



Università degli Studi di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

Full-hardware implementation of Karplus-Strong algorithm on electronic PS/2 keyboard

Prof. Stefano Marsi

Raffaele Bernardi

r.bernardi.ts@gmail.com

Basilio Marco Matessi

basix86@gmail.com



Hotel Principi di Piemonte

Torino

13 settembre 2013

Obiettivo: Realizzare un generatore di suoni digitali

Date le disponibilità della scheda DE1, si sfrutta la presenza del codec audio integrato e della porta PS2 per poter comandare il sintetizzatore tramite una tastiera, *simulando il funzionamento di una pianola*



Dalla musica...

La musica è composta da **note** di frequenza arbitraria, nel tempo si è consolidato l'uso di dodici note (semitoni) per ottava

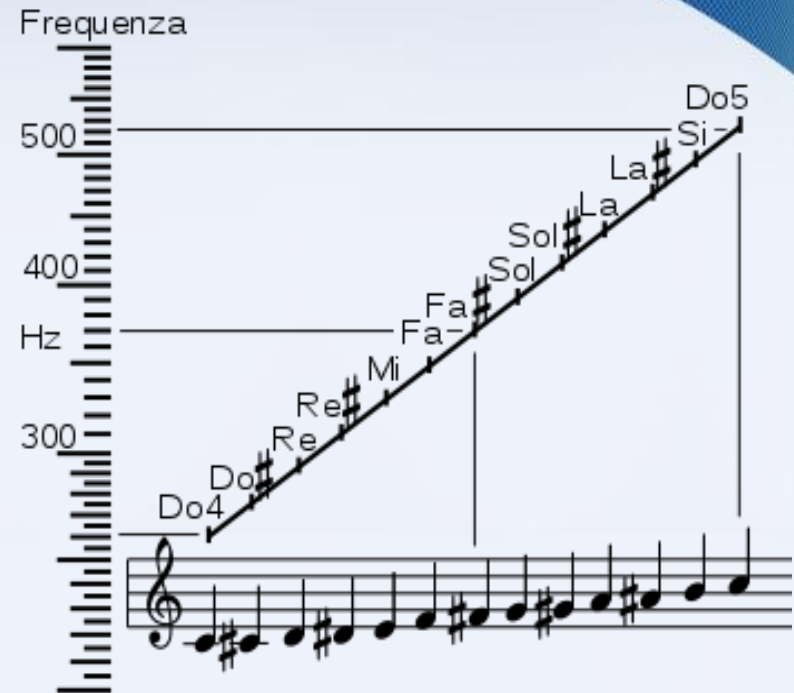
Ogni nota ha una propria *frequenza* calcolata a partire da una nota fondamentale (*la4* a 440Hz) la cui frequenza è stabilita per convenzione

Ogni nota è separata dal *la4* da un numero intero di semitoni

Ogni 12 semitoni (un'ottava) si ha un raddoppio di frequenza

Pertanto la frequenza di una nota che dista n semitoni dalla fondamentale è data dalla formula:

$$frequenza = 440 * 2^{n/12} \text{ Hz}$$



Dalla musica...



