

L'effetto stagionale nel flusso dei Raggi Cosmici con i rivelatori Polar

F. Noferini





Sommario

- Introduzione su PolarquEEEst
- Stato dell'arte variazione del flusso stagionale

- PolarquEEEst2019 → i dati da voi analizzati

- La causa dell'effetto stagionale



ICD - 4 novembre 2020



PolarquEEEst e stato dell'arte

Programma di PolarquEEEst

GOAL: Misura di raggi cosmici a latitudini estreme

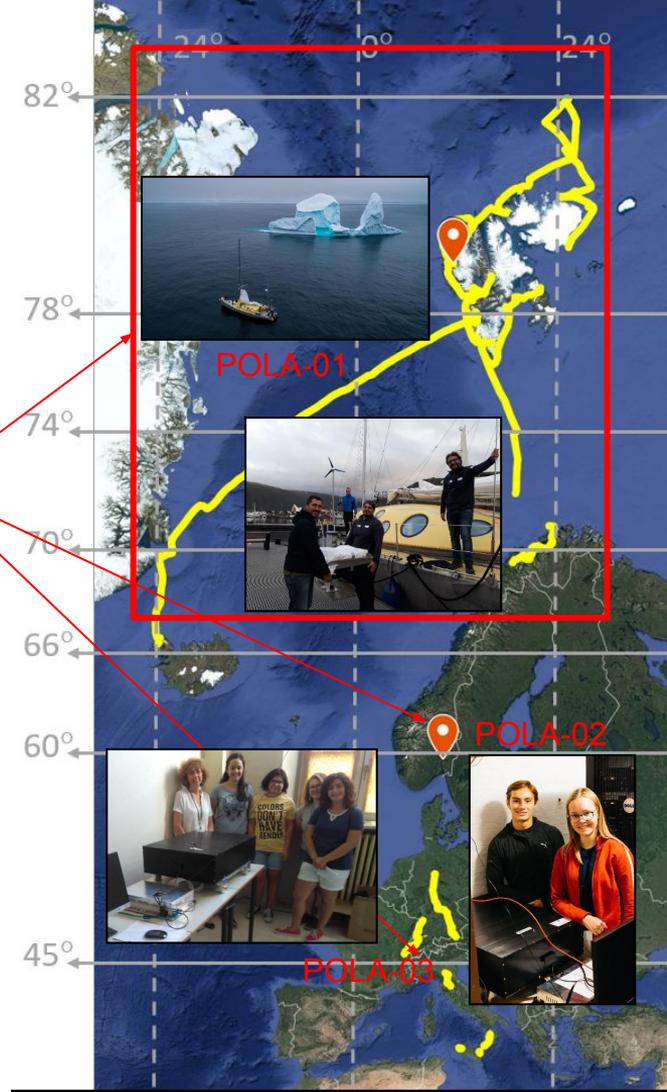
- 2018

- 3 rivelatori (POLA-01, POLA-02, POLA-03)
- PolarquEEEst2018 -> missione a bordo del battello Nanuq (luglio-settembre) + 2 telescopi in postazioni fisse (Bra(TO), Nessoden(Norvegia))



- 2019

- (Dic 18 – Apr 19) -> misura a diverse latitudini (Italia, Germania, CERN)
- Costruzione del 4° rivelatore (POLA-04)
- (PolarquEEEst2019) -> installazione di tre rivelatori a Ny Ålesund (Svaldbard)



Programma di PolarquEEEst

GOAL: Misura di raggi cosmici a latitudini estreme

- 2018

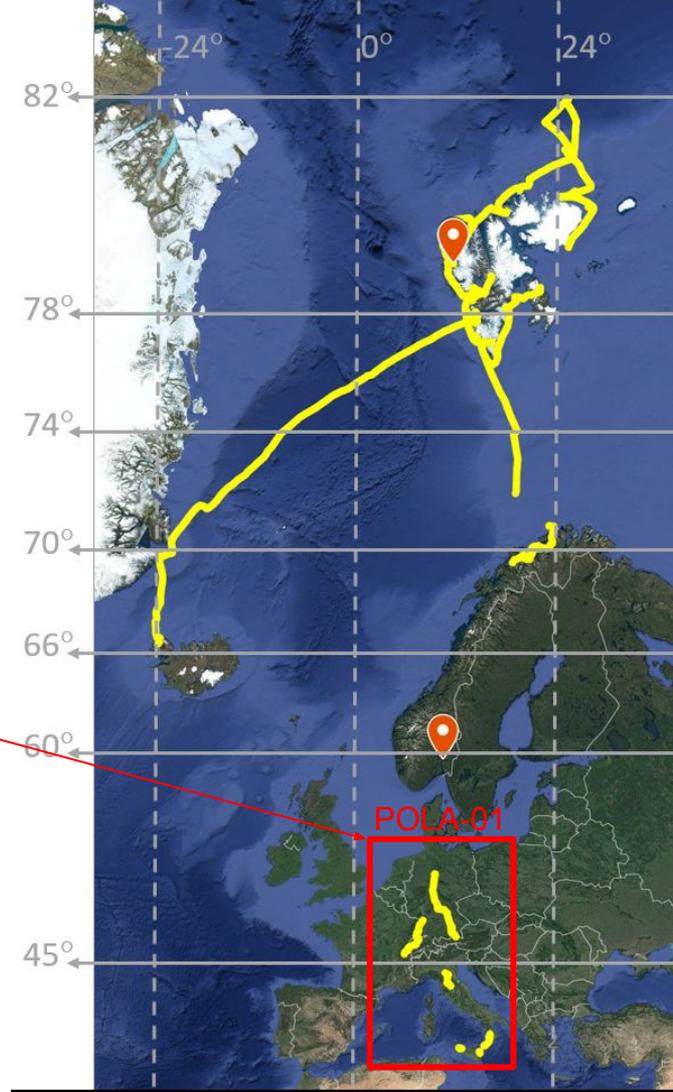


- 3 rivelatori (POLA-01, POLA-02, POLA-03)
- PolarquEEEst2018 -> missione a bordo del battello Nanuq (luglio-settembre) + 2 telescopi in postazioni fisse (Bra(TO), Nessoden(Norvegia))

