

IL TELESCOPIO PER RAGGI COSMICI COSMOCUBE

Analisi dei dati raccolti

Guida passo per passo

Versione: 1.0

Data: 22 novembre 2022

Autore: INFN Sezione di Pisa

1 Sommario

1.	CREAZIONE DEI FOGLI DI LAVORO	3
2	IMPORTAZIONE DEI DATI	4
3	PREPARAZIONE DEI FOGLI DI LAVORO.....	7
4	GRAFICO DELL'INTERVALLO DI TEMPO TRA DUE EVENTI	9
4.1	Intervallo temporale tra due eventi successivi	9
4.2	Costruzione del grafico	10
5	LA MISURA DEL TEMPO DI DECADIMENTO DEL MUONE	14
5.1	Caricamento dei dati e formattazione	14
5.2	Intervallo temporale tra due eventi successivi	14
5.3	Costruzione del grafico	15
5.4	Fit e misura della vita media del muone.....	18

1. CREAZIONE DEI FOGLI DI LAVORO

Di seguito illustreremo come creare ed inizializzare il foglio di lavoro che utilizzeremo per analizzare i dati del telescopio:

1. aprire il programma Excel e sul menù "File" selezionare "Salva con nome" → "Sfoggia";
2. inserire un nome per il foglio di lavoro (per es. "ICD2022_DataAnalysis") e quindi premere il bottone "Salva";

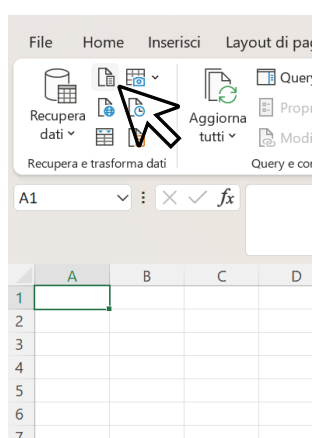
2 IMPORTAZIONE DEI DATI

Una volta creato il foglio di lavoro è adesso necessario importare i dati raccolti dal telescopio per poterli analizzare.

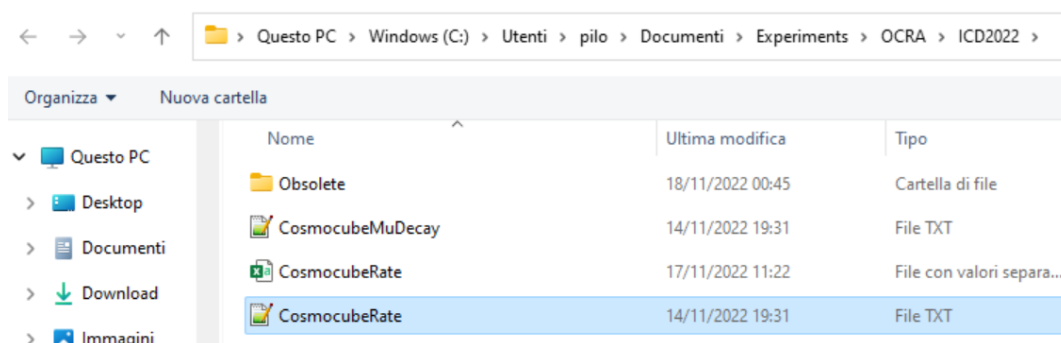
Il programma di acquisizione registra infatti dati in un file formato testo con campi separati da virgole ("comma separated values" o ".csv"). In particolare, per ogni evento registrato dal telescopio saranno salvati su file il tempo trascorso (in ns) tra l'acquisizione di due eventi successivi.

Per importare i dati nel foglio di lavoro è necessario:

1. dal menù "Dati" premere in alto a sinistra il pulsante "Testo/CSV";

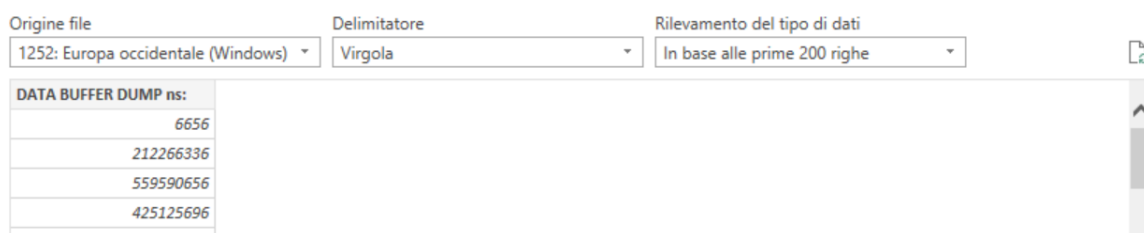


2. navigare fino alla cartella di lavoro, selezionare il file dati denominato "CosmoCubeRate.csv" e premere sul pulsante "Importa";



3. utilizzare le seguenti opzioni di importazione:

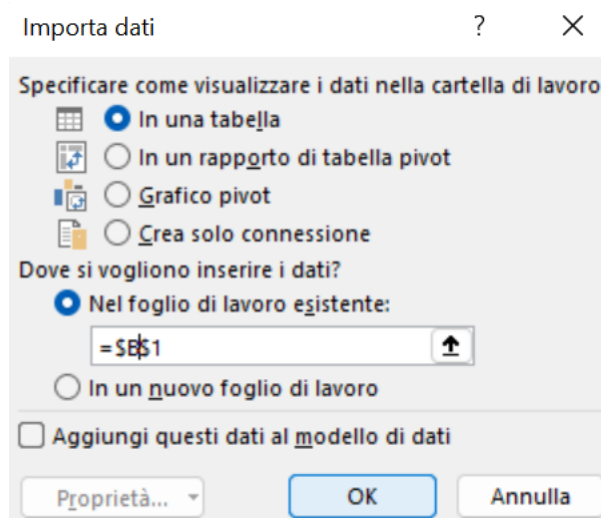
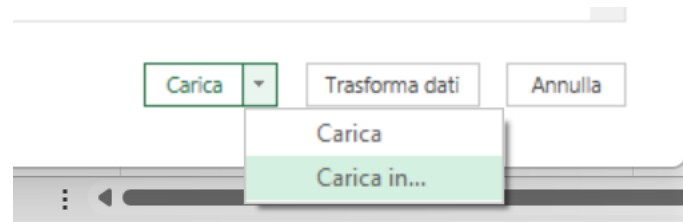
CosmoCube_Rate.csv



INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 22 | 2022

4. selezionare in basso a sinistra l'opzione "carica in" e quindi selezionare la cella "\$B\$1" del foglio di lavoro corrente



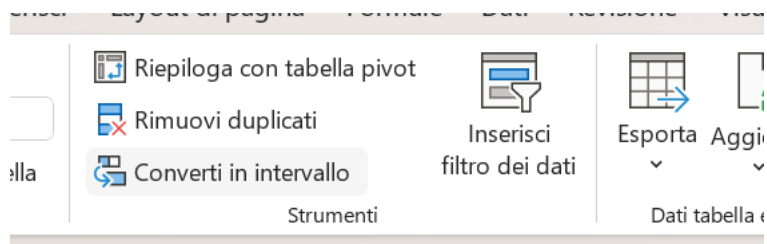
5. dopo aver selezionato la cella "\$B\$1", dal menù "Struttura tabella", selezionare lo stile "Chiaro" dopo aver cliccato sul pulsante "Stili veloci"



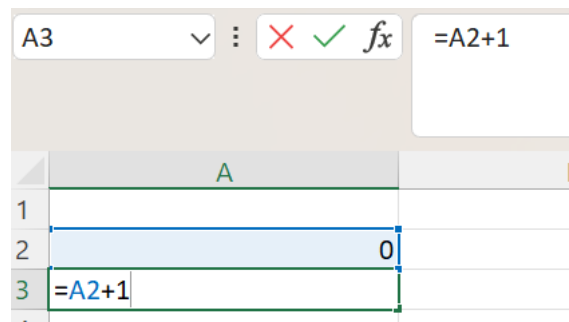
6. premere sul pulsante "Converti in intervallo" e quindi rimuovere il contenuto della cella "\$B\$1"

INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 22 | 2022



7. nella cella “\$A\$2” inserire il valore 0, quindi nella successiva \$A\$3 inserire la formula [= A2 + 1];



8. trascinare in basso l’angolo in basso a destra della cella “\$A\$3” una volta selezionata. Trascinando il mouse in basso fino all’ultima cella della colonna “\$B” con valore non nullo, ripeteremo l’operazione somma già effettuata in “\$A\$3” su tutto l’intervallo. (Trucco: posizionare il mouse nell’angolo inferiore destro di questa cella fino a che il cursore non diventa una croce nera, da non confondere con la croce con le frecce usata per il drag&drop; eseguire un doppio clic)

Tutti i dati saranno inseriti nel foglio di lavoro; le colonne avranno il seguente significato:

- Colonna A: numero progressivo dell'evento
- Colonna B: intervallo (in ns) di acquisizione tra due eventi successivi

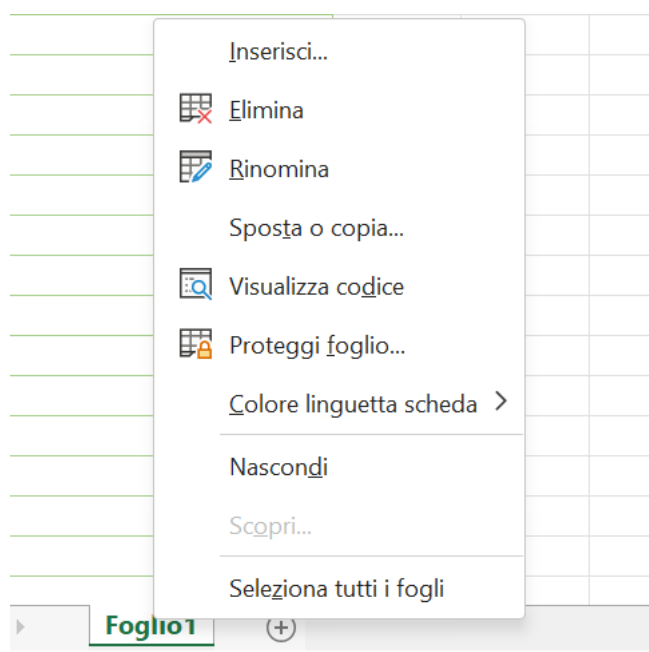
9. Premere il bottone “Salva”;

3 PREPARAZIONE DEI FOGLI DI LAVORO

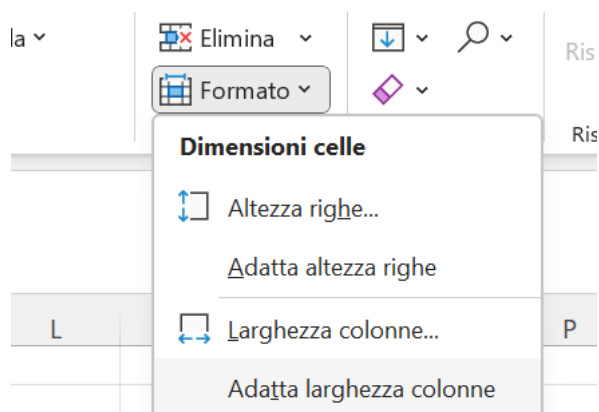
Di seguito sono illustrati i passi necessari alla preparazione dei fogli di lavoro; questo consentirà di analizzare i dati con maggiore precisione e facilità, riducendo la probabilità di errore.

