

Tesi di Laurea

Implementazione di un sintetizzatore musicale su scheda FPGA Nexys4 DDR

15 Luglio 2019

Relatore: Prof. Daniele Vogrig

Laureando: Enrico Lumetti

Anno Accademico 2018/2019

Cos'è un sintetizzatore musicale?

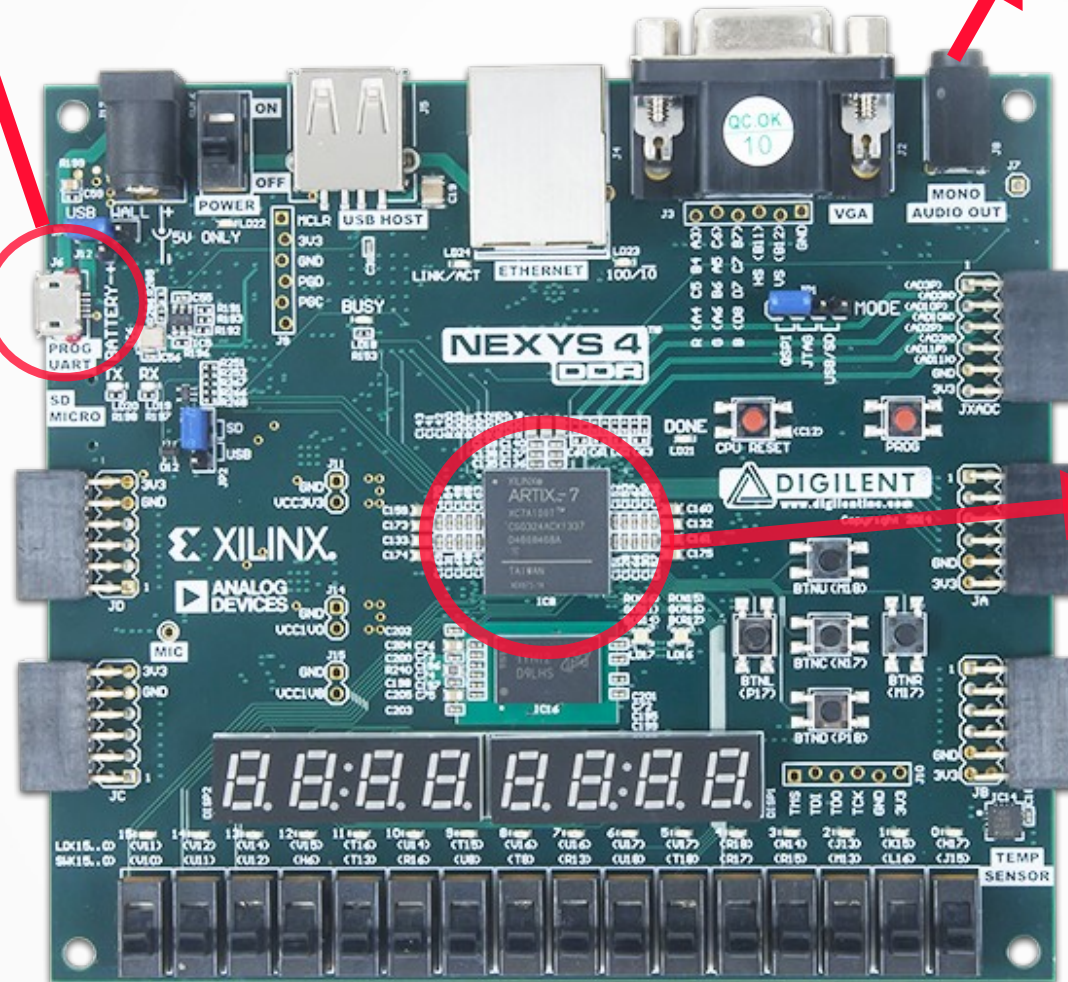
- Dispositivo **elettronico** per la riproduzione di suoni
- Al giorno d'oggi realizzati in maniera **digitale**
- Modifica le tre caratteristiche principali del suono: **ampiezza, frequenza, timbro(forma d'onda)**
- Controllato da uno strumento musicale: protocollo **MIDI** (musical instrument digital interface)



