

# Misure congiunte del flusso dei muoni e della pressione atmosferica.

Le misure che descriviamo in questa sezione e che rendiamo disponibili per l'analisi dati, fanno parte delle attività da svolgere durante gli stage estivi per studenti a LNL.

Gli stage estivi a LNL sono rivolti agli studenti delle 4° classi degli Istituti Superiori italiani, durano due settimane e sono organizzati nella seconda metà di giugno dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Laboratori Nazionali di Legnato (<https://www.lnl.infn.it/eventi-locali-di-3m-stage-seminari/#1>).

Durante le due settimane di stage a LNL gli studenti entrano in contatto con l'attività di ricerca in fisica e, in alcuni dei percorsi disponibili, portano a termine un esperimento scientifico; uno di questi riguarda i raggi cosmici e utilizza i dati acquisiti da un telescopio per muoni. Con queste misure sono possibili varie osservazioni, e tra queste anche il confronto dei risultati di queste acquisizioni con gli effetti di disturbo di una variabile ambientale come la pressione atmosferica.

Cosa si vuole misurare?

Si vogliono dunque misurare due grandezze: da una parte il flusso di raggi cosmici al suolo, più precisamente di particelle secondarie, i muoni, prodotte dai raggi cosmici primari (prevalentemente protoni), e dall'altra parte una variabile ambientale come la pressione atmosferica.

Lo scopo di queste misure e del loro confronto è valutare l'influenza media della pressione atmosferica sul valore medio del flusso di muoni a livello del mare.

La dinamica di produzione dei muoni, a partire dai raggi cosmici, è spiegata in dettaglio nei due percorsi “Particelle dallo spazio” (<https://web.infn.it/OCRA/particelle-dallo-spazio>) e “I Muoni” (<https://web.infn.it/OCRA/i-muoni>).

Come spiegato nei percorsi sopra indicati, tra le particelle che arrivano a livello del mare i muoni ( $\mu$ ) sono quelle più numerose e più facilmente misurabili: essi possono interagire con alcuni materiali (gli scintillatori plastici), che emettono luce quando sono attraversati dalla loro traiettoria.

## Muoni

Ricordiamone brevemente le caratteristiche principali dei muoni o particelle  $\mu$  :

1. sono simili agli elettroni, ma hanno una massa 200 volte maggiore;
2. sono prodotti dai raggi cosmici primari, prevalentemente protoni, a circa 15 km dalla superficie terrestre;
3. a terra, attraversano inalterati materiali poco densi (ad es. gli edifici), con piccola perdita di energia;
4. ogni minuto arrivano al suolo decine di muoni al secondo per  $\text{cm}^2$ ;
5. sebbene abbiano una vita media di 2.2 milionesimi di secondo, arrivano fino a livello del mare e si fermano sottoterra solo dopo aver attraversato decine di metri di strati di roccia.

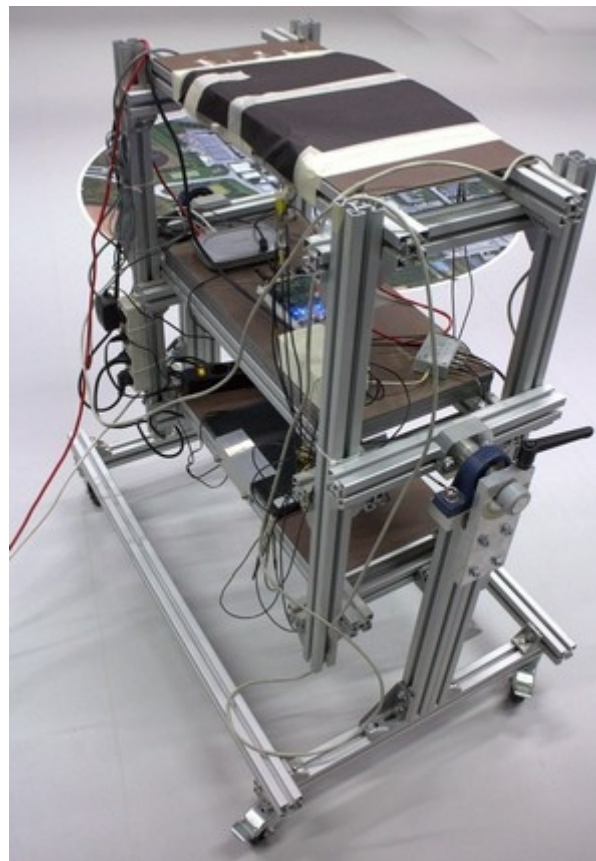
## Il dispositivo di misura

Il dispositivo di misura utilizzato in questa esperienza è un telescopio con 2 piastre di scintillatori plastici presente a LNL ed illustrato in Figura 1.

In sintesi, il dispositivo di misura comprende 2 piani di rivelazione orizzontali e paralleli.

Ciascun piano è costituito da una lastra di materiale “sensibile” al passaggio dei muoni o particelle  $\mu$ .

Quando una particella  $\mu$  attraversa uno scintillatore, essa rilascia una piccola parte della sua energia nel materiale sotto forma di luce. La luce prodotta dal passaggio del muone (i fotoni) viene raccolta da una fibra ottica che è inserita nella lastra. Questa fibra ottica ha anche il compito di “traslare” la lunghezza d’onda della luce emessa dal materiale scintillatore nella banda della luce verde, una banda ottica dove sono attivi dei dispositivi elettronici particolari, i fotomoltiplicatori a stato solido o SIPM, che trasformano i lampi di luce in impulsi di corrente elettrica. La corrente elettrica prodotta dai SIPM viene quindi elaborata da opportuni circuiti elettronici e “trasformata” in un dato numerico: la misura del numero di muoni che passano attraverso le due piastre per unità di tempo. Il dato numerico



*Figura 1 - Il telescopio per muoni a LNL con le piastre in posizione orizzontale*

prodotto dalla scheda elettronica connessa ai fotomoltiplicatori e quindi anche agli scintillatori viene infine trasmesso ad un piccolo elaboratore numerico RaspberryPI (un “single board computer”, piccolo ma potente) che memorizza i dati e li rende disponibile in rete, su web, sia in forma numerica che in forma di grafici nel tempo.

I dati vengono raccolti dalla scheda di acquisizione ogni 1 minuto (60 secondi) e sono i seguenti:

1. data e ora (ore:minuti:secondi) relativi alla misura;
2. 4 conteggi singoli, ovvero il numero di “eventi” rilevati da ciascuno dei 4 fotomoltiplicatori sulle 2 piastre del telescopio; ci sono infatti 2 fotomoltiplicatori su ciascuna delle due piastre, uno su ciascuna delle 2 terminazioni delle fibre ottiche che raccolgono i flash di luce prodotti dal passaggio dei muoni attraverso lo scintillatore;
3. 1 conteggio di coincidenze, ovvero la numerosità degli eventi che vengono rivelati “simultaneamente” sulle due piastre di scintillatori;
4. il valore di pressione atmosferica misurato dal sensore barometrico presente sulla scheda di acquisizione dati;
5. il valore di temperatura ambientale rilevato dal sensore di temperatura presente sulla scheda di acquisizione dati.

Per l'esame dei dati registrati dal RaspberryPI si devono tener presenti i seguenti fatti:

1. idealmente i conteggi singoli del punto 2 nella lista precedente dovrebbero fornire il numero di muoni che "passano" per ciascuna delle due piastre ogni minuto, ma in realtà non è così: i dati dei conteggi singoli sono affetti da un notevole livello di disturbo, che rende difficile il loro uso diretto: su questi dati è molto agevole, ad esempio, vedere l'effetto assai marcato delle variazioni di temperatura ambientale;
2. il conteggio delle coincidenze, ovvero la numerosità degli eventi che vengono rivelati "simultaneamente" sulle due piastre di scintillatori è invece un dato molto più indicativo sul reale flusso di particelle per unità di tempo: vengono infatti conteggiati come "eventi" solo gli impulsi elettrici che si verificano in un intervallo di tempo così piccolo da poter essere considerati come simultanei; in questo modo gli eventi spuri dovuti, ad esempio, al rumore termico vengono eliminati e il dato è davvero indicativo degli effettivi passaggi delle particelle  $\mu$  nel materiale delle piastre.
3. il valore di pressione atmosferica misurato dal sensore barometrico presente sulla scheda di acquisizione dati è nel range 950-105 mbar; questa grandezza varia molto lentamente, in genere resta costante per ore, le variazioni sono apprezzabili solo in una intera giornata o in più giornate;
4. il valore di temperatura ambientale, che di regola ha un andamento periodico nell'arco della giornata, normalmente con una escursione molto modesta; tuttavia varia anche con la stagione, con spostamenti molto lenti del valore medio nelle settimane e nei mesi.

### **Raccolta dati.**

Per avere misure significative dell'influenza della pressione atmosferica sul flusso dei muoni a terra occorre raccogliere dati per almeno 2-3 giorni. Per fortuna il modulo RaspberryPI collegato alla scheda di acquisizione dati lo fa da solo! Naturalmente occorre raccogliere dati in condizioni "stazionarie", cioè con una configurazione fissa del telescopio, in termini di posizione e orientamento, per 2-3 giorni o più. Un'agevole accesso ai dati registrati è possibile solo dalla rete interna dei LNL. Oppure (con un po' di ritardo, i dati sono disponibili sul server pubblico <http://www2.lnl.infn.it/~canella/COSMIC/WWW2/DatiGiornalieri>)

### **Elaborazione dei dati.**

Per questa parte dell'esperienza è conveniente utilizzare i dati memorizzati dal modulo RaspberryPI e trasferirli in un foglio elettronico di calcolo, per esempio Excel, Calc o uno Sheet di lavoro Google.

Un'altra possibilità è quella di usare un programma Python dedicato, che legga i dati ed effettui le necessarie elaborazioni; per quest'ultima opzione occorre avere un po' di dimestichezza con la programmazione; se ne parlerà separatamente.

Nel file dove i dati vengono registrati si ha, all'incirca, un dato ogni minuto. Tuttavia non conviene usare i dati così come sono registrati "in modo grezzo", perché la misura del flusso di muoni è una grandezza aleatoria con una certa variabilità intrinseca, ben visibile anche dai grafici associati alle registrazioni, come illustrato nella Figura 2 qui sotto.

La distribuzione di probabilità che descrive, con buona approssimazione, i fenomeni di conteggio di

raggi cosmici al suolo è la distribuzione di Poisson. L'errore statistico associato a questo tipo di distribuzione è  $\sqrt{C}$ , dove  $C$  è il numero di eventi per ogni misura. Poiché stiamo analizzando il rate delle particelle, l'errore relativo a questa quantità deriva dalla propagazione degli errori e si ottiene dividendo l'errore del numero di conteggi ( $\sqrt{C}$ ) per il tempo  $T$ .

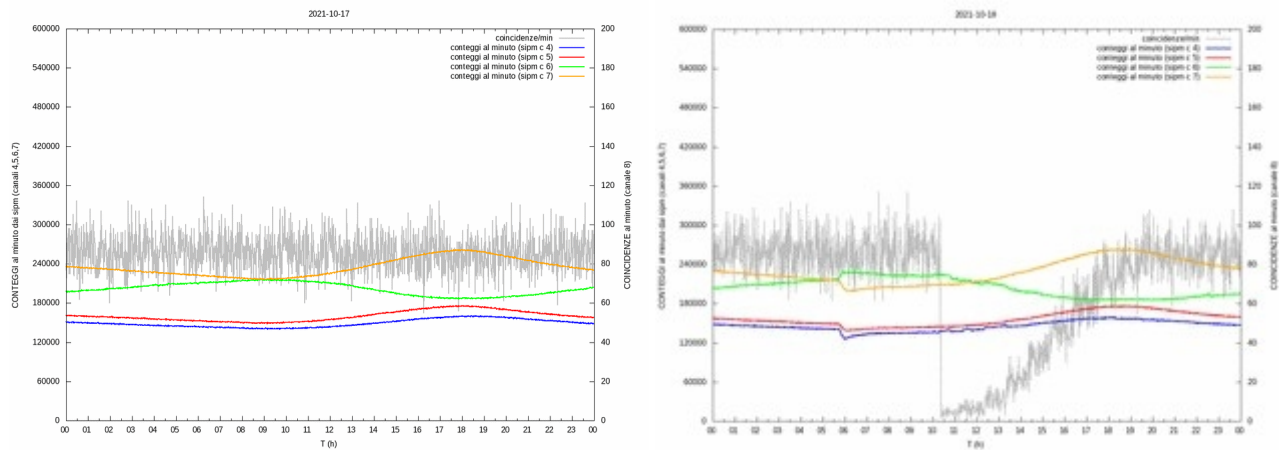


Figura 2 – Due grafici con l'andamento dei conteggi singoli (rosso, blu, arancio, verde) e delle coincidenze (grigio) in due diverse giornate: a sinistra una giornata convenzionale con il telescopio in posizione fissa, a destra una giornata in cui le due piastre sono state fatte ruotare per cambiare l'angolo azimutale con una variazione angolare di 10° ogni ora, a partire dalle ore 10:30 circa, e con un angolo iniziale di 90°.