Il foglio di lavoro in cui sono stati importati i dati dovrà essere modificato come segue:

1. rinominare il "Foglio1" in "Dati originali" cliccando con il tasto destro in basso sull'etichetta del foglio di lavoro;



2. inserire in "\$A\$1" il titolo della colonna "Identificatore evento", in "\$B\$1" il titolo "Delta T [ns]";
3. selezionate le colonne da "\$A" ad "\$B", espandere la voce "Formato" dal menù "Home" e selezionare "Adatta larghezza colonne" dal menù a tendina in modo che la larghezza delle celle si adatti automaticamente alla larghezza del loro contenuto;



INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 22 | 2022

In una nuova colonna andremo a calcolare il tempo di acquisizione di ciascun evento.

4. selezionare la cella “\$C\$3” ed inserire la formula [=SOMMA(\$B\$2:B3)/1E9]. Trascinando l’angolo in basso a destra della cella, ripetere l’operazione per tutti i dati;
5. inserire il valore 0 nella cella “\$C\$2” ed il titolo della colonna “Tempo di acquisizione [s]” in “\$C\$1”;
6. lasciando selezionata la colonna “\$C”, nel sottomenù “Numeri” del menù “Home” ridurre il numero di cifre dopo la virgola in modo da evidenziare le cifre significative;
7. salvare.

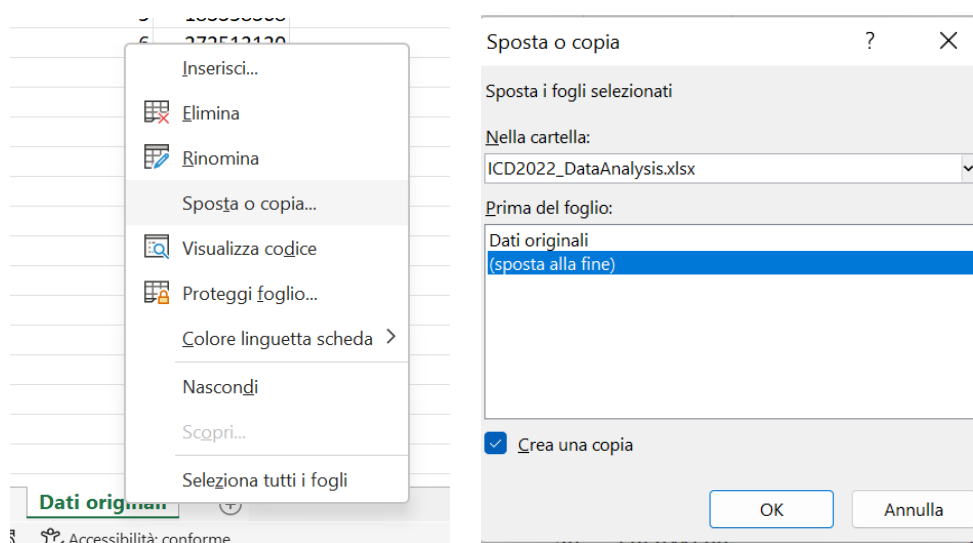
4 GRAFICO DELL'INTERVALLO DI TEMPO TRA DUE EVENTI

In questa sezione saranno illustrati i passi necessari al calcolo dell'intervallo di tempo tra due eventi successivi ed alla realizzazione del grafico per la rappresentazione di tale intervallo.

4.1 Intervallo temporale tra due eventi successivi

Per calcolare la distanza temporale tra due eventi:

1. duplicare il foglio di lavoro "Dati originali" in un nuovo foglio denominato "Intervalli tempi di arrivo";



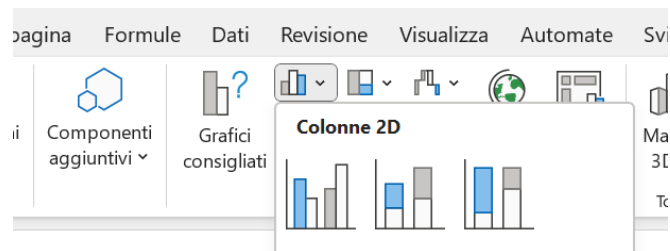
2. inserire nella colonna "\$E" il calcolo della distanza temporale tra due eventi successivi in millisecondi secondo la seguente formula [=B3/1E6]; applicare a tutti i dati della colonna "\$B" ed inserire il titolo "Delta T [ms] nella cella "\$E\$1";
3. Inserire nella colonna "\$F" gli estremi degli intervalli di tempo per i quali conteggeremo il numero di eventi: useremo 100 intervalli di tempo di larghezza pari a 10 ms (per crearli in automatico usare la formula [= F2+10] dopo aver inserito il valore 10 in "\$F\$2");
4. inserire nella colonna "G" il conteggio del numero di eventi per ogni intervallo di tempo utilizzando la seguente funzione [= FREQUENZA(E2:E9000; F2:F101)] (dove al posto di E9000 è possibile inserire la posizione esatta della cella con dati nella colonna "\$E");
5. inserire i titoli "Intervalli [ms]" e "Conteggi per intervallo" in "\$F\$1" e "\$G\$1" rispettivamente.