Scheda Nexys4 DDR

serial over USB

single channel audio out

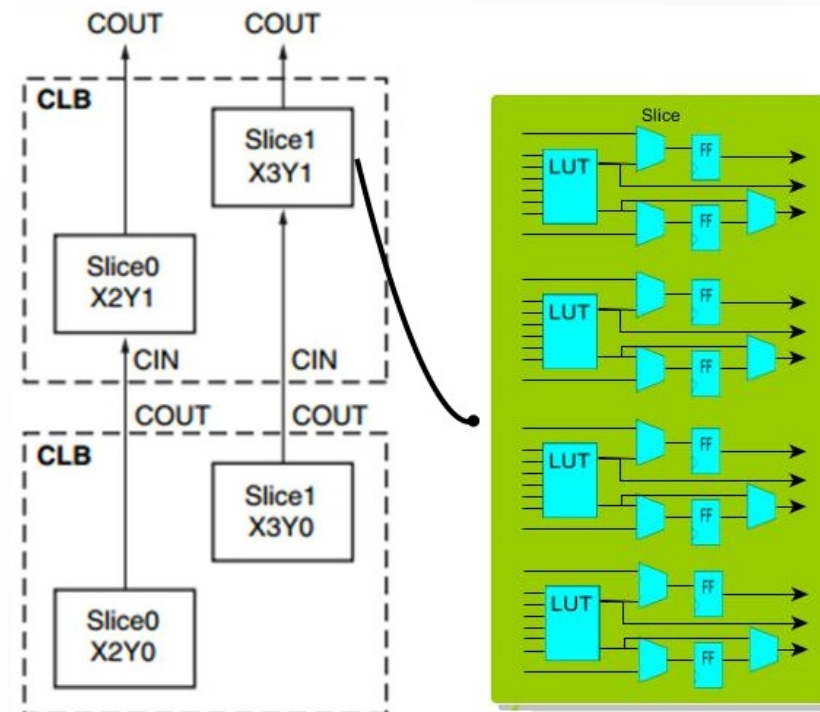
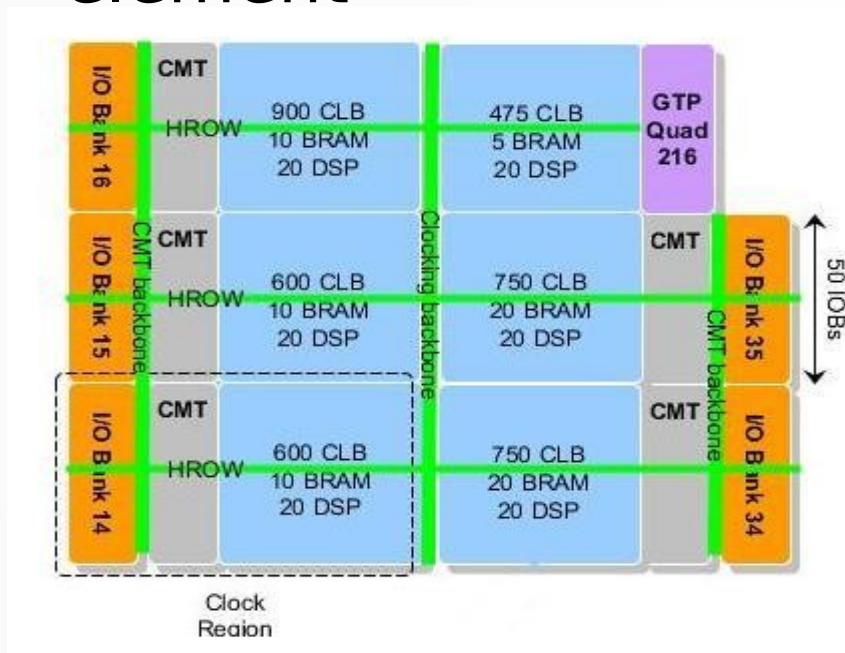


