Flusso di muoni al suolo:
effetti di ambiente e geometria

IRAGGI COSMICI & INQUINAMENTO

Studenti del progetto EEE del liceo Federico II di Svevia, Altamura

Chi siamo?

Siamo un gruppo di studenti del liceo **Federico II di Svevia** di Altamura e siamo nel progetto **EEE** dall'anno scolastico **2023/24**.

Proveniamo da classi diverse e abbiamo svolto questo esperimento didattico grazie alla Cosmic Box n.15 che da ottobre si trova presso il nostro liceo.

Introduzione

- In questo esperimento didattico abbiamo misurato il flusso di raggi cosmici, al suolo, utilizzando la Cosmic Box.

- Le misure sono state effettuate in tempi e luoghi diversi.

- Ci siamo posizionati spesso nel cortile della nostra scuola, ma abbiamo anche girovagato per il paese.
- Posti di particolare interesse e spunto per ulteriori analisi dei dati acquisiti per noi, sono stati i tre archi posizionati sulle antiche mura che circoscrivono il centro storico del paese.

- Tutte le misure sono state fatte in un tempo pari a 15 minuti

Obiettivi

Verificare una eventuale correlazione tra flusso dei muoni e:

Particelle inquinanti PM10 e NO_2

Variabili meteorologiche
(umidità e pressione atmosferica)

Struttura architettonica sovrastante la Cosmic Box

Misure rispetto alle particelle inquinanti

L'inquinamento atmosferico consiste nella presenza nell'aria di sostanze nocive in concentrazioni tali da provocare effetti negativi sulla salute umana, sugli ecosistemi e sui materiali.

Nelle aree urbane, le principali fonti di inquinamento sono il traffico veicolare, le attività industriali e i sistemi di riscaldamento.

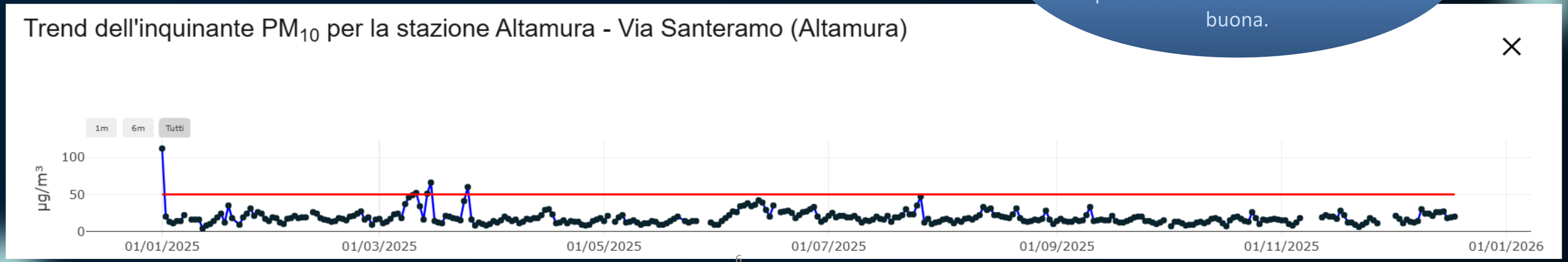
Tra gli inquinanti più rilevanti e su cui abbiamo focalizzato l'attenzione in questo progetto ricordiamo

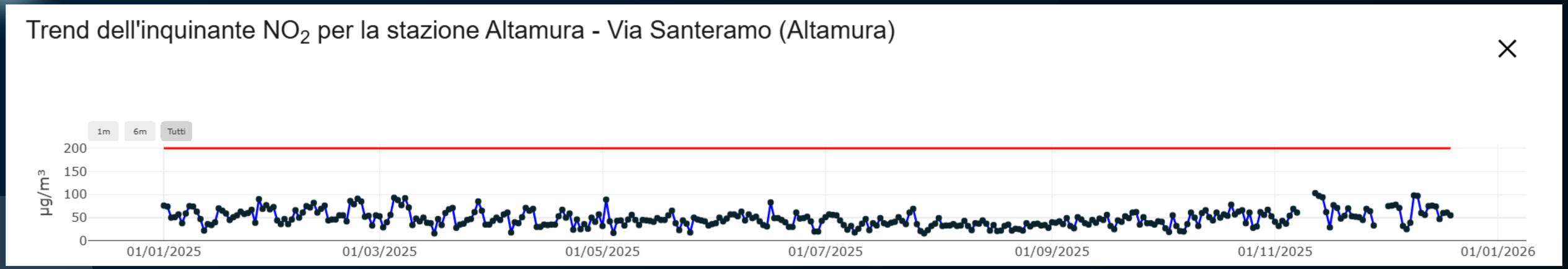
- **il particolato atmosferico, PM10,** costituito da particelle solide e liquide con diametro inferiore a 10 micrometri, in grado di penetrare nelle vie respiratorie e causare problemi respiratori e cardiovascolari.
- **Biossido di azoto,** NO_2, **un g**as tossico che si forma nelle combustioni ad alta temperatura. Sue principali sorgenti sono i motori a scoppio, gli impianti termici, le centrali termoelettriche

