

# SIM - Sistemi intonazione musicale

## Documentazione Completa v1.2

**Autore:** LUCA BIMBI

**Data:** 30 Agosto 2025

**Versione:** 1.2

---

## Indice

1. Introduzione
  2. Requisiti e Installazione
  3. Caratteristiche Principali
  4. Parametri della Riga di Comando
  5. Sistemi di Accordatura
  6. File di Output
  7. Esempi di Utilizzo
  8. Dettagli Tecnici
  9. Formule Matematiche
  10. Note e Limitazioni
- 

## Introduzione

SIM - Sistemi intonazione musicale è un generatore avanzato di parametri e rapporti per la costruzione di tabelle di intonazione musicale. Il programma è particolarmente utile per compositori e ricercatori che lavorano con sistemi di intonazione non standard in Csound attraverso l'opcode `cpstun`.

## Scopo Principale

Il software genera: - Tabelle di accordatura per Csound (formato GEN -2 non normalizzato) - File TUN per software compatibili (AnaMark .TUN) - Tabelle comparative con 12-TET, serie armonica e serie subarmonica - Esportazioni in formato testo ed Excel

## Sistemi Supportati

1. **Temperamento Equabile (ET)** - Divisione personalizzabile di un intervallo
  2. **Sistema Geometrico** - Progressione geometrica basata su generatore
  3. **Intonazione Naturale (4:5:6)** - Sistema basato su rapporti armonici
  4. **Sistema Danielou** - Intonazione microtonale secondo Danielou (1907)
- 

## Requisiti e Installazione

### Requisiti Minimi

- **Python:** 3.10 o superiore (richiesto per l'uso di `|` nelle annotazioni di tipo)
- **Moduli Standard Python:**
  - `argparse`
  - `sys`
  - `math`
  - `fractions`
  - `re`
  - `os`
  - `typing`

**Nota:** Per Python < 3.10, è necessario modificare le annotazioni di tipo sostituendo `float | Fraction` con `Union[float, Fraction]` e importando `Union` da `typing`.

### Dipendenze Opzionali

- **openpyxl:** Per esportazione in formato Excel (.xlsx)

```
pip install openpyxl
```

## Installazione

1. Salvare il file `sim.py` in una directory locale
  2. Rendere il file eseguibile (su sistemi Unix-like):  

```
chmod +x sim.py
```
  3. Installare le dipendenze opzionali se necessario
- 

## Caratteristiche Principali

### 1. Generazione Tabelle Csound

Crea automaticamente tabelle `cpstun` in formato GEN -2 con: - Numero di gradi (numgrades) - Intervallo di ripetizione (interval) - Frequenza base (basefreq) - Nota MIDI base (basekey) - Rapporti di frequenza (ratios)

### 2. Conversione Note

- Supporta nomi di nota (es. "A4", "F#2", "Bb3")
- Conversione automatica in frequenze Hz
- Diapason personalizzabile (default: 440 Hz)

### 3. Riduzione all'Ottava

- Opzione per ridurre i rapporti nell'intervallo [1, 2)
- Flag `--no-reduce` per mantenere rapporti non ridotti

### 4. Esportazione Multipla

- File `.csd` (Csound)
- File `.tun` (AnaMark TUN)
- Tabelle comparative `.txt` e `.xlsx`
- Tabelle di sistema con Step, MIDI, Ratio, Hz

### 5. Analisi Comparativa

Confronto automatico con: - 12-TET (temperamento equabile a 12 toni) - Serie armonica - Serie subarmonica - Calcolo delle differenze in Hz - Evidenziazione delle prossimità (< 17 Hz)

Opzioni di confronto: - `--compare-fund`: imposta la fondamentale per la serie armonica e per l'ancoraggio della griglia 12TET (default: `--basenote`). - `--compare-tet-align {same, nearest}`: - `same`: il 12TET parte dalla fondamentale di confronto e avanza di semitono in semitono ( $i = \text{step}$ ). - `nearest`: per ogni valore Custom viene scelto il grado 12TET più vicino nella griglia ancorata alla fondamentale di confronto. - `--subharm-fund`: imposta la fondamentale per la serie subarmonica (default: A4 del diapason corrente, es. 440 Hz).