Delta T [msec]	Intervalli [msec]	Conteggi per intervallo
0	10	304
212,266336	20	243
559,590656	30	269
425,125696	40	270
516,022608	50	211

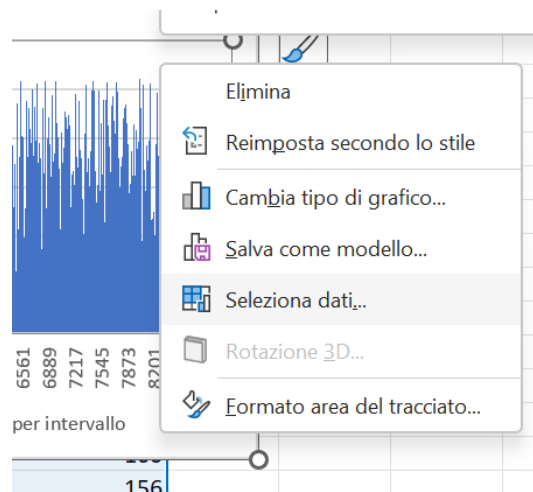
4.2 Costruzione del grafico

Per la realizzazione del grafico della distanza temporale tra due eventi:

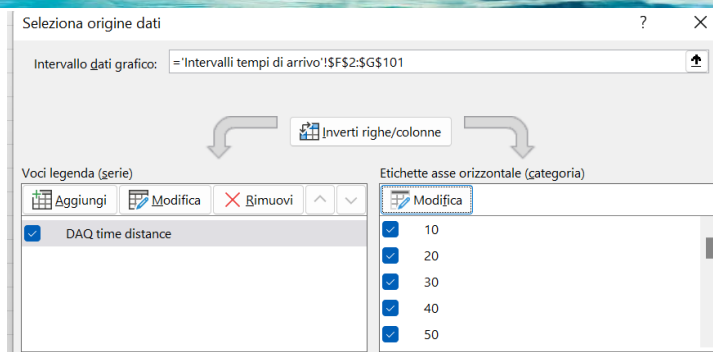
1. dal menù “Inserisci” selezionare “Colonne raggruppate” nel sottomenù Colonne 2D” (primo a sinistra);



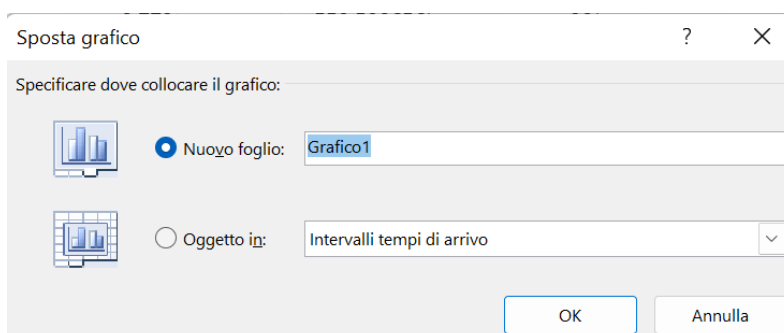
2. portare il mouse sul grafico ed aprire il menù contestuale con il pulsante destro del mouse; selezionare “Seleziona dati ...” e rimuovere tutte le serie dati esistenti (se presenti);



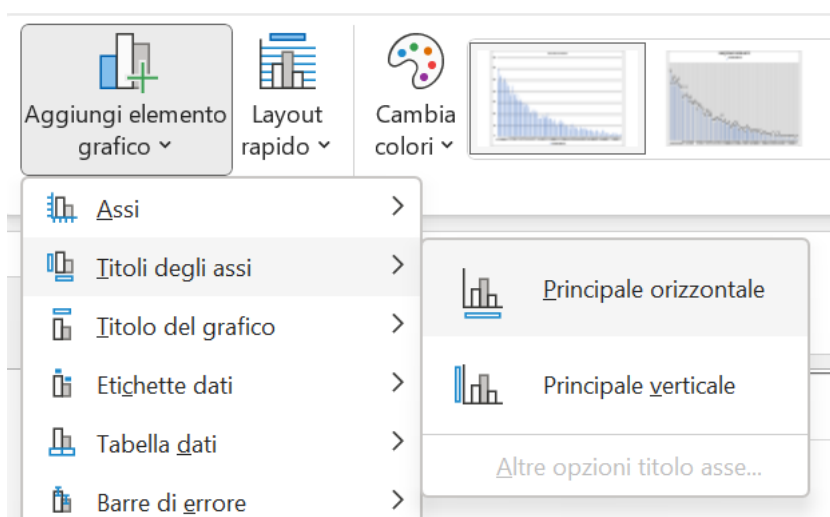
3. aggiungere una nuova serie dati chiamandola “DAQ time distance” e selezionando i conteggi della colonna “\$G” (=‘Intervalli tempi di arrivo!’\$G\$2:\$G\$101); aggiungere quindi le etichette all’asse orizzontale premendo sul pulsante “Modifica” e selezionando gli intervalli temporali della colonna “\$F”