Andamento annuale PM10 E NO_2 in Altamura nel 2025

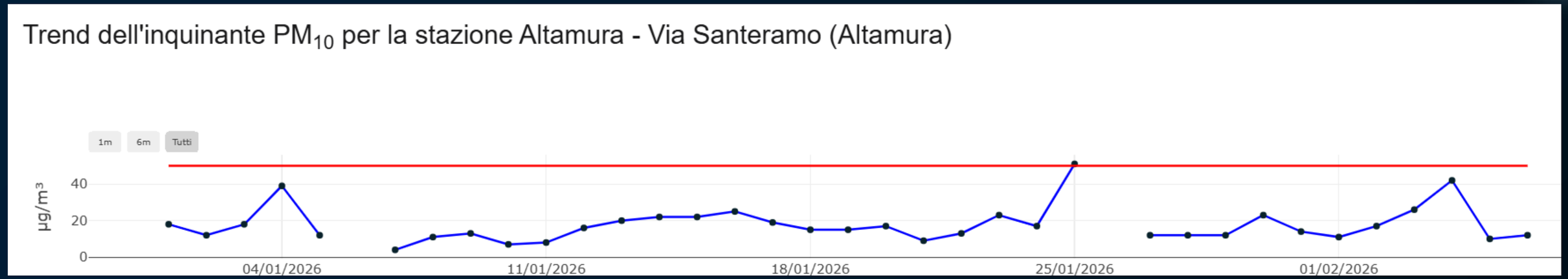
Questi trend sono stati presi dal sito dell'ARPA e si riferiscono ad una stazione di rilevamento che si trova in una strada principale di Altamura.

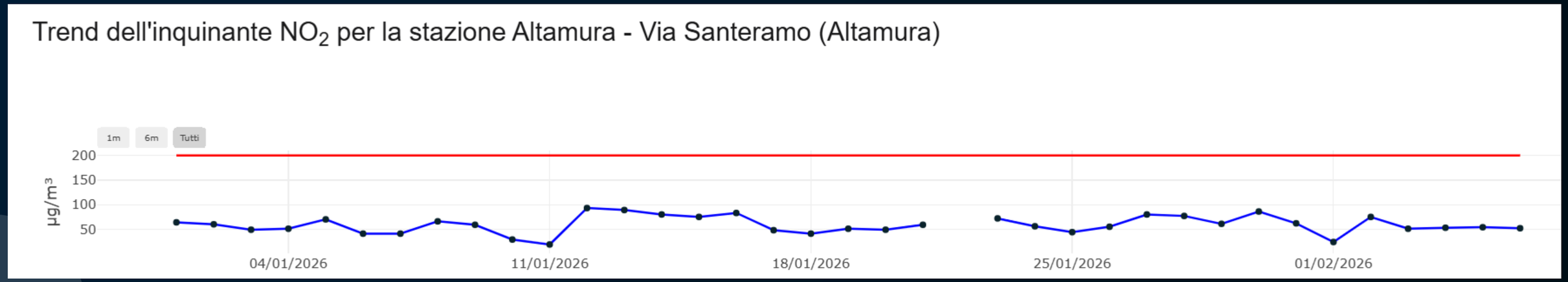
La linea rossa rappresenta il valore limite degli inquinanti e quindi possiamo dire che Altamura è un paese con una qualità dell'aria tendenzialmente buona.



