

CAPITOLO 2

GENERAZIONE DEI SEGNALI GALILEO

In questo capitolo esamineremo in dettaglio il SIS (Signal In Space) del sistema GALILEO. Inizieremo con l'analisi dei codici per poi passare alla presentazione delle modulazioni, in maniera tale da avere le basi per comprendere la struttura dei segnali sulle tre portanti previste (E_5, E_6, L_1).

2.1 Caratteristiche generali del segnale GALILEO

Il **Signal In Space** del sistema GALILEO comprende la generazione di 10 segnali di navigazione (Navigation Signals) su 3 portanti separate : E_5, E_6, L_1 .

Le bande allocate, la frequenza portante, e la polarizzazione utilizzata vengono riportate nel piano frequenziale della Tab. 2.1.1

Segnali	Parametro frequenziale portante	Frequenza portante	Polarizzazione	Banda trasmessa
E_5	f_{E5}	1191.795 MHz	Circolare destrogiro	92.07 MHz
E_6	f_{E6}	1278.750 MHz	Circolare destrogiro	40.92 MHz
L_1	f_{L1}	1575.420 MHz	Circolare destrogiro	40.92 MHz

Tabella 2.1.1 Frequency plane

Possiamo acquisire ulteriori nozioni sui segnali di navigazione tramite la Tab 2.1.2

Essa ci offre una panoramica schematica sulle diverse composizioni dei segnali, il tipo di modulazione usata, il tipo di servizio che deve svolgere, i codici utilizzati e la banda allocata.

Canale	Tipo di modulazione	Chip-rate (Rc)	Symbol-rate (Rs)	Tipi di dato	Periodo codice primario (Chip)	Periodo codice secondario (Chip)
E_{5a-I}	AltBOC(15,10)	10.23 Mch/s	50 symb/s	OS	10230	20 (CS20b)
E_{5a-Q}		10.23 Mch/s	Pilot Ch.	No Data	10230	100 (CS100b)
E_{5b-I}		10.23 Mch/s	250 symb/s	OS/Cs/SoL	10230	4 (CS4a)
E_{5b-Q}		10.23 Mch/s	Pilot Ch.	No Data	10230	100 (CS100d)
E_{6-A}	BOC(10,5)	5.115 Mch/s	100 symb/s	PRS	Classified Data	
E_{6-B}	BPSK		1000 symb/s	CS	5115	-
E_{6-C}	BPSK		Pilot Ch.	No Data	10230	50 (CS50a)
L_{1-A}	BOC(10,5)	2.5575 Mch/s	100 symb/s	PRS	Classified Data	
L_{1-B}	BOC(1,1) o BOC(1.5,1)	1.023 Mch/s	250 symb/s	OS/CS/SoL	8184	-
L_{1-C}	BOC(1,1) o BOC(1.5,1)		Pilot Ch.	No Data	8184	25 (CS25a)

Tabella 2.1.2 Galileo Signals Characteristics

Le diverse strutture dei segnali di navigazione verranno esaminate ed approfondite in dettaglio nei paragrafi seguenti.

2.2 Studio dei codici per le portanti di GALILEO

I satelliti del sistema GALILEO trasmettono tutti sulle stesse bande frequenziali utilizzando una tecnica di accesso multiplo di tipo CDMA (**C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess).

E' chiaro, quindi, che diventa di particolare interesse lo studio delle sequenze di spreading utilizzate nei segnali di navigazione.

Ciascuno di essi si serve di un proprio codice che fa parte della famiglia dei codici di Gold e che si differenzia dagli altri per motivi che vedremo in seguito .

Le sequenze di Gold [4] vengono ricavate dalle sequenze a massima lunghezza le quali sono generate da un registro a scorrimento retroazionato come in Fig.2.2.1 in cui possiamo notare N celle di memoria (a_i) e N+1 prese (α_i).

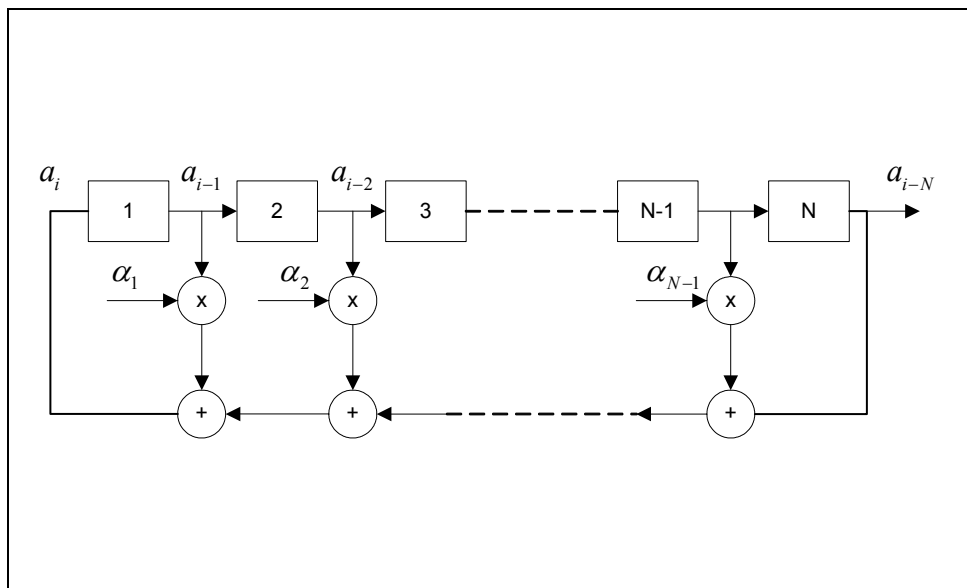


Figura 2.2.1 Shift register

I coefficienti a_i ed α_i appartengono all'alfabeto $[0,1]$ e la generazione della sequenza binaria di uscita si ottiene calcolando, ad ogni colpo di clock, con una somma modulo 2, il nuovo contenuto della cella più a sinistra ed in seguito andando ad effettuare lo scorrimento di una posizione dei contenuti delle celle del registro da sinistra verso destra.

L'inizializzazione delle celle di memoria viene effettuata con una configurazione qualsiasi di 1 e 0, tranne quella composta da tutti 0, mentre la scelta delle prese delle retroazioni,

sono stabilite, sulla base di considerazioni derivate dalla teoria dei polinomi primitivi modulo 2, in maniera tale che la sequenza d'uscita abbia periodo massimo dato da $L=2^N-1$.

Tra le sequenze a massima lunghezza ci sono delle coppie per cui la cross-correlazione assume soltanto 3 valori :

$$\{-1, -t(N), t(N) - 2\} \tag{2.2.1}$$

dove come già detto N è il numero di celle e

$$t(N) = \begin{cases} 2^{\frac{N+1}{2}} + 1, N & \text{dispari} \\ 2^{\frac{N+2}{2}} + 1, N & \text{pari} \end{cases} \tag{2.2.2}$$

I codici di Gold si costruiscono a partire da queste coppie particolari; se ne sceglie una che darà vita alle due sequenze di partenza e poi se ne generano altre 2^N-1 sommando modulo 2 delle versioni ritardata l'una dell'altra.

Lo schema a blocchi è mostrato nella figura sottostante :

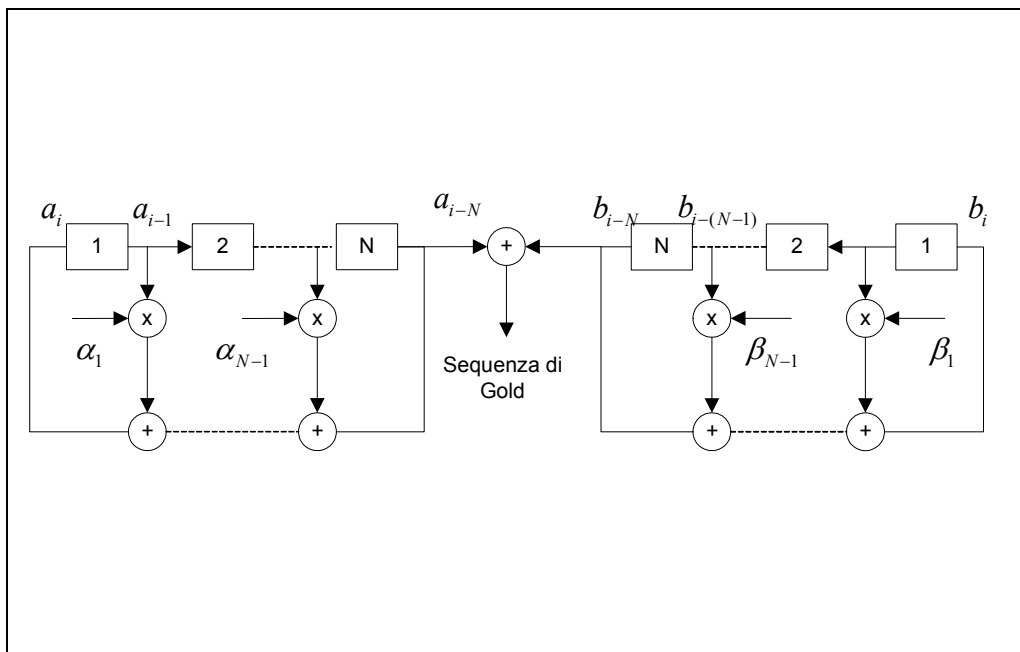


Figura 2.2.2 Schema per costruzione codici Gold

In definitiva i codici di Gold

- sono in numero 2^N+1
- hanno ognuno un periodo dato da $L=2^N-1$
- hanno proprietà di autocorrelazione che non sono migliori di quelle delle sequenze a massima lunghezza
- la coppia di partenza trasferisce alle altre sequenze ottenute le buone caratteristiche di cross-correlazione.

Adesso entriamo nel dettaglio delle proprietà delle sequenze di spreading utilizzate nel sistema GALILEO.

A seconda del tipo di portante e del tipo di segnale di navigazione trasmesso, si utilizzano codici che si differenziano per la chip-rate e per la lunghezza del periodo di ripetizione; in alcuni casi è possibile che sia richiesto anche l'impiego di un codice secondario il quale però non sarà di Gold ed avrà una chip-rate ed una lunghezza molto più piccole del primario.

Un quadro riassuntivo è visualizzato nella tabella seguente :

Canale	Lunghezza periodo codice in chip	
	Primario	Secondario
E_{5a-I}	10230	20 (CS20b)
E_{5a-Q}	10230	100 (CS100b)
E_{5b-I}	10230	4 (CS4a)
E_{5b-Q}	10230	100 (CS100d)
E_{6-A}	Classified Data	
E_{6-B}	5115	-
E_{6-C}	10230	50 (CS50a)
L_{1-A}	Classified Data	
L_{1-B}	8184	-
L_{1-C}	8184	25 (CS25a)

Tabella 2.2.1 Code lengths

Come si può notare vengono riportati, oltre alla lunghezza in chip del periodo dei codici, anche i vari canali che utilizzano un codice secondario; i segnali E_{6-A} ed L_{1-A} hanno sequenze di spreading che sono informazioni classificate e, quindi, non note.

