

EFFETTO DOPPLER E RADIO DIRECTION FINDING

BY IK4CIE

PREFAZIONE

Quello che internazionalmente si chiama "Radio Direction Finding" (ricerca della direzione di provenienza dei segnali radio), abbreviato con RDF, comprende sia la ricerca della "volpe" piazzata intenzionalmente da chi organizza le competizioni, sia la individuazione di ogni fonte di radiofrequenza come disturbatori, interferenze, ecc.

Il metodo più spontaneo ed usato da tutti per capire da dove proviene un segnale radio, è l'uso di un'antenna direttiva tradizionale. L'antenna viene orientata per il massimo segnale, e la direzione del boom ci dà la direzione di provenienza. Il vantaggio principale di questa tecnica è quello di poter essere usata da tutti, in quanto non richiede strumenti particolari e nemmeno conoscenze specifiche. Gli svantaggi sono la scarsa accuratezza della rilevazione, e il tempo richiesto per una determinazione della direzione, che è circa 2 minuti se la direttiva è installata su un rotore tradizionale. Ciò parlando di una direttiva posta in installazione fissa. Le antenne direttive per uso portatile devono necessariamente essere più piccole, e quindi meno direttive. Inoltre, non è possibile l'uso di questa tecnica su un mezzo in movimento come l'automobile. Esistono altri sistemi più adatti alla ricerca in movimento. Il presente articolo intende studiare i sistemi basati sull'effetto fisico Doppler nelle due forme in cui esso è sfruttato per questi scopi: lo pseudo-Doppler e il TDOA, che verranno qui ampiamente descritti.

CAPITOLO 1: TEORIA DELL'EFFETTO DOPPLER

Nel 1842, a Vienna, Christian Doppler (1803–1853) scoprì un effetto fisico che porta il suo nome. L'effetto Doppler si applica a tutti i fenomeni ondulatori, quindi sia ai fenomeni sonori che a quelli delle onde elettromagnetiche (onde radio) e anche alla luce.

In poche parole, l'effetto Doppler è quello per cui se una sorgente di onde (acustiche, radio, luminose, ...) si muove avvicinandosi all'osservatore, egli percepirà una frequenza più alta, mentre se la sorgente si allontana dall'osservatore, egli percepirà una frequenza più bassa. L'evidenza nel vivere comune è data dal suono di un'ambulanza lanciata a forte velocità: la sirena pare avere un tono più alto quando il mezzo si avvicina, e più basso quando si allontana. Facciamo lo studio nel caso di onde acustiche; in realtà c'è differenza tra onde acustiche ed onde elettromagnetiche, in quanto il mezzo in cui si propaga il suono ha importanza per la propagazione stessa, mentre il mezzo non conta per le onde elettromagnetiche; il comportamento è però analogo.

Qualche formula: supponiamo che la sorgente si muova con velocità costante v rispetto all'osservatore fermo, ed emette onde con frequenza f e quindi periodo T (dove $T = 1 / f$). Per semplicità parliamo di impulsi emessi ogni T secondi.

Al momento $t_0 = 0$, la distanza tra la sorgente e l'osservatore sia L . Il primo impulso raggiunge l'osservatore dopo un tempo $t_1 = L / u$ dove u è la velocità delle onde emesse (velocità del suono, oppure della luce); questa è la nota formula $V = S/T$ (velocità = spazio / tempo). Il secondo impulso parte al momento $t_2 = t_0 + T = T$ e raggiunge l'osservatore dopo un tempo $t_3 = T + (L - vT) / u$, essendo vT lo spazio percorso dalla sorgente dal momento iniziale t_0 al momento di partenza del secondo impulso, T .

Come risultato, l'osservatore rileva gli impulsi con un periodo pari a

$$T_{\text{dop}} = t_3 - t_1 = T + (L - vT) / u - L/u = T (1 - v / u).$$

Passando alla frequenza, che è pari $1 / T$,

$$f_{\text{dop}} = 1 / T_{\text{dop}} = f / (1 - v / u)$$

Esempio dell'ambulanza (sorgente in movimento):

il veicolo si muove a velocità 120 Km/h pari a 33,3 m/s = v

il suono si propaga a 330 m/s = u

Se la sirena suona a 1 KHz, l'osservatore percepisce il suono alla frequenza di

$$f_{\text{dop}} = 1000 / (1 - 33,3/330) = 1000 / (1 - 0,1) = 1111 \text{ Hz.}$$

Quando il mezzo invece si allontana, il ragionamento si inverte e la frequenza percepita è più bassa
 $= 1000 / (1 + 0,1) = 909 \text{ Hz}$.

Anche per le onde elettromagnetiche, almeno per velocità dell'osservatore molto piccole rispetto alla velocità della luce, valgono i conti precedenti e come velocità delle onde u è da intendersi la velocità della luce c (= 300.000 Km/sec).

Un esame più preciso darebbe la seguente formula

$$f_{\text{dop}} = f \left[\frac{(1+v/c)}{(1- v/c)} \right]^{1/2}$$

approssimata dalla $f_{\text{dop}} = f / (1 - v / u)$ che, per $v \ll c$, da valori quasi uguali alla

$f_{\text{dop}} = f (1 + v / u)$ più usata per le onde elettromagnetiche.

CAPITOLO 2: L'EFFETTO DOPPLER NELLE ONDE RADIO E IL SUO USO PER INDIVIDUARE UNA SORGENTE

Quello che si vuole fare, è sfruttare l'effetto Doppler per determinare la direzione di provenienza di un segnale radio e, quindi, la direzione in cui si trova il trasmettitore.

Si consideri un dipolo verticale che si avvicina alla sorgente: esso percepirà un segnale a frequenza più alta del reale (più bassa se si allontanasse). Non potendo realizzarsi un dipolo "che **corre** in linea retta"... si pensi invece ad un dipolo verticale che **ruota** intorno ad un paletto. Tale dipolo continuamente si avvicina e si allontana dal trasmettitore, e questo movimento provoca un periodico aumento e calo della frequenza ricevuta dal ricevitore (osservatore) collegato a questo ipotetico dipolo. Se la velocità di rotazione è costante, la frequenza aumenta e cala secondo una perfetta sinusoide. Vedi figura 1.