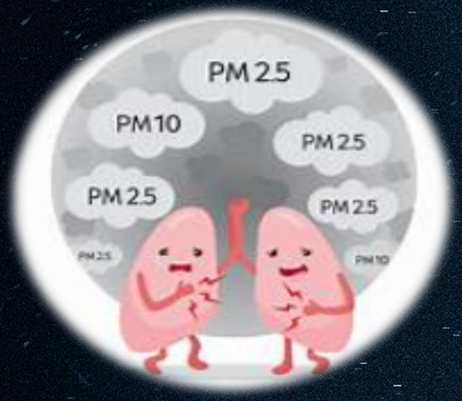


Andamento annuale di PM10 E NO_2 in Altamura nel 2026



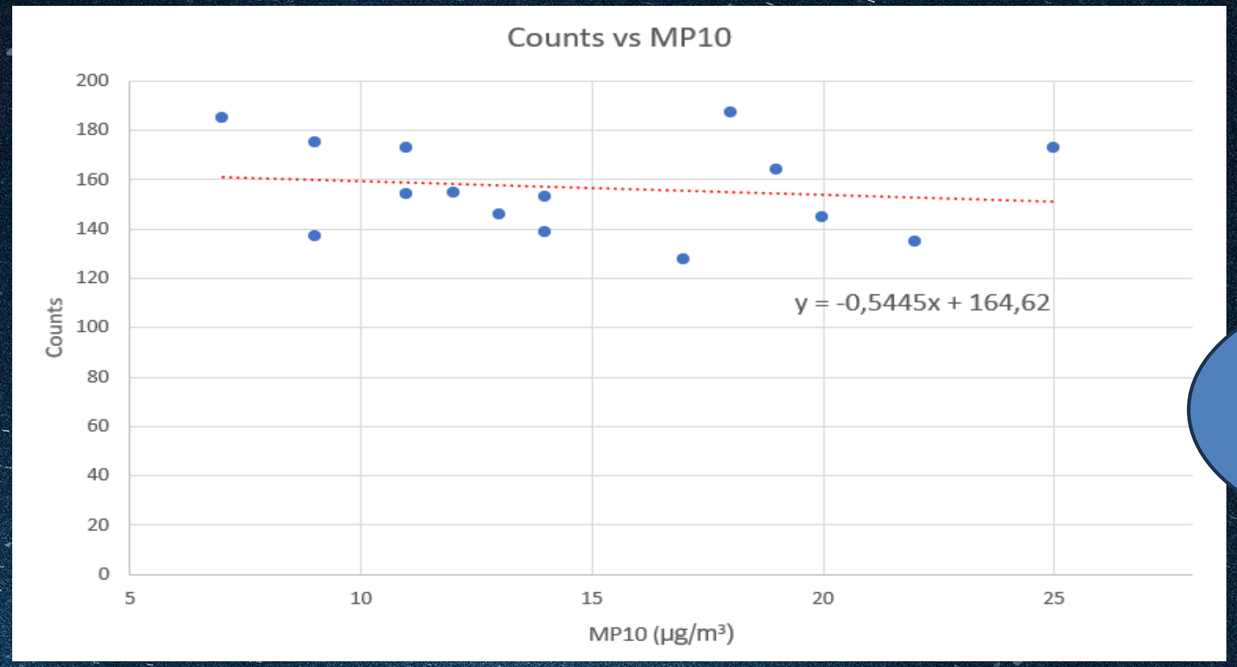


Grafici



PM10

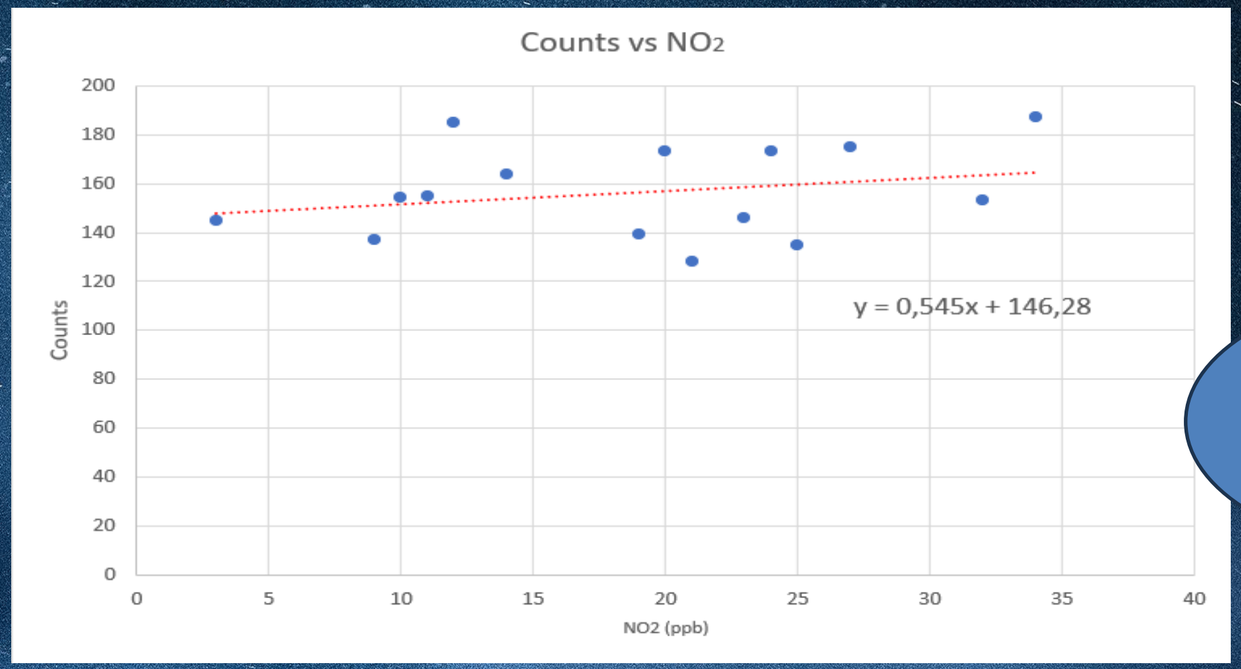
MP10	Conteggi
19	164
17	128
25	173
22	135
20	145
9	137
11	173
9	175
14	153
14	139
12	155
11	154
18	187
13	146
7	185



Il coefficiente di correlazione di Pearson è $r \approx -0,05$

NO_2

NO2	conteggi
14	164
21	128
20	173
25	135
3	145
9	137
24	173
27	175
32	153
19	139
11	155
10	154
34	187
23	146
12	185



Il coefficiente di correlazione di Pearson è $r \approx 0,14$

Conclusione Obiettivo 1

L'analisi dei dati sperimentali relativi al flusso dei muoni e alle concentrazioni degli inquinanti atmosferici PM10 e NO_2
NON mostra la presenza di una correlazione significativa perché
in entrambi i casi, i grafici a dispersione dei conteggi di muoni in funzione degli inquinanti hanno un coefficiente di Pearson $r \approx 0$.

Probabilmente anche se la concentrazione di PM10 o NO_2 cambia,
questi inquinanti (almeno con questi valori)
non sono sufficienti a modificare il flusso di muoni che arriva al suolo
perché la loro presenza è localizzata negli strati bassi dell'atmosfera (troposfera)
e i muoni non sono influenzati.

