

# project

November 12, 2025

Progetto: Tentativo di rimuovere eventuali rumori da tracce (mono) registrate mediante un giradischi

```
[20]: # Import
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import scipy.io.wavfile as wav
import IPython
import warnings

import librosa as lb # Libreria per sound-processing
import soundfile as sf # Libreria per esportare .wav
```

```
[21]: # Costanti
FS = 48000 # frequenza di campionamento dei file del dataSet
NOISE_SECTION = 5 # Ultimi secondi del brano = rumore puro (per dominio)
N_FFT = 2048 # Dimensione della finestra della STFT
HL = 512 # Overlap-Add, dopo aver analizzato i primi 2048 campioni non passo ai
        ↵ 2048 successivi
        # ma ai 2048/4 successivi (512), necessario per non creare artefatti
        ↵ (sovraposizione)

track_wav="..../dataSet/Everything_In_Its_Right_Place-Radiohead.wav"
noise_wav="..../dataSet/noise.wav"
OUTPUT_SOTTSPETTR="..../dataSet/outputSS.wav"
OUTPUT_SOGLIATURA="..../dataSet/outputS.wav"
OUTPUT_NORM = ".../dataSet/outputN.wav"
```

Partiamo analizzando il fenomeno rumoroso in se, ottenuto registrando l'output dell'amplificatore senza alcun brano in riproduzione

```
[22]: # Analizziamo il rumore
nfs, noise = wav.read(noise_wav) # creo l'array

N = len(noise) # Lunghezza dell'array noise (dei campioni)

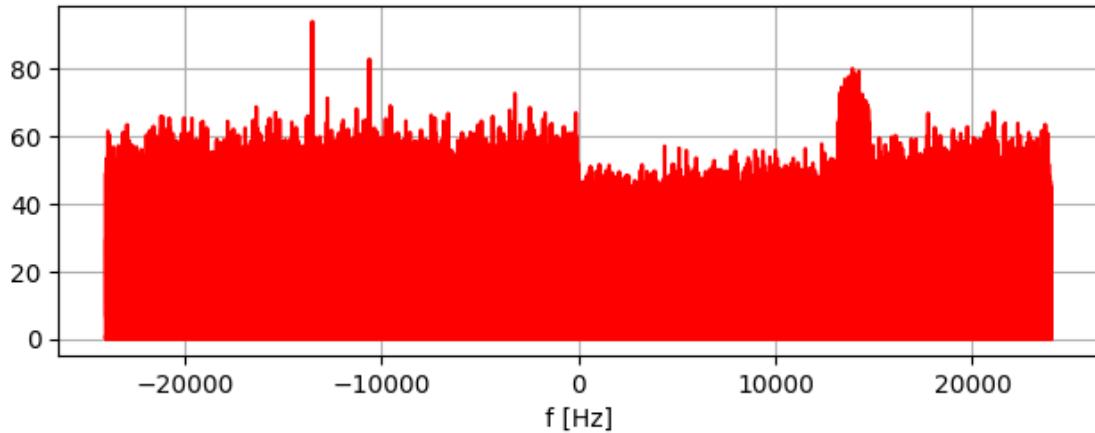
# Proviamo a calcolare la trasformata di Fourier con la funzione np.fft.fft di
        ↵ numpy
```

```

nf = nfs/N * np.arange(N) # asse delle frequenze
FFT_noise = np.fft.fft(noise)/N # DFT dell'intero array
noise_freq = np.fft.fftfreq(N, 1/nfs) # Vettore delle frequenze

plt.subplot(2,1,2)
plt.plot(noise_freq,np.abs(FFT_noise),'-r',label="$X_f(f)$")
plt.xlabel('f [Hz]')
plt.tight_layout()
plt.grid()

```



L'approccio con una singola Trasformata di Fourier (FFT) sull'intero brano è inadatto, perché tratta il segnale come statico. Così facendo, si ottiene uno spettro che ha un'altissima risoluzione in frequenza, ma perdiamo completamente i riferimenti temporali. Si perde tutta l'informazione su quando una frequenza appare.