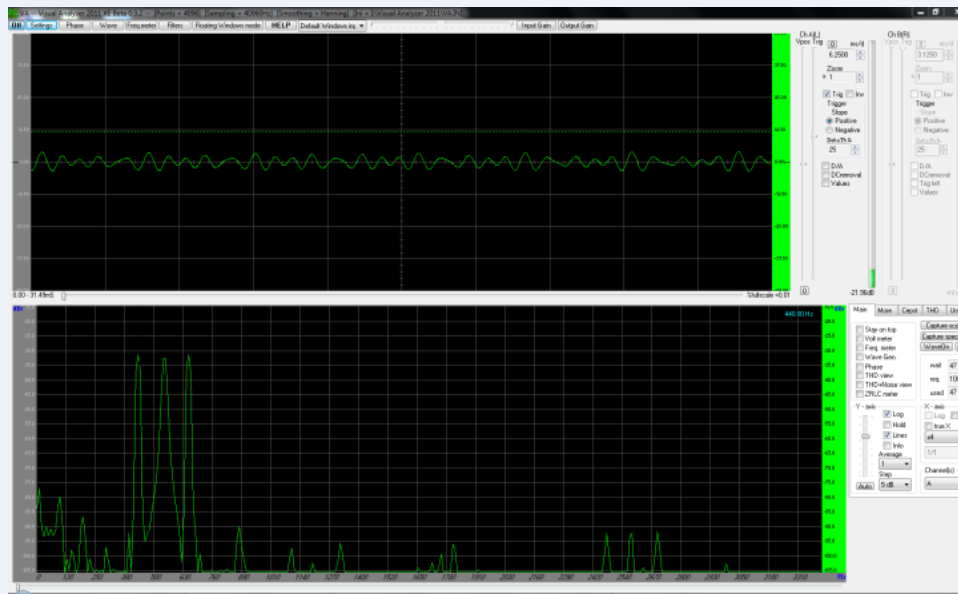
L'orecchio umano è in grado di percepire frequenze da circa 20 Hz a circa 20.000 Hz

| | -1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|-------|-------|--------|---------------|---------------|---------------|---------|---------|---------|----------|
| Do | 16.35 | 32.70 | 65.41 | 130.81 | 261.63 | 523.25 | 1046.50 | 2093.00 | 4186.01 | 8372.02 |
| Do# | 17.32 | 34.65 | 69.30 | 138.59 | 277.18 | 554.37 | 1108.73 | 2217.46 | 4434.92 | 8869.84 |
| Re | 18.35 | 36.71 | 73.42 | 146.83 | 293.66 | 587.33 | 1174.66 | 2349.32 | 4698.64 | 9397.27 |
| Re# | 19.45 | 38.89 | 77.78 | 155.56 | 311.13 | 622.25 | 1244.51 | 2489.02 | 4978.03 | 9956.06 |
| Mi | 20.60 | 41.20 | 82.41 | 164.81 | 329.63 | 659.26 | 1318.51 | 2637.02 | 5274.04 | 10548.08 |
| Fa | 21.83 | 43.65 | 87.31 | 174.61 | 349.23 | 698.46 | 1396.91 | 2793.83 | 5587.65 | 11175.30 |
| Fa# | 23.12 | 46.25 | 92.50 | 185.00 | 369.99 | 739.99 | 1479.98 | 2959.96 | 5919.91 | 11839.82 |
| Sol | 24.50 | 49.00 | 98.00 | 196.00 | 392.00 | 783.99 | 1567.98 | 3135.96 | 6271.93 | 12543.85 |
| Sol# | 25.96 | 51.91 | 103.83 | 207.65 | 415.30 | 830.61 | 1661.22 | 3322.44 | 6644.88 | 13289.75 |
| La | 27.50 | 55.00 | 110.00 | 220.00 | 440.00 | 880.00 | 1760.00 | 3520.00 | 7040.00 | 14080.00 |
| La# | 29.14 | 58.27 | 116.54 | 233.08 | 466.16 | 932.33 | 1864.66 | 3729.31 | 7458.62 | 14917.24 |
| Si | 30.87 | 61.74 | 123.47 | 246.94 | 493.88 | 987.77 | 1975.53 | 3951.07 | 7902.13 | 15804.27 |

...alla generazione dei campioni

Constatato che ad ogni nota corrisponde un segnale di frequenza definita, associamo ad ogni nota una sinusoide di tale frequenza

Si utilizza un analizzatore di spettro (in questo caso il software *Visual Analyzer*) per verificare la correttezza dei segnali