4. selezionare il grafico e cliccare con il tasto destro del mouse; nel menù che si aprirà selezionare la voce “Sposta grafico” in modo da poter visualizzare il grafico a pagina intera in un foglio apposito separato;

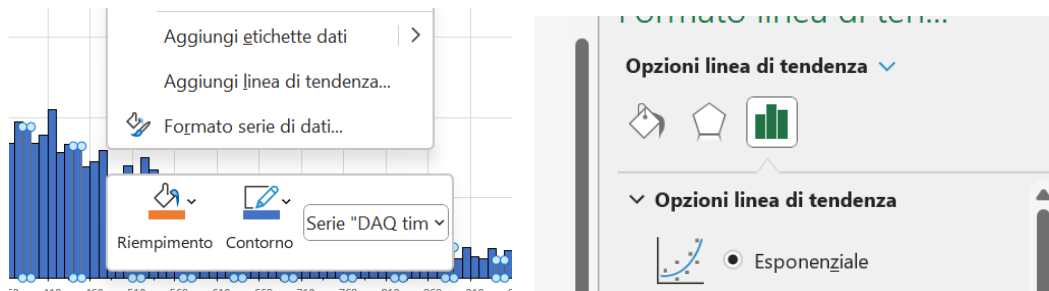


5. aggiungere i titoli agli assi: in Y inserire “Counts/BIN”, in X inserire “Delta T [ms]”;

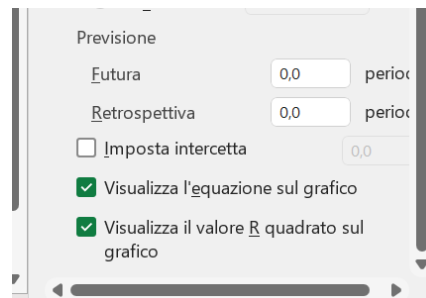


6. rinominare il grafico in “DISTANZA TEMPORALE TRA DUE EVENTI” e modificare il titolo dell’asse X in “Intervallo [s]”;

7. cliccando con il tasto destro sopra ad un bin del vostro istogramma selezionare la voce “Aggiungi linea di tendenza ...” ed eseguire quindi un FIT esponenziale dei vostri dati;



8. in basso, nel menù laterale “Formato linea di tendenza” selezionare “Visualizza l’equazione sul grafico” e “Visualizza il valore R quadrato sul grafico”;

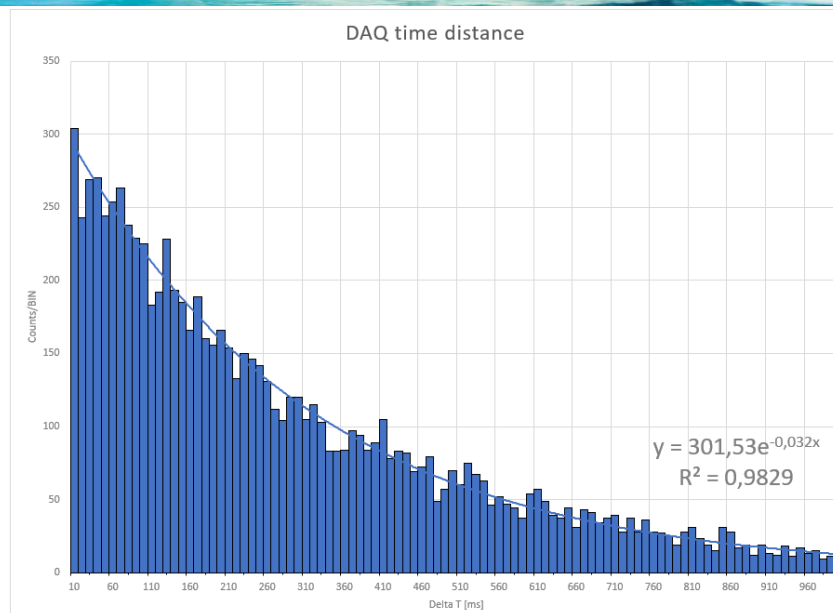


Il valore costante che moltiplica x nella funzione esponenziale di FIT dovrebbe essere pari alla frequenza di acquisizione dati moltiplicata la larghezza degli intervalli con cui è stato costruito l’istogramma (divisa per un fattore mille poiché sull’asse X abbiamo riportato i tempi in “ms”).

Riportate grafico ed il risultato sulla frequenza di acquisizione dati ricavato dal FIT in una presentazione power point.

INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 22 | 2022



Adesso continuate voi ... potreste:

- impostare a scala logaritmica la scala dell'asse Y;
- lavorare sulla grafica dell'istogramma in modo da renderlo più leggibile;
- provare a ridurre o aumentare la larghezza degli intervalli temporali del vostro istogramma e quindi valutare i cambiamenti che si hanno nel fit;
- ripetere l'operazione su un altro set di dati per il quale vi aspettate una frequenza di acquisizione dati differente.

5 LA MISURA DEL TEMPO DI DECADIMENTO DEL MUONE

In questa sezione saranno illustrati i passi necessari a realizzare un fit del tempo di arrivo tra due eventi successivi in modo da dedurre una misura del tempo di decadimento del muone; tutto questo richiede l'utilizzo di un telescopio per raggi cosmici capace di acquisire eventi successivi separati da intervalli di tempo ben inferiori al μsec . Questo è possibile utilizzando ad esempio il CosmoCube.

