

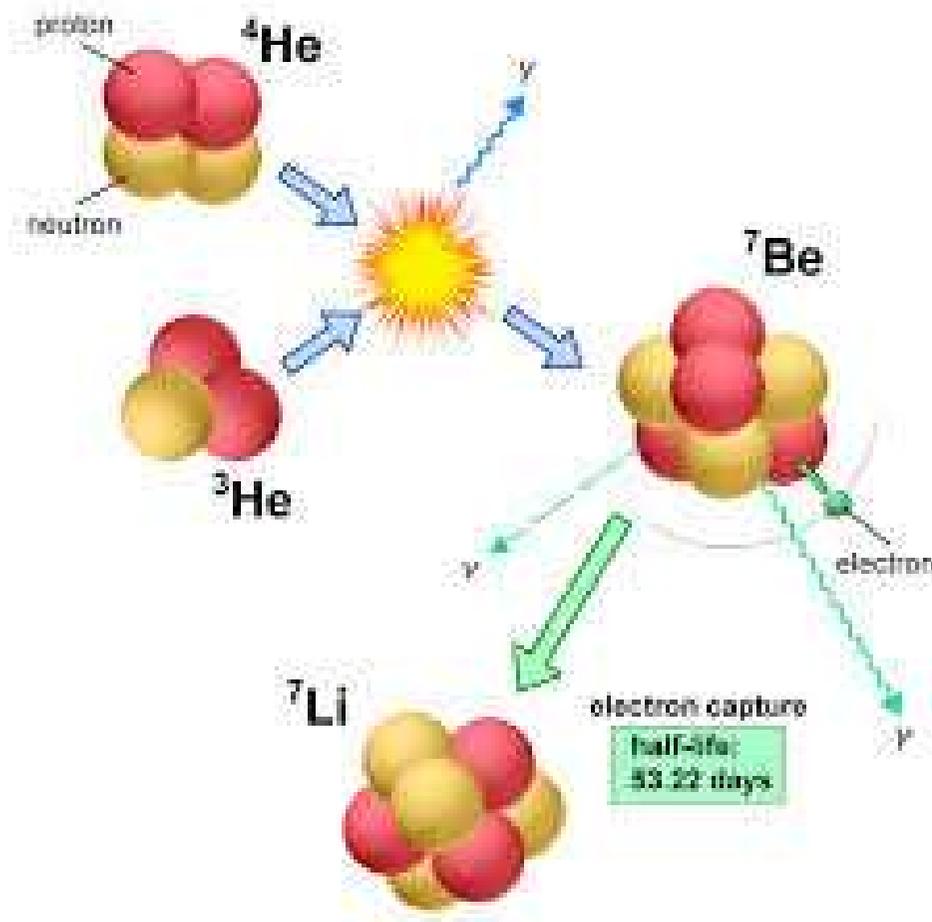


Misure di ^7Be nel particolato e nelle deposizione umide e secche: serie storiche e correlazione con parametri ambientali

M. Magnoni, L. Bellina, S. Bertino, B. Bellotto, M. Ghione, G. Garbarino, M.C. Losana
Arpa Piemonte, Via Jervis 30, 10015 Ivrea (TO)

**VI CONVEGNO NAZIONALE - IL CONTROLLO DEGLI AGENTI FISICI: AMBIENTE, TERRITORIO
E NUOVE TECNOLOGIE**
Alessandria 6-7-8 giugno 2016

La storia del ${}^7\text{Be}$ nasce molto tempo fa....



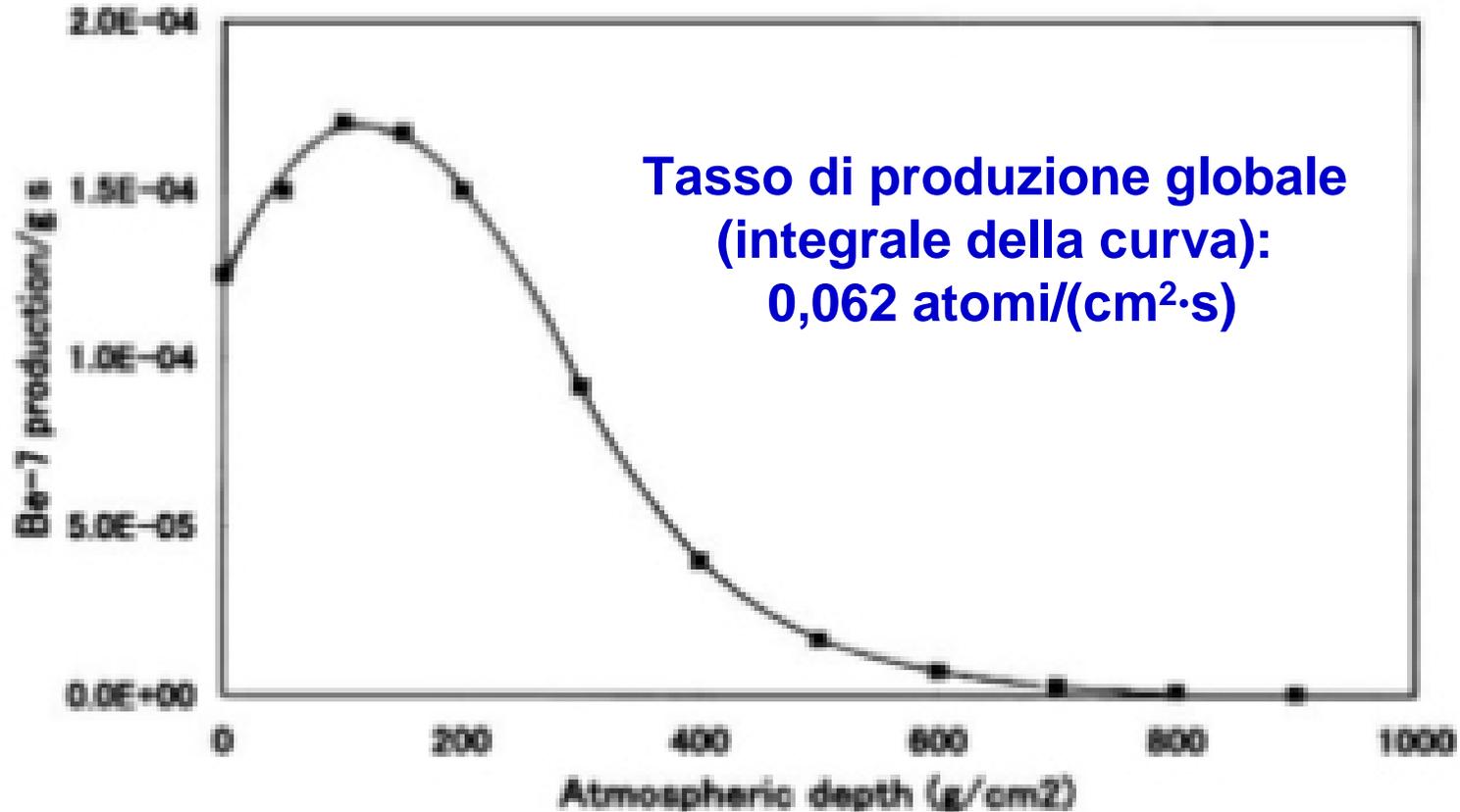
^7Be e i raggi cosmici

- Il ^7Be è un radionuclide cosmogenico: decade in ^7Li per cattura elettronica
- E' caratterizzato anche da una intensa emissione γ (477.6 keV)
- La sua emivita è pari a: $t_{1/2} = 53.22$ giorni
- La sua rilevanza dosimetrica è assai modesta: si valuta che una dose efficace dell'ordine dei 30 nSv/anno

