



# L'IMPIEGO DELLA RETE DI ALLERTA GAMMA PER LA GESTIONE DI EMERGENZE NUCLEARI IN PIEMONTE: PROTOLLI DI INTERVENTO E DI VALUTAZIONE

*M. Magnoni, M.C. Losana, S. Bertino, B.  
Bellotto, R. Tripodi, M. Ghione*

*ARPA Piemonte – Centro Regionale  
Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti*

*Via Jervis, 30 – 10015 Ivrea (TO)*

*XXXIV Congresso AIRP Frascati, 28 – 30 ottobre 2009*

- Fin dal controllo Allarme Geiger
- Fornisce rateo c
- I sensori meteo in tal n gamma



# Introduzione

- L'esperienza accumulata in questi due anni di funzionamento ha permesso di studiare alcuni fenomeni utili per la messa a punto procedure di emergenza.
- In particolare si è osservato, in occasione di precipitazioni, un brusco innalzamento dei livelli di dose gamma, che ritornano poi al loro normale valore nel giro di poche ore
- Altri fenomeni degni di nota sono, per alcune stazioni montane, una variazione stagionale dei livelli gamma, legata alla copertura nevosa.
- E' evidente che tali eventi influenzano la capacità della rete stessa di identificare eventuali situazioni anomale, legate ad eventi incidentali

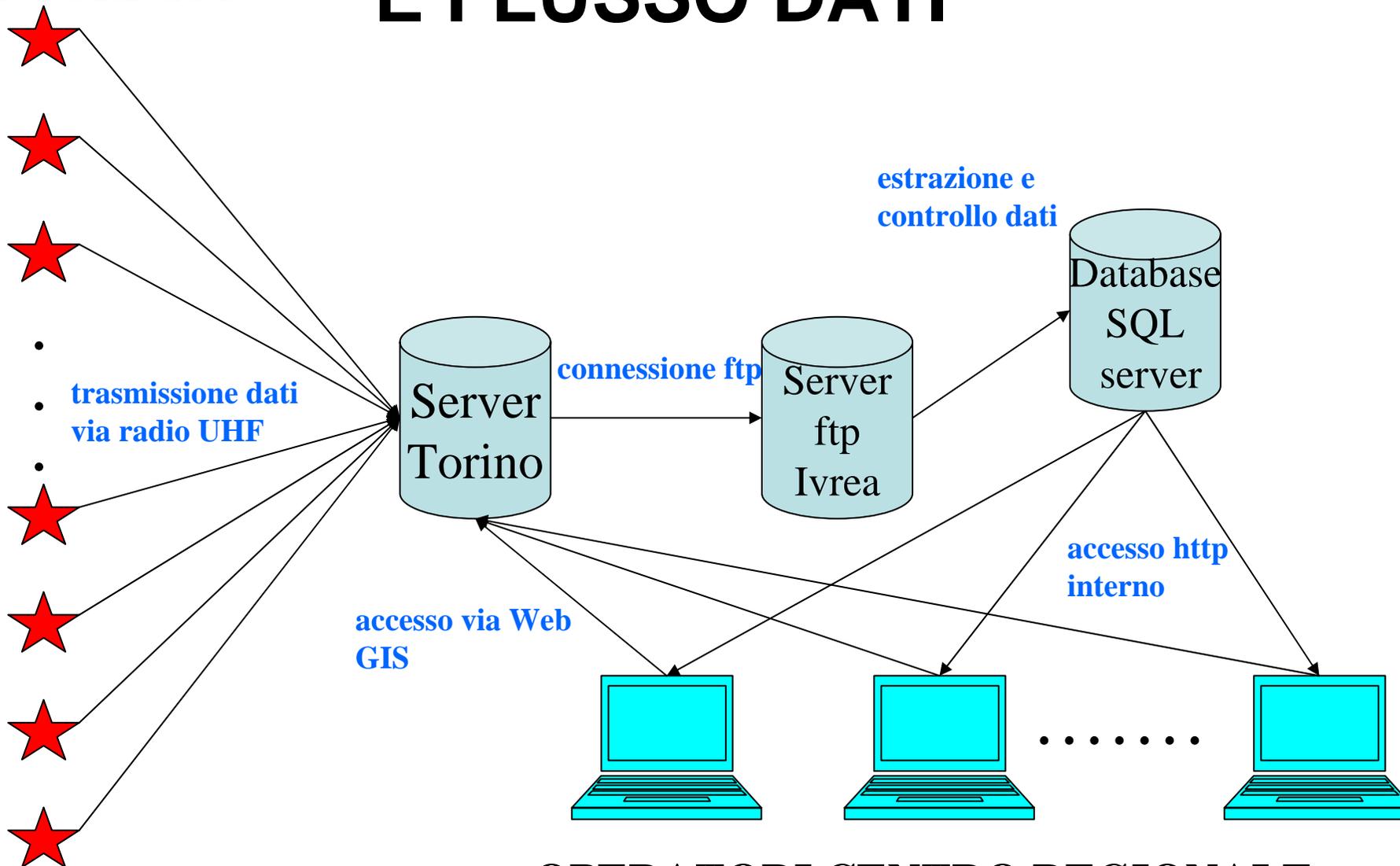
# Caratteristiche e struttura della rete

