

ARI – Sezione di Fidenza



# Radio Direction Finding

Individuare la direzione di  
provenienza di un segnale sfruttando  
l'effetto Doppler

Vittorio, IK4CIE

# PREFAZIONE

- Come individuare la direzione di provenienza di un segnale ? (VHF-UHF)
- A) usando attenuatore e antenna direttiva
- Vantaggi: semplice, intuitivo, economico
- Svantaggi: non usabile mentre si guida, incerto in prossimità della fonte, poco preciso con antenne a pochi elementi (meglio usare il null piuttosto che il max)

# PREFAZIONE

- B) usando sistemi ad effetto Doppler
- Vantaggi: molto preciso, usabile in movimento, non risente della vicinanza della fonte, non serve attenuatore
- Svantaggi: macchinoso, un po' costoso
- Non molto sensibile (l'antenna è un dipolo!)
- **CONSIGLIO:** iniziare la ricerca con una antenna direttiva, poi quando il segnale è forte (almeno S 5) passare al Doppler.

# TEORIA

- Nel 1842 a Vienna il fisico Christian Doppler (1803-1853) scoprì l'effetto fisico che porta il suo nome:
- Se una sorgente di onde ad una certa frequenza si muove avvicinandosi all'osservatore, questi percepisce una frequenza più alta di quella reale, mentre se la sorgente si allontana dall'osservatore, egli percepisce una frequenza più bassa.

# TEORIA

- Supponiamo che la sorgente si muova verso un osservatore fermo, con velocità costante  $v$ , ed emetta onde con frequenza  $f$  e quindi periodo  $T$  (dove  $T = 1 / f$  ).
- Per semplicità di ragionamento 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 non pari a  $T$  come sarebbe se la fonte fosse ferma, ma pari a
- $T_{\text{dop}} = t_3 - t_1 = T + (L - vT) / u - L/u = T ( 1 - v / u )$ . Osserviamo che se  $v \ll u$ ,  $T_{\text{dop}}$  è praticamente uguale a  $T$ .
- Passando alla frequenza, che è pari a  $1 / T$  :
- $f_{\text{dop}} = 1 / T_{\text{dop}} = f / ( 1 - v / u ) > f$  !
- **(NOTA:che si muova la sorgente o l'osservatore è identica cosa!)**

# TEORIA

- Esempio dell'ambulanza ( sorgente in movimento ):
- il veicolo si muove a velocità 120 Km/h pari a  $33,3 \text{ m/s} = v$
- il suono si propaga a  $330 \text{ m/s} = u$
- Il caso è significativo in quanto  $v$  non è molto minore di  $u$ .
- 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 =  $1000 / ( 1 + 0,1 ) = 909 \text{ Hz}$ . Molto significativo !
- Si noti che le frequenze  $f_{\text{dop}}$  non dipendono dalla distanza sorgente-osservatore.

# TEORIA

- 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  $c$  ( $= 300.000 \text{ Km/sec}$ ).
- La formula di prima,  $f_{\text{dop}} = f / ( 1 - v / c )$ , per  $v \ll c$ , dà valori quasi uguali alla
- $f_{\text{dop}} = f ( 1 + v / c )$  più usata per le onde elettromagnetiche
- Vediamo in che modo si può sfruttare quanto visto finora, per individuare la direzione di provenienza di un segnale radio.