La produzione del ^7Be in atmosfera

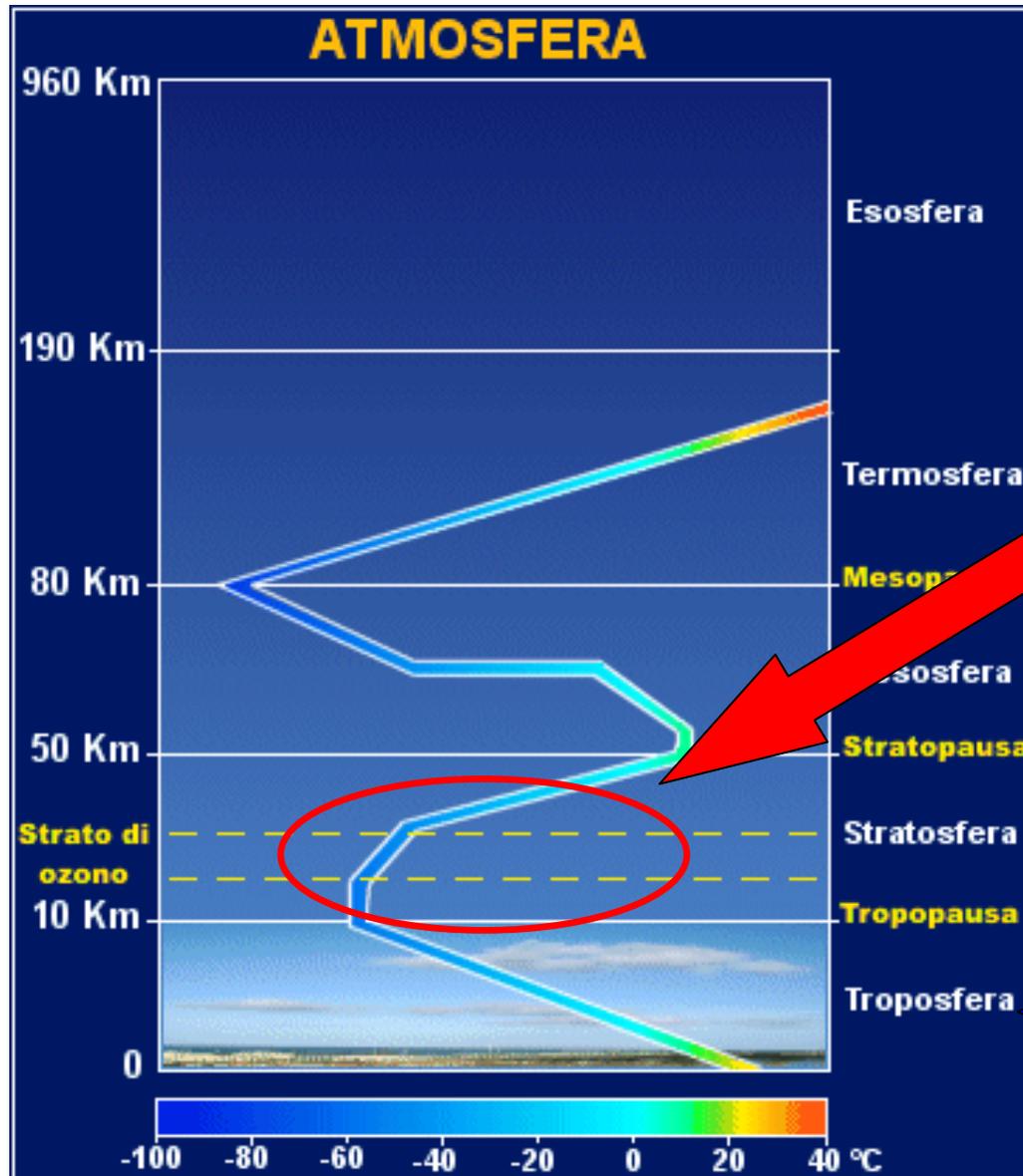
- La produzione dei radionuclidi cosmogenici è principalmente dovuta alla della componente GCR (Galactic Cosmic Rays); flussi protonici di origine solare contribuiscono per pochi punti %
- Attualmente il tasso di produzione del ^7Be in atmosfera è valutato tramite sofisticati modelli Monte Carlo 3D.
- Scopo principale di questi studi è quello di giungere a una descrizione di dettaglio del tasso di produzione del ^7Be in funzione dell'altitudine e della latitudine

La produzione del ^7Be in atmosfera



Tasso di produzione del ^7Be in atomi/g·s in funzione dello spessore dell'atmosfera, espresso in g/cm². L'integrale della curva fornisce la produzione su tutta la colonna atmosferica.

La produzione del ^7Be in atmosfera



- Zona di massima produzione del ^7Be

70 %

30 %

Il ^7Be nell'ambiente

- A seguito di ciò il ^7Be si trova facilmente in ambiente: una volta prodotto si attacca al particolato ultrafine ($\text{\O} < 1 \mu\text{m}$) e segue il suo destino:



- a) Pioggia
- b) Particolato in sospensione
- c) Chiome degli alberi (aghi di abete, soprattutto), ecc.



Le misure di ^7Be

- Sono state effettuate a Ivrea 2 tipi di misure:
 - a) Deposizione umida e secca (fallout), Bq/m^2 , **serie storica a partire dal febbraio 1989**
 - b) Misure di concentrazione di attività Bq/m^3 , **serie storica a partire dal gennaio 1992**

Le misure di ^7Be

- Prelievo mensile della deposizione umida e secca: dal 1989 fino al 1997 la raccolta del materiale è avvenuta a Ivrea, per mezzo di contenitori di materiale plastico con superficie di raccolta di circa 2 m^2 . Tale sistema è stato poi sostituito da una vasca di acciaio inox con superficie di raccolta doppia (4 m^2).
- Prelievo giornaliero del particolato atmosferico su filtri di carta con pompa ad alto volume ($100 - 180 \text{ m}^3/\text{giorno}$).

Le misure di ^7Be

Misura della deposizione umida e secca

L'acqua, raccolta in opportuni contenitori, è sottoposta a lenta evaporazione (80°C) fino a completa secchezza, impiegando nella fase finale un liofilizzatore.

Un'aliquota fissa del materiale raccolto (4 g) viene poi sottoposto a spettrometria γ con rivelatori HPGe (16 ore tempo di conteggio)

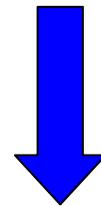
Le misure di ^7Be

Misura del particolato atmosferico

I filtri, prelevati giornalmente, vengono analizzati:

- a) Singolarmente, ogni giorno con tempo di conteggio 5400 s
- b) Settimanalmente (pacchetto di filtri), con tempo di conteggio 16 ore
- c) Mensilmente (pacchetto di filtri), con tempo di conteggio 16 ore

