Compressione
Parte 1

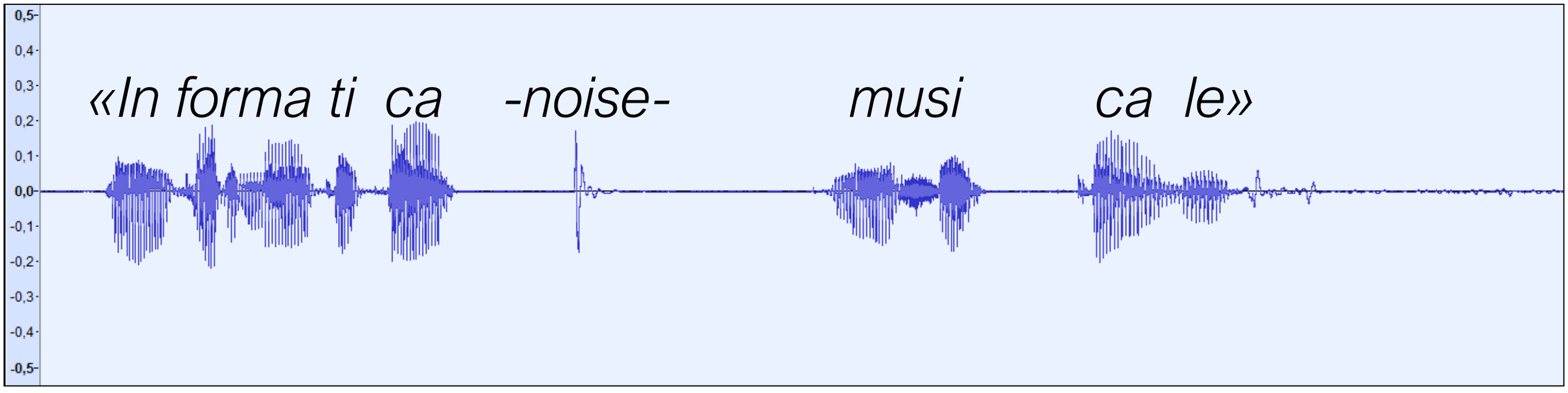
Prof. Filippo Milotta
milotta@dmi.unict.it

Perché comprimere?

1. Riduzione dello spazio di memoria occupato
2. Riduzione dei tempi (e costi) di trasmissione

Compressione…

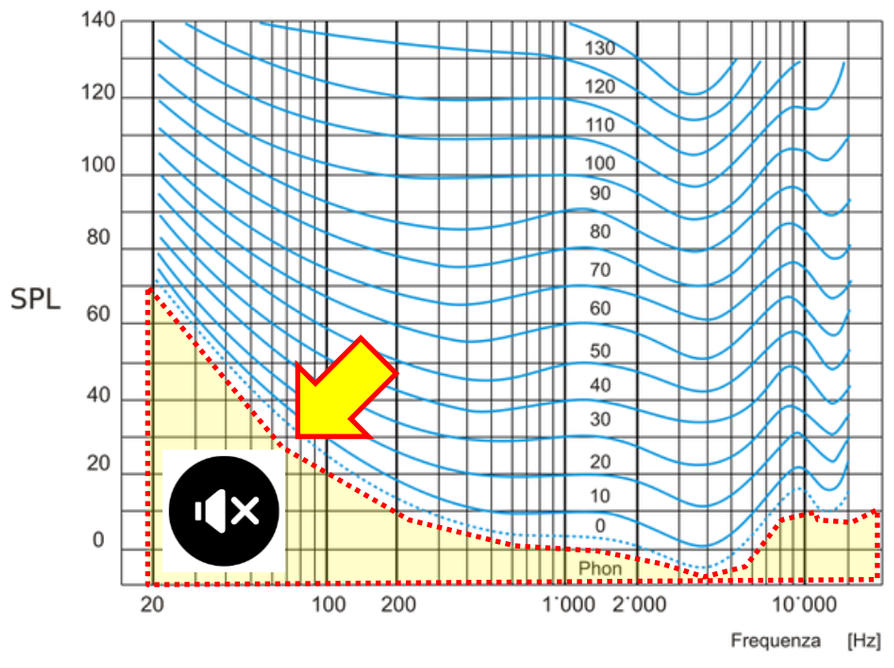
- Come comprimere una traccia del genere?