Dato che la musica è un segnale non-stazionario (che evolve continuamente), dobbiamo passare a una Short-Time Fourier Transform (STFT). Analizzando il segnale a fette così mantenendo il legame frequenza-tempo

```

[23]: noise, sr = lb.load(noise_wav, sr=FS) # come per wav.read, ma crea un array di
      ↵Float piuttosto che di Interi con Frequenza di Campionamento pari a FS =
      ↵48000Hz
STFT_noise = lb.stft(noise, n_fft = N_FFT, hop_length=HL) # eseguo la
      ↵trasformata di Fourier (STFT) con le finestre prescelte

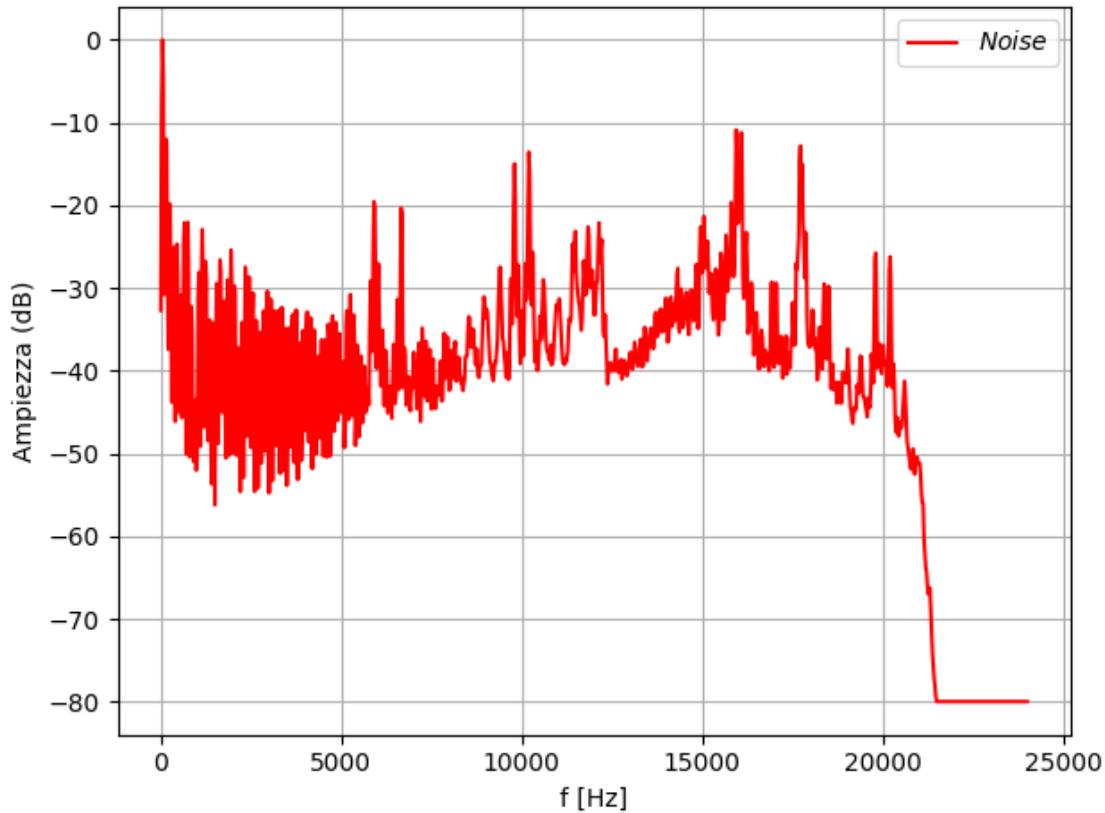
noise_mod = np.abs(STFT_noise) # considero il modulo della trasformata ossia
      ↵una matrice bidimensionale (spettrogramma frequenza-tempo)
noise_profile = np.mean(noise_mod, axis=1) # esegue la media lungo l'asse 1
      ↵(tempo), quindi creando un vettore di frequenze 1D
f = lb.fft_frequencies(sr=sr, n_fft=N_FFT) # asse delle frequenze
noise_db = lb.amplitude_to_db(noise_profile, ref=np.max) # converte i float
      ↵delle frequenze dell'array noise in decibel

```

```

plt.plot(f, noise_db, '-r', label="$Noise$")
plt.xlabel('f [Hz]')
plt.ylabel('Ampiezza (dB)')
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.grid()