^7Be

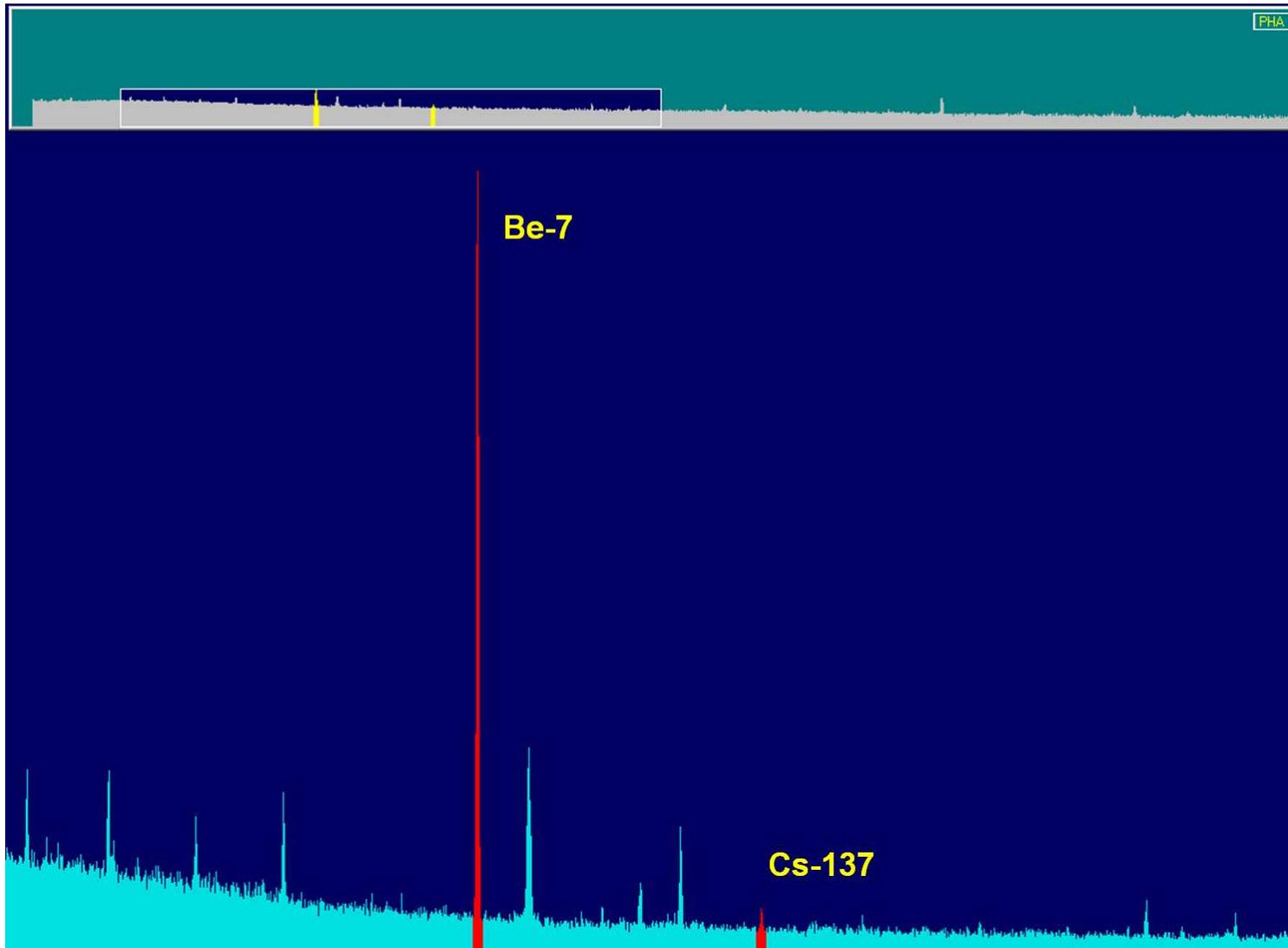


Le misure di ^7Be



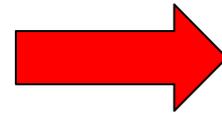
**DISPOSITIVO DI
RACCOLTA DELLA
DEPOSIZIONE
UMIDA E SECCA**

Le misure di ^7Be



Modello di deposizione

Se D è la quantità di radioattività che si accumula nel campionatore (Bq/m^2) e Φ è il flusso di vi entra, ho:



$$\frac{dD}{dt} + \lambda \cdot D = \Phi$$

Che risulta dà:



$$D = \frac{\Phi}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot \tau})$$

Nel caso del ${}^7\text{Be}$
 $\tau=1$ mese per cui:



$$D = \frac{\Phi}{\lambda} \cdot 0,327$$

Modello di deposizione

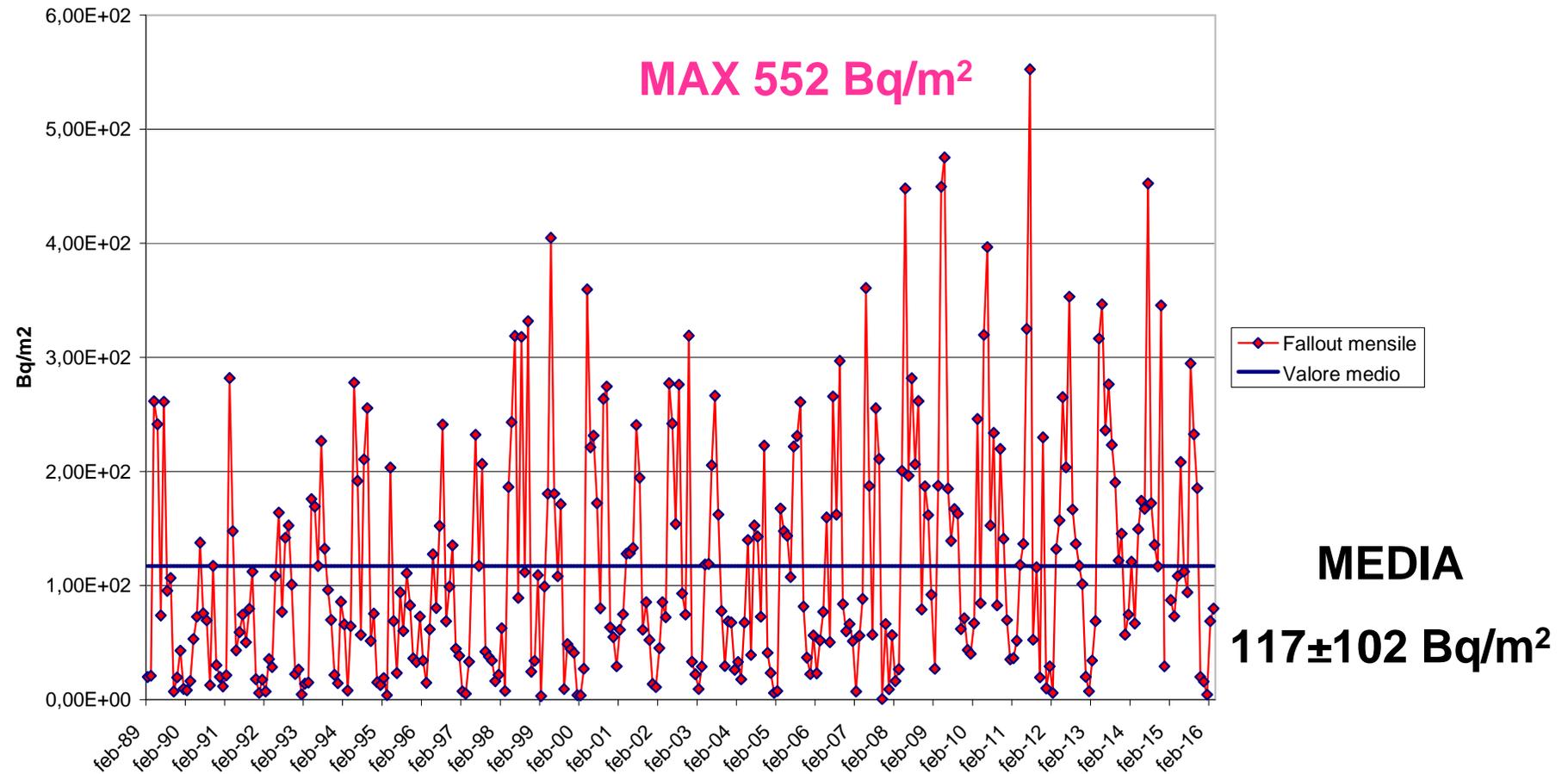
La quantità di ${}^7\text{Be}$ che si accumula nel campionatore in un mese è molto lontana dal suo valore asintotico che rappresenta quello che viene chiamato **l'inventario**

$$D(\tau \rightarrow +\infty) = \frac{\Phi}{\lambda}$$

Essa non rappresenta quindi la quantità di ${}^7\text{Be}$ presente al suolo ma solo (in media) circa il 33%