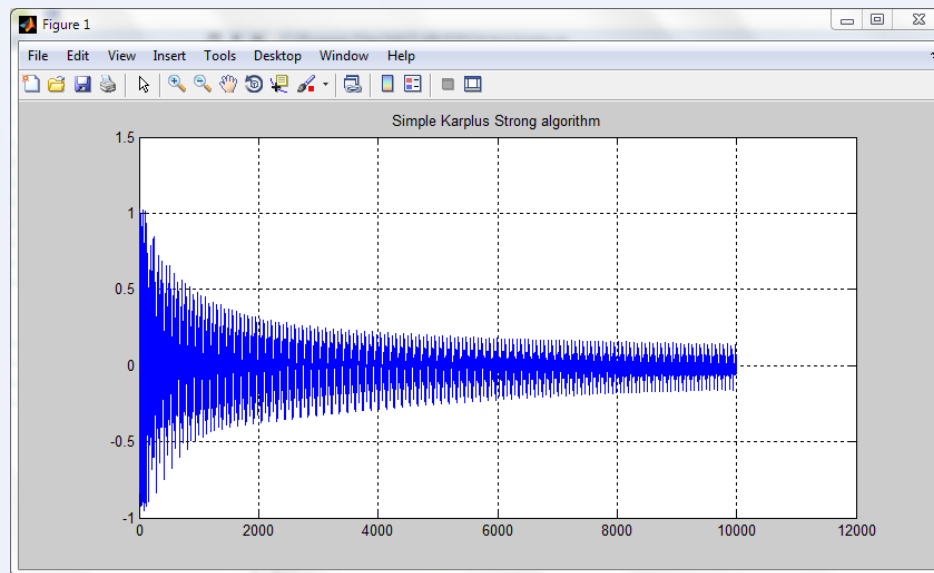


...alla generazione dei campioni

Passo successivo:

Suono **puro**  Suono **'reale'**

L'algoritmo di Karplus-Strong(*) permette di simulare suoni di corde plectrate, simil chitarra



(*) pubblicato nel 1983 da Kevin Karplus e Alex Strong sul *Computer Music Journal* (MIT Press) nell'articolo *Digital synthesis of plucked-string and drum timbres*

Algoritmo di Karplus-Strong



Funzionamento:

- Si genera una forma d'onda d'inesco (di N campioni).

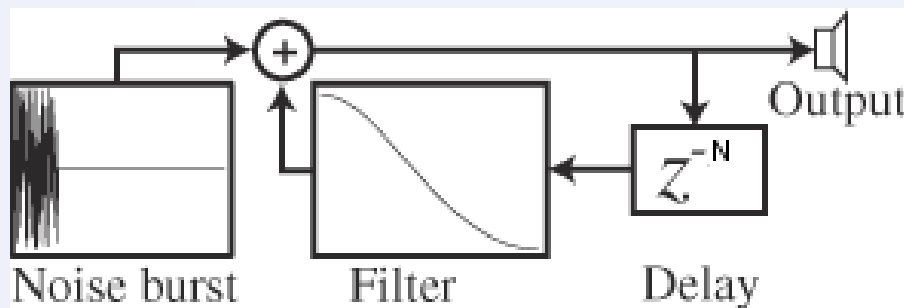
Nell'algoritmo originale è stato utilizzato un rumore bianco, ma può essere usato un qualunque segnale a banda larga, come un ciclo di dente di sega o onda quadra;

- Questo segnale viene posto in uscita e contemporaneamente reinserito nel circuito tramite una linea di ritardo lunga N campioni;