- 2019



- (Dic 18 – Apr 19) -> misura a diverse latitudini (Italia, Germania, CERN)
- Costruzione del 4° rivelatore (POLA-04)
- (PolarquEEEst2019) -> installazione di tre rivelatori a Ny Ålesund (Svaldbard)



Programma di PolarquEEEst

GOAL: Misura di raggi cosmici a latitudini estreme

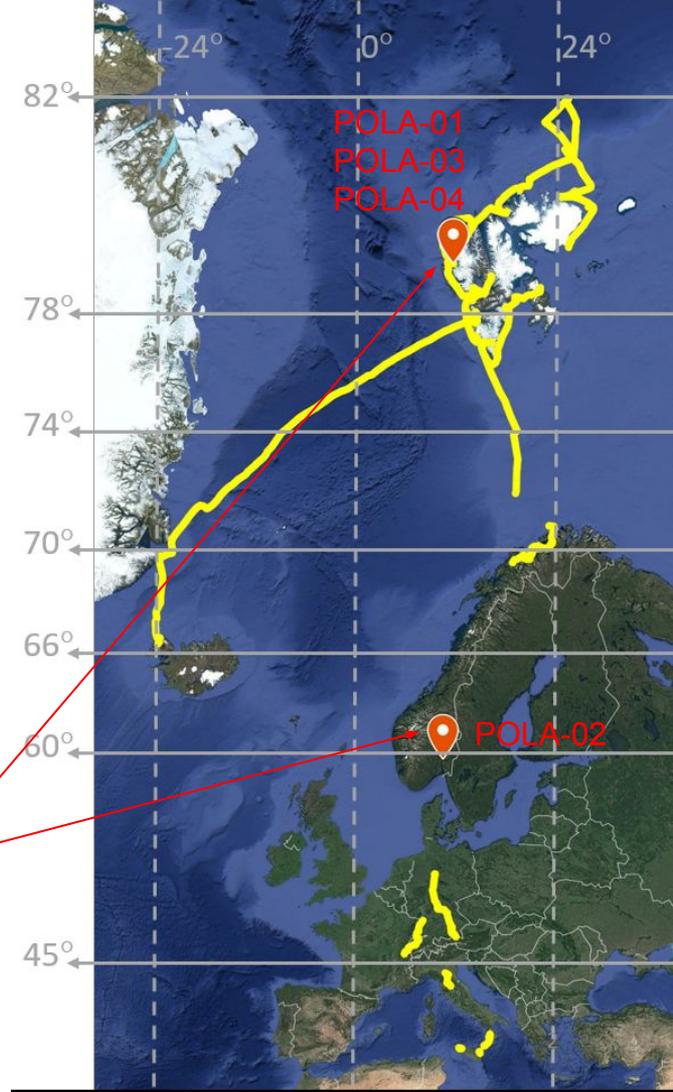
- 2018

- 3 rivelatori (POLA-01, POLA-02, POLA-03)
- PolarquEEEst2018 -> missione a bordo del battello Nanuq (luglio-settembre) + 2 telescopi in postazioni fisse (Bra(TO), Nessoden(Norvegia))

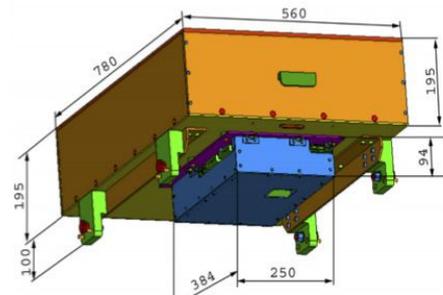


- 2019

- (Dic 18 – Apr 19) -> misura a diverse latitudini (Italia, Germania, CERN)
- Costruzione del 4° rivelatore (POLA-04)
- (PolarquEEEst2019) -> installazione di tre rivelatori a Ny Ålesund (Svaldbard)

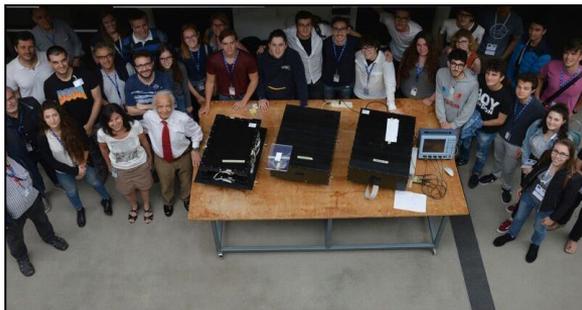
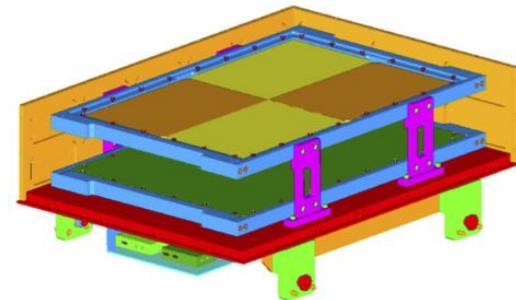


