

Perché il CW è più efficiente del SSB ma meno dell'FT8

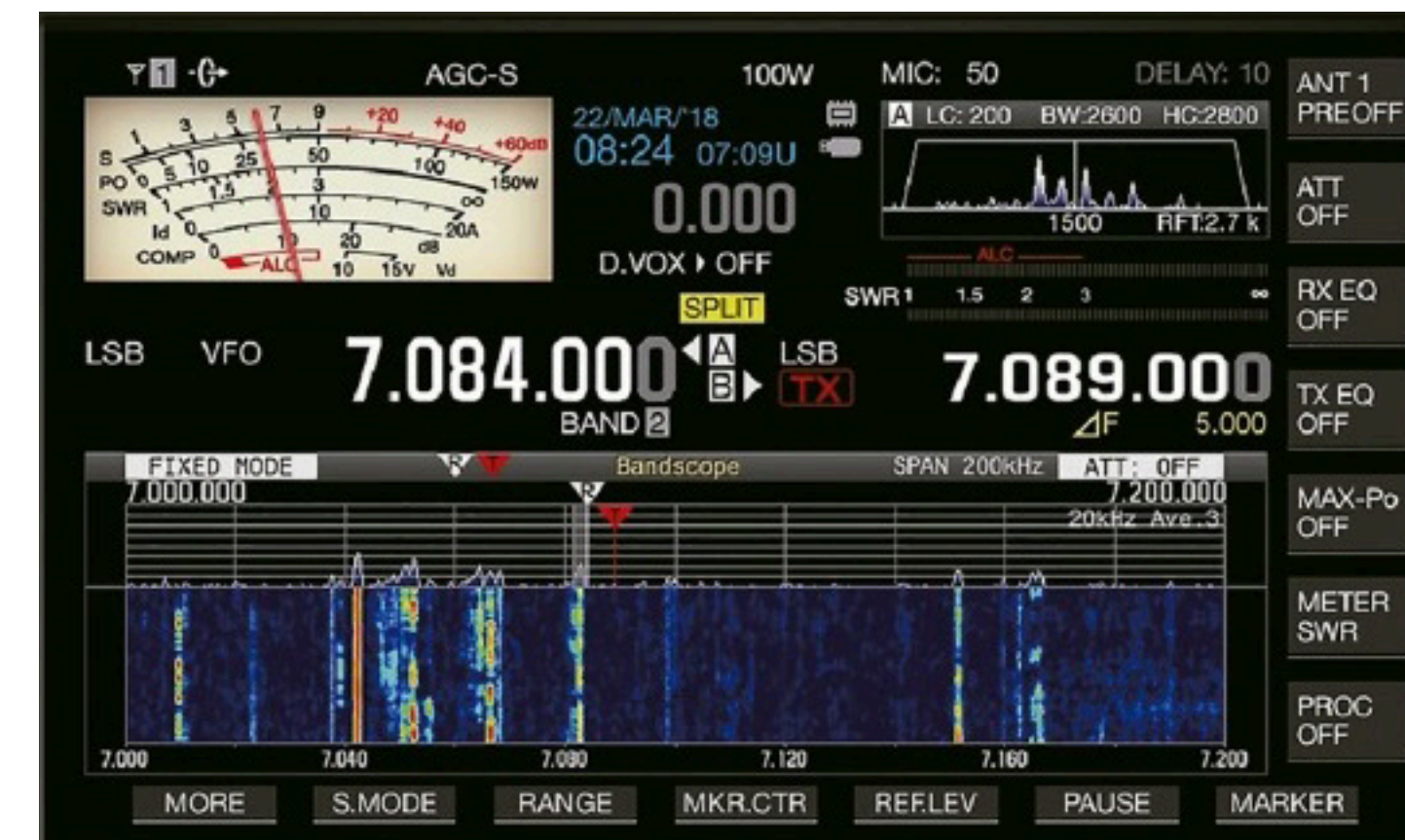
Ed altre amenità sopra il rapporto segnale/rumore e
cose espresse in dB

Chi sono?

- L'informatica è la mia professione
- Le telecomunicazioni e la musica sono le mie passioni (oltre che i miei studi)
- CB dal 1984 e radioamatore dal 1995



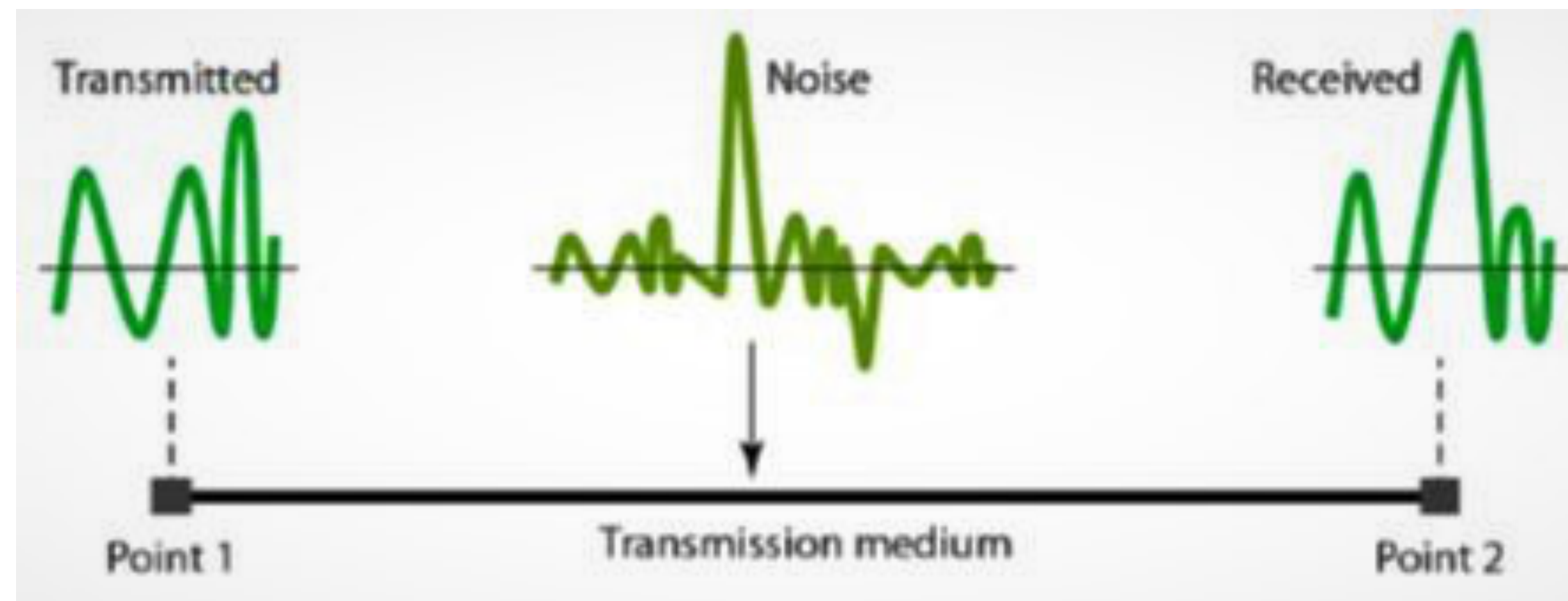
Banda, rumore e segnali



Segnale

"La bella"