```

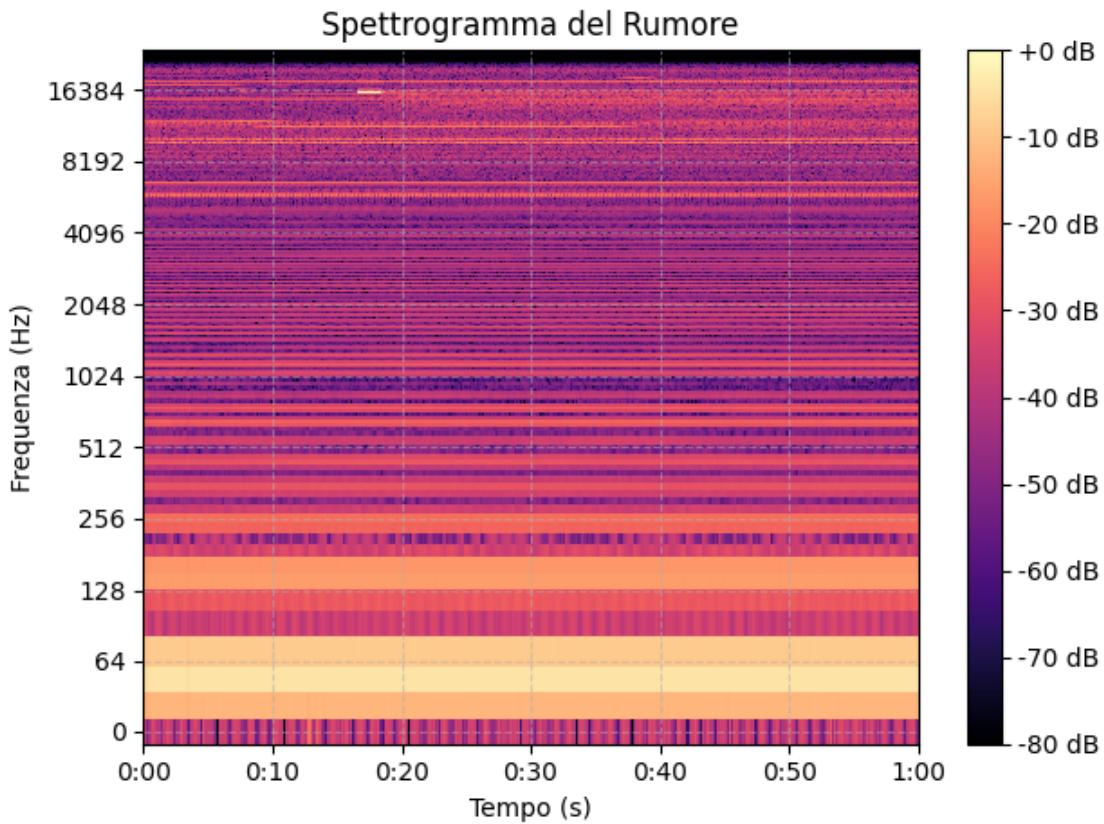


```

[24]: # Spettrogramma del Rumore:
noise_mod_db = lb.amplitude_to_db(noise_mod, ref=np.max)
lb.display.specshow(noise_mod_db, sr=sr, hop_length=HL, x_axis='time', □
                     y_axis='log')

plt.colorbar(format='%+2.0f dB')
plt.title('Spettrogramma del Rumore')
plt.xlabel('Tempo (s)')
plt.ylabel('Frequenza (Hz)')
plt.tight_layout()
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.5)
plt.show()

```



Notiamo dallo spettrogramma come i rumori si annidano anche nelle frequenze piu' basse.

Ora procediamo con l'analisi del brano rumoroso in se

```
[25]: # Riproduciamo il brano di partenza contenente il rumore
IPython.display.Audio(track_wav)
```

```
[25]: <IPython.lib.display.Audio object>
```

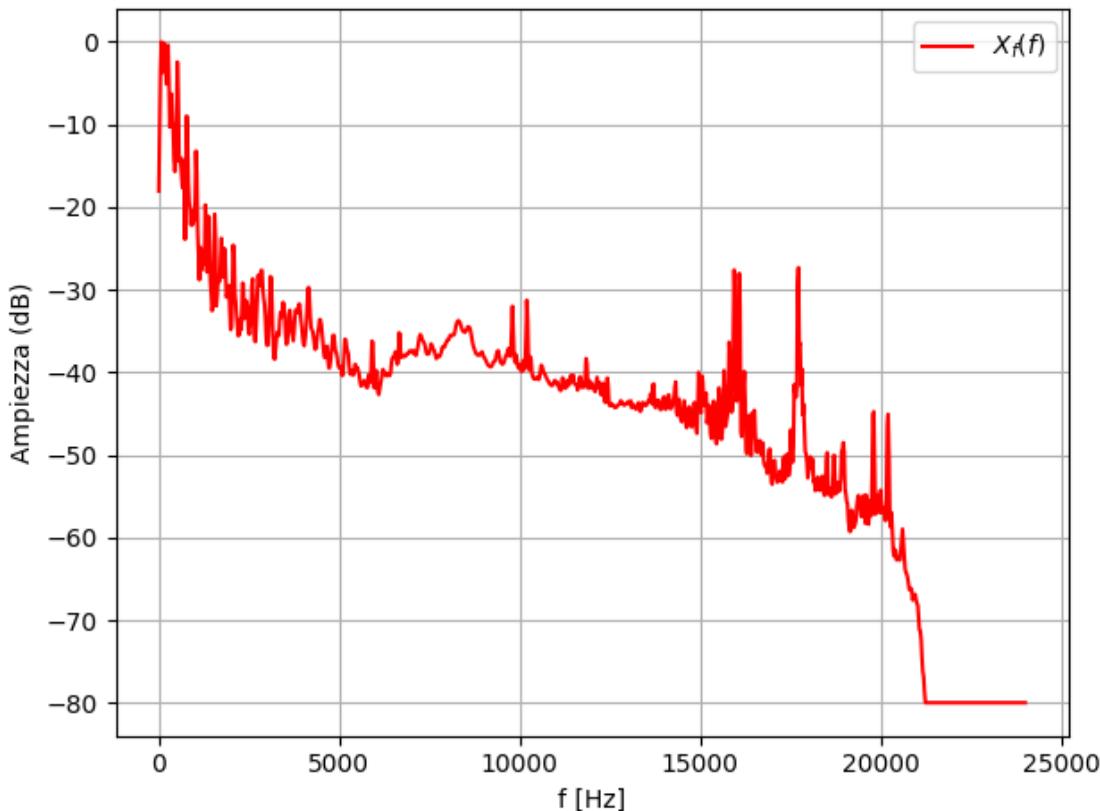
```
[26]: # Analizziamo il Brano
track, sr = lb.load(track_wav, sr=FS) # Questo comando carica il segnale e restituisce : segnale (array float), frequenza_campionamento
STFT_track = lb.stft(track, n_fft = N_FFT, hop_length=HL) # eseguo la trasformata di Fourier (STFT) con le finestre prescelte

track_mod = np.abs(STFT_track) # considero il modulo della trasformata (freq,time)
track_profile = np.mean(track_mod, axis=1) # esegue la media lungo l'asse 1 (tempo), quindi creando un vettore di frequenze 1D

f = lb.fft_frequencies(sr=sr, n_fft=N_FFT) # asse delle frequenze
```

```
track_db = lb.amplitude_to_db(track_profile, ref=np.max) # converte i float in decibel delle frequenze dell'array noise in decibel
```

```
[27]: plt.plot(f, track_db, '-r', label="$X_f(f)$")
plt.xlabel('f [Hz]')
plt.ylabel('Ampiezza (dB)')
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.grid()
```