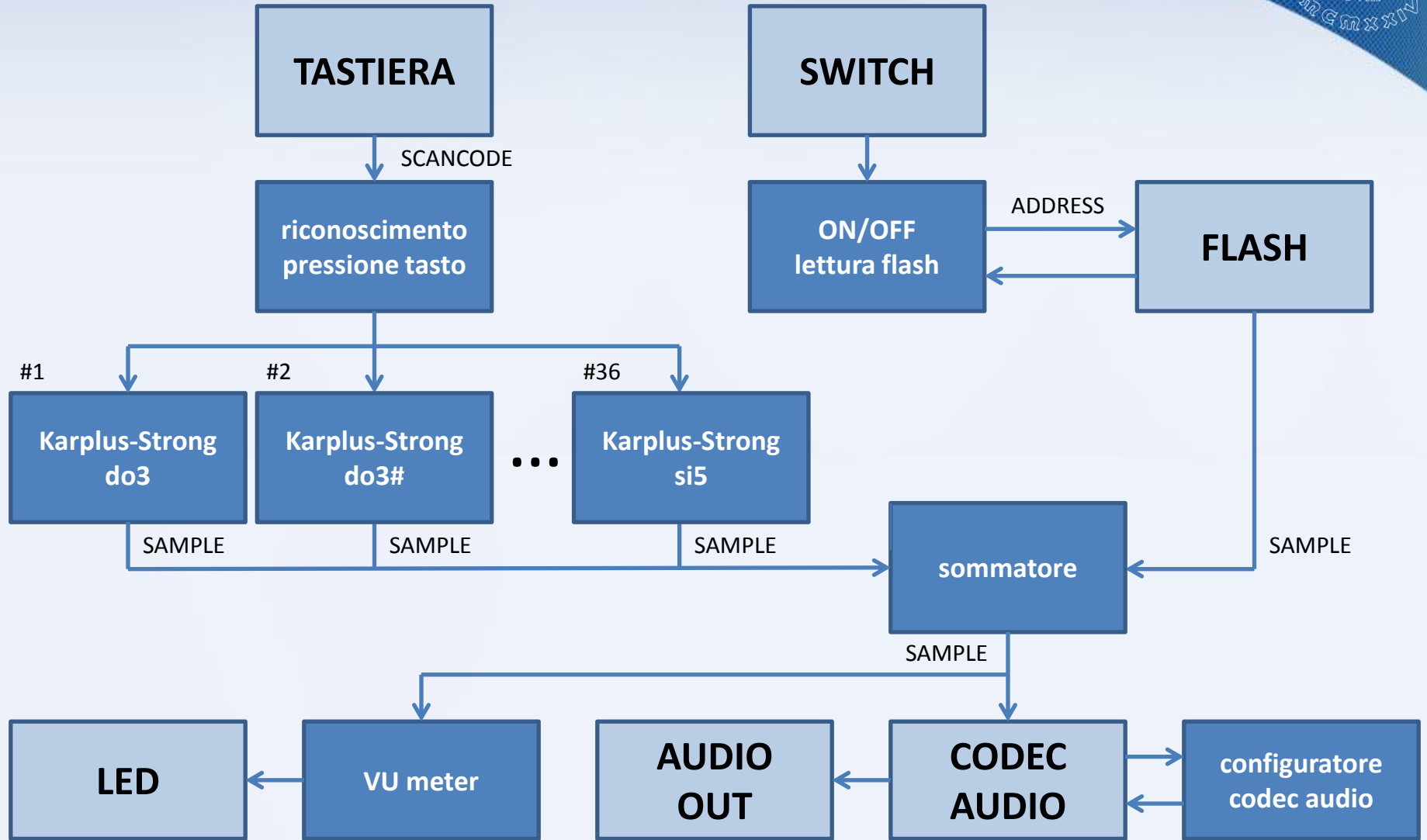
- L'uscita della linea di ritardo è alimentata attraverso un filtro.

Il guadagno del filtro deve essere inferiore ad 1 a tutte le frequenze, per non portare l'uscita della retroazione positiva a divergenza;

- L'uscita del filtro viene posta sia in uscita, che re-immessa nel loop di ritardo.



Idea di base



Full-hardware implementation of Karplus-Strong algorithm on electronic PS/2 keyboard

R. Bernardi
B. M. Matessi

La tastiera *musicale*



La tastiera così realizzata implementa 3 ottave (36 semitoni)
dal **do₃** (130.81 Hz) al **si₅** (987.77 Hz)



La tastiera musicale

| | |
|------|------|
| 1 | 2 |
| do3# | re3# |
| | |
| | |

| | | |
|------|-------|------|
| 4 | 5 | 6 |
| fa3# | sol3# | la3# |
| | | |
| | | |

| | |
|------|------|
| 8 | 9 |
| do4# | re4# |
| | |
| | |

| | | |
|------|-------|------|
| ? | ^ | ù |
| fa4# | sol4# | la4# |
| | | |
| | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-------|
| tab | Q | W | E | R | T | Y | U | I | O | P | è | * | invio |
| do3 | re3 | mi3 | fa3 | sol3 | la3 | si3 | do4 | re4 | mi4 | fa4 | sol4 | la4 | si4 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

| | |
|------|------|
| A | S |
| do5# | re5# |
| | |
| | |

| | | |
|------|-------|------|
| F | G | H |
| fa5# | sol5# | la5# |
| | | |
| | | |

| | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| > | Z | X | C | V | B | N |
| do5 | re5 | mi5 | fa5 | sol5 | la5 | si5 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |



La tastiera PS2

Funzionamento:

La pressione ed il rilascio di un tasto innesca l'invio del relativo scancode

Se lo scancode ricevuto è associato ad uno dei tasti visti precedentemente, il relativo blocco avvia la generazione dei campioni

La pressione dei rimanenti tasti viene ignorata

Possibilità di poter usare
simultaneamente più tasti



Accordi

La tastiera PS2 - Keyboard Ghosting

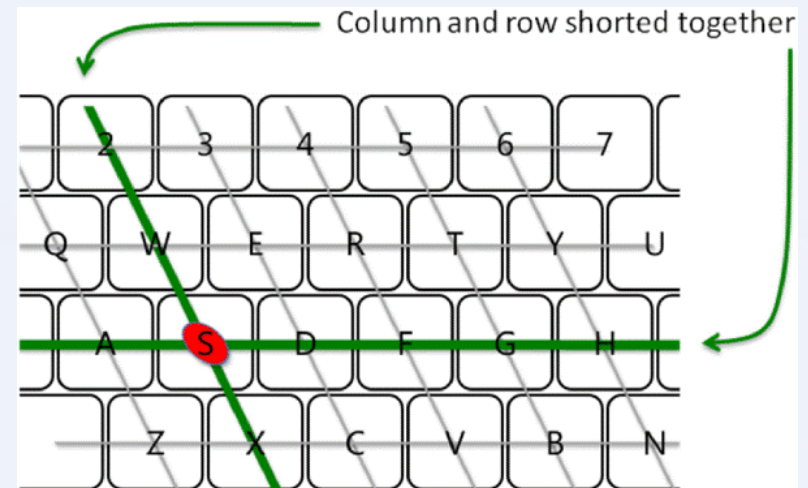
L'utilizzo simultaneo di più tasti introduce il problema del *keyboard ghosting* (rollover key)

La tastiera è organizzata elettricamente come una matrice di linee che si incrociano

Ad ogni intersezione è posizionato un interruttore su cui si trova un tasto

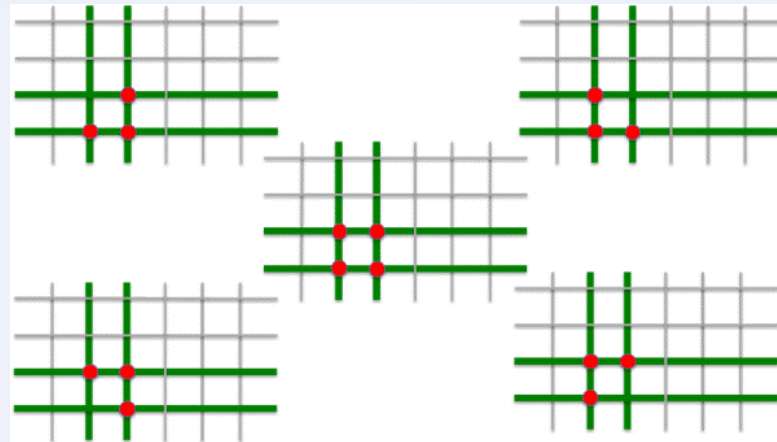
La pressione del tasto chiude l'interruttore

All'interno della tastiera è presente un microcontrollore che eseguendo periodicamente una scansione riga/colonna individua il tasto premuto/rilasciato ed invia il relativo scancode tramite il bus PS2