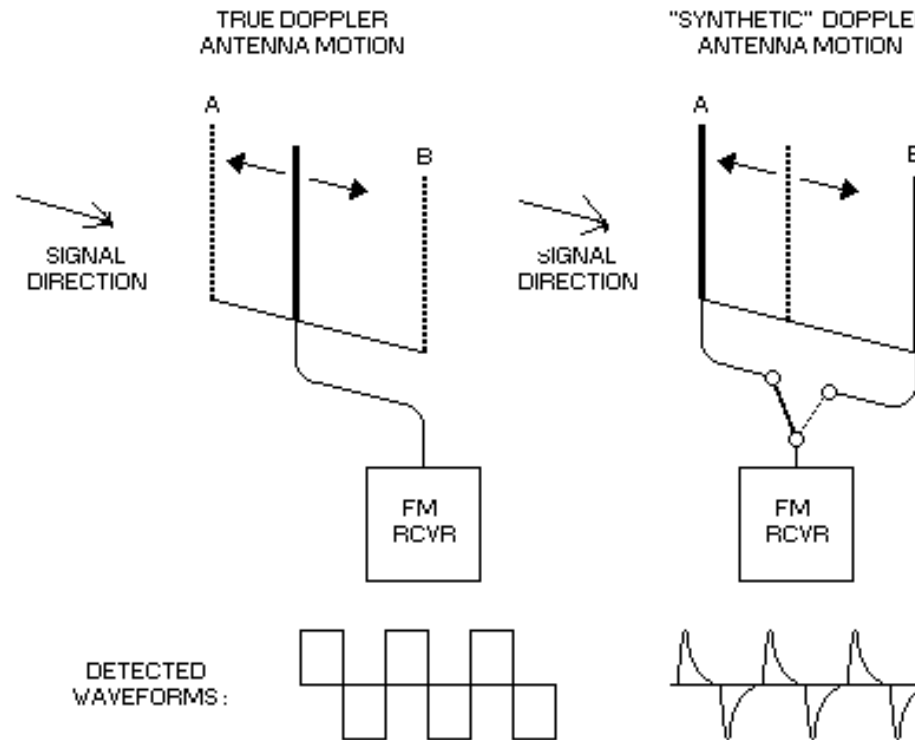
# TEORIA

- Si consideri un dipolo verticale che si avvicina alla sorgente: esso percepirà un segnale a frequenza più alta del reale. Se lo stesso dipolo si allontana dalla sorgente, percepirà una frequenza più bassa.
- Chi usa i satelliti a bassa orbita ha buona pratica di queste variazioni di frequenza.



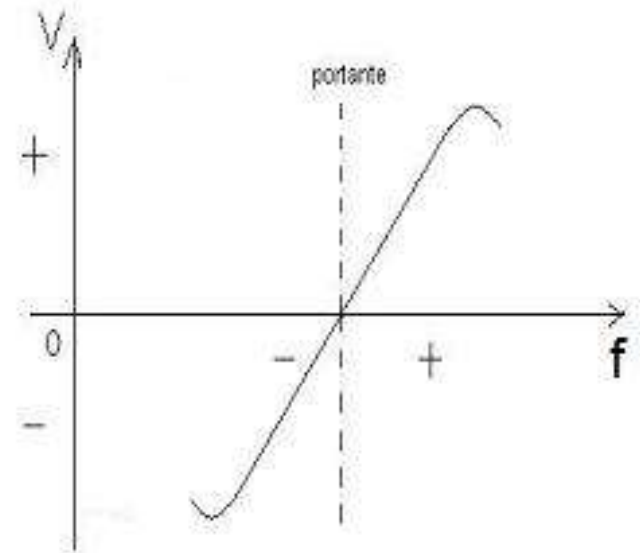
# Time Difference Of Arrival

## DOPPLER WAVEFORMS FOR TWO ANTENNAS



# TDOA

- 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.
- Risposta del discriminatore:



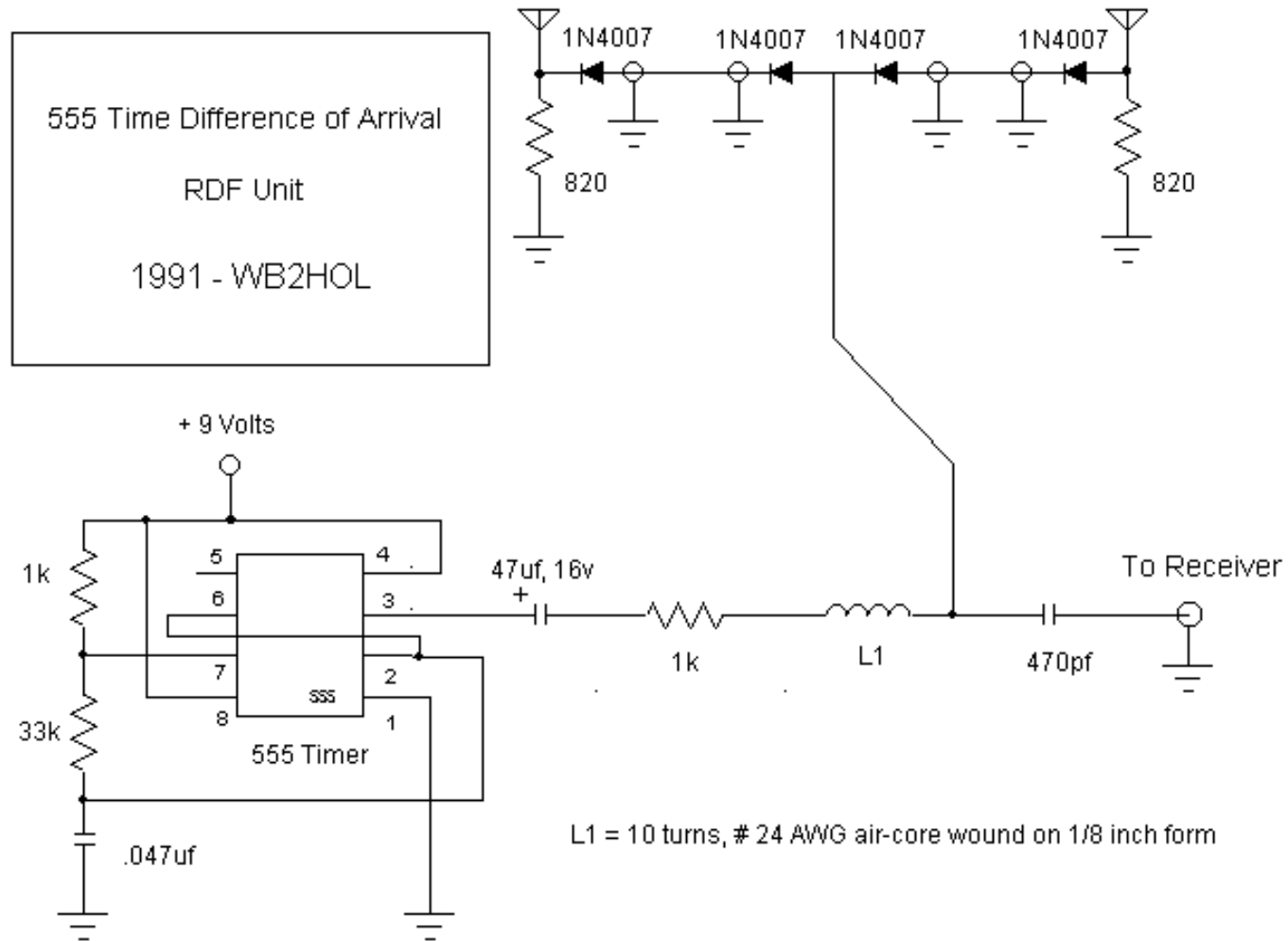
# TDOA

- Nella pratica, si usa un sistema di due dipoli verticali commutati a frequenza 500 Hz.
- 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 (alla “deviazione” si può pensare!); 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

# TDOA

- 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
- Esistono circuiti per risolvere questa ambiguità, peraltro basta fare una triangolazione...

# TDOA

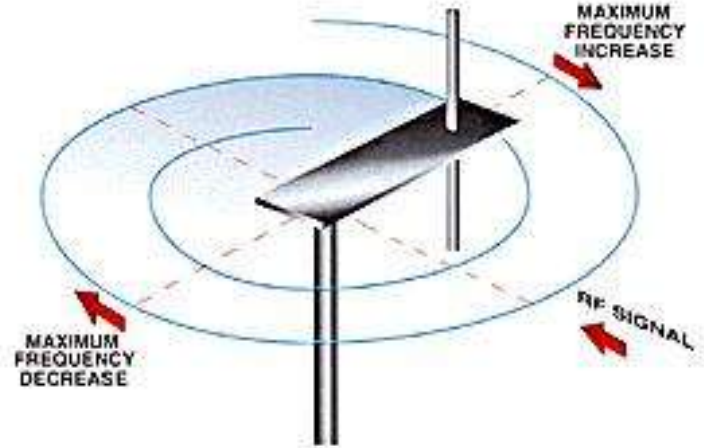


# TDOA - ANTENNE

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

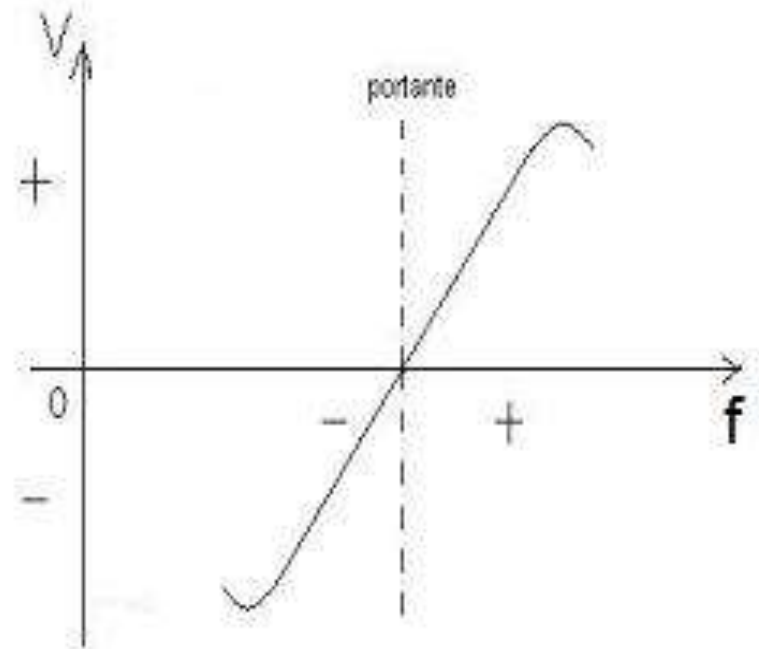
# RILEVATORE DOPPLER A CERCHIO DI LED

- Ricordando il TDOA, si pensi invece ora 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** (nel TDOA era un'onda quadra). Sfrutteremo le proprietà di questa sinusoide per ottenere l'indicazione voluta.