---

## Parametri della Riga di Comando

### Parametri Generali

Parametro	Tipo	Default	Descrizione
<code>--basenote</code>	nota/Hz	C4	Nota di riferimento (es. "A4") o frequenza in Hz (ora opzionale; default: C4)
<code>--basekey</code>	int	60	Nota MIDI base per tabella <code>cpstun</code> (60 = C4)
<code>--diapason</code>	float	440	Diapason di riferimento in Hz
<code>-v, --version</code>	-	-	Visualizza versione del programma
<code>--export-tun</code>	flag	-	Esporta file <code>.tun</code> con 128 note MIDI
<code>--no-reduce</code>	flag	-	Non riduce i rapporti all'ottava

Parametro	Tipo	Default	Descrizione
<code>--compare-fund</code>	nota/Hz	basenote	Fondamentale per confronto serie armonica e ancoraggio 12TET
<code>--compare-tet-align</code>	enum	“same”	Allineamento 12TET: <b>same</b> dalla fondamentale o <b>nearest</b> nota più vicina
<code>--subharm-fund</code>	nota/Hz	A4 (diapason)	Fondamentale per serie subarmonica
<code>output_file</code>	string	richiesto	Nome base per i file di output

## Parametri Sistema

### Temperamento Equabile

`--et INDEX CENTS`

- INDEX: Indice della radice (es. 12 per 12-TET)
- CENTS: Ampiezza in cents o frazione (es. 1200 o  $3/2$ )

### Sistema Geometrico

`--geometric GENERATORE PASSI`

- GENERATORE: Rapporto generatore (intero, frazione o float)
- PASSI: Numero di passi ( $> 0$ )

### Sistema Naturale

`--natural A_MAX B_MAX`

- A\_MAX: Esponente massimo per  $(3/2)^a$
- B\_MAX: Esponente massimo per  $(5/4)^b$

### Sistema Danielou

`--danielou [a,b,c]` # Sottoinsieme predefinito se omissso; con a,b,c genera un singolo rapporto (default: 0,0,1)  
`--danielou-all` # Griglia completa (fino a 53 rapporti)

## Sistemi di Accordatura

### 1. Temperamento Equabile (ET)

**Formula:**  $r = (2^{(\text{cents}/1200)})^{(1/\text{index})}$

Divide un intervallo (solitamente l’ottava) in parti uguali su scala logaritmica.

**Esempio 12-TET:**

```
python3 sim.py --et 12 1200 output_12tet
```

### 2. Sistema Geometrico

**Formula:**  $\text{ratio}[i] = \text{generatore}^i$

Genera una progressione geometrica basata su un rapporto generatore.

**Caratteristiche:** - Riduzione all’ottava attiva di default - Supporta generatori razionali (es.  $3/2$  per quinte) - Opzione `--no-reduce` per mantenere progressione crescente

**Esempio Ciclo delle Quinte:**

```
python3 sim.py --geometric 3/2 12 output_quinte
```

### 3. Sistema Naturale (4:5:6)

**Formula:**  $\text{ratio} = ((3/2)^a) * ((5/4)^b)$

Dove: - a -> [-A\_MAX, A\_MAX] - b -> [-B\_MAX, B\_MAX]

Genera rapporti basati su terze maggiori (5/4) e quinte giuste (3/2).

**Esempio:**

```
python3 sim.py --natural 3 3 output_natural
```

### 4. Sistema Danielou

**Formula:**  $\text{ratio} = ((6/5)^a) * ((3/2)^b) * (2^c)$

Dove c è usato per la riduzione all'ottava.