I dati di deposizione

Be-7 Fallout 1989 - 2016



- L'estrema variabilità osservata ci dice che la descrizione della deposizione tramite un unico e generico flusso Φ costante è una approssimazione piuttosto grossolana
- Il flusso si è infatti costituito in realtà da due componenti molto diverse:
una legata alla componente secca, sostanzialmente costante nel tempo e, l'altra dovuta alla componente umida, molto più irregolare, determinata dalle precipitazioni.
- Vale quindi: $\Phi = \Phi_{\text{secca}} + \Phi_{\text{umida}}$

- Per la componente secca si può scrivere:

$$\Phi_{\text{secca}} = C \cdot v_d$$

con C concentrazione di attività in aria del ^7Be e v_d valor medio della velocità di deposizione del particolato

- Per quella umida la relazione è:

$$\Phi_{\text{umida}} = w \cdot J \cdot H \cdot C_0 \cdot e^{-w \cdot J \cdot t}$$

con J intensità delle precipitazioni, H altezza della colonna atmosferica spazzata dalla pioggia, C_0 concentrazione di attività del ^7Be in atmosfera all'inizio della precipitazione, w coefficiente di dilavamento e t durata dell'evento piovoso.

Allora, risolvendo separatamente l'equazione proposta nel caso della deposizione secca e di quella umida, si ottiene:

$$D_{\text{secca}} = \frac{C \cdot v_d}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot \tau}) \quad \tau = 1 \text{ mese}$$

I tempi in gioco sono molto differenti nei due processi

$$D_{\text{umida}} = \frac{w \cdot J \cdot H \cdot C_0}{(\lambda - w \cdot J)} \cdot (e^{-w \cdot J \cdot t} - e^{-\lambda \cdot t})$$

t = minuti - ore

L'espressione della deposizione umida può essere semplificata. Se una precipitazione è sufficientemente intensa per cui $w \cdot J \gg \lambda$, si ha:

$$D_{\text{umida}} = H \cdot C_0 \cdot (1 - e^{-w \cdot J \cdot t})$$

Se, sia $\lambda \cdot t$ che $w \cdot J \cdot t$ si possano considerare piccoli, allora si giunge alla formula, che dà una dipendenza lineare dalla pioggia

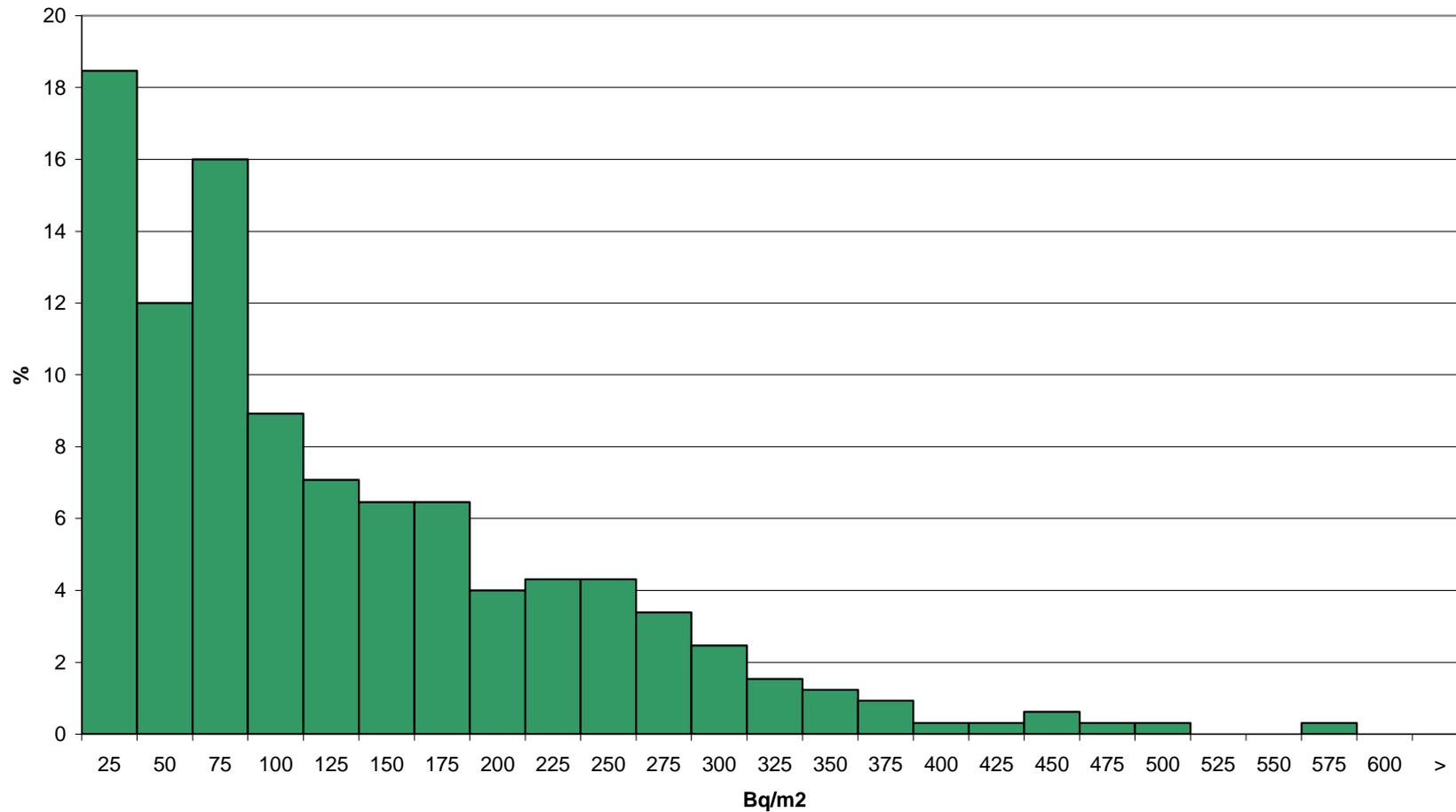
$$D_{\text{umida}} = w \cdot J \cdot H \cdot C_0 \cdot t$$