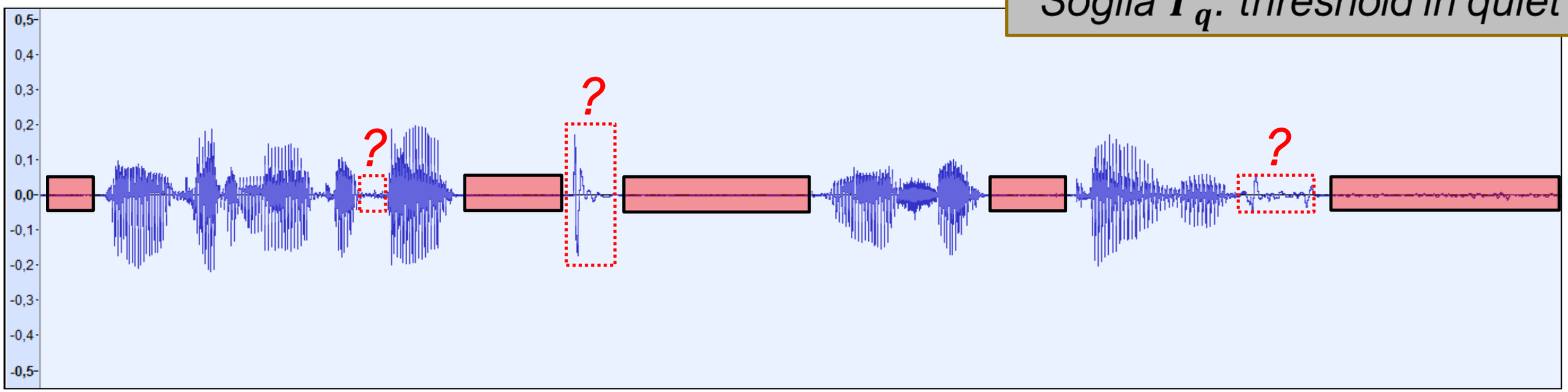
Compressione del silenzio (Metodo Naïve)

- Tecnica Lossy
  - Soglia di intensità sonora
  - Soglia di attivazione temporale

Ripasso



Soglia T_q: threshold in quiet



Audio digitale – Spazio in memoria

Sia f_c il tasso di campionamento , N la profondità in bit, D la durata del flusso audio e C il numero di canali, allora il numero di bit necessari a rappresentare il segnale (senza compressione) si calcola:

$$Size = f_c \times N \times D \times C$$

Il numero di bit che fluisce nell'unità di tempo (un secondo) prende il nome di **bit rate.** Si misura in **bps** (bit per secondo).

$$bitrate = f_c \times N \times C$$

E' chiaro che l'obiettivo è garantire una buona qualità utilizzando la minima quantità di memoria. I metodi di compressione rappresentano un passo successivo che permette di abbassare il **bit rate** preservando la qualità.

Audio digitale – Spazio in memoria
Un esempio pratico

- CD Audio
  - Tasso di campionamento: 44,1kHz
  - Profondità in bit: PCM lineare 16 bit
    - Bitrate → 44,1kHz * 16 = 705,6kbps
  - Canali: Segnale stereo (2)
    - Bitrate → 705,6kbps * 2 = 1.411Mbps
    - 1 Minuto di registrazione: 44100*16*2*60/8 ~ 10MB

Il Bitrate è il
«Tasso di trasferimento dati»

Codifiche μ-law e A-law

A-law e μ-law sono due algoritmi di codifica definiti nello standard G.711

- Sono stati pensati per codificare digitalmente e trasmettere su una rete ISDN, la **voce al telefono**. Si parla quindi di suoni con frequenza da 0 a $4KHz$.

- Per ottimizzare l'utilizzo di banda, le due codifiche usano 8000 campioni al secondo ($4\,KHz \times 2$) e una **quantizzazione non uniforme (logaritmica)** a 8 bit. Il bit rate sarà dunque di $64\,Kbps$ (8000×8), esattamente la larghezza di banda di una rete ISDN (**Integrated Services Digital Network**).