I segnali L_{1-B} ed E_{6-B} utilizzano solo un codice primario (short spreading code) il quale è ottenuto troncando una sequenza di Gold di ordine opportuno che, come già detto, verrà generata tramite due registri a scorrimento.

Per tutti gli altri segnali, oltre al primario, creato in modo analogo a quanto detto sopra, avremo la necessità di un codice secondario il quale conterrà, in un suo chip, un intero periodo del codice primario (long spreading code).

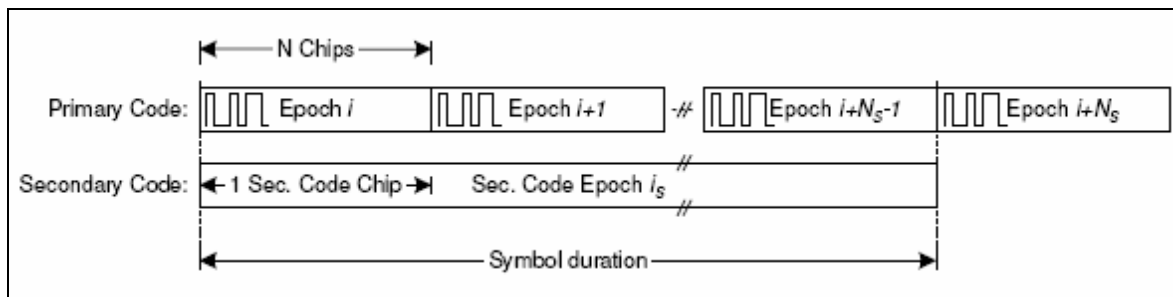


Figura 2.2.3 Primary code, Secondary code, Symbol length

Per il codice primario, le scelte delle prese dei due registri a scorrimento sono riportate in ottale nella Tab. 2.2.2

Canale	Tipo di codice (ordine)	Prese registri (ottale)	
		Registro 1	Registro 2
E_{5a-I}	Gold (14)	40503	50661
E_{5a-Q}	Gold (14)	40503	50661
E_{5b-I}	Gold (14)	64021	51445
E_{5b-Q}	Gold (14)	64021	43143
E_{6-A}	Classified Data		
E_{6-B}	Gold (13)	22441	34003
E_{6-C}	Gold (14)	44103	40635
L_{1-A}	Classified Data		
L_{1-B}	Gold (13)	23261	30741
L_{1-C}	Gold (13)	20033	23261

Tabella 2.2.2 Primary Codes Specification

L'inizializzazione degli stati dei registri viene effettuata in questo modo: nel registro numero 1, per qualsiasi codice, la parola allocata nelle celle di memoria è data da tutti 1, mentre nel registro numero 2 la parola cambia a seconda del satellite.

Un esempio, valido per il segnale E_{5a-1} , di valori iniziali scritti in ottale, da inserire nel registro numero 2 è esposto nella tabella seguente

N° codice	Stati iniziali (ottale)
1	30305
2	14234
3	27213
4	20577

Tabella 2.2.3 Base Register 2 Start Values

Per la generazione del codice primario occorre riportare le notazioni in ottale delle prese e degli stati iniziali in binario e ribaltarle.

Il codice secondario, invece, è fissato e riportato sempre in ottale in tabella :

Identificatore di codice	Periodo codice (chip)	Sequenza codice (ottale)
CS4a	4	16
CS20b	20	2 041 351
CS25a	25	34 012 662
CS50a	50	31 353 022 416 630 457
CS100b	100	1 736 526 276 160 463 054 356 046 605 322 257
CS100d	100	1 017 667 551 661 733 412 501 077 343 115 43

Tabella 2.2.4 Secondary Code Sequency

Anche ora occorre riportare il tutto in binario e se il numero di bit ottenuto è inferiore alla lunghezza prevista per il codice si devono aggiungere alla sinistra della sequenza il necessario numero di 0.

2.3 Modulazione BOC ed AltBOC

A differenza del GPS, nel sistema GALILEO si nota la presenza, sui segnali da trasmettere, delle modulazioni BOC (**B**inary **O**ffset **C**arrier) ed AltBOC (alternate BOC) a seconda della portante utilizzata.

Il concetto di modulazione BOC sta nel moltiplicare un generico segnale $e(t)$, per un'onda quadra a frequenza f_s (subcarrier), in maniera tale da ottenere

$$s_{BOC}(t) = e(t) \cdot \text{sign}[\sin(2\pi f_s t)] \quad (2.3.1)$$

Più precisamente questo tipo di modulazione si indica con BOC (f_s, f_c) in cui f_c sta ad indicare la chip-rate della sequenza di codice che rappresenta il segnale di partenza, mentre f_s , come già visto, indica la frequenza della sottoportante.

L'effetto della BOC è quello di generare due componenti spettrali del segnale di partenza posizionate a cavallo della frequenza centrale.

Infatti, a causa dell'andamento rettangolare del codice, il segnale $e(t)$ avrebbe una dsp di tipo $\text{sinc}(\cdot)$ mentre quella del segnale $s_{BOC}(t)$ può essere espressa, trascurando le armoniche di ordine superiore, da

$$S_{BOC}(f) \approx \alpha \cdot E(f) \otimes [\delta(f - f_s) - \delta(f + f_s)] \quad (2.3.2)$$

Si evince che lo spettro di partenza, con buona approssimazione, viene diviso in due componenti simmetriche rispetto alla frequenza di centro banda.

Quindi, tramite la presenza della modulazione BOC, si modifica lo spettro in maniera tale da poter rendere possibile un'eventuale trasmissione sulla stessa portante di segnali di diversi sistemi, come ad esempio quella di un segnale GPS BPSK ed un segnale GALILEO modulato.

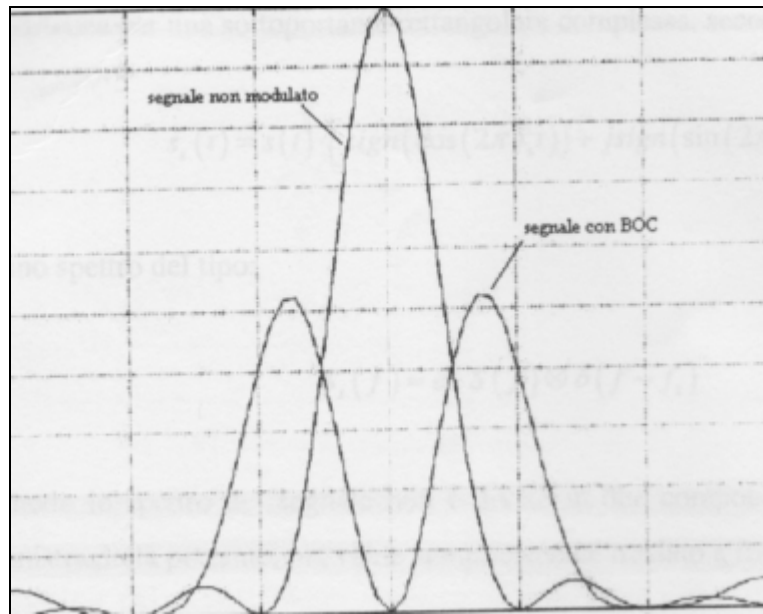


Figura 2.3.1 Integrazione tra segnale GALILEO e segnale GPS

La modulazione AltBOC si basa sui concetti appena espressi, ma stavolta il segnale di partenza $e(t)$ viene moltiplicato da una sottoportante che è un'onda quadra complessa, ottenendo il segnale

$$s_{AltBOC}(t) = e(t) \cdot [\text{sign}(\cos(2\pi f_s t)) + j \cdot \text{sign}(\sin(2\pi f_s t))] \quad (2.3.3)$$

La corrispondente dsp del segnale, approssimando anche questa volta le armoniche di ordine superiore, è espressa da

$$S_{AltBOC}(f) \approx \alpha \cdot E(f - f_s) \quad (2.3.4)$$

Adesso, la presenza della modulazione ha solamente l'effetto di traslare a frequenze superiori lo spettro del segnale di partenza e non quello di dividerlo in due componenti simmetriche come nella BOC.

Siccome è possibile, utilizzando la medesima tecnica, traslare anche a frequenze inferiori, le due bande spettrali potranno essere utilizzate da segnali diversi ovvero che contengono messaggi di navigazione e codici differenti.

2.4 Modulazione di E₅

Prima di sviluppare i concetti principali sulla generazione dei segnali GALILEO, si rende necessario proporre, tramite la seguente tabella, i parametri dei vari segnali che utilizzeremo in questo e nei prossimi sottocapitoli.

	Definizione
f_x	Frequenza della portante [Hz]
P_x	Potenza del segnale a RF [W]
L_{X-Y}	Periodo del codice di ranging [Chips]
$T_{c,X-Y}$	Durata di un chip del codice di ranging [Secondi]
$T_{s,X-Y}$	Periodo della sottoportante [Secondi]
$T_{d,X-Y}$	Durata di un simbolo del messaggio di navigazione [Secondi]
$R_{c,X-Y}$	$= 1/T_{c,X-Y}$ Chip-rate del codice [Hz]
$R_{s,X-Y}$	$= 1/T_{s,X-Y}$ Frequenza della sottoportante [Hz]
$R_{d,X-Y}$	$= 1/T_{d,X-Y}$ Symbol-rate del messaggio di navigazione [Hz]
$C_{X-Y}(t)$	Codice binario di ranging (NRZ)
$D_{X-Y}(t)$	Segnale binario del messaggio di navigazione (NRZ)
$sc_{X-Y}(t)$	Sottoportante binaria (NRZ)
$e_{X-Y}(t)$	Componente del segnale di navigazione binario che include codice, sottoportante e dati (se disponibili)
$c_{X-Y,k}$	k-esimo chip del codice di ranging
$d_{X-Y,k}$	k-esimo dato del messaggio di navigazione
DC_{X-Y}	$= T_{d,X-Y} / T_{c,X-Y}$ Numero di chips del codice per simbolo
$ i _L$	"i" modulo L
$[i]_{DC}$	Parte intera di i/DC
$s_x(t)$	Segnale in banda base normalizzato (potenza unitaria) $= s_{X-I}(t) + j \cdot s_{X-Q}(t)$

Tabella 2.4.1 Signal Description Parameters

Tenuto presente che x rappresenta l'indice dei segnali (E₅, E₆, L₁, E_{5a}, o E_{5b}) e che y è l'indice delle componenti del segnale o del canale (A, B, C, I o Q), il generico involuppo complesso del segnale sarà rappresentato con

$$s_x(t) = s_{x-I}(t) + j \cdot s_{x-Q}(t) \quad (2.4.1)$$

e, quindi, il corrispondente segnale a RF sarà

$$S_x(t) = \sqrt{2P_x} [s_{x-I}(t) \cos(2\pi f_x t) - s_{x-Q}(t) \sin(2\pi f_x t)] \quad (2.4.2)$$

Nel sistema GALILEO, per le modulazioni BOC ed AltBOC, si utilizzano le notazioni BOC(m, n) o AltBOC(m, n), invece che BOC(f_s, f_c), dove m ed n sono numeri interi che rappresentano le frequenze f_s ed f_c , menzionate nel precedente capitolo, normalizzate ad una frequenza di riferimento che in GALILEO vale 1.023MHz.