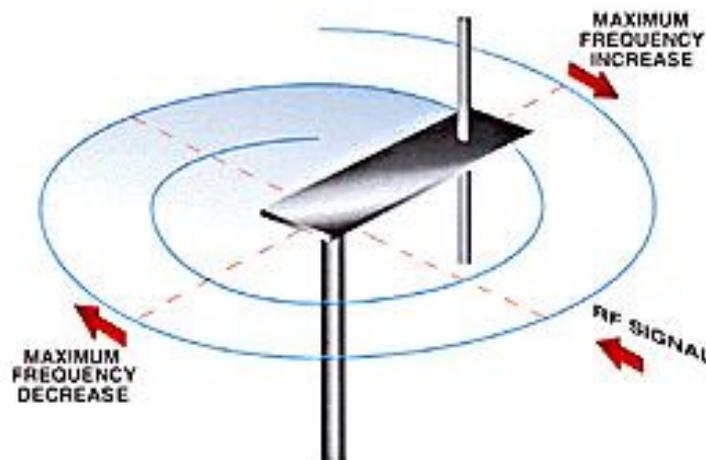


Figura 1

Sia F la frequenza con cui il dipolo ruota. Un segnale la cui frequenza aumenta e cala, cioè varia, è bensì un segnale modulato in FM... ! Quindi, se il nostro ricevitore possiede un discriminatore FM, questo segnale si tradurrà in un **tono audio** alla frequenza F (ossia una tensione sinusoidale alla frequenza F). La risposta del discriminatore FM è infatti quella di figura 2.

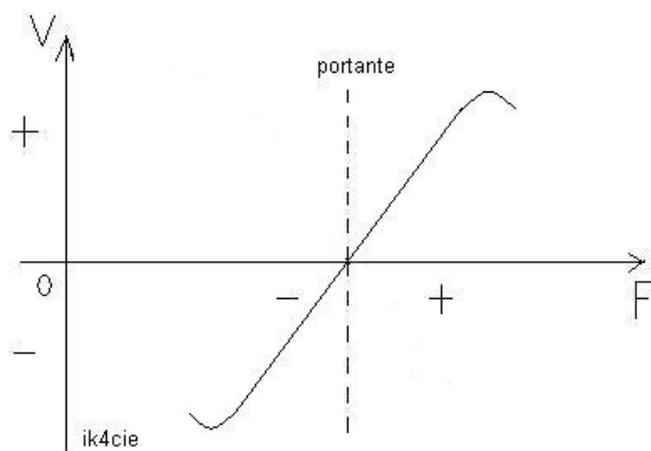


Figura 2

Nota pratica: il segnale ricevuto non deve necessariamente essere composto dalla sola portante, perché questo tono audio si sovrappone alla eventuale modulazione presente. Sono perciò utilizzabili da un sistema RDF Doppler segnali CW, AM, FM, ma non segnali SSB, per i quali non è presente una portante.

Esaminando poi la fase del tono, confrontandola con il clock di riferimento usato per ruotare l'antenna, si riesce a determinare l'angolo di provenienza del segnale come vedremo fra poco.

Non è però realizzabile meccanicamente un dipolo che ruota, perché per ottenere risultati apprezzabili dovrebbe ruotare troppo velocemente.... Per curiosità, calcoliamo a che velocità dovrebbe girare un dipolo per dare un certo effetto Doppler. La formula che da lo shift di frequenza in base alla velocità di un'antenna che ruota è la seguente (formula di Doppler per sorgente ferma e osservatore in movimento):

$$S = r w f / c \quad (\text{discende dalla formula } f_{\text{dop}} = f (1 + v / c) \text{ valida per radioonde, } u = c)$$

dove

S = shift (massima deviazione di frequenza) in Hz = $f_{\text{dop}} - f$

r = raggio di rotazione del dipolo, in metri

w = velocità angolare dell'antenna, in radianti / secondo = v/r

c = velocità della luce in m/s

f = frequenza della portante del segnale ricevuto.

Vediamo in VHF che velocità risulta:

per avere un effetto utilizzabile, deve essere $S = 500$ Hz almeno. Prendiamo come raggio di rotazione $r = 0,5$ m, come frequenza $f = 145$ MHz.

Si ha $w = Sc / r f = 500 \times 300000000 / 0,5 \times 145000000 = 2069$ rad/sec = 329 giri/sec = 329 Hz : proprio troppo alta per un sistema meccanico !

Si ricorre perciò ad uno stratagemma; si montano più dipoli verticali, disposti a cerchio, e poi si commuta tra di essi. Nelle soluzioni più comuni si usano array di 4 – 6 oppure 8 dipoli. I dipoli possono essere sostituiti da altrettanti semidipoli (quarto d'onda) posti nelle medesime posizioni, purché muniti di un efficiente piano di terra. Il risultato del passare da una rotazione continua ad una commutazione è evidenziato dalla figura 3.

