenna dal suolo.

Diagrammi di radiazione sul piano azimutale e zenitale

Una volta ottenuto un soddisfacente modello di antenna il nostro interesse passa verso la alterazione dei parametri impostati, i cui effetti risultano facilmente visibili attraverso i diagrammi di radiazione.

Ma per comprendere a fondo il significato dei diagrammi di radiazione è meglio partire dalle cose più semplici, onde evitare confusione. Innanzitutto si deve notare che i programmi per la realizzazione di modelli di antenne hanno due differenti voci relative alla tipologia del suolo: *free-space* e *real-ground*; a volte troviamo anche la voce *perfect-ground*, di cui per ora non tratteremo.

Impostare a *free-space* gli effetti del suolo significa ipotizzare l'antenna ad una altezza tale da non dover considerare nessuna riflessione che non sia dovuta che agli elementi costituenti l'antenna stessa. Una notevole semplificazione che velocizza i calcoli e ci consente uno studio altamente teorico sulla nostra antenna. Il diagramma che ne consegue è ottenuto collegando i punti relativi agli incrementi angolari da noi impostati sul programma, solitamente 1 grado per le antenne HF, a volte qualche decimo per quelle UHF, e in alcuni software si estende per 360 gradi: sotto e sopra sono la stessa cosa nello spazio, nel *free-space*.

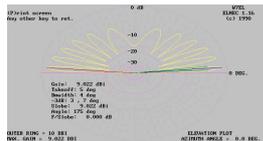
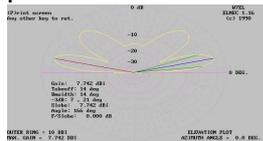
Utilizzare la impostazione *free-space* può essere estremamente utile per valutare velocemente le caratteristiche di una antenna in termini di lobi di radiazione sul piano azimutale e sul piano zenitale a 0 gradi, ad esempio nel caso di yagi per operazioni satellitari da accoppiare assieme; di esse ci risulta interessante conoscere il valore della apertura del lobo entro 3dB dal massimo guadagno sia sul piano azimutale che su quello zenitale per calcolare le distanze ottimali di accoppiamento. Ancora, nel caso di antenne HF, la impostazione *free-space* risulta utile nello studio dei valori di FtB e guadagno, oltre alla apertura del lobo, che ci permettono una rapida comparazione teorica fra due antenne. L'apertura del lobo è l'angolo entro il quale il guadagno della antenna risulta non inferiore di 3dB rispetto al massimo guadagno della antenna; il FtB invece è il rapporto fra il più grande lobo anteriore, cioè fra 0 e 90 gradi e fra 0 e 270 gradi, ed il più grande lobo posteriore, cioè fra 90 e 270 gradi: non sempre il più grande lobo posteriore si trova a 180 gradi in quanto, come vedremo, a volte si sdoppia in due lobi a circa 135 e 225 gradi, che sono quelli che vengono considerati nel caso di FtB.

Nella realtà le antenne risentono degli effetti della terra sotto di loro. Pertanto la impostazione *real-ground* tiene conto dei notevoli effetti di riflessione secondo le teorie di Sommerfeld - Norton. I parametri di conduttività e di permittività giocano anch'essi un ruolo di mediocre interesse e possono essere posti uguali rispettivamente a 0.005 S/m e 13 senza troppi timori per tutte le antenne a polarizzazione orizzontale.

Accentriamo adesso la nostra attenzione sul diagramma di radiazione del dipolo precedentemente illustrato e riportato in [figura12](#). Questa antenna si trova a 35 piedi, circa ad una lunghezza d'onda sopra il suolo. Il diagramma di radiazione sul piano zenitale ci mostra due grandi lobi anteriori e due grandi lobi posteriori, ciascuno separato da una zona ad alta attenuazione, detta *null*. Se osserviamo il diagramma di radiazione azimutale riportato in [figura13](#) per un angolo di take-off di 4 gradi, pari allo skip fra Europa e Stati Uniti, osserviamo anche la forte attenuazione laterale, oltre ad un ridotto guadagno per l'angolo considerato.

Ma il confronto più interessante è con il diagramma di radiazione zenitale di [figura14](#) relativo al singolo elemento quad per i 2 metri, che evidenzia un elevato numero di lobi, sei anteriori e sei posteriori, il primo dei quali con un angolo di *take-off* estremamente basso. Questa antenna infatti, pur essendo ad una altezza inferiore rispetto al dipolo se misurata in metri, si trova virtualmente più alta, in quanto l'altezza di una antenna deve essere rapportata alla sua lunghezza d'onda; mentre quindi il dipolo si trova ad una lunghezza d'onda la quad è posta ad oltre quattro lunghezze d'onda dal suolo.

Noi possiamo calcolare l'angolo di *take-off* attraverso la formula matematica di [Tabella3](#), che riporta sia l'angolo di *take-off* che la formula per calcolare gli angoli dei lobi e dei *null*; ponendo la altezza della nostra antenna, espressa in lunghezze d'onda, al posto di H e ponendo un numero intero dispari al posto di A otteniamo uno dei lobi mentre ponendo un numero pari otteniamo uno dei *null*; la prima volta che il valore dentro parentesi diventa maggiore di 1 significa che, non esistendo soluzione per la formula matematica, non esiste il lobo od il *null* richiesto.



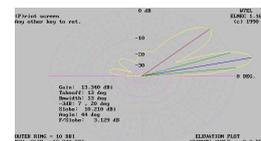
Se infatti pensate ad una antenna posta a lambda quarti, essa ha un solo lobo verso l'alto, a 90 gradi, mentre una posta a lambda mezzi ha un *null* verso l'alto ed un lobo a 30 gradi. Nel caso del nostro dipolo trovate circa 15 gradi per il primo lobo e circa 45 per il secondo. Per la quad circa 4 gradi per il primo e poco più di 10 per il secondo lobo.

$$FtB = \arcseno (A / (4*H))$$

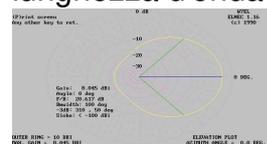
Tabella3

La differenza sostanziale quindi fra le due antenne non è il fatto che una sia un dipolo e l'altra una quad bensì il fatto che la seconda è molto più alta della prima se esprimiamo l'altezza in lunghezze d'onda.

Per quanto alcuni programmi siano in grado di rappresentare in forma tridimensionale i lobi di radiazione della antenna di cui stiamo analizzando il modello, questo tipo di rappresentazione, per quanto suggestivo, spesso oscura interessanti informazioni, che possiamo invece rilevare facilmente attraverso i diagrammi di radiazione azimutale e zenitale. Ad esempio i lobi di radiazione posteriori sono facilmente oscurati in questa rappresentazione, che rende meno chiara la visibilità del rapporto FtB.