Lo schema per la generazione del segnale E_5 è fornito nella Fig. 2.4.1

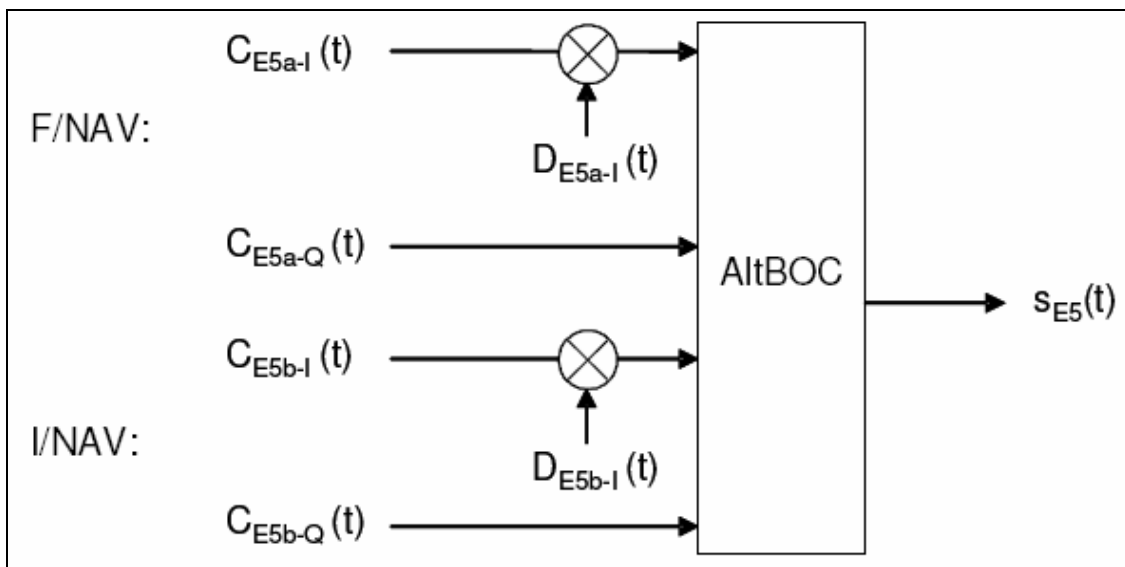


Figura 2.4.1 Modulation Scheme for the E5 signal

Il segnale è modulato con una AltBOC(15,10) e, quindi, la sottoportante sarà pari a 15.345MHz mentre la chip-rate dei codici sarà 10.23Mch/s.

Dei quattro segnali BPSK (e_{E5a-I} , e_{E5a-Q} , e_{E5b-I} , e_{E5b-Q}) che compongono E_5 , solo due sono generati unendo dati di navigazione con codici di spreading, mentre gli altri due sono canali pilota che non contengono dati.

Più in dettaglio possiamo scrivere che

- $$e_{E5a-I} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{E5a-I,|i|L_{E5a-I}} \cdot d_{E5a-I,|i|DC_{E5a-I}} \text{rect}_{T_c, E5a-I}(t - i \cdot T_{c, E5a-I}) \right]$$

è dato dalla combinazione dei dati di navigazione F/NAV¹ D_{E5a-I} con il codice di ranging C_{E5a-I}

- $$e_{E5a-Q} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{E5a-Q,|i|L_{E5a-Q}} \cdot d_{E5a-Q,|i|DC_{E5a-Q}} \text{rect}_{T_c, E5a-Q}(t - i \cdot T_{c, E5a-Q}) \right]$$

è un canale pilota dunque è formato solamente dal codice di ranging C_{E5a-Q}

- $$e_{E5b-I} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{E5b-I,|i|L_{E5b-I}} \cdot d_{E5b-I,|i|DC_{E5b-I}} \text{rect}_{T_c, E5b-I}(t - i \cdot T_{c, E5b-I}) \right]$$

è formato dalla combinazione dei dati di navigazione I/NAV² D_{E5b-I} con il codice di ranging C_{E5b-I}

- $$e_{E5b-Q} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{E5b-Q,|i|L_{E5b-Q}} \cdot d_{E5b-Q,|i|DC_{E5b-Q}} \text{rect}_{T_c, E5b-Q}(t - i \cdot T_{c, E5b-Q}) \right]$$

è un canale pilota in cui è presente il codice di ranging C_{E5b-Q}

La chip-rate dei codici e la symbol-rate dei dati di navigazione delle varie componenti di E_5 sono riportati di seguito

Segnale (Parametro X)	Canale (Parametro Y)	Subcarrier-rate $R_{s,X-Y}$ [MHz]	Chip-rate $R_{s,X-Y}$ [Mchip/s]	Symbol-rate $R_{s,X-Y}$ [symbols/s]
E_{5a}	I	No subcarrier	10.230	50
	Q	No subcarrier	10.230	No Data (Pilot Ch)
E_{5b}	I	No subcarrier	10.230	250
	Q	No subcarrier	10.230	No Data (Pilot Ch)

Tabella 2.4.2 E5 Chip-rate, Subcarrier-rate, Symbol-rate

La modulazione AltBOC sul segnale complessivo a banda larga E_5 viene effettuata secondo la seguente espressione

¹ Signal mapped to the Open Service

² Signal mapped to the Safety of Life Service

$$\begin{aligned}
 s_{E5}(t) = & \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot (e_{E5a-I}(t) + j \cdot e_{E5a-Q}(t)) \cdot \left[sc_{E5-S}(t) - j \cdot sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) \right] + \\
 & \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot (e_{E5b-I}(t) + j \cdot e_{E5b-Q}(t)) \cdot \left[sc_{E5-S}(t) + j \cdot sc_{E5-S}(t - T_{S,E5}/4) \right] + \\
 & \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot (\bar{e}_{E5a-I}(t) + j \cdot \bar{e}_{E5a-Q}(t)) \cdot \left[sc_{E5-P}(t) + j \cdot sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) \right] + \\
 & \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot (\bar{e}_{E5b-I}(t) + j \cdot \bar{e}_{E5b-Q}(t)) \cdot \left[sc_{E5-P}(t) + j \cdot sc_{E5-P}(t - T_{S,E5}/4) \right]
 \end{aligned} \tag{2.4.3}$$

in cui possiamo distinguere le seguenti componenti

- $e_{E5a-I}(t)$, $e_{E5a-Q}(t)$, $e_{E5b-I}(t)$, $e_{E5b-Q}(t)$ sono i segnali binari BPSK menzionati prima
- $\bar{e}_{E5a-I}(t)$, $\bar{e}_{E5a-Q}(t)$, $\bar{e}_{E5b-I}(t)$, $\bar{e}_{E5b-Q}(t)$ sono i segnali prodotto o termini misti così generati

$$\begin{aligned}
 \bar{e}_{E5a-I}(t) &= e_{E5a-Q} \cdot e_{E5b-I} \cdot e_{E5b-Q} & \bar{e}_{E5b-I}(t) &= e_{E5b-Q} \cdot e_{E5a-I} \cdot e_{E5a-Q} \\
 \bar{e}_{E5a-Q}(t) &= e_{E5a-I} \cdot e_{E5b-I} \cdot e_{E5b-Q} & \bar{e}_{E5b-Q}(t) &= e_{E5b-I} \cdot e_{E5a-I} \cdot e_{E5a-Q}
 \end{aligned}$$

- $sc_{E5-S}(t)$, $sc_{E5-P}(t)$ rappresentano le sottoportanti, a quattro livelli d'ampiezza, per i singoli segnali e per i segnali prodotto date da

$$sc_{E5-S}(t) = \sum_{i=1}^8 AS_i \cdot \text{rect}_{T_{S,E5}}(t - i \cdot T_{S,E5}/8) \tag{2.4.4}$$

$$sc_{E5-P}(t) = \sum_{i=1}^8 AP_i \cdot \text{rect}_{T_{S,E5}}(t - i \cdot T_{S,E5}/8)$$

I coefficienti AS_i e AP_i delle sottoportanti AltBOC sono riportati in Tab 2.4.3

i	1	2	3	4	5	6	7	8
$2AS_i$	$\sqrt{2}+1$	1	-1	$-\sqrt{2}+1$	$-\sqrt{2}+1$	-1	1	$\sqrt{2}+1$
$2AP_i$	$-\sqrt{2}+1$	1	-1	$\sqrt{2}+1$	$\sqrt{2}+1$	-1	1	$-\sqrt{2}+1$

Tabella 2.4.3 AltBOC subcarrier coefficients

La costellazione ottenuta per il segnale E_5 sarà quella di un segnale 8-PSK.

Infatti, constatando che le quattro componenti del segnale ($e_{E5a-I}(t), e_{E5a-Q}(t), e_{E5b-I}(t), e_{E5b-Q}(t)$) sono BPSK e valutando tutti i possibili valori assunti in un periodo dalle sottoportanti $sc_{E5-S}(t)$ e $sc_{E5-P}(t)$, si evince che questa modulazione AltBOC produce un segnale ad inviluppo complesso 8-PSK.

Per avere un quadro più completo riportiamo di seguito delle figure esplicative di quanto esposto finora.

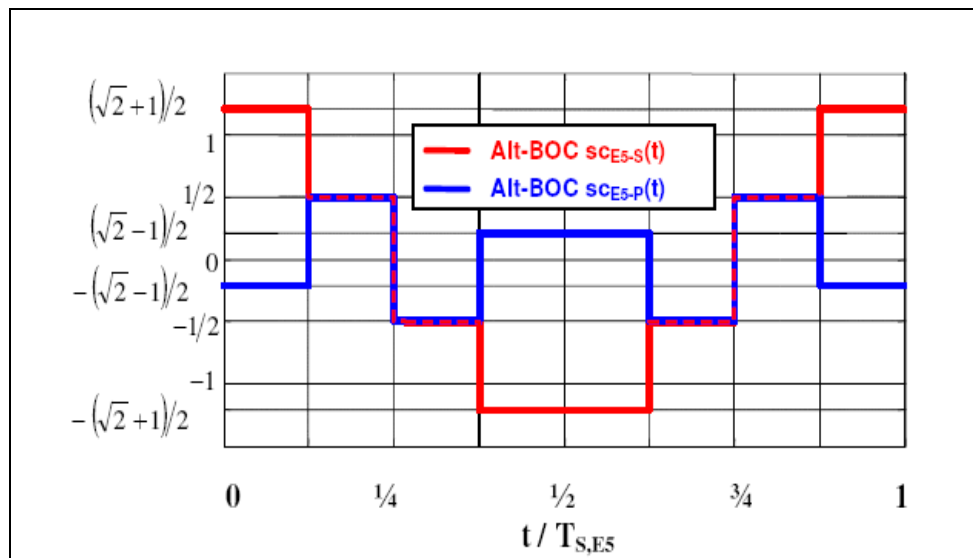


Figura 2.4.2 One period of the subcarrier function involved in the AltBOC modulation