La tastiera PS2 - Keyboard Ghosting

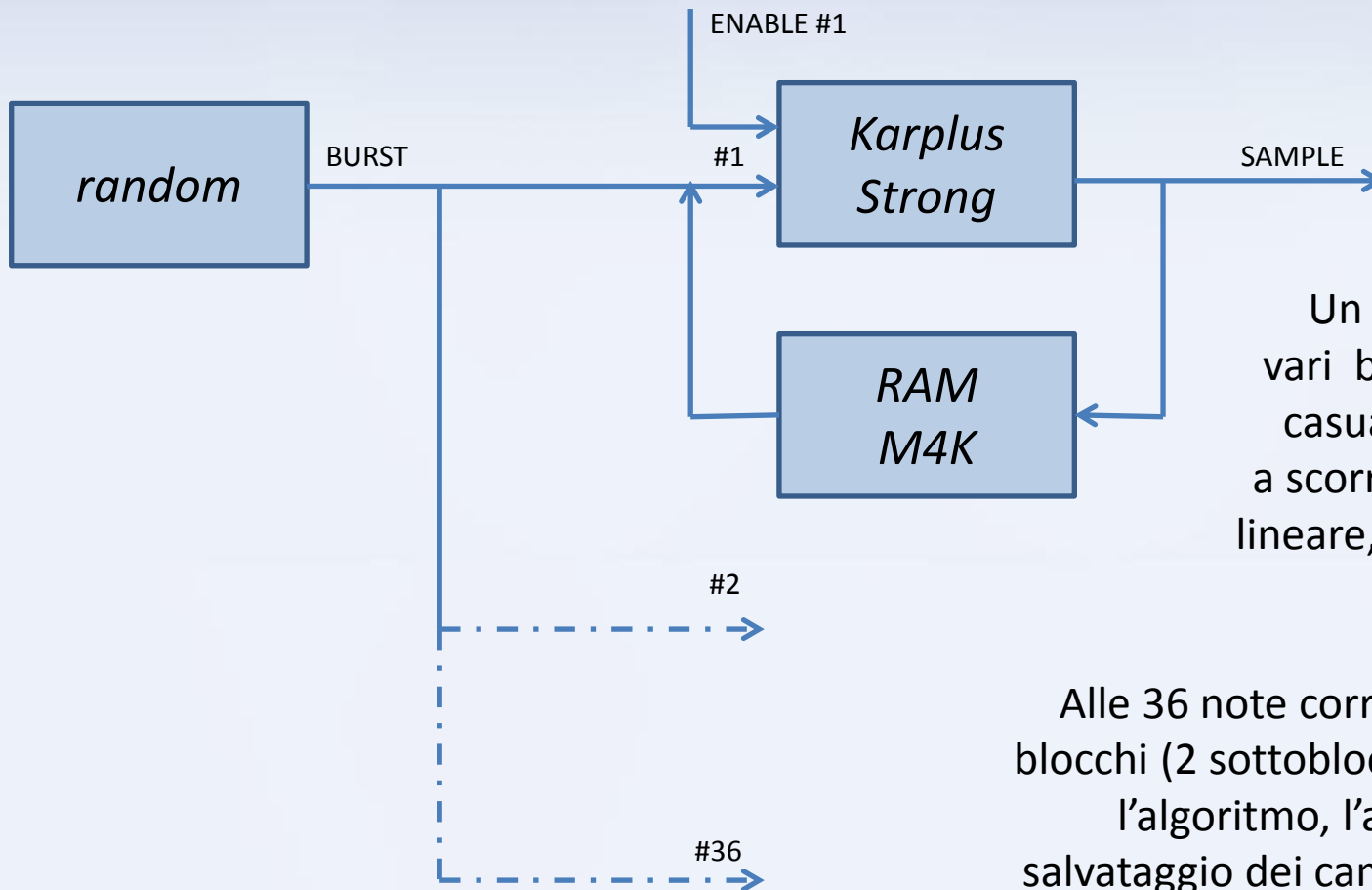
Conseguenza: le seguenti **configurazioni** sono **indistinguibili!**



L'aggiunta di linee o la sostituzione della struttura a matrice con una serie di transistor potrebbero rappresentare una soluzione.

