

analisi

November 4, 2024

1 Analisi dati per la Velocità della Luce

Questo file contiene l'analisi dati dell'esperimento svolto in laboratorio seguendo l'esperimento di Friaizou/Focault

1.1 Import

1.1.1 Import delle librerie

```
[1]: from typing import Tuple

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import stats

import scienceplots
from colorama import Fore, Style

plt.style.use(["science", "ieee"])
```

1.1.2 Import dei dati

```
[2]: # dati preliminari # * copiati da excel
D = 13.27 # m
a = 0.474 # m
f2 = 0.252 # m

D_err = 0.0142 # m
a_err = 0.001 # m
f2_err = 0 # m

# dati delle misure
f_name = "Dati_Grezzi.xlsx"
set_names = (
    "CW",
    "CCW",
    "CWmax",
```

```

    "CCWmax",
    "CWCCW",
    # "CCWCW"
)

data_dict = dict()
for _set in set_names:
    data_dict[_set] = pd.read_excel(f_name, sheet_name=f"Exp_{_set}",
    ↪header=None)
    data_dict[_set] = data_dict[_set][(data_dict[_set].T != 0).any()].T.
    ↪to_numpy()

```

```

[3]: # remove unused variable
del f_name, set_names

```

1.2 Formule statistiche

```

[4]: def weighted_avg_and_std(values: np.ndarray, errors: np.ndarray) ->
    ↪Tuple[float]:
    # Return the weighted average and standard deviation.
    weights = 1 / np.square(errors)
    average = sum(values * weights) / sum(weights)
    sigma = 1 / np.sqrt(sum(weights))
    return (average, sigma)

```

1.3 Inserire un grafico delle misure per controllare che non ci siano valori anomali

```

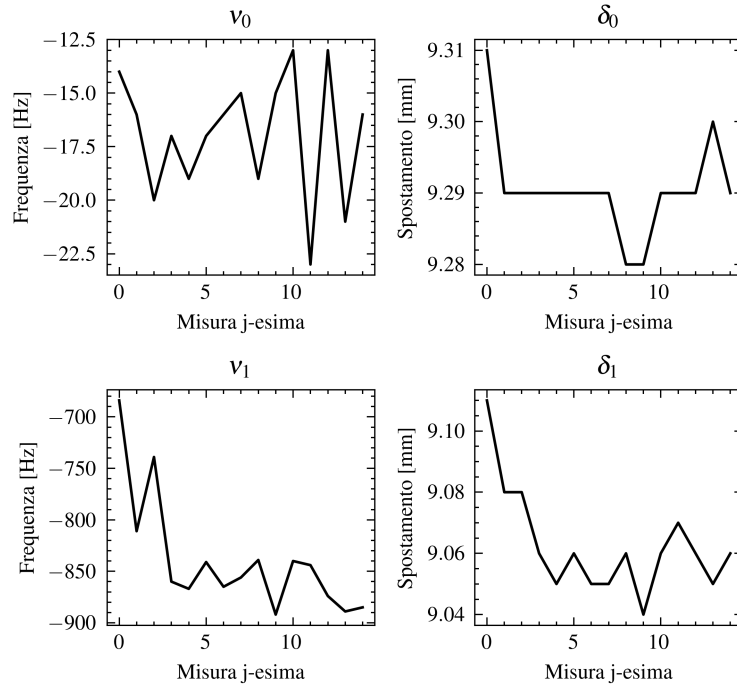
[5]: # Example titles and y-axis labels for each subplot
plot_titles = [r"$\nu_0$", r"$\delta_0$", r"$\nu_1$", r"$\delta_1$"]
y_labels = ["Frequenza [Hz]", "Spostamento [mm]", "Frequenza [Hz]",
    ↪"Spostamento [mm]"]

for set_name, set_data in data_dict.items():
    fig, axs = plt.subplots(2, 2, figsize=(4, 4))
    fig.suptitle(set_name)
    for i in range(4):
        row, col = divmod(i, 2)
        axs[row, col].plot(set_data[i, :])
        axs[row, col].set_title(plot_titles[i])
        axs[row, col].set_xlabel("Misura j-esima")
        axs[row, col].set_ylabel(y_labels[i])

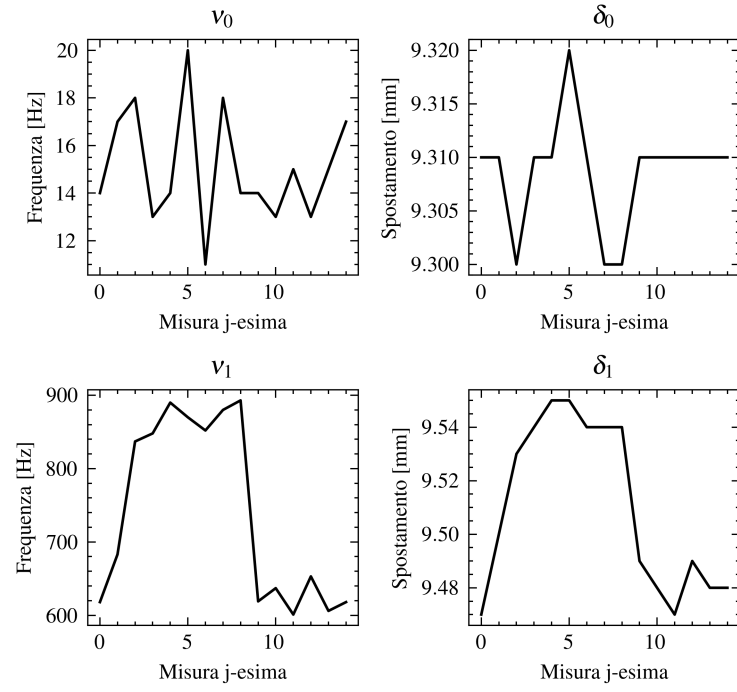
plt.tight_layout() # rect=[0, 0, 1, 0.95]
plt.show()