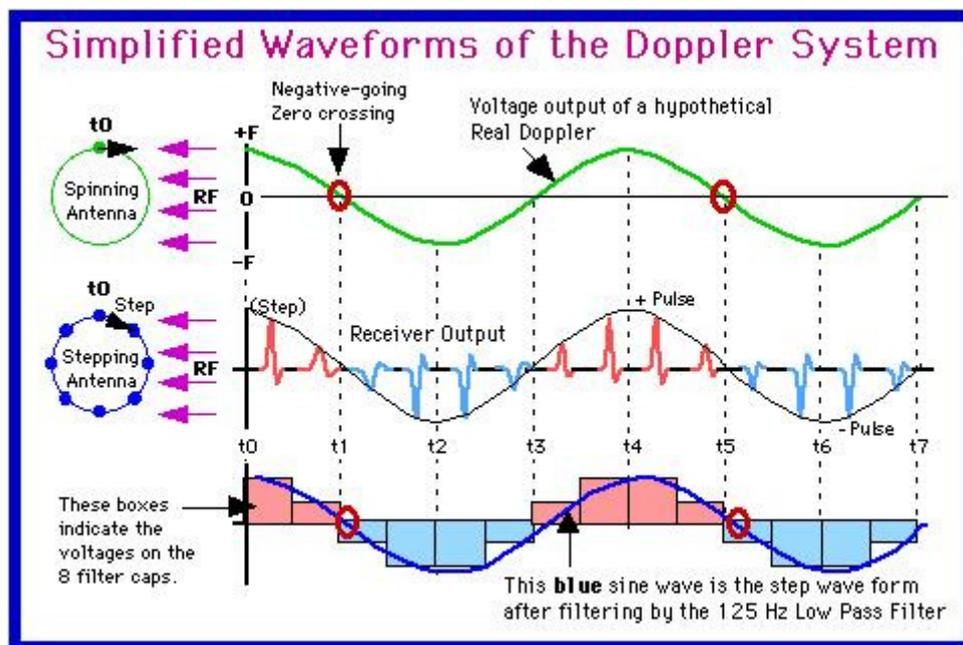


Figura 3

La figura in alto con la sola sinusoide rappresenta il segnale uscente dal demodulatore FM del ricevitore la cui antenna sia un dipolo rotante. Esaminiamo la figura e notiamo che l'istante in cui si ha il massimo incremento della frequenza ricevuta è il momento t_0 che si ripete in t_4 . È l'istante in cui l'antenna si sta dirigendo direttamente incontro al trasmettitore. Ci sono poi i punti in cui la variazione di frequenza è nulla rispetto alla frequenza realmente emessa, e sono i punti t_1 , t_3 . Sono i momenti in cui il dipolo rotativo si trova rispettivamente alla minima e massima distanza dal trasmettitore. Nel secondo grafico vediamo la tensione presente sul discriminatore quando anziché un dipolo rotativo si usano 8 dipoli con commutazione. Integrando il segnale e filtrandolo, si riottiene la sinusoide, come si vede nel terzo grafico. Ai fini pratici, non vi è molta differenza; il sistema si dovrebbe per correttezza chiamare **"pseudo-Doppler"**, ma questo termine è raramente usato.

Osserviamo ora la figura 4.

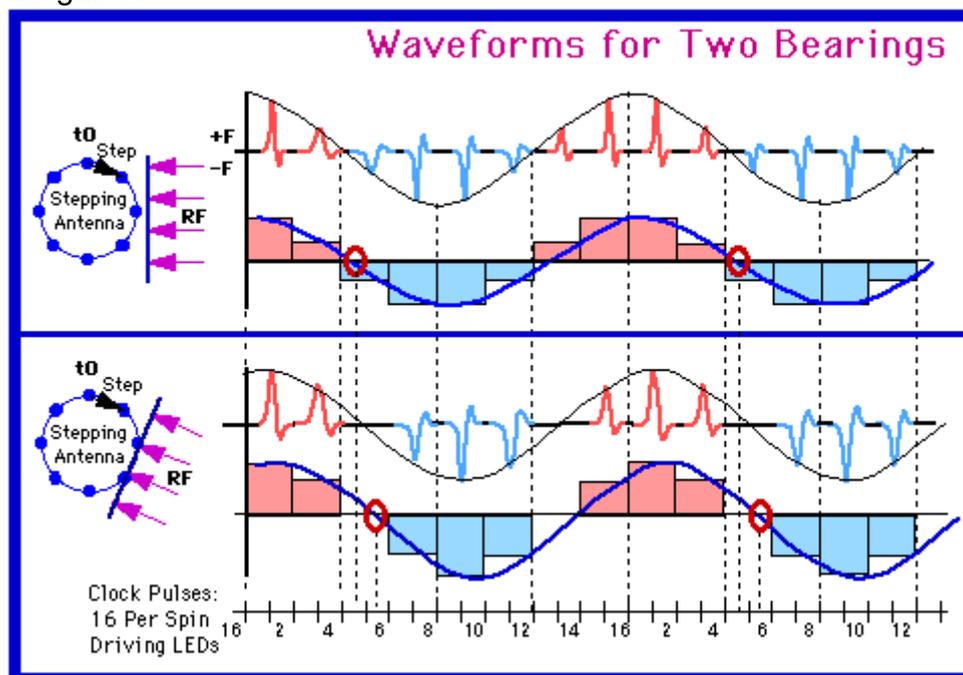


Figura 4

Poniamo particolare attenzione al momento t_0 , che è l'istante in cui, come nel grafico precedente ripreso nella prima parte di questa figura, l'antenna si sta dirigendo direttamente incontro al trasmettitore (ciò origina la più alta frequenza percepita). Questa condizione si ha nel momento in cui viene selezionata l'antenna in alto, che chiamiamo antenna n. 1. Supponiamo sia EST la parte

destra della figura. Il sistema elettronico di controllo e visualizzazione si riferisce sempre ad un determinato istante di partenza, che per semplicità consideriamo ora che sia t_0 ; vedremo che con l'operazione di calibrazione dello strumento si otterrà sempre questa condizione.

Dunque se il segnale radio proviene come indicato nel primo grafico, abbiamo la corrispondente sinusoide.

Se invece il segnale proviene da una fonte posta più a sud (diciamo sud la parte bassa rispetto al sistema delle 8 antenne), il momento in cui si riceve la frequenza più alta non è più t_0 , ma è quando l'antenna n.2 viene inserita nel circuito. Il secondo grafico evidenzia questa situazione. Siccome anche il secondo grafico parte da t_0 , la parte più alta della sinusoide non è più in corrispondenza dell'inizio del grafico, ma è più a destra, circa in corrispondenza al numero 2 della scala in basso. Si ha quindi uno spostamento verso destra della sinusoide. Basta quindi un circuito che sappia misurare di quanto si è spostata a destra la sinusoide ed avremo misurato di quanti gradi la fonte trasmittente è spostata rispetto alla direzione di calibrazione (est, nei disegni qui sopra).