Misure rispetto alle variabili metereologiche

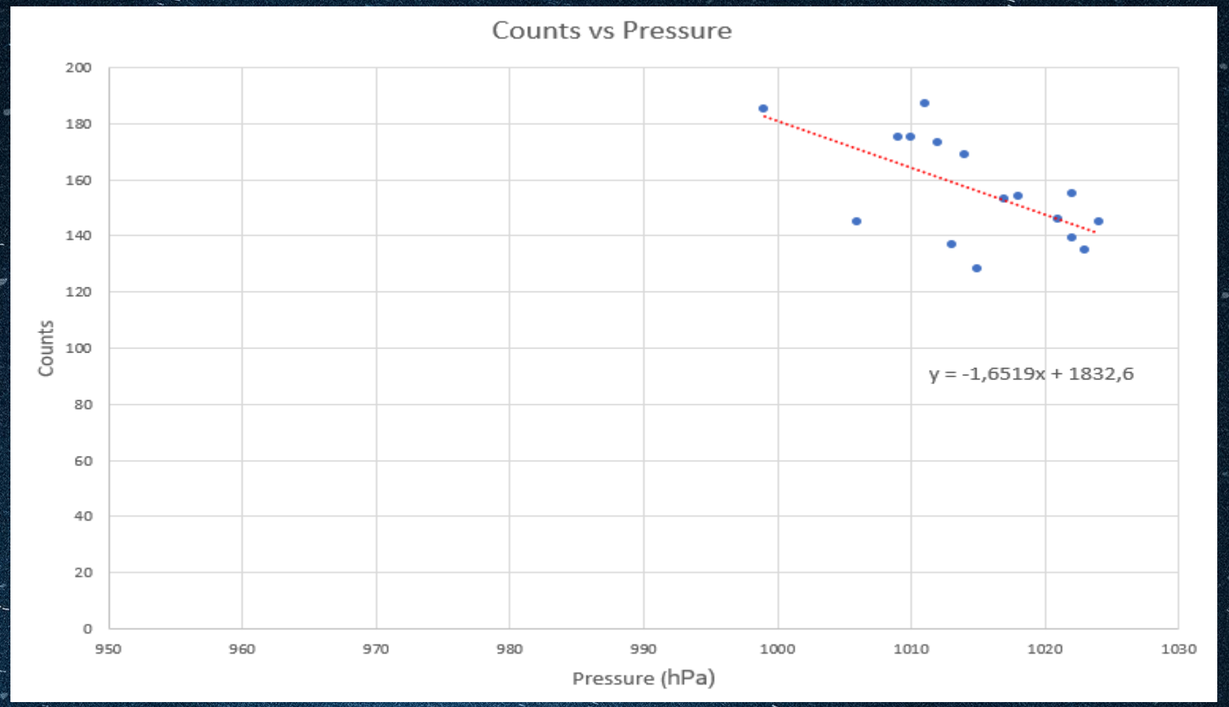
Le variabili metereologiche rispetto alle quali abbiamo analizzato il flusso dei muoni sono:

- ✓ La Pressione atmosferica che indica quanta aria c'è sopra di noi. Se la pressione aumenta, lo strato d'aria diventa più spesso e il numero di muoni che raggiunge il suolo è inferiore.
- ✓ L'Umidità che indica quanta acqua c'è nell'aria. Anche se può modificare leggermente la densità dell'aria, abbiamo cercato di riflettere sul suo effetto sul flusso muoni.

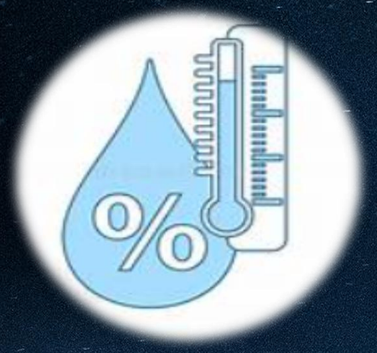
Grafici

Pressione

Pressione	Contegg.
1006	145
1015	128
1012	173
1023	135
1024	145
1013	137
1014	169
1009	175
1010	175
1017	153
1022	139
1022	155
1018	154
1011	187
1021	146
999	185

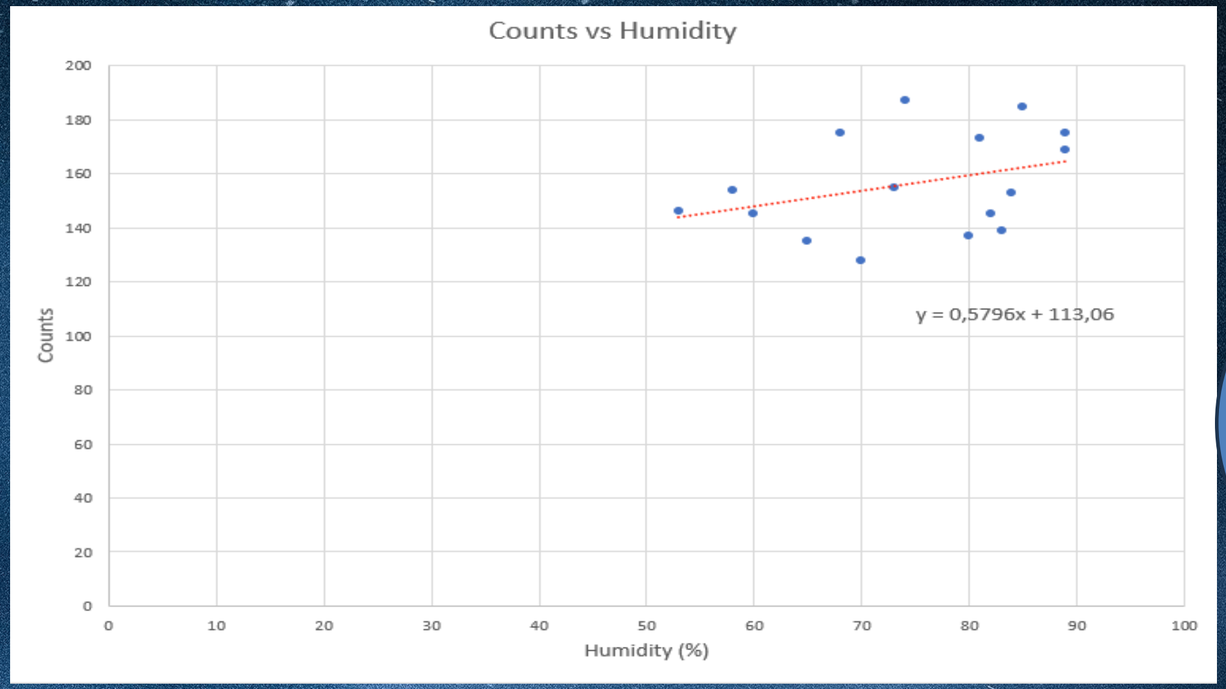


Il coefficiente di correlazione di Pearson è - 0,69



Umidità

umidità	Contegg.
60	145
70	128
81	173
65	135
82	145
80	137
89	169
89	175
68	175
84	153
83	139
73	155
58	154
74	187
53	146
85	185