```

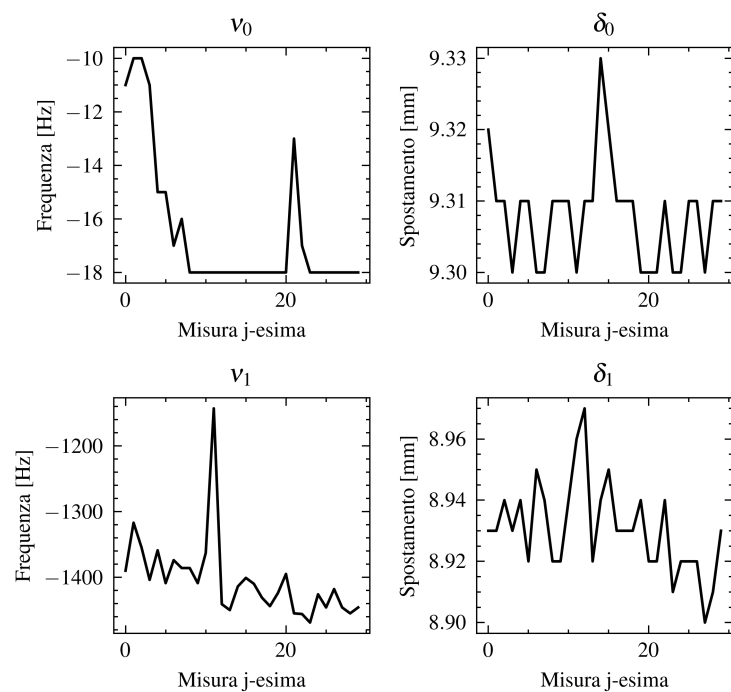
CW



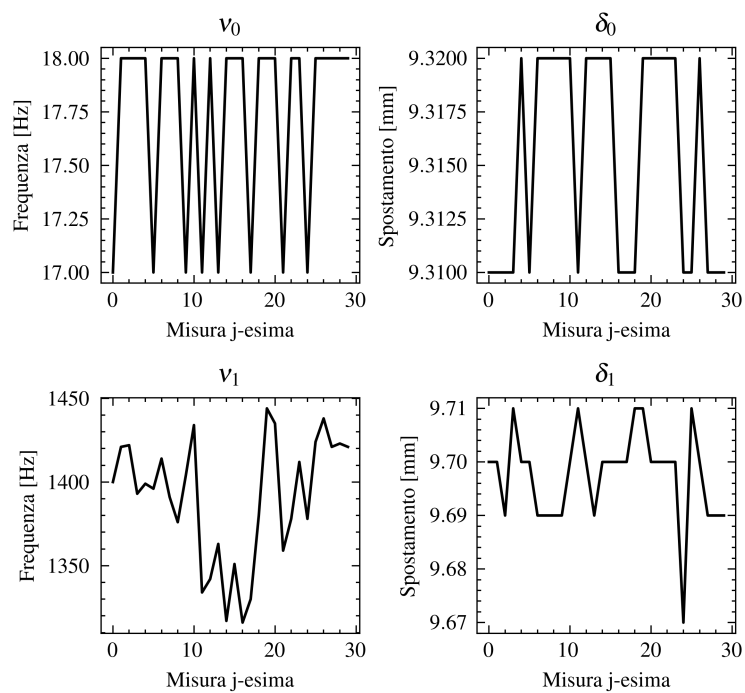
CCW



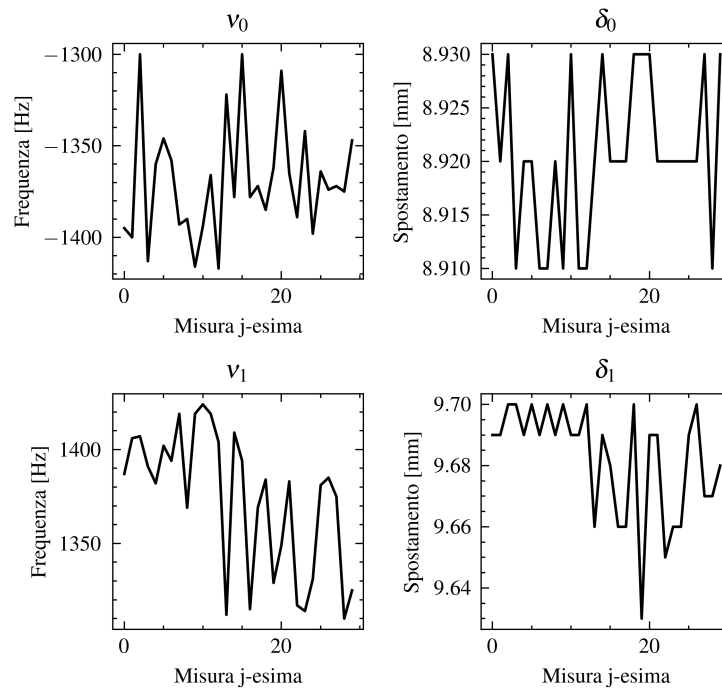
CWmax



CCWmax



CWCCW



1.4 Analisi Statistica

$d\langle x \rangle$ è la differenza di x , che può essere: v per la frequenza, w per la velocità angolare, d per il δ (lo spostamento misurato col microscopio).

```
[6]: c_means, c_errs = list(), list()

for set_name, set_data in data_dict.items():
    dv = set_data[2, :] - set_data[0, :]
    dd = (set_data[3, :] - set_data[1, :]) / 1000 # convert to meters
    dw = dv * 2 * np.pi

    # questo sarebbe da spostare su dove grafichiamo i dati se non printiamo
    <↳ direttamente tutto prima
    print(Style.BRIGHT + Fore.GREEN + f" ~~~~ {set_name}" + Style.RESET_ALL)
    print("differenze di " + Style.BRIGHT + "frequenza" + Style.NORMAL + ": ",
    <↳ dv)
    print(
        "differenze di " + Style.BRIGHT + "velocità angolare" + Style.NORMAL +
    <↳ ": ", dw
    )
    print("differenze di " + Style.BRIGHT + "spostamento" + Style.NORMAL + ":
    <↳ ", dd)
```

```

c = 4 * f2 * D**2 / (D + a - f2) * dw / dd
print(
    Style.BRIGHT + "velocità della luce" + Style.NORMAL + " nell'aria_
↪misurate: ", c
)

mean_c = c.mean()

# * errore casuale
std_c = c.std(ddof=1) / np.sqrt(c.size)
# * errore sistematico
dd_mean = dd.mean()
dw_mean = dw.mean()
alpha = 1 / abs((D + a - f2) ** 2 * dd_mean)