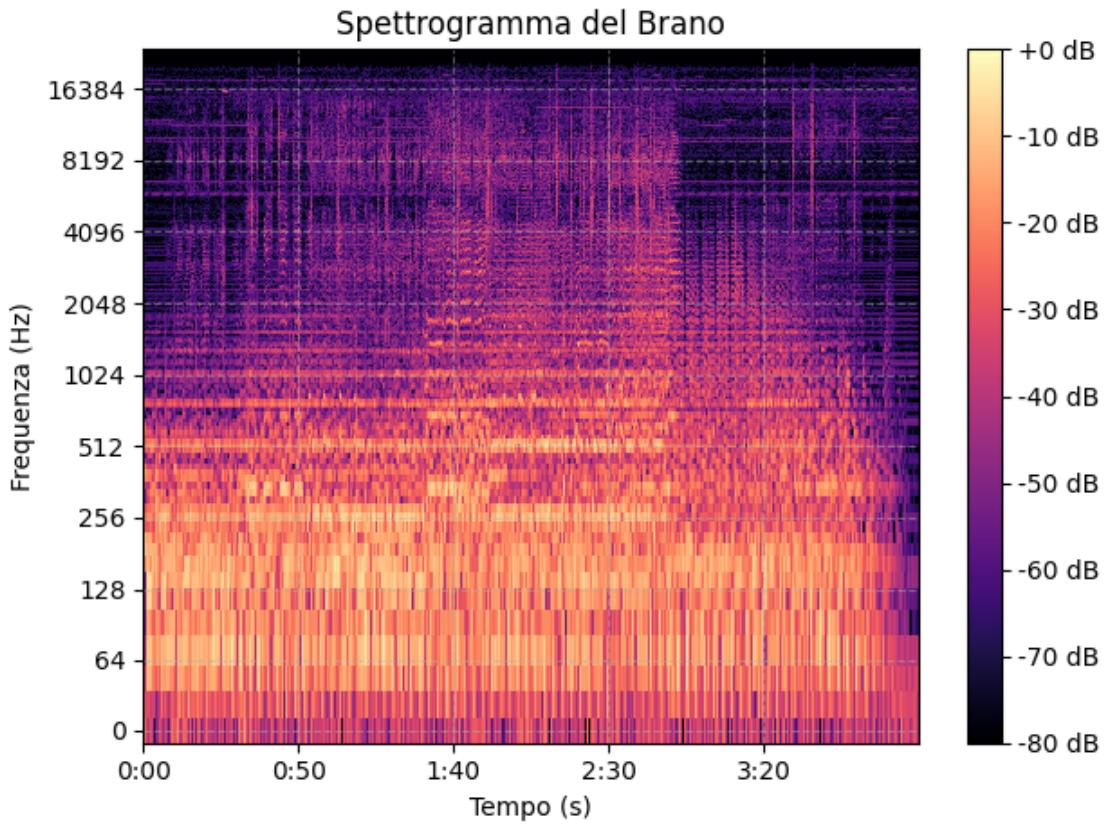
```
[28]: # Spettrogramma del Brano:
track_mod_db = lb.amplitude_to_db(track_mod, ref=np.max) # considero la trasformazione in decibel della matrice 2D che definisce lo spettrogramma
lb.display.specshow(track_mod_db, sr=sr, hop_length=HL, x_axis='time', y_axis='log')

plt.colorbar(format='%.+2.0f dB')
plt.title('Spettrogramma del Brano')
plt.xlabel('Tempo (s)')
plt.ylabel('Frequenza (Hz)')
```

```

plt.tight_layout()
plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.5)
plt.show()