Prima di proseguire è necessario installare un componente di Excel secondo la guida che segue:

1. In Excel 2010 e versioni successive passare a File > Opzioni
2. Fare clic su Componenti aggiuntivi e quindi su Componenti aggiuntivi di Excel nella casella Gestisci.
3. Fare clic su Vai.
4. Nella casella Componenti aggiuntivi disponibili selezionare la casella di controllo Componente aggiuntivo Risolutore e quindi fare clic su OK.

Note:

- Se il componente aggiuntivo Risolutore non è incluso nella casella Componenti aggiuntivi disponibili, fare clic su Sfoglia per trovarlo.
- Se viene visualizzato un messaggio in cui si segnala che il Risolutore non è presente nel computer, scegliere Sì per installarlo.

5. Dopo aver caricato il componente aggiuntivo Risolutore, il comando Risolutore sarà disponibile nel gruppo Analisi della scheda Dati.

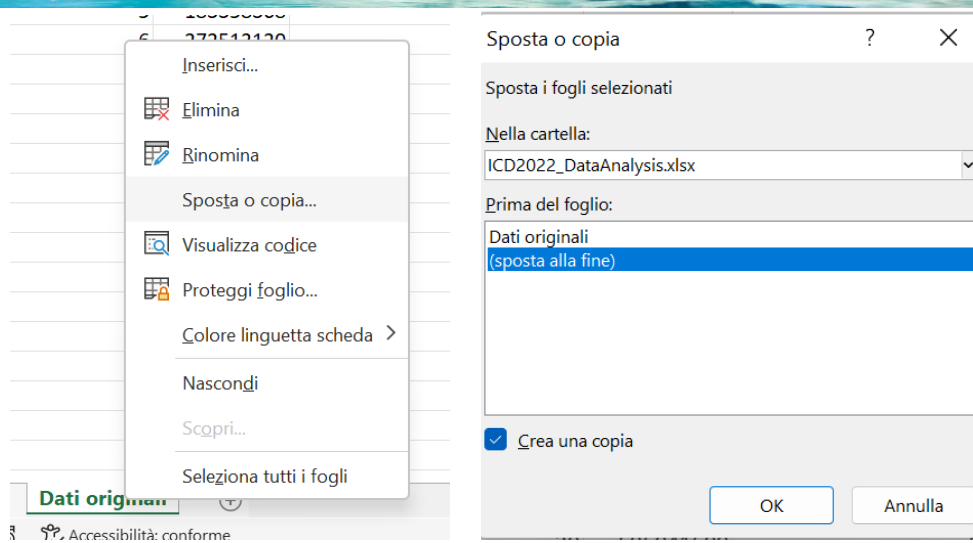
5.1 Caricamento dei dati e formattazione

Ripetere le operazioni del capitolo 2 e 3 di questa guida caricando questa volta i dati inseriti nel file CosmoCube_MuDecay.csv.

5.2 Intervallo temporale tra due eventi successivi

Per calcolare la distanza temporale tra due eventi:

6. duplicare il foglio di lavoro "Dati originali" in un nuovo foglio denominato "Vita media muone";

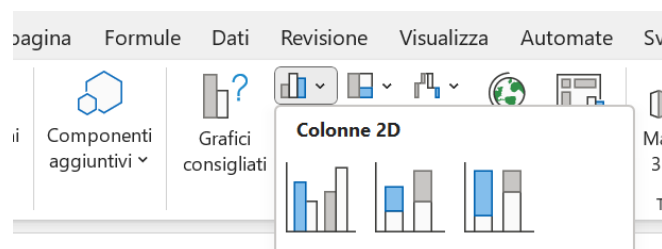


7. inserire nella colonna “\$E” il calcolo della distanza temporale tra due eventi successivi in millisecondi secondo la seguente formula [=B3/1E3]; applicare a tutti i dati della colonna “\$B” ed inserire il titolo “Delta T [mus]” nella cella “\$E\$1”;
8. inserire nella cella “\$J\$2” la larghezza del bin con cui realizzeremo l’istogramma della distribuzione temporale; inserire il titolo “Larghezza BIN [mus]” in “\$J\$1”;
9. Inserire nella colonna “\$F” gli estremi degli intervalli di tempo per i quali conteggeremo il numero di eventi: useremo 150 intervalli di tempo di larghezza pari a 0.2 μs (per crearli in automatico usare la formula [= F2+\$J\$2] dopo aver inserito il valore [= \$J\$2] in “\$F\$2”;
10. inserire nella colonna “G” il conteggio del numero di eventi per ogni intervallo di tempo utilizzando la seguente funzione [= FREQUENZA(E2:E20000;F2:F150)] (dove al posto di E20000 è possibile inserire la posizione esatta della cella con dati nella colonna “\$E”)
11. inserire i titoli “Intervalli [mus]” in “\$F\$1” e “Conteggi per intervallo” in “\$G\$1”.