Osserviamo ora la scala più in basso nel disegno, quella coi numeri. I numeri vanno da 0 a 16 e si riferiscono ad un sistema con 8 antenne (disposte a esagono, 45 gradi di distanza) e 16 led per visualizzare la direzione (quindi 22,5 gradi di risoluzione). Ogni tacca nella scala è un impulso del clock del sistema. Un impulso ogni due è utilizzato per commutare all'antenna successiva, mentre ogni singolo impulso serve per individuare un led da accendere. L'unico led acceso però sarà quello in cui nell'intervallo di clock "di sua pertinenza" si è verificato l'attraversamento dello zero da parte della sinusoide.

Cerchiamo di chiarire questo funzionamento. Osserviamo lo schema a blocchi del sistema doppler riportato in figura 5.

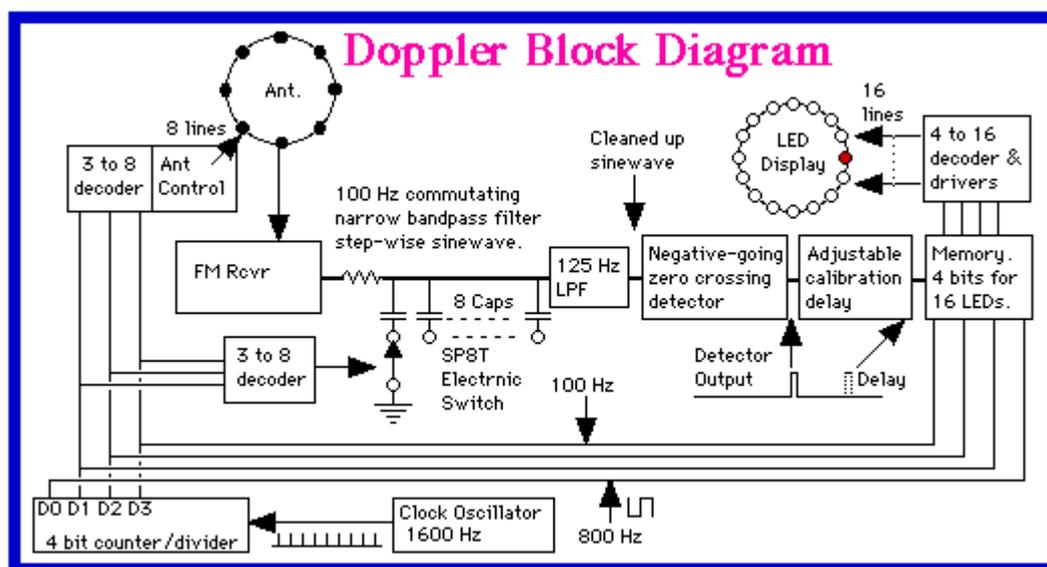


Figura 5

Il clock oscilla a 1600 Hz. Un impulso ogni due pilota lo switch delle antenne, che pertanto funziona a 800 Hz. Siccome le antenne sono 8, è come se si avesse un dipolo rotativo che ruota a 100 Hz, cioè che fa 100 giri al secondo.

Dal ricevitore FM (esterno al circuito e qui indicato con **FM Rcvr**) escono i segnali impulsivi, che passati dai condensatori e dal filtro 125 Hz diventano la sinusoide del disegno (cleaned up sinewave). Subito dopo il filtro c'è un circuito molto importante, il rilevatore di passaggio per lo zero. Questo rilevatore (zero crossing detector) dà in uscita un 1 logico quando la sinusoide attraversa lo zero nella sua fase discendente. In ogni altro istante dà uscita logica 0 (vale 0 anche quando viene attraversato lo zero nella fase ascendente della curva).

Il circuito logico di controllo dei led è fatto in modo tale per cui esso è pronto ad accendere un singolo led in ogni istante, un led diverso per ogni ciclo di clock. Tuttavia, il circuito accende (e tiene acceso fino al giro successivo del clock) solo il led corrispondente all'impulso di clock coincidente con l'attraversamento dello zero della sinusoide, quindi è comandato dal rilevatore di zero-crossing.

NOTA: il numero di led può aumentare per aumentare la risoluzione dello strumento. Ad esempio se mettiamo 128 led, ed un clock di 12800 Hz, avremo una risoluzione di 2,81 gradi, quindi molto spinta.

Le antenne saranno sempre 8, non ne occorrono di più, e lo switch delle antenne funzionerà ancora a 800 Hz (un impulso ogni 16).

Passiamo ora ad un punto rimasto non chiaro, cioè la calibrazione. Tutto quanto detto sopra va bene, a patto che si conosca il fatidico t_0 , l'istante in cui si riceve la frequenza più alta quando la stazione trasmittente si trova ad EST (sempre riferiti ai disegni di cui sopra). La calibrazione si fa quando si installa il sistema di antenna, infatti aiutandosi con un amico posto esattamente ad EST, e distante qualche chilometro, si installa l'antenna in modo che il led acceso sia quello giusto ! Se l'antenna viene posta su una autovettura, può non essere agevole ruotarla ed installarla nell'esatta direzione. Si interviene allora su un circuito che introduce un ritardo variabile (adjustable calibration delay) in maniera da "spostare" il flag dello zero-crossing detector nell'istante opportuno per far accendere il led corretto.

CAPITOLO 3: COSTRUZIONE DI UN SISTEMA RDF DOPPLER

Per la realizzazione di un sistema RDF Doppler sono tre i componenti fondamentali:

- L'elettronica di comando e visualizzazione
- L'antenna
- Lo switch di antenna.

ELETTRONICA di comando e visualizzazione

Per l'elettronica, ci sono vari schemi e anche alcuni kit di montaggio, tutti disponibili solo negli USA a quanto mi risulta, ma la cosa migliore è comperare il solo circuito stampato e poi montare i componenti comperandoli in Italia.