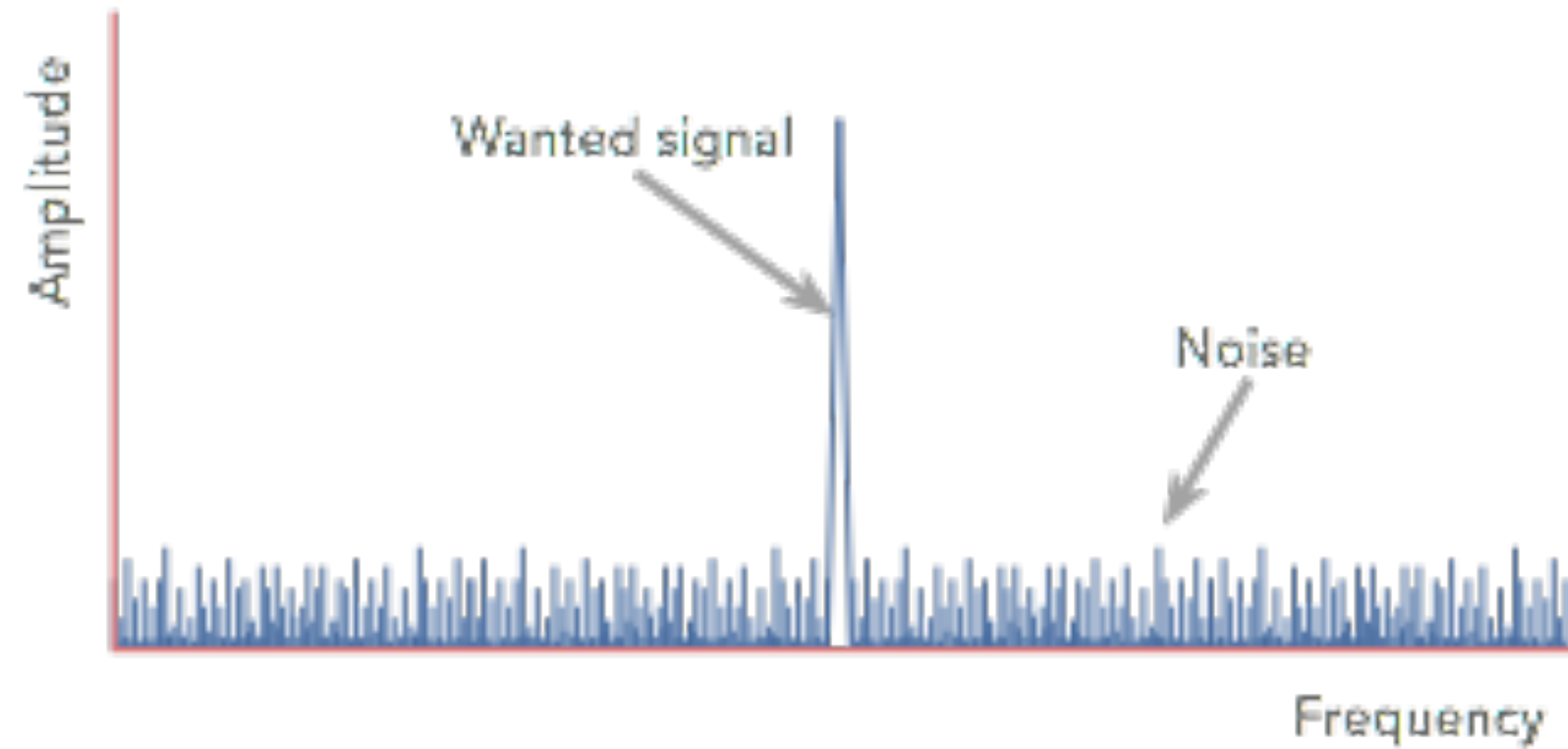
- Una qualsiasi grandezza fisica che varia nel tempo in maniera deterministica o *aleatoria* (se *trasporta informazione*), descrivibile quindi in termini di funzione nota del tempo oppure di processo aleatorio
- Si propaga tipicamente in un mezzo trasmissivo che ne costituisce il canale di propagazione o comunicazione e che può essere lo spazio libero, un cavo o una struttura guidante



Rumore

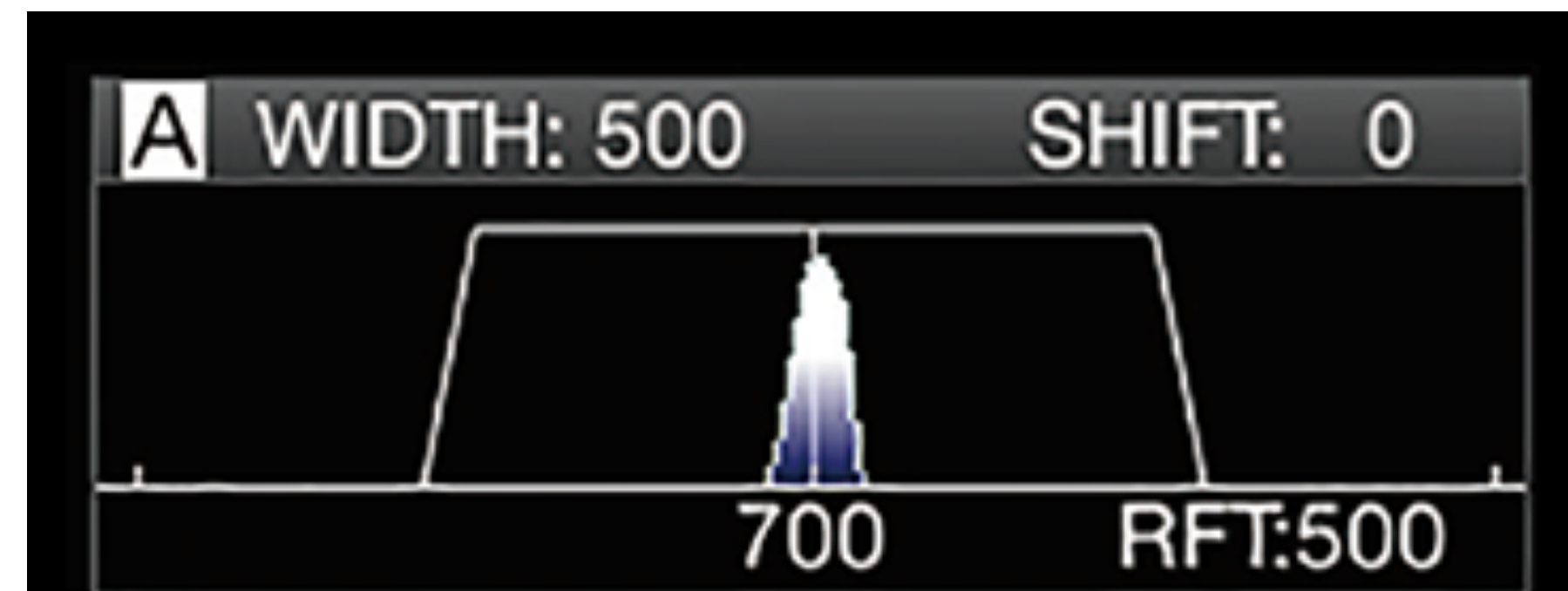
"La bestia"