# TEORIA

- 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... ! Abbiamo modulato in FM il segnale in arrivo ! Quindi, inviando questo segnale a un ricevitore FM, esso si tradurrà in un **tono audio** alla frequenza  $F$  (ossia una tensione sinusoidale alla frequenza  $F$ ). Contrariamente al TDOA, qui il tono è sempre presente, perché non vi è mai una condizione in cui può venire a mancare.





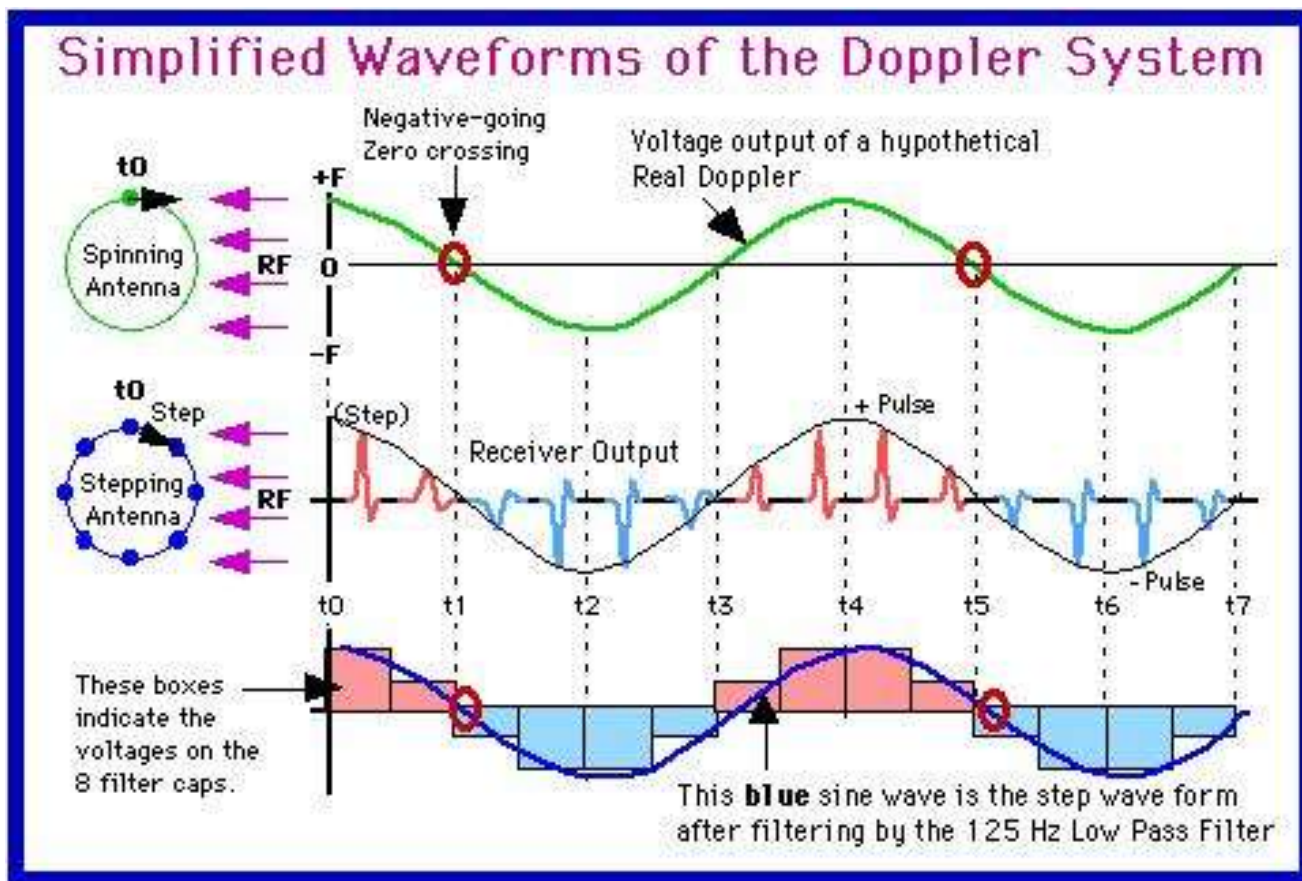
# REALIZZAZIONE

- Per avere effetti apprezzabili e utilizzabili, il dipolo deve ruotare almeno a 200 giri/secondo, quindi non è facile realizzarlo meccanicamente. 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