```



Possiamo scegliere fra due Approcci, o utilizziamo il rumore in se come riferimento, rischiando di avere registrazioni effettuate in condizioni diverse oppure, per assicurarci che Rumore e Brano siano stati registrati con gli stessi parametri, aggiungiamo la condizione che i file in input terminino con dei secondi di rumore puro così saremo in grado di estrapolare tale sezione assicurandoci così di avere la stessa base di partenza (determinata dall'amplificatore (volume))

```

[29]: # Estraiamo il rumore dagli ultimi NOISE_SECTION secondi del brano
noise_samples = int(NOISE_SECTION * sr) # numero di campioni (secondi * frequenza)

# Dividiamo il brano in due: Musica e Rumore Finale
noise_part = track[-noise_samples:]
music_part = track[:-noise_samples]

# Eseguiamo STFT del brano e del Rumore
STFT_track = lb.stft(music_part, n_fft=N_FFT, hop_length=HL)
STFT_noise = lb.stft(noise_part, n_fft = N_FFT, hop_length=HL)

```

```
[30]: track_mod = np.abs(STFT_track) # calcoliamo il modulo del brano (matrice 2D)
      ↳tempo-frequenza)
track_profile = np.mean(track_mod, axis=1) # esegue la media lungo l'asse 1
      ↳(tempo), quindi creando un vettore di frequenze 1D
noise_mod = np.abs(STFT_noise) # idem per rumore
noise_profile = np.mean(noise_mod, axis=1) # idem per rumore

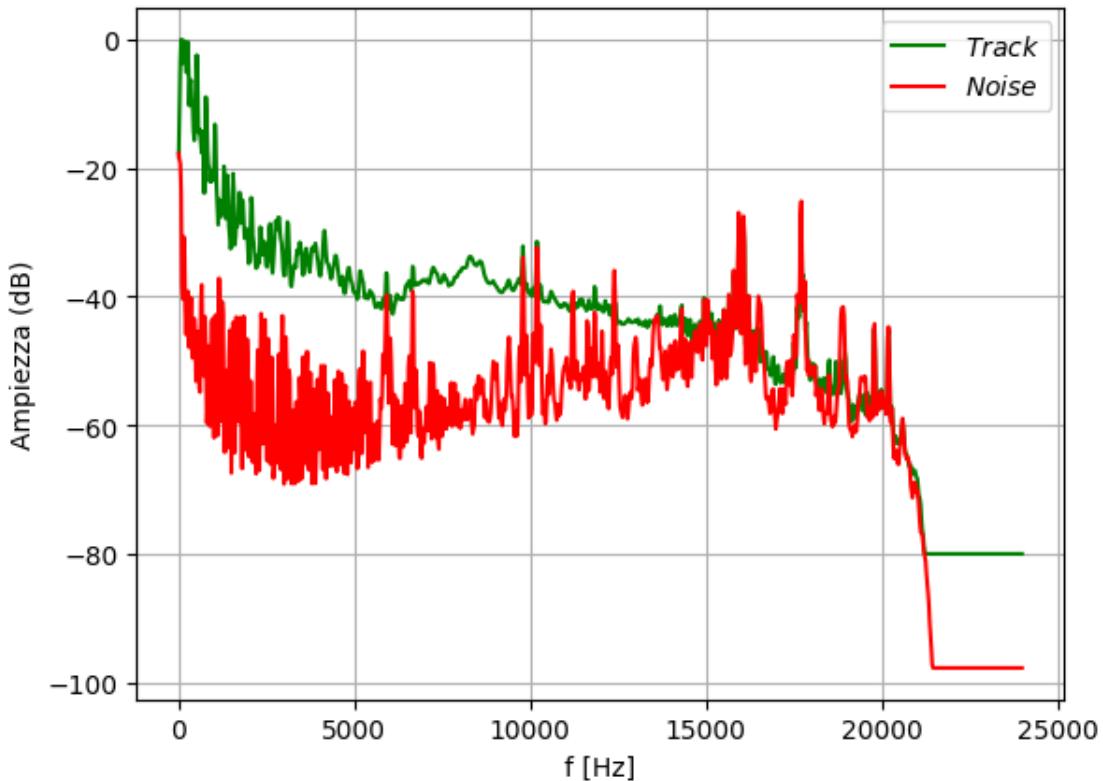
f = lb.fft_frequencies(sr=sr, n_fft=N_FFT) # asse delle frequenze
ref_value = max(np.max(track_profile), np.max(noise_profile)) # valore per
      ↳normalizzare le due tracce

noise_db = lb.amplitude_to_db(noise_profile, ref=ref_value) # converte le
      ↳ampiezze dell'array in decibel
track_db = lb.amplitude_to_db(track_profile, ref=ref_value) # idem per traccia
```

```
[31]: plt.plot(f, track_db, '-g', label="$Track$")
plt.plot(f, noise_db, '-r', label="$Noise$")

plt.xlabel('f [Hz]')
plt.ylabel('Ampiezza (dB)')

plt.legend(loc="upper right")
plt.grid()
```