La distribuzione dei dati

MEDIA

117 ± 102 Bq/m²

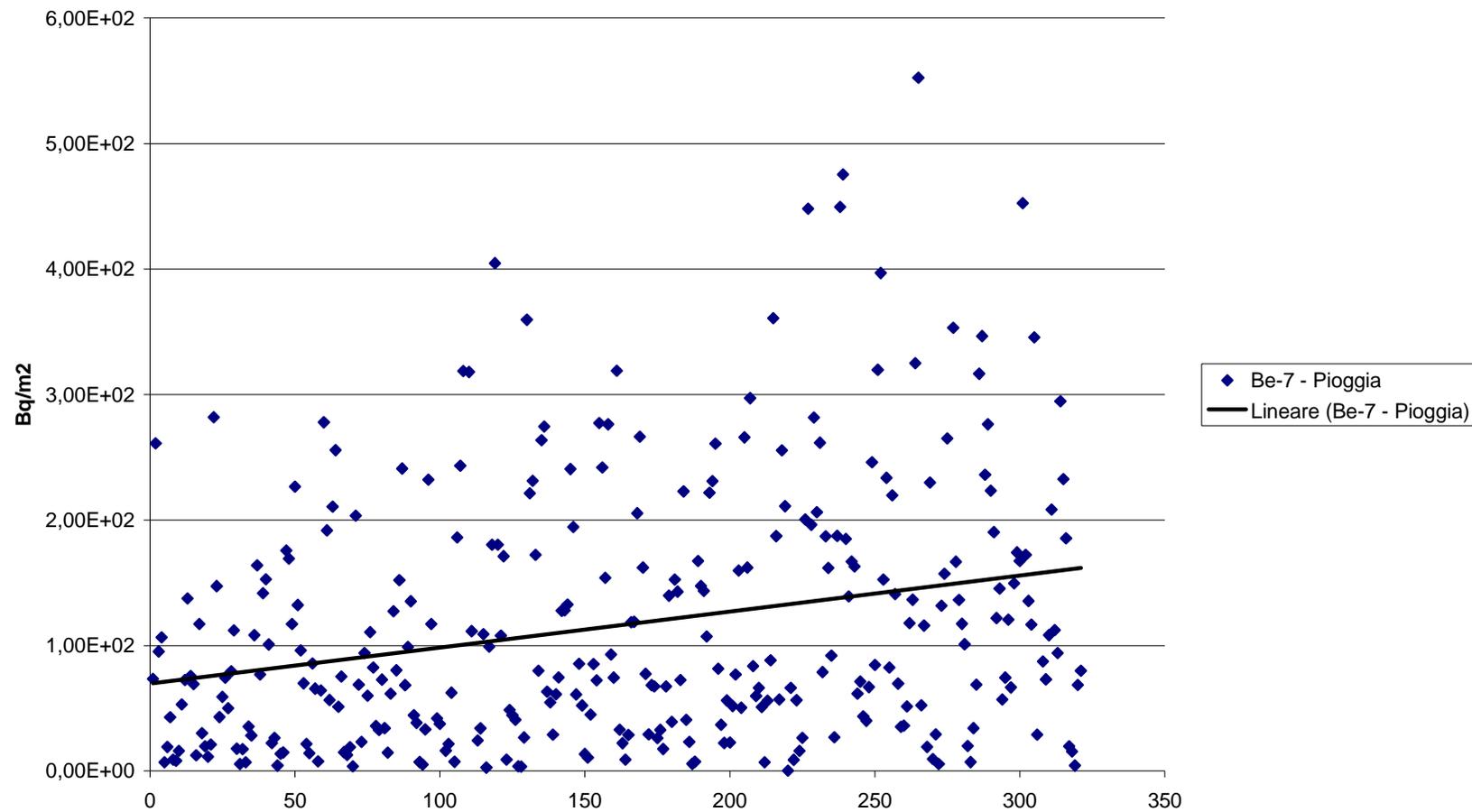
Distribuzione dati Fallout Be-7



Influenza della pioggia...

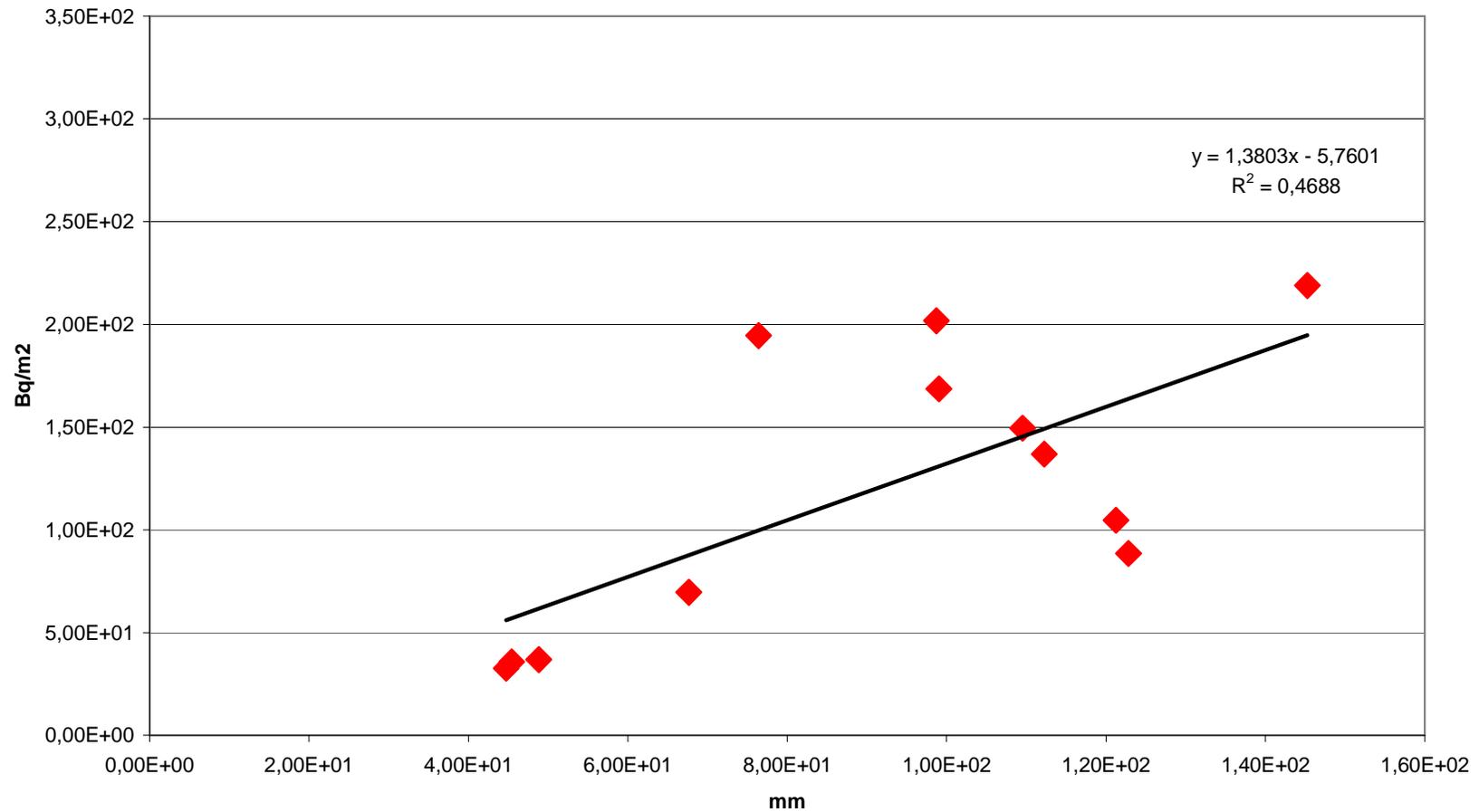
Be-7 Fallout 1989 - 2016

$$y = 0,2871x + 69,682$$
$$R^2 = 0,0686$$



Influenza della pioggia...