Qualsiasi rappresentazione noi scegliamo, sia essa tridimensionale o bidimensionale, notiamo comunque una grande differenza fra la yagi ed il dipolo, data dalla notevole asimmetria fra i lobi anteriori e posteriori della yagi, come rilevabile dalla [figura15](#). La similitudine è invece rappresentata dal numero di lobi, due anteriori e due posteriori per entrambe, essendo anche la yagi a circa una lunghezza d'onda di altezza.

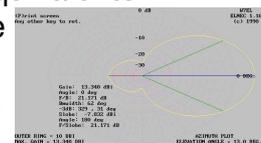


Le simulazioni ci hanno quindi confermato che il numero di lobi e l'angolo di *take-off* sono funzione della altezza della antenna dal suolo. Inoltre la yagi pone una maggiore *densità di energia* nei lobi anteriori piuttosto che nei lobi posteriori.

Nel sistema di coordinate che tramite le convenzioni ci siamo preparati la direzione in cui abbiamo la massima intensità di campo corrisponde a 0 gradi.

Se noi avessimo utilizzato la impostazione *free-space* i lobi sarebbero ben differenti; come rappresentato in [figura16](#) avremmo unicamente quello anteriore e quello posteriore. Inoltre il guadagno sarebbe stato oltre 5 dB inferiore, a causa del mancato effetto di riflessione generato dal terreno; da questo deriva la differenza che vediamo nel lobo, che anzichè essere dolce, come nel caso *free-space*, è disposto con *null* che vanno a compensare le aree di maggior *densità di energia*, generando un lobo più complesso nella rappresentazione *real-ground* sebbene equivalente in termini di *densità di energia*.

Mentre invece dalla comparazione di [figura17](#) con [figura18](#) notiamo che, a parte il predetto discorso sul guadagno, l'ampiezza del lobo sul piano azimutale è sempre di circa 62 gradi sia che la simulazione venga fatta



impostando *free-space* sia che la simulazione venga fatta impostando *real-ground* e scegliendo come angolo per il diagramma azimutale l'angolo di elevazione in cui abbiamo il massimo guadagno, ovvero l'angolo di *take-off*. NEC misura i guadagni in dBi con riferimento ad un radiatore isotropico, che irradia ugualmente in una sfera, per motivi di standard matematici; questo non toglie che, dalla comparazione fra i guadagni di una yagi e di un dipolo, noi non siamo in grado di definire, per sottrazione, il guadagno della yagi sul dipolo espresso in dB.

Guadagno, rapporto fronte-retro o FtB, impedenza, diagrammi di radiazione sul piano azimutale e zenitale, ampiezza del lobo principale a meno di 3dB, queste sono le informazioni che abbiamo finora visto che un programma per la simulazione di un modello di antenna ci rende disponibili; e nel contempo abbiamo imparato ad impostare il modello di una qualsiasi antenna, con esperienze pratiche su un dipolo, una yagi ed una quad.

Adesso impareremo a migliorare ulteriormente le nostre tecniche di realizzazione di modelli di antenne, andando più a fondo nelle specifiche di altri elementi quali *source*, *load* e tecniche di *ground*, per scoprire altri interessanti dettagli.

Parte Terza: source, tecniche di ground e modalità di sweep.

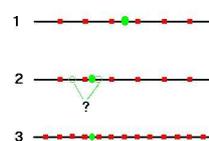
A mano a mano che progrediamo nella realizzazione di modelli e nella interpretazione dei diagrammi il nostro interesse si sposta sulla possibilità di ottenere informazioni ancora più complete dal nostro modello attraverso NEC. In questa parte parleremo di tre nuovi aspetti: la corretta collocazione della alimentazione della antenna sul modello, denominata in inglese *source*, le tecniche di scelta di un corretto modello di terra, comprendendo anche un insieme di radiali, denominato *ground*, le modalità di verifica dei risultati del modello al variare della frequenza, in inglese *sweep*.

La scelta degli argomenti trattati, oltre a seguire una logica maieutica, discende dalle richieste dei neofiti all'autore. Non ci si aspetti quindi un dettagliato trattato sull'argomento, quanto una pratica metodologia di utilizzo dei parametri predetti in una ottica di corretto apprendimento di alcune tecniche utilizzabili sui programmi NEC quali Eznec e NEC-Win Plus.

I source: dove porli e perchè

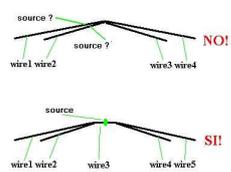
Trovare la corretta impedenza di una antenna è di estrema importanza. E' attraverso l'impedenza che noi ci rendiamo conto della necessità di allungare o di accorciare una antenna, sia per portarla alla risonanza eliminando la parte reattiva, sia per forzare il valore di reattanza richiesto da un particolare sistema di adattamento. Il valore della impedenza di alimentazione nelle antenne non risonanti, assieme alla impedenza della linea che ci proponiamo di utilizzare, può dirci molto su cosa il nostro accordatore di antenna potrà vedere ai suoi capi. Su Antenna Book di ARRL edizione 19 troviamo un interessante programma, a cura di Dean Straw N6BV, che ci permette, data la impedenza della antenna e differenti tipologie di linea di alimentazione, di risalire ai valori di impedenza ai capi dell'accordatore di antenna.

Negli esempi precedenti si poneva, per semplicità, il *source* al centro del radiatore; pertanto era sufficiente considerare un numero dispari di *segment* per il *wire* relativo e specificare il posizionamento del *source* al 50% del *wire* stesso, al limite indicando facilmente il *segment* relativo. In [figura19](#) vediamo alcuni esempi, il primo dei quali rappresenta proprio questa situazione. Esistono però interessanti studi sulle antenne alimentate fuori centro, denominate tecnicamente OCF. Queste antenne prescrivono di porre la alimentazione ad una definita distanza dal centro, o in alternativa da uno degli estremi. In questo caso se noi utilizziamo un basso numero di *segment* possiamo ritrovarci nella seconda situazione di figura19, in cui non sappiamo quale *segment* scegliere per il *source*, in quanto nessuno dei due risulta ottimale. In questo caso occorre aumentare il numero dei *segment*: non è rara la situazione in cui il numero di essi sale a 101 per il modello di una antenna OCF di mezz'onda.