E dunque, come stimare la misura? La migliore stima del valore vero è la media aritmetica di un certo numero di valori ottenuti nelle varie misure. Operativamente la cosa migliore è fissare degli intervalli di tempo ragionevoli, come minimo di 1 ora, ma anche 2 o 4 o 6 ore o perfino le 24 ore di un'intera giornata e calcolare il valore medio di tutte le misure di flusso che cadono all'interno dell'intervallo di tempo fissato. Con questa operazione il valore medio del flusso di muoni diventa molto più "stabile" (la variabilità delle medie è molto più bassa dei valori presi in un minuto).

Per fare un ragionevole confronto, la stessa operazione deve essere eseguita anche sui valori registrati di pressione atmosferica utilizzando gli stessi intervalli di tempo fissati per il flusso di muoni. Questo va fatto anche se la variabilità della pressione atmosferica è estremamente più bassa: a volte il suo valore resta costante per diverse ore.

Al termine di questa operazione si ottiene una tabella con un numero ridotto di dati, su 3 colonne: una colonna per il tempo (ad esempio, scegliendo di eseguire le medie sulle 24 ore di una intera giornata, nella prima colonna si avrà il numero del giorno), una seconda colonna per il valore medio del flusso di muoni nel periodo e una terza colonna per il valore medio della pressione atmosferica nel periodo.

Qui di seguito un esempio di tale tabella relativamente al mese di dicembre 2021, con il telescopio posizionato stabilmente nella sala Centrino di LNL e con le piastre in posizione orizzontale. Per tali misure la registrazione della pressione atmosferica locale non era ancora disponibile e sono stati usati i dati "on-line" registrati da ARPAV nella stazione meteorologica di Porto Tolle (RO), che non dista che qualche decina di km da LNL.

data	coincidenze	P. atm.
2021-12-01	88.45	1016.1
2021-12-02	90.98	1004.09
2021-12-03	88.87	1015.61
2021-12-04	89.05	1015.08
2021-12-05	90.04	1006.69
2021-12-06	89.65	1013.44
2021-12-07	89.00	1017.67
2021-12-08	89.95	1008.52
2021-12-09	91.08	1004.13
2021-12-10	91.20	1007.04
2021-12-11	89.45	1012.75
2021-12-12	86.77	1027.78
2021-12-13	86.53	1031.80
2021-12-14	86.59	1033.37
2021-12-15	85.91	1036.59
2021-12-16	85.02	1038.69
2021-12-17	85.26	1038.70
2021-12-18	84.97	1039.93
2021-12-19	86.72	1030.76
2021-12-20	87.56	1024.10
2021-12-21	87.37	1030.43
2021-12-22	86.66	1032.43
2021-12-23	86.68	1029.61
2021-12-24	87.84	1020.98
2021-12-25	88.97	1013.96
2021-12-26	89.36	1013.08
2021-12-27	89.30	1014.17
2021-12-28	88.72	1013.45
2021-12-29	87.61	1015.27
2021-12-30	86.14	1026.77
2021-12-31	85.44	1032.18

*Figura 3 – Tabella con i dati relativi ai valori medi giornalieri del flusso di muoni (coincidenze) e della pressione atmosferica, per il mese di Dicembre 2021*

A questo punto, a partire dai dati della tabella è possibile produrre uno “scatter plot”, ovvero un grafico in cui sono evidenziate le posizioni delle coppie (pressione-atmosferica, flusso-medio) su un piano cartesiano:

## scatter plot di conteggi di coincidenze vs. pressione

dicembre 2021

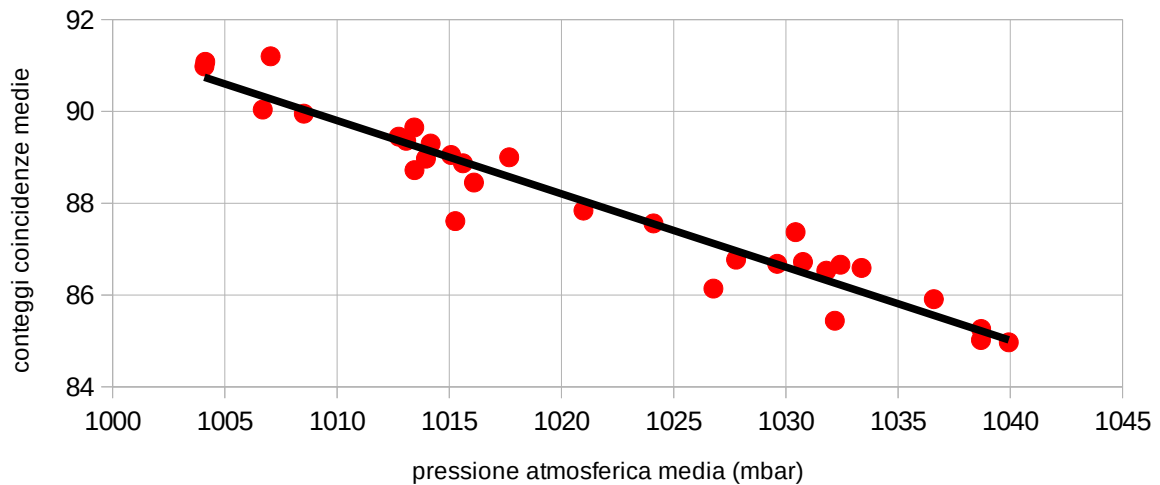


Figura 4 – "Scatter plot" per flusso di muoni medio e pressione atmosferica media al suolo nel mese di Dicembre 2021

La linea scura è la retta di regressione che meglio approssima il legame lineare tra le due variabili.

Sempre con i dati della tabella, sul foglio di calcolo, è possibile calcolare la correlazione numerica tra le due colonne di dati, pressione atmosferica e flusso medio di muoni:

**correlazione= -0.965**

Tale dato di correlazione ha valore assoluto molto vicino a 1; questo è indicativo di un forte legame di dipendenza tra le due grandezze, ovvero che la misura del flusso medio di muoni dipende dal valore medio della pressione atmosferica.

### **Confronto diretto dell'andamento temporale dei dati di pressione atmosferica e di valore medio di flusso di muoni**

Un altro modo per visualizzare in chiaro il legame tra pressione atmosferica e valore medio del flusso di muoni al suolo è quello di mettere in un grafico i dati della tabella con l'avvertenza di "ribaltare" simmetricamente l'andamento della pressione atmosferica rispetto ad un valore costante di riferimento. Usando, ad esempio un valore di riferimento di 1000 mbar, la formula per ottenere i valori di pressione "ribaltati" rispetto al valore di riferimento è:

$$Pr = 1000 - (1000 - P) = 2000 - P$$

Il grafico che si ottiene:

## mese di dicembre 2021

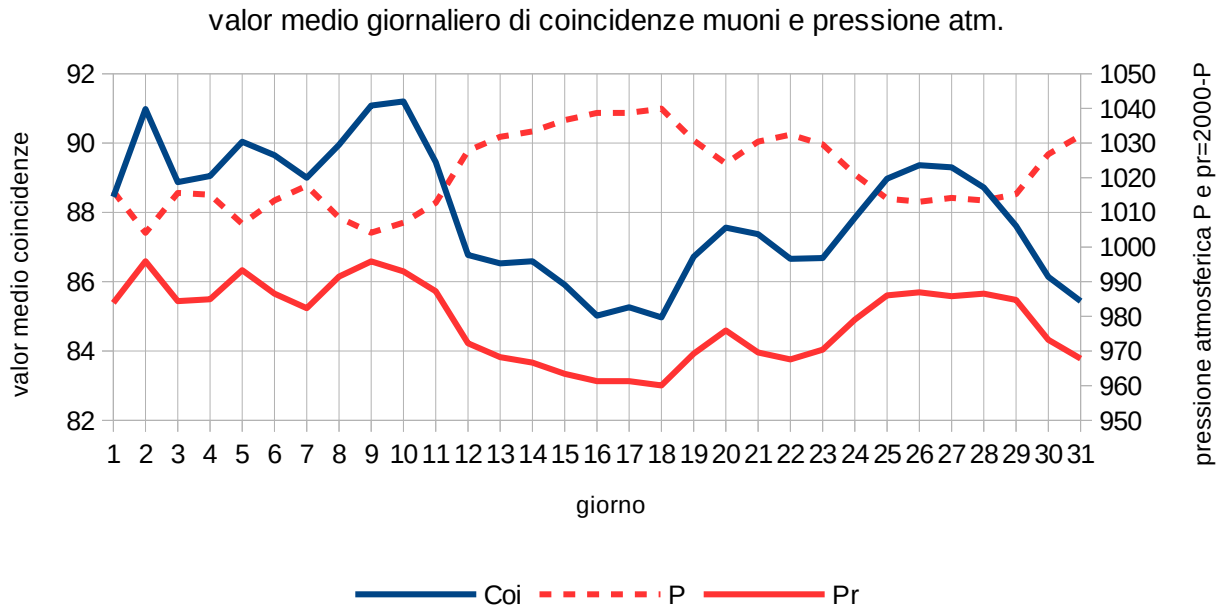


Figura 5 – Andamento nel tempo del flusso medio dei muoni (blu) e della pressione atmosferica (rorro a tratti) nel mese di Dicembre 2021. La linea rossa continua è relativa alla pressione atmosferica specularmente rovesciata rispetto alla linea 1000 mbar

La stretta relazione fra l'andamento della curva blu, le coincidenze medie nella singola giornata, ovvero il flusso medio sulle 24 ore, e la curva rossa, l'andamento medio della pressione atmosferica "ribaltata" rispetto al valore di riferimento di 1000 mbar, è molto evidente su tutto il mese.

### Bibliografia

(1) C. Patrignani et al. (Particle Data Group), Chinese Physics C, 40, 100001 (2016): Review of Particle Physics -29. Cosmic Rays.

1/13/22, 11:08

## APPENDICE 1: analisi dei dati da foglio elettronico

In primo luogo consideriamo il formato dei dati relativi ai muoni registrati nei file giornalieri. I file di registrazione sono file testuali, con tutti i dati “scritti in chiaro” e visualizzabili anche con un editor di testo.

Anche il nome del file contiene informazione: il nome dei file ha sempre il formato “YYYY-MM-DD” ovvero ANNO (YYYY, su 4 cifre), poi MESE (MM, su 2 cifre) e infine GIORNO (DD, su 2 cifre). Ad esempio il file 2022-03-08.dat contiene i dati registrati il giorno 8 marzo 2022.

All’interno di ciascun file i dati sono organizzati su 9 colonne (qui sotto indicate da C1 a C9):

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
08:00:13	479	148768	167784	188705	252121	43	1026	18.2
08:01:13	480	149039	168163	189349	252275	37	1026	18.3
08:02:13	481	149862	168292	190613	251192	45	1026	18.3
08:03:13	482	148640	167890	190198	251136	33	1026	18.2
08:04:13	483	147894	167737	190189	250979	35	1026	18.3
08:05:13	484	148024	167428	190580	250340	37	1026	18.4
08:06:13	485	148921	167873	190719	250539	39	1026	18.3
08:07:13	486	148247	167079	190584	250435	37	1026	18.4
08:08:13	487	148178	168572	192219	251080	34	1026	18.5
08:09:13	488	148080	167214	191510	250821	32	1026	18.5
08:10:13	489	149122	167345	192016	250579	39	1026	18.7
08:11:13	490	149319	168262	190794	250443	45	1026	18.7
08:12:13	491	149538	168235	191089	252447	43	1026	18.8
08:13:13	492	148383	168324	191620	252104	38	1026	18.8
08:14:13	493	149647	168344	191452	253034	34	1026	19.0
08:15:13	494	149656	168680	190759	253246	42	1026	19.0

Qui di seguito viene specificato il significato di ciascuna colonna:

C1 = ore(hh):minuti(mm):secondi(ss), il tempo della misura, ora locale nel formato hh:mm:ss

C2 = contatore interno, fornisce un contatore a partire dalla prima registrazione della giornata

C3 = conteggio singolo da SIPM1

C4 = conteggio singolo da SIPM2

C5 = conteggio singolo da SIPM3

C6 = conteggio singolo da SIPM4

C7 = coincidenze, ovvero conteggi di eventi “simultanei” dai 4 SIPM

C8 = pressione atmosferica (in mbar)

C9 = temperatura ambiente (in °C)

I dati principali per le elaborazioni statistiche qui considerate sono quelle delle colonne C1 (tempo), C7 (coincidenze) e C8 (pressione atmosferica).