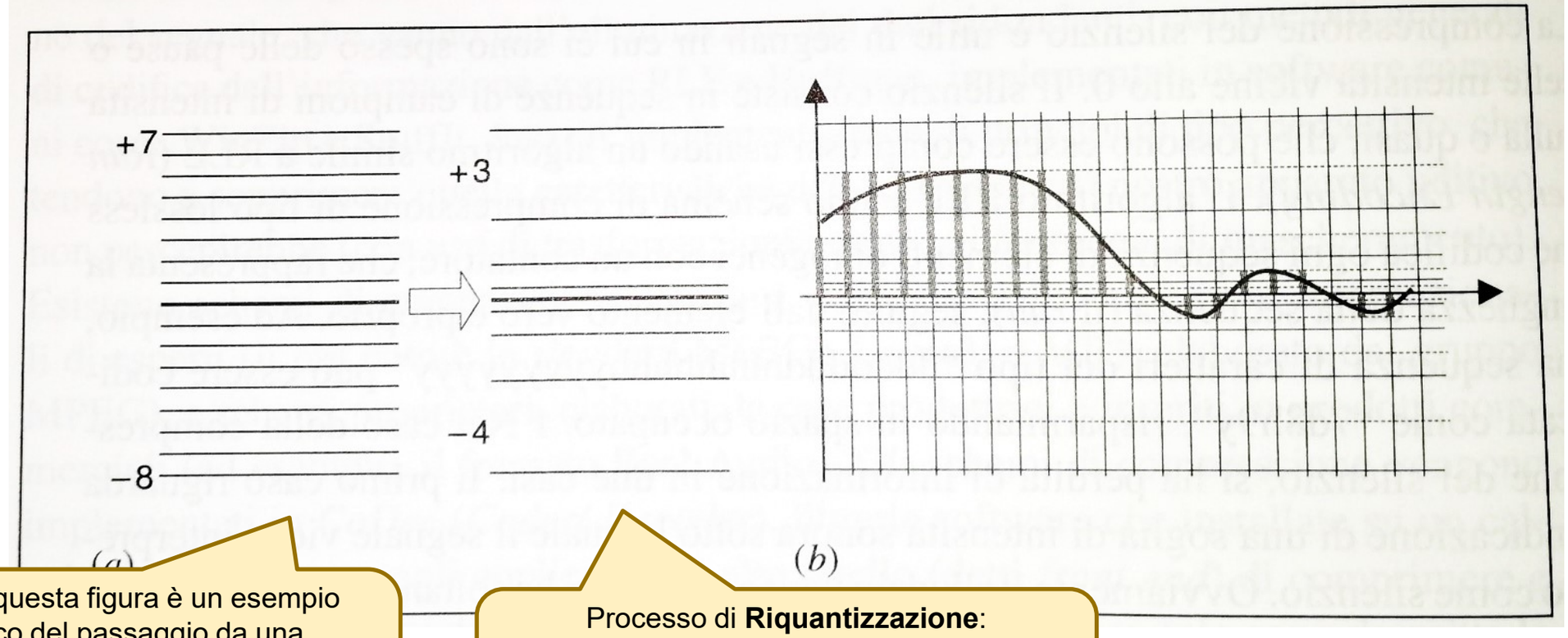
- La quantizzazione non lineare assicura maggiore precisione alle ampiezze più basse, garantendo una buona qualità con soli 8 bit.

Codifica μ-law

Partendo da campioni a 16 bit

La codifica ***μ*-law** è in uso in Nord America e Giappone. Grazie alla quantizzazione non lineare, permette di ottenere con soli 8 bit la stessa qualità (es: SQNR) che si otterrebbe con una quantizzazione lineare a 14 bit.

I valori di Y attorno allo zero (più piccoli in valore assoluto) sono quelli a cui saranno dedicati più bit.