# REALIZZAZIONE

(commento a voce)

- Il risultato del passare da una rotazione continua ad una commutazione è il seguente:



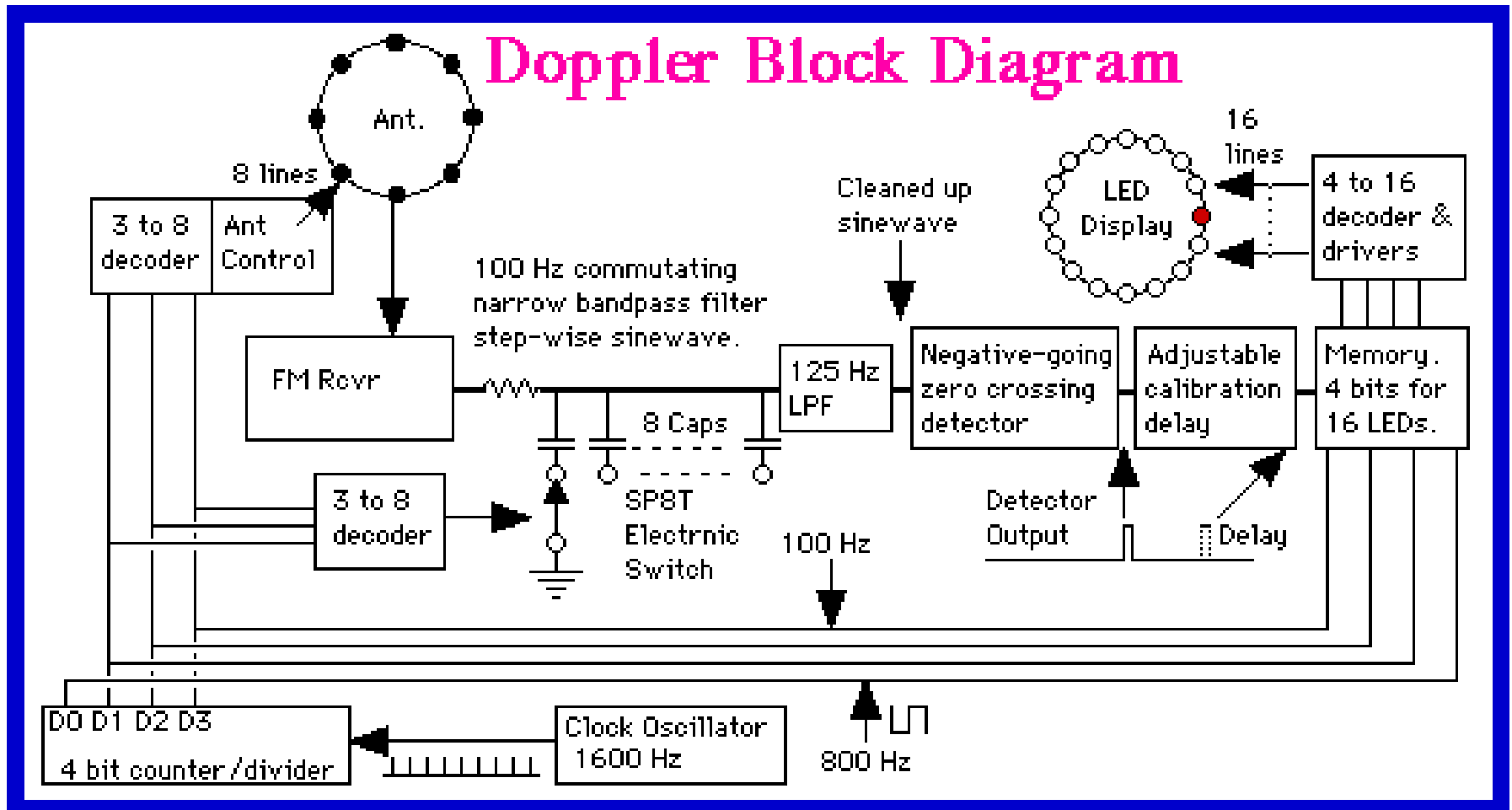


## COME SFRUTTARE QUANTO APPENA VISTO:

- Bisogna fare la calibrazione su un segnale campione di provenienza nota, per individuare  $t_0$  .
- Serve 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

# COME SI FA

(commento a voce)



# REALIZZAZIONE

- 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).