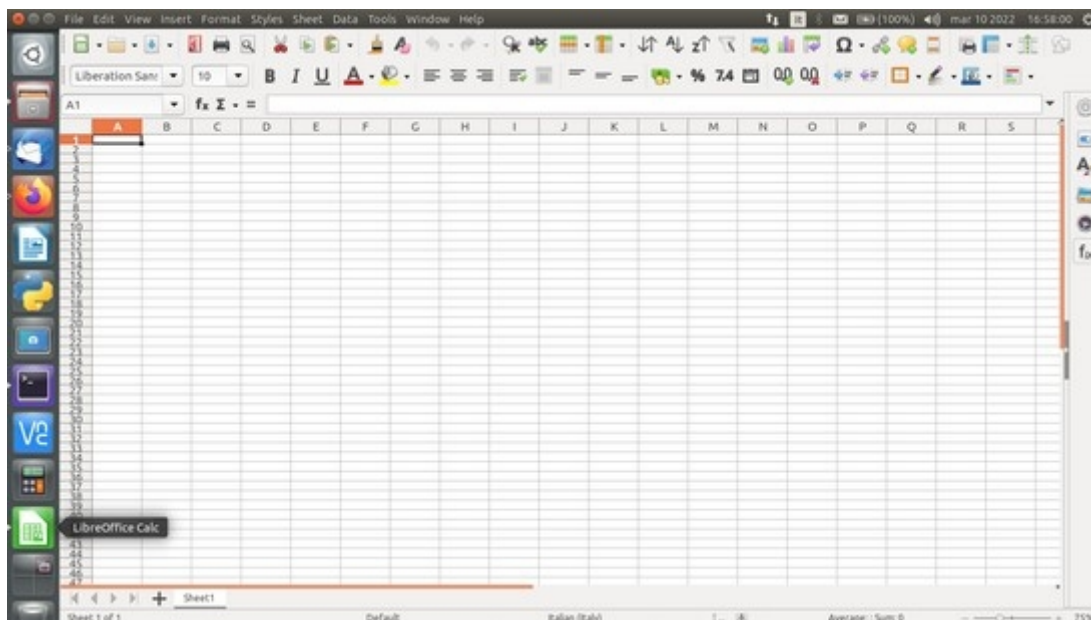
I dati delle altre colonne servono a tenere sotto controllo il buon funzionamento dell’apparato (colonne C2, C3, C4, C5 e C6) e le condizioni ambientali (colonna C9, la temperatura, che ha grande influenza sui dati C3, C4, C5, C6)



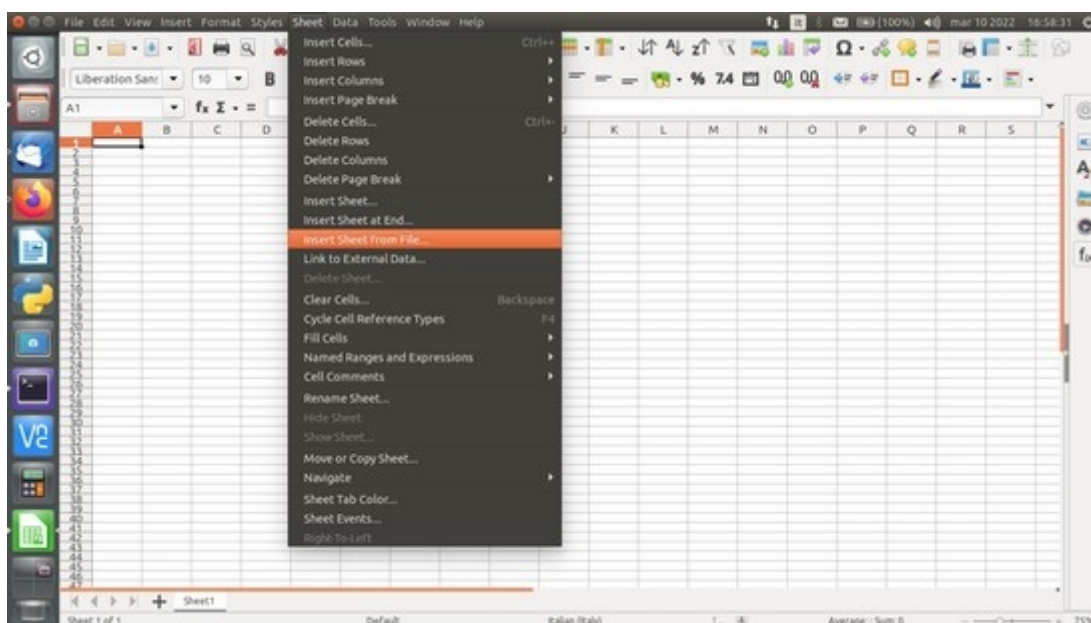
## Inserimento dei dati in un "Foglio di Calcolo" o SpreadSheet

Vediamo ora come caricare i dati di un file di questo tipo nella scheda di un foglio elettronico. Il primo esempio viene fatto usando "CALC" il foglio elettronico open-source del pacchetto LibreOffice, una variante "libera" di Microsoft Office Excel

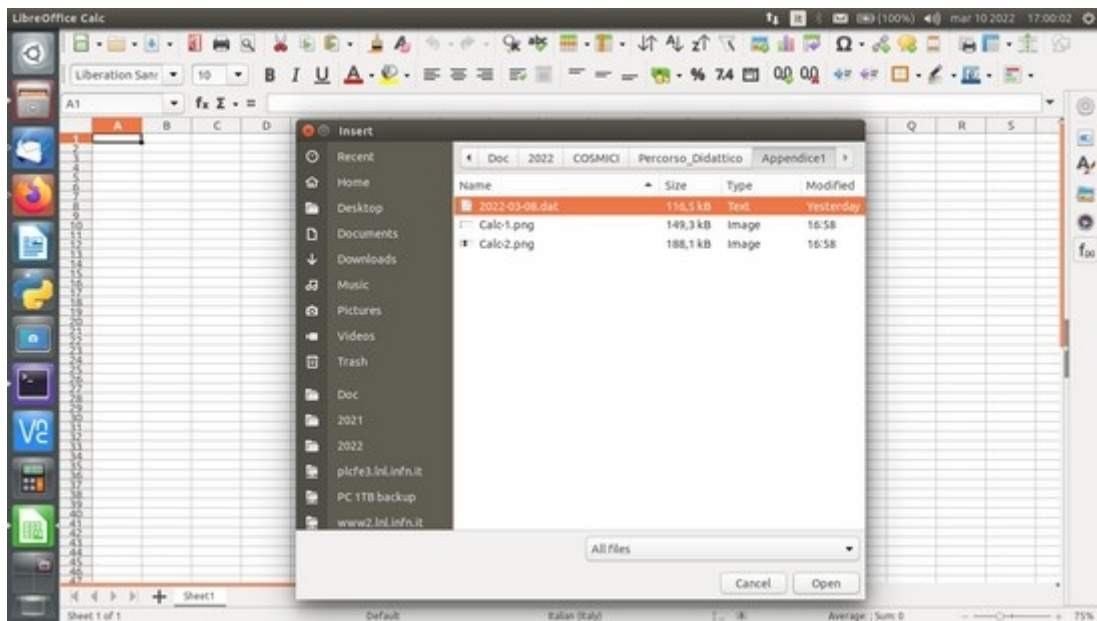
Si apre un nuovo file con l'applicazione Calc, si ha una scheda vuota (sheet1) senza alcun dato:



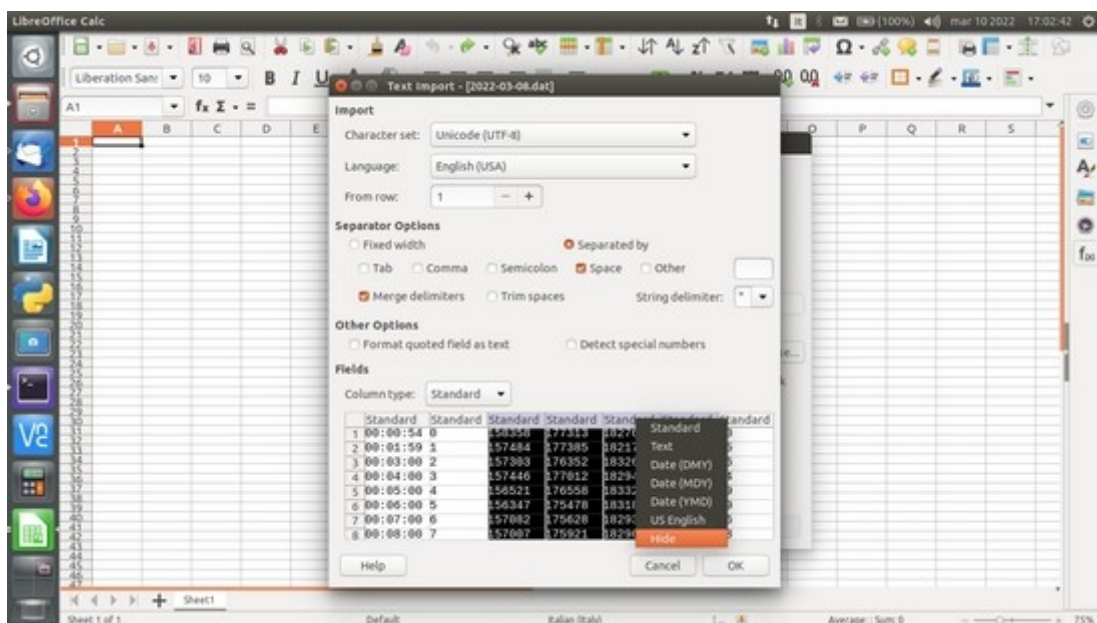
si procede a caricare i dati che interessano, quelli contenuti in 2022-03-08.dat, con Sheet → Insert Sheet from file



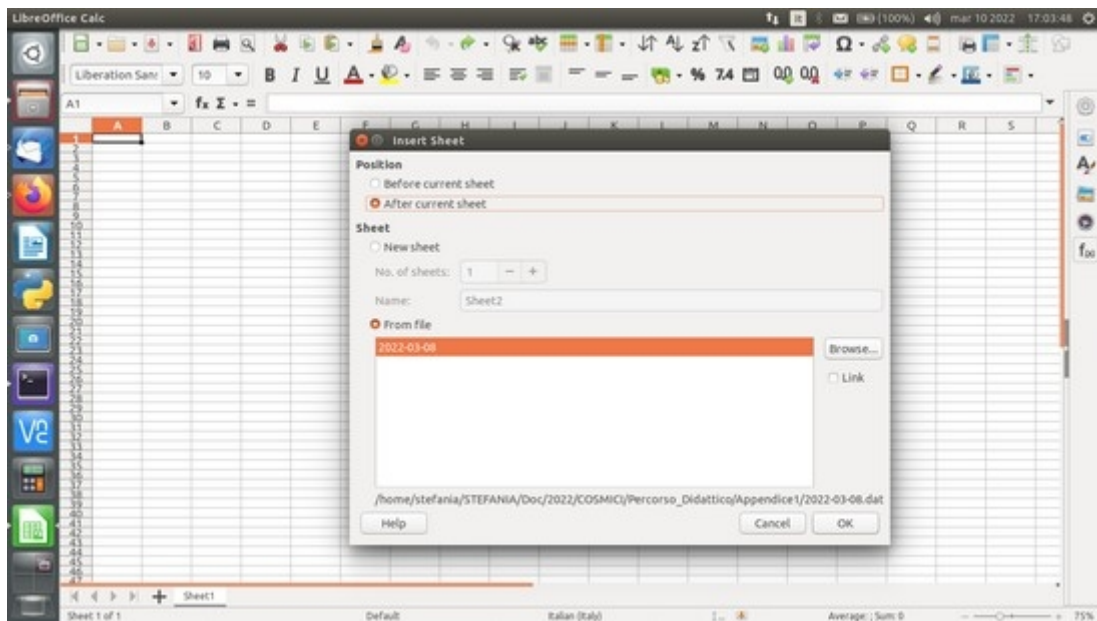
a questo punto compare il browser dei file con cui è agevole scegliere il file di dati che interessa:



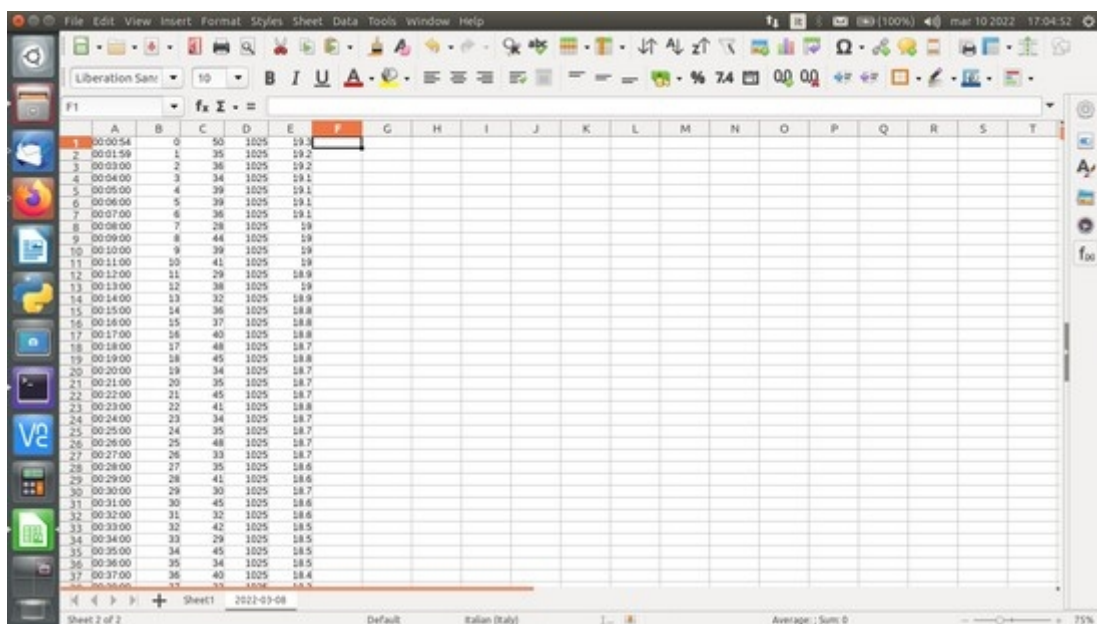
si attiva il pulsante “Open” e compare una finestra di aiuto al caricamento dei dati, relativamente al formato, che può essere personalizzato; in genere, la formattazione normale va bene:



**E' importante che il separatore sia lo spazio (Space)**, è bene utilizzare l'opzione Merge per evitare la creazione di inutili colonne vuote. Inoltre è utile, ma non necessario, evitare di caricare le colonne 3,4,5 e 6 selezionandole sull'area di definizione (Standard) con il tasto shift premuto per la selezione multipla e l'opzione “hide”. Con OK si attiva il caricamento dei dati, dopo aver dato conferma in un'ultima finestra:



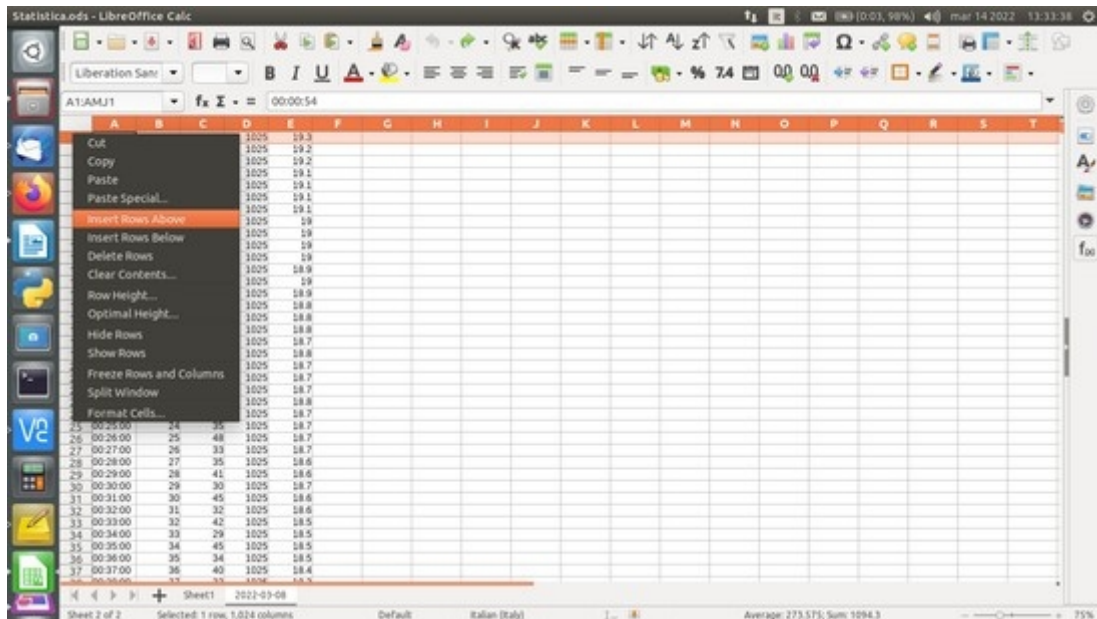
ove viene specificato il nome della scheda (o foglio, sheet) e la sua posizione rispetto agli esistenti, in questo caso “in coda” a quello attualmente in uso; con OK i dati vengono caricati e si dispone di una scheda o sheet come qui sotto illustrato:



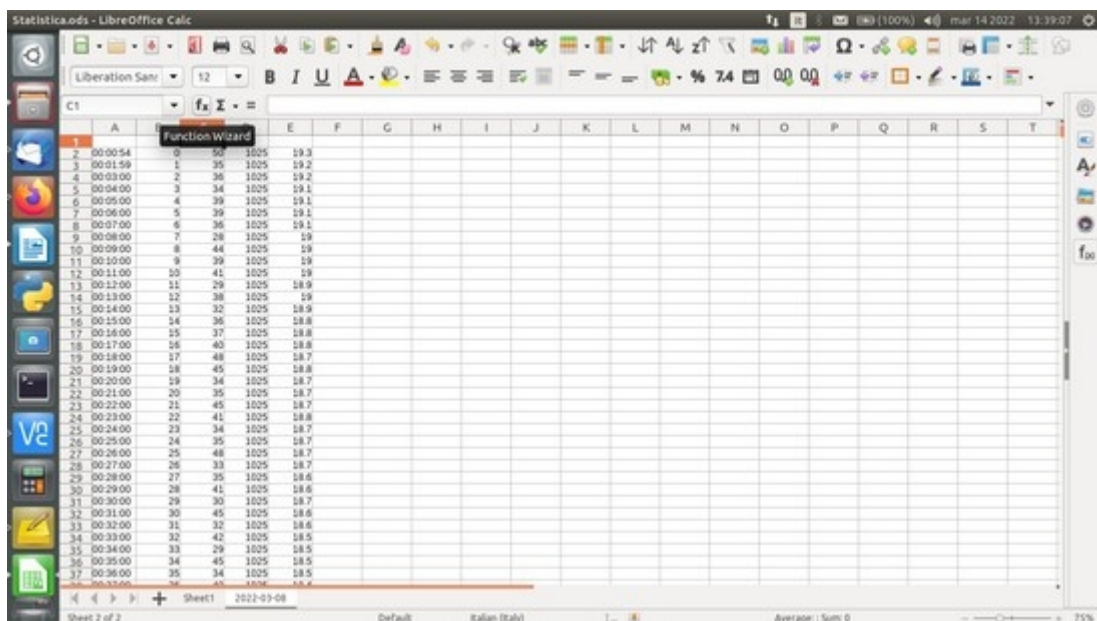
Si può ora iniziare a lavorare sui dati, per produrre i valori statistici che li caratterizzano e i grafici che ne illustrano l’andamento nel tempo e l’uno in funzione dell’altro.

## Dati Statistici

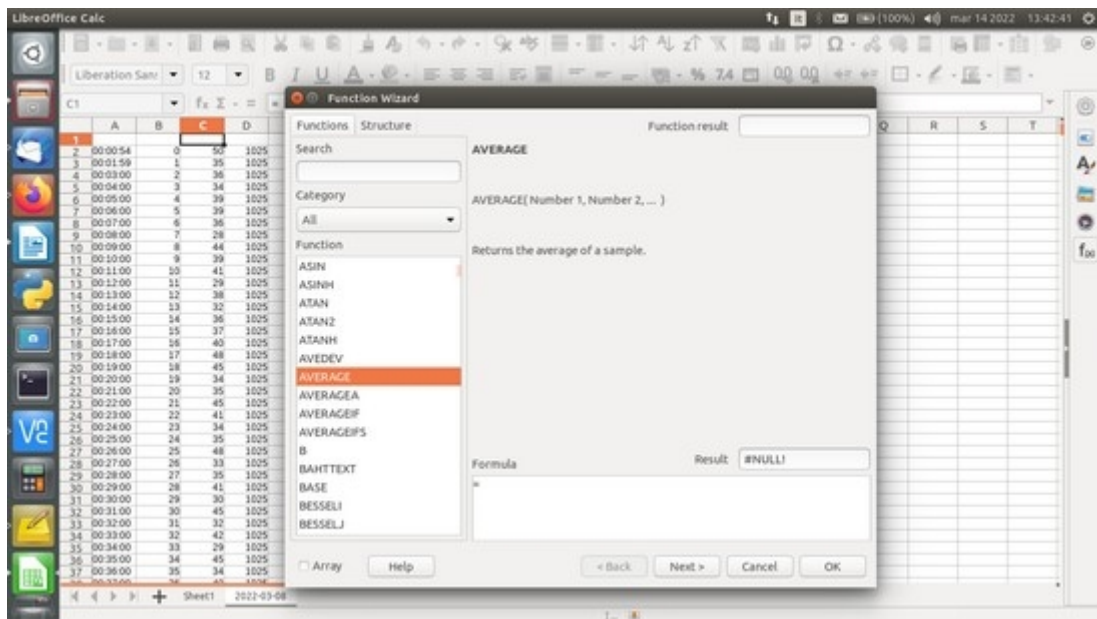
Ci proponiamo di fare ora una semplice analisi statistica dei dati di cui disponiamo; programmando ad esempio, il calcolo di media, scarto quadratico medio (standard deviation), valori massimo e minimo dei dati su ciascuna colonna. Come fare: si usano le funzioni già predisposte a questo scopo nel foglio elettronico. Prendiamo ad esempio la colonna delle coincidenze (la colonna C della scheda 2022-03-08). Si inserisce una riga vuota prima dei dati: si seleziona la prima riga (con un click su 1, come indice di riga, poi, con il cursore sopra l'indice di riga 1, con il tasto destro del mouse si sceglie "Insert row above" e si crea una riga vuota sopra i dati.



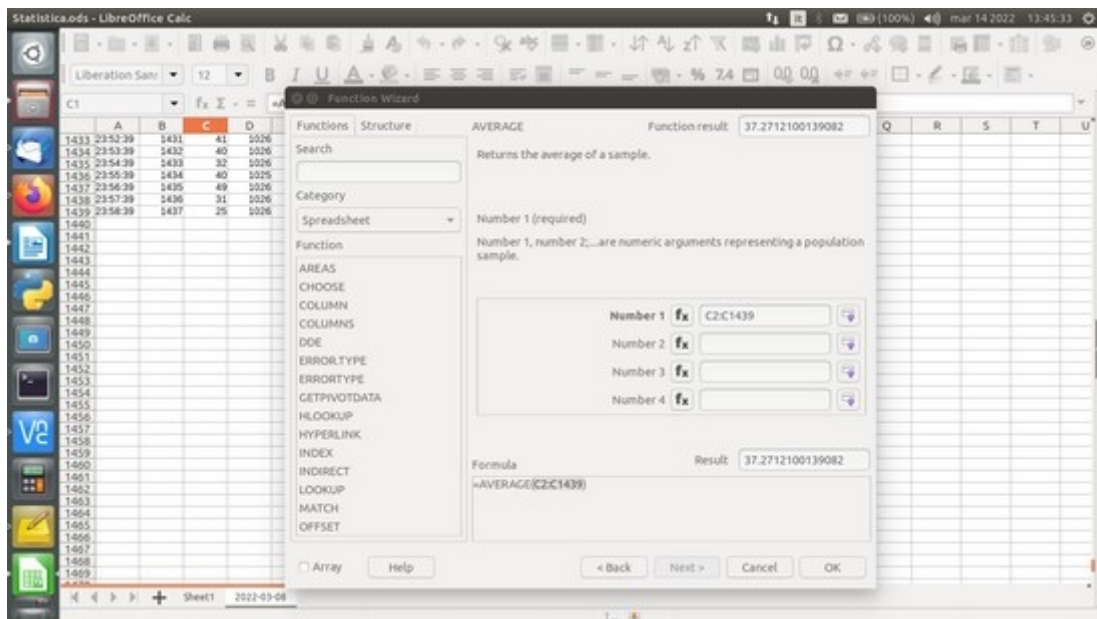
Ora nella cella C1, vuota, si inserisce la funzione media (average) con il function wizard;



L'attivazione del tasto  $f_x$  provoca la comparsa di una finestra di supporto alla programmazione della funzione:



Dalla finestra del function wizard si seleziona la funzione average, poi Next, che attiva una seconda finestra, in cui specificare i dati sui quali calcolare la media:



In questo caso, volendo calcolare la media (AVERAGE) sui circa 1440 dati giornalieri di coincidenze al minuto si deve selezionare il range C2:C1439 nel campo dell'argomento di  $f_x$ , poi dare OK. Ora, nella cella C1 compare il valore medio di tutti i dati giornalieri di coincidenza relativi alla giornata 2022-03-08.