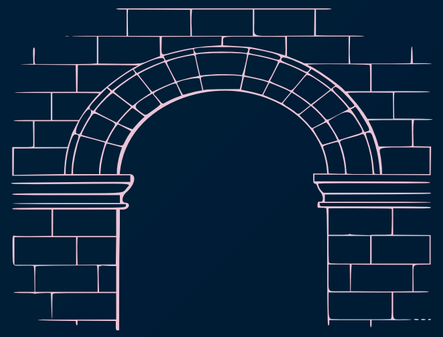
Il coefficiente di correlazione di Pearson è 0,37

Conclusione Obiettivo 2

- Il flusso di muoni diminuisce quando aumenta la pressione atmosferica.
- L'umidità non mostra una influenza significativa sul flusso dei muoni.
- Tra pressione e umidità, la pressione è quella che influisce maggiormente sul flusso dei muoni.
- L'andamento del grafico, nel caso della pressione è spiegabile perché i valori della pressione sono compresi in un intervallo sufficientemente piccolo e cioè tra i 999hPa e i 1024 hPa.

  Infatti la già consolidata relazione sperimentale $R = R_0\, e^{-\mu(p-p0)}$
  può essere approssimata con la funzione lineare $R \approx R_0 - \mu R_0 (p-p0)$

R indica il rate delle particelle rilevate,
R_0 è il rate di riferimento,
μ è il coefficiente barometrico,
p_0 è la pressione di riferimento e
p la pressione a cui la misura è effettuata,
assunta come variabile indipendente)