- La rete di allerta è basata sull'impiego di sensori Geiger-Mueller GENITRON, forniti in Italia da Radtech: sono Geiger sensibili anche a modeste fluttuazioni dei livelli di radiazione (5 nSv/h) e che operano su range di dose piuttosto ampi. Nella nostra rete sono installate due differenti tipologie di sensori, le cui essenziali caratteristiche tecniche sono:

|  | GT-BASIC                   | GT XL2-2/3                |
|--|----------------------------|---------------------------|
| <b>Numero impulsi a 100 nSv/h in 10 minuti</b> | <b>150</b>                 | <b>1100</b>               |
| <b>Range di misura (rateo di dose)</b>         | <b>20 nSv/h – 10 mSv/h</b> | <b>10 nSv/h – 10 Sv/h</b> |
| <b>Range di misura (energia)</b>               | <b>45 – 3000 keV</b>       | <b>45 - 2000 keV</b>      |
| <b>Range di temperatura standard</b>           | <b>da -20 °C a +50°C</b>   | <b>da -20 °C a +50°C</b>  |
| <b>Range di temperatura esteso</b>             | <b>da -40 °C a +60°C</b>   | <b>da -40 °C a +60°C</b>  |

# ARCHITETTURA DELLA RETE E FLUSSO DATI

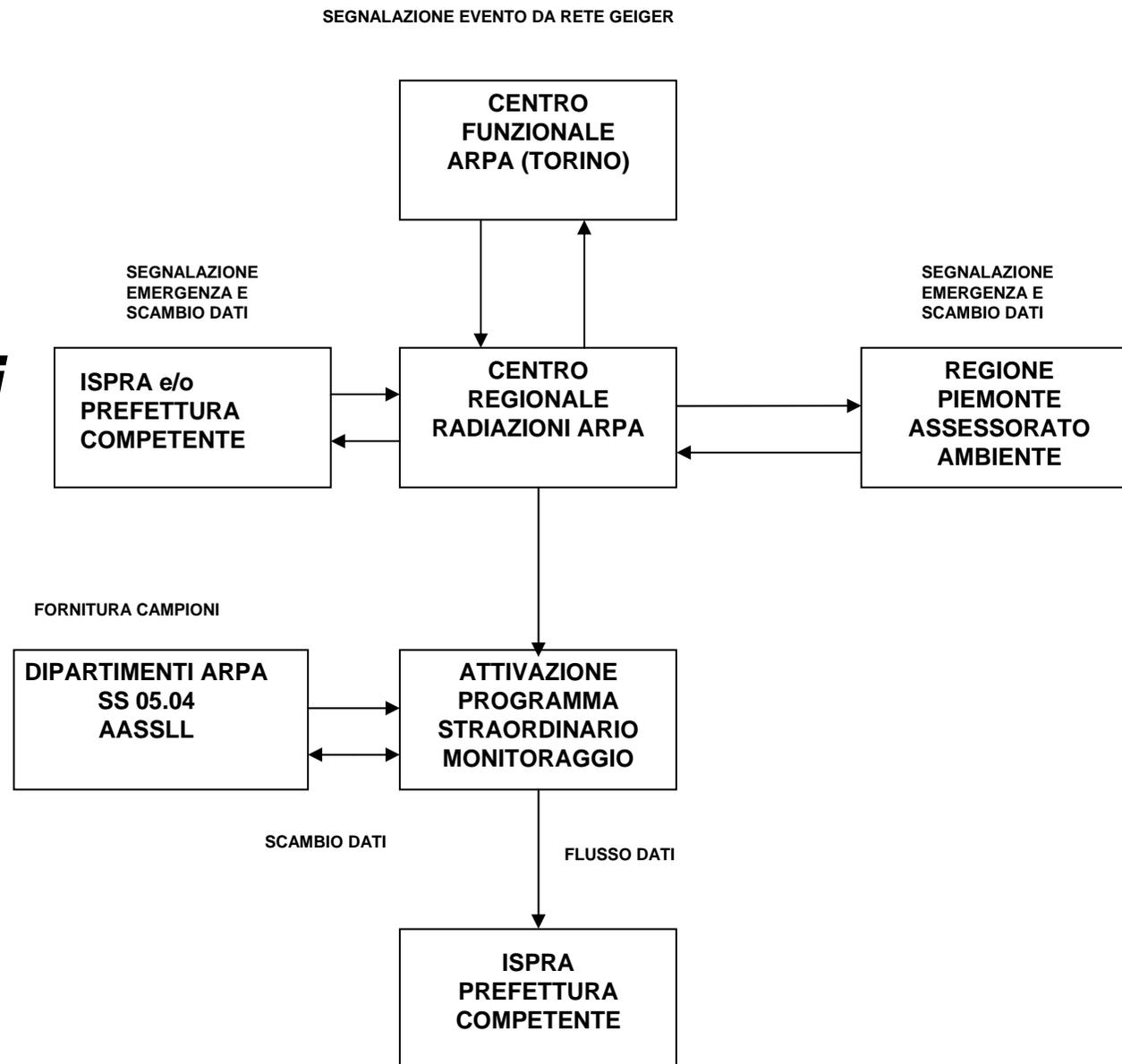
**SENSORI GM**



**OPERATORI CENTRO REGIONALE**

- Vediamo ora in dettaglio tre differenti aspetti:
  1. il primo riguarda la definizione di protocolli di allerta e di intervento che devono essere seguiti nel caso in cui una o più centraline segnalassero valori anomali;
  2. La variazione della sensibilità della rete, intesa come la sua capacità di intercettare fenomeni “artificiali”, in funzione delle diverse condizioni meteo e stagionali;
  3. l’impiego dei dati registrati per la validazione di modelli di deposizione

# Protocolli di allerta e intervento



- A parte gli aspetti organizzativi, il problema principale in questo quadro è la definizione dei parametri dosimetrici di riferimento, il cui superamento determina l'avvio di determinate azioni di verifica e, in ultima analisi, dell'attuazione degli interventi di emergenza descritti nello schema