Nota Bene: questa figura è un esempio schematico del passaggio da una quantizzazione uniforme ad una non uniforme. Anziché passare da 16 bit a 8, in questa figura passiamo solo da 4 a 3

Processo di **Riquantizzazione**:
Stiamo passando
da una quantizzazione uniforme
ad una quantizzazione non uniforme

Codifica μ-law

Con 8 bit posso rappresentare 256, ma escluso lo 0 diventano 255

Con 16 bit posso rappresentare 65536 valori, da -32768 a 32767, compreso lo 0

$$\mu = 255$$

$$-32.768 \leq x \leq 32.767$$

$$(Normalizzata:) -1 \leq x \leq 1$$

$$0 \leq Y \leq 255$$

Questa potremmo considerarla una **funzione di trasferimento**, vedi Lez 13

$[0; 127]$

$22{,}9$

$[0; 5{,}5]$

Sommare 1 impedisce che l'argomento del log possa essere 0, ed è giustificato perché inizialmente abbiamo escluso 0 da μ

$$Y = \begin{cases} 128 + \dfrac{127}{ln(1+\mu)} \times ln(1+\mu|x|) & x \geq 0 \\ 127 - \dfrac{127}{ln(1+\mu)} \times ln(1+\mu|x|) & x < 0 \end{cases}$$

Codifica μ-law

$$Y = \begin{cases} 128 + \dfrac{127}{ln(1+\mu)} \times ln(1+\mu|x|) & x \geq 0 \\ 127 - \dfrac{127}{ln(1+\mu)} \times ln(1+\mu|x|) & x < 0 \end{cases}$$

- Questa formula **comprime** campioni a 16 bit con segno in modo non lineare su campioni da 8 bit senza segno (da 0 a 255)

Non lineare, infatti nella formula compare un logaritmo

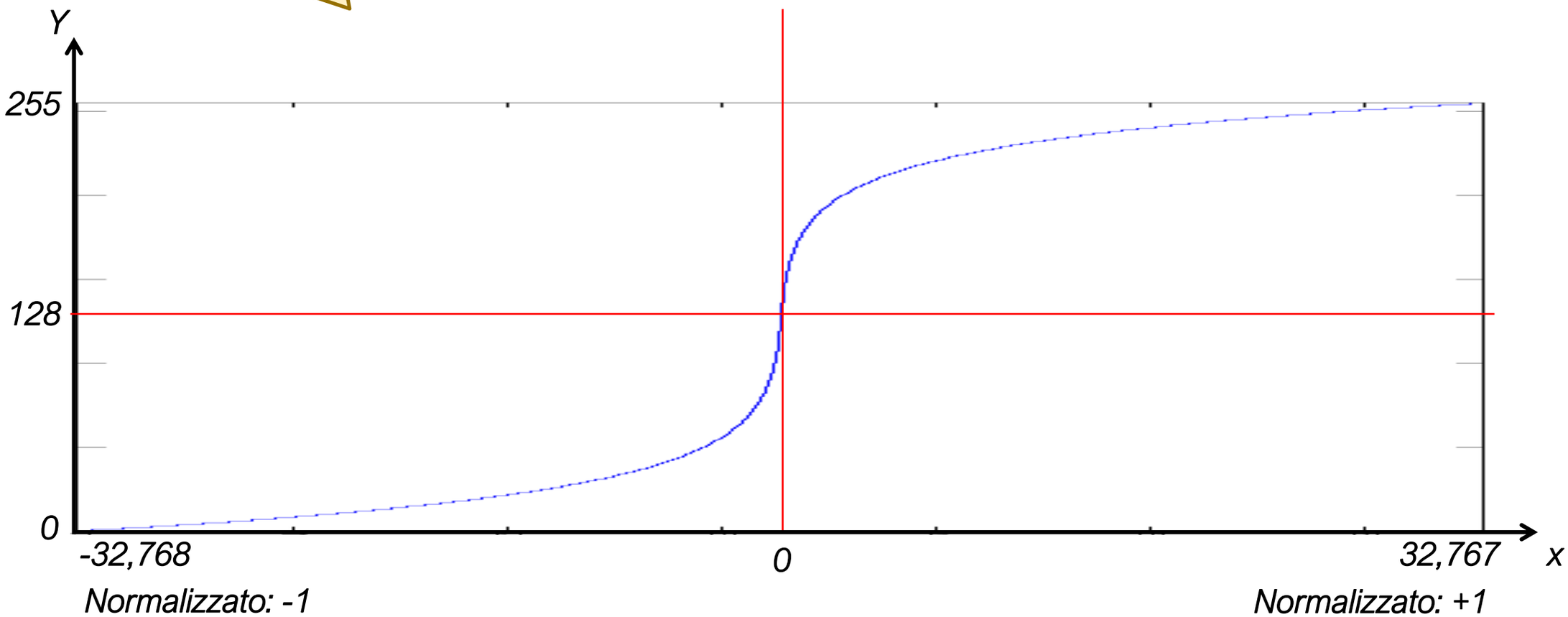
$$\mu = 255$$
$$-32.768 \leq x \leq 32.767$$
$$0 \leq Y \leq 255$$

I valori di Y attorno allo zero (più piccoli in valore assoluto) sono quelli a cui saranno dedicati più bit.