# CALIBRAZIONE

- Tutto quanto detto sopra va bene, a patto che si conosca il fatidico  $t_0$ , ossia l'istante in cui si riceve la frequenza più alta quando la stazione trasmittente si trova ad EST. La calibrazione si fa quando si installa il sistema di antenna, tramite un segnale campione posto esattamente ad EST, si installa l'antenna in modo che il led acceso sia quello giusto ! Ma 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. Attenzione: a causa delle differenze nella costruzione dei ricevitori, la calibrazione cambia a seconda del ricevitore usato ! Se si prevede di usare diverse radio, occorre segnare i vari punti di calibrazione sulla manopola del potenziometro del delay.

# IN PRATICA

- 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.
- 
- Si noti che non cito il ricevitore: si può usare qualsiasi ricevitore FM provvisto di uscita per auricolare



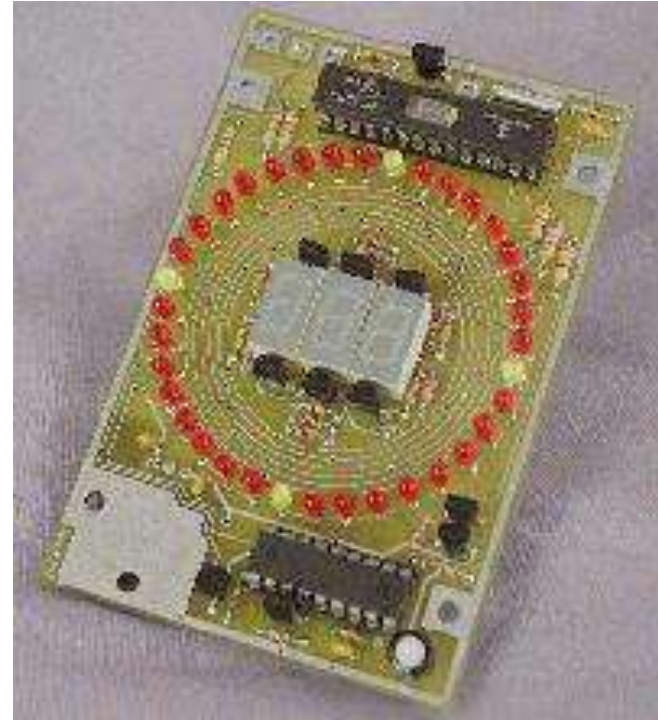
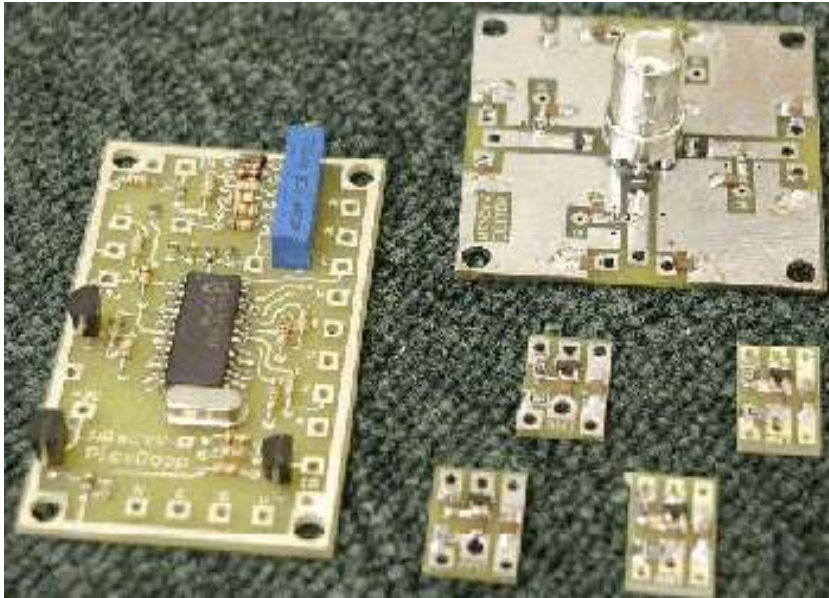
# ELETRONICA DI COMANDO

- Roanoke doppler 16 led .. vecchio progetto
- Montreal doppler 36 led .. ottimo ma...
- Picodoppler ...varie opzioni
- DF2020T dal sito [www.kn2c.us](http://www.kn2c.us) ...400 \$  
l'unico pronto in pochi minuti
- C'è la possibilità di interfacciarsi al PC e al GPS per vedere subito sulla mappa la direzione di provenienza del segnale