- A livello operativo si è dunque deciso di si è dunque deciso di definire 3 diversi livelli di soglia

- a) Una *soglia di attenzione* (definita in termini di rateo di dose efficace, nSv/h)
- b) Una soglia di *calcolo dosimetrico*, sempre espressa in nSv/h
- c) Una *soglia di allarme* espressa in termini di dose efficace
- La soglia a) di attenzione  $S_{att}$  è definita nel seguente modo:

$$S_{att} = \text{fondo medio} + \alpha \cdot MDR$$

dove  $MDR$  è la Minima Dose Rivelabile, definita da

$$MDR = 4.65 \cdot \sigma_{fondomedia}$$

- La soglia b) di *calcolo dosimetrico* è stata invece impostata tenendo presente aspetti dosimetrici “oggettivi”, non legati alle particolarità del sito
- Essa è definita come il rateo di dose che, in aggiunta al livello medio del fondo ambientale, determinerebbe una dose annua di 1 mSv

$$S_{cal} = \text{fondo medio} + 114 nSv / h$$

- La *ratio* di questo approccio è quella di definire una soglia per il conteggio di una “dose in eccesso” attribuibile a origine artificiale e tale da far raggiungere una dose efficace pari al limite di legge per la popolazione (1 mSv/anno)

- Tuttavia, anche il superamento della soglia di *calcolo dosimetrico* non comporta l'attivazione di procedure straordinarie di intervento. Tali procedure scattano infatti solo se il valore del rateo di dose misurato  $H(t) > S_{cal}$  permane per un intervallo di tempo  $\Delta t$  sufficiente affinché l'incremento di dose efficace integrata superi il livello di dose di non rilevanza radiologica stabilito dalla normativa vigente, cioè i  $10 \mu\text{Sv}$
- Si ha dunque la soglia di allarme c), definita in termini di dose efficace in eccesso:

$$E_{eccesso} = \int_{\Delta\tau} (H(t) - S_{cal}) dt > 10 \mu\text{Sv}$$



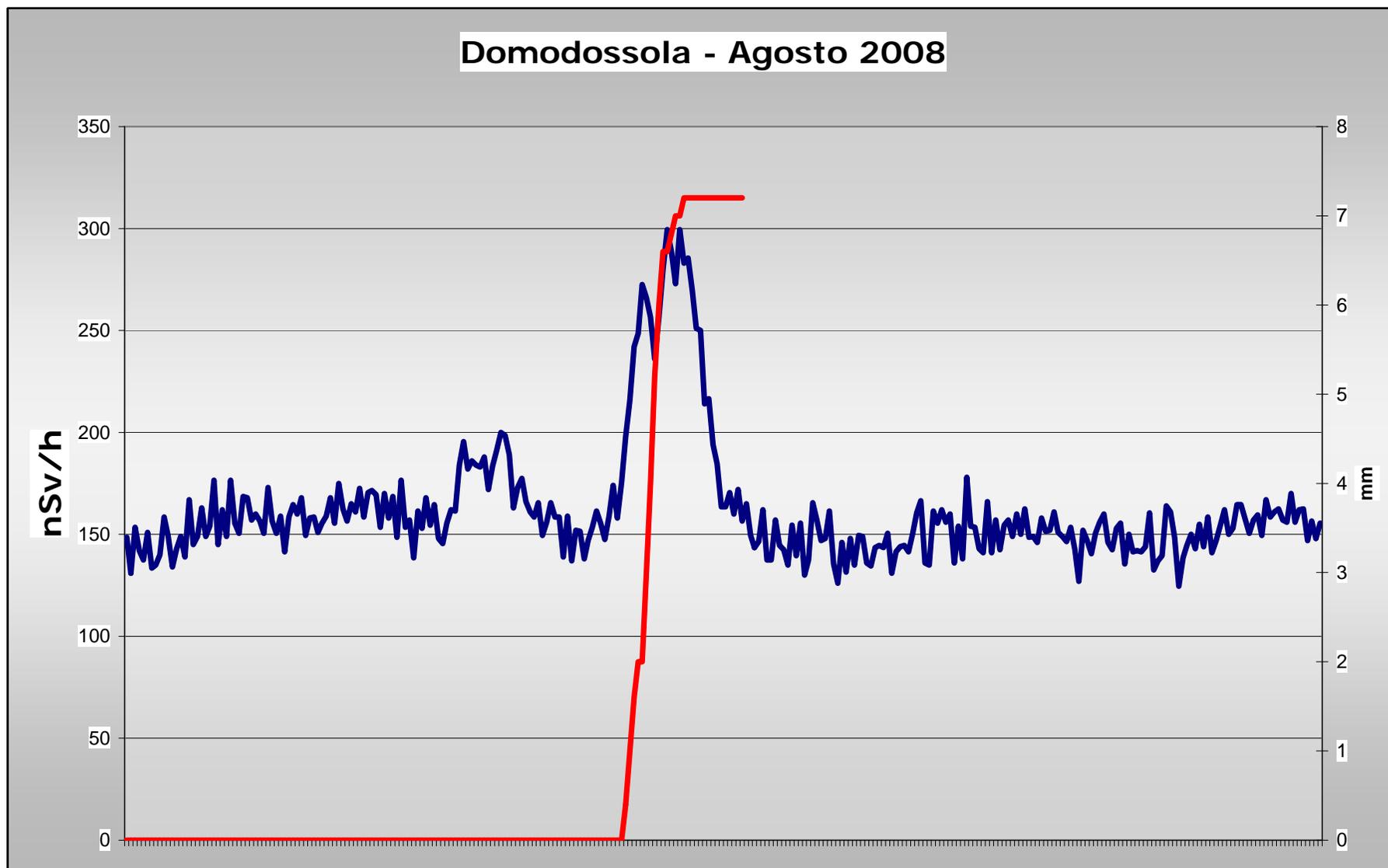
## ***Variazione della sensibilità della rete nei diversi contesti ambientali***

- i) l'aumento del rateo di dose in corrispondenza di precipitazioni, che si sviluppa su una scala temporale di qualche ora
  
- ii) la variazione del rateo di dose in funzione della copertura nevosa, che si manifesta invece su base stagionale

## *i) aumento del rateo di dose e precipitazioni*

- L'aumento del rateo di dose  $\gamma$  in corrispondenza di eventi piovosi è un fenomeno ben noto ed è una conseguenza del dilavamento dell'atmosfera: il particolato presente su tutta la colonna d'aria spazzata dalla precipitazione, a cui sono attaccati i radionuclidi cosmogenici e quelli prodotti dal decadimento del radon, viene rimosso dall'atmosfera e raccolto al suolo, andando ad aumentare i livelli di dose  $\gamma$  registrati dai sensori
- Si nota una salita piuttosto rapida dei valori (tipicamente, nel giro di qualche ora), fino a un max che può essere anche di un fattore 2 o anche di più); successivamente si nota una discesa ai normali valori del fondo, di solito entro 3 ore

### Domodossola - Agosto 2008



- Analizzando il fenomeno si possono quindi individuare due distinte componenti che caratterizzano la fluttuazione:
  1. il tempo di decadimento, cioè il tempo impiegato affinché la fluttuazione osservata rientri nei normali livelli di dose
  2. il tempo di salita, cioè il tempo impiegato dalla fluttuazione per raggiungere il suo massimo
- Per quanto riguarda il tempo di decadimento, si è valutato l'incremento di dose osservato,

$$\Delta H(t) = H(t) - H_{MEDI0}$$

dove  $H(t)$  è il valore al tempo  $t$  e  $H_{MEDI0}$  è il valore medio della dose per quella stazione, stimato per un congruo periodo prima e dopo l'evento