In modo del tutto analogo, per lo stesso set di campioni, si possono calcolare il minimo (MIN), il valore massimo (MAX) e lo scarto quadratico medio (STDEV).

Le stesse funzioni statistiche possono essere poi predisposte per i valori di pressione atmosferica (colonna D) e per la temperatura (colonna E).

Attenzione agli indici di riga, nel predisporre le funzioni dopo aver inserito nuove righe!

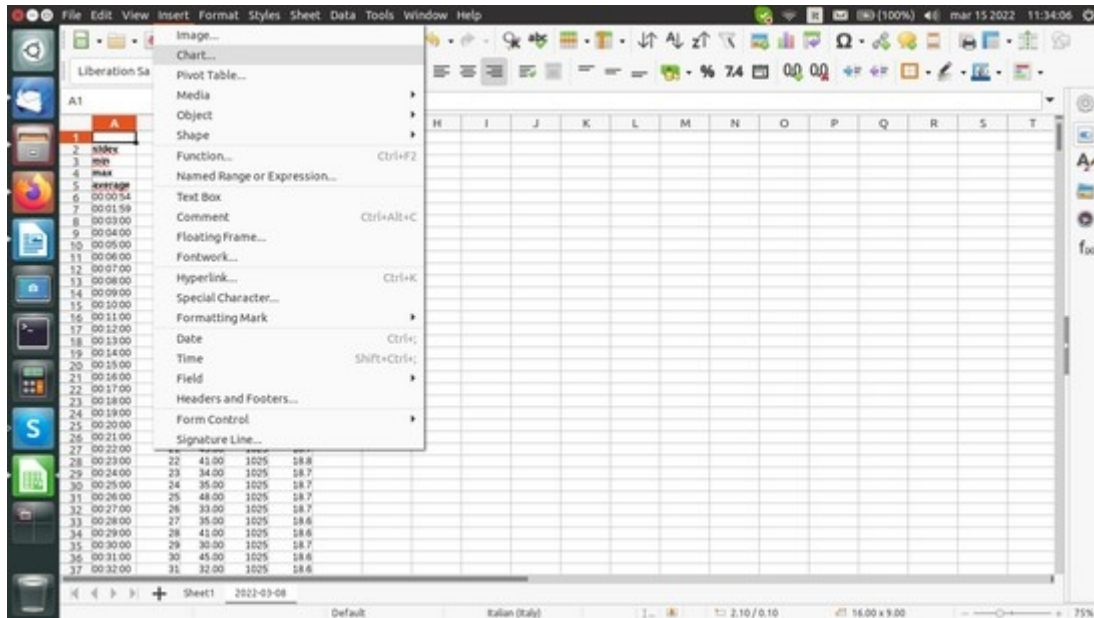
Liberation Sans: [font size] [font color]
 **B** *I* U **A** [background color]
   
 A1:AMJ1    fx Σ =

	A	B	C	D	E	F	G
1			coinc.	p.a.	t		
2	stdev		6.12	0.66	2.34		
3	min		21.00	1024.00	14.20		
4	max		66.00	1026.00	22.80		
5	average		37.27	1025.27	19.62		
6	00:00:54	0	50.00	1025	19.3		
7	00:01:59	1	35.00	1025	19.2		
8	00:03:00	2	36.00	1025	19.2		
9	00:04:00	3	34.00	1025	19.1		
10	00:05:00	4	39.00	1025	19.1		
11	00:06:00	5	39.00	1025	19.1		
12	00:07:00	6	36.00	1025	19.1		
13	00:08:00	7	28.00	1025	19		
14	00:09:00	8	44.00	1025	19		
15	00:10:00	9	39.00	1025	19		
16	00:11:00	10	41.00	1025	19		
17	00:12:00	11	29.00	1025	18.9		
18	00:13:00	12	38.00	1025	19		
19	00:14:00	13	32.00	1025	18.9		
20	00:15:00	14	36.00	1025	18.8		
21	00:16:00	15	37.00	1025	18.8		
22	00:17:00	16	40.00	1025	18.8		
23	00:18:00	17	48.00	1025	18.7		
24	00:19:00	18	45.00	1025	18.8		
25	00:20:00	19	34.00	1025	18.7		
26	00:21:00	20	35.00	1025	18.7		
27	00:22:00	21	45.00	1025	18.7		
28	00:23:00	22	41.00	1025	18.8		
29	00:24:00	23	34.00	1025	18.7		
30	00:25:00	24	35.00	1025	18.7		
31	00:26:00	25	48.00	1025	18.7		
32	00:27:00	26	33.00	1025	18.7		
33	00:28:00	27	35.00	1025	18.6		
34	00:29:00	28	41.00	1025	18.6		
35	00:30:00	29	30.00	1025	18.7		
36	00:31:00	30	45.00	1025	18.6		
37	00:32:00	31	32.00	1025	18.6		
38	00:33:00	32	42.00	1025	18.5		

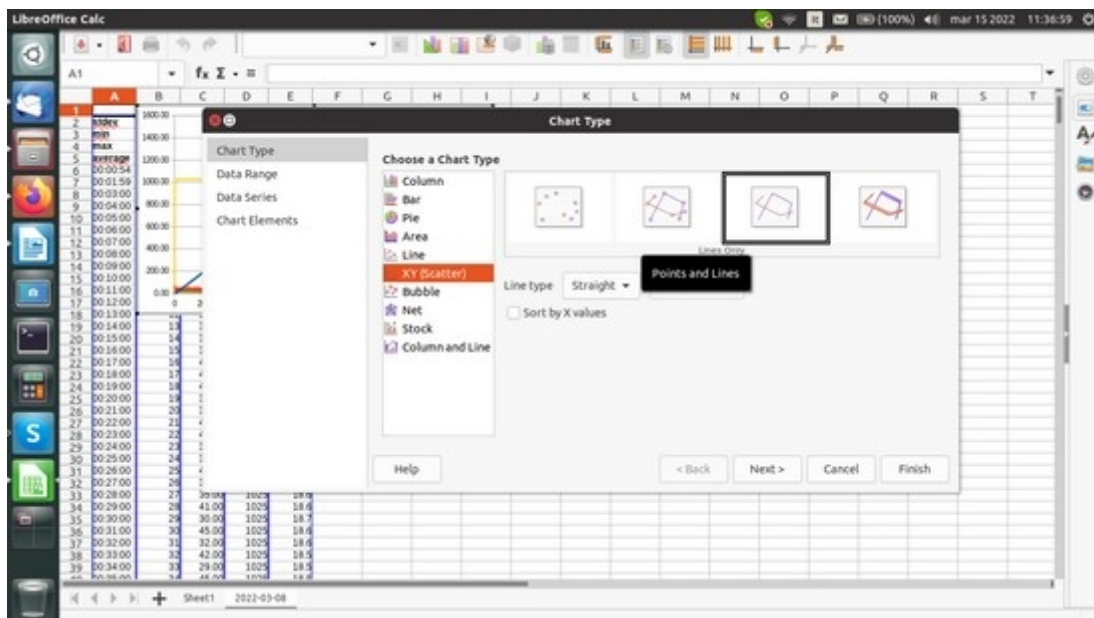
## Grafici

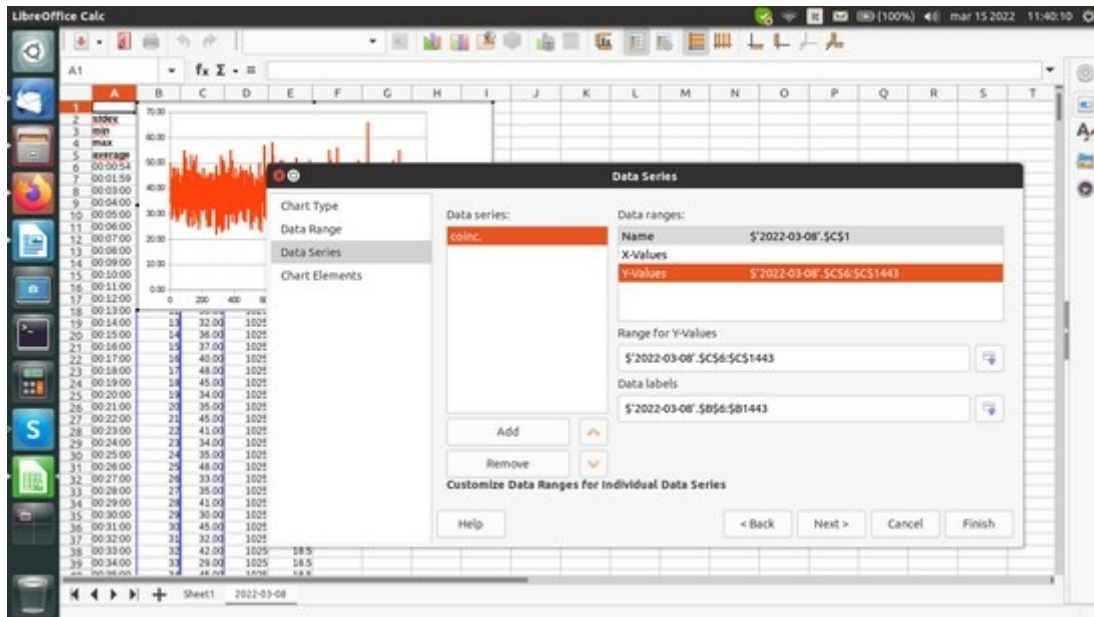
Ci proponiamo ora di vedere come fare dei grafici, ad esempio per controllare l'andamento delle coincidenze durante la giornata.

Con Calc di LibreOffice si può fare in modo guidato, usando lo strumento Insert → Chart:

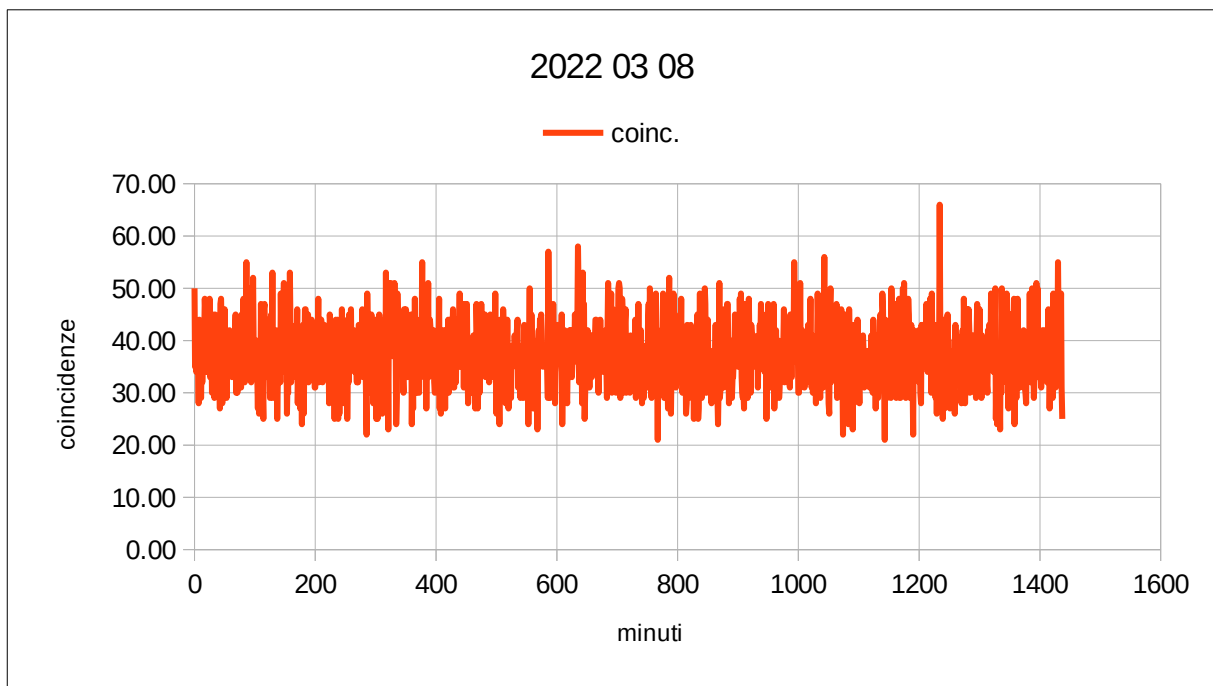


e poi selezionando in modo guidato il tipo di grafico e i dati da usare nel grafico:





ottenendo in questo modo il grafico con l'andamento dei valori di coincidenza in funzione del contatore in colonna B:



L'esempio di grafico qui usato è del tipo XY, che è il tipo da usare per lo "scatter plot" di Fig. 4, nel momento in cui sono stati calcolati un certo numero di valori medi relativamente a coincidenze e pressione atmosferica, ad esempio su varie giornate di acquisizione, o almeno su periodi da alcune ore al giorno in ciascuna giornata.