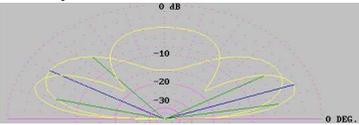
Supponiamo che il progetto di una antenna richieda il posizionamento della alimentazione al 14% di distanza fra il centro dell'elemento ed un estremo; questo è come dire posizionare l'alimentazione in un punto che sia l'86% della distanza fra un estremo ed il centro, ovvero al 43% della totale lunghezza dell'antenna, anzichè il consueto 50%. Otteniamo questo utilizzando 101 *segment* e ponendo il *source* sul *segment* #44, che si trova al 43% della distanza dall'estremo sinistro della antenna. Ad essere bravi in matematica si potrebbe anche utilizzare 50 *segment* e porre il *source* sul *segment* #22, che si trova anch'esso al 43% della distanza dall'estremo sinistro della nostra antenna OCF (NdT).

Avere un grande numero di *segment* significa avere una elevata precisione nel calcolo della impedenza della antenna al variare della posizione del punto di alimentazione. Supponiamo infatti di voler ricercare il valore di impedenza pari a 300 Ohm, partendo dal centro dell'antenna e spostandoci verso un suo estremo; noteremo che a mano a mano che ci spostiamo dal centro le variazioni di impedenza al variare del *segment* su cui poniamo il *source* diventano sempre più rilevanti; tuttavia utilizzando un elevato numero di *segment* risulta facile individuare in modo abbastanza esatto il punto in cui la impedenza diventa quella desiderata.

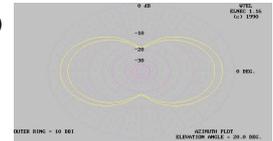


Bisogna comunque fare molta attenzione, perchè spesso le antenne non sono così semplici dal punti di vista elettrico e matematico come invece dal punto di vista meccanico. Consideriamo infatti il semplice dipolo bibanda rappresentato in [figura20](#). Il modo più veloce per rappresentarlo discende dalla sua realizzazione meccanica: quattro fili uniti, 4 *wire*. In questo caso si pone la questione di dove

porre il *source*, se sul primo *segment* lato 20M o sul primo *segment* lato 15M rispetto al centro. Nessuna delle due scelte è quella corretta. Occorre in questo caso utilizzare un ulteriore *wire*, di lunghezza pari a qualche percento degli altri e con tre *segment* su di esso, al fine di utilizzare il *segment* centrale di questo *wire*, il numero tre in [figura20](#), come punto per il *source*. Il motivo della suddivisione in tre *segment* di questo piccolo *wire* centrale è dettato dal voler cercare di mantenere le correnti ai capi di un *load* il più uguale possibile; un piccolo *wire* con tre *segment* rappresenta una semplice soluzione.



Se consideriamo i diagrammi di [figura21](#) vediamo i risultati comparati di due separate simulazioni di dipoli in 15M e 20M posti a 10 metri di altezza, considerando un singolo *wire* di 11 *segment*; i valori di impedenza



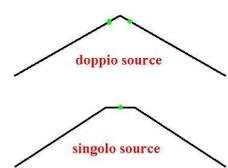
sono rispettivamente $66.5 + j4.5$ e $74.4 - j0.3$; la lieve differenza rispetto ai 75 ohm in 15M dipende dalla altezza del dipolo rispetto al suolo, che per i 20M è pari a mezz'onda; quanto predetto si evidenzia dai lobi del diagramma zenitale, mentre dal diagramma azimutale a 20 gradi di *take-off* si evince il lieve maggiore guadagno rilevabile in [figura22](#) dipendente dalla maggiore altezza, espressa in lunghezze d'onda, del primo dipolo. Per ottenere i valori di cui sopra nelle simulazioni sono state impostate lunghezze di 6.8 e 10.4 metri rispettivamente per le frequenze di 21.3 e 14.2 MHz. Le stesse lunghezze vengono impostate nel sistema a 5 *wire* descritto, posizionando lievemente più in basso i *wire* del dipolo per 15M, con gli estremi a 9 metri anzichè 10 metri; il piccolo *wire* #3 viene posto lungo 0.2 metri. In 20M la impedenza passa a $69 + j6$, con una lunghezza totale di 10.1 metri; in 15M la impedenza scende a $25 - j4$, con una lunghezza totale di 8.15 metri; il calo di impedenza deriva, oltre che dalla presenza del dipolo in 20M, dalla differente configurazione del dipolo per i 15M, che in questo caso peggiora lievemente anche l'angolo di *take-off*, che sale da 20 a 23 gradi.

Nelle elaborazioni di W4RNL i risultati sono quelli riportati in [Tabella4](#).

Posizionamento <i>source</i>	Impedenza a 14.175 MHz	Impedenza a 21.225 MHz
Modello a 4 <i>wire</i>		
su <i>wire</i> dei 20M	$99 + j19$	$151 + j268$
su <i>wire</i> dei 15M	$17 - j346$	$36 - j103$
Modello a 5 <i>wire</i>		
su <i>wire</i> comune	$58 + j46$	$112 - j780$

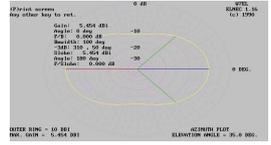
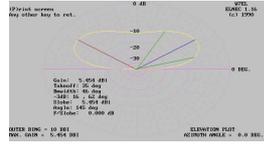
Tabella4

Nella sua simulazione il *wire* #3 è 0.6 metri con segmenti da 0.2 metri. Si evidenzia dai dati in tabella che, mentre i 20M sono abbastanza a posto, solo leggermente lunghi, come precedentemente citato nella elaborazione descritta, i 15M risultano assai fuori risonanza. I risultati vengono aggiustati portando la lunghezza in 20M a 16 piedi (4.8 metri per *wire*, da raddoppiare quindi e da aggiungere + 0.6 per avere la lunghezza totale di 10.2 metri) e in 15M a 12.45 piedi (3.8 metri per *wire*, per un totale di 8.2 metri); la disposizione dei *wire* è a X. Si noti, riproducendo la simulazione, come le variazioni in sul dipolo dei 20M siano sensibili in 15M mentre le variazioni sul dipolo dei 15M siano irrilevanti in 20M.



In una altra antenna molto comune, il dipolo a V invertita, proveremo differenti tecniche di posizionamento del *source*. In [figura23](#) vediamo la rappresentazione grafica delle due possibili soluzioni. La prima soluzione si applica a tutte quelle antenne in cui l'angolo di giunzione di due *wire* differisce da 180 gradi. Si utilizza una coppia di *source* sui *segment* immediatamente adiacenti alla giunzione, come risulta dalla parte alta di [figura23](#). Poichè l'impedenza varia molto lentamente allontanandosi di poco dal centro di un dipolo a mezz'onda, ciascuno dei *wire* approssimerà in modo abbastanza esatto l'impedenza sul nodo di giunzione. L'impedenza della antenna sarà data dalla somma delle impedenze viste dai singoli *source*.