Il rivelatore

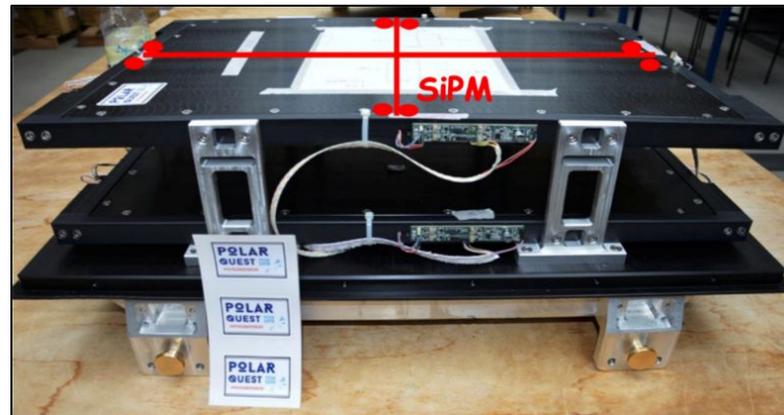


Scatola di elettronica

- 2 piani di Scintillatori plastici
- 4 lastre per piano: 30 x 20 cm²
- Distanza tra i piani 11 cm
- 2 SiPM per lastra
- Efficienza > 96%
- Condizione di trigger: segnale in coincidenza su entrambi i piani (almeno 3 SiPM accesi)



Studenti delle scuole italiane, svizzere e norvegesi coinvolti nell'assemblaggio



Electronica (readout, trigger)

Batteria Tampone

GPS / GNSS-Ublox

Sense Hat

Gyroscope

Accelerometer

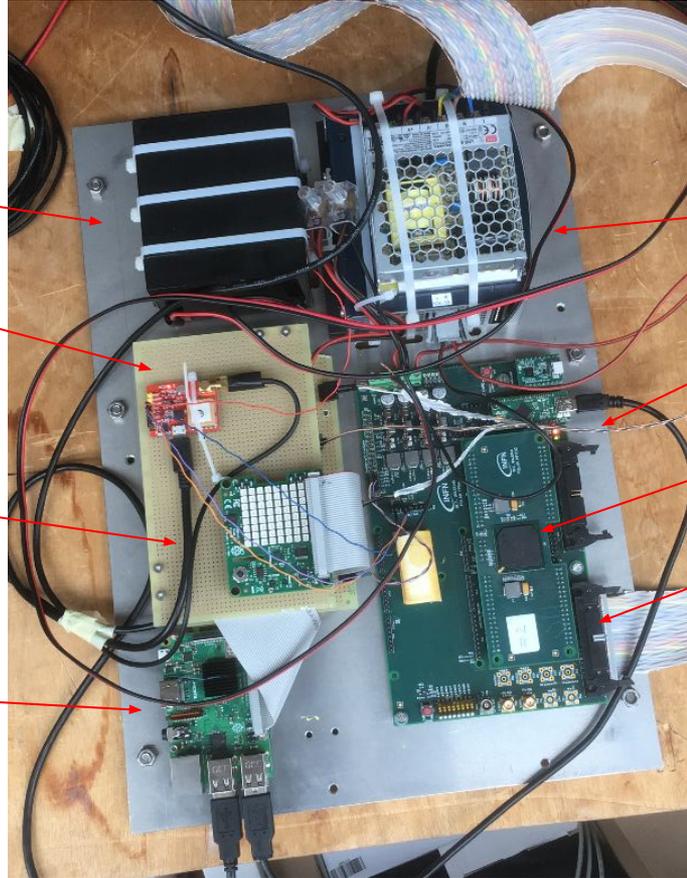
Magnetometer

Temperature

Barometric pressure

Humidity

Raspberry PI



Power

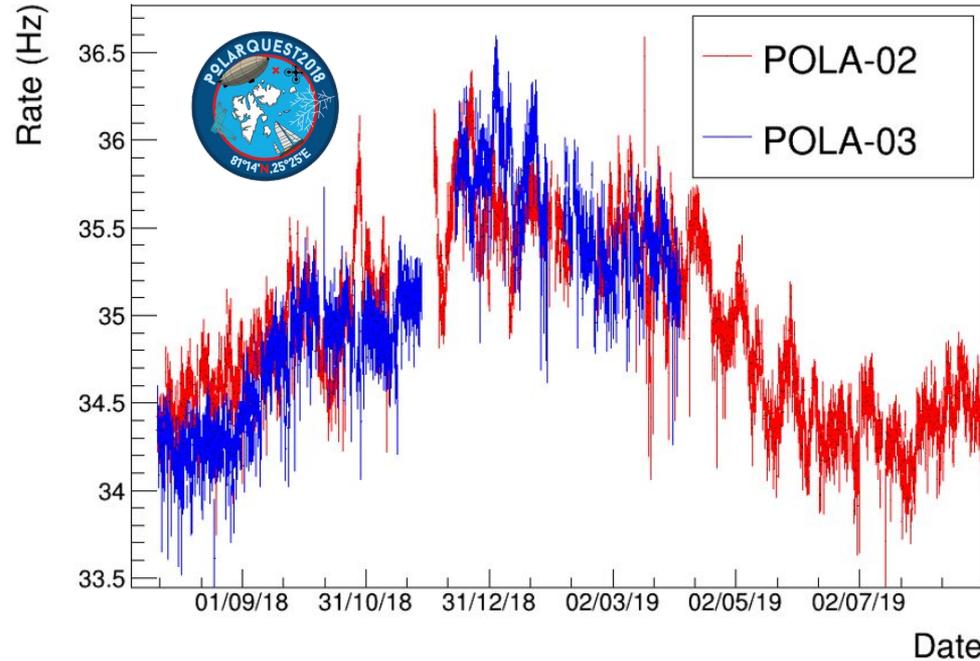
Scheda di Readout e trigger

FPGA Altera Cyclone 5

HPTDC piggy-back

Segnali dai SiPM

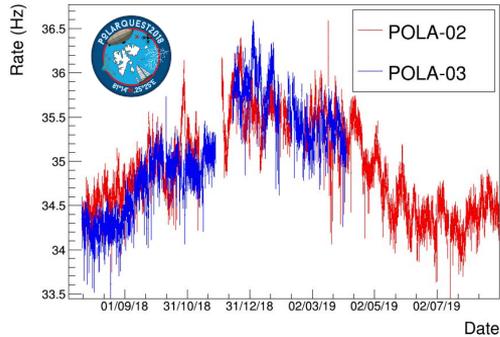
Effetto stagionale in PolarquEEEst (2018)



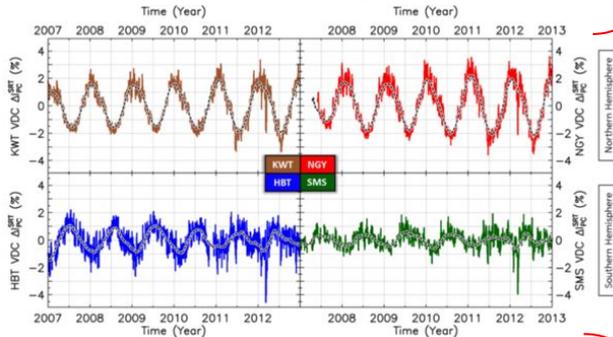
La prima misura della variazione stagionale del flusso con i rivelatori di Polar è stata fatta nel 2018(-2019) utilizzando le due installazioni fisse a Nesodden (Norvegia) e Bra.

Abbiamo osservato una modulazione annua del 2%.

Confronto con esperimenti precedenti



$E_{\mu} \sim 1 \text{ GeV}$
Maximum \rightarrow 20 days

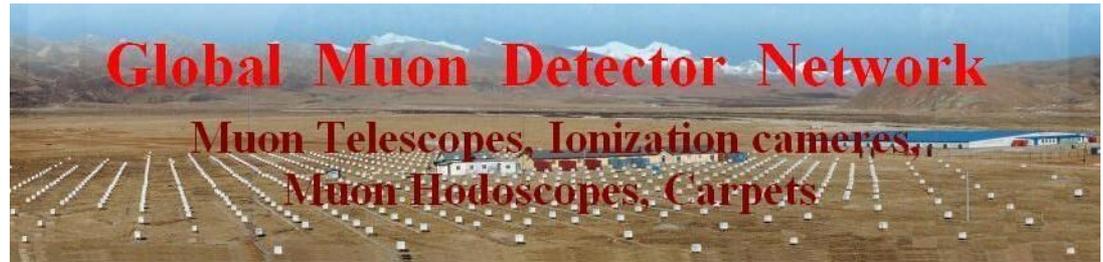


R. R. S. de Mendonca, The Astrophysical Journal, 830:88

Simile modulazione in diversi esperimenti (a livello del 2%) per muoni di bassa energia

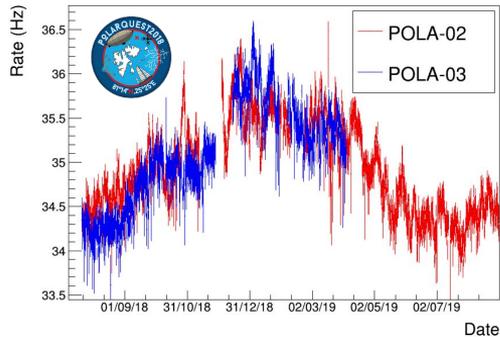
Massimo in Inverno e minimo estivo.

<http://cr0.izmiran.ru/gmdnet/>



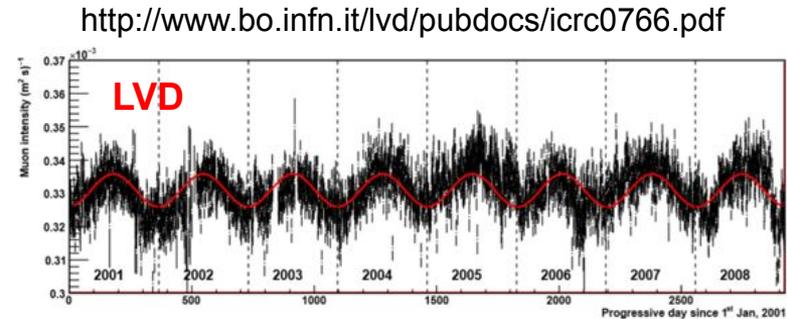
Global Muon Detector Network (GMDN), costituito (in 2007-2013) di quattro rivelatori a terra, due nell'emisfero nord e due nell'emisfero sud.

Confronto con esperimenti precedenti



$E_{\mu} \sim 1 \text{ GeV}$

Maximum \rightarrow 20 days



$E_{\mu} > 1.3 \text{ TeV}$

Maximum \rightarrow (185 \pm 15) days

Simile modulazione in diversi esperimenti (a livello del 2%) per muoni di bassa e alta energia

Muoni di bassa e alta energia hanno una oscillazione con fase opposta

Bassa energia \rightarrow massimo invernale

Alta energia \rightarrow massimo estivo





ICD - 4 novembre 2020



PolarquEEEst2019



PolarquEEEst2019@Ny Ålesund

Installazione a Ny Ålesund

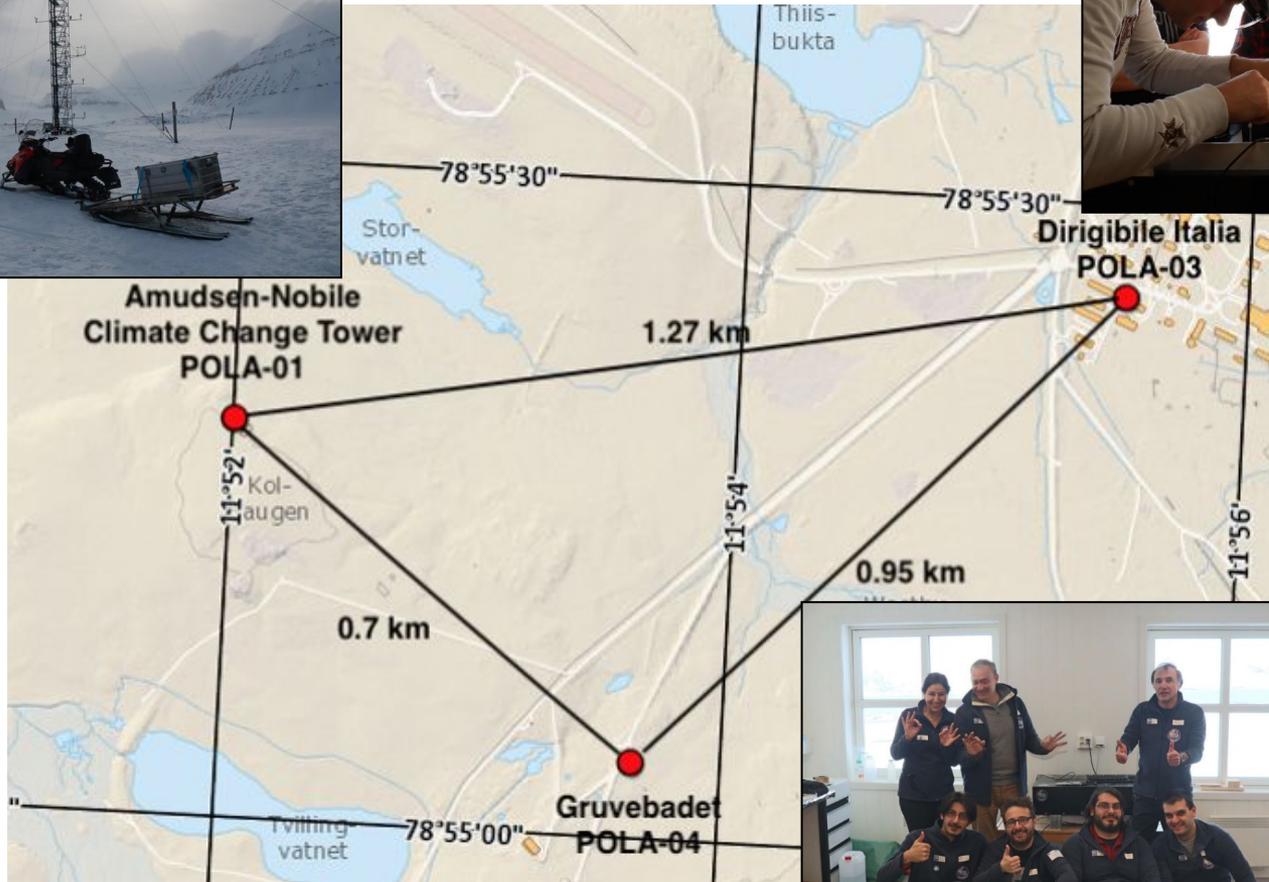
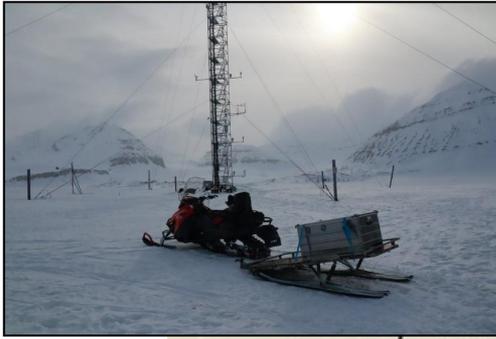
Alla stazione dirigibile Italia
con lo staff CNR



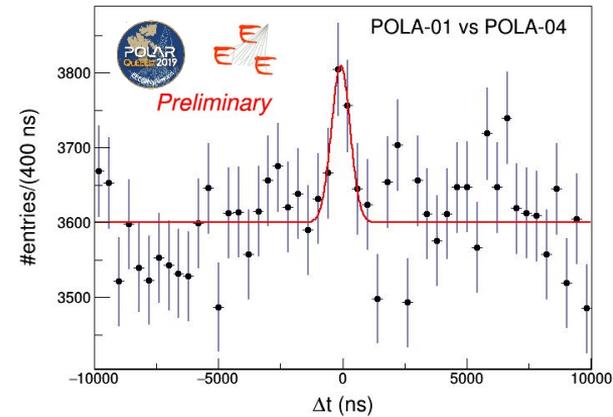
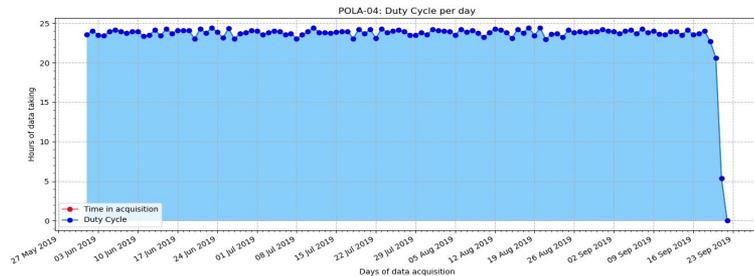
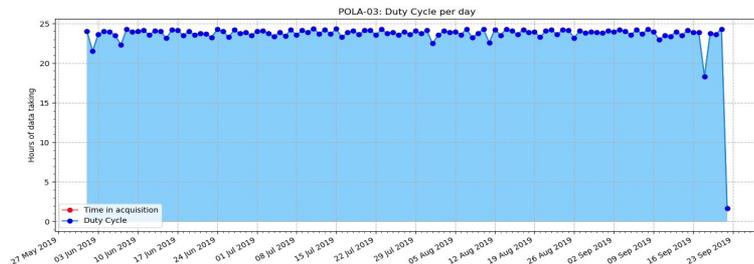
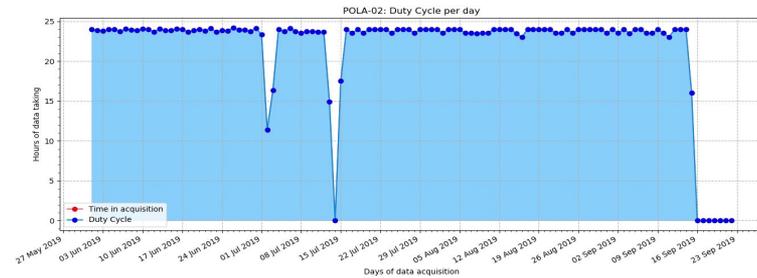
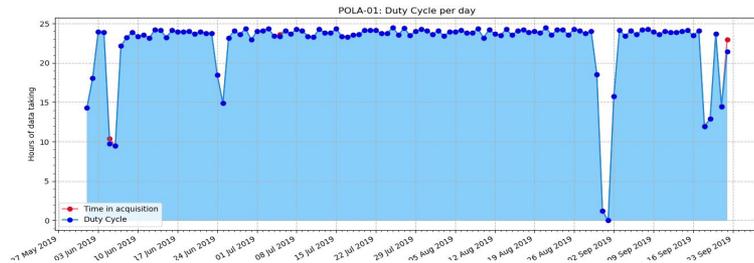
L'arrivo a Ny Ålesund della task
force Polar

POLA-01 verso
la "Climate
Change Tower"
CNR



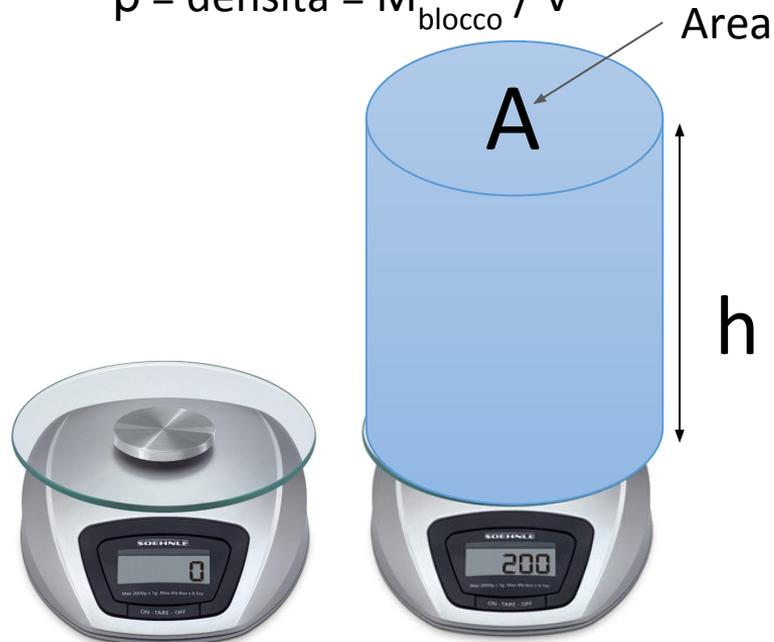


Commissioning (primi 3 mesi)



L'effetto della pressione sul flusso a terra di muoni

$$\rho = \text{densità} = M_{\text{blocco}} / V$$



La pressione è proporzionale alla quantità di materia che grava su una superficie unitaria.

Dipende quindi dalla densità e dall'altezza della colonna di materiale.

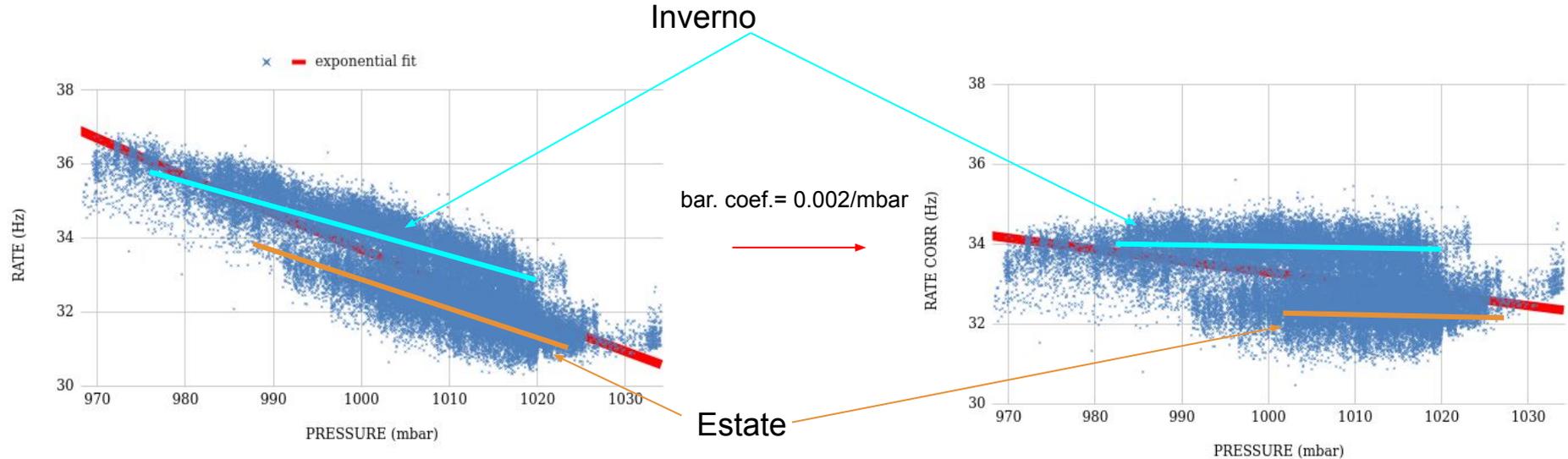
A parità di area (A) se aumenta la pressione/il peso è perché o è aumentata ρ oppure h (in quanto la gravità non cambia!).

Usiamo la pressione per misurare la quantità di materia attraversata dal muone!

$$\text{Peso} = Mg = \rho ghA = P \times A$$

Più materiale c'è sopra il nostro rivelatore, più è alta la probabilità che il muone sia assorbito dalle molecole di aria.

Analisi con i dati a vostra disposizione (POLA-04)



Se provate a calcolare questa correzione su un lungo periodo (in questo caso 1 anno) noterete che ci sono delle strutture che sporcano la misura.

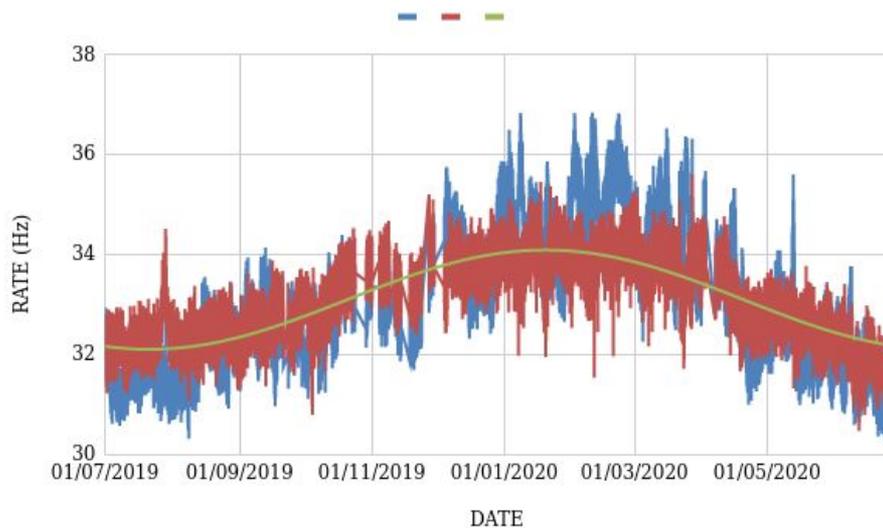
Le correlazioni stagionali tra rate/temperatura e pressione si sovrappongono a quelle tra pressione e flusso.

Quando misurate la correlazione tra flusso e pressione dovete usare un periodo breve in modo da non avere variazione di flusso dovute ad altri effetti.

Analisi dati di POLA-04

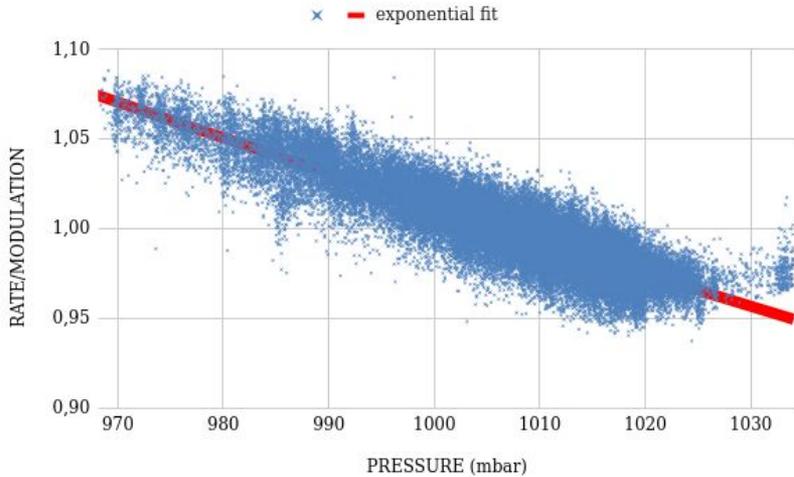
Dovreste aver ottenuto un grafico di questo tipo:

- **BLU**: Rate vs Time (non corretto)
- **ROSSO**: Rate vs Time (corretto per gli effetti della pressione)
- **VERDE**: Oscillazione Estate-Inverno (per guidare l'occhio)

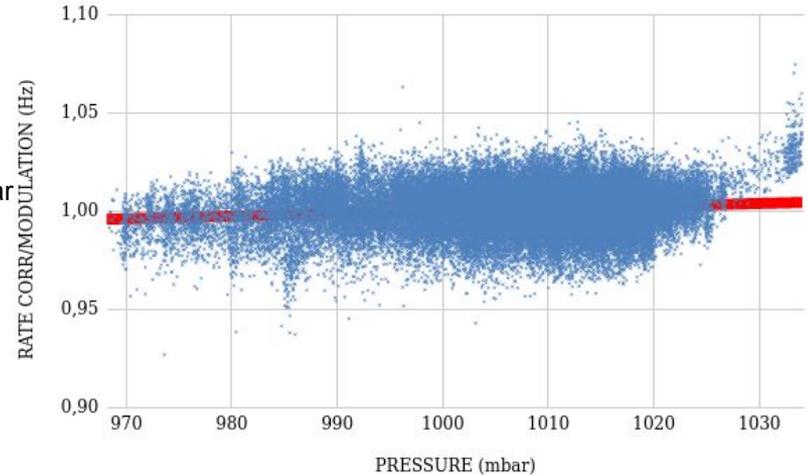


https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ldLol3qjK21_qPoWgkK_shCdH9LPFDezL0S2fAfCPqU/edit?usp=sharing

Analisi con i dati a vostra disposizione (POLA-04)



bar. coef. = 0.002/mbar



A posteriori potete comunque verificare che la correzione sia stabile su tutto il periodo andando a rimuovere la modulazione stagionale (facendo un rapporto tra il flusso ed essa) e verificare che la curva di correlazione flusso e pressione sia unica.



ICD - 4 novembre 2020



L'effetto stagionale → un effetto di temperatura

Effetto temperatura

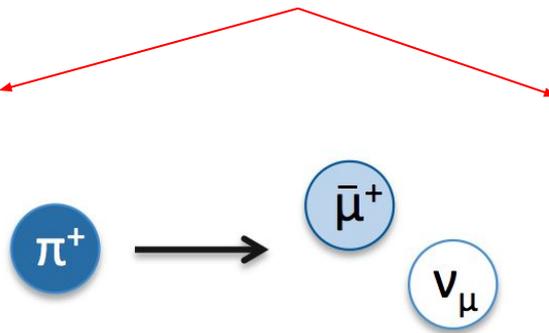
Secondo la legge dei gas perfetti se la temperatura di un gas, a parità di pressione, aumenta allora aumenta anche il suo volume (diminuisce la sua densità).

Nel caso dell'atmosfera questo comportamento ha due effetti principali legati al fatto che "l'espansione" del gas avviene lungo la verticale.

I raggi cosmici primari possono interagire, in media, a quote più alte cioè più lontane dal livello del mare.

→ i muoni in media devono compiere tragitti più lunghi prima di essere rivelati e quindi hanno più tempo per decadere.

(- muoni in Estate)
basse energie (1 GeV)



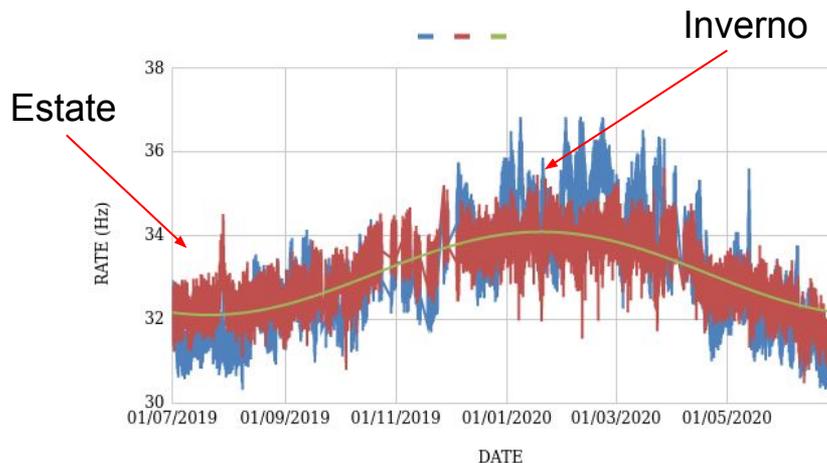
Esistono quindi due meccanismi in competizione. La prevalenza di uno sull'altro dipende dall'energia con cui sono prodotti i pioni e quindi i muoni che vengono dal loro decadimento.

La distanza di libero cammino medio per interazioni successive dello sciame aumenta.

→ I pioni che si sviluppano nello sciame hanno più tempo per decadere in muoni prima di avere una interazione con l'aria (in cui darebbero vita alla creazione di altre particelle)

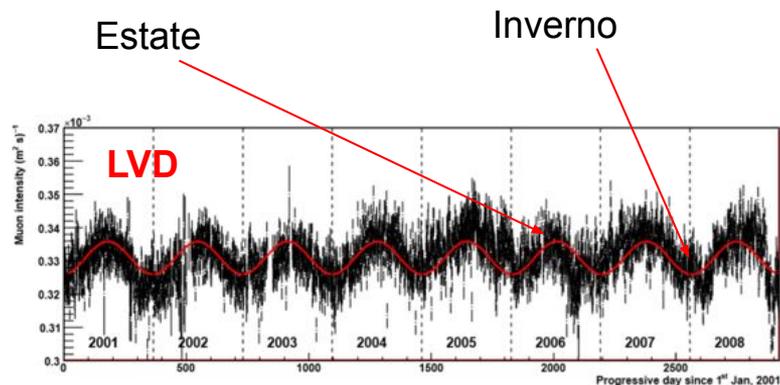
(+ muoni in Estate)
alte energie (> 100 GeV)

I due casi che ci interessano



I muoni visti dai rivelatori Polar (ma anche EEE) sono di bassa energia. Sono più sensibili al primo effetto descritto.
→ se aumenta la temperatura (Estate) diminuisce la probabilità che arrivino a terra.

$E_{\mu} \sim 1 \text{ GeV}$
Maximum \rightarrow 20 days



I muoni visti da LVD (schermati dalla roccia del Gran Sasso) sono di altissima energia (altrimenti non sarebbero in grado di attraversare lo strato di roccia). Sono più sensibili al secondo effetto descritto.
→ se aumenta la temperatura (Estate) aumenta la probabilità che vengano prodotti dal decadimento dei pioni.

$E_{\mu} > 1.3 \text{ TeV}$
Maximum \rightarrow (185 \pm 15) days

Grazie per l'attenzione

POLA-01