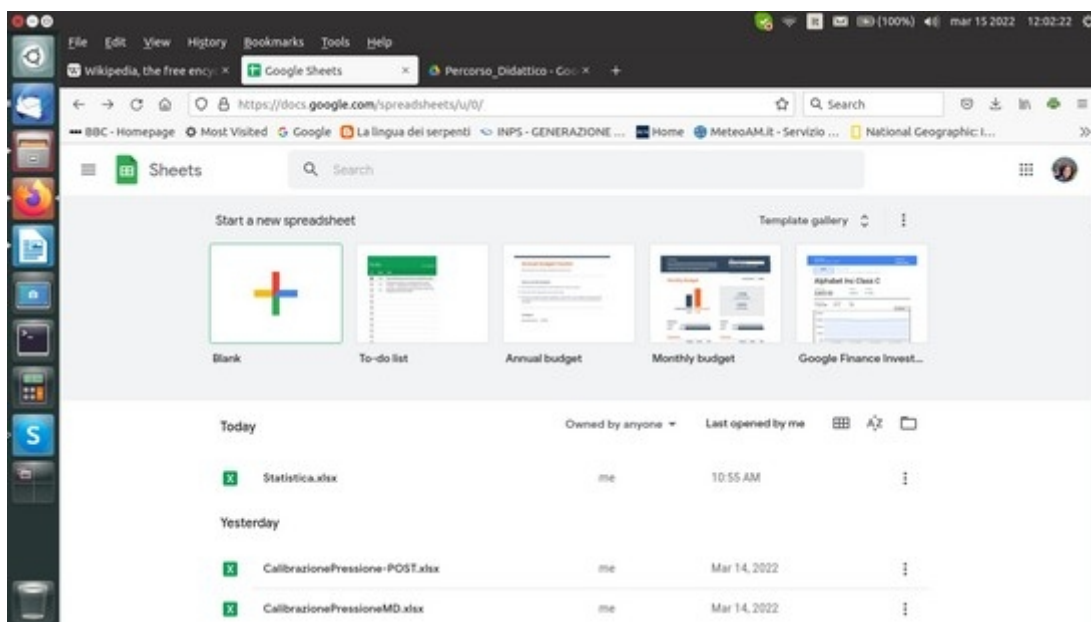


## APPENDICE 2: analisi dei dati usando Google Sheet

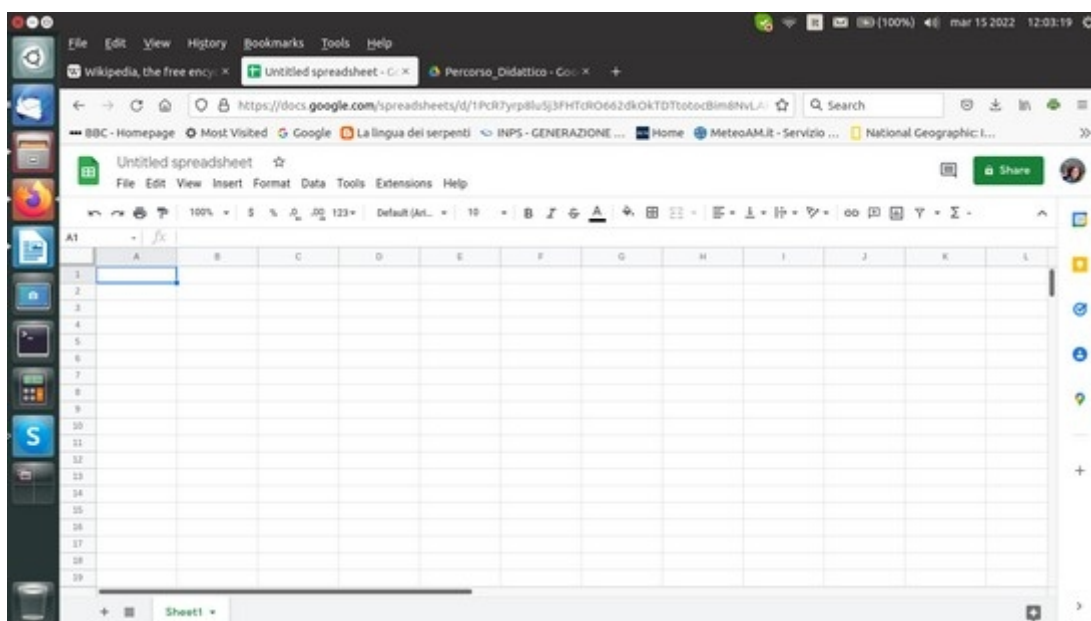
Il formato dei dati relativi ai muoni registrati nei file giornalieri rimane quello illustrato in Appendice 1, a cui si rimanda per i dettagli.

Vediamo ora come caricare i dati di un file di questo tipo nella scheda del foglio elettronico accessibile come strumento nell'area di lavoro Google, associata all'area dati Drive, sempre di Google.

Si apre un nuovo file Sheet

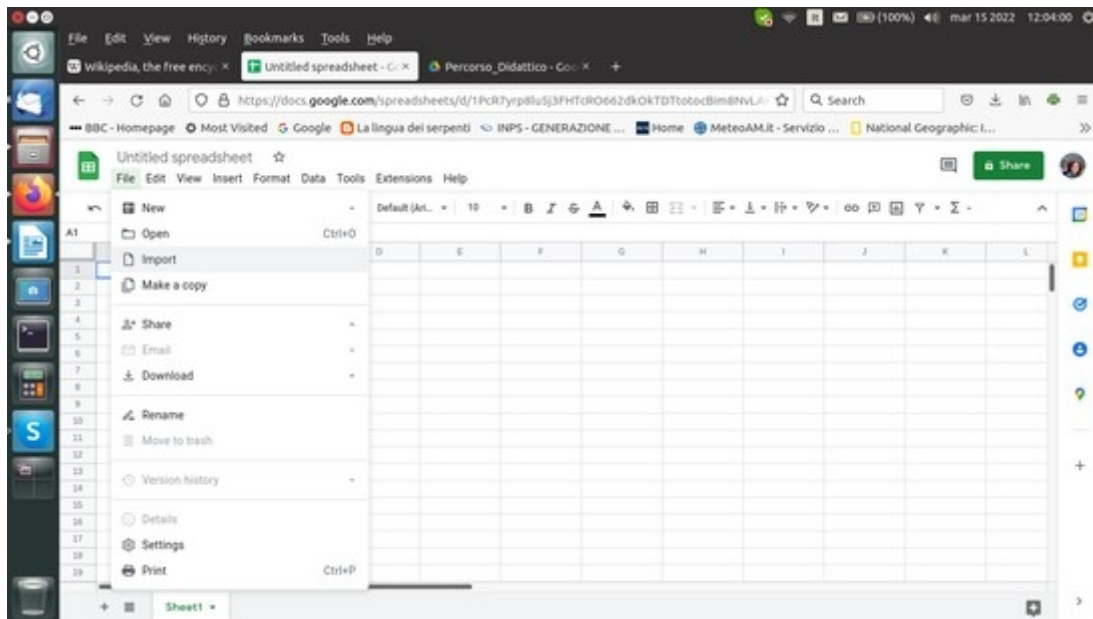


e si ha una scheda vuota (Sheet1) senza alcun dato:

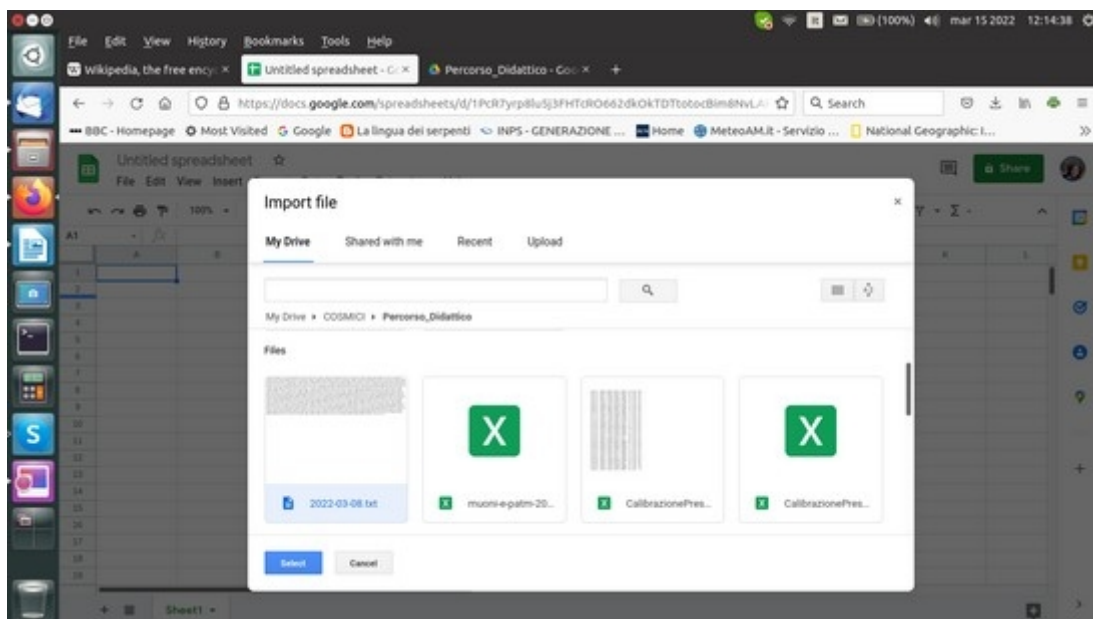


per procedere a caricare i dati che interessano, quelli contenuti in 2022-03-08.dat, occorre che il file