- Supponendo per un tale decadimento un andamento di tipo esponenziale:

$$\Delta H = \Delta H_{MAX} \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

dove  $\lambda$  è una costante di decadimento complessiva che descrive in modo sintetico il decadimento della miscela di radionuclidi raccolta al suolo dalla precipitazione

- Si possono analizzare gli eventi semplicemente effettuando una regressione dei dati a partire dal valore massimo del picco, calcolando cioè le costanti  $\lambda$  sperimentali e, tramite esse, un “tempo di dimezzamento della fluttuazione”  $t_{1/2FLU} = \ln(2) / \lambda$

| STAZIONE                | DATA          | $t_{1/2FLU}$ (minuti) |
|-------------------------|---------------|-----------------------|
| Bruggi (VB)             | 28-29 09 2007 | 43.78                 |
| Colle Barrant (TO)      | 26 09 2008    | 41.15                 |
| Crea (AL)               | 15 09 2008    | 44.20                 |
| Crea (AL)               | 2-3 11 2008   | 59.47                 |
| Crea (AL)               | 12-13 11 2008 | 32.49                 |
| Cuneo Cascina Vecchia   | 12-13 07 2006 | 55.24                 |
| Cuneo Cascina Vecchia   | 7-8 09 2006   | 42.17                 |
| Cuneo Cascina Vecchia   | 30-31 08 2007 | 65.41                 |
| Domodossola (VB)        | 1-2 8 2008    | 31.85                 |
| Domodossola (VB)        | 15 8 2008     | 57.75                 |
| Isola Sant'antonio (AL) | 30-31 08 2007 | 31.4                  |
| Isola Sant'antonio (AL) | 30-31 08 2007 | 24.04                 |
| Passo del Moro (VB)     | 11-12 08 2008 | 65.87                 |
| Piani di Careggia (AL)  | 23-24 10 2007 | 51.82                 |
| Piani di Careggia (AL)  | 26-27 07 2008 | 40.94                 |
| Tricerro (VC)           | 30-31 08 2007 | 71.98                 |
| Tricerro (VC)           | 4-5 11 2008   | 32.42                 |

**MEDIA**

**46.6±14.2**

- Dal momento che si può dimostrare che, considerando solo i figli a vita breve del radon ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ), in equilibrio secolare tra loro, si ricaverebbe un  $t_{1/2\text{efficace}}$  pari a circa 30 minuti
- Sembrerebbe che la radioattività dilavata dagli eventi atmosferici contenga anche radionuclidi con tempo di dimezzamento superiore ai figli del radon
- E' tuttavia possibile che tale discrepanza possa essere spiegata anche da condizioni di disequilibrio tra i figli del radon

- Per quanto riguarda invece il “tempo di la salita” caratteristico della fluttuazione, bisogna tenere conto dell’intensità e della durata della precipitazione
- Poiché l’incremento di dose è attribuibile al dilavamento dei radionuclidi presenti in atmosfera, si assume che l’incremento di rateo di dose  $\Delta H(t)$  sia proporzionale alla deposizione al suolo dei radionuclidi