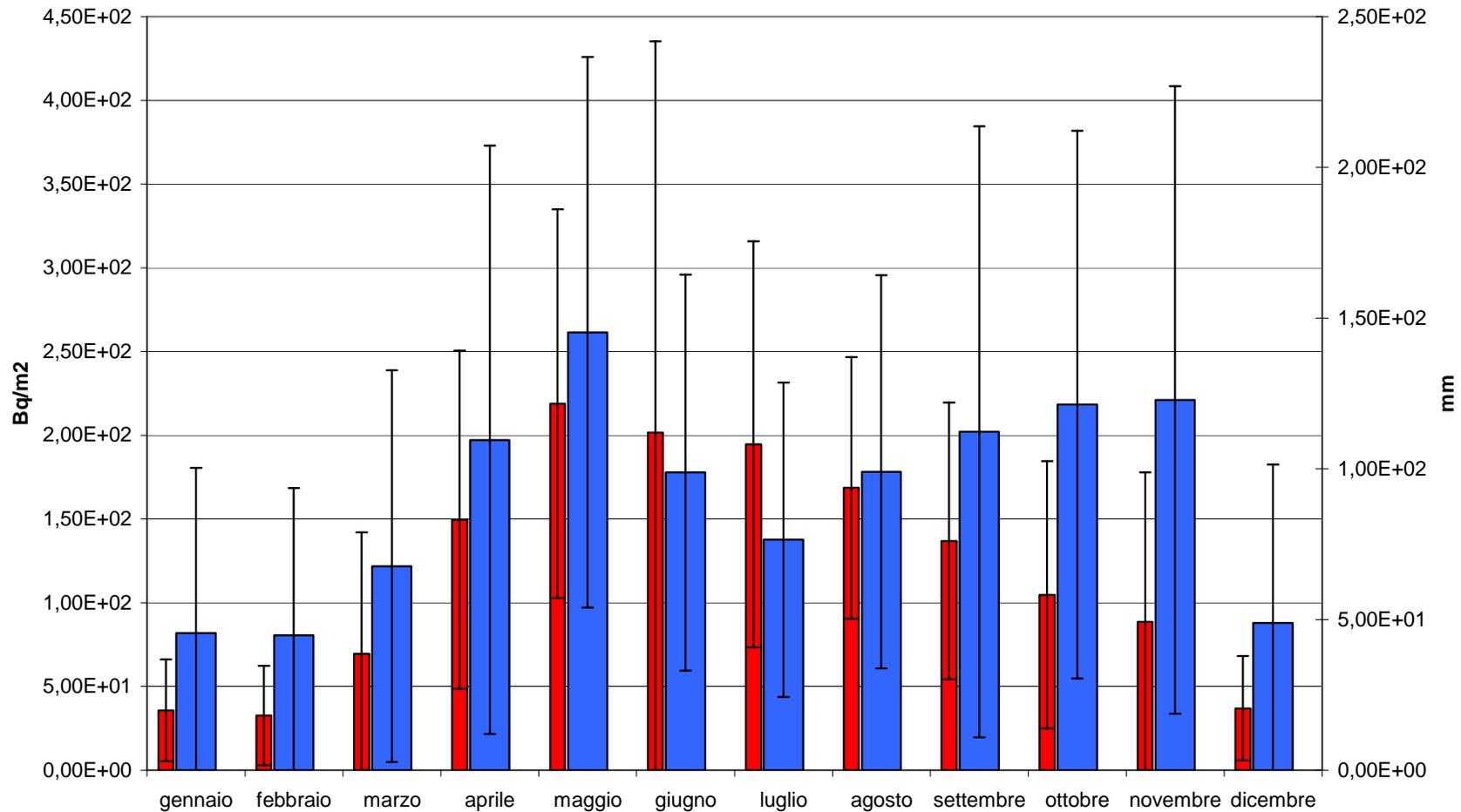
Medie mensili Deposizione - Pioggia



Influenza della pioggia, ma non solo....

⁷Be (barre in rosso)
Pioggia (barre blu)

Deposizioni medie mensili



Influenza della pioggia, ma non solo....

- Tale andamento è solo in parte spiegabile con la piovosità
- Ciò risulta chiaro non solo dall'istogramma, ma anche grazie a qualche semplice calcolo: prendendo infatti l'equazione:

$$D_{umida} = H \cdot C_0 \cdot (1 - e^{-w \cdot J \cdot t})$$

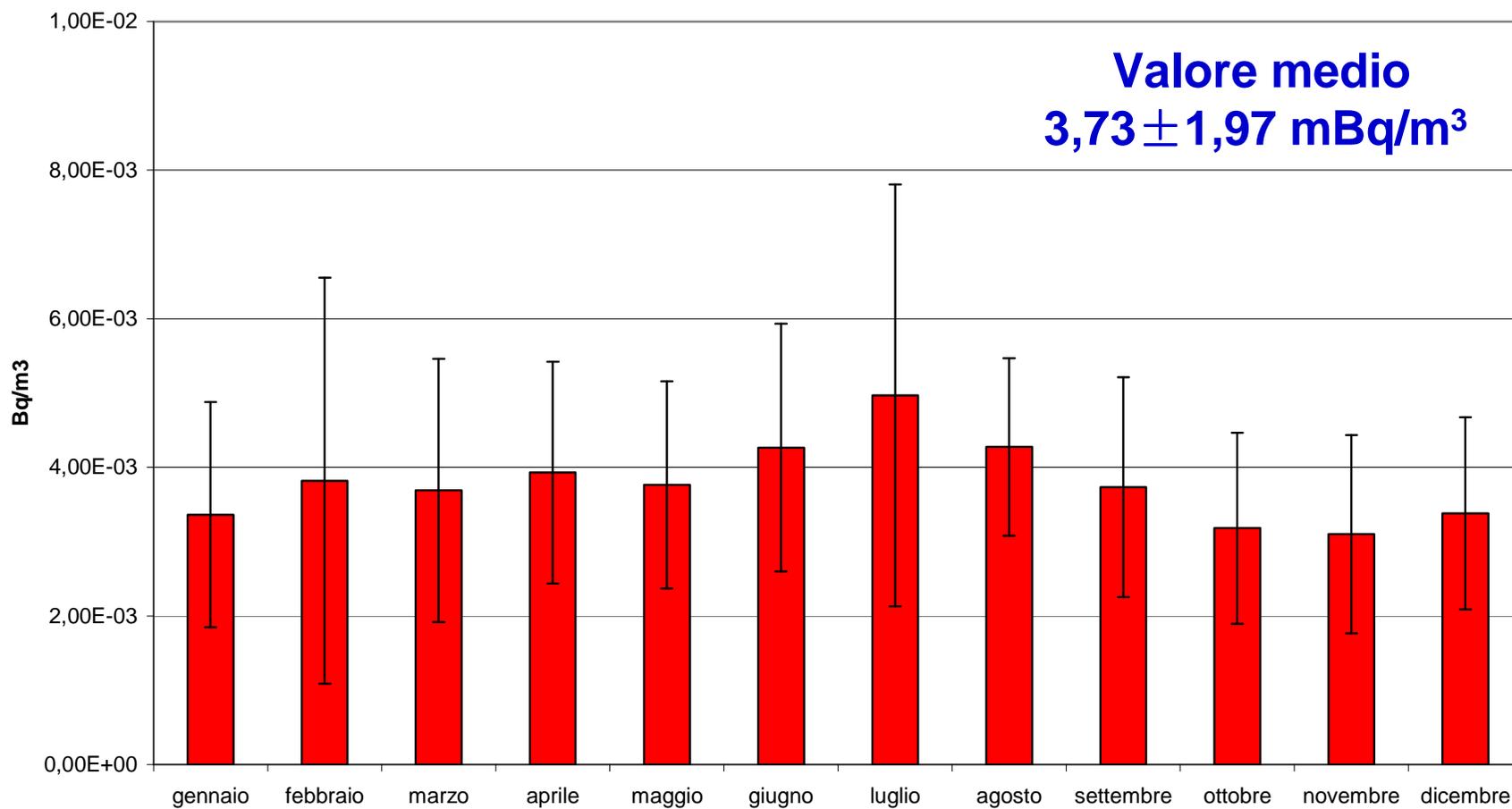
e inserendo in essa i dati della piovosità si ricava che $e^{-w \cdot J \cdot t} \approx 0$ e quindi $D_{umida} = H \cdot C_0$

- Perciò, l'incremento dei livelli di deposizione nei mesi estivi e invernali non può che essere interpretato come la conseguenza di una massiccia intrusione a bassa quota di aria di provenienza stratosferica
- Diversi altri studi, avevano del resto da tempo già evidenziato questo fenomeno, in misure effettuate sul particolato
- Andiamo dunque a vedere le nostre misure sul particolato
- Prenderemo in considerazione le misure mensili, per le quali si dispone di dati dal gennaio 1992 al gennaio 2016

Misure in aria mensili

Concentrazioni in aria

■ Be-7 - Medie mensili



- L'andamento stagionale osservato per la deposizione qui è molto meno marcato: i livelli di concentrazioni non variano molto durante l'anno
- A partire dal valore medio di concentrazione è possibile calcolare il valore medio della deposizione secca, prendendo come velocità di sedimentazione del particolato $v_d=0,18$ cm/s. Si ottiene allora $D_{secca}=45$ Bq/m², un valore che è dello stesso ordine di grandezza di quello dell'intercetta della retta di regressione deposizione-pioggia (**70 Bq/m²**), mostrato in precedenza