- Può essere generato dall'uomo
- Può essere di origine naturale

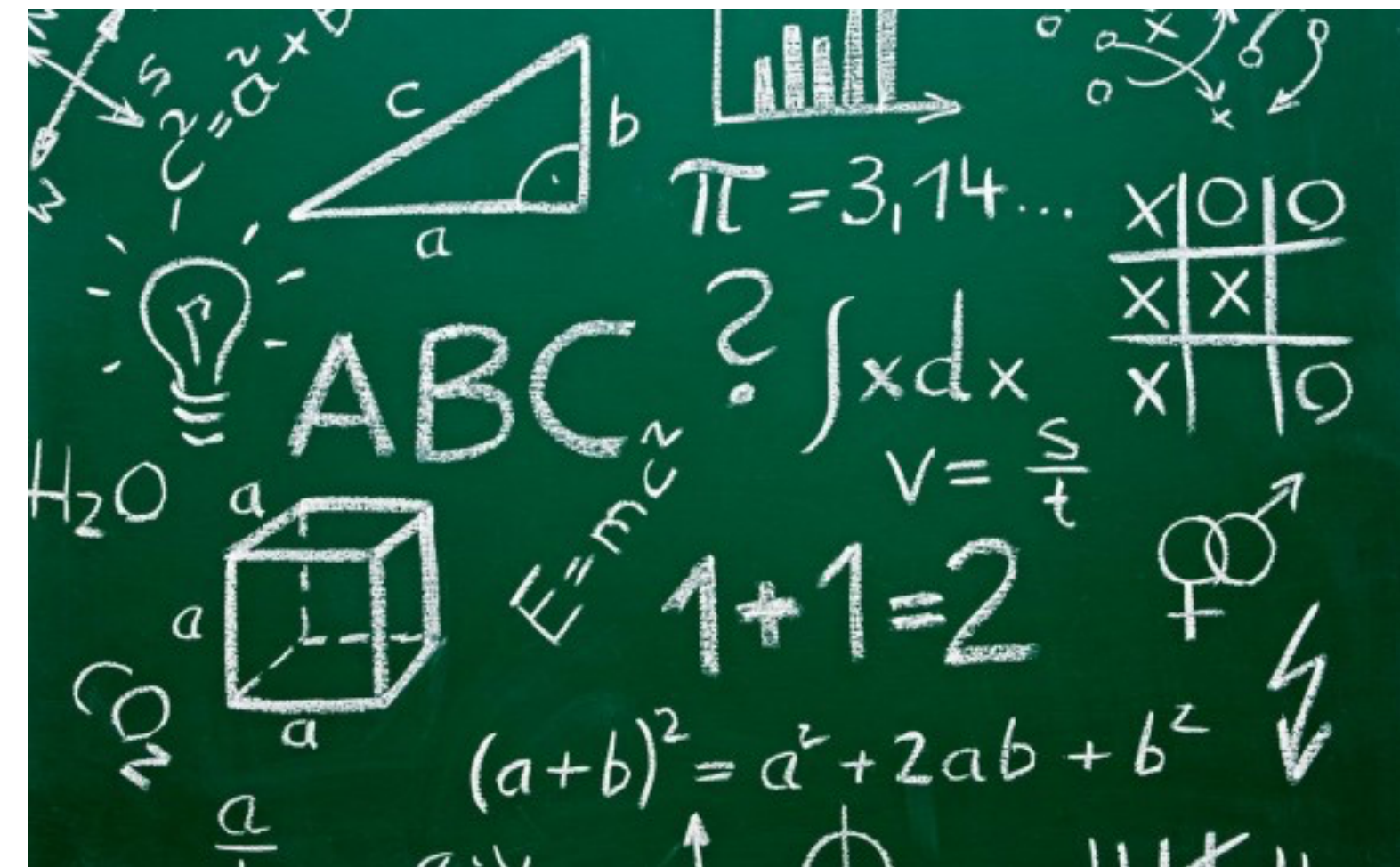


Banda

- Si riferisce all'occupazione spettrale di un segnale
 - Per esempio i 2.6 kHz per la voce (300 - 2900 Hz o giù di lì)
- Ma è anche la "larghezza" di un filtro entro la quale banda passante ci si aspetta un segnale utile
 - Che è anche la "quantità" di rumore che si considera



Intermezzo matematico



I logaritmi

Dal greco: *proporzione tra numeri*

- La moltiplicazione diventa somma.
- La divisione si trasforma in una sottrazione
- L'elevamento a potenza in una moltiplicazione

Logarithm Rules

$$\log(mn) = \log m + \log n$$

$$\log\left(\frac{m}{n}\right) = \log m - \log n$$

$$\log m^n = n \log m$$

Perché, or dunque, usare grandezze logaritmiche?

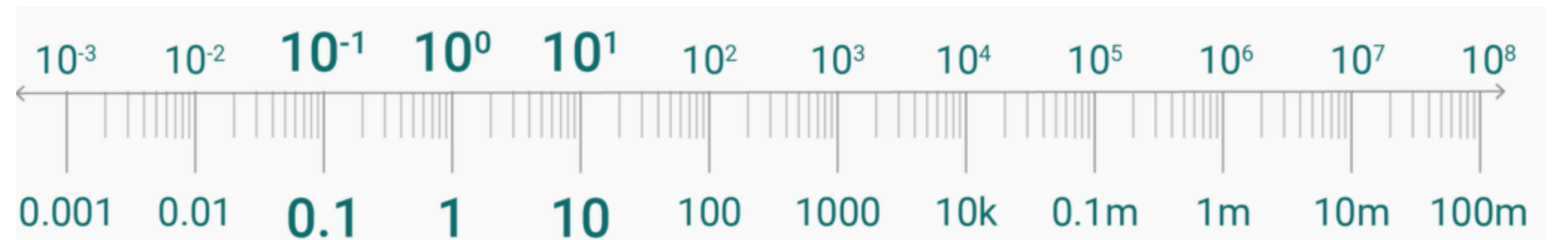
Perché? Perché?

- Perché i fenomeni fisici (elettronici, relativi alla propagazione, all'interazione tra entità in genere) sono spessissimo delle moltiplicazioni
 - Pensate ad un amplificatore (moltiplica il segnale in ingresso, **non** somma nulla)
 - Il guadagno di un'antenna **moltiplica** le grandezze che consideriamo ad essa applicate
- Perché i numeri in questione possono essere molto grandi e una loro "compattazione" può essere molto comoda

Il decibel

Molto chiacchierato...