e_sist = alpha * np.sqrt(
    np.square(-a_err) # errore dovuto ad a
    + np.square(4 * D**2 * dw_mean * (D + a) * f2_err) # errore dovuto a f2
    + np.square(
        4 * f2 * D * dw_mean * (D + 2 * a - 2 * f2) * D_err
    ) # errore dovuto a D
)

# * real error
c_err = np.sqrt(np.square(std_c) + np.square(e_sist))

c_means.append(mean_c)
c_errs.append(c_err)
print(
    "Miglior valore di c: "
    + Fore.CYAN
    + Style.BRIGHT
    + f"{mean_c:.6g} ±{c_err:.5g}"
)

```

~~~~~ CW

```

differenze di frequenza: [-670. -795. -719. -843. -848. -824. -849.
-841. -820. -877. -827. -821.
-861. -868. -869.]
differenze di velocità angolare: [-4209.73415581 -4995.13231921
-4517.61023586 -5296.72521395
-5328.14114049 -5177.34469312 -5334.4243258 -5284.15884334
-5152.21195189 -5510.3535144 -5196.19424904 -5158.49513719
-5409.82254948 -5453.80484663 -5460.08803194]
differenze di spostamento: [-0.0002 -0.00021 -0.00021 -0.00023
-0.00024 -0.00023 -0.00024 -0.00024
-0.00022 -0.00024 -0.00023 -0.00022 -0.00023 -0.00025 -0.00023]
velocità della luce nell'aria misurate: [2.76917703e+08 3.12934718e+08

```

2.83018946e+08 3.02974203e+08  
 2.92072403e+08 2.96145603e+08 2.92416828e+08 2.89661428e+08  
 3.08103822e+08 3.02060728e+08 2.97223803e+08 3.08479558e+08  
 3.09443403e+08 2.87002467e+08 3.12318604e+08]  
 Miglior valore di c: 2.98052e+08 ±2.8982e+06