**Tre modalità:**

#### 1. Sottoinsieme (default):

- Tonica (1/1)
- Asse delle quinte (a=0, b=-5..5)
- Tre terze minori armoniche successive
- Tre seste maggiori armoniche successive

#### 2. Griglia completa (--danielou-all):

- a -> [-3, 3]
- b -> [-5, 5]
- Fino a 53 rapporti dopo riduzione

#### 3. Esponenti espliciti (--danielou a,b,c):

- Specifica i tre esponenti (a,b,c) per generare un singolo rapporto
- Compatibile con --no-reduce per disattivare la riduzione in ottava

**Esempio:**

```
# Sottoinsieme
```

```
python3 sim.py --danielou output_danielou
```

```
# Griglia completa
```

```
python3 sim.py --danielou-all output_danielou_full
```

```
# Esponenti espliciti: a=1, b=2, c=-1
```

```
python3 sim.py --danielou 1,2,-1 output_danielou_exp
```

---

## File di Output

### 1. File Csound (.csd)

**Formato:** <output\_file>.csd

Contiene tabelle cpstun in formato GEN -2:

```
;          numgrades basefreq rapporti-di-intonazione .....
;          interval basekey
; tabella cpstun generata automaticamente | basekey=60 basefrequency=440.000000Hz
f 1 0 16 -2 12 2.0 440.0 60 1.0 1.059463 1.122462 ...
```

**Struttura dati:** - numgrades: numero di rapporti - interval: 2.0 per ottava, 0.0 se non definibile - basefreq: frequenza base in Hz - basekey: nota MIDI di riferimento - ratios: lista dei rapporti di frequenza

### 2. File TUN (.tun)

**Formato:** <output\_file>.tun

File AnaMark TUN con mappatura di tutte le 128 note MIDI:

```
[Tuning]
```

```
FormatVersion=1
```

Name=Generated by SIM - Sistemi intonazione musicale 1.0

```
[Exact Tuning]
; basekey=60 basefrequency=440.000000Hz
Note 0=8.1757989156 Hz
Note 1=8.6619572180 Hz
...
Note 127=12543.8539514 Hz
```

### 3. Tabelle di Sistema

File testo: <output\_file>\_system.txt

Step	MIDI	Ratio	Hz
0	60	1.0000000000	440.000000
1	61	1.0594630944	466.163762
...			

Nota: le colonne sono allineate a larghezza fissa (padding con spazi) per migliorare la leggibilità.

**File Excel:** <output\_file>\_system.xlsx (se openpyxl installato) - Formattazione con header in grassetto - Sfondo grigio per intestazioni

### 4. Tabelle Comparative

File testo: <output\_file>\_compare.txt

Step	MIDI	Ratio	Custom_Hz	Harmonic_Hz	DeltaHz_Harm		
Subharm_Hz		DeltaHz_Sub	TET_Hz	DeltaHz_TET			
0	60	1.0000000000	440.000000	440.000000	0.000000	440.000000	0.000000
...							

Nota: anche per il confronto le colonne sono allineate a larghezza fissa (padding con spazi) e quando Custom e Harmonic sono molto vicini viene aggiunto il simbolo “ ”.

**File Excel:** <output\_file>\_compare.xlsx (se openpyxl installato) - Colori distintivi: - Rosso chiaro: Custom - Verde chiaro: Harmonic - Giallo chiaro: Subharmonic - Blu chiaro: TET - Grassetto per differenze < 17 Hz tra Custom e Harmonic

---

## Esempi di Utilizzo

#### Esempio 1: 12-TET Standard

```
python3 sim.py \
  --basekey 60 \
  --basenote A4 \
  --diapason 440 \
  --et 12 1200 \
  output_12tet
```

#### Esempio 2: Scala Pitagorica (12 quinte)

```
python3 sim.py \
  --basekey 60 \
  --basenote 261.63 \
  --geometric 3/2 12 \
  output_pythagorean
```

#### Esempio 3: Sistema Naturale Esteso

```
python3 sim.py \
  --basekey 48 \
  --basenote C3 \
  --natural 5 5 \
  --export-tun \
  output_natural_extended
```