- ...ma poco conosciuto?
- Chi sa dirmi cosa misura il dB?



dB

Definizione ed applicazioni

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

- Le grandezze messe a rapporto *devono* essere **omogenee** quindi il dB, formalmente, **non è un'unità di misura!**
- Perché diventi una misura assoluta N_2 deve diventare un riferimento *noto*.
Ad esempio 1 mW. Nascono così i dB_m !

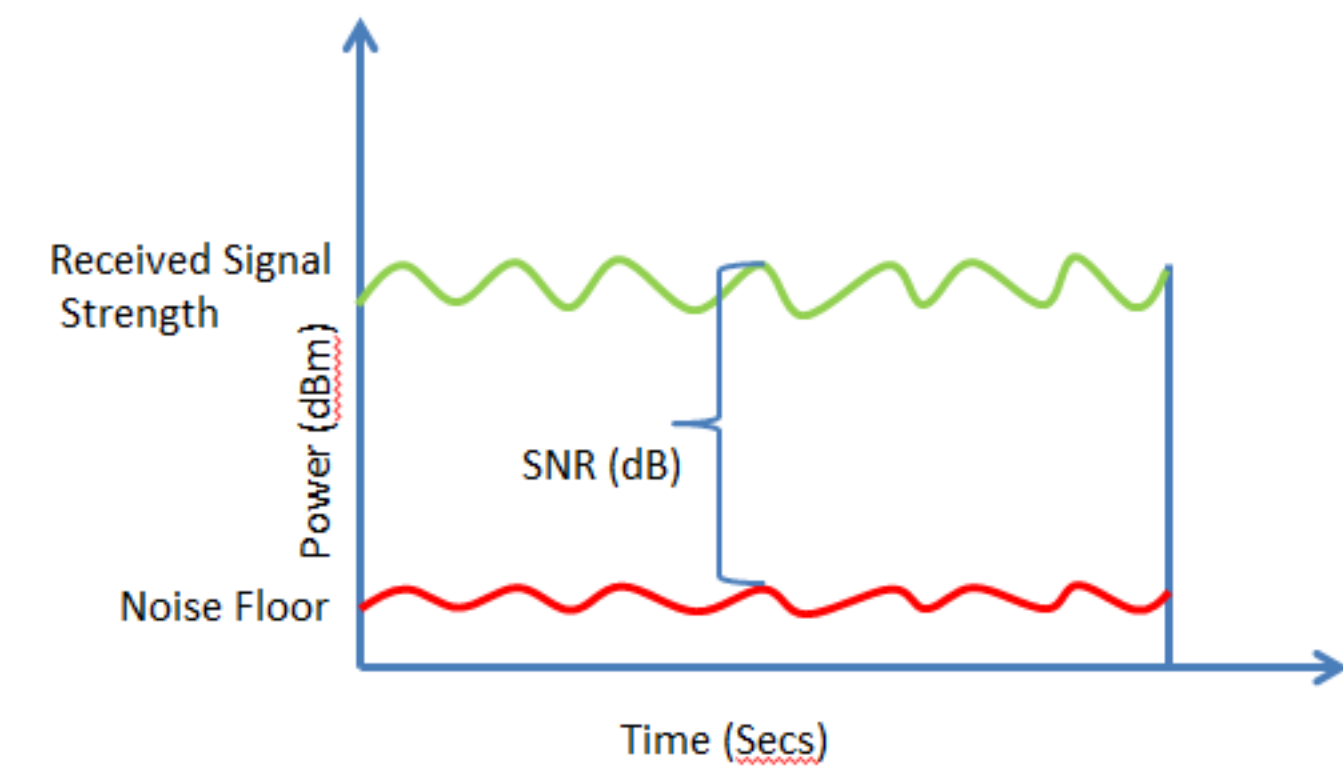
dB

Definizione ed applicazioni

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

- Applicazioni classiche
 - dB_i , dB_d
 - dB_{uV}
 - dB_W

I molteplici rapporti tra segnali e rumori



SNR

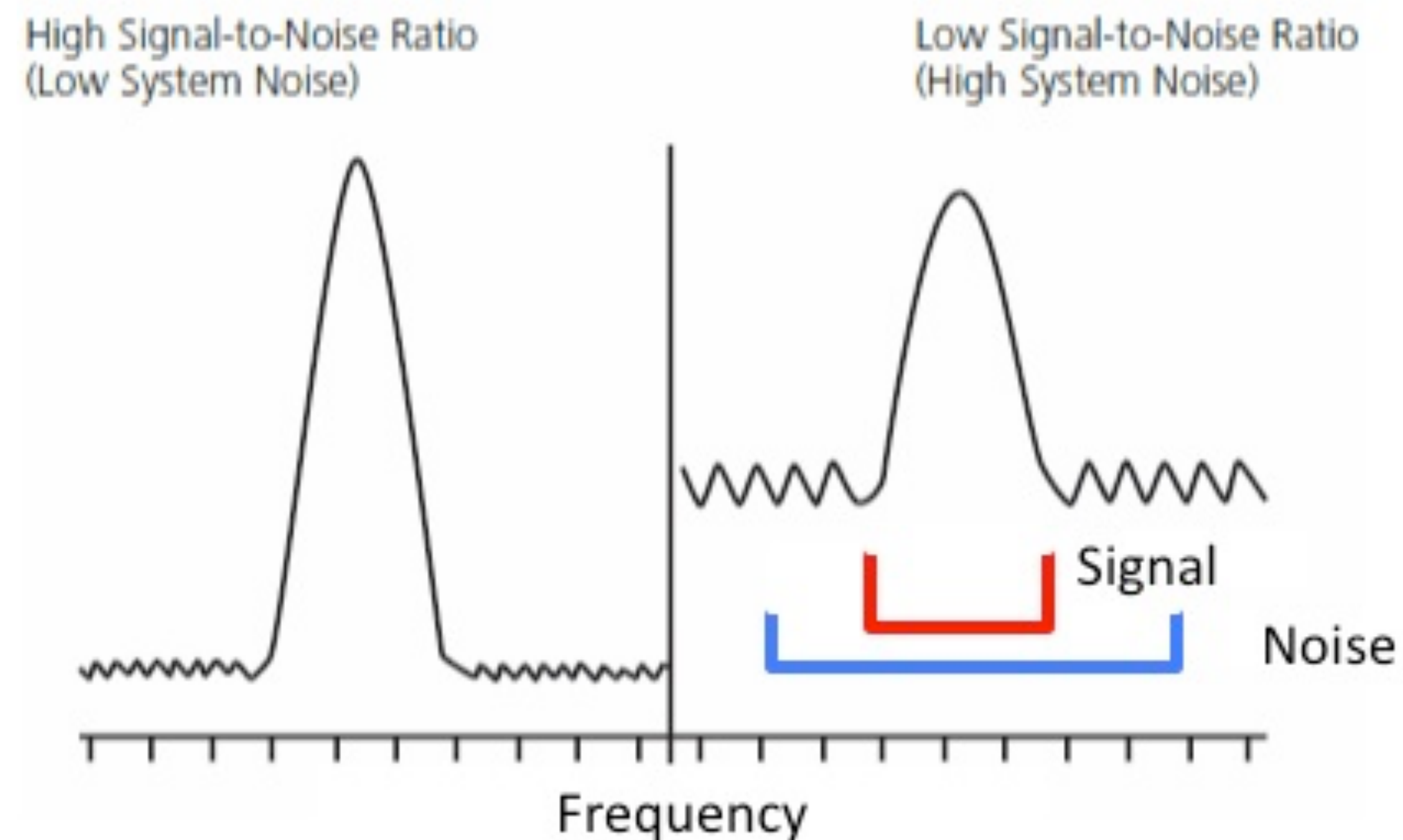
Il *rapporto segnale/rumore*

$$SNR = 10 \log \left(\frac{S}{N} \right)$$

- È una figura di merito che mette a confronto il segnale utile dal rumore nel quale inevitabilmente va a finire
- Misura **logaritmica**
- *Non è onesta*: dipende dalla larghezza di banda che consideriamo e non tiene conto di quanta informazione inviamo