5.3 Costruzione del grafico

Per la realizzazione del grafico della distanza temporale tra due eventi:

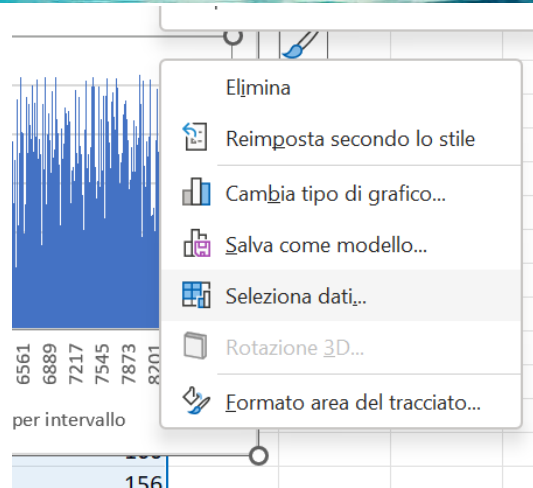
8. dal menù “Inserisci” selezionare “Colonne raggruppate” nel sottomenù Colonne 2D” (primo a sinistra);



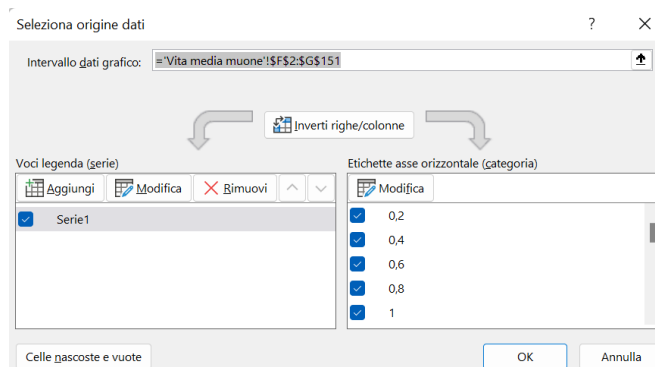
9. portare il mouse sul grafico ed aprire il menù contestuale con il pulsante destro del mouse; selezionare “Seleziona dati ...” e rimuovere tutte le serie dati esistenti (se presenti);

INTERNATIONAL COSMIC DAY

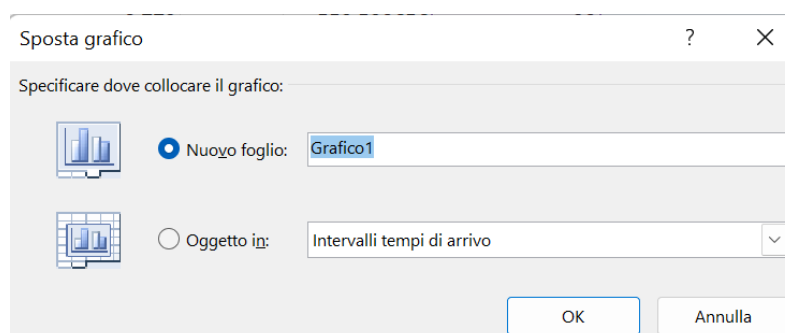
November 22 | 2022



- aggiungere una nuova serie dati chiamandola "DAQ time distance" e selezionando i conteggi della colonna "\$G" (= 'Intervalli tempi di arrivo'!\$G\$2:\$G\$151); aggiungere quindi le etichette all'asse orizzontale premendo sul pulsante "Modifica" e selezionando gli intervalli temporali della colonna "\$F"



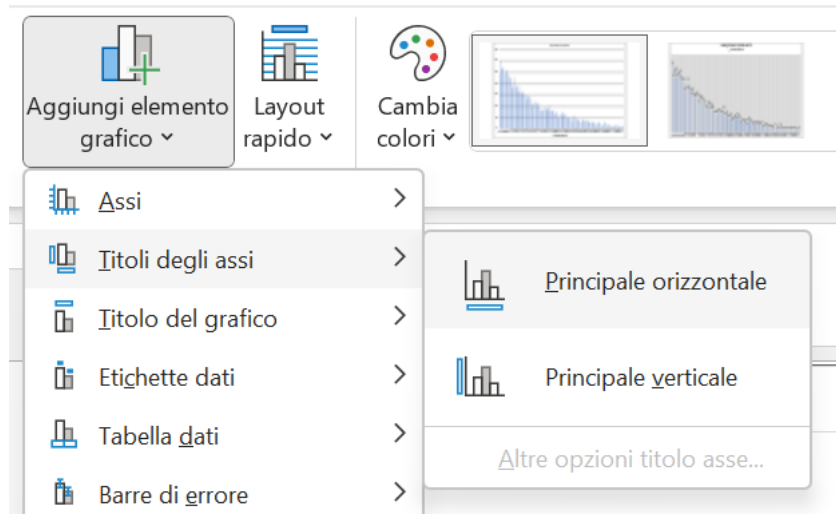
- selezionare il grafico e cliccare con il tasto destro del mouse; nel menù che si aprirà selezionare la voce "Sposta grafico" in modo da poter visualizzare il grafico a pagina intera in un foglio apposito separato;



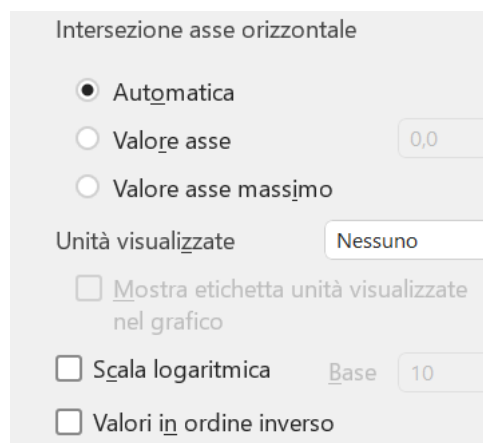
INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 22 | 2022

12. aggiungere i titoli agli assi: in Y inserire "Counts/BIN", in X inserire "Delta T [ms]";



13. rinominare il grafico in "Grafico Vita media mu" e modificare il titolo dell'asse X in "Delta T [μ s]";
 14. dopo aver selezionato la scala sull'asse Y e premuto il tasto destro del mouse scegliete la voce "Formato asse" nel menù a tendina; dal menù a destra "Formato asse" selezionate adesso l'opzione "scala logaritmica"



INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 22 | 2022

5.4 Fit e misura della vita media del muone

Per realizzare un fit accurato dei dati utilizzeremo una funzione esponenziale (segnale) sommata ad una costante (fondo) ed effettueremo un fit applicando il metodo dei minimi quadrati.

- Inserite nelle colonne K,L,M i seguenti valori

K	L	M
A+B*exp(-C*x)		
A	B	C
1	1	1

dove A, B e C sono le 3 costanti della funzione $y = A + B * \exp(-C * x)$ che per il momento scegliamo di valore pari ad 1;

- nella cella "\$H\$2" inserite la formula [= \$K\$3+\$L\$3*EXP(-\$M\$3*\$F2)] e replicate l'operazione per tutto l'intervallo dei dati della colonna "\$I";
- nella prima cella corrispondente ad un valore non nullo della colonna "\$G" inserite la formula [= POTENZA((G6-H6)/POTENZA(G6;0,5);2)] ed applicate a tutti i dati contenuti in "\$G";

Conteggi per intervallo		
0	1,818731	
0	1,67032	
0	1,548812	
0	1,449329	
596	1,367879	593,2674
830	1,301194	827,3997
824	1,246597	821,5087
742	1,201897	739,5982

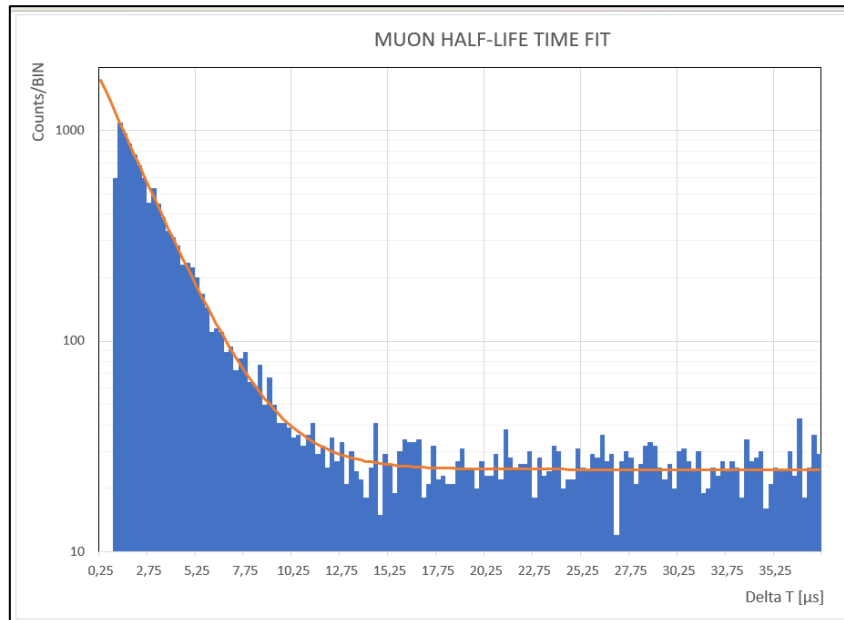
- nella cella "\$N\$3" inserite la formula [=SOMMA(I2:I151)] e scrivete il titolo "Minimi quadrati"
- definiamo adesso i parametri dell'algorithmo "risolutore" che troverà il valore minimo per "\$N\$3" cambiando i valori di A, B e C

Parametri Risolutore

✕

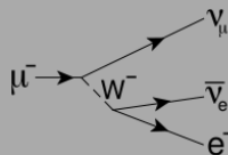
Imposta obiettivo:	\$N\$3	↑
A:	<input type="radio"/> Max <input checked="" type="radio"/> Min <input type="radio"/> Valore di:	0
Modificando le celle variabili:	\$K\$3:\$M\$3	
Soggette ai vincoli:		

6. eseguendo l' algoritmo di minimizzazione 2-3 volte i valori di A,B e C si stabilizzeranno; il valore della costante C sarà pari all'inverso della vita media del muone [in μs].



Muon lifetime

Since the muon is heavier than the electron and is in the same family, the muon will decay into an electron. In order to satisfy conservation laws for leptons, the decay is into an electron and two neutrinos.



Muons lose about 2 MeV of energy per gram per square cm of material that they traverse. Thus muons with less than about 50 MeV will stop in the scintillator (about 0.3%). These stopped muons will decay within several microseconds, emitting an energetic electron which excites atoms in the scintillator producing another pulse of light. The distribution of these times can be related to the muon lifetime.

The free muon decay lifetime is well measured and has been determined to be

$$\tau_{\mu} = 2.19703 \pm 0.00004 \mu\text{s}$$

Adesso continuate voi ... potreste:

- lavorare sulla grafica dell'istogramma in modo da renderlo più leggibile;
- inserire la funzione di fit all'interno del grafico (aiuto: bisogna inserire prima i dati della funzione calcolata e poi cambiare il grafico da colonne a combinato)

INTERNATIONAL COSMIC DAY

November 22 | 2022

- provare a ridurre o aumentare la larghezza degli intervalli temporali del vostro istogramma e quindi valutare i cambiamenti che si hanno nel fit;
- ripetere l'operazione su un altro set di dati, in condizioni di acquisizione differenti.