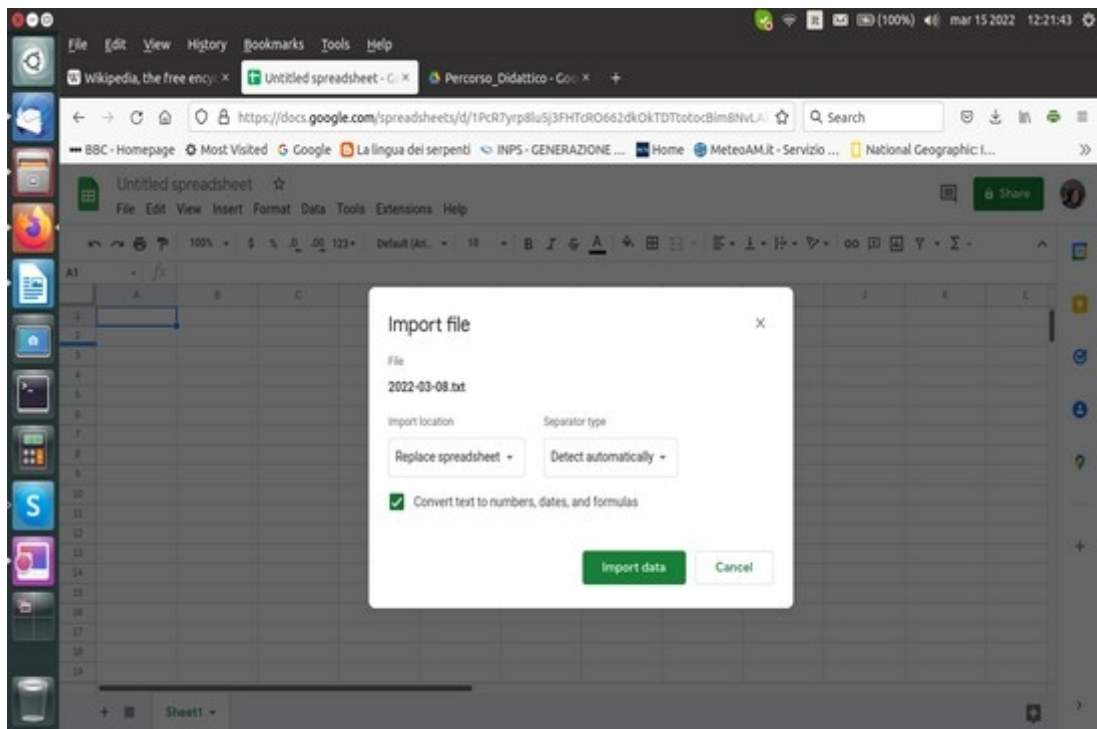
abbia l'estensione txt (anziché dat), si deve pertanto cambiare opportunamente il nome del file e caricarlo nel Google Drive (upload) poi si può passare all'operazione di "lettura" dei dati usando lo strumento File → Import e selezionando il file di interesse con il browser



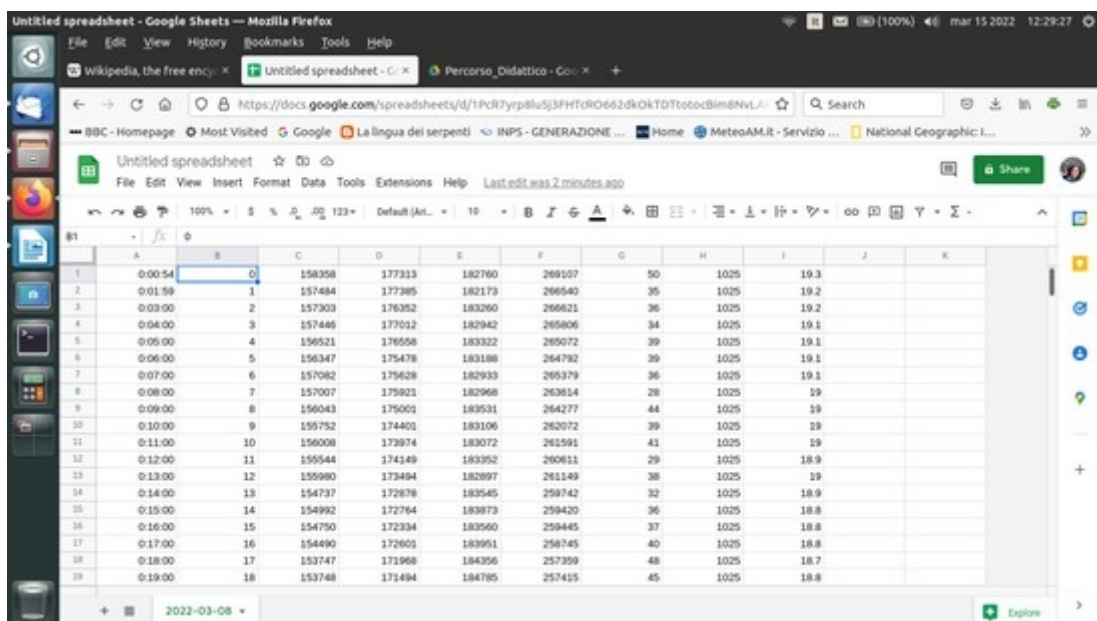
e selezionando il file di interesse con il browser:



si attiva il pulsante "Select" e compare una finestra di richiesta di conferma ("Import data") con opzioni di default che, di norma, sono appropriate:



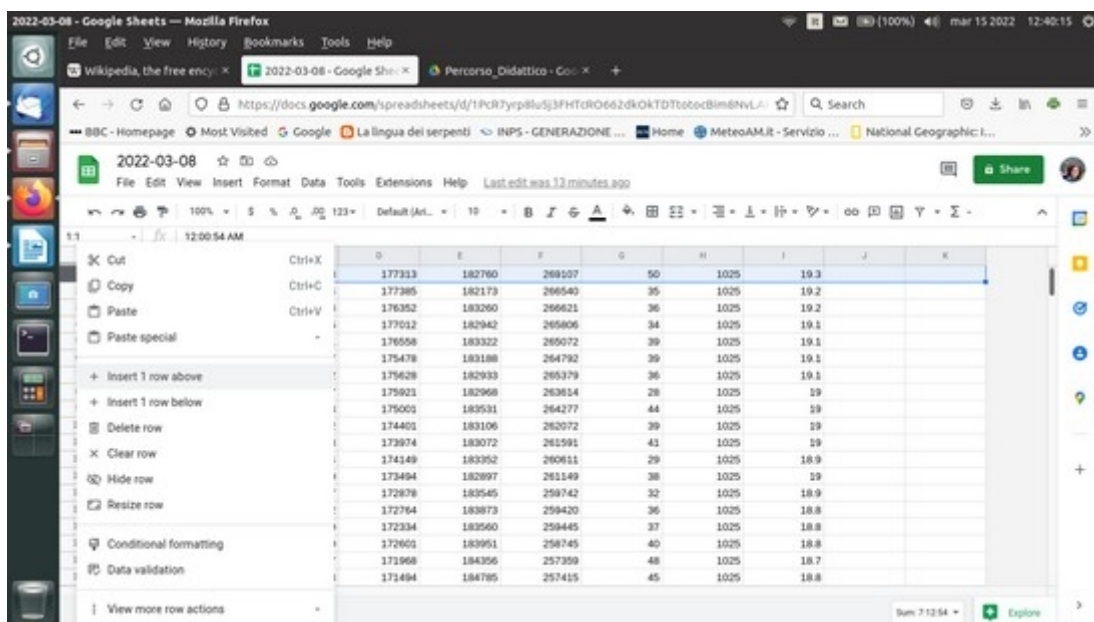
L'importazione dei dati avviene correttamente, vengono caricate anche le colonne con gli eventi "singoli" (colonne C, D, E, F) che possono venire "nascoste" o cancellate, essendo di scarso interesse nello studio congiunto degli effetti della pressione atmosferica sul flusso di muoni.



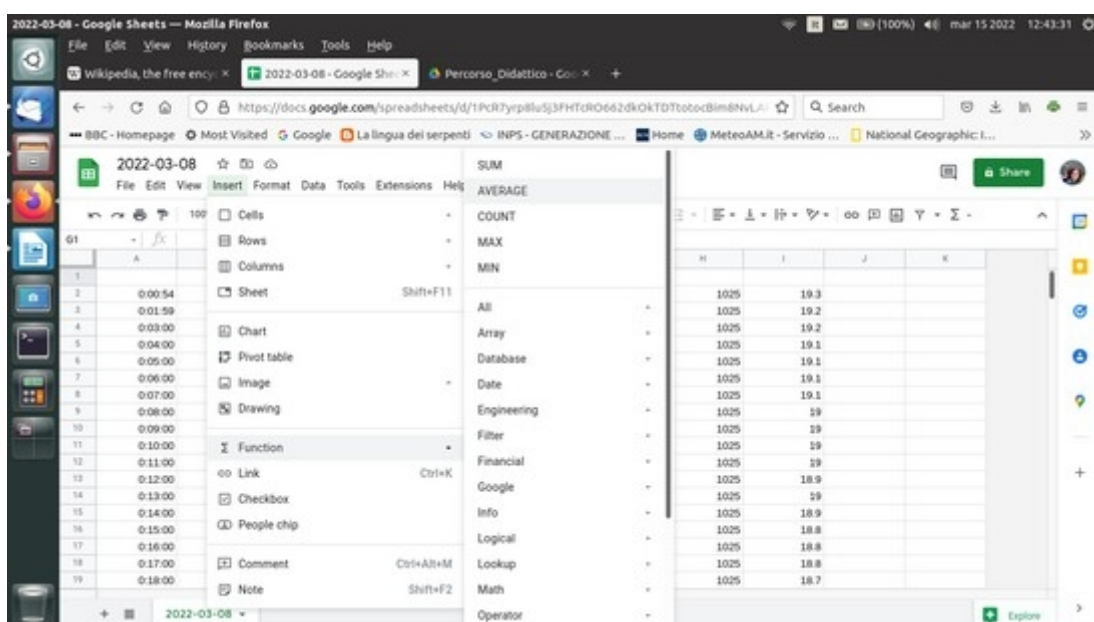
Si dispone ora di una scheda con la quale si può ora iniziare a lavorare sui dati, per produrre i valori statistici che li caratterizzano e i grafici che ne illustrano l'andamento nel tempo e l'uno in funzione dell'altro.

## Dati Statistici, con Google sheet

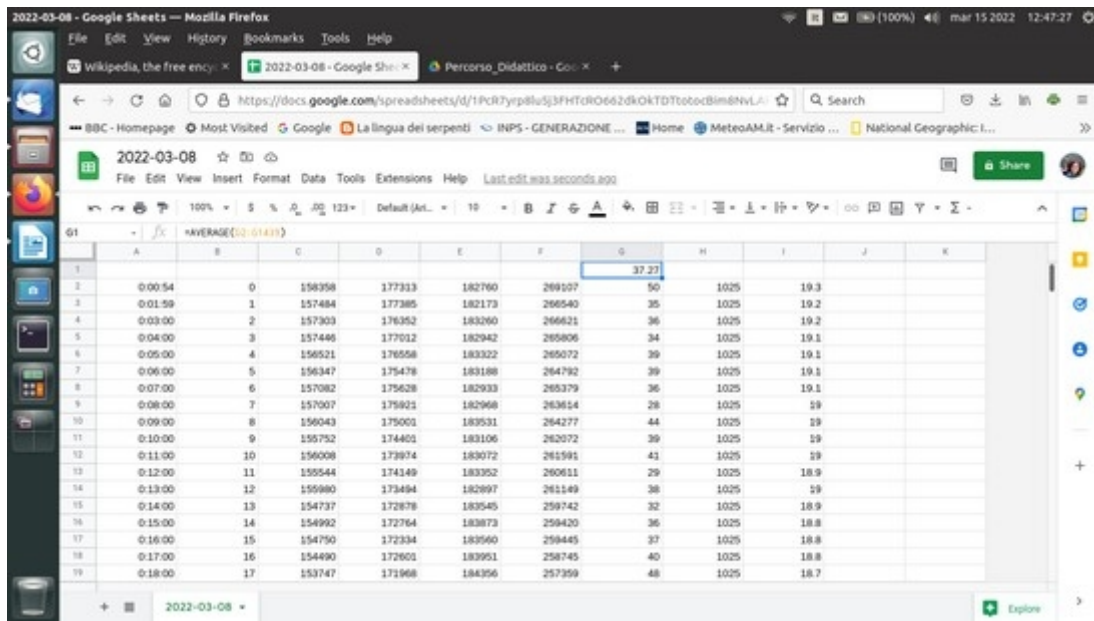
Ci proponiamo di fare ora una semplice analisi statistica dei dati di cui disponiamo; programmando ad esempio, il calcolo di media, scarto quadratico medio (standard deviation), valori massimo e minimo dei dati su ciascuna colonna. Come fare: anche in questo caso si usano le funzioni già predisposte a questo scopo nel foglio elettronico. Prendiamo ad esempio la colonna delle coincidenze (la colonna C della scheda 2022-03-08). Si inserisce una riga vuota prima dei dati: si seleziona la prima riga (con un click su 1, come indice di riga, poi, con il cursore sopra l'indice di riga 1, con il tasto destro del mouse si sceglie "Insert 1 row above" e si crea una riga vuota sopra i dati.