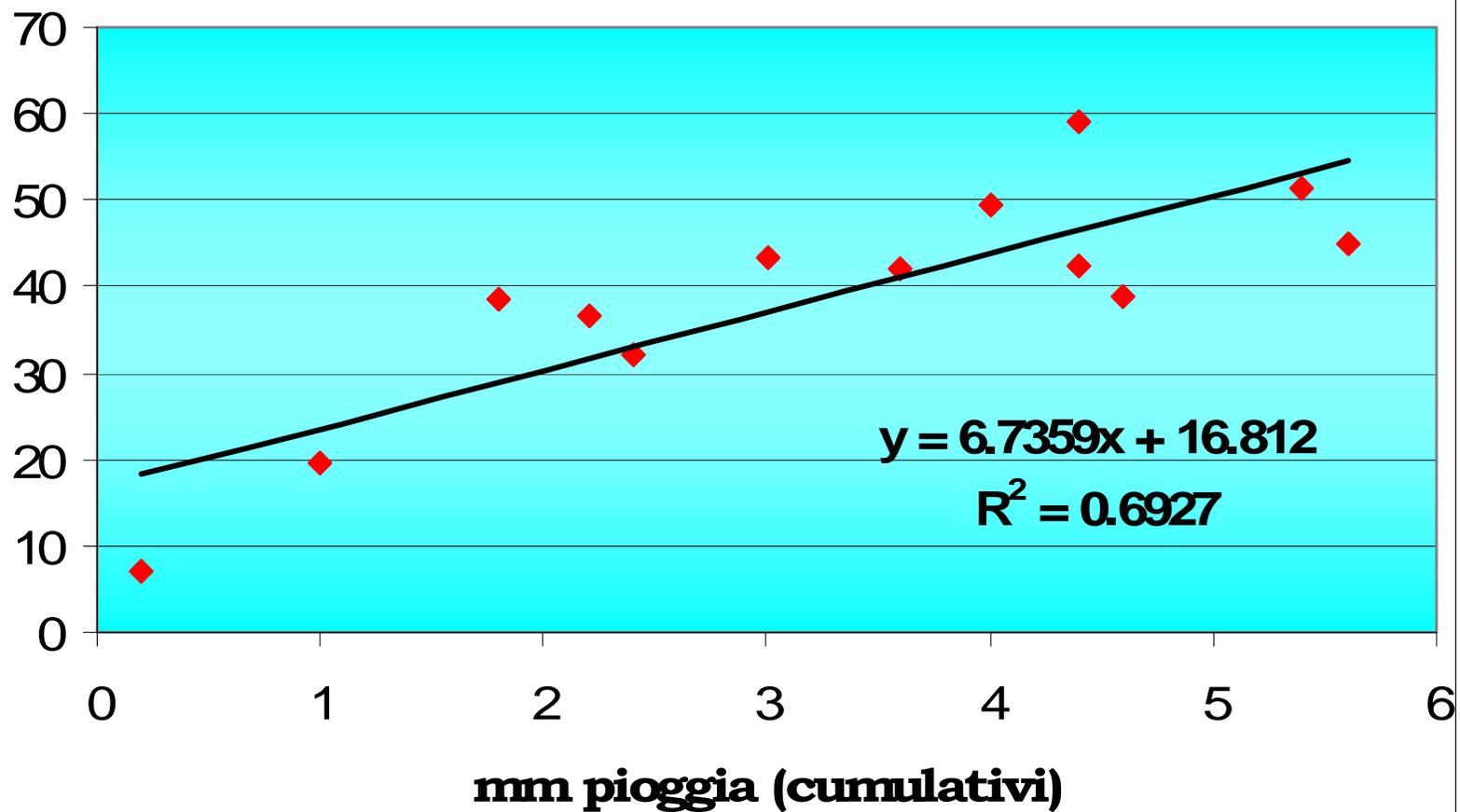
$$\Delta H(t) = \beta \cdot C \cdot s \cdot (1 - e^{-W \cdot J \cdot t})$$

dove  $C$  è la concentrazione dei radionuclidi in atmosfera,  $W$  è il coefficiente di dilavamento,  $J$  è l'intensità della precipitazione,  $s$  è lo spessore medio della colonna d'aria spazzata dalla pioggia, mentre  $\beta$  è un opportuno fattore di taratura. Se  $W$  è sufficientemente piccolo, si può approssimare la precedente espressione:

$$\Delta H(t) = \beta \cdot C \cdot s \cdot W \cdot J \cdot t$$

che prevede una relazione lineare tra l'incremento di dose e la quantità di pioggia complessiva (precipitazione cumulativa), cioè  $J \cdot t$