con questa vista possiamo notare un problema fondamentale, il rumore vive nello stesso range di frequenze del brano dunque l'applicazione di un semplice filtro di sogliatura rimuoverebbe gran parte dei dettagli del brano rendendolo irriconoscibile.

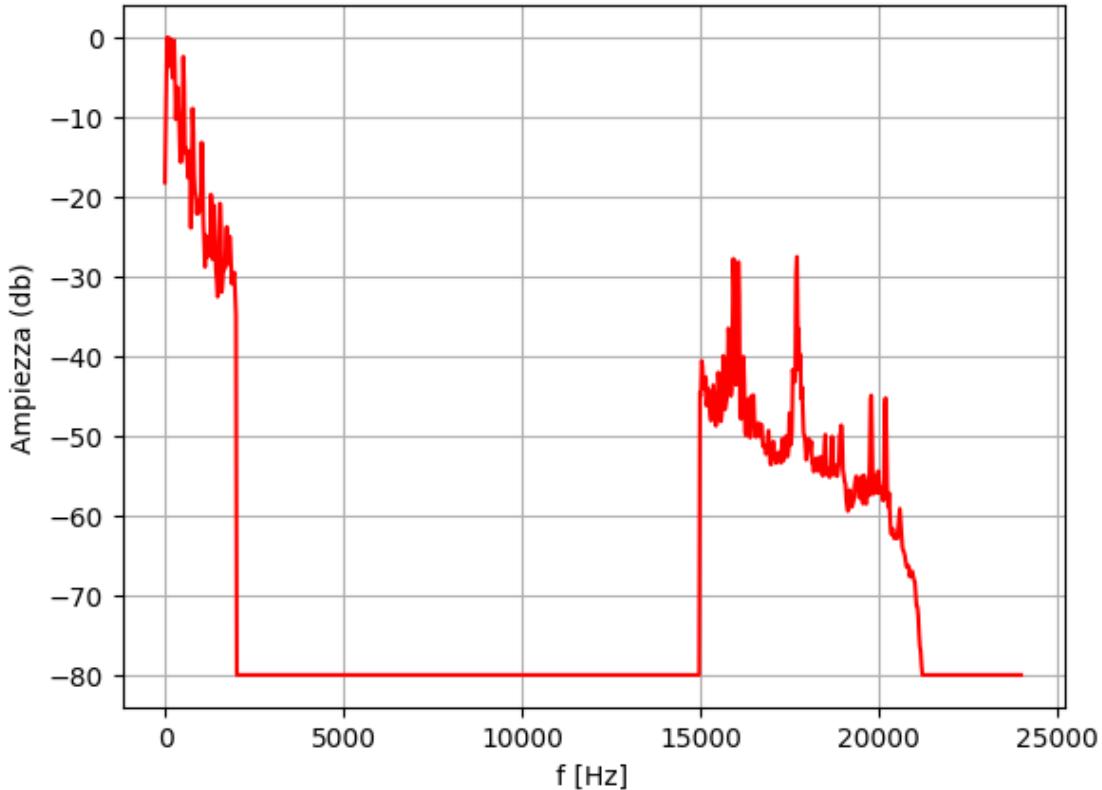
```
[32]: # Esempio di Sogliatura
thresh_h = 15000
thresh_l = 2000

# find all the indices corresponding to frequencies greater than a threshold
idx = np.argwhere((np.abs(f) < thresh_h) & (np.abs(f) > thresh_l))
STFT_cut=np.copy(STFT_track)
STFT_cut[idx, :] = 0 # imposta l'ampiezza dei valori a zero

track_filt = np.mean(np.abs(STFT_cut), axis=1)
track_filt_db = lb.amplitude_to_db(track_filt, ref=np.max)

plt.plot(f, track_filt_db, '-r', label=f"Spettro Filtrato (- ({thresh_l} < f < {thresh_h}) Hz)")
plt.xlabel('f [Hz]')
plt.ylabel('Ampiezza (db)')

plt.grid()
```



```
[33]: track_clean_filtered = lb.istft(STFT_cut, hop_length=HL) # Torniamo nel dominio del tempo
# Output
sf.write(OUTPUT_SOGLIATURA, track_clean_filtered, sr, subtype='PCM_24')
```

Evidentemente quindi non e' possibile eseguire una semplice sogliatura per rimuovere la parte rumorosa.