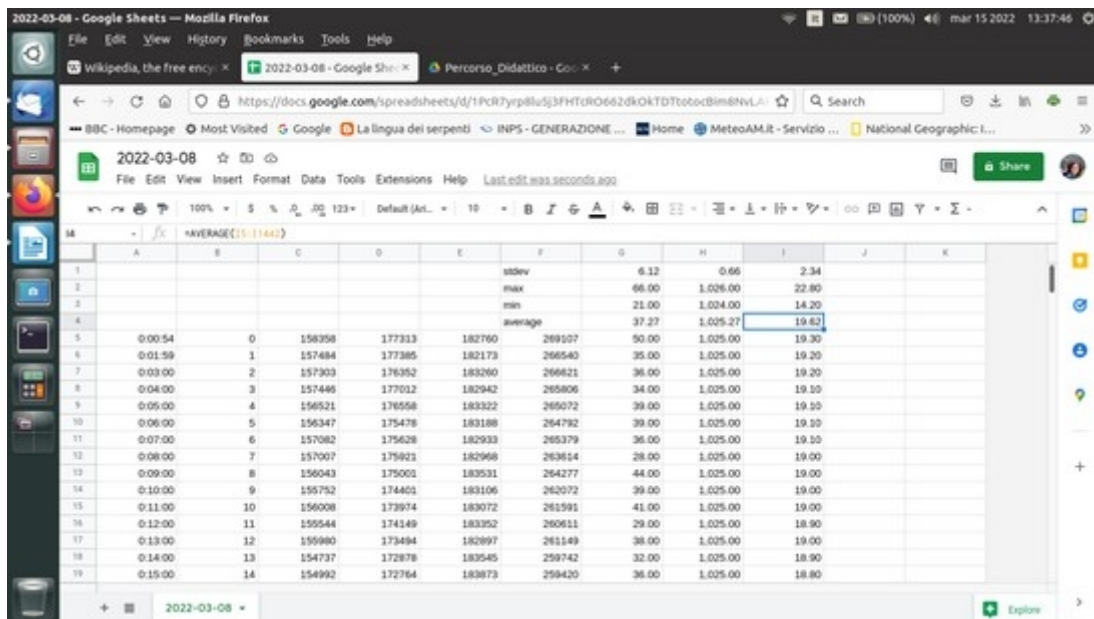
Ora nella cella G1, vuota, si inserisce la funzione media (average) con  
Insert → Function → AVERAGE



Ora non resta che selezionare i dati su cui calcolare la media: il range G2:G1440



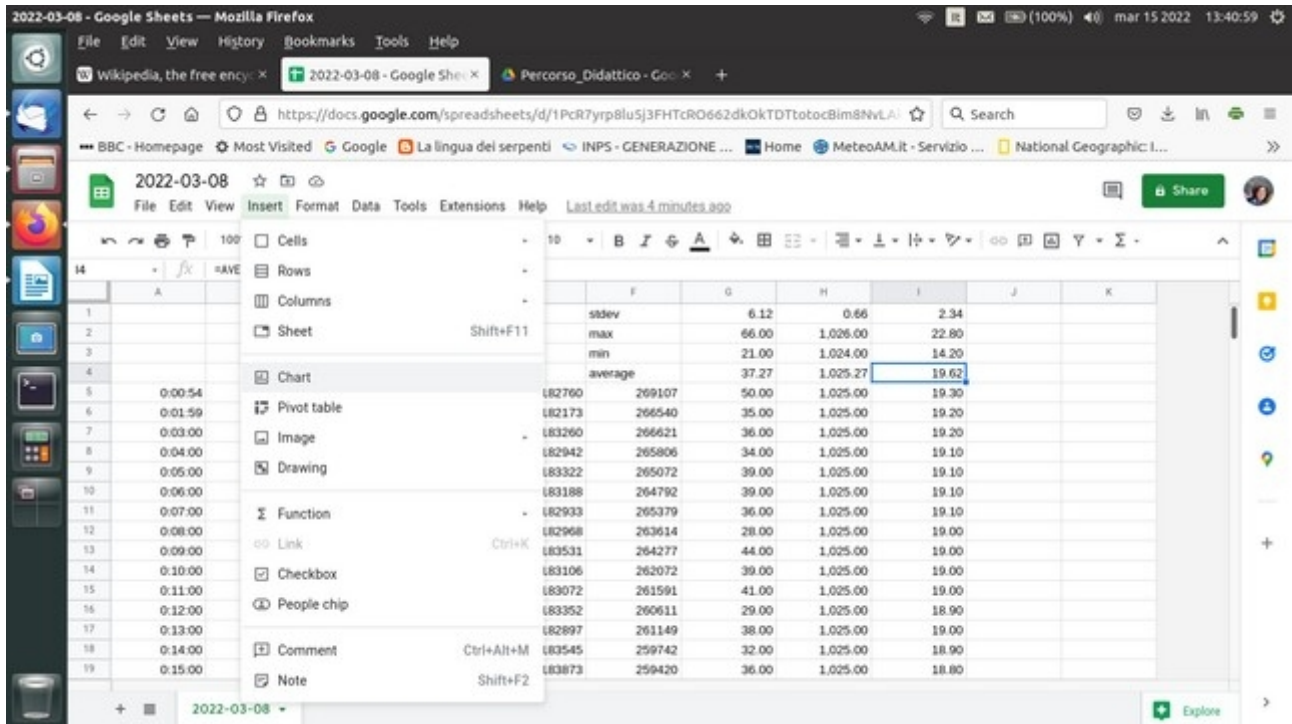
In modo del tutto analogo possono essere inserite ulteriori righe per i valori minimo (MIN), massimo (MAX) e di scarto quadratico medio (STDEV), anche qui facendo attenzione agli indici di riga dei valori da usare nel calcolo delle funzioni.



## Grafici con Sheet di Google

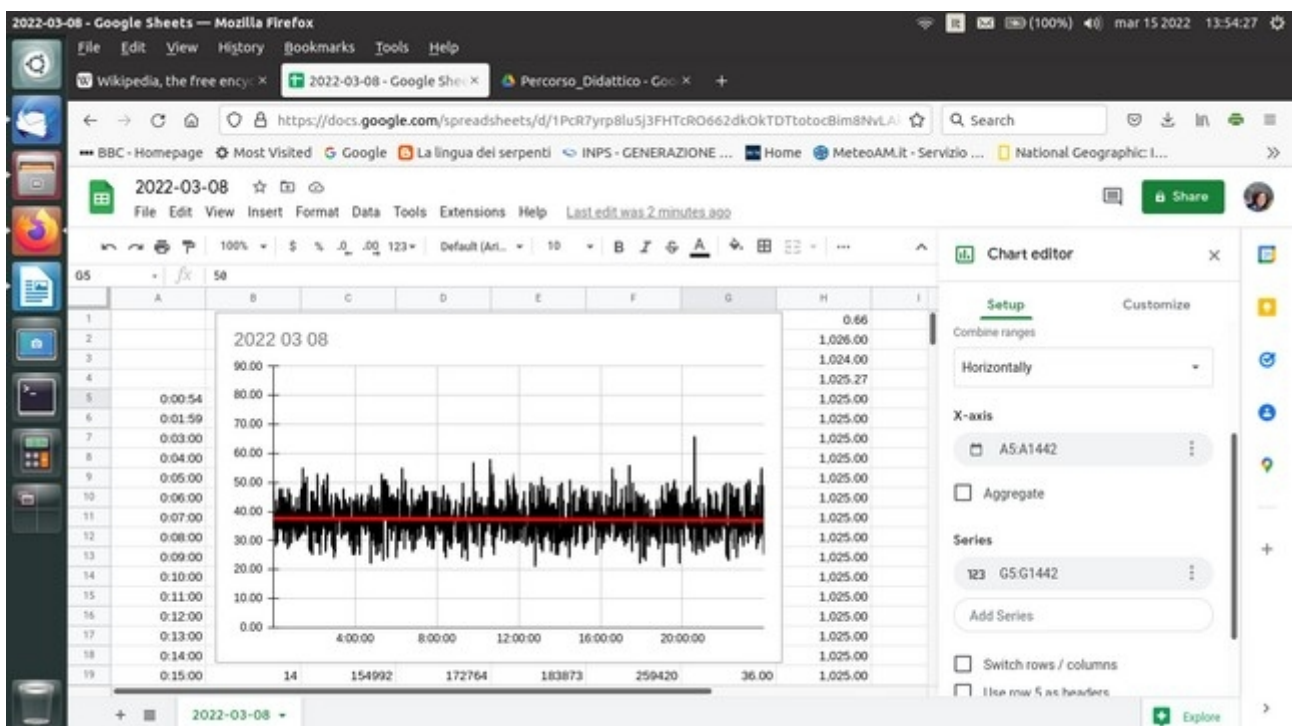
Ci proponiamo ora di vedere come fare dei grafici, di nuovo per controllare l'andamento delle coincidenze durante la giornata.

Con Sheet di Google si può fare in modo guidato, usando lo strumento Insert → Chart:



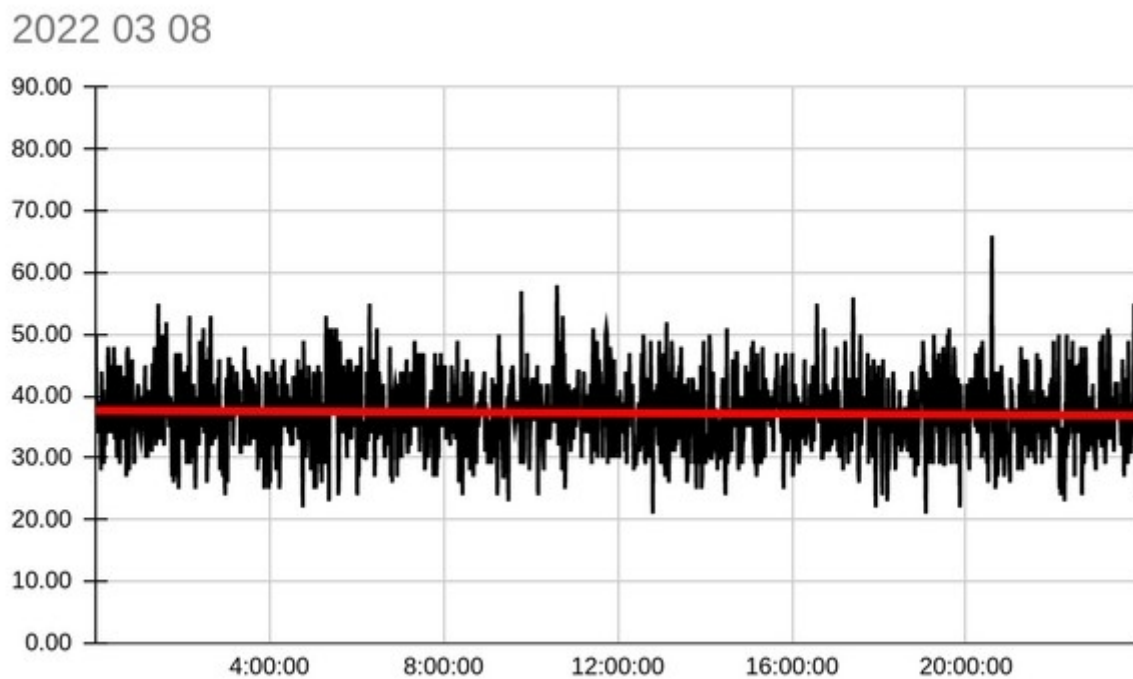
The screenshot shows the Google Sheets interface with the 'Insert' menu open. The 'Chart' option is highlighted. The spreadsheet data is visible in the background, showing a table with columns F through K and rows 1 through 19. The 'Chart' menu is open, showing options like 'Chart', 'Pivot table', 'Image', 'Drawing', 'Function', 'Link', 'Checkbox', 'People chip', 'Comment', and 'Note'. The 'Chart' option is selected, and the 'Chart editor' panel is visible on the right side of the screen.

e poi selezionando in modo guidato il tipo di grafico e i dati da usare nel grafico:



The screenshot shows the Google Sheets interface with a line chart displayed. The chart is titled '2022 03 08' and shows data points for the date 2022-03-08. The Y-axis ranges from 0.00 to 90.00, and the X-axis ranges from 4:00:00 to 20:00:00. The chart editor panel is open on the right side of the screen, showing the 'Setup' tab. The 'Setup' tab includes options for 'Combine ranges', 'Horizontally', 'X-axis', 'Aggregate', and 'Series'. The 'Series' section shows a single series named '123 G5:G1442'. The 'Chart editor' panel also includes options for 'Switch rows / columns' and 'Use row 5 as headers'.

ottenendo in questo modo il grafico con l'andamento dei valori di coincidenza in funzione del tempo in colonna A:



L'esempio di grafico qui usato è del tipo XY, che è il tipo da usare per lo "scatter plot" di Fig. 4, nel momento in cui sono calcolati un certo numero di valori medi relativamente a coincidenze e pressione atmosferica, ad esempio su varie giornate di acquisizione, o almeno su periodi da alcune ore al giorno in ciascuna giornata.