Tra le varie realizzazioni, ne cito tre che ho trovato in internet:

- 1) Roanoke doppler : è stato uno dei primi sistemi RDF doppler, realizzato da Chuck Tavaris N4 FQ ed è tuttora il più diffuso. E' un sistema che funziona con 4 antenne e 16 led, quindi ha risoluzione di 22,5 gradi. E' realizzato a logica cablata, con integrati CMOS e TTL.
- 2) Montreal doppler, by VE2EMM, è un sistema più moderno, realizzato con un microprocessore della serie PIC. Funziona con 4 o 8 antenne e 32 led, quindi ha risoluzione di 11,25 gradi; ora Jacques ha progettato il Montreal Doppler 3 che presenta un cerchio di 36 led oltre ad un display con MENU e varie opzioni. Jacques è disponibile a fornire i PIC già programmati e i circuiti stampati per la realizzazione dei suoi progetti, ma null'altro, non esiste un kit completo e molti componenti vanno recuperati tra internet e bancarelle....
- 3) Pico dopp, kit venduto parzialmente assemblato, molto piccolo e molto ben fatto, funzionamento affidabile. Disponibili diversi accessori come il display a 16 led oppure numerico, interfaccia per computer ecc. Prezzo onesto, trovate tutto nel sito <http://www.silcom.com/~pelican2/PicoDopp/PICODOPP.htm>
- 4) A livello professionale, ma con costi elevati, si consulti il sito della Doppler Systems www.dopsys.com che propone strumenti molto precisi, oppure il sito della Winradio: <http://www.winradio.com/home/wd3000.htm>

Sull'elettronica non c'è molto da dire, il principio di funzionamento è quello già visto, i collegamenti esterni richiesti dall'unità di visualizzazione sono:

- Alimentazione 12 volt
- Audio proveniente dal ricevitore
- Connessione al sistema di switch delle antenne

ANTENNE:

l'antenna consta di un array di 4, 6 oppure 8 antenne. Siccome il principio è lo stesso, consideriamo il caso di quattro antenne. Esse possono essere 4 ground-plane $\frac{1}{4}$ d'onda oppure 4 dipoli interi mezz'onda. Si preferisce il sistema delle GP per l'uso su automezzo, mentre per installazioni fisse o per spostarsi a piedi è molto meglio usare i quattro dipoli. Nel caso delle GP, si consideri che la distanza ottimale tra uno stilo e l'altro è circa 0,22 della lunghezza d'onda, quindi per la banda dei 2 metri sono 46 cm. Occorre un piano di terra che sia almeno $\frac{1}{4}$ d'onda su tutte le direzioni, per ogni stilo. Di solito la soluzione preferita è quella più pratica per essere montata sul tetto di un'auto: una piastra di metallo di 50 cm di lato, che sostiene gli stili, i cavi coassiali e lo switch, e otto radiali aggiuntivi, lunghi 50 cm circa, sporgenti due a due dai quattro angoli della piastra, eventualmente ripiegabili per non sporgere troppo dal veicolo (vedi figura 6).



Figura 6

La lunghezza degli stili non è proprio quella di $\frac{1}{4}$ d'onda risonante, perché provocherebbe qualche errore di lettura dovuto proprio alla risonanza delle antenne. E' consigliabile fare gli stili un po' più corti, 47 cm anziché 50. Per i 430 MHz, gli stili sono da 15 cm, agli angoli di un quadrato di lato 15 cm.

La soluzione impiegante i dipoli prevede che gli stessi siano montati su tubi isolanti disposti a croce, come si vede in foto, figura 7.



Figura 7

Da parte mia, ho realizzato entrambi i tipi senza grosse difficoltà. La difficoltà maggiore è nella

tutti da 680 pF.

Per la banda dei 430 MHz la struttura è la stessa, cambiano solo alcuni componenti: i condensatori sono da 220 pF, mentre le induttanze hanno solo 12 spire, fermo restando il supporto da 5mm.

La foto di una realizzazione dello switch è visibile in figura 9.

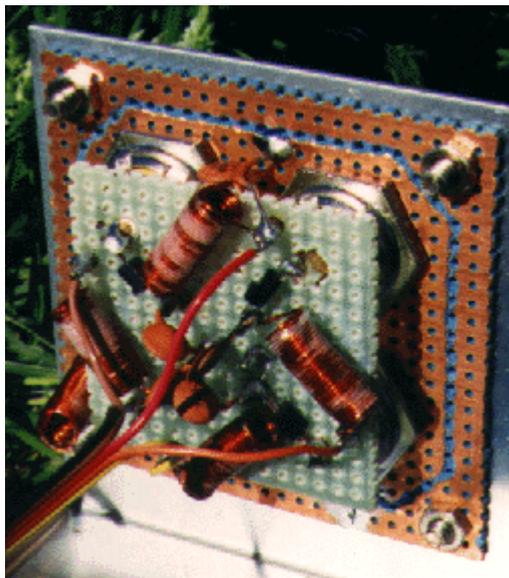


Figura 9

Non è molto bello a vedersi, ma le cose fondamentali in questo circuito sono la simmetria e il tenere i terminali dei componenti molto corti.

Occorre montare il circuito switch all'interno di una scatola metallica che faccia da schermo per la RF, ed è necessario che i quattro cavi coassiali che provengono dai quattro stili abbiano tutti la stessa identica misura. Ogni errore in questa uguaglianza porta a errori nella rilevazione della direzione. Sono tollerabili errori fino a 5 mm.