Se poniamo la frequenza del dipolo a 14.2 MHz ed i due rami della V a 135 gradi, ciascuno lungo 5.35 metri, con l'apice a 10 metri, con due *source* sui *segment* #11 e #13, supposto 12 *segment* per *wire*, ritroviamo una impedenza di 27.4 -j0.4 su ciascuno dei *source*, equivalente a 55 -j1 ohm. I diagrammi sono riportati in [figura24](#) ed in [figura25](#). Si noti come il rapporto fronte - lato sia di soli 7-8dB e come la impedenza sia prossima ai 50 ohm; la simulazione trova



riscontro nella classica documentazione sulle antenne, dove la maggiore bidirezionalità del dipolo rispetto alla V invertita che ha una impedenza più prossima ai 50 ohm che ai 75 ohm sono cosa nota. In [figura23](#) troviamo anche la rappresentazione della soluzione a tre *wire*. Realizzando il *wire* centrale lungo 0.5 metri con tre *segment* l'impedenza risulta 50 -j1 per una lunghezza totale di 10.85 metri. Il guadagno risulta sempre intorno ai 5.5dB con un angolo di *take-off* sui 35 gradi. Naturalmente piccole variazioni risultano possibili al variare del programma, della altezza della antenna dal suolo o di altri parametri del modello; fra questi ultimi ricordiamo la differente configurazione del modello a due *wire* rispetto a quello a tre *wire* che ha una seppur piccola però rilevante componente orizzontale.

A questo punto la collocazione di un *source* non dovrebbe più causare problemi al neofita e possiamo quindi concentrare la nostra attenzione su altri parametri della modellazione.

La terra: ground e gound-planes

I programmi di simulazione di modelli di antenne come il NEC consentono di ipotizzare sia una assenza di terra, parametro denominato *free-space*, che i risultati degli effetti della terra calcolati secondo le leggi di Sommerfeld Norton, parametro denominato *real-ground*.

Se noi optiamo per il *free-space* annulliamo gli effetti riflessivi della terra, ammettendo che la antenna possa liberamente irradiare nella sfera senza limiti che la contiene.

Esiste anche un parametro denominato terra ideale o *perfect-ground* che a volte può risultare utile per modelli preliminari di antenne verticali a contatto con il terreno, così come a volte risulta utile utilizzare il *free-space* per modelli di antenne UHF poste ad una ragguardevole altezza dal suolo.

A seconda del programma NEC utilizzato le analisi in *real-ground* possono avere approssimazioni valide fino ad un decimo di lunghezza d'onda da terra, oppure, come nel caso delle leggi di Sommerfeld Norton, fino anche ad un millesimo di lunghezza d'onda da terra. Oggi le potenze di calcolo dei computer sono sufficientemente elevate da consentirci l'utilizzo di quest'ultima tecnica anche in ogni modellazione.

Nei modelli relativi ad antenne a polarizzazione orizzontale le caratteristiche del terreno non incidono in maniera rilevante sul modello stesso; nelle antenne verticali, invece, così come nei modelli più raffinati, esse iniziano ad avere un peso più determinante. I valori riportati in Tabella5 sono una piccola parte di quelli presenti su ARRL Antenna Book.

Designazione dei terreni e relativi valori di conduttività e permittività		
Designazione terreno (qualità elettrica)	conduttività Siemens/metro	permittività o costante dielettrica
molto scarso	0.001	5
scarso	0.002	12
buono	0.005	13
molto buono	0.0303	20
acqua salata	5.0	81

Tabella5

Sicuramente le definizioni in tabella risultano restrittive e meno precise rispetto ad un calcolo effettivo, che però risulta difficile e non sempre possibile per la maggior parte dei radioamatori, per i quali la misura della conduttività risulta possibile ma sicuramente la misura della permittività risulta estremamente ardua.

Questi due parametri, conduttività espressa in Siemens per metro e permittività, che è un numero puro, giocano un ruolo rilevante nelle equazioni che determinano le proprietà di riflessione del suolo e la attenuazione da esso introdotta.

NEC parte dal presupposto che il suolo sia uniforme; di fatto però, specie alle frequenze più basse, la natura stratificata del suolo non garantisce che ciò corrisponda alla realtà; ecco perchè la scelta dei valori basati su quanto espresso in *Tabella5* risulta spesso soddisfacente per la maggior parte dei modelli.

Un secondo tipo di terra di interesse nella realizzazione di modelli è il piano di terra artificiale composto da radiali, siano essi interrati, posti sulla superficie del terreno o sopraelevati: il cosiddetto *ground-plane*.

I programmi di tipo NEC non consentono la realizzazione di modelli che utilizzino i primi due tipi di terra; pertanto si ricorre al terzo tipo, ponendolo ad una distanza di pochi centimetri dal suolo; la precisione dello 0.001 di lunghezza d'onda di NEC consente di porli a meno di 5 centimetri per una simulazione relativa ai 40 metri. Molti modelli realizzati in questo modo sono stati trovati rispondenti con la realtà, a patto di assicurarsi che il diametro del filo nel modello non sia tale da portarlo a contatto con il terreno.

I programmi NEC più sofisticati, e fra essi Eznec e NECWin Plus, hanno comandi che consentono la generazione automatica di un *ground-plane*, di cui dobbiamo solo specificare il punto centrale, il numero di radiali, il numero di *segment* per *wire* ed il diametro dei radiali. Altri programmi consentono di replicare, ruotandolo per un definito numero di gradi, il radiale progettato con i predetti parametri, copiandolo quante volte vogliamo in questa trasformazione (rotazione) da noi definita.

Nel caso peggiore ricordiamoci che non servono le tavole matematiche; una piccola calcolatrice con le funzioni di seno e coseno è in grado di darci le coordinate X e Y degli estremi dei nostri radiali partenti dal punto di coordinate 0,0; X corrisponde al coseno dell'angolo e Y al seno dell'angolo.

Le limitazioni pratiche dei programmi di tipo NEC iniziano con sistemi di radiali composti da oltre 30-32 elementi; questo dipende dall'eccessivo rimpicciolirsi del valore dell'angolo fra due radiali, che in questo caso scende al di sotto dei 10-12 gradi. Ricordiamoci di non scendere al di sotto dei 5cm come altezza da terra dei radiali.

In ogni programma di tipo NEC le istruzioni dettagliano chiaramente se l'algoritmo di calcolo voglia, come ad esempio nel caso di Eznec, il posizionamento del *source* sul *segment* col numero più basso od invece su quello col numero più alto. Un valore pari a 10 per il numero di *segment* nei *wire* che compongono il *ground-plane* rispecchia le più classiche scelte nella modellazione di antenne verticali, per quanto esso possa anche essere raddoppiato per ridurre le approssimazioni del modello.