~~~~~ CCW

differenze di frequenza: [604. 666. 819. 835. 876. 850. 841. 862. 879.
 605. 624. 586. 640. 591.
 601.]
 differenze di velocità angolare: [3795.04392554 4184.60141458
 5145.92876658 5246.45973149 5504.07032909
 5340.7075111 5284.15884334 5416.10573479 5522.91988501 3801.32711084
 3920.70763168 3681.94659001 4021.23859659 3713.36251654 3776.19436961]
 differenze di spostamento: [0.00016 0.00019 0.00023 0.00023 0.00024
 0.00023 0.00023 0.00024 0.00024
 0.00018 0.00017 0.00016 0.00018 0.00017 0.00017]
 velocità della luce nell'aria misurate: [3.12049054e+08 2.89752066e+08
 2.94348603e+08 3.00099003e+08
 3.01716303e+08 3.05490003e+08 3.02255403e+08 2.96894353e+08
 3.02749578e+08 2.77836170e+08 3.03418168e+08 3.02749578e+08
 2.93909337e+08 2.87372015e+08 2.92234486e+08]
 Miglior valore di c: 2.97525e+08 ±2.2201e+06

~~~~~ CWmax

differenze di frequenza: [-1379. -1307. -1345. -1393. -1344. -1394.  
 -1357. -1370. -1368. -1391.  
 -1345. -1125. -1423. -1432. -1396. -1383. -1392. -1413. -1426. -1406.  
 -1377. -1442. -1439. -1451. -1408. -1428. -1400. -1428. -1437. -1428.]  
 differenze di velocità angolare: [-8664.5125386 -8212.12319648  
 -8450.88423816 -8752.4771329  
 -8444.60105285 -8758.76031821 -8526.28246184 -8607.96387084  
 -8595.39750022 -8739.91076229 -8450.88423816 -7068.58347058  
 -8940.97269212 -8997.52135988 -8771.32668882 -8689.64527983  
 -8746.19394759 -8878.14083904 -8959.82224804 -8834.15854189  
 -8651.94616799 -9060.35321295 -9041.50365703 -9116.90188072  
 -8846.72491251 -8972.38861865 -8796.45943005 -8972.38861865  
 -9028.93728642 -8972.38861865]  
 differenze di spostamento: [-0.00039 -0.00038 -0.00037 -0.00037  
 -0.00037 -0.00039 -0.00035 -0.00036  
 -0.00039 -0.00039 -0.00037 -0.00034 -0.00034 -0.00039 -0.00039 -0.00037  
 -0.00038 -0.00038 -0.00038 -0.00036 -0.00038 -0.00038 -0.00037 -0.00039  
 -0.00038 -0.00039 -0.00039 -0.0004 -0.0004 -0.00038]  
 velocità della luce nell'aria misurate: [2.92284357e+08 2.84313777e+08  
 3.00487544e+08 3.11211263e+08  
 3.00264133e+08 2.95463665e+08 3.20492386e+08 3.14574837e+08  
 2.89952865e+08 2.94827803e+08 3.00487544e+08 2.73513974e+08  
 3.45964786e+08 3.03517911e+08 2.95887573e+08 3.08977155e+08

3.02803961e+08 3.07372125e+08 3.10200035e+08 3.22841037e+08  
 2.99540988e+08 3.13680540e+08 3.21488160e+08 3.07545034e+08  