CAPITOLO 4: USO DEL RILEVATORE DOPPLER

Descrivo brevemente l'uso del rilevatore Roanoke Doppler, che ho realizzato utilizzando il circuito stampato fornitomi da **Dopplers by Greany**: Ed Greany KB6DOL. Si monta in modo stabile l'antenna sul tetto dell'autovettura, in posizione centrale, smontando ogni altra antenna eventualmente presente, che provocherebbe errori di rilevazione. Si portano all'interno i due cavi, il coassiale e il cavo di comando dello switch; il coassiale lo colleghiamo come una normale antenna ad un ricevitore, sintonizzato sulla frequenza in cui è presente la stazione da inseguire. Il cavo di comando dello switch lo colleghiamo all'unità di visualizzazione. C'è poi un altro cavo che collega l'uscita audio del ricevitore all'unità. Siccome inserendo il jack nella presa "altoparlante esterno" del ricevitore, viene disabilitato l'altoparlante interno, l'unità di visualizzazione è munita di un proprio altoparlante che riproduce l'audio ricevuto.

Accendiamo sia l'unità che la radio, regoliamo il volume della radio finché si spegne il LED di "low level", ma senza che si accenda quello di "overloading". Quando poniamo in ON l'interruttore denominato "scan", dobbiamo sentire dall'altoparlante un tono a circa 100 Hz sovrapposto al segnale entrante: questo tono ci conferma che il rilevatore sta funzionando, e possiamo già vedere nel cerchio dei led accendersi quello indicante la direzione di provenienza. Ovviamente, l'indicazione sarà esatta solo se avremo svolto l'operazione di calibrazione descritta in precedenza! Non ci sono altri comandi, ci sono un paio di trimmer interni che possiamo lasciare a metà corsa ed un deviatore che serve per invertire la fase se l'indicazione dovesse essere sbagliata di 180°; ciò può capitare con alcuni ricevitori che invertono la fase del segnale audio negli stadi di bassa frequenza. In fase di calibrazione si vede subito se il nostro ricevitore necessita il deviatore posto in una posizione o nell'altra. È molto divertente, se ci sintonizziamo all'ingresso di un ponte ripetitore, e siamo in buona posizione, osservare i vari segnali provenienti dalle diverse direzioni. Modelli più evoluti, professionali, di RDF Doppler permettono il collegamento di un GPS e di un PC con l'unità, in modo da visualizzare sullo schermo del PC la mappa della zona con indicata la direzione di provenienza del segnale.

CAPITOLO 5: CONSIDERAZIONI SUI SISTEMI DOPPLER, vantaggi e svantaggi

I sistemi Doppler hanno il grande vantaggio, rispetto agli altri sistemi di rilevamento della direzione di un segnale radio, di essere molto veloci. Al circuito basta infatti meno di mezzo secondo per accendere il LED che indica la direzione. Se montate un sistema di quattro dipoli sul tetto e il display in casa, saprete sempre la direzione del segnale di chi state ascoltando. Un altro vantaggio è che non vi sono parti in movimento, non serve un rotore; inoltre anche a breve distanza dal trasmettitore da individuare, non serve l'attenuatore, indispensabile in altri tipi di RDF. Enorme vantaggio è anche quello di poter sistemare tutto l'impianto su un mezzo mobile.

Vi sono però alcuni svantaggi che occorre tenere presenti, onde non aspettarsi impossibili miracoli da questo tipo di strumenti:

- La precisione non è eccellente. Abbiamo visto che nel miglior Doppler amatoriale la precisione è 7,2 gradi, ma i doppler più comuni hanno solo 22,5 gradi di risoluzione.
- La lettura è precisa solo se le antenne sono piuttosto libere da ostacoli, cioè se non ci sono segnali riflessi. E' sconsigliato l'uso tra edifici alti o tra le montagne.
- Il sistema di antenna è di tipo solo ricevente. Se per caso ci scappa il dito sul PTT, bruciamo subito tutti i diodi PIN. Quindi se vogliamo ricevere e trasmettere, occorre essere muniti di due radio e due antenne.
- Non è utilizzabile per segnali SSB
- La sensibilità è quella di un'antenna quarto d'onda, perciò se il segnale da rilevare è debole conviene usare in prima battuta un'antenna direttiva.

CAPITOLO 6: TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL RDF (TDOA)

Adesso che abbiamo visto un radiogoniometro Doppler, ci risulta immediato comprendere il funzionamento del suo "fratello minore", cioè il TDOA-RDF. Supponiamo di avere un'antenna che si muove a velocità costante, in linea retta, avanti e indietro su un cammino ortogonale al fronte dell'onda radio in arrivo. Vedi figura 10.

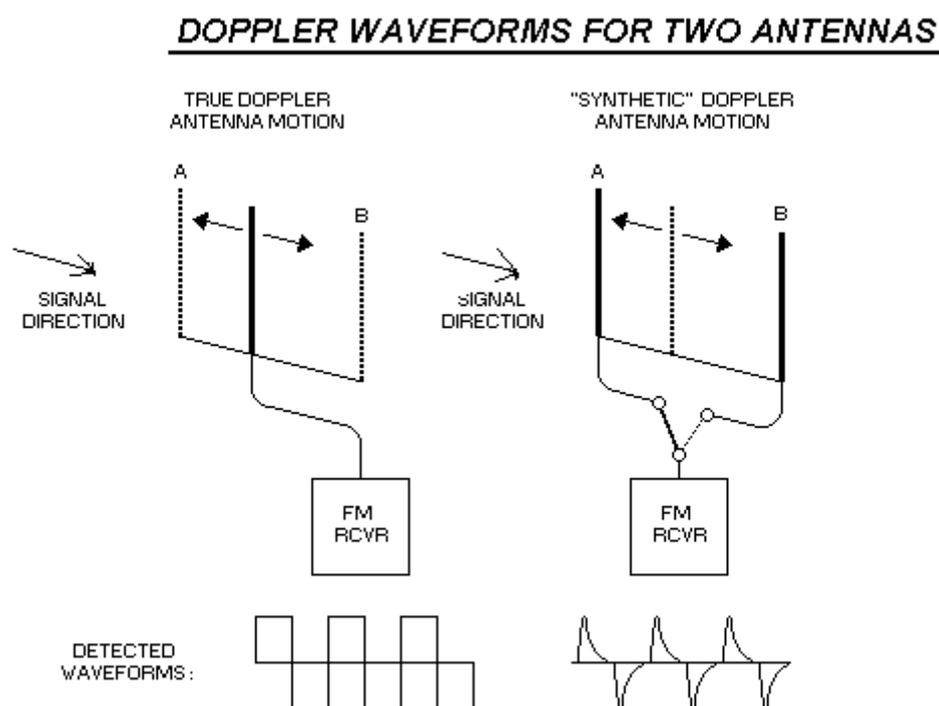


Figura 10

Quando l'antenna si avvicina al trasmettitore, si riceve una frequenza più alta, mentre quando si