# PICODOPPLER di WB6EYV

- Vengono fornite la logica di controllo e l'interfaccia per le antenne: 169 \$
- Pelorus display 16 led: 39 \$
- Display digitale 69 \$
- Multidisplay 36led + digit: 169 \$
- Miniantenna 100-1000 MHz : 169 \$
- Vari software: gratis

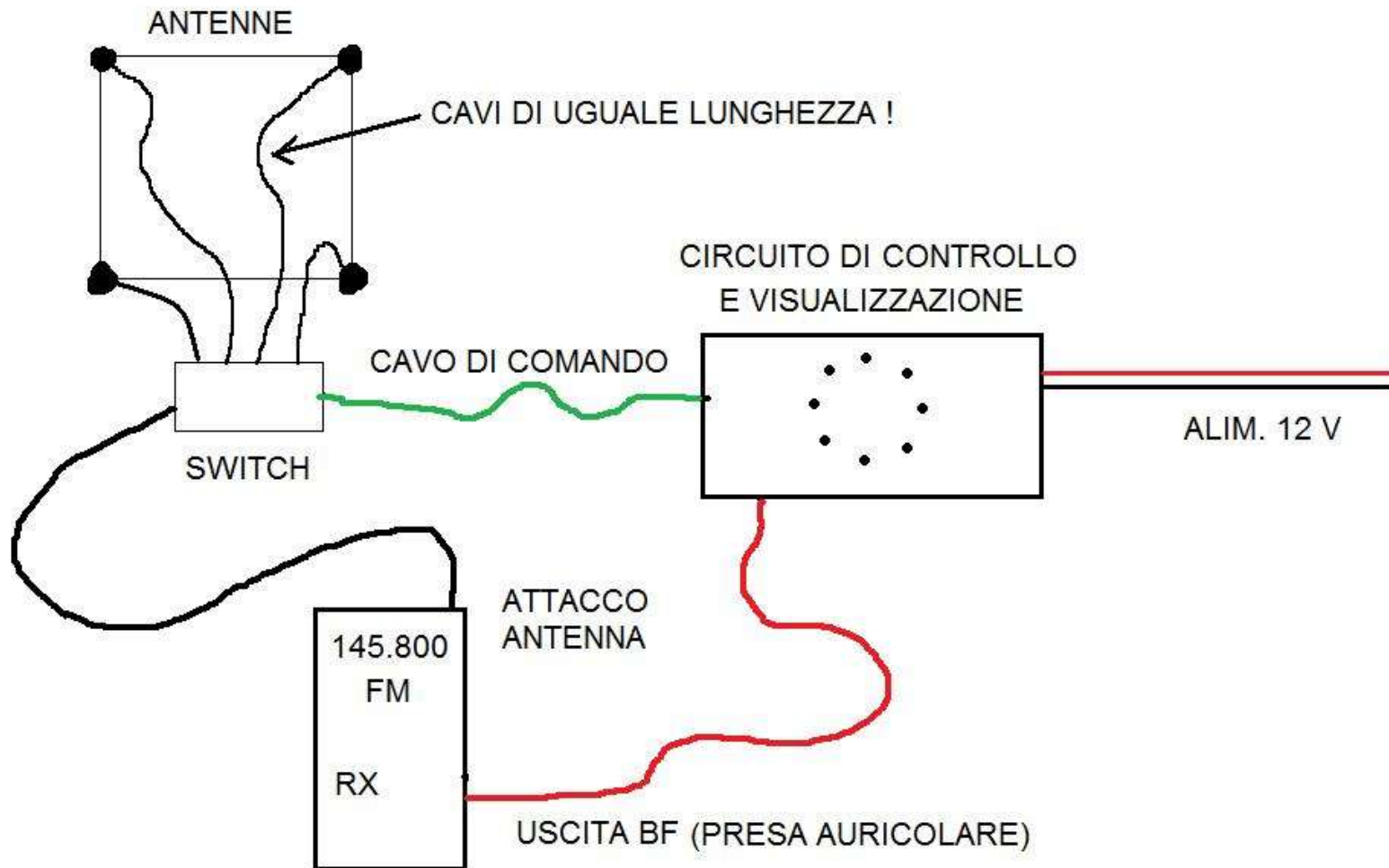
# PICODOPPLER



# DF2020T



# SISTEMA E CONNNESSIONI



# ANTENNE

- 4 dipoli per uso portatile appiedato
- 4 verticali per uso su tetto automobile

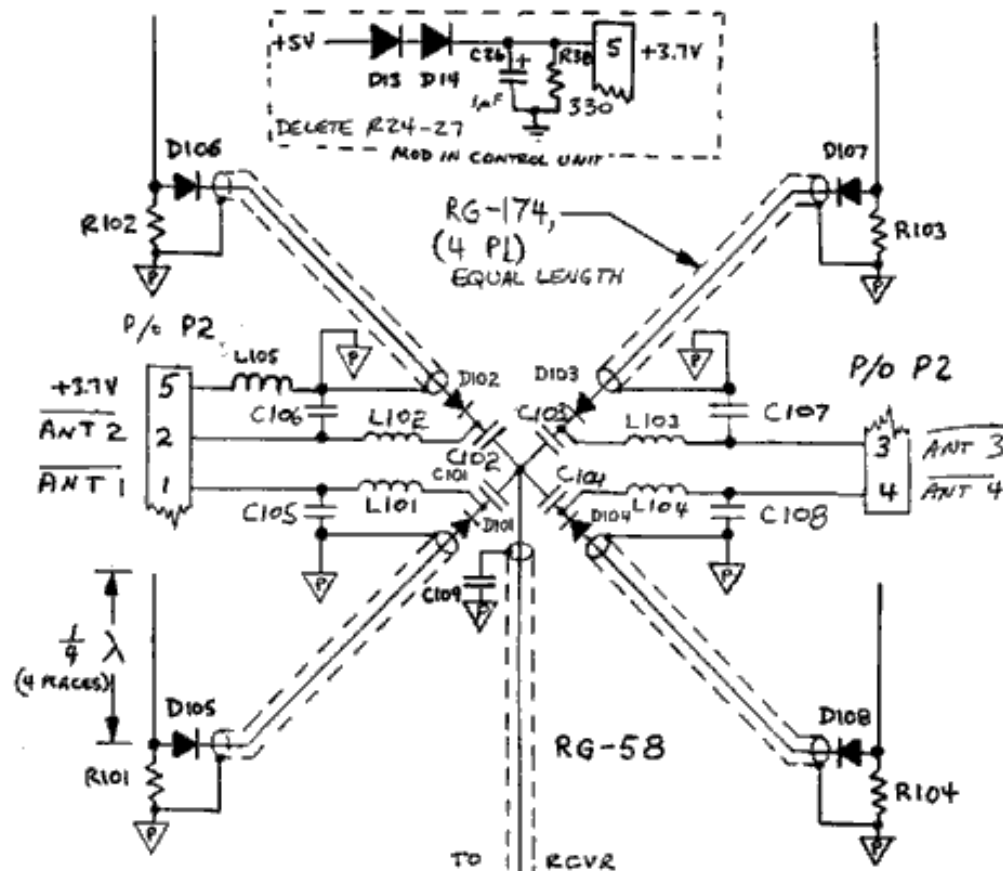


# FOTO



# SWITCH delle antenne

- È una parte critica del sistema
- Occorrono diodi veloci e con isolamento
- Picodoppler ha già tutto quel che serve





# SWITCH Joe Moell

- La particolarità principale di questo design è che la piastra che fa da base alle antenne **non** è a massa con le lamiere del veicolo ! **Occorre tenere isolata la piastra**, perché essa viene mantenuta ad un potenziale di +3,7 volt rispetto al negativo della batteria dell'auto. Di conseguenza, il cavo coassiale che porta il segnale al ricevitore ha la calza **NON** collegata alla piastra, perché ciò provocherebbe cortocircuito dei 3,7 volt. La calza suddetta va collegata ad un condensatore da 680 pF il quale, poi, va alla piastra ( C109 in figura ).