Esempio μ-law

$$Y = \begin{cases} 128 + \frac{127}{ln(1+\mu)} \times ln(1+\mu|x|) & x \geq 0 \\ 127 - \frac{127}{ln(1+\mu)} \times ln(1+\mu|x|) & x < 0 \end{cases}$$

Ecco il profilo della **funzione di trasferimento**: è un sigmoide

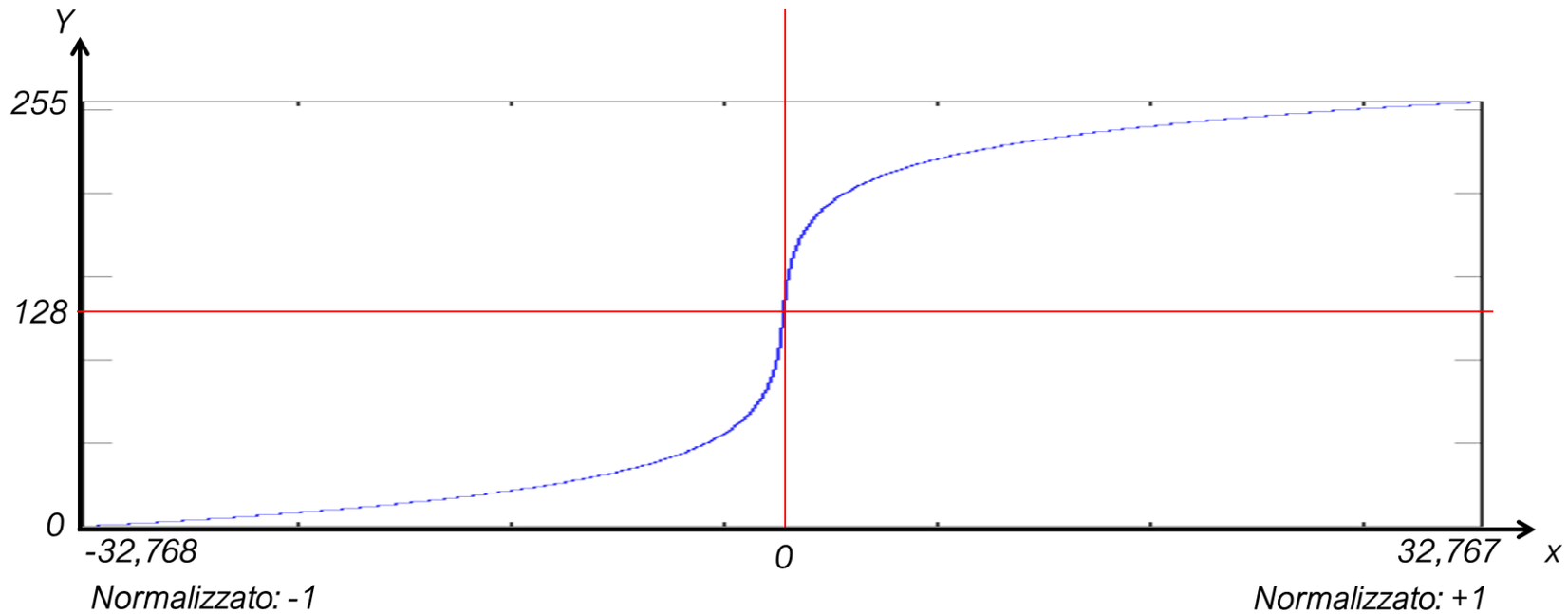


Sull'asse orizzontale sono presenti valori a 16 bit (interi tra 0 e 65535). Sull'asse verticale si trovano i corrispondenti interi a 8 bit ottenuti con la codifica μ-law. Si noti come i valori agli estremi siano quantizzati in maniera meno precisa.