Nei modelli di antenne verticali per la parte alta delle HF potremo utilizzare anche soltanto quattro radiali con un discreto grado di approssimazione. Similmente potremo analizzare le differenze fra un sistema di radiali a livello del terreno ed un sistema di radiali sopraelevato.

Anallizzare il modello al variare della frequenza: lo *sweep*

Uno dei primi errori che spesso compiono i neofiti è quello di ottimizzare un modello su una sola frequenza; trovare per una yagi il massimo del guadagno od il massimo del rapporto avanti - indietro (FtB) sulla frequenza F significa avere completato il nostro studio.

Ma non è così, in quanto noi spesso utilizziamo le nostre antenne su una vasta escursione di banda, almeno 250KHz in 20M e tre se non sei volte di più in 10M. Il compito di chi realizza un modello quindi è di verificarlo su una gamma completa di frequenze, da 14.0 a 14.25 MHz o da 28.0 a 29.5MHz. Molti programmi NEC hanno comandi che ci aiutano nella verifica dei risultati del modello al variare della frequenza (*sweep*).

In [figura26](#) si riporta una yagi per i 10M a sei elementi, con le dimensioni in piedi (feet). In [Tabella6](#) si riportano i valori di guadagno, FtB, impedenza e SWR al variare della frequenza da 28.0 MHz a 29.0 MHz. Dopo avere impostato su NECWin Plus i parametri di lunghezza, diametro e materiale per ogni elemento, le spaziature fra gli elementi, il posizionamento del *source* ed il numero di *segment* in ogni *wire*, dopo avere impostato il calcolo in *free-space*, eliminando dalla rappresentazione dei risultati ogni effetto di riflessione dovuto al terreno, potremo richiedere la programma il calcolo delle correnti, la rappresentazione tabellare del guadagno, del FtB, della impedenza, di SWR ed anche la rappresentazione grafica dei diagrammi di radiazione al variare della frequenza fra 28.0 MHz e 29.0 MHz, selezionando questi estremi di frequenze ed il passo, ad esempio 100KHz, valore per il quale

8.20	8.20	7.95	7.67	7.67	7.81
-4.58	6.0	2.07	7.14	12.15	19.52

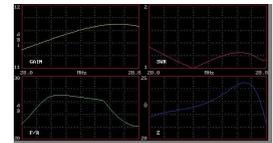
il programma ripete tutti i necessari calcoli, od in alternativa il numero di passi. A volte anche la ampiezza del lobo di radiazione a -3dB risulta un interessante parametro da evidenziare.

Risultati della modellazione al variare della frequenza				
Frequenza	Guadagno dB	FtB db	Impedenza	SWR
28.0	9.95	18.4	33-j6	1.54
28.1	9.98	19.9	35-j4	1.44
28.2	10.01	21.4	37-j2	1.36
28.3	10.04	22.9	39-j0	1.30
28.4	10.08	24.5	40+j2	1.25
28.5	10.11	25.8	42+j3	1.22
28.6	10.14	26.4	43+j5	1.19
28.7	10.16	26.1	45+j6	1.18
28.8	10.19	25.2	46+j6	1.17
28.9	10.21	23.9	48+j7	1.15
29.0	10.22	22.7	49+j6	1.13

Tabella6

Bisogna ricordarsi, osservando i risultati riportati in *Tabella6*, che i valori discendono da calcoli matematici ad alta precisione e dalle relative approssimazioni; pertanto occorre prendere con le dovute cautele i decimali presenti: nessuno nota la differenza fra 10.08 e 10.11 dB di guadagno quando stiamo lavorando una stazione DX! Questi valori vengono riportati con un elevato grado di precisione soltanto per farci capire l'andamento del parametro che essi rappresentano. Per questo sono stati utilizzati due decimali nel guadagno ed uno soltanto nel FtB, per sottolineare come il guadagno della antenna cresca con la frequenza mentre il FtB abbia un picco a 28.6 MHz, per poi lentamente ridiscendere, situazione che spesso vedremo nella realizzazione di modelli di yagi con uno o più direttori.

Alcuni programmi hanno, oltre alla rappresentazione tabellare, anche la rappresentazione grafica dei principali parametri quali guadagno, FtB, impedenza e SWR, come si evince da [figura27](#). Essa rappresenta i risultati della simulazione di un modello di antenna yagi a sei elementi per i 10M al variare della frequenza fra 28.0 e 28.8 MHz. Sull'asse delle ascisse ogni quadrato rappresenta 100 KHz. Il primo diagramma presenta il variare del guadagno, con una scala che, a passi di 0.2 dB, ha come valori minimo e massimo rispettivamente 11 e 12 dB; il secondo diagramma rappresenta a passi di 0.2 il variare di SWR fra 1.0 e 2.0:1; il terzo diagramma visualizza, a passi di 2 dB, il variare di FtB fra 20 e 30 dB; il quarto diagramma infine visualizza fra 20 e 25 ohm, a passi di 2, il variare della impedenza.



Comunque anche i dati tabellari di *Tabella6* ci portano a facili ed interessanti riflessioni; il picco del FtB a 28.6 MHz, il calare di SWR al crescere della frequenza, il contenimento della reattanza a valori intorno a 7 per una impedenza che approssima i 50 ohm a 29 MHz, e così via. Considerazioni che ci porteranno a verificare se allungando leggermente gli elementi saremo in grado di spostare verso il basso di 0.2 MHz tutti i valori presentati in tabella, mantenendoci con un guadagno non inferiore a 10 dBi ed un SWR non superiore a 1.35:1.

Diventando familiari con le tecniche di sweep inizieremo ad ottenere informazioni sempre più dettagliate e precise dai nostri modelli di antenne. Inizieremo ad interessarci sempre più al significato del crescere e poi calare di parametri di guadagno e FtB, comprendendo sempre più a fondo tipi di antenna via via più complicati, quali ad esempio le antenne log-periodiche (LPDA); diventeremo in breve capaci di verificare la larghezza di banda di una antenna, ovvero l'escursione di frequenza entro la quale il valore di SWR rimane al di sotto di 2:1.

La nostra esperienza nella realizzazione di modelli di antenna è ora cresciuta e vedremo nella prossima parte argomenti ulteriormente interessanti, quali i *load* ed i limiti dei programmi ti tipo NEC.

Parte Quarta: load e linee di trasmissione, prove e limiti della modellazione.

Questa quarta parte è quella conclusiva della breve guida per il principiante che Cebik ha redatto sul tema della realizzazione di modelli di antenne con i programmi NEC; spero in futuro poter aggiungere una breve appendice personale per ulteriormente invogliare il principiante a sviluppare questa disciplina.