		Valori delle quattro componenti															
E_{5a-I}		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1
E_{5a-Q}		-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
E_{5b-I}		-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
E_{5b-Q}		-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
$t' = t \bmod T_{s,E5}$		K (in accordo con $s_{E5}(t) = e^{jk\pi/4}$)															
i_{Ts}	t'																
0	$[0, T_{s,E5}/8[$	5	4	4	3	6	3	1	2	6	5	7	2	7	8	8	1
1	$[T_{s,E5}/8, 2 \cdot T_{s,E5}/8[$	5	4	8	3	2	3	1	2	6	5	7	6	7	4	8	1
2	$[2 \cdot T_{s,E5}/8, 3 \cdot T_{s,E5}/8[$	1	4	8	7	2	3	1	2	6	5	7	6	3	4	8	5
3	$[3 \cdot T_{s,E5}/8, 4 \cdot T_{s,E5}/8[$	1	8	8	7	2	3	1	6	2	5	7	6	3	4	4	5
4	$[4 \cdot T_{s,E5}/8, 5 \cdot T_{s,E5}/8[$	1	8	8	7	2	7	5	6	2	1	3	6	3	4	4	5
5	$[5 \cdot T_{s,E5}/8, 6 \cdot T_{s,E5}/8[$	1	8	4	7	6	7	5	6	2	1	3	2	3	8	4	5
6	$[6 \cdot T_{s,E5}/8, 7 \cdot T_{s,E5}/8[$	5	8	4	3	6	7	5	6	2	1	3	2	7	8	4	1
7	$[7 \cdot T_{s,E5}/8, T_{s,E5}[$	5	4	4	3	6	7	5	2	6	1	3	2	7	8	8	1

Tabella 2.4.4 Look-up table for AltBOC phase state in dependency of input and time

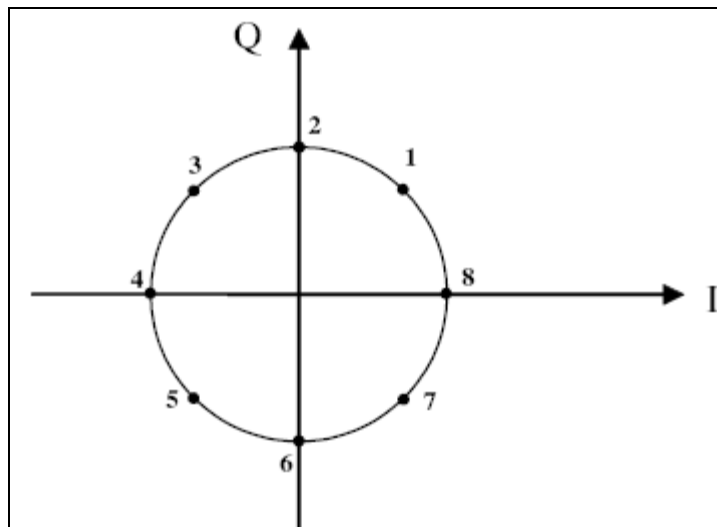


Figura 2.4.3 8PSK phase state diagram of E5 AltBOC signal

Come già accennato nella trattazione generale della AltBOC, lo studio effettuato sullo spettro del segnale E_5 , asserisce che l'effetto della modulazione è quello di traslare le due

componenti del segnale di partenza $e_{E5a}(t)$ e $e_{E5b}(t)$ rispettivamente a frequenza f_s e $-f_s$ ($\pm 15\text{MHz}$).

Quanto detto è documentato tramite gli spettri seguenti ottenuti per simulazione

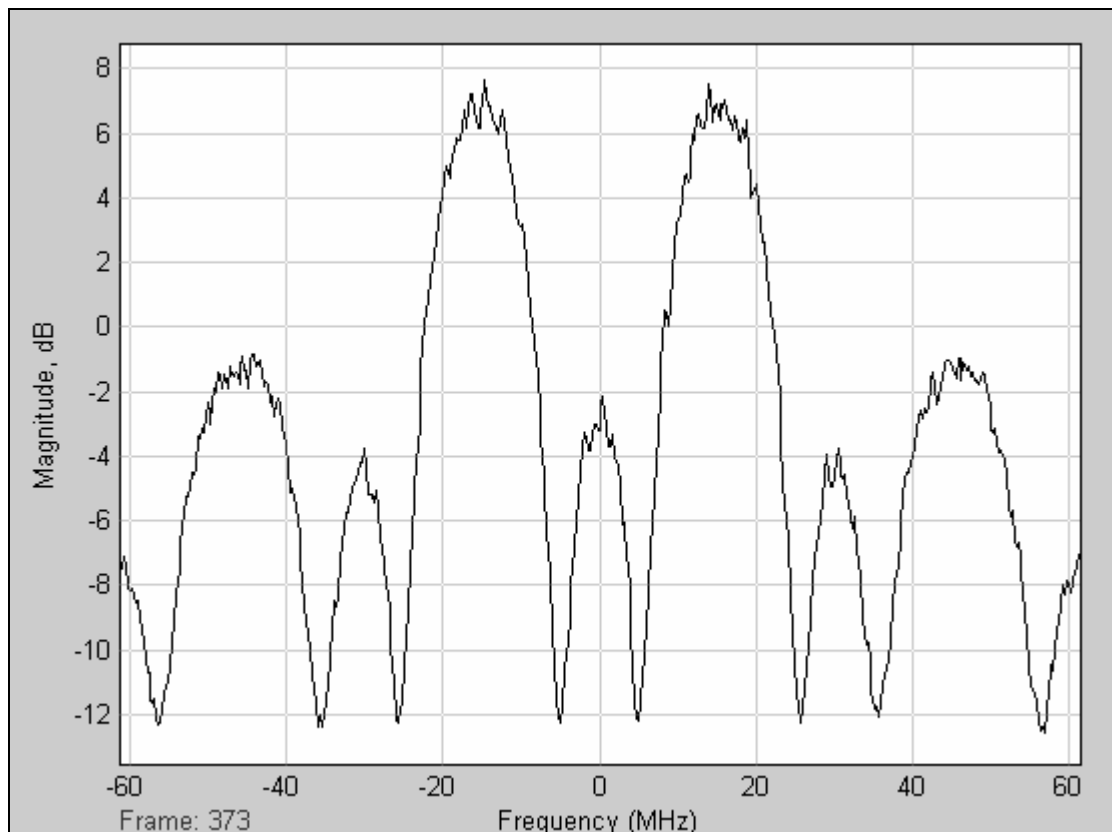


Figura 2.4.4 Spettro E5

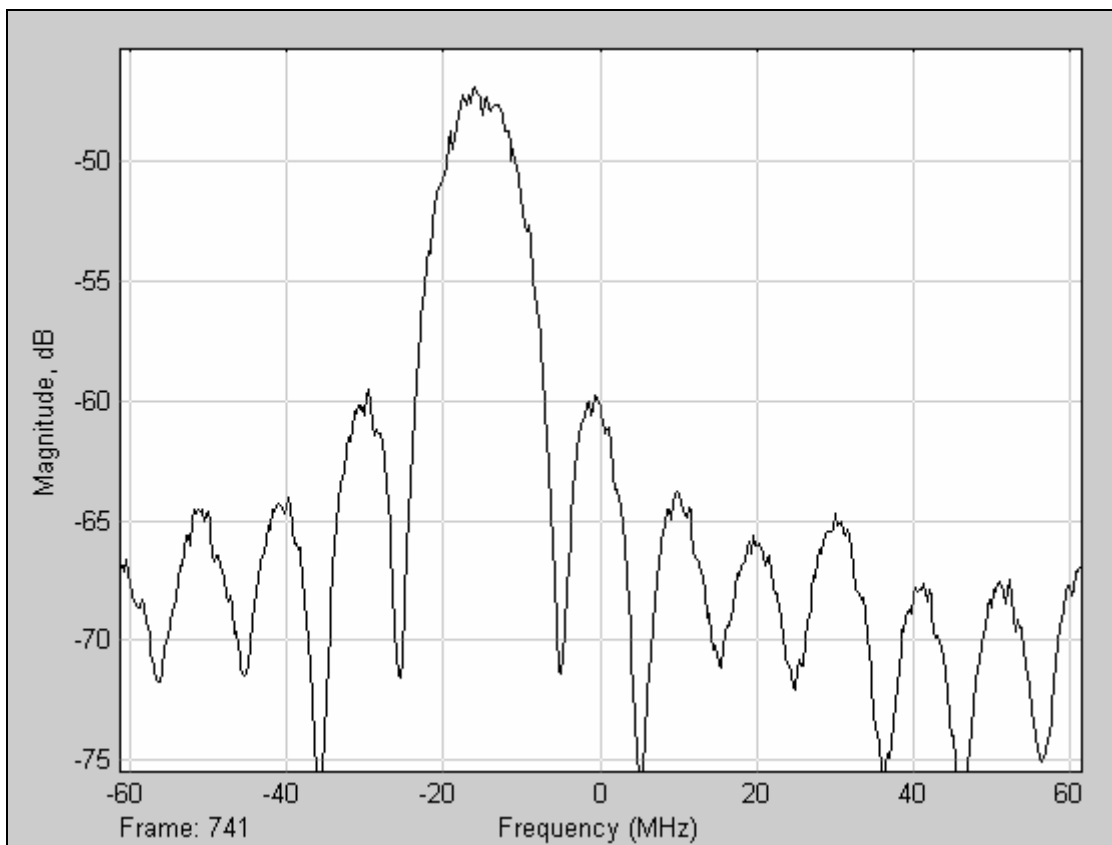


Figura 2.2.5 Spettro E5a

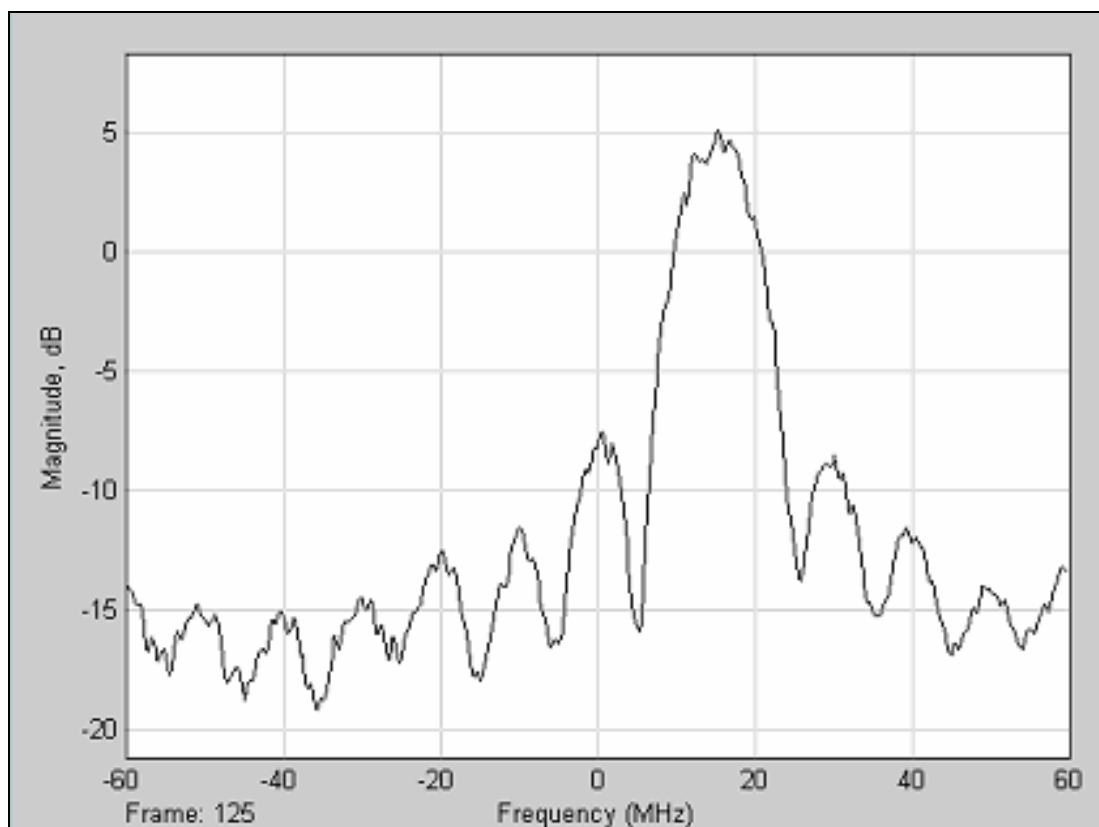


Figura 2.2.6 Spettro E5b

2.5 Modulazione di E₆

Il segnale E_6 è costituito da tre canali, trasmessi alla stessa frequenza portante, che verranno combinati per mezzo della modulazione CASM (**C**oherent **A**daptive **S**ubcarrier **M**odulation).