### Delta rateo di dose (nSv/h)

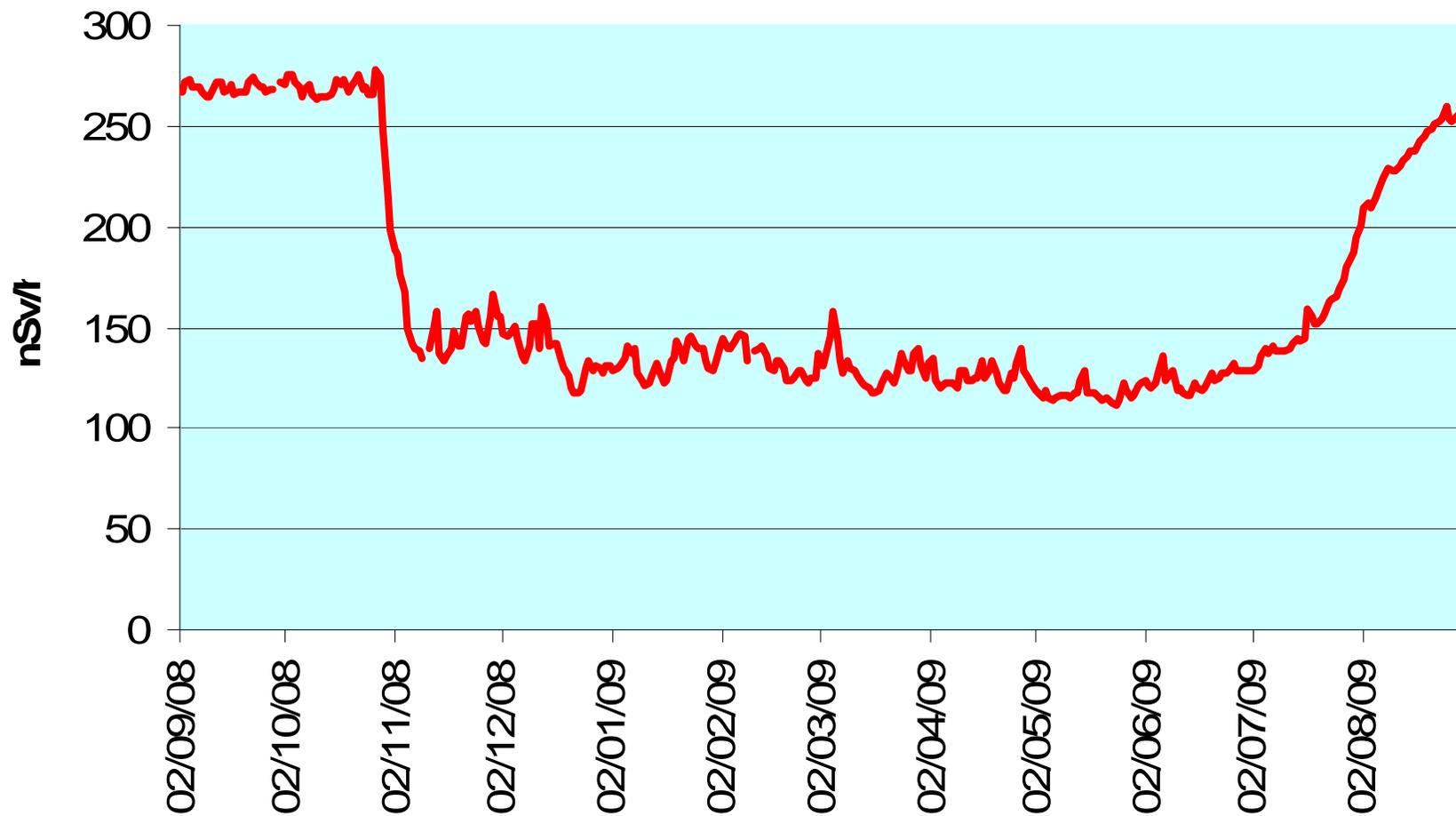


## *ii) variazioni del rateo di dose su base stagionale*

- In alcuni casi si osserva una notevole variazione del rateo di dose  $\gamma$  su base stagionale
- Tale effetto è assai evidente per le stazioni ubicate in alta montagna, dove la copertura nevosa invernale influenza fortemente il rateo di dose registrato dai sensori
- Si osserva infatti per queste stazioni un notevole diminuzione del rateo di dose medio durante la stagione invernale
- Questo effetto è molto evidente nella stazione di alta montagna di Monte Moro (VB), situata a 2820 m s.l.m., sulla sinistra orografica della Valle Anzasca, Macugnaga (VB)



### Passo del Moro (VB)



- E' evidente che una così marcata variazione dei livelli medi di fondo pone dei problemi alla definizione univoca delle soglie, così come sono state precedentemente definite
- In siti come questi sarebbe necessario tenere presente che la sensibilità del sistema varia stagionalmente e quindi le relative soglie dovrebbero essere aggiornate in funzione della copertura nevosa
- Poiché rateo di dose  $\gamma$  è composto da due termini, uno dovuto alla radiazione di provenienza terrestre e l'altro alla radiazione cosmica, la presenza della copertura nevosa limita o azzerava solo la prima componente

- La componente cosmica (in  $\mu\text{Sv/h}$ ) può essere stimata dalla seguente formula empirica (valida per una latitudine di  $45^\circ$ ):