Xilinx Artix 7 FPGA

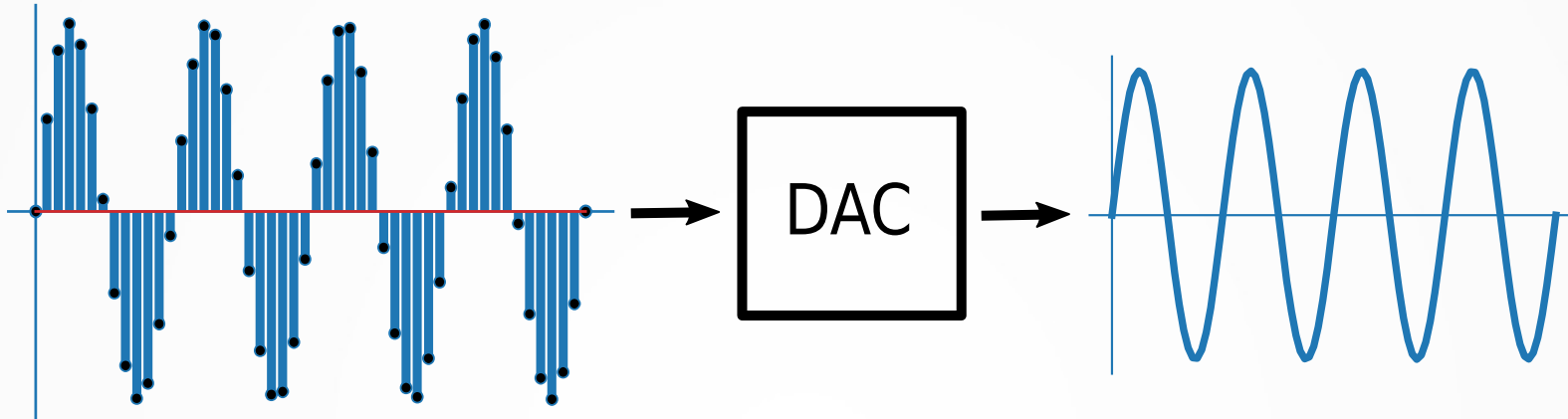
- Frequenza: 100MHz

FPGA Artix-7

- **F**ield **P**rogrammable **G**ate **A**rray: circuito integrato con elementi e interconnessioni configurabili
- Programmata con linguaggi di descrizione dell'hardware e un programma di sintesi
- Struttura regolare, gerarchica: CLB → slice → logic element



Sintesi digitale del suono



- Viene ricostruito attraverso un **digital-to-analog converter (DAC)**
- **Digital Direct Synthesis:** viene usata per generare il segnale digitale
- **DAC:** pulse-width modulation + low-pass filter
- Almeno 42000 Hz per t. campionamento

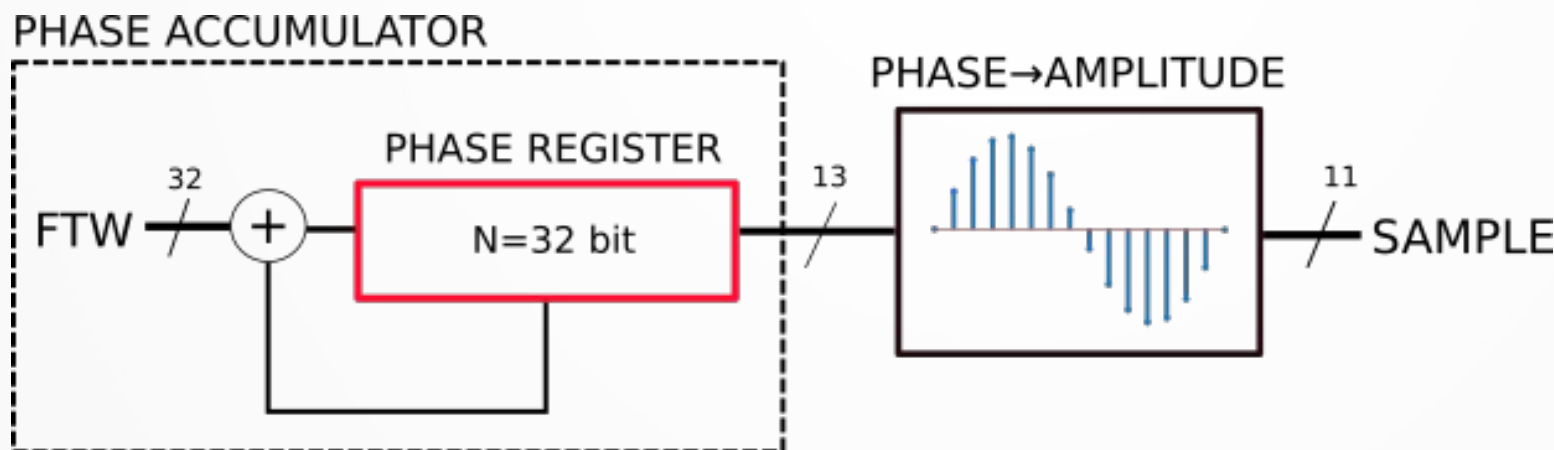
Sintesi digitale diretta (DDS)