 3.06284467e+08 3.02670096e+08 2.96735388e+08 2.95103343e+08  
 2.96963238e+08 3.10635098e+08]  
 Miglior valore di c: 3.04203e+08 ±2.468e+06  
 ~~~~~ CCWmax  
 differenze di frequenza: [1383. 1403. 1404. 1375. 1381. 1379. 1396.
 1373. 1358. 1387. 1416. 1317.
 1324. 1346. 1299. 1333. 1298. 1313. 1362. 1426. 1417. 1342. 1360. 1394.
 1361. 1406. 1420. 1403. 1405. 1403.]
 differenze di velocità angolare: [8689.64527983 8815.30898597
 8821.59217128 8639.37979737 8677.07890922
 8664.5125386 8771.32668882 8626.81342676 8532.56564715 8714.77802106
 8896.99039497 8274.95504956 8318.93734671 8457.16742346 8161.85771403
 8375.48601447 8155.57452872 8249.82230833 8557.69838838 8959.82224804
 8903.27358027 8432.03468224 8545.13201776 8758.76031821 8551.41520307
 8834.15854189 8922.1231362 8815.30898597 8827.87535659 8815.30898597]
 differenze di spostamento: [0.00039 0.00039 0.00038 0.0004 0.00038
 0.00039 0.00037 0.00037 0.00037
 0.00037 0.00038 0.0004 0.00038 0.00037 0.00038 0.00038 0.00039 0.00039
 0.0004 0.00039 0.00038 0.00038 0.00038 0.00038 0.00036 0.0004 0.00038
 0.00038 0.00038 0.00038]
 velocità della luce nell'aria misurate: [2.93132173e+08 2.97371250e+08
 3.05414340e+08 2.84150628e+08
 3.00411114e+08 2.92284357e+08 3.11881495e+08 3.06743047e+08
 3.03391884e+08 3.09870798e+08 3.08024719e+08 2.72164638e+08
 2.88011814e+08 3.00710955e+08 2.82573524e+08 2.89969598e+08
 2.75116095e+08 2.78295403e+08 2.81464113e+08 3.02246188e+08
 3.08242251e+08 2.91927382e+08 2.95842951e+08 3.03239024e+08
 3.12508287e+08 2.90556933e+08 3.08894846e+08 3.05196809e+08
 3.05631872e+08 3.05196809e+08]
 Miglior valore di c: 2.97016e+08 ±2.1203e+06

~~~~~ CWCCW  
 differenze di frequenza: [2782. 2806. 2707. 2804. 2742. 2748. 2752.  
 2812. 2759. 2835. 2818. 2785.  
 2821. 2634. 2787. 2694. 2693. 2741. 2769. 2691. 2658. 2748. 2706. 2656.  
 2729. 2745. 2759. 2747. 2685. 2672.]  
 differenze di velocità angolare: [17479.82152457 17630.61797195  
 17008.58262654 17618.05160133  
 17228.49411229 17266.19322413 17291.32596536 17668.31708379  
 17335.30826251 17812.83034585 17706.01619563 17498.6710805  
 17724.86575155 16549.91009911 17511.23745111 16926.90121754  
 16920.61803223 17222.21092698 17398.14011558 16908.05166162  
 16700.70654648 17266.19322413 17002.29944123 16688.14017587  
 17146.81270329 17247.34366821 17335.30826251 17259.91003882  
 16870.35254978 16788.67114078]