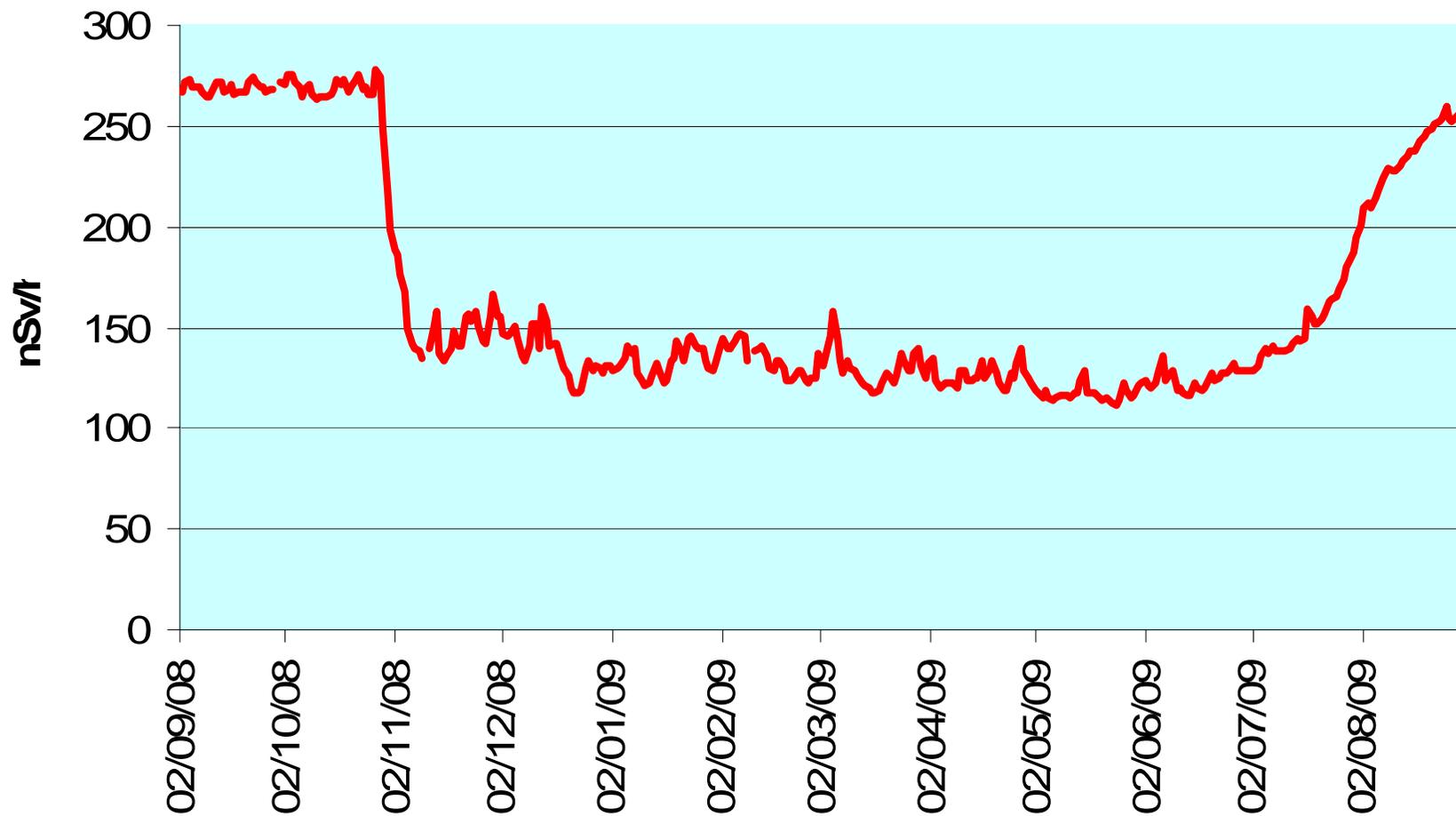
$$H_{\text{COSMICI}}(h) = 0.0351 + 10^{-5} \cdot h + 2 \cdot 10^{-9} \cdot h^2 + 3 \cdot 10^{-12} \cdot h^3 + 5 \cdot 10^{-17} \cdot h^4$$

da cui si ottiene un valore di 143 nSv/h

- La componente terrestre si può calcolare invece, essendo noto il contenuto di radionuclidi nelle rocce e seguendo il noto lavoro di Beck e soci, con la seguente formula:

$$H_{\text{terrestre}} = \sum_{j=1}^N \int_0^{\pi/2} \frac{S_{0j} \cdot y_j \cdot (\mu_{en} / \rho)_{aj} \cdot E_{\gamma j} \cdot K_j}{2 \cdot (\mu / \rho)_{sj}} \cdot e^{-(\mu / \rho)_{aj} \cdot \frac{h \cdot \rho_a}{\cos \theta}} \cdot \sin \theta d\theta$$

### Passo del Moro (VB)



## ***Validazione modelli di deposizione***

- Abbiamo visto che la deposizione al suolo dei radionuclidi presenti in atmosfera a seguito di eventi piovosi può essere modellizzata con una semplice espressione lineare
- In essa, compaiono, in particolare, i parametri  $s$  (spessore della nube “radioattiva” spazzata dalla pioggia) e  $W$  (coefficiente di dilavamento) i cui valori variano e sono influenzati dalle diverse condizioni ambientali e meteo
- Analizzando opportunamente i dati delle fluttuazioni del rateo di dose in funzione delle precipitazioni si possono quindi ricavare sperimentalmente dei parametri *ad hoc*, caratteristici delle diverse situazioni ambientali e meteo che si possono verificare

***GRAZIE per l'attenzione***