Procediamo con un primo tentativo di riduzione del Rumore tramite l'operazione di sottrazione spettrale, ossia rimuoviamo (operando su matrici 2D (tempo-frequenza) il rumore, ove presente. Importante notare che in eventuali zone di silenzio o dove noise > segnale il risultato sarebbe negativo perciò in tal caso lo impostiamo a zero)

```
[34]: # Procediamo con un primo tentativo di riduzione del Rumore
profile_expanded = noise_profile[:, np.newaxis] # Passiamo da un vettore 1D (medie frequenze rumorose) ad una versione 2D (con le dimensioni di track_mod)
# Sottrazione Spettrale ossia, rimuovo dal brano il vettore delle frequenze dove noise > track (db)
mod_clean = np.maximum(track_mod - profile_expanded, 0) # Dove era presente noise > track il rumore viene ridotto (0 indica il floor, x < 0 = 0)
```

```

track_phase = np.angle(STFT_track) # Otteniamo la fase (theta) del brano
STFT_clean = mod_clean * np.exp(1j * track_phase) # Euleriano  $e^{j\theta}$ 

track_clean = lb.istft(STFT_clean, hop_length=HL) # Torniamo nel dominio del tempo con la trasformata inversa

# Output
sf.write(OUTPUT_SOTTSPESSO, track_clean, sr, subtype='PCM_24')

```

```

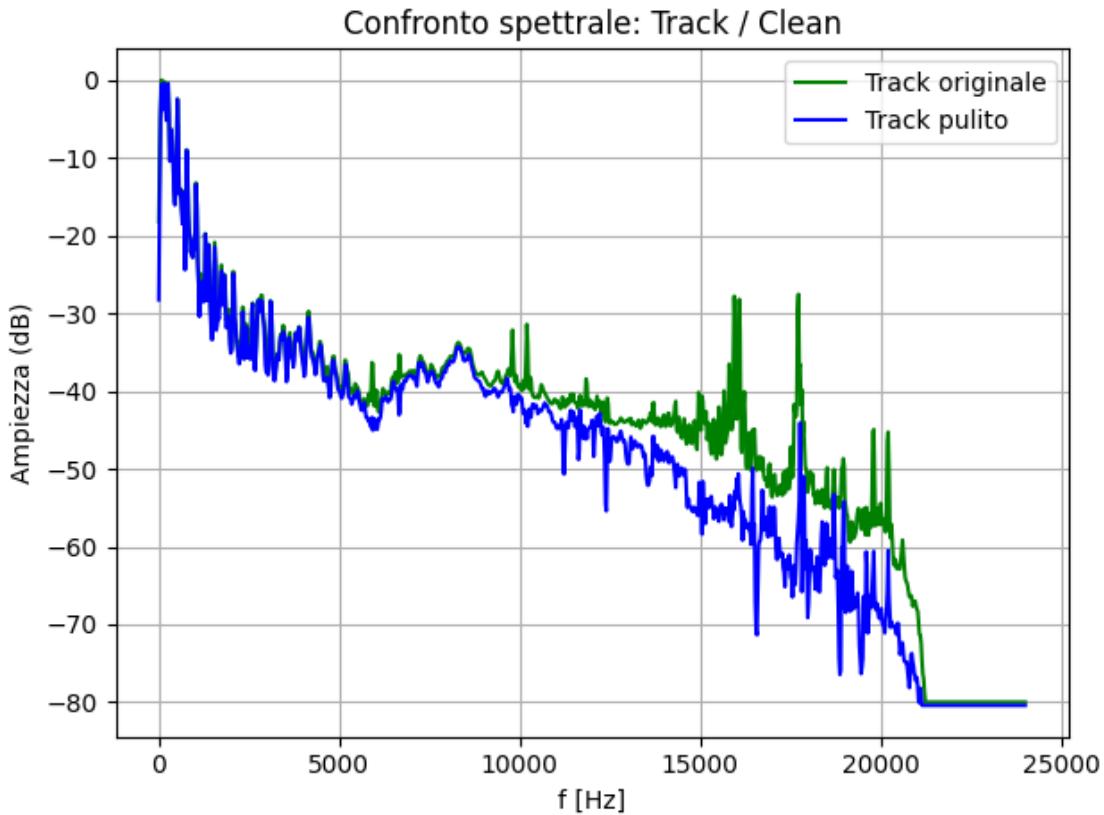
[ ]: # Analisi spettrale del segnale pulito
clean_profile = np.mean(mod_clean, axis=1) # vettore 1D Frequenze

f = lb.fft_frequencies(sr=sr, n_fft=N_FFT)
ref_value = max(np.max(track_profile), np.max(clean_profile)) # valore per normalizzare le due tracce

clean_db = lb.amplitude_to_db(clean_profile, ref=ref_value)

# Plot confronto
plt.figure()
plt.plot(f, track_db, '-g', label='Track originale')
plt.plot(f, clean_db, '-b', label='Track pulito')
plt.xlabel('f [Hz]')
plt.ylabel('Ampiezza (dB)')
plt.title('Confronto Sottrazione Spettrale')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.show()

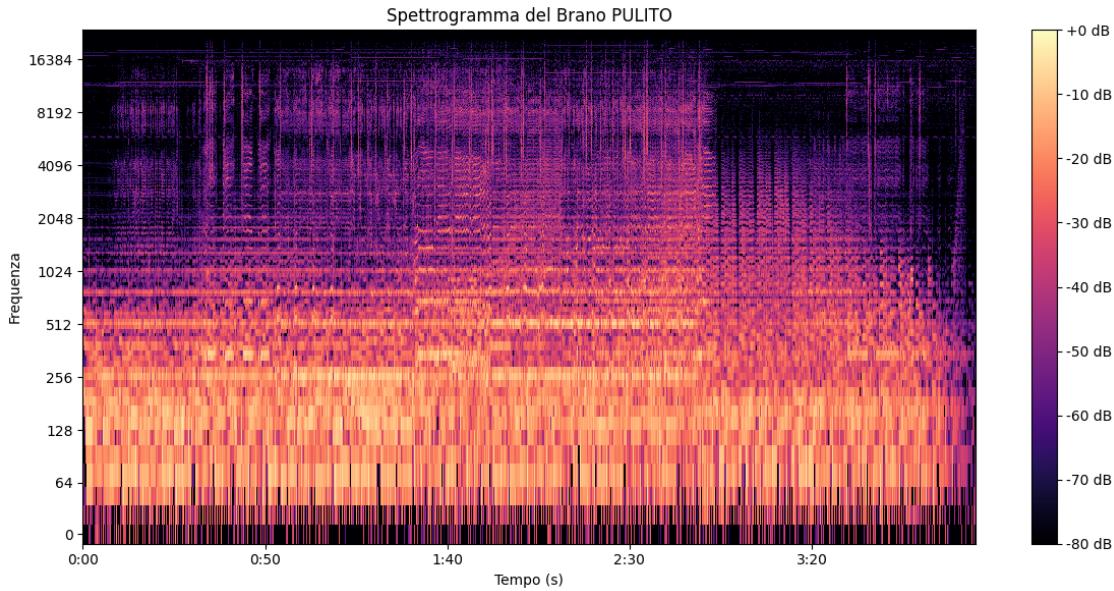
```



```
[36]: clean_mod_db = lb.amplitude_to_db(mod_clean, ref=np.max)
plt.figure(figsize=(12, 6))

lb.display.specshow(clean_mod_db, sr=sr, hop_length=HL, x_axis='time', y_axis='log')

plt.colorbar(format='%+2.0f dB')
plt.title('Spettrogramma del Brano PULITO')
plt.xlabel('Tempo (s)')
plt.ylabel('Frequenza')
plt.tight_layout()
plt.show()
```