Il rumore è tendenzialmente a larga banda

È necessario specificarne la porzione che influenza il nostro segnale



Il segreto

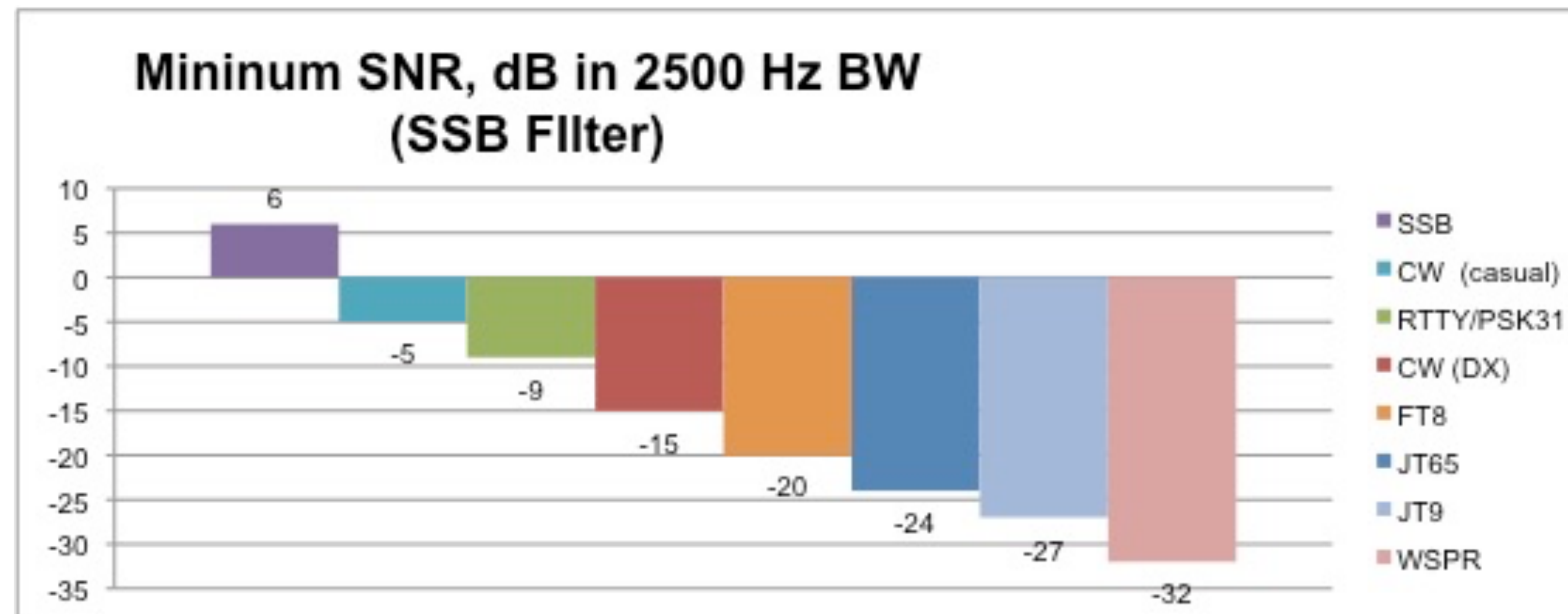
“Chi va piano va sano e va lontano...”

- “A parità di segnale” è cruciale, quindi, che il rumore nel quale esso è immerso sia il meno possibile
- Possiamo certamente aumentare potenze e usare antenne meravigliose (ma non sarebbe *a parità di segnale*)
- Ma la vera mossa vincente è **diminuire la banda occupata per minimizzare il rumore che insiste sul nostro segnale**
- “...anche arrivando in ritardo!”
- *Abbiatene un po' di pazienza che il segreto verrà svelato!*

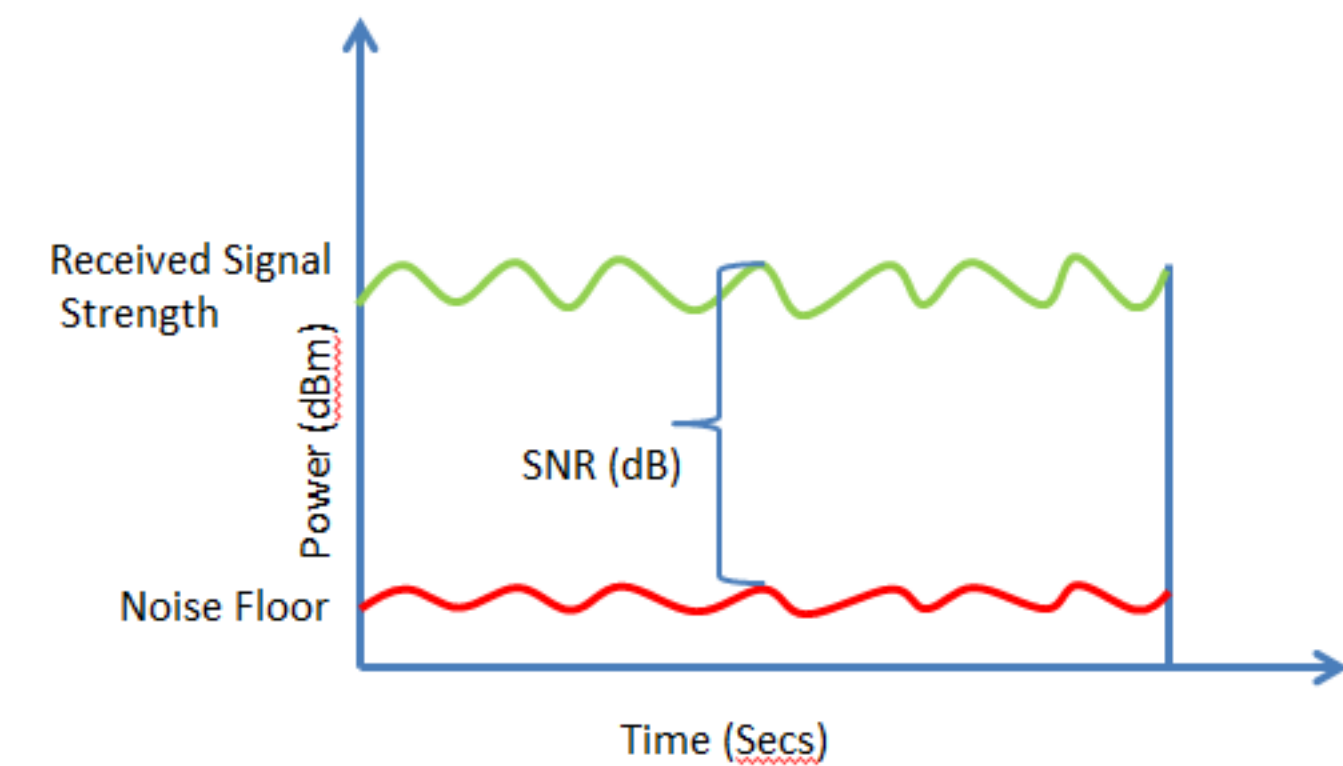
Esempi di “disonestà”