- Cascata di **accumulatore di fase** e **convertitore fase-ampiezza**
- **Registro di fase:** ad ogni ciclo di clock viene incrementato della **frequency tuning word**

$$\begin{aligned} \phi(t) &= 2\pi ft & \xrightarrow{\quad} & F = 2^N \frac{\phi(k \cdot T_{clk})}{2\pi} \\ \downarrow \frac{d}{dt} & & \downarrow & \\ \phi'(t) &= 2\pi f & & FTW = 2^N f T_{clk} \end{aligned}$$

Frequenza d'uscita effettiva:

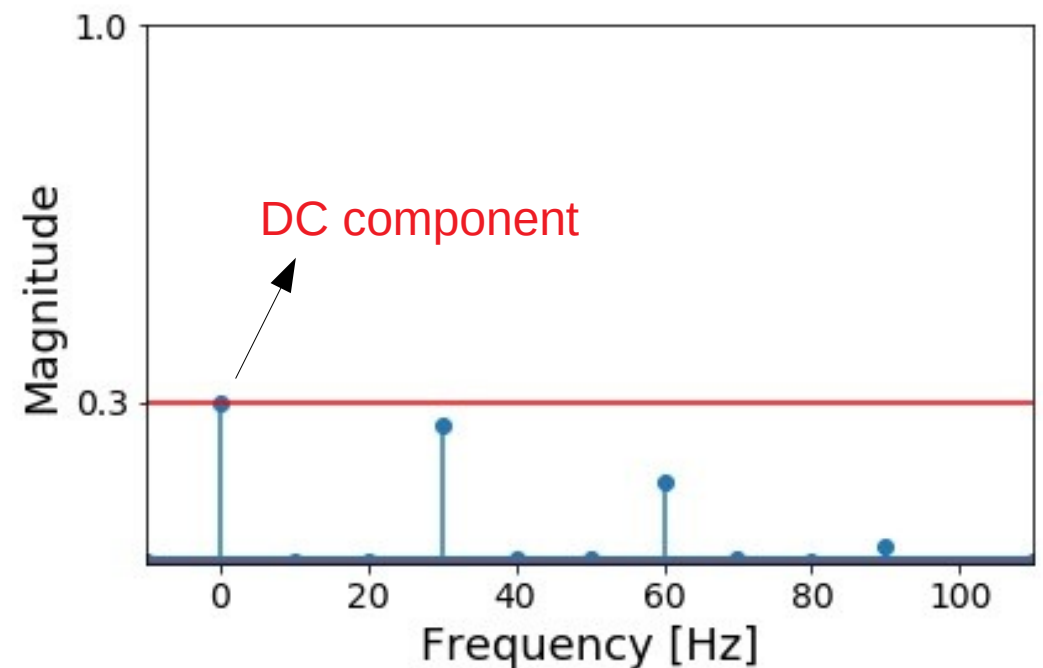
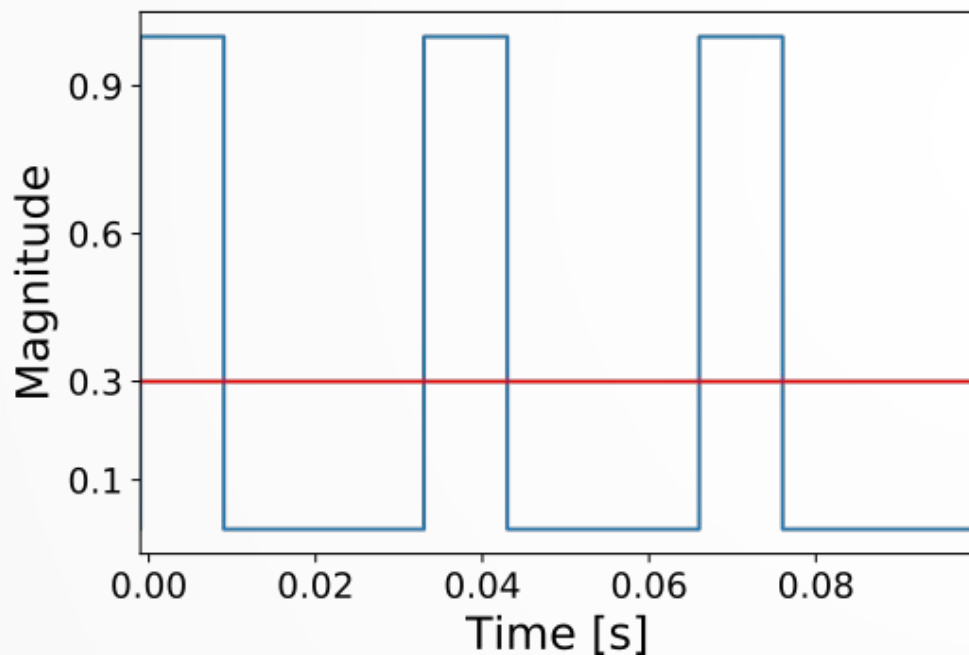
$$f_{out} = \frac{FTW}{2^N} f_{clk}$$