allontana, si riceve la frequenza più bassa. Essendo la velocità costante ed il moto rettilineo, la forma d'onda risultante da un ideale discriminatore FM è un'onda quadra, a frequenza pari a $1/T$ dove T è il tempo impiegato dall'antenna a percorrere il tratto rettilineo in andata e ritorno.

Nella pratica, si usa un sistema di due dipoli verticali commutati a frequenza 500 Hz.

Ciò, unitamente alle caratteristiche del radiorecettore, provoca che il segnale uscente dal discriminatore non è un'onda quadra ma una successione di impulsi, come si vede nella parte destra della figura. Poco importa ciò nella pratica: dall'altoparlante uscirà un tono a 500 Hz, sovrapposto al segnale della stazione che stiamo ricevendo. L'ampiezza di questo tono (cioè il suo "volume") è proporzionale alla differenza tra la frequenza più alta e la più bassa ricevute; il minimo scarto tra le frequenze si ha quando le antenne sono equidistanti dal trasmettitore, il massimo si ha quando le antenne sono con il loro boom che "indica" il trasmettitore. In particolare, quando le antenne sono equidistanti dal TX, il tono audio scompare. Per usare questo sistema quindi occorre ruotare il sistema dei due dipoli finché il tono audio scompare: in tale condizione il boom di sostegno dei dipoli è parallelo al fronte d'onda, quindi ortogonale alla direzione di provenienza del segnale.

Ovviamente, rimane l'ambiguità di non sapere se il segnale proviene dal davanti o dal retro, in quanto vi sono due posizioni in cui il tono scompare.

Questa ambiguità può essere risolta in due modi:

- inserendo un interruttore nel circuito del sistema, che inserisca una linea di ritardo del segnale su una delle antenne (ciò porta ad un diagramma a cardioide)
- inserendo un circuito, sincrono col clock dello switch delle antenne, che "capisca" lo sfasamento tra i due segnali ricevuti e lo indichi su uno strumentino.

Entrambe le soluzioni sono semplici, ma le ritengo superflue in quanto basta fare ascolto da due punti per poter fare una triangolazione senza ambiguità.

Lo schema elettrico proposto da WB2HOL è riportato in figura 11.

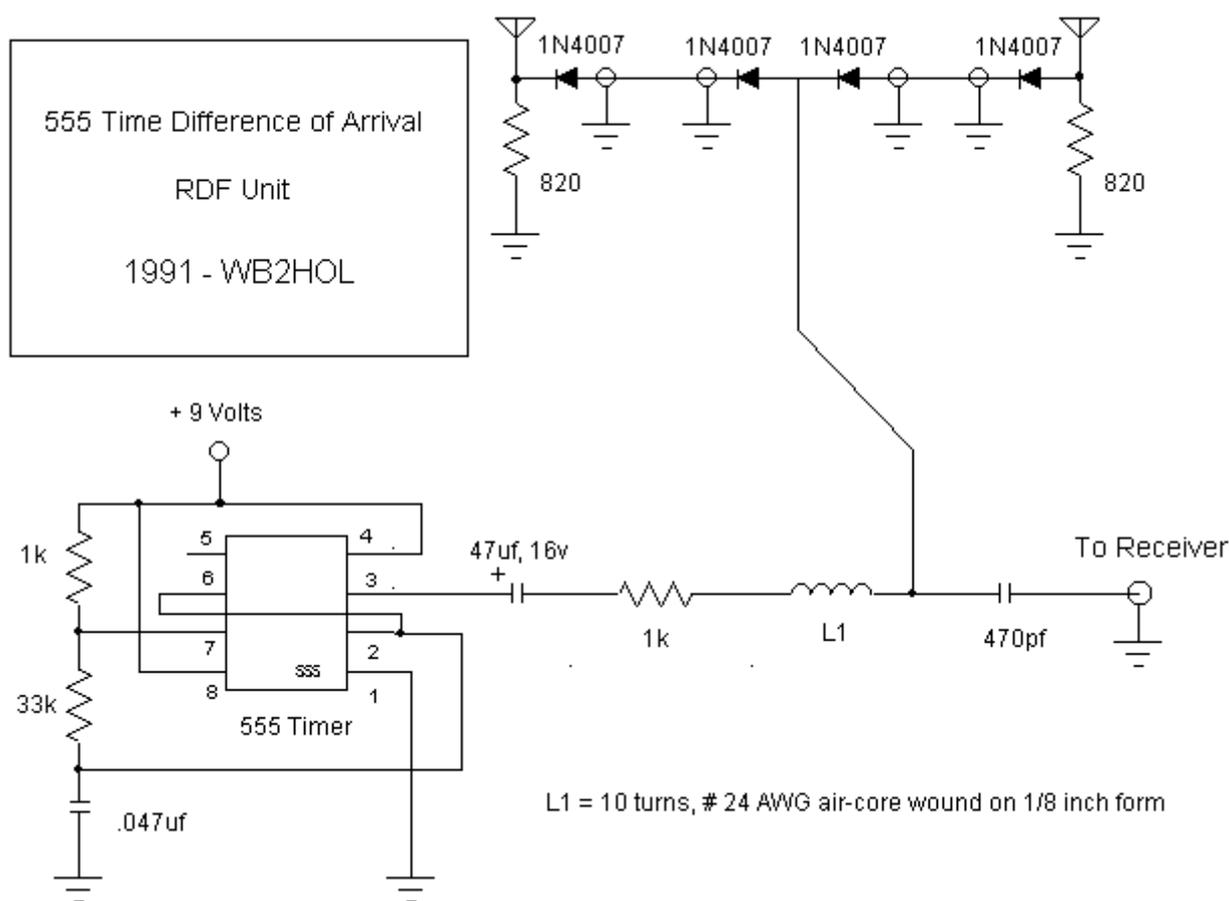


Figura 11

Come si vede, è semplicissimo. Al posto dei diodi 1N4007 consiglio i soliti BA479, mentre l'induttanza è composta di 10 spire di filo 0,4mm avvolti su supporto di 5mm.