Il “marketing” dietro i segnali digitali

- SNR negativi? È quindi possibile ricevere segnali sotto il livello di rumore?
- Come mettere a confronto modulazioni diverse in maniera corretta?



**Facciamo la
conoscenza di un
rapporto peculiare**
Quello tra energia per bit e
densità di rumore



$$E_b/N_0$$

Un modo per visualizzare onestamente le cose

- E_b è l'energia in un bit trasmesso, N_0 è il rumore presente in 1 Hz. È, tipicamente, un **requisito** per una data modulazione: calcolato formalmente o derivato da sperimentazione
- Il trucco è al numeratore: **non** c'è l'energia ricevuta ma un nuovo rapporto. **L'energia ricevuta in un secondo (potenza) rispetto alla sua velocità in b/s**

Abbiamo reso indipendente il rapporto segnale/rumore dalla banda che il segnale occupa e da quanto rapidamente riesce a veicolare informazione!

$$E_b/N_0$$

Onesto e sincero

- Ha un problema. Qual è?
- Funziona solo per sistemi digitali! Orrore! 🤨
- Come facciamo a calcolare questo requisito per l'(amata) SSB?



Riportiamo tutto in digitale!

Per comodità, eh...

- Negli anni 50 e 60 sono state condotte diverse campagne di misurazioni per determinare il requisito minimo di SNR per un servizio usabile per molteplici modulazioni. La media di questi studi risultò essere di 12 dB per l'SSB. Noi considereremo **6 dB**, in quanto più rispondente al caso amatoriale che non richiede le caratteristiche di un servizio commerciale¹
- Per avere l' E_b/N_0 dobbiamo:
 1. Normalizzare il rapporto alla banda occupata
 2. Stimare la velocità in b/s del parlato 🤔

¹ Hiroshi Akima, Gene G. Ax, Wesley M. Beery, "REQUIRED SIGNAL-TO-NOISE RATIOS FOR HF COMMUNICATION SYSTEMS", *ESSA Technical report ERL 131-ITS 92*, 1969
ITU-R Recommendation F.339-8, Table 1 A1A, J3E.



Normalizziamo la banda occupata

Facciamo finta di non essere sugli 80m di sera

- Consideriamo 2.6 kHz di banda² e facciamo il primo passo sostituendo a N la sua densità N_0 :

$$\frac{S}{N} = \frac{S}{N_0 \cdot B} \iff \frac{S}{N_0} = \frac{S}{N} \cdot B$$

- Lavorando con i dB basta semplicemente *sommare* 34!


$$\frac{S}{N_{0,SSB}} = 6 + 34 = 40 \text{ dB}$$


² Calcoliamo 2600 in dB. $10 \cdot \log \frac{2600}{1} \approx 34 \text{ dB}$

Stimiamo la velocità del parlato in b/s

Un po' di cauta magia nera

- La velocità di un parlante è di circa 100-120 parole al minuto
- La lunghezza media delle parole per l'alfabeto inglese è di 5 lettere
- Siamo a circa 500 lettere/minuto ovvero 8.3 lettere/s
- Ci vogliono almeno 5 bit per codificare l'alfabeto ($2^5 = 32 > 27$ lettere)
- $8.3 \cdot 5 \approx 42 \text{ b/s}$

Calcoliamo 42 in dB: $10 \cdot \log \frac{42}{1} \approx 16 \text{ dB}$

Normalizziamo rispetto alla velocità di trasmissione

Facile facile

- Per definizione: $E_b = \frac{S}{b/s}$
- Quindi, essendo tutto in dB basta una sottrazione per fare questa divisione!

Quindi!?

Possiamo finalmente calcolare E_b/N_0 per l'SSB

$$\infty \frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N_{0_{SSB}}} \cdot \frac{1}{b/s} = 40 - 16 = 24 \text{ dB} \infty$$

- Con questo importante dato possiamo confrontare onestamente e sinceramente le prestazioni delle varie modulazioni per le quali è *possibile fare lo stesso ragionamento che abbiamo appena fatto!*

Tiriamo le somme
(O meglio le moltiplicazioni!)



Tabellina depressiva

Sulla necessità di un lineare da +17 dB

- La differenza tra FT8 e SSB è di... 17 dB!
- Se per fare un QSO al limite della comprensibilità avessi bisogno di 100W in SSB, **basterebbero 2 W in FT8**
- Chiaro che lo odiano. Io, invece, se c'è un DX in FT8 approfitto! L'energia elettrica costa! 😜

Modulazione	Eb/NO
SSB	24 dB
RTTY	14 dB
CW	13 dB
PSK31	9 dB
FT8	7 dB
JT-65	5 dB

Tabellina semi-deprimente

Di un ipotetica nuova scala su l'S-Meter


- Vediamo cosa cambierebbe se l'S-Meter potesse misurare il livello di segnale equivalente *rispetto all'SSB*

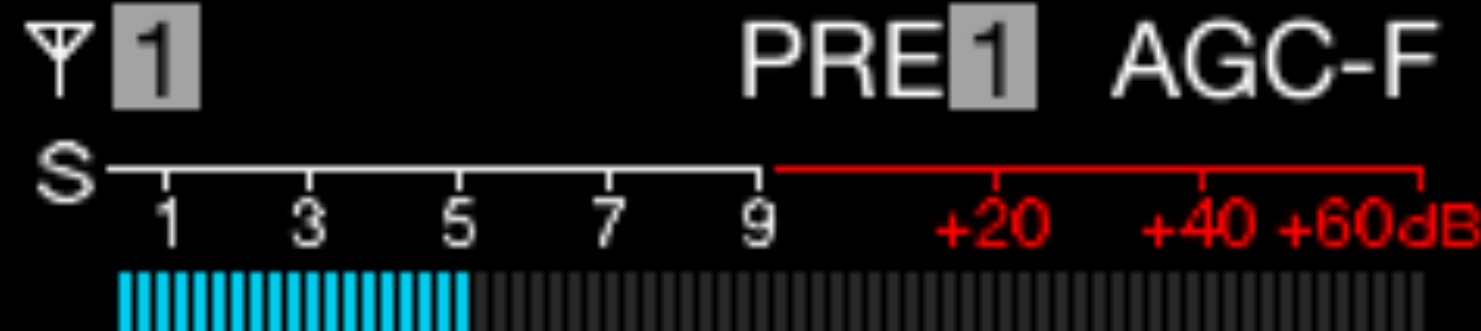
Modulazione	Eb/NO
SSB	S1
RTTY	<S2
CW	≈S2
PSK31	>S2
FT8	≈ S3