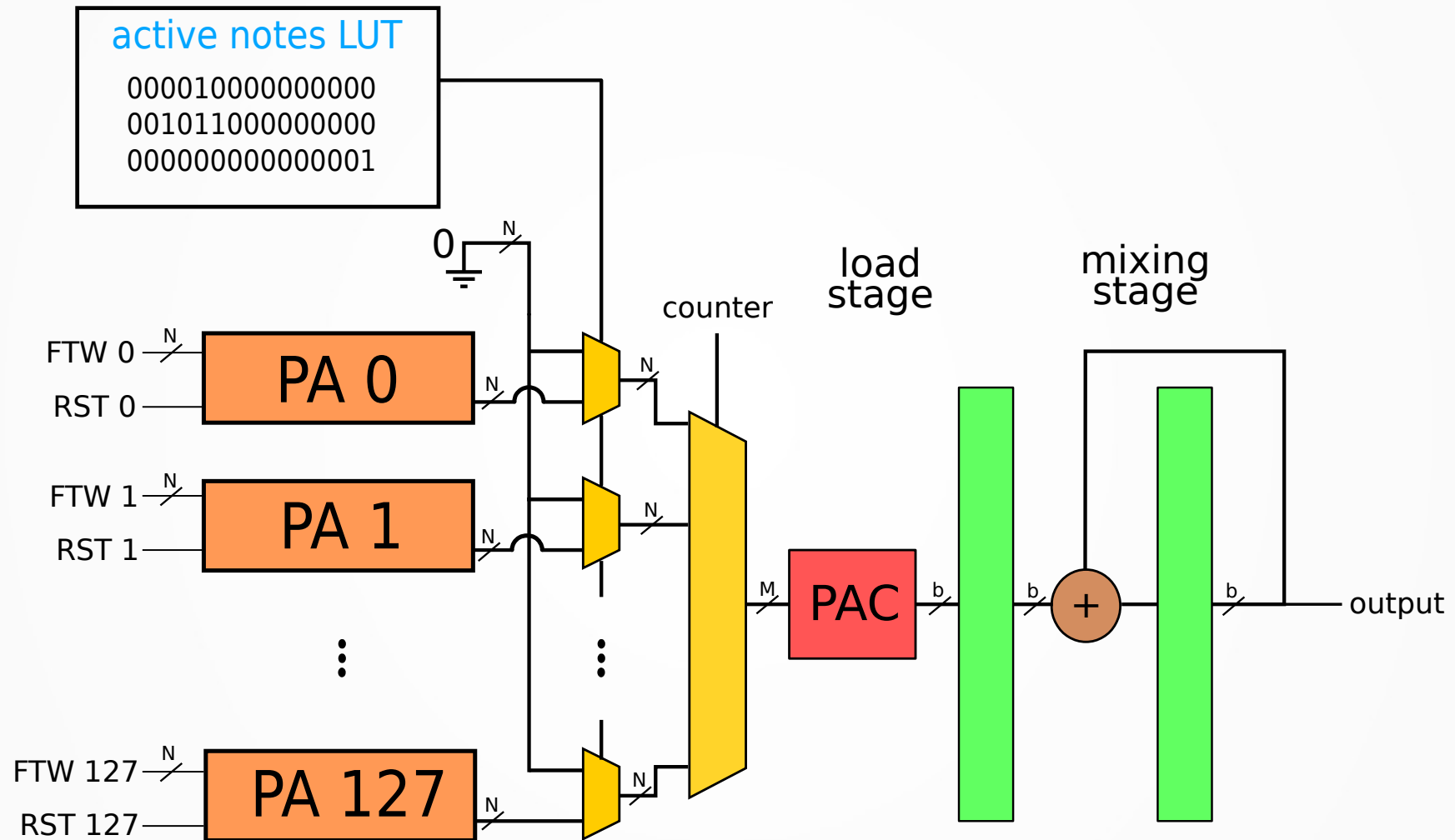
Pulse-Width Modulation

Esempio: generare un segnale costante $y=0.3$, $y \in [0,1]$

- Idea: onda quadra di **duty cycle 