L'antenna è costituita da due dipoli mezz'onda montati su un boom di 40 cm circa. La lunghezza del boom può anche essere maggiore, ma deve comunque essere inferiore a mezz'onda. Non ci sono componenti critici, occorre come al solito curare bene la simmetria del montaggio. Questo circuito

l'ho montato in una sera e ha funzionato subito.

Un'idea di come collegare i diodi all'antenna è data dalla figura 12:

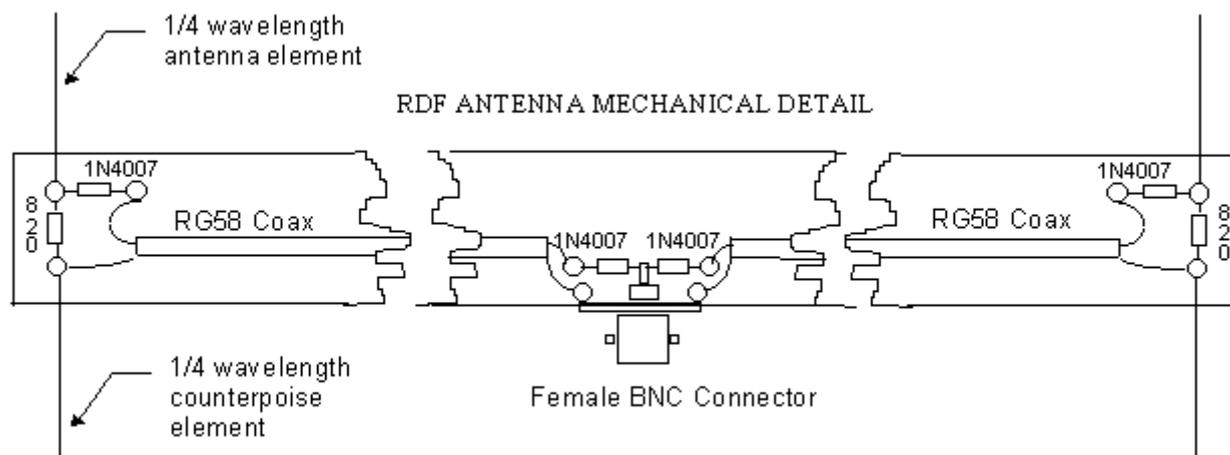


Figura12

Il circuito con il 555 può essere montato sul boom dietro il connettore BNC, e viene alimentato da una pila 9V.

Lo schema con la linea di ritardo lo trovate qui:

<http://www.homingin.com/hfinderfix.html>

Lo schema con lo strumentino che indica lo sfasamento lo trovate qui:

<http://home.att.net/~jleggio/projects/rdf/tdoa1.htm>

ho montato anche questo modello con lo strumentino e devo dire che funziona egregiamente; lo strumento devia maggiormente più ci si scosta dall'esatta direzione !

CONCLUSIONI:

I metodi sopra descritti sono delle alternative all'uso di antenne direttive convenzionali nella ricerca della provenienza di un segnale radio. Ciò non significa che siano migliori o peggiori dell'impiego delle direttive, hanno i loro vantaggi e i loro svantaggi, che abbiamo già esposto. La costruzione di un sistema Doppler è comunque una bella esperienza, perché si vede messa in pratica una teoria fisica.

Se volete saperne di più sulla radio caccia, conviene acquistare il libro

“Transmitter Hunting – radio direction finding simplified” autori K0OV e WB6UZZ , che tratta parecchi metodi di radio-rilevazione. Lo trovate in vendita in vari siti internet, ma non in Italia; il sito ufficiale è il seguente:

<http://www.homingin.com/THRDFSinfo.html> ; costa 25\$ + spedizione.

FOTO:

altre foto delle mie realizzazioni DOPPLER: www.ariparma.it/fotodop.htm

BIBLIOGRAFIA:

oltre al libro sopra citato, ho consultato vari siti internet, quasi tutti in lingua inglese, tra cui segnalo:

teoria del Doppler e TDOA: <http://www.silcom.com/~pelican2/PULSES.html>

schema a blocchi di un altro TDOA : http://www.silcom.com/~pelican2/TD_CIRCUIT.html

altro TDOA: http://www.ussc.com/~uarc/rptr/ark_df_desc.html

esempi di effetto Doppler: <http://www.physics.nad.ru/Physics/English/waves.htm>

tabella conversione AWG/mm : <http://www.tnt-audio.com/gif/awg.gif>

Montreal Doppler: <http://www.qsl.net/ve2emm>

breve teoria Doppler in italiano : <http://www.bo.astro.it/sait/spigolature/spigo300base.html>

Un ringraziamento a

- [IK4GNJ](#) Magri Francesco, ha collaborato alla costruzione dell'antenna per VHF
- [IK4XQM](#) Rosa Lorenzo, mi ha aiutato nei conti matematici
- [WB2HOL](#) Joseph Leggio, che ha concesso di riportare i suoi schemi di TDOA
- [K0OV](#) Joseph Moell, che ha concesso di riportare lo schema dello switcher (fig. 8)
- [K6BMG](#) George Andrews, che ha concesso di usare le figure 3, 4 e 5

La mia auto con l'antenna VHF Doppler:

