

Presentazione Manuale CEVaD
ISPRA, Via Curtatone, 5
ROMA, 23 marzo 2010

Il Capitolo 8 e l'allegato 2

Mauro Magnoni

*ARPA Piemonte – Dipartimento Tematico Radiazioni
Via Jervis, 30, 10015 Ivrea (TO)*



Ringraziamenti

- Nella stesura di questo lavoro mi sono largamente avvalso di tutto quanto è stato elaborato nell'ambito dei vari gruppi di lavoro che, a vario titolo, nel corso degli ultimi 10-15 anni, hanno operato nell'ambito delle reti nazionali
- Molti di voi riconosceranno in molte di queste pagine parte del proprio lavoro svolto in passato e che io ho ampiamente saccheggianto
- In particolare, il punto di partenza da cui ho preso spunto è l'ultima raccolta ANPA (1995) sui metodi di misura e poi il documento CTN AGF-T-GTE-00-02
- Ringrazio tutti i colleghi che hanno contribuito (anche quelli che ho scordato di citare nei ringraziamenti riportati nel testo) e assieme a loro non posso non ricordare Silvana Piermattei

Introduzione

- Rispetto alla presentazione di 3 anni fa, il contenuto della parte tecnica non è cambiato in modo sostanziale
- C'è stato però, come potete vedere, una riorganizzazione editoriale del materiale piuttosto ampia che, speriamo, serva a rendere più leggibile e quindi più utile tutto il Manuale
- La parte che ho curato, che riguarda come sapete gli aspetti più operativi dell'attività dei laboratori di misura è stata riorganizzata in due sezioni:
 - 1) Il Capitolo 8
 - 2) L'Allegato 2

Capitolo 8

Dati radiometrici, indicazioni operative e modalità di misura

- In esso sono descritte sinteticamente le azioni che un laboratorio radiometrico “operativo” deve intraprendere a seguito di un’emergenza nucleare estesa
- Non vengono discussi criticamente i vari scenari possibili (ci sono già altri documenti ufficiali dedicati a ciò)

- Tuttavia è evidente che l'impostazione del documento (e, in realtà, di tutta la pubblicazione) risente fortemente dell'esperienza di Chernobyl
- Pertanto, anche se ciò non viene detto esplicitamente, è questo il quadro di riferimento implicito
- Se, da un lato, questo può apparire (ed anche essere) un limite oggettivo, dall'altro non si può non riconoscere che, dal punto di vista strettamente tecnico, un evento come quello di Chernobyl costituisce senza dubbio, per un laboratorio di radioattività ambientale, la sfida che per la vastità e complessità dei problemi, richiede il massimo impegno

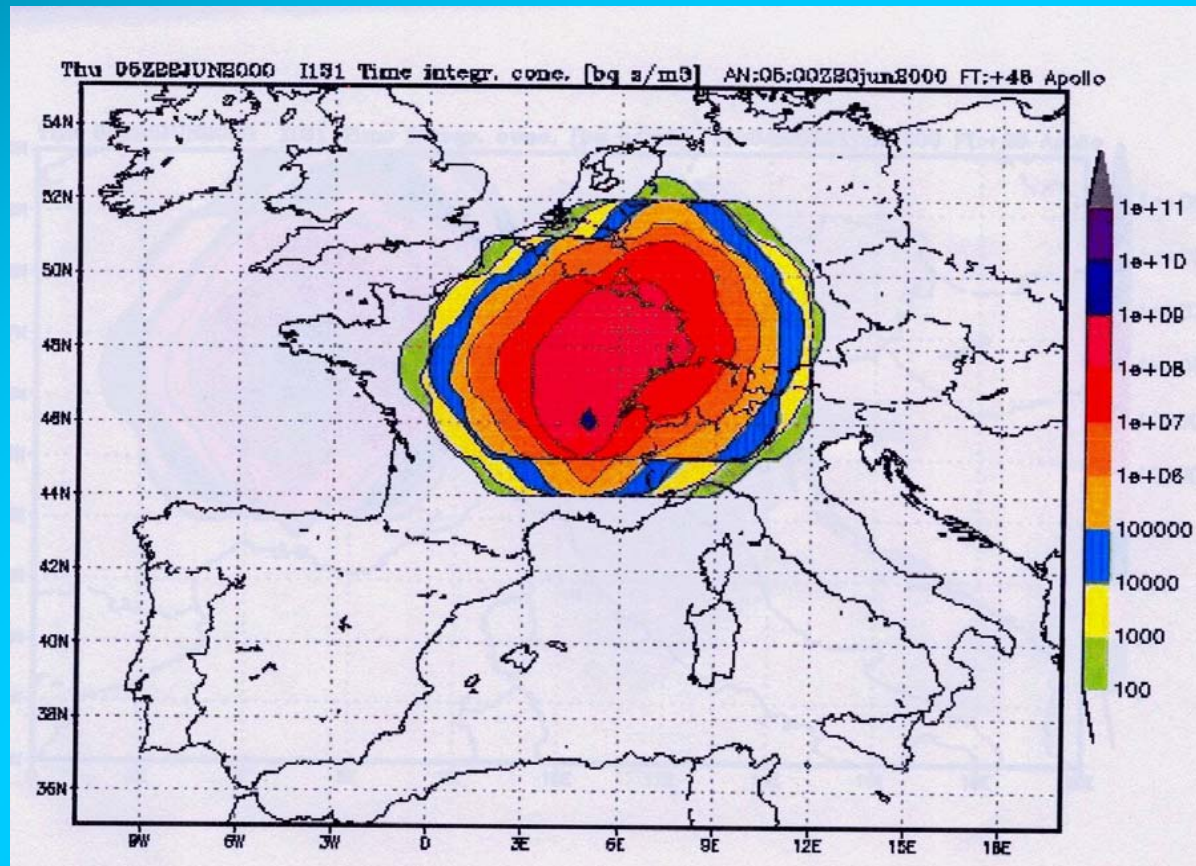
- Lo scenario di riferimento, anche se non chiaramente esplicitato nella nota introduttiva, è dunque quello di un incidente grave a un impianto elettronucleare estero con produzione di nube radioattiva che va ad interessare in modo esteso il territorio nazionale

Il rischio nucleare transfrontaliero

(in blu le centrali a distanza < 200 km dal confine italiano)



Simulazione (software APOLLO di APAT) di un grave incidente a una centrale francese



- Per l'individuazione dei dati radiometrici e delle modalità operative, si considerano quindi due fasi di sviluppo della situazione di emergenza:
 - a) I Fase, relativa al periodo temporale immediatamente successivo all'incidente, caratterizzata dal momento diffusivo della nube e tipicamente della durata di qualche giorno
 - b) II Fase, relativa ad un periodo temporale che inizia al termine della I Fase e che può durare alcune settimane, durante la quale si è esaurita la fase più acuta dell'emergenza, ma rimane la necessità di approfondire il quadro radiometrico

Fase 1 – Misure e matrici

- **INTENSITÀ DI DOSE GAMMA DA IRRADIAZIONE ESTERNA**
- **PARTICOLATO ATMOSFERICO**
- **DEPOSIZIONE UMIDA E SECCA AL SUOLO:**

MISURA DIRETTA DEL PARTICOLATO
DEPOSITATO (FALLOUT)

SPETTROMETRIA GAMMA *IN SITU*

MISURE DI BIOACCUMULATORI
(BRIOFITE)

MISURE DI CAMPIONI SUPERFICIALI DI
SUOLO

- **MATRICI ALIMENTARI:**

Latte vaccino (di centrale e di fattoria)

Vegetali eduli a foglia larga

Foraggio fresco

Frutta di stagione

Acqua potabile (di acquedotto, campionata opportunamente, in relazione alla vulnerabilità rispetto ai meccanismi di deposizione)

Fase 2 – Matrici

- **MATRICI ALIMENTARI:**

latte ovino e caprino

latte in polvere (alimentazione umana)

derivati del latte (formaggi freschi)

carne: bovina (muscolo), suina (muscolo), ovo-caprina (produzione locale), pollame, conigli

pesci

altri vegetali/ortaggi di stagione

cereali

olio

vino

uova

- **ACQUE SUPERFICIALI INTERNE E ACQUE MARINE**
- **DETRITO MINERALE ORGANICO SEDIMENTABILE (DMOS)**
- **SEDIMENTI**
- **BIOACCUMULATORI E INDICATORI DI PRESENZA DI CONTAMINAZIONE, NON RILEVANTI PER LA DIETA:**
 - miele
 - funghi
 - cacciagione
 - molluschi e crostacei
 - erbe aromatiche, ecc..

Tipologia misure della matrici campionate

- Su tutte le matrici campionate dovrà essere effettuata una spettrometria γ con rivelatori HPGe
- Su alcune (soprattutto matrici ambientali), potranno essere richieste misure di Plutonio, Sr-90, α e β totale
- Problema aperto: organizzazione del flusso dei campioni ai laboratori in grado di eseguire misure radiochimiche

Intensità di dose γ da irradiazione esterna

- Si tratta di una tipologia di misura che, di solito, è integrata in una rete di stazioni fisse
- A questo proposito, si incoraggia l'integrazione delle reti automatiche regionali in una rete nazionale mediante l'istituzione di procedure automatiche di trasmissione dati ad ISPRA
- Nell'allegato vengono date indicazioni piuttosto generiche sulle *regole di buona tecnica* che è bene seguire per l'installazione di sensori γ
- A tali regole dovrebbero uniformarsi (se possibile) sia i punti delle stazioni fisse che gli eventuali punti di misura aggiuntivi, istituiti in caso di emergenza

- *Regole di buona tecnica:*
 1. *lo strumento deve essere posizionato in campo aperto, lontano da tettoie, edifici, muri, etc.;*
 2. *la superficie deve essere pianeggiante;*
 3. *lo strumento deve essere ad un'altezza di 1 metro dalla superficie del terreno;*
 4. *occorre conoscere l'altitudine sul livello del mare del punto in cui si sta effettuando la misura;*
 5. *occorre registrare e/o annotare le condizioni meteorologiche, il tipo di terreno.*

- *Caratteristiche tecniche*
 1. *In caso di emergenza il tempo di integrazione deve essere sufficientemente breve, per poter seguire l'evoluzione temporale dell'evento (è sufficiente 1/2 ora)*
 2. *Il risultato delle misure deve essere espresso in $\mu\text{Sv/h}$*
 3. *La sensibilità di misura richiesta per sensori impiegati in questi contesti deve essere tale da consentire di apprezzare fluttuazioni dell'ordine dei 10-20 nSv/h*

Particolato atmosferico

- E' la matrice più importante in caso di emergenza
- L'analisi completa di esso permette di valutare complessivamente l'entità del fenomeno in atto e di stimarne le conseguenze a medio-lungo termine (è un fondamentale dato di input per i modelli)
- Consente la scoperta e l'identificazione di eventi che altrimenti non potrebbero essere rivelati con le reti automatiche normalmente in uso

- Esempio: contaminazione uniforme dell'atmosfera con 1 Bq/m^3 di ^{137}Cs

Infatti, dal calcolo del rateo di dose in aria al livello del suolo:

$$\dot{D} \approx 0.87 \cdot \frac{\Gamma}{\rho_{aria}} \cdot \int_V \frac{c \cdot e^{-\frac{\mu}{\rho} \cdot d}}{d^2} dV$$

c Bq/m^3

Γ del ^{137}Cs

$\frac{\mu}{\rho}$ assorbimento massico

V volume

ρ_{aria} densità aria

d distanza

si ottiene un rateo di dose γ insignificante: $\sim 0,065$ nGy/h (1,6 nSv nelle 24 ore)

ma, la l'evento che può aver determinato questa situazione è tutt'altro che irrilevante !!

Particolato atmosferico

- *Caratteristiche dei punti di campionamento:*
 1. *la stazione di prelievo deve essere situata ad una altezza dal suolo di almeno due metri;*
 2. *non deve essere ubicata a ridosso di edifici e sono da preferire spazi liberi, aperti (ad esempio tetti a terrazza, giardini, etc.);*
 3. *vanno evitate, per quanto possibile, aree di grande traffico e di elevata polverosità;*
 4. *il sistema di aspirazione va protetto dagli agenti atmosferici.*

- *Caratteristiche linea di campionamento:*
 1. *un porta filtro*
 2. *un filtro*
 3. *una pompa aspirante con regolatore costante di portata*
 4. *un contatore volumetrico*

Il filtro può essere in fibra di vetro, carta, acetato o nitrato di cellulosa, con un diametro di circa 50 mm (il diametro effettivo di aspirazione, quando il filtro è montato sul portafiltro risulta inferiore, di circa 45-47 mm). I filtri impiegati devono essere tali da trattenere con efficienza prossima al 100 % (tipicamente 99,9 %) le particelle in sospensione nell'aria con diametro dell'ordine di 0,5-0,8 μm

- *Pretrattamento e analisi (protocollo standard):*

Misura (spettrometria γ con HPGe) sul filtro tal quale: attesa di circa 1 ora (non strettamente necessaria, in caso di emergenza), per il decadimento del Pb-214 e Bi-214

Misura α e β totale: con contatori proporzionali a flusso di gas o plastici o GM a finestra sottile; analisi da effettuarsi dopo 120 ore dal prelievo

- *Sensibilità (MAR) richieste:*
 1. ^{137}Cs : $0,1 \text{ Bq/m}^3$ (spettrometria γ)
 2. α totale: $0,05 \text{ Bq/m}^3$
 3. β totale : $0,5 \text{ Bq/m}^3$

Alcuni commenti generali sul criterio con cui sono state scelte le MAR richieste (valgono per tutte le matrici)

- Le MAR non sono dei limiti derivati con un preciso significato dosimetrico, come ad esempio i livelli derivati presenti nelle tabelle 21, 31 e 32 del Manuale CEVaD
- Sono state quindi scelte sulla base di considerazioni (opinabili, ma non arbitrarie) che hanno tenuto conto di aspetti operativi (semplicità e velocità di esecuzione delle misure, disponibilità strumentazione) e radioprotezionistici, questi ultimi intesi in senso largamente conservativo (principio ALARA) e preventivo (è utile conoscere in anticipo anche piccole fluttuazioni del fondo, soprattutto se riguardano una matrice come il particolato atmosferico)

Quadro riassuntivo misure

| MATRICE | TIPO MISURA | FASE EMERGENZA | FREQUENZA CAMPIONAMENTO | MAR |
|--|---------------------------------|----------------|---|--|
| Particolato atmosferico | Spettrometria γ | 1 e 2 | almeno bigiornaliera (fase 1), poi giornaliera | 0,1 Bq/m ³ (Cs-137) |
| Particolato atmosferico | α e β totale | 1 e 2 | giornaliera (ritardata) | 0,05 Bq/m ³ (α tot) 0,5 Bq/m ³ (β tot) |
| Deposizione umida e secca (fallout) | Spettrometria γ e Sr-90 | 1 e 2 | Immediatamente dopo la segnalazione dell'emergenza; successivamente, seguire le indicazioni CEVaD | 0,5 Bq/m ² (Cs-137) 0,3 Bq/m ² (Sr-90) |
| Foraggio | Spettrometria γ | 1 e 2 | Immediatamente dopo la segnalazione dell'emergenza; successivamente, seguire le indicazioni CEVaD | 1 Bq/kg (Cs-137) |
| Latte, vegetali a foglia larga, frutta di stagione | Spettrometria γ | 1 e 2 | giornaliera (fase 1); indicazioni CEVaD (fase 2) | 1 Bq/kg (Cs-137) |
| Latte e vegetali a foglia larga | Sr-90 | 1 e 2 | seguire indicazioni CEVaD | 1 Bq/kg (Sr-90) |
| Altri alimenti | Spettrometria γ | 2 | settimanale per tutte le componenti della dieta (rappresentatività regionale) o secondo indicazioni CEVaD | 1 Bq/kg (Cs-137) |
| Acque superficiali interne | Spettrometria γ | 2 | settimanale | 1 mBq/l (Cs-137) |
| DMOS | Spettrometria γ Sr-90 | 2 | settimanale | 1 Bq/kg (Cs-137) 1 Bq/kg (Sr-90) |
| Sedimenti marini, lacustri, fluviali | Spettrometria γ Sr-90 | 2 | settimanale | 1 Bq/kg (Cs-137) 1 Bq/kg (Sr-90) |

Allegato 2

Appendici tecniche sui metodi di campionamento e misura

In questa sezione del Manuale, sono riportati alcuni dettagli tecnici relativi ai metodi di campionamento e misura già elencati nel Capitolo 8

Le indicazioni fornite vogliono essere delle linee guida a disposizione dei laboratori, non vogliono quindi sostituirsi alle specifiche procedure in uso presso i singoli laboratori

Si è dedicato uno spazio importante alla discussione delle misure nel particolato atmosferico, poiché la misura corretta di questa matrice è essenziale in una situazione di emergenza

Ampio spazio è stato anche dedicato alla spettrometria γ in campo, poiché tale tecnica, nonostante la sua relativamente scarsa diffusione, dovrebbe ormai far parte di essere

- Ipotizziamo uno scenario *alla Chernobyl*, cioè la contaminazione atmosferica con una nube radioattiva avente composizione analoga a quella che raggiunse il nostro Paese tra il 30 aprile e il 1 maggio 1986
- Si può dimostrare che con la spettrometria γ su particolato atmosferico, eseguita su campioni prelevati con sistemi di aspirazione dalle prestazioni modeste, si è comunque in grado di rivelare facilmente anche piccole anomalie radiometriche, che formisco dosi contenute

Una nube *tipo Chernobyl*

| Radionuclide | Abbondanza relativa ($^{137}\text{Cs}=1$) |
|---------------------------|---|
| ^{99}Mo | 0.83 |
| ^{95}Zr | 0.064 |
| ^{95}Nb | 0.064 |
| ^{103}Ru | 1.65 |
| ^{106}Ru | 0.41 |
| $^{110\text{m}}\text{Ag}$ | 0.011 |
| ^{125}Sb | 0.048 |
| ^{131}I | 7.9 |
| ^{132}Te | 7.8 |
| ^{132}I | 6.4 |
| ^{134}Cs | 0.52 |
| ^{137}Cs | 1 |
| ^{140}Ba | 0.77 |
| ^{140}La | 0.77 |

- Si possono allora calcolare le varie MAR per l'insieme di radioisotopi che abbiamo scelto come riferimento, nell'ipotesi di disporre di un rivelatore HPGe avente efficienza relativa 30% tipo p e di effettuare le misure in un tempo t_c (tempo di conteggio) ragionevole (qualche ora) e su un volume di aria V adeguato
- Il tempo necessario al prelievo del volume V , dipenderà ovviamente dal sistema di aspirazione che si ha a disposizione

La valutazione della *MAR*

$$MAR = \frac{4.66 \cdot \sigma_F}{\varepsilon \cdot r_\gamma \cdot V \cdot t_C}$$

ε efficienza fotoelettrica

V Volume campionato

r_γ resa γ dell'emissione

σ_F scarto tipo del fondo

t_C tempo di conteggio

4.66 fattore statistico

la *MAR* dipende essenzialmente

da 2 parametri

non controllabili dall'operatore:

r_γ resa γ dell'emissione

ε efficienza fotoelettrica

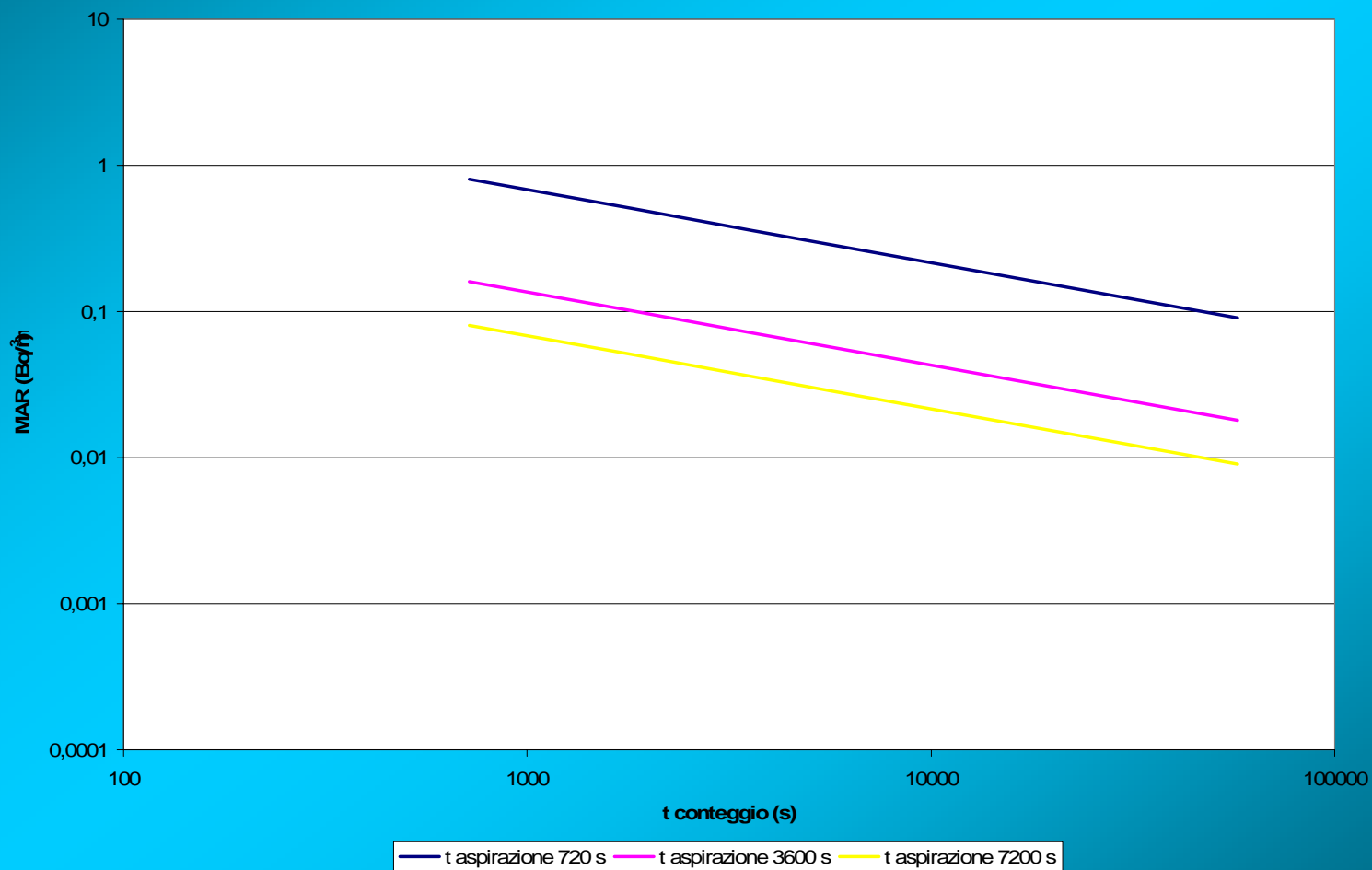
- Tenendo conto che l'espressione che fornisce la *MAR* può essere rielaborata in modo da esplicitare la dipendenza dai parametri operativi (tempo di aspirazione t_a , tempo di conteggio t_c e portata pompa p), si ottiene:

$$MAR = \frac{k}{p \cdot t_a \cdot \sqrt{t_c}}$$

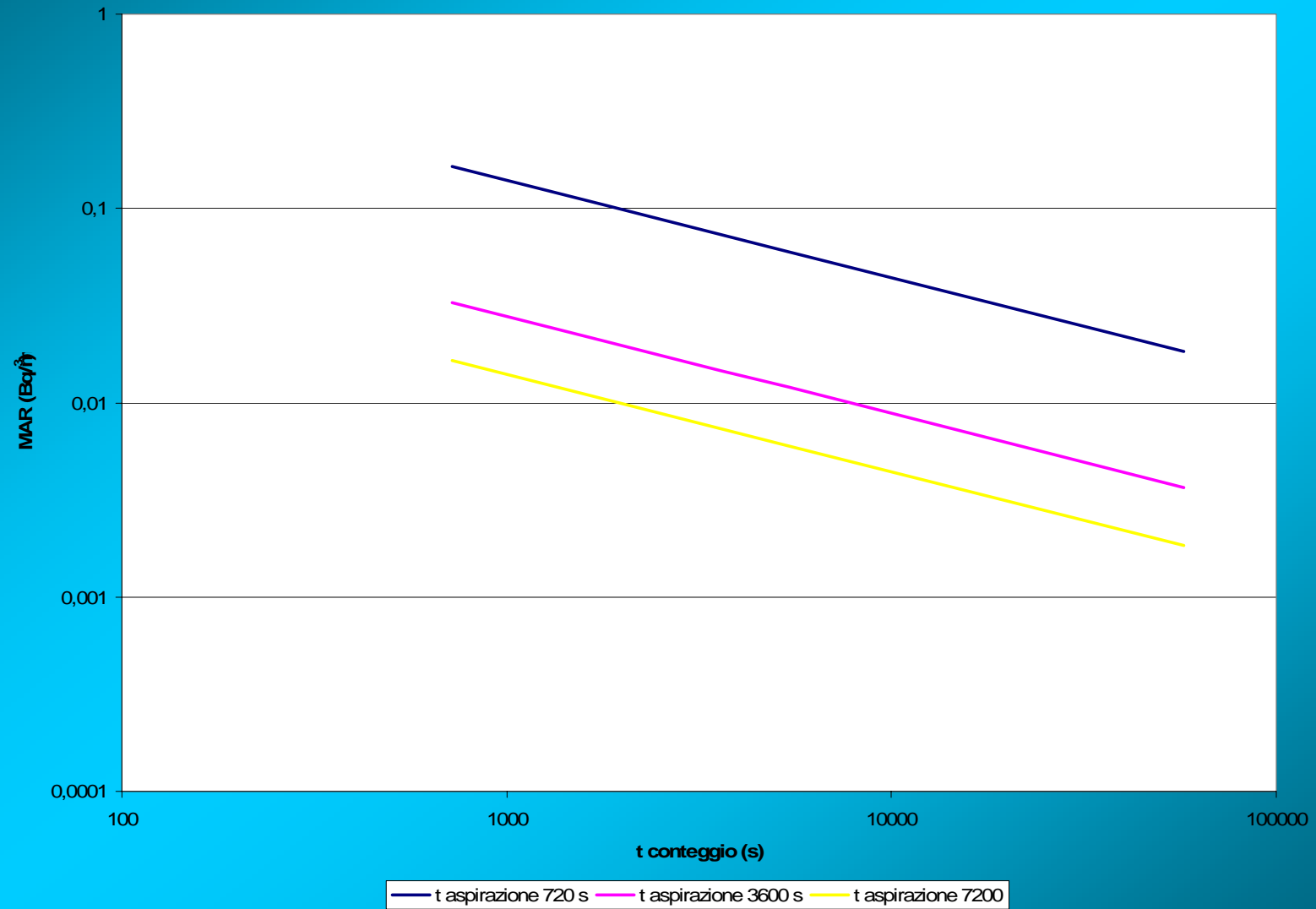
si possono quindi calcolare le *MAR* nelle varie situazioni operative concrete in cui ognuno di noi si trova

Flusso pompa: 1,7 m³/h

PORTATA 1,7 m³/h



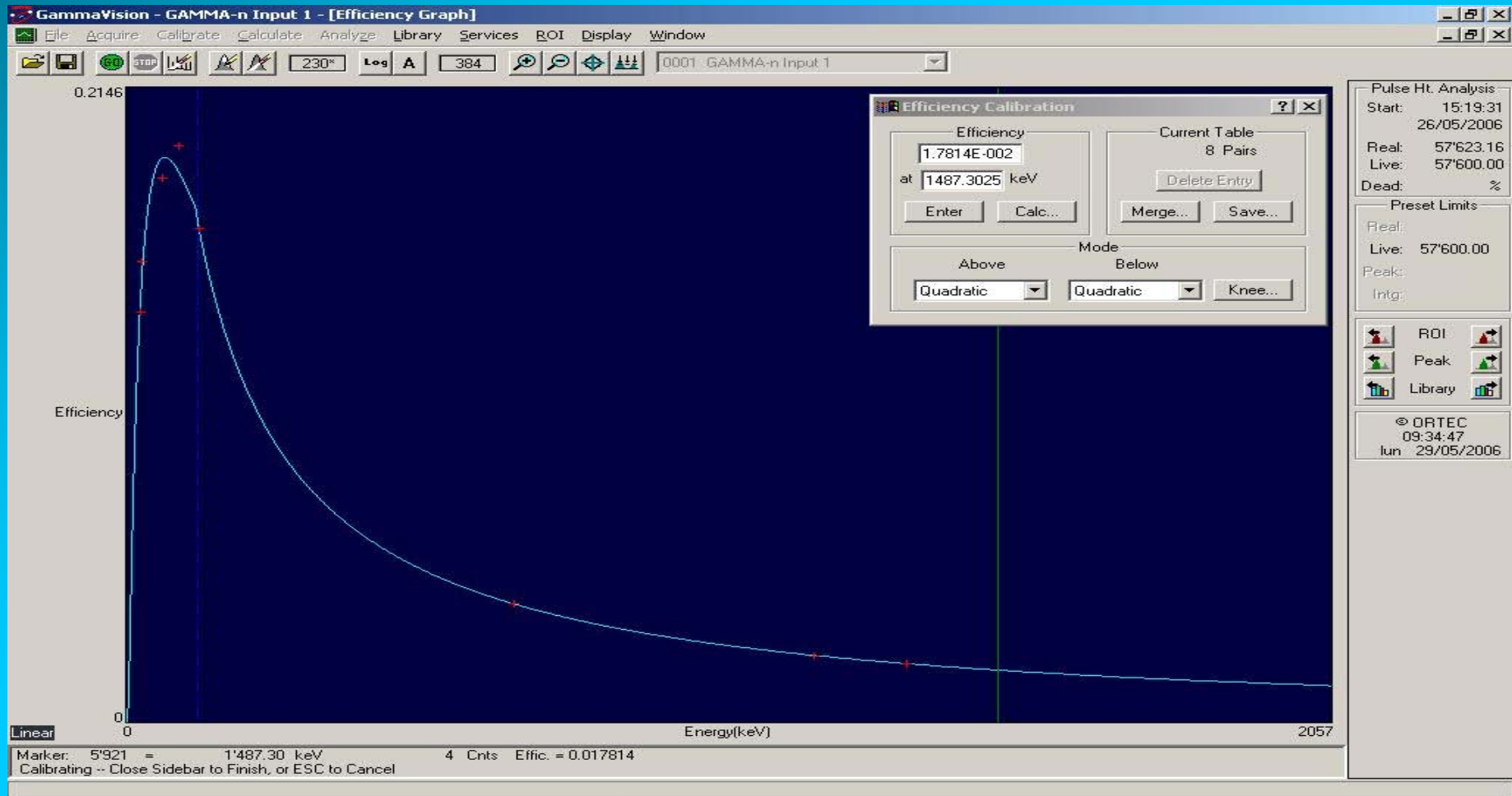
Flusso pompa: 8,3 m³/h



- Sulla base di questi risultati si possono fare le seguenti considerazioni:
 1. I sistemi in uso presso i laboratori consentono di raggiungere MAR molto basse (e comunque del tutto adeguate alle esigenze di radioprotezione in caso di emergenza)
 2. Una MAR riferita al Cs-137 di $0,1 \text{ Bq/m}^3$ può essere considerata adeguata per i nostri scopi

- Si può vedere subito che il livello di radioprotezione ottenibile in queste condizioni sperimentali è ottimo
- Ipotizzando infatti come scenario la solita nube *alla Chernobyl* e tenendo conto della tipica curva di efficienza degli spettrometri, si può calcolare la MAR per ogni radioisotopo e quindi stimare la corrispondente *Minima Dose Rivelabile* (da inalazione), calcolata ipotizzando un'esposizione nelle 24 ore

Curva dell' efficienza fotoelettrica

$$\varepsilon(E)$$


| Radionuclide | MAR (mBq/m ³) | Dose da Inalazione (nSv) |
|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| ⁹⁹ Mo | 22 | 7 |
| ⁹⁵Zr | 179 | 206 |
| ⁹⁵ Nb | 99 | 37 |
| ¹⁰³ Ru | 73 | 45 |
| ¹⁰⁶Ru | 810 | 10100 |
| ^{110m} Ag | 90 | 199 |
| ¹²⁵ Sb | 193 | 195 |
| ¹³¹I | 60 | 207 |
| ¹³² Te | 35 | 37 |
| ¹³² I | 87 | 4 |
| ¹³⁴Cs | 8.0 | 270 |
| ¹³⁷Cs | 100 | 531 |
| ¹⁴⁰Ba | 293 | 408 |
| ¹⁴⁰ La | 146 | 6.2 |
| Dose totale inalazione (nSv) | | 12310 |

- Il valore di circa $12 \mu\text{Sv}$ è infatti assolutamente adeguato, se si tiene presente che i livelli di riferimento per l'adozione di misure di protezione della popolazione (riparo al chiuso) sono dell'ordine del mSv
- Seguendo il protocollo suggerito, molti laboratori saranno in grado anzi di fornire dati con sensibilità ben maggiore

Ottimizzazione delle *MAR*

- Ci si può chiedere ora quale approccio seguire se si vuole ottimizzare la *sensibilità* del sistema spettrometrico, date delle condizioni sperimentali fissate *a priori*:
 - Lo spettrometro (caratterizzato dalla sua efficienza parametro ε)
 - Un sistema di aspirazione che lavora con una certa portata costante p
 - L'insieme dei radionuclidi da considerare

$$MAR = \frac{4.66 \cdot \sigma_F}{\varepsilon \cdot r_\gamma \cdot V \cdot t_C}$$

- Gli unici parametri sperimentali “liberi” sembrerebbero dunque il volume campionato V e il tempo di conteggio t_C
- In realtà, poiché la pompa impiegata per il prelievo funziona con portata costante p , il volume V richiesto determinerà il tempo di aspirazione (campionamento): $t_a = V/\phi$
- I 2 parametri da scegliere, cioè t_C e t_a determineranno dunque il tempo necessario a produrre il dato sperimentale $t = t_C + t_a$

- Dal momento che, come abbiamo visto, la *MAR* dipende da t_C e t_a , poiché il conteggio deve ovviamente seguire il campionamento, la loro somma, cioè $t = t_C + t_a$ costituisce un vincolo sperimentale fondamentale che influenza le *MAR* stesse
- Questo parametro è in realtà “il tempo di risposta” o la “risoluzione temporale” del sistema di monitoraggio
- E’ quindi evidente che, aumentando tale risoluzione, peggiorano conseguentemente le *MAR*, cioè la *sensibilità* sistema

- Che risoluzione temporale scegliere? E' difficile dare a priori un'indicazione valida in senso generale
- Le esigenze del momento possono condurre a privilegiare una scelta (la "risoluzione temporale") piuttosto che l'altra (diminuire le *MAR*)
- In linea generale si può dire che gli strumenti a disposizione consentono di raggiungere *MAR* abbastanza soddisfacenti anche lavorando su tempi ristretti
- Per una scelta ottimale si può suggerire il seguente approccio:

1. Scelta *a priori* della risoluzione temporale (cioè del tempo massimo consentito per fornire il dato radiometrico, definito dal gestore della rete di emergenza, in questo caso il CEVaD): $t = t_a + t_C$
2. Ottimizzazione delle *MAR*, tramite opportuna scelta di t_a e t_C
3. Confronto tra le *MAR* così ottenute con quelle ritenute necessarie
4. Se le *MAR* così ottenute non risultano soddisfacenti i criteri che ci si è dati, si aumenta il valore di t fino a che tali criteri risultano soddisfatti

- Dei 4 punti enunciati, merita una discussione un po' più approfondita il solo punto 2. , cioè:

Ottimizzazione delle MAR, tramite opportuna scelta di t_S e t_C

- A questo proposito, per semplificare i calcoli si ricorre all'assunzione che lo scarto tipo del fondo σ_F segua la statistica di Poisson:

$\sigma_F = \sqrt{(R_F \cdot t_C)}$ (dove R_F è il rateo di conteggio del fondo)

- Tendendo conto inoltre che $t_a = t - t_C$, il volume aspirato V può essere espresso come $V = p \cdot (t - t_C)$ e sostituendo queste espressioni nella formula fondamentale:

$$MAR = \frac{4.66 \cdot \sigma_F}{\varepsilon \cdot r_\gamma \cdot V \cdot t_C}$$

- Si giunge all'espressione:

$$MAR = \frac{k}{p \cdot (t - t_C) \cdot \sqrt{t_C}}$$

dove stavolta è stata posta in evidenza la dipendenza dall'unico parametro libero rimasto, t_C

- A questo punto la migliore MAR ottenibile è semplicemente calcolata trovando il minimo della funzione rispetto a t_C , cioè risolvendo:

$$\frac{\partial MAR}{\partial t_c} = 0$$

da cui si ottiene l'equazione algebrica:

$$\frac{1}{(t - t_c)^2 \cdot \sqrt{t_c}} - \frac{1}{2 \cdot (t - t_c) \cdot (t_c)^{3/2}} = 0$$

che risulta dà:

$$t_c = \frac{t}{3}$$

- Si dimostra così che, dato un tempo t fissato (risoluzione temporale), la migliore *MAR* si ottiene dividendo l'intervallo di tempo a disposizione in due sottointervalli definiti nel seguente modo:
 1. tempo di campionamento $t_a = (2/3) \cdot t$
 2. tempo di conteggio $t_C = (1/3) \cdot t$

- Per ottenere una tale sensibilità, impiegando una pompa avente bassa portata è sufficiente campionare per almeno 1 ora, eseguendo poi un conteggio della durata di circa mezz'ora.
- In tal modo, supponendo che le operazioni di emergenza incomincino alle ore 9:00 della mattina e terminino entro le ore 16:00, sarebbe teoricamente possibile produrre ed inviare in questo arco di tempo 6 dati di spettrometria g se si aspira per un'ora, 3 se si aspira per 2 ore.
- Le MAR raggiungibili sono molto simili tra loro (0,1039 Bq/m³ e 0,087 Bq/m³ rispettivamente).

Alcuni cenni alle misure α e β totale

- So che non sono molto amate: necessitano di un certo impegno per gli operatori e forniscono dati giudicati troppo “grezzi”
- Occorre attendere circa 120 ore per far decadere la radioattività naturale
- Per questo motivi molti laboratori le hanno abbandonate

- Credo che sia un errore trascurare del tutto questo tipo di misure, soprattutto in vista di una eventuale emergenza: ciò vale, in particolare, per le misure α
- Cercherò brevemente di spiegare perché

- Disponendo infatti di una pompa che aspiri (in un giorno) circa 100 m^3
- Di un rivelatore anche di modesta efficienza (può bastare anche un Geiger a finestra sottile, con efficienza α del 15% e β del 25%)
- Impiegando un tempo di conteggio adeguato (8000 – 10000 secondi) e calcolando:

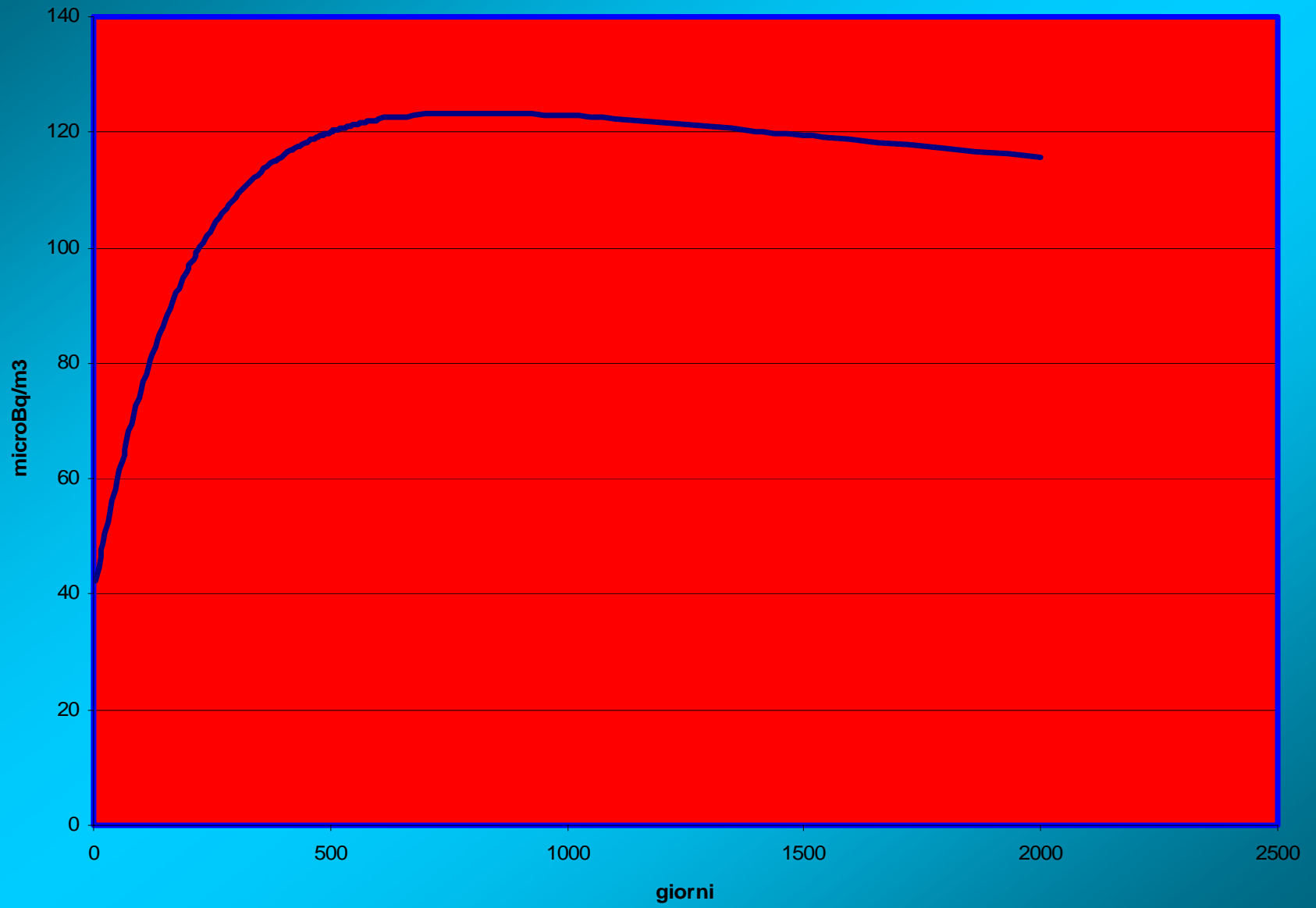
$$MAR = \frac{4.66 \cdot \sqrt{\sigma_{fondo}}}{\varepsilon \cdot V \cdot t}$$

- Si possono ottenere *MAR* dell'ordine di $4 \cdot 10^{-4}$ Bq/m³ e si è quindi in grado di rivelare un'introduzione annua di Plutonio (o di ogni altro emettitore α), corrispondente a un'inalazione di 3.5 Bq, poco più del 20% del limite di legge per la popolazione (1 mSv)
- Una diffusione sistematica di questo tipo di misure può dunque contribuire a completare il quadro radiologico nazionale (in condizioni normali) e essere di grande utilità in caso di emergenza vasta, quando è necessario caratterizzare la nube valutando la presenza di transuranici

- L'operatività dei laboratori nazionali in grado di eseguire misure di Plutonio (e Sr-90) è infatti limitata e, in caso di emergenza, verrebbe rapidamente saturata
- In un contesto del genere, anche delle misure eseguite dopo 120 ore possono dare informazioni molto utili per caratterizzare il territorio nazionale e, eventualmente, indirizzare le poche “risorse radiochimiche” disponibili, nelle aree di maggior interesse

- Tuttavia, affinché questo tipo di misure possano avere significato è necessario caratterizzare il fondo di ciascun sito di campionamento
- In particolare la *MAR* andrebbe calcolata valutando sperimentalmente la fluttuazione del fondo in funzione delle varie condizioni sperimentali (meteo e stagionali), utilizzando cioè una $\sigma_{sperimentale}$ invece di una stima poissoniana di σ_{fondo}

attività alfa totale - crescita del Po-210



- La proposta è dunque quella che tutti i laboratori riconsiderino l'opportunità di eseguire misure α
- Non si chiede di fare necessariamente un monitoraggio giornaliero
- Può essere sufficiente la caratterizzazione dell'attività α e β nel sito di monitoraggio abituale (misure giornaliere ritardate per un mese) e poi eseguire una misura periodica (ad esempio ogni mese), per mantenere in efficienza la tecnica
- In caso di emergenza la misura α (e β) dei filtri potrebbe essere estesa a quelli della qualità dell'aria

Deposizione al suolo umida e secca

- La valutazione della ricaduta radioattiva al suolo è evidentemente una delle informazioni più importanti in caso di emergenza
- Nell'allegato sono elencate le tecniche (in ordine di importanza) che possono essere impiegate per fare queste valutazioni

MISURA DIRETTA DEL PARTICOLATO DEPOSITATO (FALLOUT)

1. Campionamento

Scelta dei punti di campionamento: I criteri di scelta dei punti di campionamento sono i seguenti:

- i recipienti di raccolta vanno sistemati in modo che la loro bocca si trovi ad una altezza dal suolo di almeno 2 metri, in spazi liberi e aperti (ad es. tetti, terrazze, giardini, ecc.) e lontani da edifici;
- vanno evitate zone particolarmente polverose e di traffico intenso;
- per quanto possibile la raccolta deve essere effettuata in prossimità del sistema di aspirazione dell'aria

- Modalità di campionamento: la raccolta va effettuata in recipienti di plastica bianca non porosa (polipropilene) oppure, preferibilmente, in acciaio inox. Il loro numero dovrà essere tale da avere a disposizione una superficie di raccolta preferibilmente di 2 m².
- Può essere utile prevedere una rete di protezione (di maglie di nylon di circa 1 cm) sulla bocca dei recipienti per evitare l'ingresso di materiali estranei (foglie, carta, piume ecc.).
- Nell'interno dei recipienti dovrà essere posta acqua distillata addizionata con HCl (fino a pH=1) ed eventualmente con opportuni "carrier" a concentrazione nota.
- Il quantitativo di acqua distillata da aggiungere è legato alle situazioni meteorologiche locali. Non si dovranno avere travasi in seguito a pioggia e nello stesso tempo dovranno essere effettuati controlli ed eventuali rabbocchi per mantenere il fondo dei recipienti costantemente umido.

- **2. Pretrattamento**

- Modalità di pretrattamento: alla fine del periodo di campionamento l'acqua va raccolta accuratamente ed i recipienti lavati con acqua deionizzata o con soluzione acida (pH=1) preparata con acqua deionizzata, per asportare, anche con azione meccanica, il materiale depositato.
- Tutto il materiale raccolto va fatto evaporare fino ad ottenere un volume di circa 1-2 litri, che viene poi posto in una capsula a pareti alte e portato a secco molto lentamente a temperature non superiori a 100 °C. Il residuo solido ottenuto deve essere raccolto accuratamente raschiando il recipiente con una spatola metallica e successivamente in presenza di alcool etilico con una bacchetta di vetro con tassello di gomma. Il campione va poi essiccato, macinato finemente, pesato accuratamente e diviso in due aliquote di peso costante.
- Questa procedura può apparire eccessivamente complessa e lunga da eseguire, soprattutto nella fase I dell'emergenza. A questo riguardo si può dire che, operando con minore accuratezza, è talvolta possibile eseguire la misura della deposizione umida e secca sul "tal quale"

- **3. Analisi**

- Tipo di analisi: Spettrometria gamma ed eventualmente, su indicazioni CEVaD, determinazione dello ^{90}Sr e del Plutonio

- La spettrometria gamma va eseguita su una aliquota prefissata (costante in peso) del campione essiccato, utilizzando un contenitore opportunamente calibrato

- L'attività depositata si calcola tenendo conto della superficie di raccolta e della percentuale rispetto al totale del materiale analizzato. Il risultato deve tenere conto della correzione per il decadimento radioattivo. La data di riferimento per la correzione va posta alla metà del periodo di campionamento

- MAR:

^{137}Cs : 0,5 Bq/m²

^{90}Sr : 0,3 Bq/m²

Spettrometria γ *in situ*

- La tecnica della spettrometria gamma in campo *in situ* può essere molto efficace e utile in caso di emergenza
- Le sue caratteristiche di rapidità e immediatezza consentono infatti a un squadra limitata di operatori ben addestrata (2 o 3 persone) di raccogliere, nell'arco di una giornata, una grossa quantità di dati quali-quantitativi sull'emergenza nucleare in atto
- Ciò è di particolare importanza laddove risulta necessario stimare la deposizione al suolo di un evento su una vasta area
- In queste circostanze infatti, la spettrometria gamma *in situ* consente di ottenere una affidabile stima della deposizione al suolo (Bq/m^2) soprattutto delle aree pianeggianti, dal momento che il fallout "recente" può ritenersi, con buona approssimazione, distribuito uniformemente sulla superficie secondo la geometria del "piano infinito"

- In queste circostanze, la spettrometria gamma *in situ* può vantare un ulteriore vantaggio rispetto a tecniche alternative di valutazione della deposizione, quali ad esempio la misura in laboratorio di campioni di suolo. In questo modo, la spettrometria gamma *in situ* evita un'arricchita preparazione degli effluenti.

- Bisogna preparare il sistema spettrometrico in loco, con la preparazione e il collaudo dei componenti.



Taratura spettrometro

- La taratura di uno spettrometro γ destinato alle misure in campo è complicata, rispetto al caso di uno spettrometro “da laboratorio” dal fatto che non è nota a priori la geometria della sorgente di irradiazione
- Vi sono in commercio sostanzialmente 2 approcci differenti per la taratura:
 - sistema Canberra (metodo Monte Carlo)
 - sistema Ametek (calibrazione con sorgenti puntiformi)

- L'efficienza di uno spettrometro γ portatile dipende dalla geometria della sorgente, cioè dalla distribuzione dei radionuclidi nel terreno, non nota a priori. Nel caso dei radionuclidi presenti nel suolo si fanno di solito le seguenti ipotesi:
 - distribuzione uniforme (radionuclidi naturali)
 - disco infinito (fallout recente)
 - distribuzione esponenziale (fallout “vecchio”)

- Nell'allegato 4 sono esposte in modo abbastanza dettagliato la modalità da seguire per tarare uno spettrometro γ HPGe portatile, disponendo di un certo numero di sorgenti puntiformi tali da coprire l'intervallo di energia di interesse

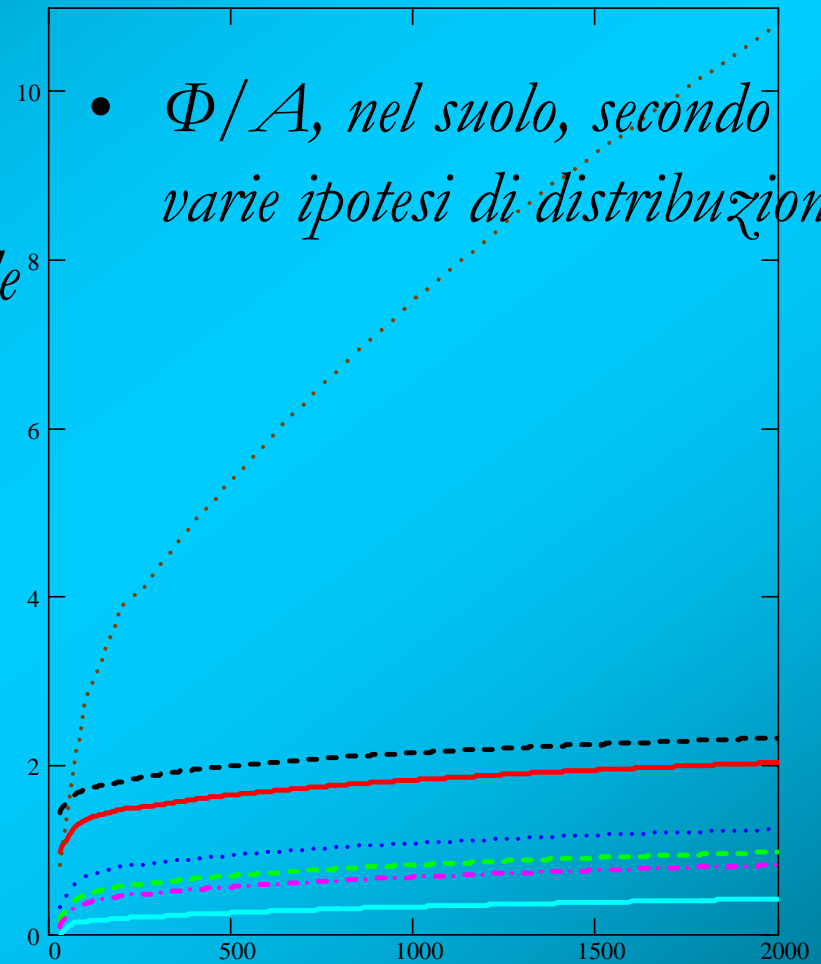
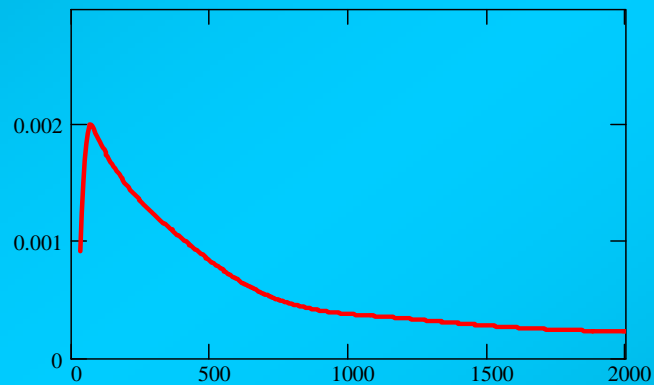
- Efficienza dello spettrometro γ portatile:

i) N_0/Φ , componente sperimentale

ii) Φ/A , da calcolare

iii) $N_f/N_0 \approx 1$

N_0/Φ , calcolato
sperimentalmente

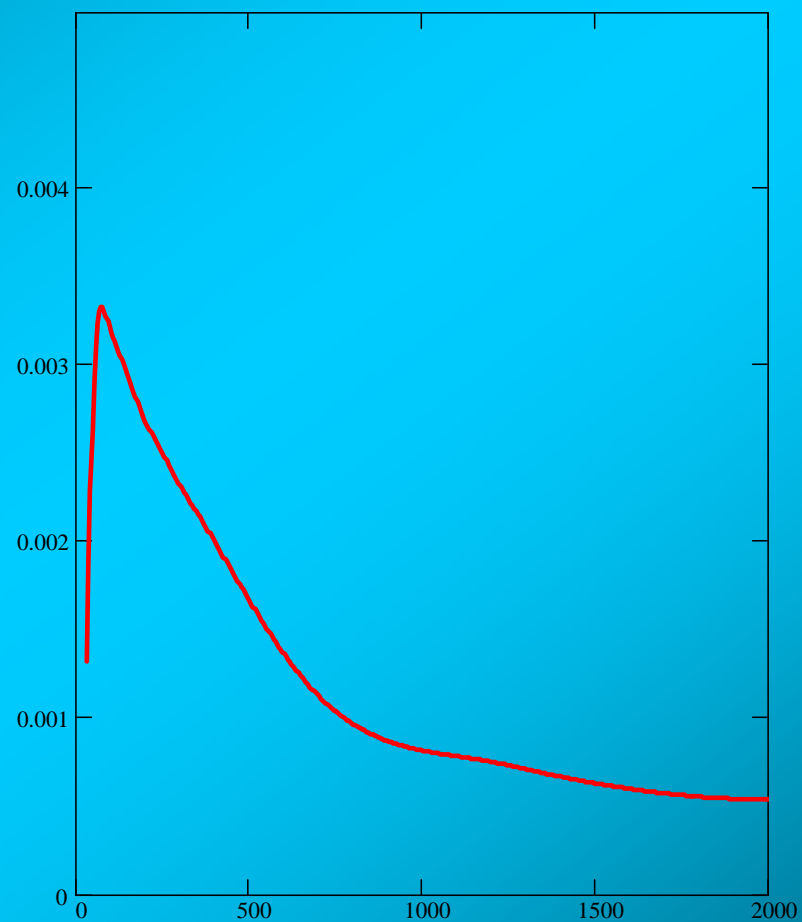


- Φ/A , nel suolo, secondo varie ipotesi di distribuzioni

Calcolo efficienza

$$N_f/A = (N_0/\Phi) \cdot (N_f/N_0) \cdot (\Phi/A)$$

(sorgente piana infinita)



Applicazione della spettrometria γ in campo al caso delle sorgenti puntiformi

- Anche senza disporre di alcun software commerciale si può calcolare facilmente l'attività di una sorgente puntiforme
- Si impiega infatti la seguente formula:

$$A = \frac{N \cdot S}{(N_0 / \Phi) \cdot f(h, R) \cdot t \cdot r}$$

dove N sono i conteggi netti del picco, S è la superficie del rivelatore “vista” dalla sorgente, r è la resa gamma e $f(h,R)$ è un fattore geometrico che dipende dal raggio del rivelatore R e dalla distanza h sorgente-rivelatore, dato da:

$$f(h, R) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R^2}{h^2}}} \right)$$

MISURE DI BIOACCUMULATORI (BRIOFITE)

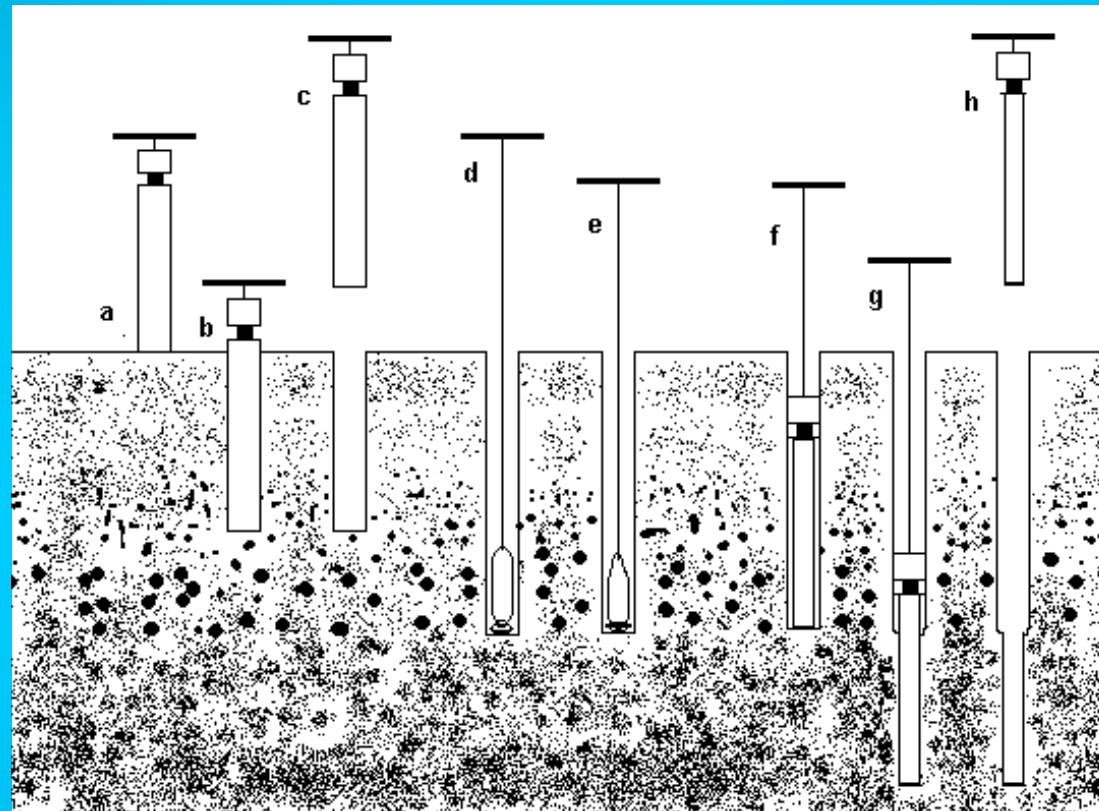
- Le briofite, comunemente indicate con il nome di muschi, sono degli organismi bioaccumulatori che possono essere utilmente impiegati per la valutazione della contaminazione superficiale e/o della deposizione al suolo
- Il loro impiego in caso di emergenza può sembrare una forzatura
- Si è tuttavia deciso di ricomprendere anche questa matrice poiché, in passato, è stato svolto un grosso lavoro da parte di molti laboratori della rete nazionale che hanno incluso le briofite nei propri programmi di monitoraggio
- Il presupposto dell'impiego delle briofite per la valutazione della deposizione radioattiva in caso di emergenza è evidentemente quello di disporre di un "valore di punto zero" aggiornato in stazioni di prelievo ben identificate: diversamente il risultato fornito rischia di non essere completamente attendibile.

MISURE DI CAMPIONI SUPERFICIALI DI SUOLO

- Il campionamento del suolo consente di ottenere una misura diretta della deposizione. Ha tuttavia alcuni inconvenienti:
 - i) è assai onerosa in termini di tempo e fatica
 - ii) i risultati dipendono troppo dal punto specifico di campionamento

- Nell'allegato 4 sono comunque presentate e discusse in dettaglio le modalità di campionamento e misura

- Le trivelle



- La trincea