In questa ultima parte vedremo due distinti temi; il primo riguarda alcuni elementi della modellazione che vedono la loro applicazione nei programmi NEC e fra essi i *load* e le linee di trasmissione; impareremo a modellare carichi reattivi ed induttivi e linee di trasmissione, sempre rifacendoci a Eznec e NECWin Plus; il secondo tema riguarda invece i limiti di alcuni modelli di antenna, in modo da evidenziare a priori i problemi in cui il neofita potrebbe incorrere.

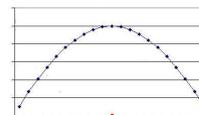
Le correnti ed i *source* con impostazione a corrente

Fino ad ora quando abbiamo impostato un *source* abbiamo sempre optato per una analisi in tensione, con tensione applicata unitaria e fase di zero gradi, senza scendere nei dettagli di questa impostazione. Il guadagno, il rapporto FtB, l'impedenza ed altri parametri non dipendono, nel caso di antenna a singolo *source*, da questa impostazione.

Nel caso invece di alcuni particolari tipi di antenne, come i phased array, l'impostazione in corrente dei *source* diventa necessaria per la conoscenza delle ampiezze e delle fasi delle correnti per ognuno dei *source* impostati sui vari radiatori. Per iniziare a capire questo concetto ci rifaremo alla distribuzione delle correnti su un semplice dipolo, su cui imposteremo un *source* in corrente di ampiezza unitaria.

Sui programmi NEC tutta la matematica in gioco nel passaggio da tensioni a correnti non risulta visibile all'utilizzatore del programma, che deve semplicemente scegliere la impostazione in corrente, inserendo, per semplicità, un valore unitario di ampiezza e nullo di fase.

L'utente non si rende neanche facilmente conto che tutti i conti sono relativi a valori di picco per NEC e NECWin Plus mentre per Eznec essi sono relativi a valori RMS, cosa che diventa fondamentale nel ricondursi poi ai valori espressi in potenza. In

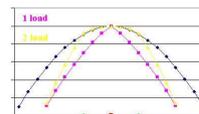


[figura28](#) compare un dipolo per i 20M, in tubo da 1 pollice, con 21 segmenti su una lunghezza di 2×198.75 ". Esso offre una impedenza prossima ai 72 ohm, con poca reattanza residua. Sotto di esso nella figura compare un grafico delle ampiezze delle correnti in gioco lungo il dipolo, che come vediamo rispecchia un andamento sinusoidale, con un valore estremo diverso da zero a causa del fatto che le predette correnti vengono calcolate per il centro di ogni segmento anzichè gli estremi di esso.

I *load*

Adesso proviamo ad accorciare il dipolo a 2×144 " e di conseguenza riduciamo i *segment* a 15 per avere *segment* della stessa lunghezza di quelli utilizzati precedentemente. La nuova antenna chiaramente non sarà più risonante in 20M, dove presenta una impedenza di $27 - j275$ ohm. Per portare nuovamente l'antenna in risonanza dovremo compensare la elevata reattanza capacitiva con dei carichi induttivi, il *load*, posizionati da qualche parte sull'antenna.

I programmi NEC ci consentono di realizzare facilmente modelli di carichi induttivi, che posseggono parametri resistivi oltre che reattivi; aggiungere al *load* un valore di resistenza in serie ci permette di definire il Q del carico induttivo nel modello. Il valore di reattanza deve essere di 275 ohm, per compensare la reattanza della impedenza; un valore di resistenza di 0.9 ohm ci permette di avere un Q pari a 300. Questo *load* verrà inserito nel *segment* centrale del *wire* del dipolo.



Due punti interessanti: i *load* sono sempre considerati in serie con i *source*; i *load* introdotti sono elementi matematici e non fisici. Gli elementi fisici irradiano e pertanto contribuiscono al diagramma di radiazione della antenna, gli elementi matematici, in quanto pura astrazione, no. Pertanto le piccole variazioni del diagramma di radiazione reale della antenna non compaiono nei diagrammi di radiazione prodotti dai programmi NEC.

Il nostro modello, a questo punto, presenterà una impedenza pressochè puramente resistiva di 31 ohm; la reattanza capacitiva è stata cancellata dalla reattanza induttiva del *load*.

In alternativa avremmo potuto utilizzare due carichi induttivi equidistanti dalla alimentazione del dipolo e porre due *load* circa al 30% degli estremi di esso, sui segment #5 e #11. Avremmo dovuto variare in modo sperimentale i valori di reattanza di essi, fino a raggiungere $0.7 + j212$ ohm ed ottenere la risonanza con una impedenza di circa 45 ohm, puramente resistiva.

Si noti come la impedenza, pur essendo ovviamente minore rispetto a quella del dipolo a lunghezza intera, sia in questa configurazione superiore rispetto alla precedente configurazione a singolo elemento di carico centrale.

Si noti anche il differente diagramma comparativo delle tre soluzioni, visibile in [figura29](#), ed in particolare il brusco calo della corrente a valle dei carichi; ci possiamo aspettare un minor guadagno dei dipoli accorciati rispetto al dipolo a dimensione intera.

Bisogna a questo punto effettuare alcune osservazioni sull'utilizzo dei *load* nei modelli di antenna. Innanzitutto le regole matematiche a supporto della teoria prescrivono uguali correnti da entrambe le parti del *load*, e questo è vero solo se siamo vicino al centro della antenna: quanto più ce ne allontaniamo tanto più la teoria viene compromessa ed i risultati si discostano dalla realtà. Quindi i calcoli nel primo esempio saranno molto più realistici che nel secondo esempio. Inoltre occorre ricordare che la reattanza è funzione della frequenza e che quindi essa deve essere ricalcolata qualora si effettuino simulazioni con tecniche di *sweep*. Vi ricordo che le reattanze capacitive ed induttive sono date dalle formule espresse in *Tabella7*.

$$X_L = 2 * \text{PI} * f * L \qquad X_C = (2 * \text{PI} * f * C)^{-1}$$

Tabella7

Vi sono alcuni programmi NEC in cui è possibile inserire i valori di R, L e C al posto di R ed X, ma la maggior parte dei programmi NEC, utilizzando queste ultime unità di misura, è soggetto alla cautela progettuale descritta; occorre tenere questo fattore in stretta considerazione se si vogliono risultati di impedenza e SWR realistici.