Nella Fig. 2.5.1 viene proposto il diagramma della generazione del segnale E_6 .

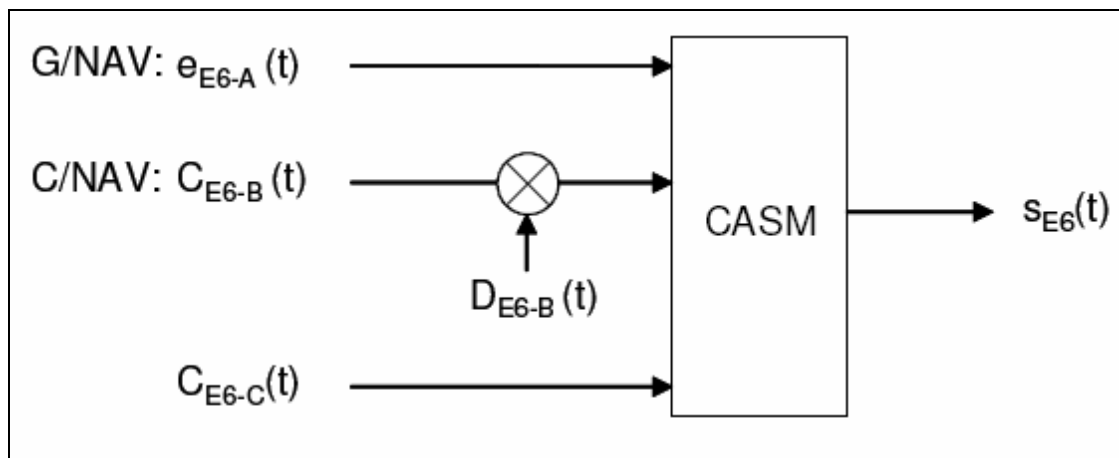


Figura 2.5.1 Modulation scheme for the E6 signal

Analizziamo più a fondo le tre componenti:

- $$e_{E6-A}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{E6-A,|i|_{L_{E6-A}}} \cdot d_{E6-A,|i|_{DC_{E6-A}}} \cdot \text{rect}_{T_{c,E6-A}}(t - i \cdot T_{c,E6-A}) \cdot \text{sign} \left[\sin \left(\frac{2\pi n_{BOC(10,5)} t}{T_{c,E6-A}} \right) \right] \right]$$

è un canale a dati classificati (in cui non si conoscono il codice ed i dati) che utilizza una modulazione di tipo BOC (10,5) ed ha messaggi di navigazione G/NAV¹

- $$e_{E6-B}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{E6-B,|i|_{L_{E6-B}}} \cdot d_{E6-B,|i|_{DC_{E6-B}}} \cdot \text{rect}_{T_{c,E6-B}}(t - i \cdot T_{c,E6-B}) \right]$$

utilizza una modulazione BPSK ed è formato dalla combinazione dei dati di

¹ Signals mapped to the Public Regulated Service

navigazione D_{E6-B} di tipo C/NAV¹ e del codice di ranging C_{E6-B}

$$\bullet e_{E6-C}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{E6-C,|i|_{L_{E6-C}}} \cdot \text{rect}_{T_{c,E6-C}}(t - i \cdot T_{c,E6-C}) \right]$$

è un canale pilota, modulato BPSK, formato dal codice di ranging C_{E6-C}

La chip-rate dei vari codici di ranging e le symbol-rate dei dati sono riportate di seguito

Canale (Parametro Y)	Tipo di sottoportante	Subcarrier-rate $R_{s,E6-Y}$ [MHz]	Chip-rate $R_{c,E6-Y}$ [Mchip/sec]	Symbol-rate $R_{D,E6-Y}$ [symbols/s]
A	BOC ²	10.230	5.115	Dati classificati
B	No subcarrier	-	5.115	1000
C	No subcarrier	-	5.115	No Data (Canale pilota)

Tabella 2.5.1 E6 Chip-rate, Subcarrier-rate, Symbol-rate

Il segnale complessivo E_6 è generato in accordo con l'espressione della modulazione CASM riportata di seguito

$$s_{E6}(t) = \frac{1}{3} \left\{ \left[\sqrt{2} \cdot e_{E6-B}(t) - \sqrt{2} \cdot e_{E6-C}(t) \right] + j \cdot \left[2 \cdot e_{E6-A}(t) + e_{E6-A}(t) \cdot e_{E6-B}(t) \cdot e_{E6-C}(t) \right] \right\} \quad (2.5.1)$$

L'involuppo del segnale è mantenuto costante grazie all'inserimento, oltre che dei canali A-B-C, del segnale prodotto dei tre segnali binari (l'ultimo termine dell'espressione).

La potenza relativa del segnale E_6 non sarà distribuita equamente sulle quattro componenti dell'equazione (2.5.1) ma risulta essere quella riportata in Tab 2.5.2

Canale	A	B	C	Segnale prodotto
Potenza relativa	4/9	2/9	2/9	1/9

Tabella 2.5.2 Relative power of signal componets for CASM modulation in E6/L1 signal

¹ Signals mapped to the Commercial Service

² BOC-cosine : subcarrier = sign (2*pi*f_s*t)

Il moltiplicatore CASM è implementabile, a partire dalle tre componenti di segnale e_{E6-A} , e_{E6-B} , e_{E6-C} , per mezzo di un diagramma a blocchi come mostrato in Fig. 2.5.2

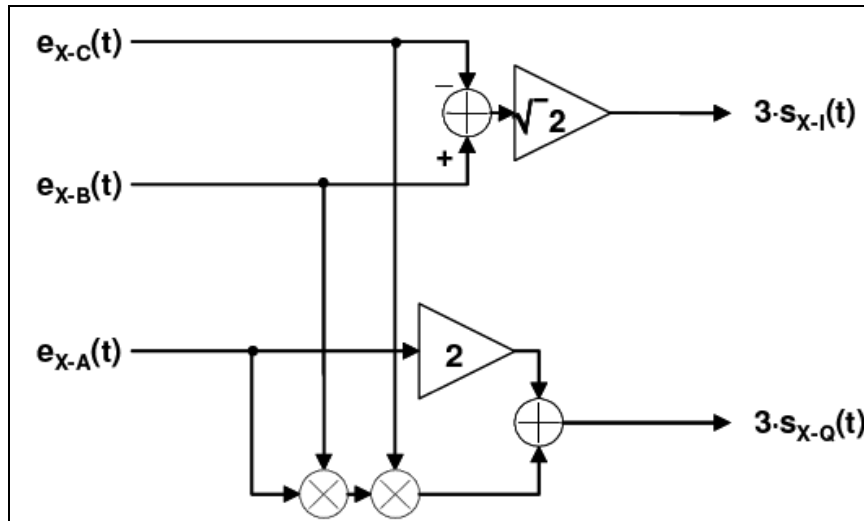


Figura 2.5.2 Block diagram of baseband E6/L1 signal CASM multiplexing

Andando ad analizzare tutte le possibili combinazioni dei valori assunti dalle tre componenti di segnale, si trova che la costellazione ottenuta, usando una moltiplicazione CASM, è quella della figura sottostante

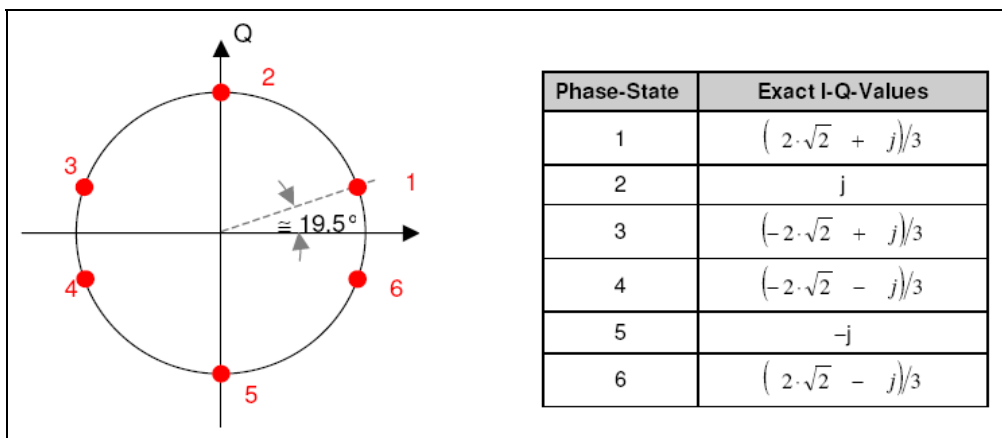


Figura 2.5.3 CASM phase state for E6/L1 signal

Essa è stata ottenuta tramite la look-up table seguente (Tab. 2.5.3), che ci fornisce il passaggio dai valori d'ampiezza dei tre segnali binari, ai valori degli stati di fase della costellazione.

Stati di fase	2	1	3	2	5	6	4	5
e_{x-A}	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
e_{x-B}	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
e_{x-C}	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1

Tabella 2.5.3 Look up table of CASM phase state for E6/L1 signal

Infine passiamo ad esaminare gli spettri del segnale E_6 e delle sue componenti.