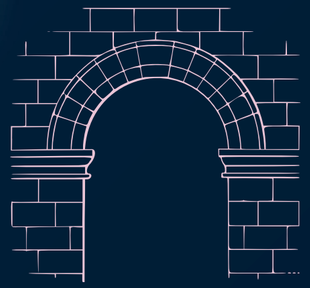
Misure

rispetto alla struttura architettonica sovrastante la Cosmic Box

ARCO DI PORTA BARI

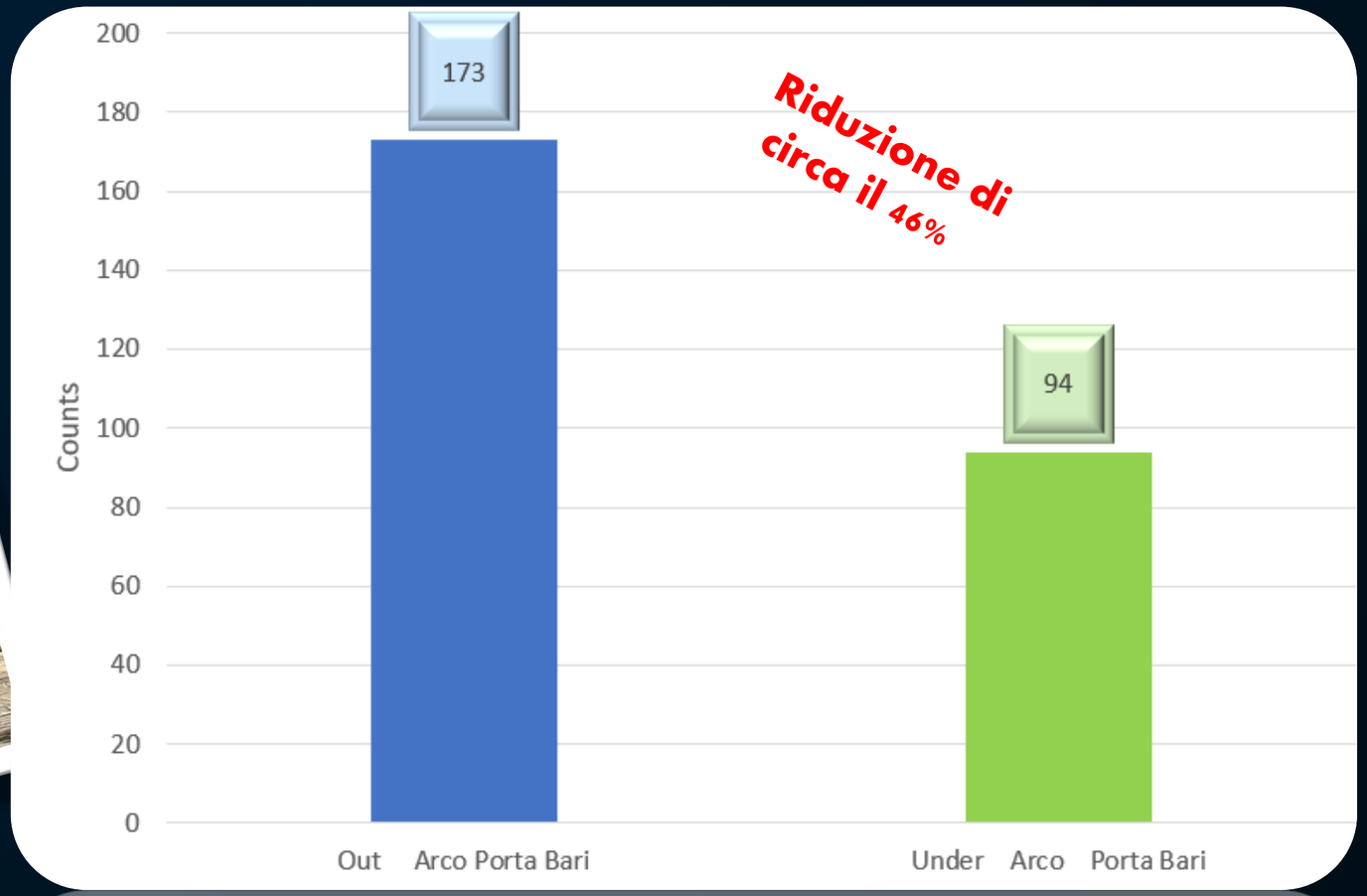
ARCO DEI MARTIRI

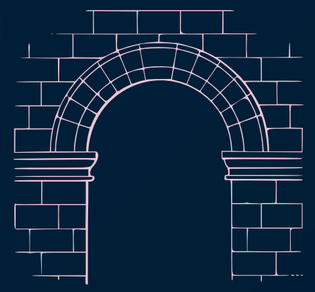
ARCO BASSO



Arco di Porta Bari

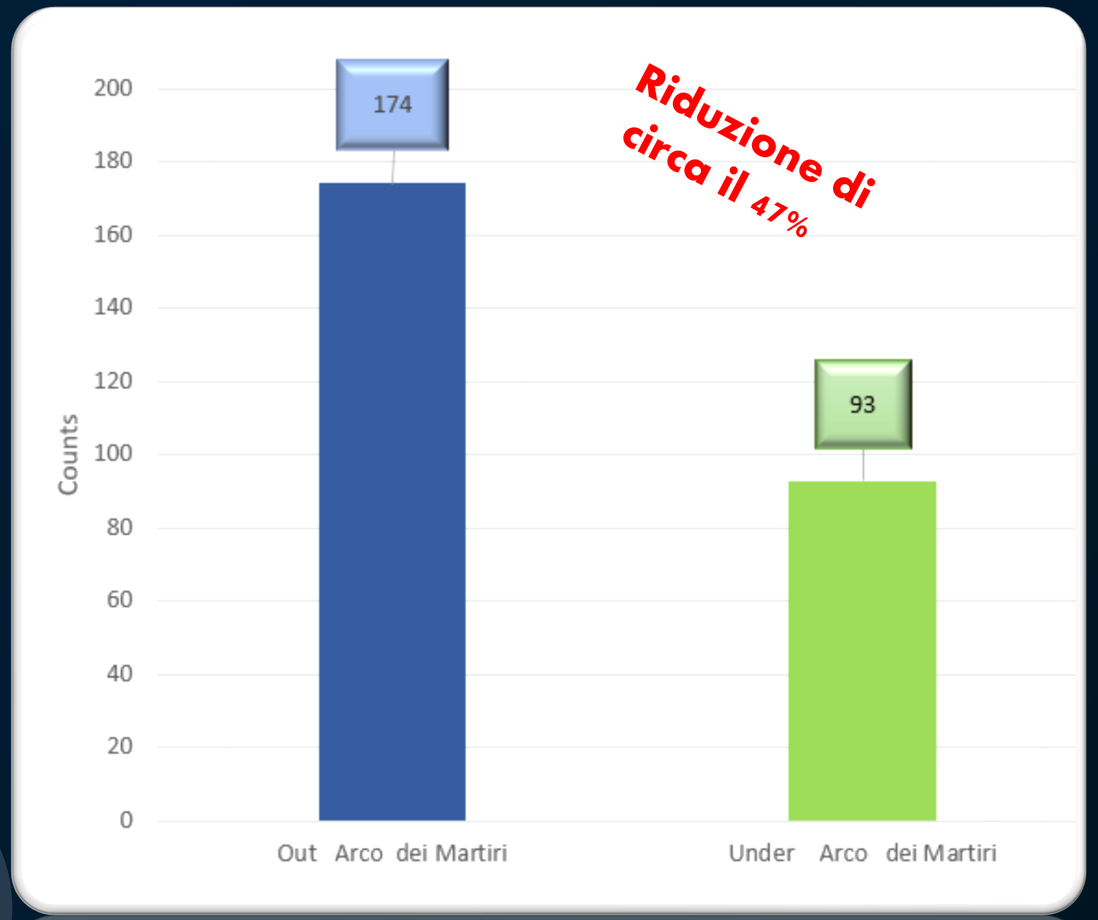
Porta Bari risale al XVII secolo ed è realizzata in stile barocco.
Era una delle porte di accesso della città di Altamura, prima che la cinta muraria fosse quasi del tutto abbattuta nel corso dell'Ottocento.