30%**, filtrata con un **filtro passa-basso** con $f_{cutoff} < f_{square}$

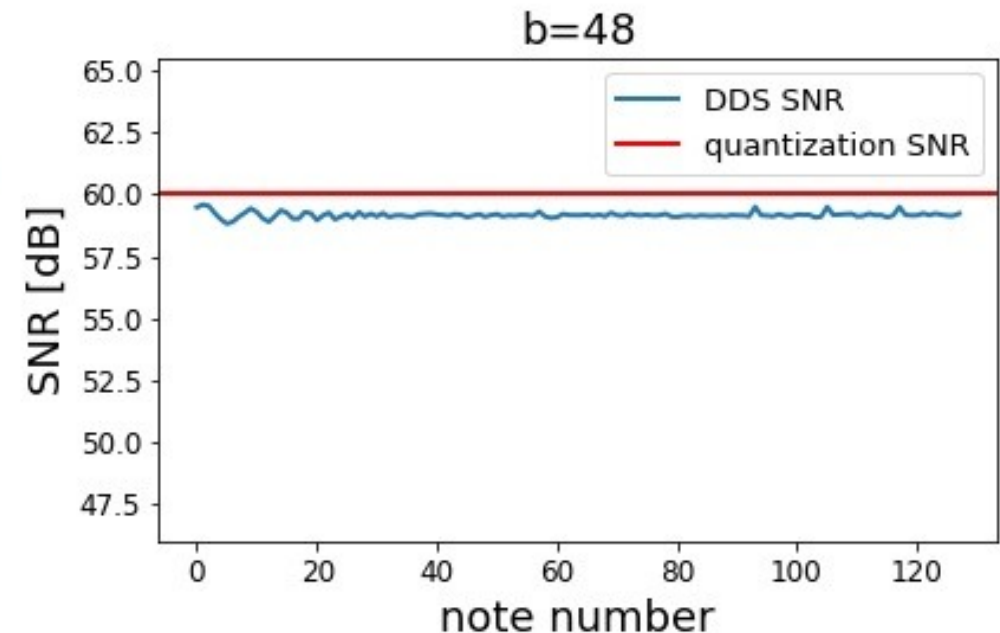
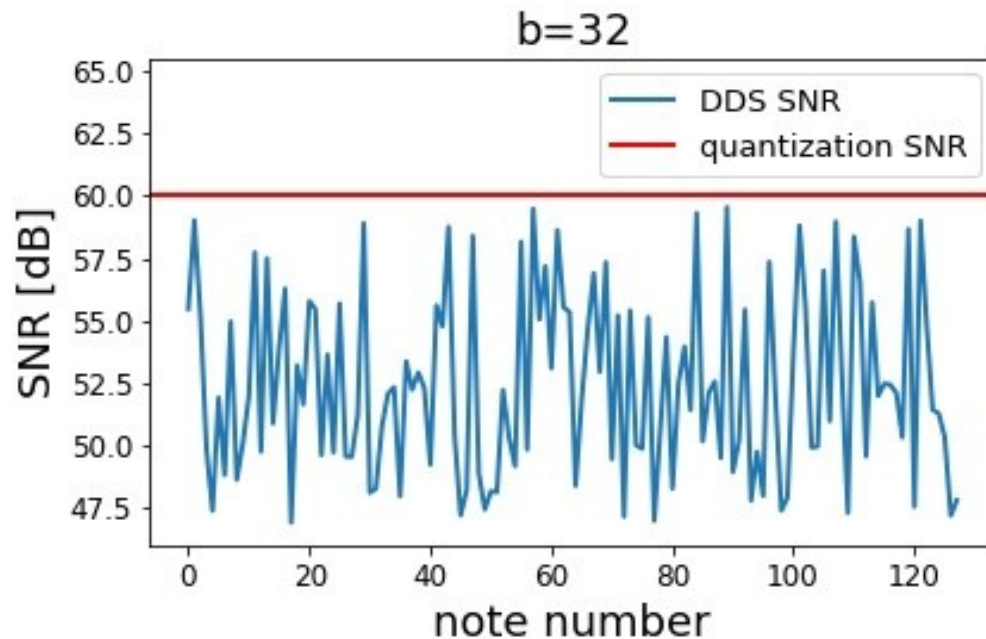