Calcolo dell'inventario al suolo

- Dai dati di deposizione si può calcolare l'inventario al suolo del ^7Be
- Vista l'ampia fluttuazione dei dati, l'inventario non può essere stimato prendendo semplicemente il valore asintotico $D=\Phi/\lambda$
- Con questo sistema si può al più calcolare il valore medio dell'inventario:

$$347 \pm 175 \text{ Bq/m}^2$$

Calcolo dell'inventario al suolo

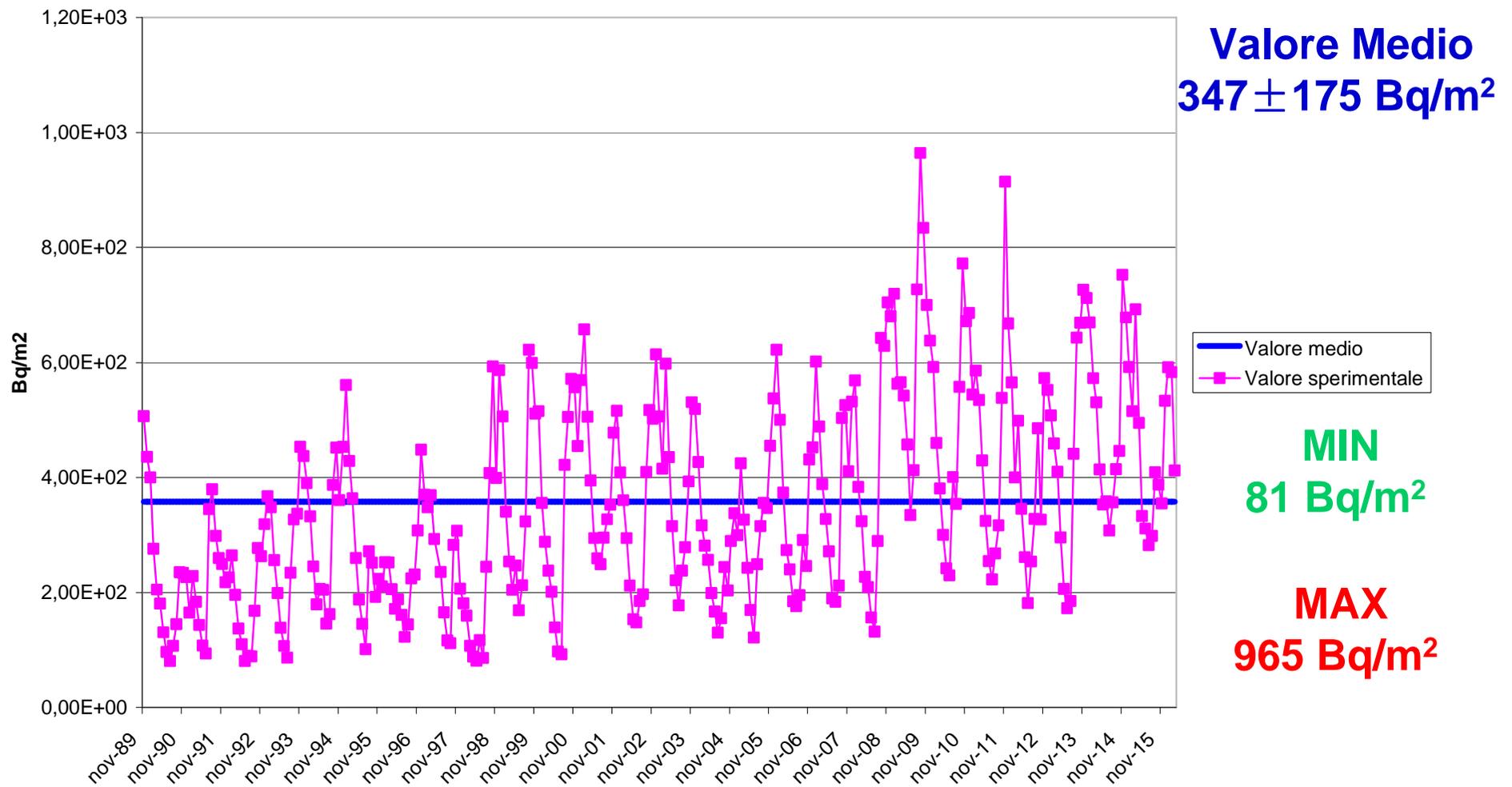
- Una corretta misura dell'inventario al suolo, a partire dai dati realmente misurati si fa nel seguente modo:

$$I_n = \sum_{j=0}^n D_j \cdot e^{-\lambda \cdot (n-j) \cdot \Delta t}$$

dove con I_n si indica l'inventario presente al suolo all'n-esimo mese della nostra serie storica, mentre con D_j sono indicati i dati sperimentali misurati nei j-esimi mesi precedenti.

Calcolo dell'inventario al suolo

Be-7 Inventario 1989 - 2016



- E' interessante confrontare i valori dell'inventario al suolo con il valori teorico, dedotto dal tasso di produzione globale **in tutta l'atmosfera**, cioè **620 Bq/m²**:
 - a) il valore medio, cioè **347 Bq/m²**, è pari a circa il **56%** dell'inventario totale, cioè ben di più del **30% (310 Bq/m²)**
 - b) il valore massimo misurato, **965 Bq/m²**, esso rappresenta il **156%** dell'inventario teoricamente disponibile

- Queste considerazioni sono una ulteriore, e definitiva conferma dell'origine stratosferica di una buona parte del ^7Be depositato al suolo
- Tale contributo può anzi essere quantificato, grazie ad un semplice modello che descrive il profilo di concentrazione nella troposfera

Profilo ^7Be in troposfera

a) $C(z)$ concentrazione ^7Be in funzione della quota z , v è la velocità di sedimentazione