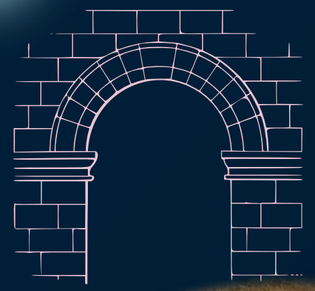




Arco dei Martiri

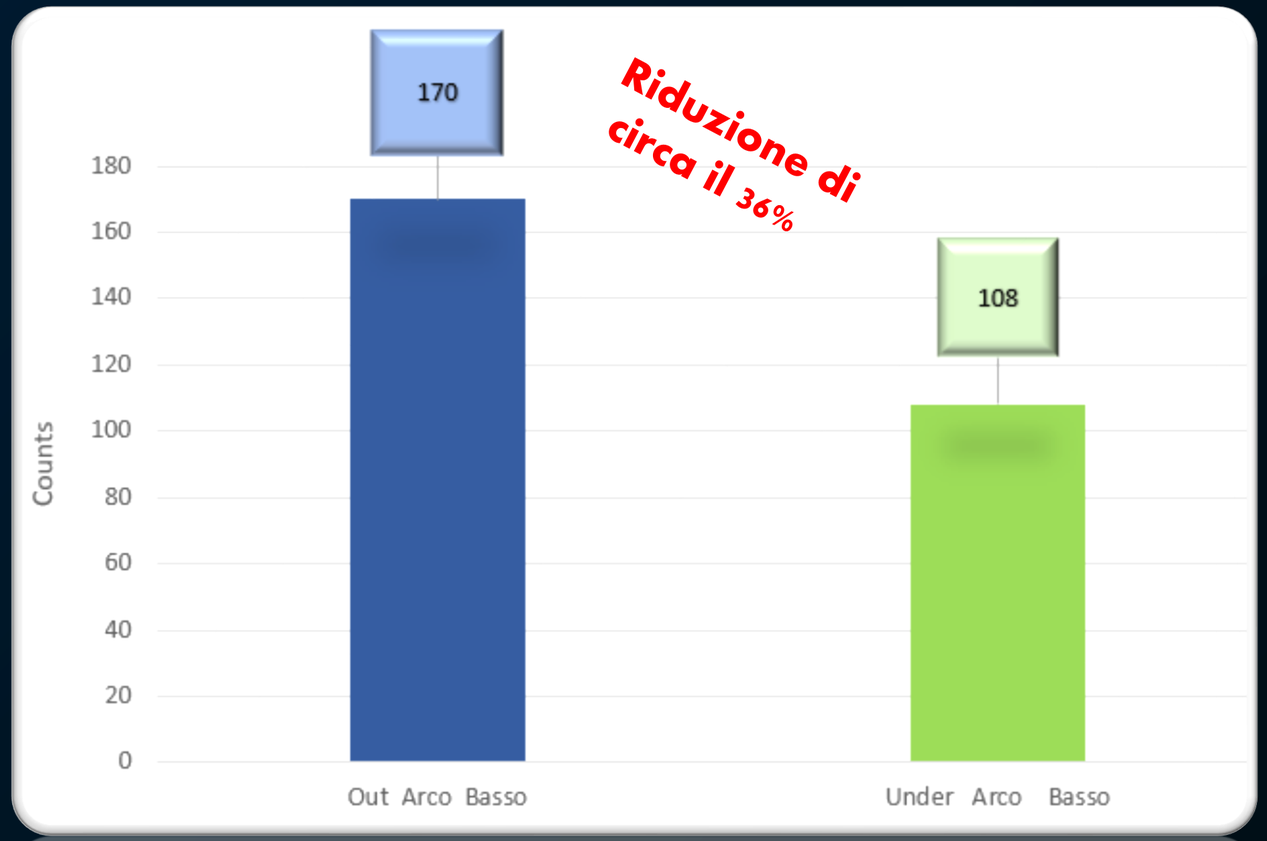
La **Porta dei Martiri**, detta in dialetto altamurano *la Purtecedde* era una delle 6 porte di accesso dell'antica città di Altamura (erano parte del muro di cinta della città). Oggi restano solo l'arco e la decorazione in bugnato, mentre il muro di cinta sovrastante fu abbattuto e convertito in edificio nel corso dell'Ottocento.





Arco Basso

Costruito probabilmente tra il **XIII e il XIV secolo**, l'Arco Basso faceva parte del sistema difensivo della città medievale. La sua struttura in pietra, semplice ma maestosa, segnava l'ingresso al **quartiere Santa Caterina**, uno dei nuclei più antichi di Altamura. La particolarità? La sua altezza ridotta, che costringeva chi vi passava a inchinarsi, quasi in un gesto di rispetto verso la città.

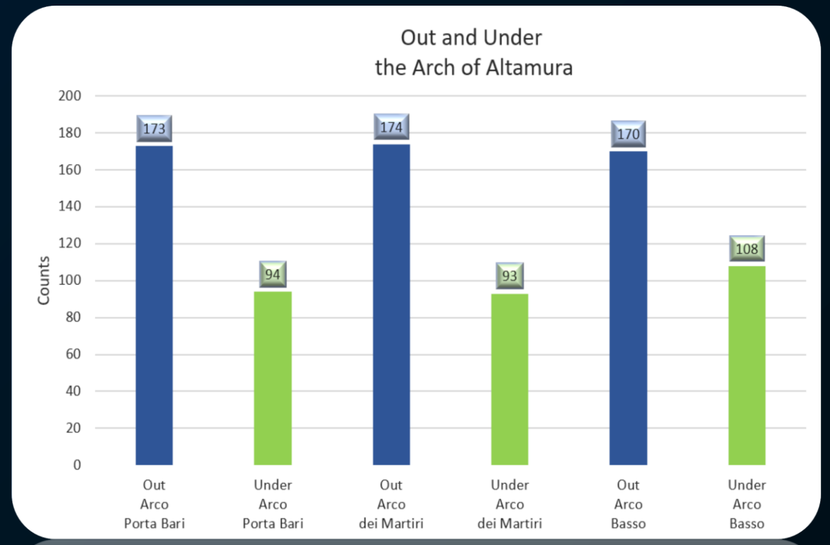


Conclusione Obiettivo 3

- Il flusso di muoni sotto gli archi è significativamente inferiore rispetto all'aria libera, confermando l'effetto schermante delle strutture.

- L'Arco Basso, pur essendo uno degli archi più bassi d'Europa, mostra un flusso più alto rispetto agli altri archi, perché la massa e lo spessore della struttura, evidentemente, influenzano più dell'altezza.

- I risultati dimostrano che i muoni, pur essendo particelle molto penetranti, possono essere parzialmente schermati da strutture solide.