Esempio μ-law

Minore precisione nei quanti agli estremi, maggiore precisione nei quanti intermedi. Ad esempio, nei quanti estremi abbiamo circa 600 valori per quanto, in quelli intermedi meno di 10

$$Y = \begin{cases} 128 + \frac{127}{ln(1+\mu)} \times ln(1+\mu|x|) & x \geq 0 \\ 127 - \frac{127}{ln(1+\mu)} \times ln(1+\mu|x|) & x < 0 \end{cases}$$



Campione originale	Nuovo campione
-32768	0
…	…
-32100	0
-32000	1
…	…
-200	106
-100	113
…	…
0	128
…	…
100	141
200	149
…	…
32000	254
32100	255
…	…
32767	255

Sull'asse orizzontale sono presenti valori a 16 bit (interi tra 0 e 65535). Sull'asse verticale si trovano i corrispondenti interi a 8 bit ottenuti con la codifica μ-law. Si noti come i valori agli estremi siano quantizzati in maniera meno precisa.

Decodifica μ-law

$$\mu = 255$$

$$-32.768 \leq x \leq 32.767$$

$$(Normalizzata:) -1 \leq x \leq 1$$

$$0 \leq Y \leq 255$$

CAVEAT - NOTA:
Nel libro la formula riporta degli errori. Questa è la formula corretta!

5,5

$$x = \begin{cases} \dfrac{exp\left(\dfrac{Y-128}{127} \times \ln(1+\mu)\right) - 1}{\mu} & Y \geq 128 \\ -\dfrac{exp\left(\dfrac{127-Y}{127} \times \ln(1+\mu)\right) - 1}{\mu} & Y < 128 \end{cases}$$

Quanto vale x se Y = 0?
Quante vale x se Y = 255?
Suggerimento: ci serve davvero fare i calcoli in questo caso?

Codifica μ-law

- E’ lossy o lossless?
  - Perché?

  - Verificare la risposta data applicando le formule

A-law

La codifica **A-law** è in uso in Europa. Grazie alla quantizzazione non lineare, permette di ottenere con soli 8 bit la stessa qualità (es: SQNR) che si otterrebbe con una quantizzazione lineare a 13 bit.

Sia X il valore originale di ampiezza **normalizzato** tra [-1,1], A un fattore pari a 87.7 (o 87.6), allora il valore codificato Y normalizzato in [-1,1] si calcola:

$$\mathrm{Y} = \mathrm{sign}(X) \begin{cases} \frac{A|X|}{1+\ln A} & |X| < \frac{1}{A} \\ \frac{1+\ln A|X|}{1+\ln A} & \frac{1}{A} < |X| \leq 1 \end{cases}$$

Quanto vale Y se X = 1?
Quanto vale Y se X = -1?
Attenzione a non sbagliare formula, gli intervalli della X sono intesi con il valore assoluto!

A-law decodifica

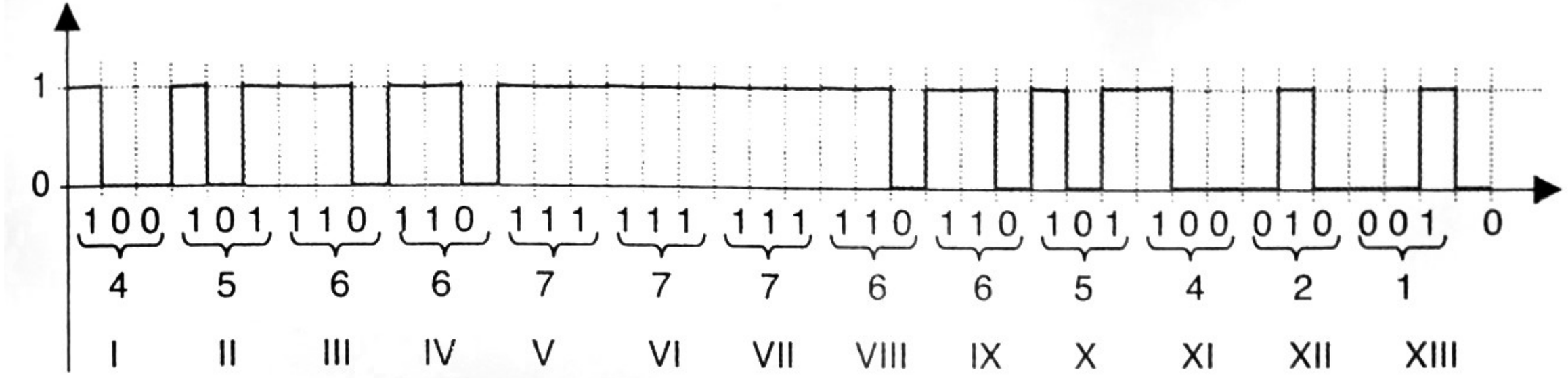
Sia Y il valore codificato di ampiezza **normalizzato** tra [-1,1], A un fattore pari a 87.7(o 87.6), allora il valore decodificato X normalizzato in [-1,1] si può riottenere dalla seguente legge:

$$X = \text{sign}(Y) \begin{cases} \dfrac{|Y|(1+\ln A)}{A} & |Y| < \dfrac{1}{1+\ln A} \\ \dfrac{e^{|Y|(1+\ln A)-1}}{A} & \dfrac{1}{1+\ln A} < |Y| \leq 1 \end{cases}$$

Tutte le considerazioni sulla normalizzazione fatte per la codifica μ-law, valgono pure per A-law. Per entrambe le codifiche possono essere definite delle tabelle di conversione per passare da codeword di 14 a 8 bit (μ-law) e da 13 bit a 8 bit (A-law).

Codifica PCM

La **Pulse Code Modulation** (PCM), è forse la più semplice tecnica di codifica di un audio digitale. In effetti non si fa altro che considerare ogni singolo campione come un impulso e associarvi una parola binaria che ne rappresenta l'ampiezza. La lunghezza delle parole binarie dipende ovviamente dai bit di quantizzazione (lineare) utilizzati.



Nell'esempio si può osservare la codifica PCM a 3 bit di un segnale audio. I 13 campioni assumono valori tra 0 e 7.

Codifiche DPCM e ADPCM

La **Differential Pulse Code Modulation** (DPCM), è una versione della PCM pensata per comprimere in maniera lossless. Anziché codificare i valori di ampiezza, si codificano solo le differenze. Si tratta di una semplice codifica **differenziale**.

La **Adaptive Differential Pulse Code Modulation** (ADPCM), è una tecnica di codifica più sofisticata della DPCM. Oltre a codificare le differenze utilizza un meccanismo di predizione unito ad un algoritmo di riquantizzazione che si «**adatta**» alle differenze da codificare. Brevemente diciamo che riquantizza le differenze più grandi tra valori reali e valori predetti (pertanto è lossy).

Differencing in DPCM

Il Differencing assume importanza se utilizzato in combinazione con la Run Length Encoding (RLE), in cui si codificano le lunghezze delle sequenze consecutive di simboli uguali (dette appunto Run, o Burst)

- *Differencing*:

…	100	101	102	103	103	103	102	101	…
…	…	+1	+1	+1	0	0	-1	-1	…

RLE → …; (3,+1); (2,0); (2,-1); …
LUT → …; 1; 2; 3

LUT	
(3,+1)	1
(2,0)	2
(2,-1)	3
…	…

Potremmo anche decidere di non adottare la RLE, e codificare le differenze, in generale serviranno meno bit, quindi una profondità più bassa

- In caso di differenze ridotte c'è un vantaggio effettivo nel codificare le differenze piuttosto che le codeword stesse
  - Si possono utilizzare delle LUT (Look-Up Table) (cioè delle tabelle-dizionario)

Nel caso del dizionario, inseriamo nella LUT le coppie calcolate nella RLE.

Predizione in ADPCM

- Per predire il campione successivo si somma ±1 al campione predetto attuale *(Predetto[n])*
  - Si sceglie la predizione più vicina al valore effettivo, poi si codificare la differenza rispetto al Valore Effettivo
  - Scelta diversa da ±1 ?

In questo esempio, in caso di dubbio (ambiguità) si sceglie sempre il valore predetto[n-1]+1

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Valore Effettivo	100	101	102	103	103	103	102	101	100	100	101	101	100	97
Predetto[n-1]+1		101	102	103	104	105	104	103	102	101	102	103	102	101
Predetto[n-1]-1		99	100	101	102	103	102	101	100	99	100	101	100	99
Predetto[n]		101	102	103	104	103	102	101	100	101	102	101	100	99
Codifica		0	0	0	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	-2