In commercio esistono tastiere dedicate al gaming che non presentano il problema (*full n-key rollover*)

La generazione dei campioni



Un modulo condiviso dai vari blocchi genera numeri casuali tramite un registro a scorrimento a retroazione lineare, necessari all'innesco dell'algoritmo

Alle 36 note corrispondono altrettanti blocchi (2 sottoblocchi, uno implementa l'algoritmo, l'altro è un buffer per il salvataggio dei campioni necessario alla retroazione) che implementano l'algoritmo

La generazione dei campioni

Questi 36 blocchi differiscono tra di loro per il parametro **N** che corrisponde alla lunghezza della linea di ritardo e di conseguenza anche alla dimensione del buffer

$$N = \frac{f_{\text{CAMPIONAMENTO}}}{f_{\text{NOTA}}}$$

con

$$f_{\text{CAMPIONAMENTO}} = 48\text{kHz}$$

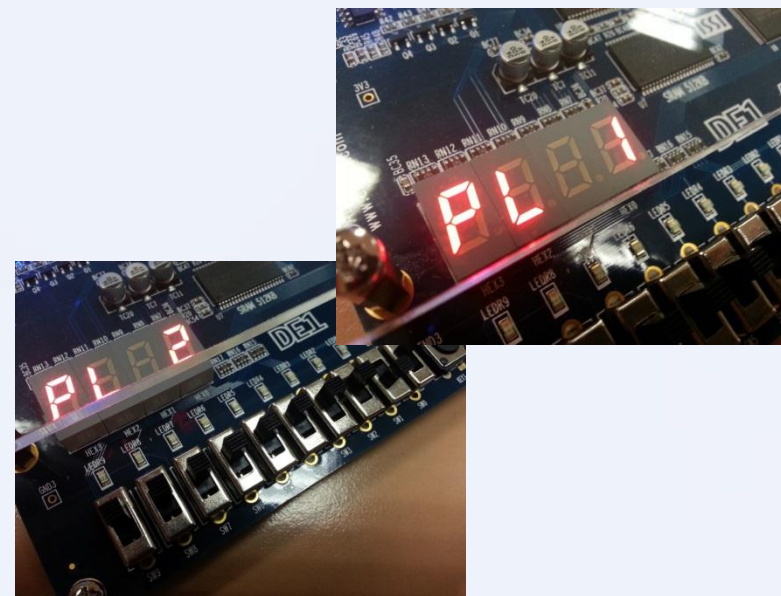
| | Hz | | | N | | |
|-------------|--------|--------|--------|-----|-----|----|
| | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 5 |
| <i>Do</i> | 130.81 | 261.63 | 523.25 | 367 | 183 | 92 |
| <i>Do#</i> | 138.59 | 277.18 | 554.37 | 346 | 173 | 87 |
| <i>Re</i> | 146.83 | 293.66 | 587.33 | 327 | 163 | 82 |
| <i>Re#</i> | 155.56 | 311.13 | 622.25 | 309 | 154 | 77 |
| <i>Mi</i> | 164.81 | 329.63 | 659.26 | 291 | 146 | 73 |
| <i>Fa</i> | 174.61 | 349.23 | 698.46 | 275 | 137 | 69 |
| <i>Fa#</i> | 185.00 | 369.99 | 739.99 | 259 | 130 | 65 |
| <i>Sol</i> | 196.00 | 392.00 | 783.99 | 245 | 122 | 61 |
| <i>Sol#</i> | 207.65 | 415.30 | 830.61 | 231 | 116 | 58 |
| <i>La</i> | 220.00 | 440.00 | 880.00 | 218 | 109 | 55 |
| <i>La#</i> | 233.08 | 466.16 | 932.33 | 206 | 103 | 51 |
| <i>Si</i> | 246.94 | 493.88 | 987.77 | 194 | 97 | 49 |

Le basi musicali e il VU meter

Sono inoltre presenti due **basi musicali** precaricate, memorizzate sulla memoria flash della scheda con lo stesso formato dei campioni, PCM a 16 bit, 48kHz, mono

Mediante due switch è possibile scegliere se suonare con o senza accompagnamento e, nel primo caso, con quale base

Sui display a 7 segmenti si visualizza la configurazione in uso



I 18 led della scheda rappresentano l'intensità del segnale audio prodotto

Grazie per l'attenzione