Analisi dell'errore statistico

Nel conteggio di eventi casuali come i muoni, l'errore tipico segue la **statistica di Poisson**. Questo significa che l'**incertezza sul numero di N conteggi** è approssimativamente:

$$\sigma = \sqrt{N}$$

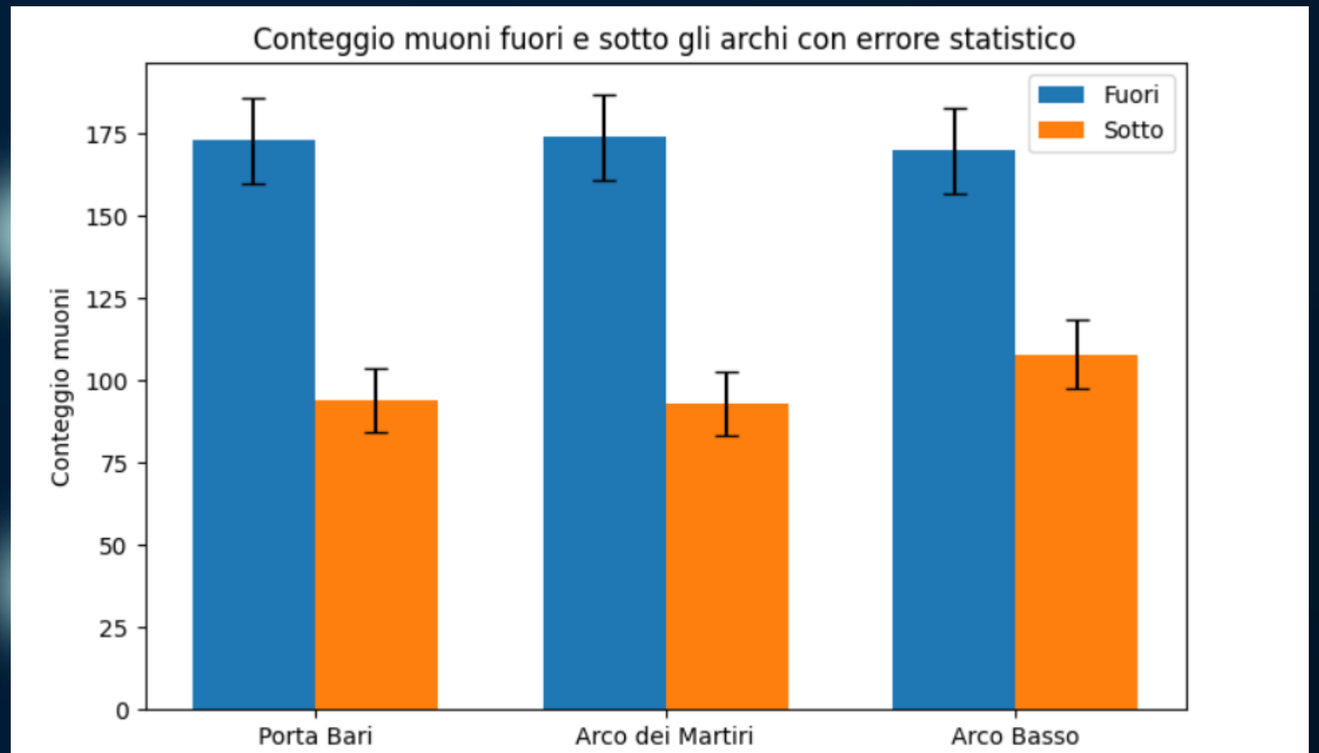
.

Per confrontare i muoni **fuori vs sotto**, l'errore sulla differenza è:

$$\sigma_{diff} = \sqrt{\sigma_{out}^2 + \sigma_{under}^2}$$

<u>Nel nostro caso, la differenza osservata, in tutti e tre i casi, è **molto maggiore dell'errore**, quindi il calo dei muoni sotto gli archi è **statisticamente significativo**.</u>

Analisi dell'errore statistico




```
Porta Bari: differenza = 79 ± 16.34
Arco dei Martiri: differenza = 81 ± 16.34
Arco Basso: differenza = 62 ± 16.67
```

Arco di Porta Bari:

$$N_{out} = 173 \Rightarrow \sigma_{out} \approx 13{,}15$$
$$N_{under} = 94 \Rightarrow \sigma_{under} \approx 9{,}70$$
$$\sigma_D = \sqrt{13,15^2 + 9,70^2} \approx 16{,}34$$

La differenza osservata è $173 - 94 = 79$ molto maggiore dell'errore statistico di 16,34 → **risultato statisticamente significativo**.

Arco Basso

$$N_{out} = 170 \;\Rightarrow\; \sigma_{out} = \sqrt{170} \approx 13{,}04$$
$$N_{under} = 108 \;\Rightarrow\; \sigma_{under} = \sqrt{108} \approx 10{,}39$$
$$\sigma_D = \sqrt{13,04^2 + 10,39^2} \approx 16{,}68$$

La Differenza osservata è $170 - 108 = 62$ molto maggiore dell'errore statistico 16,68→ **risultato statisticamente significativo**.

Arco dei Martiri

$$N_{out} = 174 \;\Rightarrow\; \sigma_{out} = \sqrt{174} \approx 13{,}19$$
$$N_{under} = 93 \;\Rightarrow\; \sigma_{under} = \sqrt{93} \approx 9{,}64$$

Errore sulla differenza $\sigma_D = \sqrt{13,19^2 + 9,64^2} \approx 16{,}34$

La Differenza osservata è $174 - 93 = 81$ **molto maggiore** dell'errore statistico 16,34 → **risultato statisticamente significativo**

Noi a lavoro

Grazie!

Studenti che partecipano al Progetto:

Andrea F., Michelangelo A.,
Pietro B., Nadia B.,
Carlo C., Marica C.,
Maria C., Federico C.,
Salvatore C., Antonio C.,
Valentina C., Serena D.,
Alessandro D., Sofia D.,
Giuseppe D.,Michele F.,
Simone F., Claudio F.,
Pasquale G., Vittoria I.,
Rosa L., Mariateresa L.,
Rossella L., Matteo L.,
Valentina M., Teodora P.,
Harman S., Federica T., Giuseppe F.

Le docenti:

Loporcaro Giovanna
Loiudice Angela