## Esempio 4: Danielou con Export Completo

```
python3 sim.py \  
  --basekey 60 \  
  --basenote 440 \  
  --danielou-all \  
  --export-tun \  
  output_danielou_complete
```

## Esempio 5: Progressione Geometrica Non Ridotta

```
python3 sim.py \  
  --basekey 60 \  
  --basenote 440 \  
  --geometric 4/3 8 \  
  --no-reduce \  
  output_fourths_unreduced
```

---

## Dettagli Tecnici

### Conversione Note-MIDI

Il programma converte automaticamente i nomi delle note in valori MIDI:

Nota	MIDI	Frequenza (A4=440)
C4	60	261.63 Hz
A4	69	440.00 Hz
C5	72	523.25 Hz

**Formato supportato:** - Note naturali: C, D, E, F, G, A, B - Alterazioni: # (diesis), b (bemolle) - Ottave: 0-9

### Conversione Cents-Rapporti

**Da rapporto a cents:**

```
cents = log(ratio) * 1200 / log(2)
```

**Da cents a rapporto:**

```
ratio = 2^(cents/1200)
```

### Riduzione all'Ottava

Algoritmo per ridurre un rapporto nell'intervallo [1, 2):

```
while ratio >= 2.0:  
    ratio /= 2.0  
while ratio < 1.0:  
    ratio *= 2.0
```

### Gestione Frazioni

Il programma supporta l'input di frazioni razionali: - Input: 3/2, 7/4, 16/9 - Conversione automatica in float per calcoli - Precisione mantenuta dove possibile

---

## Formule Matematiche

### Temperamento Equabile

Per un temperamento a  $n$  divisioni di un intervallo di  $c$  cents:

$$r_k = 2^{\frac{k \cdot c}{n \cdot 1200}}$$

dove  $k$  è l'indice del grado ( $0 \leq k < n$ ).

### Sistema Geometrico

Per un generatore  $g$  e  $n$  passi:

$$r_k = g^k$$

Con riduzione all'ottava:

$$r'_k = g^k \cdot 2^{-\lfloor \log_2(g^k) \rfloor}$$

### Sistema Naturale

$$r_{a,b} = \left(\frac{3}{2}\right)^a \cdot \left(\frac{5}{4}\right)^b$$

dove:  $a \in [-A_{\max}, A_{\max}]$  -  $b \in [-B_{\max}, B_{\max}]$

### Sistema Danielou

$$r_{a,b} = \left(\frac{6}{5}\right)^a \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^b \cdot 2^c$$

dove  $c$  è scelto per mantenere  $r$  nell'intervallo  $[1, 2)$ .

## Note e Limitazioni

### Limitazioni Correnti

1. **Python 3.10+:** Richiesto per le annotazioni di tipo con `|` (union types)
2. **Range MIDI:** 0-127 (standard MIDI)
3. **Precisione:** Float a 64 bit per i calcoli
4. **Tolleranza duplicati:** 1e-9 per confronto rapporti
5. **File Excel:** Richiede installazione separata di openpyxl

### Considerazioni per l'Uso

1. **File esistenti:** Il programma appende nuove tabelle ai file .csd esistenti
2. **Normalizzazione:** I rapporti sono sempre ordinati in modo crescente
3. **Deduplicazione:** Rapporti molto vicini ( $< 1e-9$ ) vengono considerati identici

### Compatibilità

- **Python:** 3.10+ richiesto (3.6+ con modifiche al codice)
- **Csound:** Compatibile con tutte le versioni che supportano cpstun
- **AnaMark:** File .tun compatibili con AnaMark 3.0+
- **Excel:** Richiede Excel 2007+ per file .xlsx

**Compatibilità con Python < 3.10** Per utilizzare il programma con versioni di Python precedenti alla 3.10, è necessario modificare le annotazioni di tipo:

```
# Python 3.10+
from fractions import Fraction
```

```
def reduce_to_octave(value: Fraction | float):
    pass
```

```
# Python 3.6-3.9
```

```
from typing import Union
```

```
def reduce_to_octave(value: Union[Fraction, float]):  
    pass
```