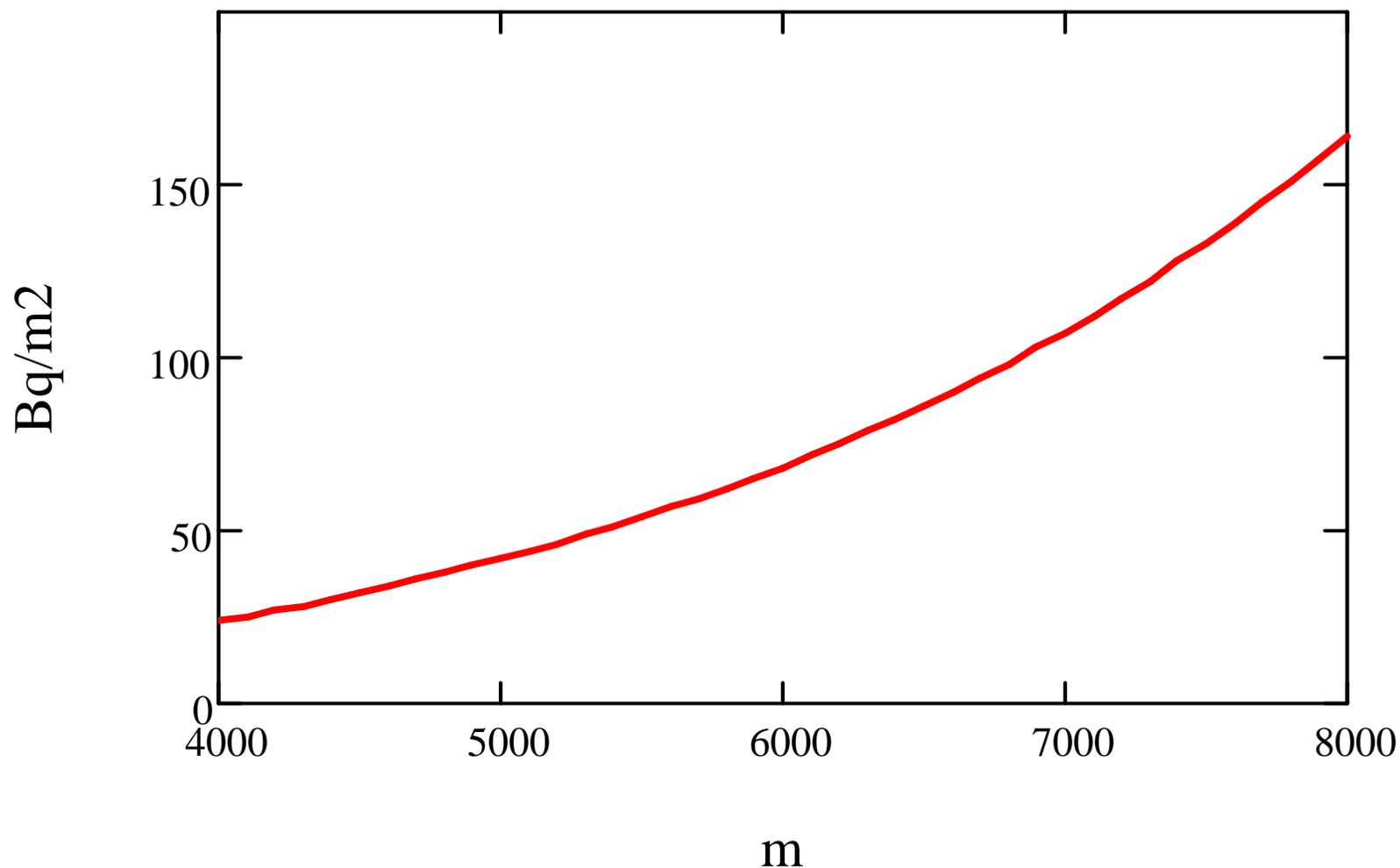
b) v si può identificare come la velocità di deposizione secca V_d

c) $Q(z)=\alpha \cdot e^{-\beta \cdot z}$ è il tasso di produzione di ^7Be nella troposfera in funzione dell'altezza, dedotto interpolando i dati di letteratura ($\alpha=2,516 \cdot 10^{-3}$ atomi/s \cdot m 3 ; $\beta=4,23 \cdot 10^{-3}$ m $^{-1}$)

$$\frac{dC}{dz} + \frac{\lambda}{v} \cdot C = \frac{Q(z)}{v}$$

$$C(z) = C_0 \cdot e^{-\frac{\lambda z}{v}} + \frac{\alpha}{\left(1 + \frac{\beta v}{\lambda}\right)} \cdot \left(e^{\beta z} - e^{-\frac{\lambda z}{v}}\right)$$

Inventario Be-7 puramente troposferico



Ipotesi = dilavamento della colonna atmosferica in funzione dell'altezza spazzata

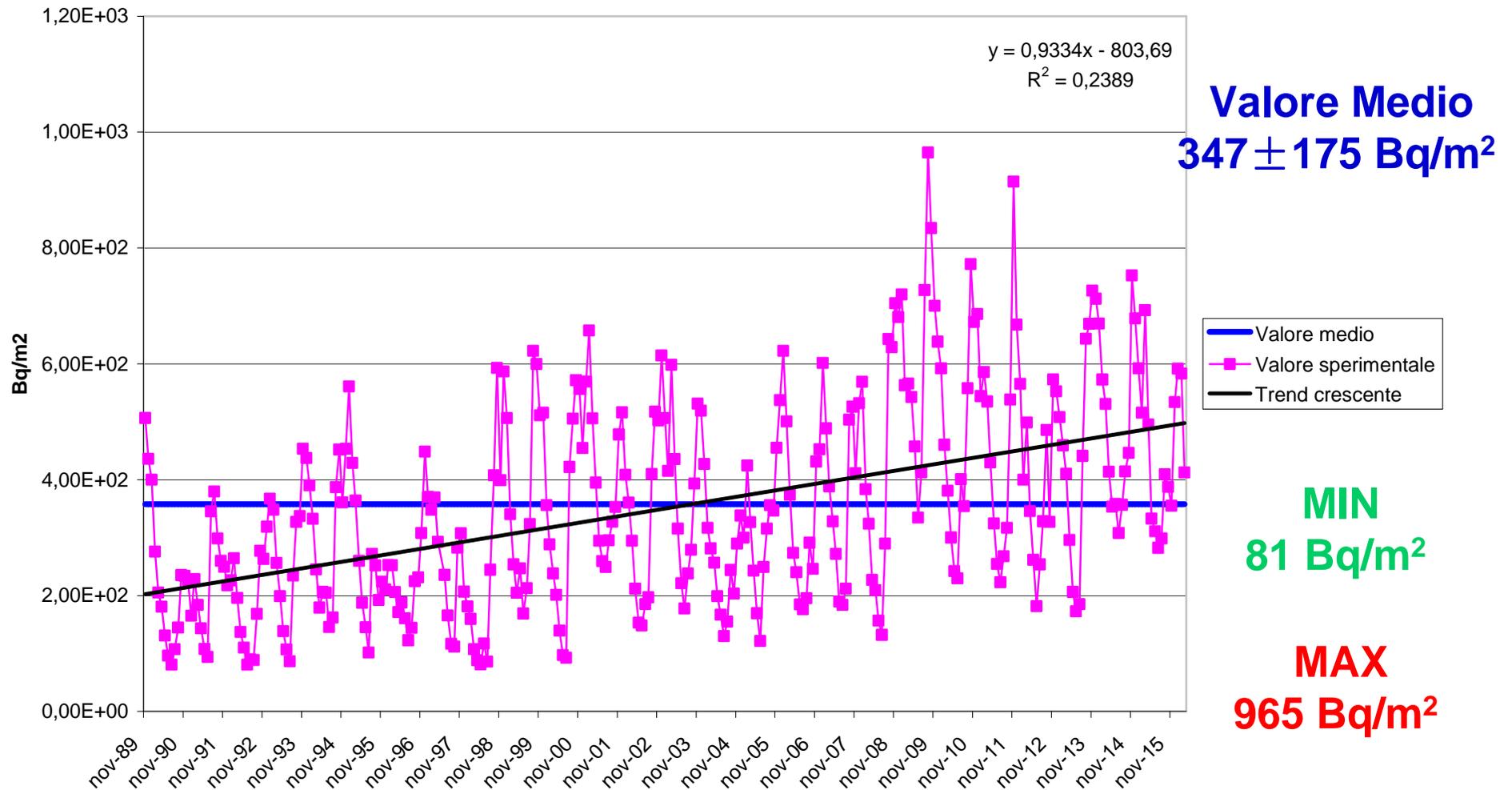
-24 Bq/m² (altezza colonna 4000 m)

-164 Bq/m² (altezza colonna 8000 m)

<< Valori sperimentali osservati !

Un'ultima osservazione...

Be-7 Inventario 1989 - 2016



- Una tendenza all'aumento appare evidente, meno facile pare trovare plausibili spiegazioni:
 - a) Aumento degli scambi stratosfera troposfera**
 - b) Aumento della produzione di ^7Be indotta da variazioni dell'attività solare**
- Entrambe queste spiegazioni potrebbero essere legate ad effetti del riscaldamento globale

Conclusioni

- Il ^7Be può dare importanti informazioni sulla circolazione atmosferica e su molti importanti fenomeni ambientali
- In particolare sono in programma approfondimenti su:
 - a) Studio andamento attività solare – ^7Be
 - b) Utilizzo dei dati deposizione – pioggia per la calibrazione dei coefficienti dei modelli di deposizione in uso