Polifonia: architettura del mixer



Qualità del segnale

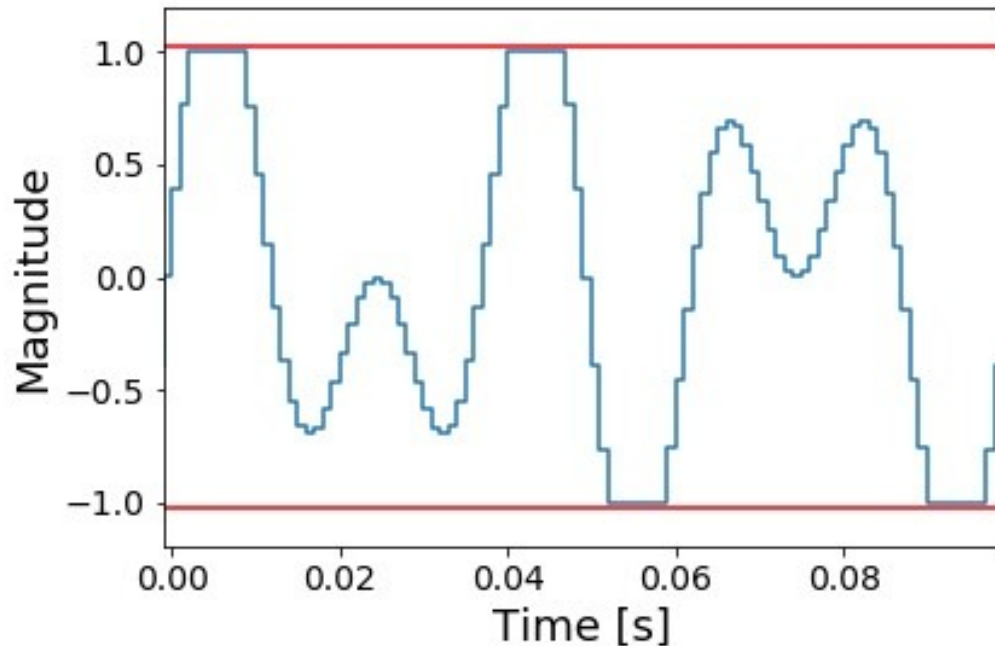
- **Errore di quantizzazione**
- **Errore di troncamento di fase**



- **Distorsione PWM:**

$$f_{pwm} > \pi f_{max} \Rightarrow f_{max} < \frac{48828 \text{ Hz}}{\pi} = 15542 \text{ Hz}$$

Il problema del clipping



- Overflow del segnale all'ingresso del DAC
- Mitigato usando forme d'onda a 40% volume massimo
- Altre soluzioni: compressione dinamica

Il problema del ritardo

- **Vincoli temporali:** tempo propagazione $< T_{\text{clk}} = 10\text{ns}$
- Prima soluzione: mixer iterativo
- Seconda soluzione: mixer iterativo + pipeline

Conclusioni

- Obiettivi raggiunti
 - sintetizzatore **polifonico**
 - **forma d'onda** programmabile
 - supporto al protocollo **MIDI**
- Possibili sviluppi
 - connessione MIDI diretta attraverso porte PMOD
 - intensità diversa per ogni singola nota