Tabellina Antidepressiva

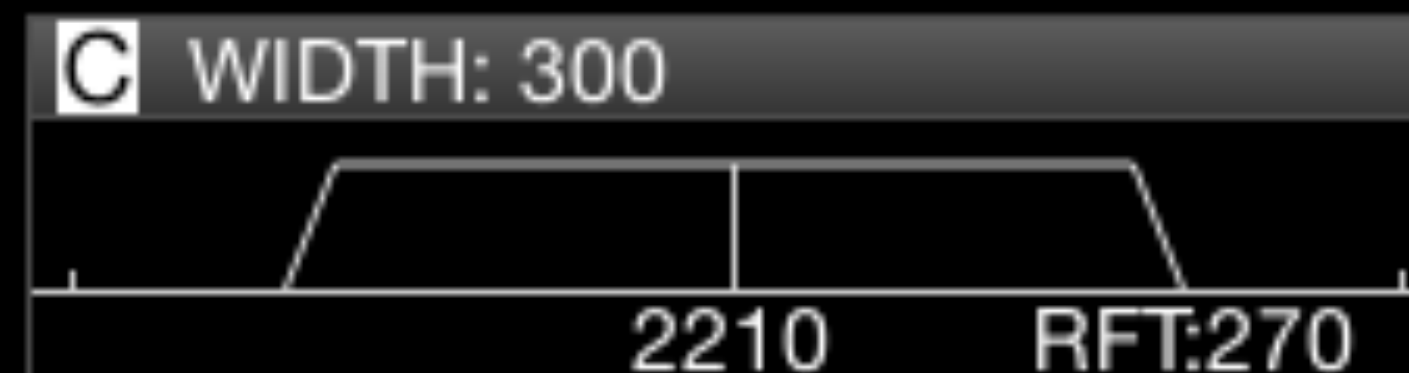
Come comprare un lineare senza comprarlo

- Guardiamo al contrario
- Se ho 100W in SSB a cosa *equivalgono* in altri modi?

Modulazione	Potenza equivalente
SSB	100 W
RTTY	1 kW
CW	1.2 kW
PSK31	3.1 kW
FT8	5 kW 



8W
0.000

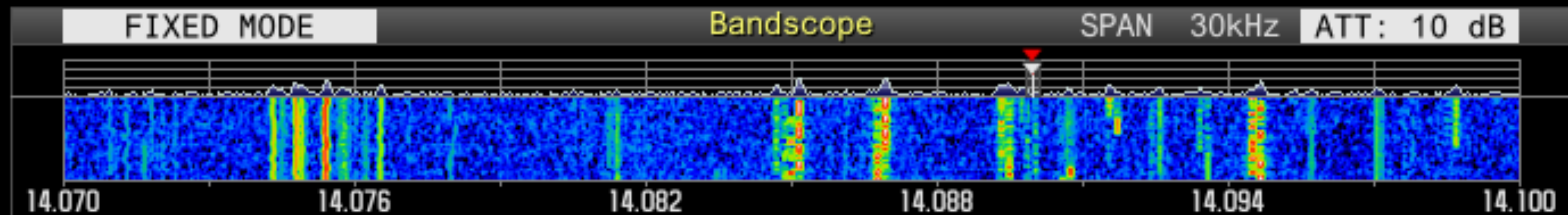


ANT 1
PRE 1

FSK VFO NB 1 14.089.960 BAND 1 USB-D 50.280.000 BAND 1
TX

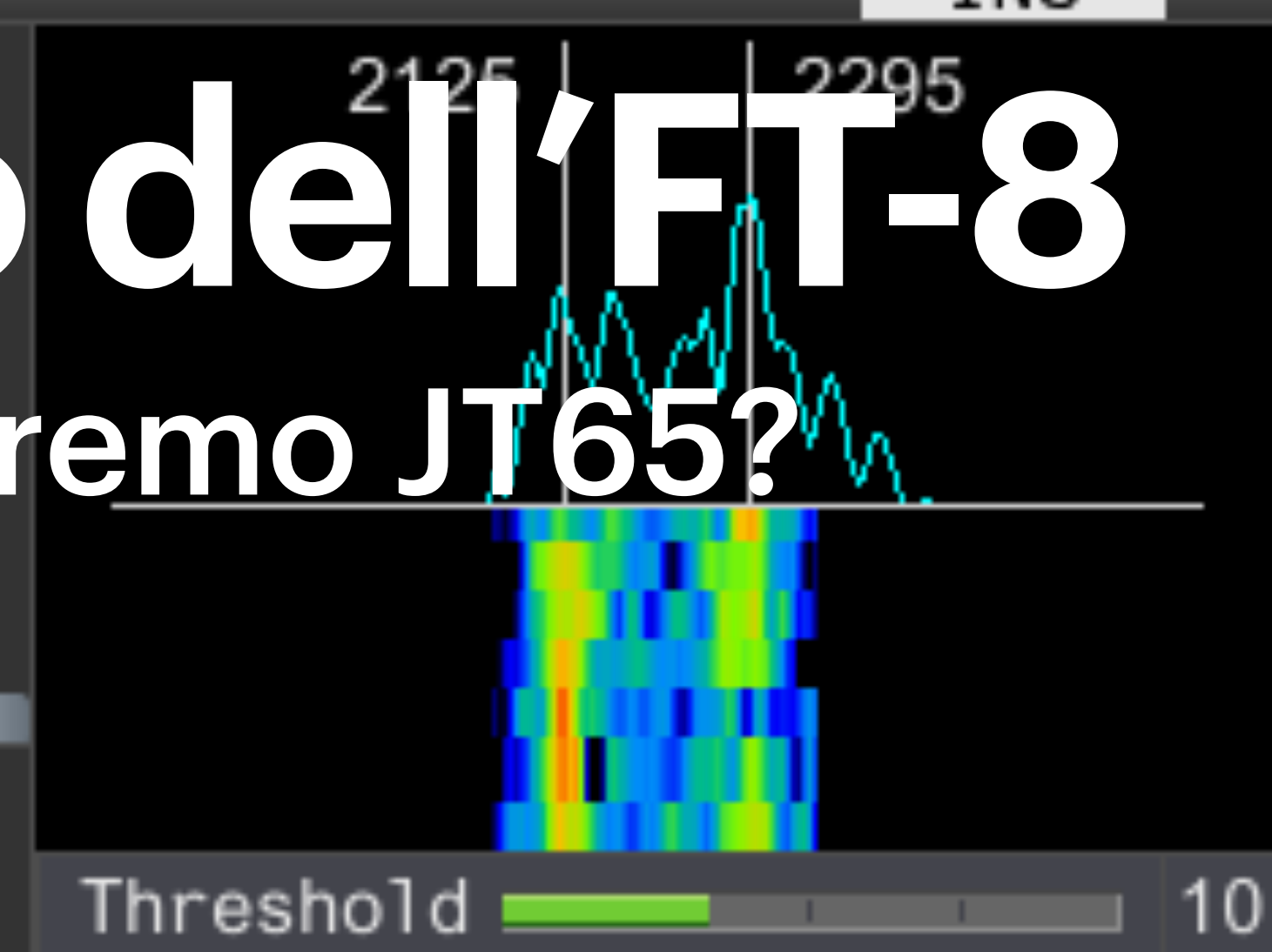
ATT
OFF

RX EQ
OFF



MAX-Po
8 W

DECODE RTTY Encode/Decode INS
.... RT6DI DE UA3X0 599 83 83 ...
3'0#304 AIB
UA3X0 TU DE RT6DI QRZ? K
Y03GNF Y03GNF
Y TWUSVCB
OKGNF
Y03GNF 599 63 63 Y03GNF



METER
Po

APF
ON

Qual è il segreto dell'FT-8 ...e del suo parente estremo JT65?

MORE PAUSE (CLEAR) MEMORY EXTEND

Dettagli morbosi sulle modulazioni “classiche”

Un tendenza vecchia 100 anni: magro è bello 😡

- Il CW è una modulazione piuttosto complessa da “digerire” a livello di occupazione spettrale. Grossolanamente, però, non è disonorevole affermare che **il CW occupa circa 100 Hz**
- L'AM occupa il doppio della banda occupata dal segnale che trasporta. Nel nostro caso quindi, **l'AM occupa circa 5 kHz**
- L'SSB occupa la metà dell'AM, ergo **l'SSB occupa circa 2,5 kHz**
- L'FM ha una occupazione di banda teoricamente infinita (come molte cose) ma nella realtà di usa una approssimazione ragionevole: la formula di Carson. **L'FM amatoriale occupa circa 15 kHz**

Dettagli morbosi sull'**FT-8**

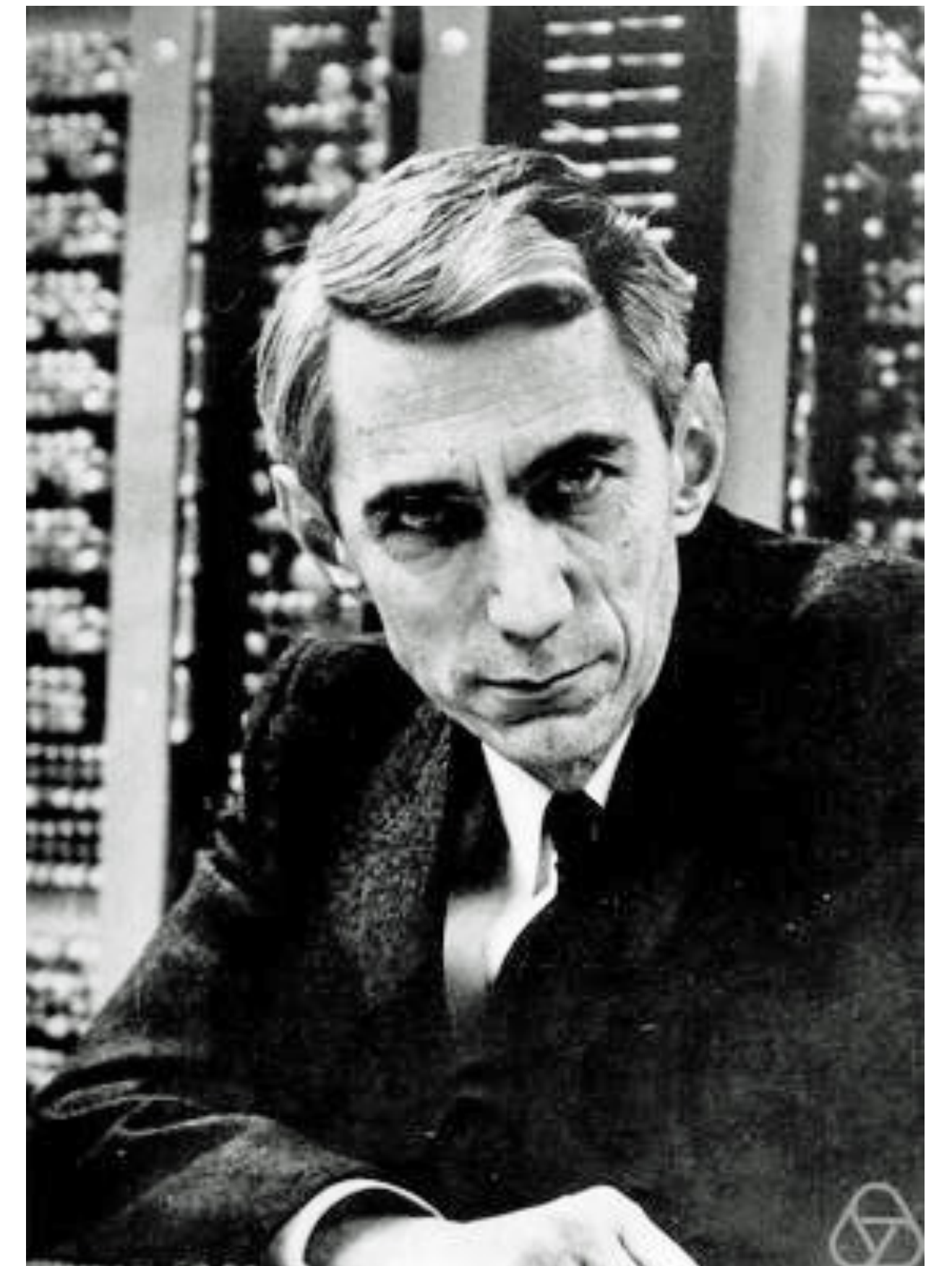
Se è porno, tolgo

- Occupazione spettrale **totale**: 50 Hz
- 8 toni (8FSK)
- Ogni tono sta in poco più di **6 Hz!!!**
 - La potenza viene concentrata in questa banda strettissima
 - *Su questa banda va fatto il calcolo del rumore!*
- *I toni del JT-65 stanno in 2.7 Hz*

Il limite inferiore di Shannon

Una antipatica barriera invalicabile

- Nel 1948, in un articolo che ha dato il via alla moderna teoria dell'informazione, Claude Shannon ha provato matematicamente che è impossibile trasmettere bit senza errori se $E_b/N_0 < -1.59 \text{ dB}$
- Il più basso valore di E_b/N_0 raggiunto è stato di -1 dB con un successo di trasmissione del 60-70% circa con una BPSK coerente (ovvero con RX e TX sincronizzati in fase e frequenza sullo stesso riferimento) in VLF (< 9 kHz)



Domande?

Sperando che io sappia la
risposta 😂