```

differenze di spostamento: [0.00076 0.00077 0.00077 0.00079 0.00077
0.00078 0.00078 0.00079 0.00077
 0.00079 0.00076 0.00078 0.00079 0.00074 0.00076 0.00076 0.00074 0.00074
 0.00077 0.0007  0.00076 0.00077 0.00073 0.00074 0.00074 0.00077 0.00078
 0.00074 0.00076 0.00075]
velocità della luce nell'aria misurate: [3.02586430e+08 3.01233214e+08
2.90605242e+08 2.93397786e+08
 2.94362606e+08 2.91224588e+08 2.91648496e+08 2.94234869e+08
 2.96187611e+08 2.96641484e+08 3.06501998e+08 2.95145734e+08
 2.95176588e+08 2.94232041e+08 3.03130259e+08 2.93015040e+08
 3.00822660e+08 3.06184520e+08 2.97261144e+08 3.17776349e+08
 2.89099472e+08 2.95006725e+08 3.06415582e+08 2.96689560e+08
 3.04844055e+08 2.94684666e+08 2.92390334e+08 3.06854752e+08
 2.92036148e+08 2.94497155e+08]
Miglior valore di c: 2.97796e+08 ±1.2284e+06

```

```
[7]: c_mean, c_std = weighted_avg_and_std(c_means, c_errs)
```

```

print(
    Fore.GREEN
    + Style.BRIGHT
    + "Valore finale di c: "
    + Fore.RED
    + f"{c_mean:.6g} ±{c_std:.3g}m/s"
)

na = 1.000283
print(
    Fore.GREEN
    + "Valore finale di c nel vuoto: "
    + Fore.RED
    + f"{c_mean*na:.6g} ±{c_std*na:.3g}m/s"
)

```

Valore finale di c: 2.98419e+08 ±8.54e+05m/s

Valore finale di c nel vuoto: 2.98503e+08 ±8.54e+05m/s

```

[ ]: # norm-test
p_value = stats.norm.cdf(299_792_458, loc=c_mean, scale=c_std)
# che c_mean sia <= del valore vero (coda singola)

p_value_duble = 2 * (1 - p_value)
# che c_mean NON sia compatibile con il valore vero (doppia coda)

print(f"P-value di c nell'aria: {p_value:.3g}")

```

P-value di c nell'aria: 0.946