Linee di trasmissione

Alcuni programmi NEC, e fra essi i citati Eznec e NECWin Plus, offrono la possibilità di inserire linee di trasmissione nei modelli. Qualora l'impatto della linea di trasmissione nel diagramma di radiazione della antenna non sia rilevante, questa tecnica ci permette una agevole modellazione, unica possibilità nel caso di linee coassiali. Qualora invece l'impatto nel diagramma di radiazione sia notevole, occorrerà modificare il modello inserendo i *wire* relativi alle linee di trasmissione stesse, che non potranno in questo caso essere coassiali ma solo composte da elementi paralleli.

Queste tecniche sono utili nel caso della realizzazione di modelli contenenti ad esempio linee a 600 ohm di impedenza cortocircuitate, i cosiddetti *stub*; un *wire* composto da un *segment* rappresenta un eccellente metodo per inserire il cortocircuito; con Eznec possiamo invece semplicemente dichiarare aperto o chiuso lo *stub*. Nel caso di NECWin Plus il parametro ammettenza definisce se lo *stub* sia chiuso o aperto: un valore estremamente elevato, 10 miliardi, definisce un cortocircuito; con questo programma possiamo anche simulare una inversione di fase di 180 gradi, data dal *twisting* della linea di trasmissione, tecnica comunemente usata in pratica nelle antenne di tipo *phased array*.

Con questa tecnica diventa agevole esplorare le possibilità di un dipolo alimentato tramite linea di trasmissione al variare della frequenza e della lunghezza della linea di trasmissione. In alcuni programmi troviamo anche la possibilità di inserire il fattore di velocità della linea, che ci permette in questo caso di allineare le dimensioni elettriche della linea a quelle fisiche.

Vi sono tre punti da considerare quando inseriamo delle linee di trasmissione in un modello di antenna; innanzitutto non vengono calcolate le perdite introdotte dalle linee stesse, cosa che, qualora la lunghezza non sia rilevante, non genera discrepanze misurabili; in secondo luogo esse vengono viste in parallelo con i *source*, al contrario dei *load* che, come anzidetto, vengono visti in serie con i *source*; infine l'accuratezza del modello matematico è assicurata solo quando le correnti su di esse sono eguali da entrambi i lati: pertanto le linee nei punti a bassa impedenza ed a bassa tensione non creano discrepanze fra modello e realtà, cosa che non accade se poniamo le linee in punti ad alte tensioni o a basse correnti.

Questa tecnica ci permette di modellare in modo semplice un hairpin, un particolare tipo di stub chiuso, per una yagi che presenti una tipica impedenza di $25 - j25$ ohm in 20M; esso sarà composto da una linea a 600 ohm lunga 28 cm per ottenere 50 ohm di impedenza prettamente resistiva. Inoltre potremo utilizzarla nella realizzazione di modelli di antenne log periodiche o LPDA, sfruttando la precedentemente descritta caratteristica di *twisting* della linea che corre fra i vari punti di alimentazione dei dipoli.

Teniamo sempre presente però che le linee utilizzate sono una astrazione matematica e pertanto non rispecchiano con fedeltà le influenze sul diagramma di radiazione della antenna.

Quanto fedele è un modello alla realtà

Non soltanto la natura matematica dei *load* e delle linee di trasmissione ma anche la struttura fisica della antenna di cui realizziamo il modello sono elementi da tenere in considerazione quando vogliamo realizzare uno studio che rispecchi il più possibile la realtà. Per mettere alla prova un modello ci sono alcune semplici tecniche; due di esse vi vengono qui presentate al fine di potersi assicurare che il modello realizzato rappresenti una astrazione abbastanza fedele della realtà.

La prima tecnica che possiamo utilizzare è il test di convergenza.

All'inizio di questa guida per il principiante abbiamo suggerito di utilizzare un certo numero minimo di *segment* per lunghezza d'onda in un *wire*. Tuttavia in modelli di antenne con geometria complessa questo numero minimo potrebbe non essere sufficiente e potremmo dover essere costretti ad aumentare il numero di *segment* pre realizzare un modello sufficientemente accurato. Inoltre si era messa in risalto la necessità di avere lunghezze fisiche dei *segment* uguali in tutti i *wire* del modello. Possiamo quindi effettuare il test di convergenza al fine di verificare se il numero di *segment* sia sufficiente e quindi il modello possa dirsi rispondente alla realtà con abbastanza approssimazione.

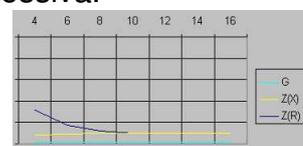
Effettuiamo una prima analisi del nostro modello e segniamo i valori relativi a guadagno ed impedenza in un foglio di carta millimetrata, posizionandoci a 100 come valore di ascisse ed ai corrispondenti valori sulla scala delle ordinate che avremo realizzato per i suddetti parametri di guadagno ed impedenza. Aumentiamo quindi del 50% il numero dei *segment* e riannotiamo i valori, questa volta in corrispondenza di un valore 150 sull'asse delle ascisse. Ripetiamo una terza volta questa prova, con un valore di *segment* doppio rispetto al modello iniziale, annotando i valori in corrispondenza di 200 sull'asse delle ascisse. Proviamo adesso a congiungere i punti ottenuti ed a verificare quanto la curva ottenuta si discosti, per ognuno dei parametri considerati, da una retta orizzontale; se vogliamo limitarci ad una analisi puramente numerica, senza un feedback grafico, verifichiamo lo spostamento percentuale fra la prima e la seconda prova e poi fra la seconda e la terza prova. Il numero giusto di *segment* sarà quello in corrispondenza del quale i parametri della antenna non variano in modo significativo, rappresentato da una retta orizzontale che congiunge il punto relativo alla prova con questo livello di segmentazione con la prova successiva.

Si dice in questo caso che il modello converge al livello di segmentazione considerato.

In molti casi il livello minimo di segmentazione suggerito in questa guida è sufficiente. In altri casi, specie nei modelli di antenne a geometria chiusa, loop, quad, delta e simili, il livello di segmentazione richiesto per la convergenza può essere più elevato. Alcune antenne, ad esempio quelle che hanno molteplici elementi di differenti lunghezze che si dipartono ad angolo dal punto di alimentazione, convergono solo ad un elevato livello di segmentazione. Alcuni modelli infine possono non convergere affatto, evidenziando così un errore insito nel modello stesso od una limitazione insuperabile del programma NEC.

Non possiamo definire uno standard da applicare ad un modello per garantirne la convergenza. Tuttavia possiamo affermare che se due successivi livelli di segmentazione producono risultati che indicano differenze nelle prestazioni o nella struttura della antenna che vanno al di là di una normale prassi di messa a punto, questo è indice di una mancata od insufficiente convergenza nel modello. In [figura30](#) si riporta il test di convergenza per un dipolo in 20M posto a mezz'onda dal suolo. Si noti come tutti i parametri convergano per il livello di segmentazione suggerito in questo articolo, con variazioni di G, Z ed SWR inferiori a 0.5% nel passaggio da 10 a 12 *segment*.