La dsp del segnale complessivo e delle sue parti in fase e quadratura sono riportate di seguito

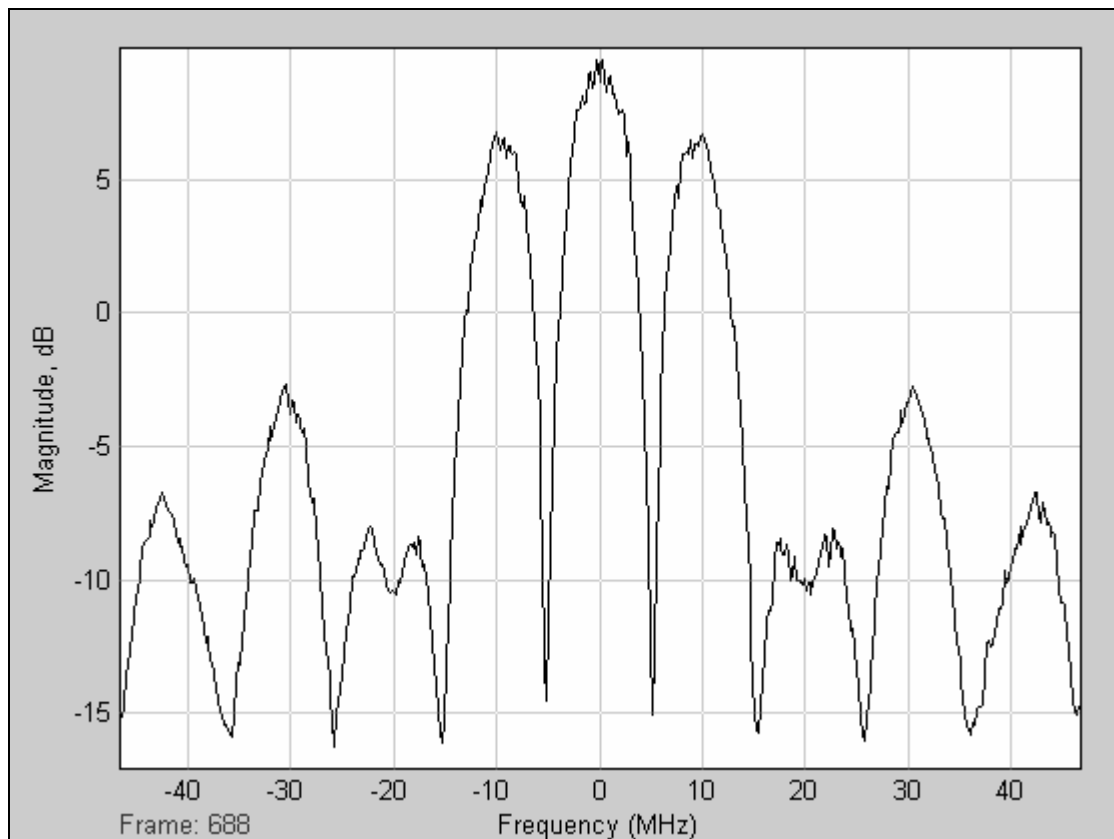


Figura 2.5.4 Spettro segnale complessivo E6

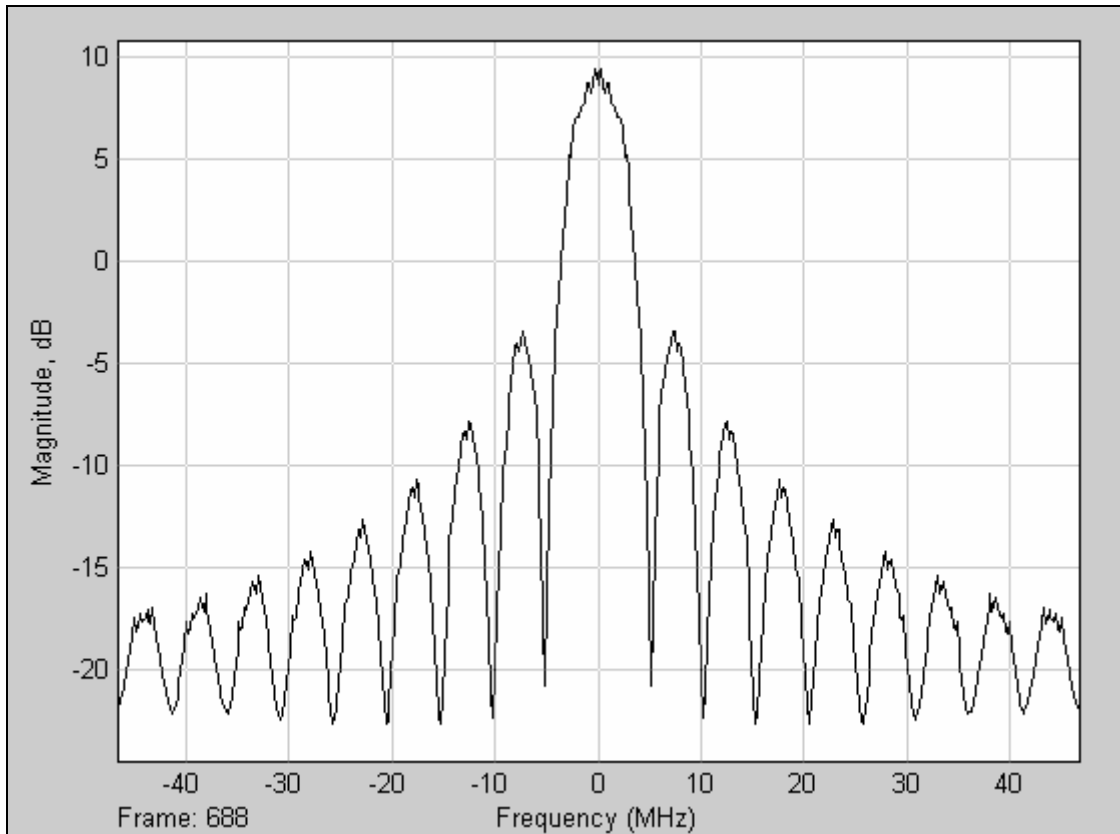


Figura 2.5.5 Spettro segnale in fase E6I

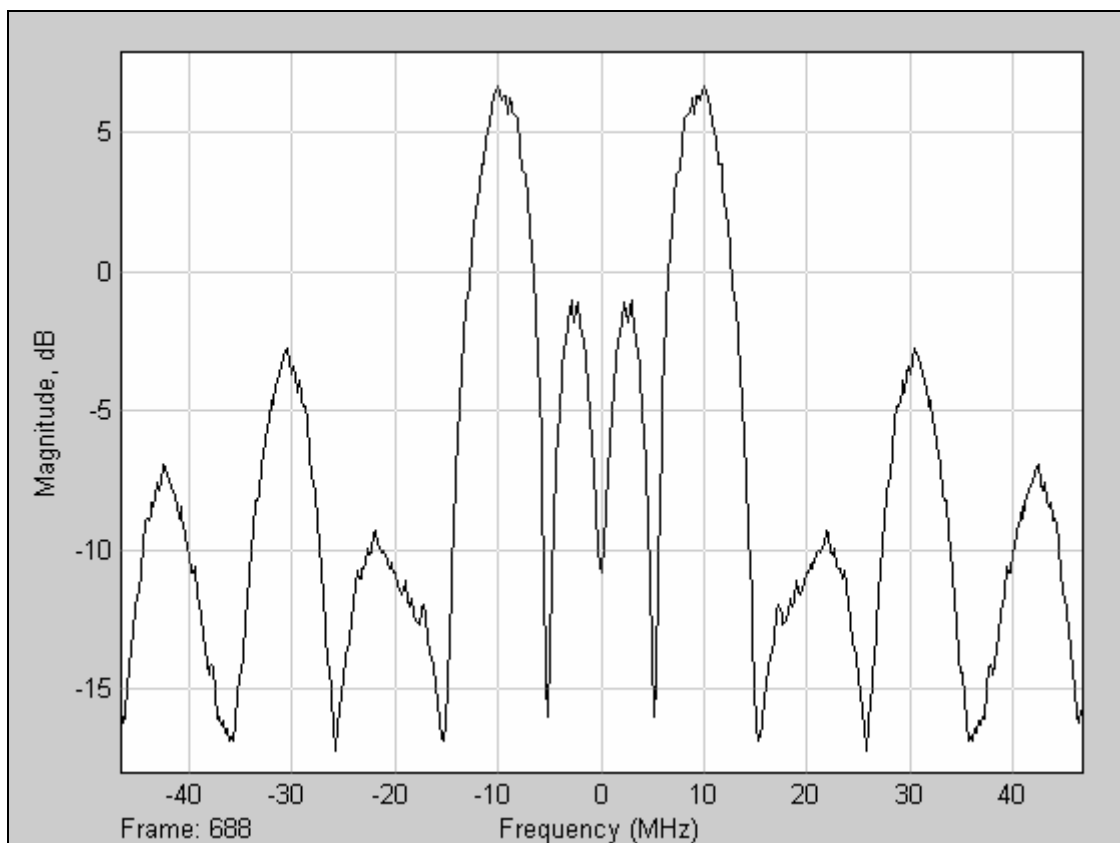


Figura 2.5.6 Spettro segnale in quadratura E6Q

Possiamo anche mostrare gli spettri dei singoli canali e_{E6-A} , e_{E6-B} , e_{E6-C}