- Vengono usati diodi PIN per VHF

# MANUALE D'USO

- Fare i collegamenti come da planning precedente.
- Effettuare la calibrazione
- Portare il ricevitore sulla frequenza del segnale da individuare, con volume a metà
- Se il segnale è sufficientemente forte, si sentirà il tono del doppler ( 100 .. 500 Hz)
- Il segnale proviene dalla direzione indicata dal led acceso.

## COMANDI ACCESSORI e indicazioni varie

- -se il volume è troppo alto si accende un led spia
- -la lettura va “mediata” tra quelle che pervengono; ciò soprattutto in città o in mezzo a riflessioni (montagne)
- **NON TRASMETTERE (diodi pin KO ! )**

# NOTA

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

# SITO, LIBRI e ringraziamenti

- Libro “Transmitter Hunting – radio direction finding simplified” autori K0OV e WB6UZZ , che tratta parecchi metodi di radio-rilevazione.
- SITO INTERNET [www.homingin.com](http://www.homingin.com)
- Picodoppler: [www.silcom.com/~pelican2](http://www.silcom.com/~pelican2)
  
- Un ringraziamento a
- IK4GNJ Magri Francesco, che ha collaborato alla costruzione dell’antenna
- 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
- K6BMG George Andrews, che ha concesso di usare le sue figure