Un secondo test è quello denominato test del guadagno medio.



In questo test noi non teniamo volutamente in considerazione le perdite resistive. Consideriamo l'antenna orizzontale, ad esempio una yagi, in *free-space* oppure l'antenna verticale con una terra di tipo *perfect-ground*. Successivamente analizziamo il diagramma di radiazione per tutte le direzioni possibili e per tutte le elevazioni possibili, in una sorta di valutazione tridimensionale del diagramma di radiazione stesso. al variare dei parametri del modello della antenna, ad esempio del numero di *segment*, analizziamo le variazioni percentuali dei valori ottenuti sul diagramma di radiazione. Anche qui non vi sono regole assolute, ma una variazione inferiore al 5% è indice di un modello abbastanza affidabile, in cui i lobi di radiazione rispecchieranno con buon grado di approssimazione quelli della antenna reale.

L'utilizzo di entrambi questi test deve considerarsi condizione necessaria, e non sufficiente, per affermare la validità di un modello di antenna.

Limiti dei programmi NEC

Se il nostro modello non passa i test, non necessariamente è colpa nostra: anche i programmi NEC hanno dei limiti invalicabili. Già abbiamo citato quelli legati al minimo numero di *segment*, al rapporto fra la lunghezza del *segment* ed il diametro del *wire*, eccetera. Altri ancora ve ne sono che dobbiamo tenere in considerazione nella realizzazione di modelli di antenne con NEC.

Ad esempio non dobbiamo impostare *wire* che si incrocino nel mezzo di un *segment*; questo tipo di modello non riesce ad essere correttamente gestito da NEC. Alcuni programmi NEC ci segnalano questo tipo di errore e comunque la cautela di preparare il modello sulla carta prima di darlo in pasto al computer fa sì che noi stessi siamo in grado di accorgerci di questo errore e di eliminarlo, modificando il progetto.

Un altro limite di NEC è dato dalla analisi inaccurata nel caso di *wire* di differenti dimensioni posti ad un certo angolo, ad esempio 60 o 90 gradi; mentre possiamo ridurre la dimensione dei *wire* per i *wire* che implicano una prosecuzione lineare dell'elemento senza preoccupazioni, non possiamo realizzare un modello accurato di una quad che abbia i *wire* orizzontali dieci volte più grandi come diametro dei *wire* verticali, cosa che potrebbe risultare logicamente attuabile in una quad composta da due bracci orizzontali in alluminio con gli estremi collegati da un sottile filo di rame, oppure in una X-beam realizzata in alluminio e filo di rame. Alcune varianti di NEC come MiniNEC non soffrono di questo difetto.

Inoltre esiste un problema dettato dalla vicinanza di *wire* paralleli di diametro differente; in questo caso occorre quantomeno assicurarsi che i *segment* di ognuno dei suddetti *wire* sia in perfetto allineamento con i *segment* dell'altro *wire*. Ma anche nel caso di un perfetto allineamento questa vicinanza introdurrà errori di calcolo di entità non prevedibile a priori su guadagno ed impedenza della antenna.

Anche la riduzione del diametro in *wire* che implicano la prosecuzione lineare della antenna, il cosiddetto *tapering*, in modo leggero influenza il modello, ma i programmi NEC più evoluti utilizzano algoritmi particolari che riconducono i vari diametri ad uno solo, modificando di conseguenza le lunghezze dei *wire*. Sia Eznec che NECWin Plus utilizzano gli algoritmi di W6NL che, con una limitazione dettata dal range di frequenze ammissibile ristretto al 15%, consentono di calcolare la lunghezza equivalente rapportata ad un singolo diametro di un insieme di *wire* di diametro variabile a scalare, tecnica costruttiva questa solitamente utilizzata in tutte le antenne. Ricordiamoci quindi che la nostra antenna realizzata con tubi di alluminio con diametri a scalare risulterà nella realtà più lunga rispetto alla antenna calcolata su un singolo diametro nel modello realizzato con il nostro programma NEC.

Nonostante queste limitazioni, un programma NEC permette la realizzazione di modelli di molteplici tipi di antenna, spaziando dalle più basse HF fino alle UHF ed oltre.

Conclusioni

Questa prima esplorazione del mondo dei modelli di antenne è rivolta al neofita, con l'obiettivo di appassionarlo a questa disciplina. Per questo si è ritenuto opportuno parlare delle caratteristiche principali di NEC e delle tecniche più semplici, tralasciando tanti interessanti argomenti quali antenne con bobine di carico, realizzazione di modelli con equazioni complesse o con strutture reticolari come i tralicci. L'obiettivo era quello di iniziare il neofita ai primi passi, evitando che la matematica prendesse il sopravvento, spaventandolo.

NEC compie fra poco vent'anni, ma rimane comunque uno strumento valido ed efficiente, senza dubbio superiore alle regolette mnemoniche sulla lunghezza di un dipolo ed alla spaziatura fra gli elementi di una yagi che abbiamo da sempre applicato alle nostre sperimentazioni.

Abbiamo dovuto imparare ad utilizzare il metro ed il seghetto, il saldatore e la pinza spelafili, faticando per acquisire la necessaria esperienza; anche con NEC sarà la stessa cosa ed impareremo ad apprezzarlo col tempo, come abbiamo fatto con tutti gli altri strumenti utilizzati nelle nostre sperimentazioni.

De I4MFA

Avevo iniziato a preparare alcune dispense sulle tecniche di realizzazione di modelli di antenne, che però ho ritenuto di difficile pubblicazione in quanto estremamente ostiche per il principiante. Ho colto con immensa soddisfazione l'opportunità fornitami da L. B. Cebik W4NRL di realizzare una sintesi rivolta al neofita con la speranza che successive pubblicazioni di analisi di modelli possano essere apprezzati e compresi maggiormente dai colleghi RadioAmatori. Se questa lettura vi ha interessato, il passo successivo che vi consiglio è il testo *Basic Antenna Modelling: A Hands On Tutorial* edito da Nittan Scientific, Inc., i cui dettagli li trovate su <http://www.nittan-scientific.com> ovviamente in lingua inglese. Le voci tecniche relative ai programmi per la realizzazione di modelli di antenne sono state volutamente non tradotte, per consentire ai principianti a cui risulta ostica la lingua inglese di trovare subito quello che a loro interessa sui programmi citati, EzNEC e NECWin Plus, i quali appunto sono in lingua inglese.

Buon divertimento, de I4MFA.