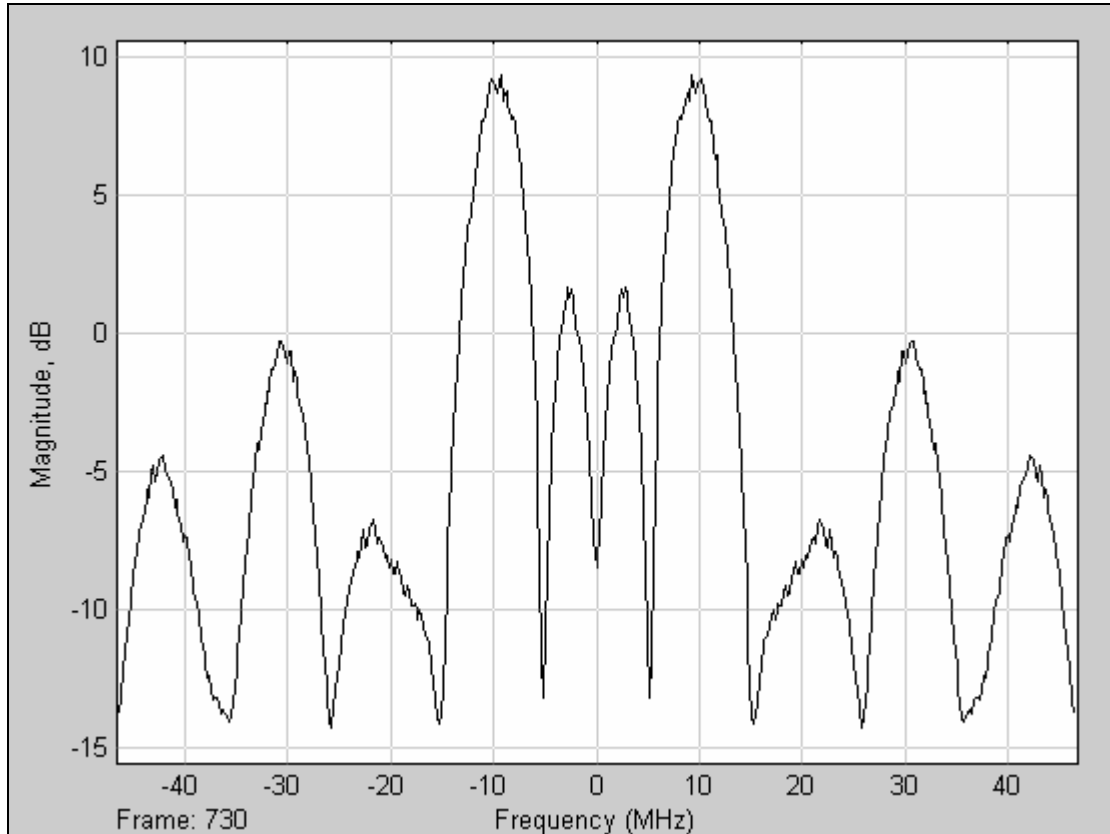


Figura 2.5.7 Spettro segnale E6a

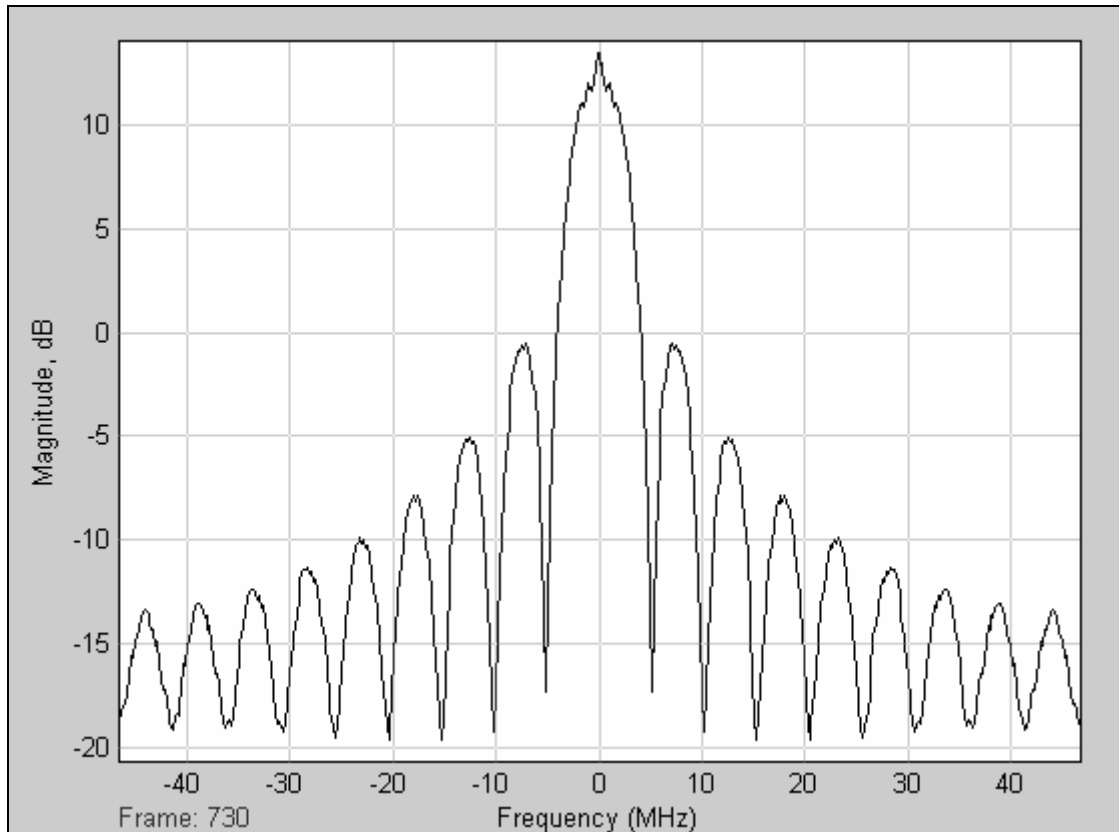


Figura 2.5.8 Spettro segnale E6b

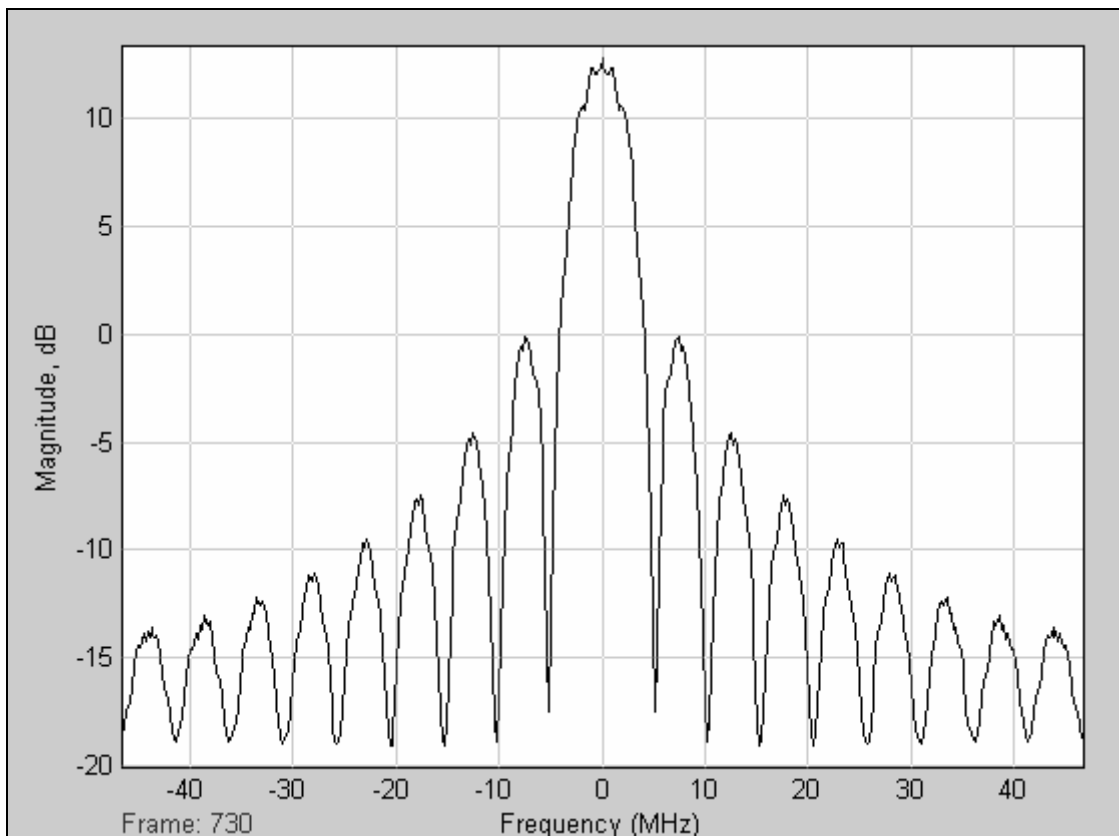


Figura 2.5.9 Spettro segnale E6c

Si nota sul segnale e_{E6-A} la presenza della modulazione BOC(10,5), poichè si individua che il lobo principale è stato suddiviso in due componenti simmetriche rispetto al centro banda e poste su $\pm f_s$.

E' da rilevare anche il fatto che lo spettro della parte in quadratura di E_6 è sostanzialmente coincidente con quello del segnale e_{E6-A} ; questo è intuitivo se ricordiamo l'espressione (2.5.1) dal momento che il contributo del segnale prodotto è marginale.

2.6 Modulazione di L1

La generazione del segnale L_1 è molto simile a quella del segnale E_6 .

Infatti, anche in questo caso, avremo tre canali trasmessi sulla stessa portante che vengono moltiplicati tramite CASM.

Il diagramma a blocchi è mostrato di seguito

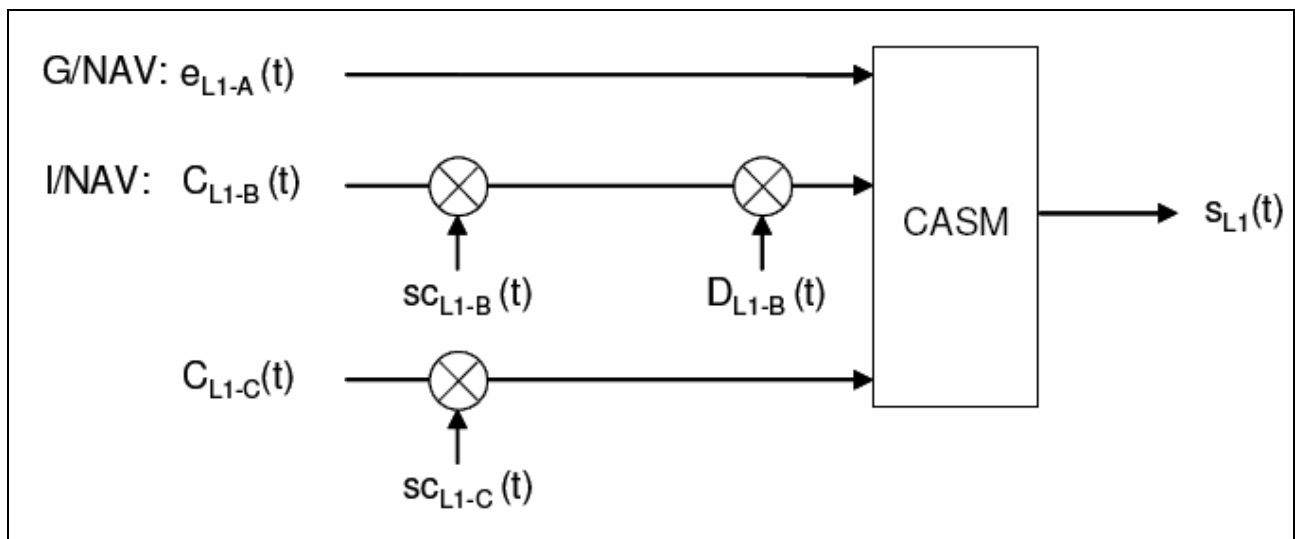


Figura 2.6.1 Modulation scheme for L1 signal

Andiamo a specificare le tre componenti del segnale L_1

- $$e_{L1-A}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{L1-A,|i|_{L1-A}} \cdot d_{L1-B,|i|_{DC_{L1-A}}} \cdot \text{rect}_{T_{c,L1-A}}(t-i \cdot T_{c,L1-A}) \cdot \text{sign}[\sin(2\pi R_{s,L1-A} \cdot t)] \right]$$

è un segnale con dati classificati (L1-G/NAV) che utilizza una modulazione BOC(1,1)

- $$e_{L1-B}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{L1-B,|i|_{L1-B}} \cdot d_{L1-B,|i|_{DC_{L1-B}}} \cdot \text{rect}_{T_{c,L1-B}}(t-i \cdot T_{c,L1-B}) \cdot \text{sign}[\sin(2\pi R_{s,L1-B} \cdot t)] \right]$$

sfrutta una modulazione BOC(1,1) o in alternativa una BOC(1.5,1) ed è costituito dai dati di navigazione D_{L1-B} di tipo I/NAV modulati con il codice di ranging C_{L1-B} e con la sottoportante sc_{L1-B}

- $$e_{L1-C}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \left[c_{L1-C,|i|_{L1-C}} \cdot \text{rect}_{T_{c,L1-C}}(t-i \cdot T_{c,L1-C}) \cdot \text{sign}[\sin(2\pi R_{s,L1-C} \cdot t)] \right]$$

è un canale pilota, (senza dati di navigazione) che utilizza una modulazione BOC(1,1) e che è formato dall'unione del codice di ranging C_{L1-C} con la sottoportante sc_{L1-C}

Nella Tab.2.6.1 si riportano la chip-rate, la symbol-rate e la subcarrier-rate dei tre canali

Canale (Parametro Y)	Tipo di sottoportante	Subcarrier-rate $R_{s,L1-Y}$ [MHz]	Chip-rate $R_{c,L1-Y}$ [Mchip/s]	Symbol-rate $R_{D,L1-Y}$ [symbols/s]
A	BOCc	15.345	2.5575	Dati classificati
B	BOC	1.023	1.023	250
C	BOC	1.023	1.023	No Dati (canale pilota)

Tabella 2.6.1 L1 Chip-rate, Subcarrier-rate, Symbol-rate

Il segnale complessivo L_1 può essere espresso tramite la medesima equazione utilizzata per il segnale E_6 data da

$$s_{L1}(t) = \frac{1}{3} \left\{ \left[\sqrt{2} \cdot e_{L1-B}(t) - \sqrt{2} \cdot e_{L1-C}(t) \right] + j \cdot \left[2 \cdot e_{L1-A}(t) + e_{L1-A}(t) \cdot e_{L1-B}(t) \cdot e_{L1-C}(t) \right] \right\} \quad (2.6.1)$$

Poichè lo schema della moltiplicazione CASM è identico, sia per L_1 che per E_6 , le caratteristiche di questi due segnali saranno le medesime.