Ascoltando il brano o analizzando il grafico ci rendiamo rapidamente conto che il volume originale risulta ribassato (banalmente si tratta di una sottrazione alla fine dei conti) dunque dobbiamo sottoporlo ad un processo di normalizzazione. Tale processo consiste nel trovare il sample massimo, portarlo a +- 1 dB ed aggiustare gli altri campioni di conseguenza

```
[ ]: # Normalizzazione
peak = np.max(np.abs(track_clean)) # eseguo il valore assoluto del segnale
# pulito per trovare il valore massimo (nel dominio del tempo)
target_amp = 1

gain = target_amp/peak # calcolo il fattore di guadagno ossia di quanto devo
# incrementare la traccia (prodotto scalare)
track_norm = track_clean * gain

sf.write(OUTPUT_NORM, track_norm, sr, subtype='PCM_24') # output
```

```
[58]: STFT_norm = lb.stft(track_norm, n_fft = N_FFT, hop_length=HL) # andiamo nel
# dominio delle frequenze
mod_norm = np.abs(STFT_norm) # calcoliamo il modulo (tempo-frequenza)
norm_profile = np.mean(mod_norm, axis=1) # vettore 1D Frequenze
ref_value = max(np.max(norm_profile), np.max(track_profile), np.
# max(clean_profile)) # valore per normalizzare le due tracce
norm_db = lb.amplitude_to_db(norm_profile, ref=ref_value)

# Plot confronto
plt.figure()
plt.plot(f, norm_db, '-r', label='Track normalizzato')
```

```

plt.plot(f, clean_db, '-b', label='Track non normalizzato')
plt.plot(f, track_db, '-g', label='Track Originale')
plt.xlabel('f [Hz]')
plt.ylabel('Ampiezza (dB)')
plt.title('Confronto Normalizzazione')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.tight_layout()
plt.show()

```