Le funzioni da modificare sono: - `normalize_ratios()` - `pow_fraction()` - `reduce_to_octave()` - `build_natural_ratios()`  
- `build_danielou_ratios()` - `ratio_et()`

## Best Practices

1. **Backup:** Sempre fare backup dei file .csd prima di appendere nuove tabelle
  2. **Naming:** Usare nomi descrittivi per i file di output
  3. **Documentazione:** Annotare i parametri usati per ogni generazione
- 

## Risoluzione Problemi

### Errori Comuni

“**TypeError: unsupported operand type(s) for |**” - Python < 3.10 rilevato - Aggiornare a Python 3.10+ o modificare le annotazioni di tipo (vedi sezione Compatibilità)

“**Nome nota non valido**” - Verificare formato: nota + alterazione + ottava (es. “C#4”)

“**File non trovato**” - Verificare percorso e permessi di scrittura

“**openpyxl non installato**” - Installare con: `pip install openpyxl`

### Debug

Per debug dettagliato, modificare il codice aggiungendo:

```
import logging  
logging.basicConfig(level=logging.DEBUG)
```

---

## Changelog

### Versione 1.0 (29 Agosto 2025)

- Release iniziale
  - Supporto per ET, geometrico, naturale, Danielou
  - Export multi-formato
  - Tabelle comparative
  - Documentazione completa
  - **Requisiti:** Python 3.10+ per le annotazioni di tipo con |
- 

## Licenza e Crediti

**Autore:** LUCA BIMBI **Anno:** 2025

Copyright (C) 2025 Luca Bimbi. MIT License

Copyright (c) 2025 Luca Bimbi

Permission is hereby granted, free of charge, to any person obtaining a copy of this software and associated documentation files (the “Software”), to deal in the Software without restriction, including without limitation the rights to use, copy, modify, merge, publish, distribute, sublicense, and/or sell copies of the Software, and to permit persons

to whom the Software is furnished to do so, subject to the following conditions:

The above copyright notice and this permission notice shall be included in all copies or substantial portions of the Software.

THE SOFTWARE IS PROVIDED “AS IS”, WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE AND NONINFRINGEMENT. IN NO EVENT SHALL THE AUTHORS OR COPYRIGHT HOLDERS BE LIABLE FOR ANY



CLAIM, DAMAGES OR OTHER LIABILITY, WHETHER IN AN ACTION OF CONTRACT, TORT OR OTHERWISE, ARISING FROM, OUT OF OR IN CONNECTION WITH THE SOFTWARE OR THE USE OR OTHER DEALINGS IN THE SOFTWARE. —

## Riferimenti

1. **Csound Reference Manual** - Documentazione opcode cpstun
  2. **Csound. Guida al sound design in 20 lezioni**, Luca Bimbi, edizioni LSWR
  3. **I numeri della musica**, Walter Branchi, pan edizioni
- 

## Appendice: Quick Reference

### Comandi Rapidi

```
# 12-TET standard
./sim.py --et 12 1200 out

# Scala pitagorica
./sim.py --geometric 3/2 12 out

# Sistema naturale 4:5:6
./sim.py --natural 3 3 out

# Danielou completo con TUN
./sim.py --danielou-all --export-tun out

# 19-TET
./sim.py --et 19 1200 out
```

### Tabella Rapporti Comuni

Sistema	Rapporto	Cents	Intervallo
Ottava	2/1	1200	P8
Quinta giusta	3/2	701.96	P5
Quarta giusta	4/3	498.04	P4
Terza maggiore	5/4	386.31	M3
Terza minore	6/5	315.64	m3
Seconda maggiore	9/8	203.91	M2
Seconda minore	10/9	182.40	m2
Semitono diatonico	16/15	111.73	m2
Comma sintonico	81/80	21.51	-

---

*Fine documentazione SIM - Sistemi intonazione musicale v1.2*