Pertanto l'analisi della costellazione, dell'involuppo del segnale, dello schema del moltiplicatore e della distribuzione della potenza relativa sulle varie componenti, non viene effettuata essendo uguale a quella trattata nel paragrafo 2.5.

Riportiamo di seguito gli spettri del segnale L_1 e delle sue componenti

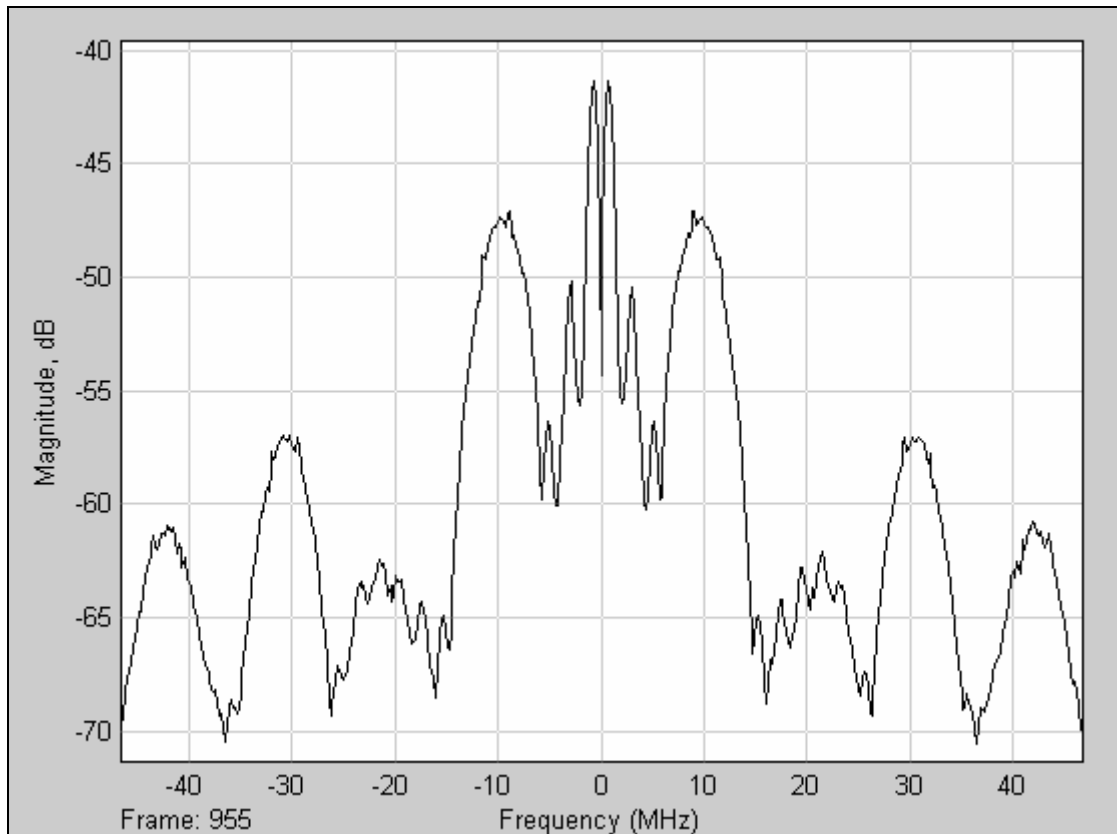


Figura 2.6.2 Spettro segnale complessivo L1

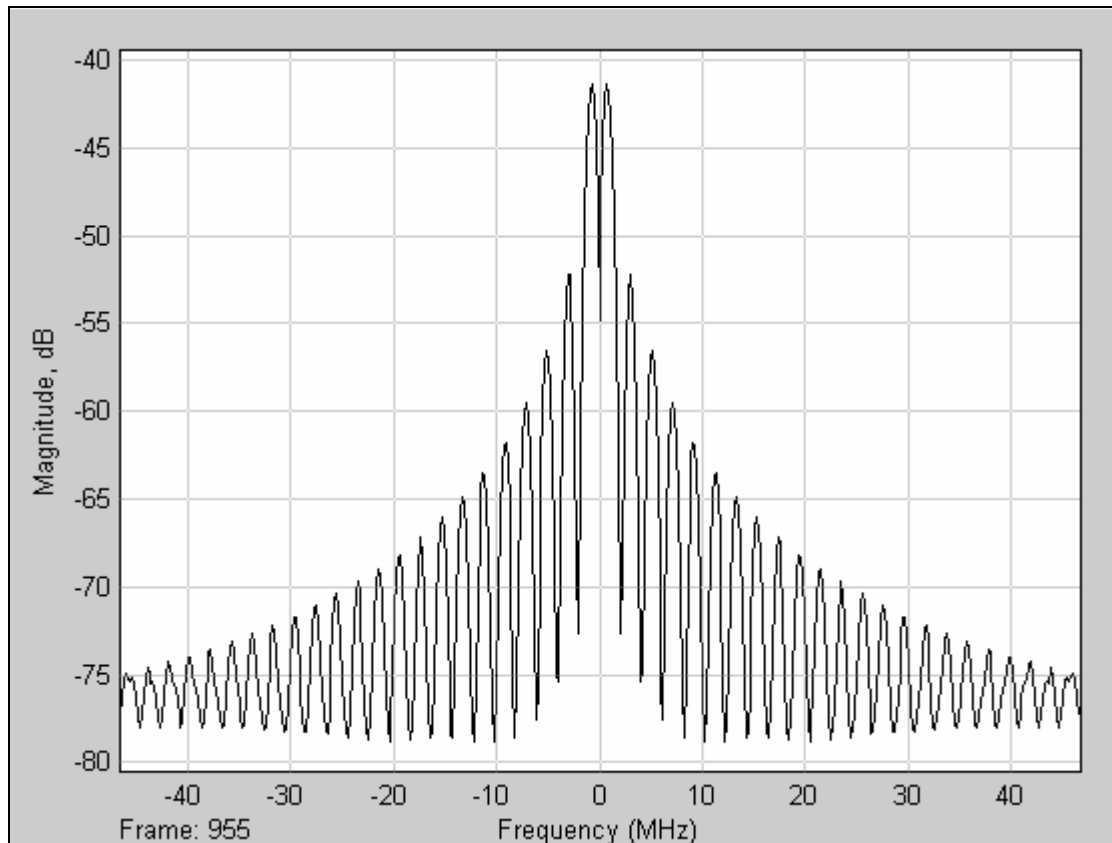


Figura 2.6.3 Spettro segnale in fase L11

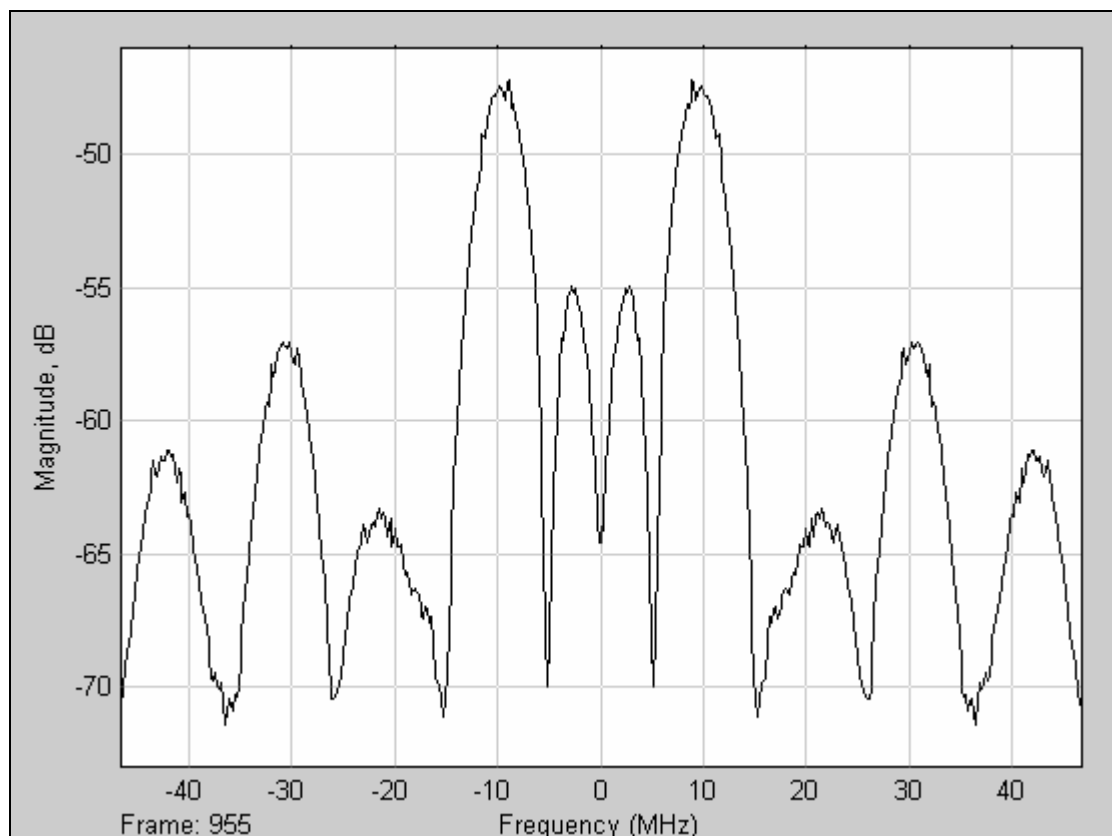


Figura 2.6.4 Spettro segnale in quadratura

I dettagli di quanto discusso nelle precedenti sezioni si trovano in [5].