



## III CONGRESSO NAZIONALE ANFeA

Roma 27-28 Novembre 2015

Università Roma La Sapienza

Dipartimento di Scienze di Base e

Applicate per l'Ingegneria

Caratterizzazione radiologica delle acque destinate ad uso umano; parametri, limiti e metodologie alla luce della nuova direttiva Europea

**G. Zambelli<sup>1,2,3,5</sup>, M. Taroni<sup>1,4,5</sup>, F. Carnaccini<sup>1,5</sup>, A. Ciarmatori<sup>1,5</sup>, G. Gaggioli<sup>1,5</sup>**

<sup>1</sup> *Protex Italia S.p.A., Gruppo Laboratori Protex*

<sup>2</sup> *Lavoro e Ambiente s.r.l., Gruppo Laboratori Protex*

<sup>3</sup> *Laboratori Protex S.p.A., Gruppo Laboratori Protex*

<sup>4</sup> *KAOS s.r.l.*

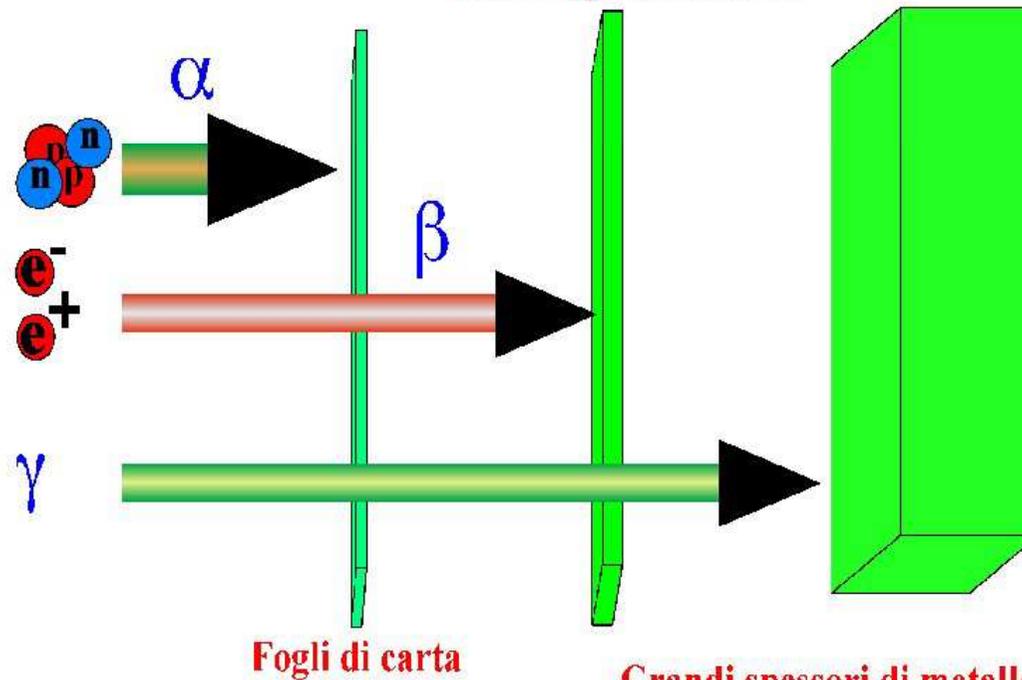
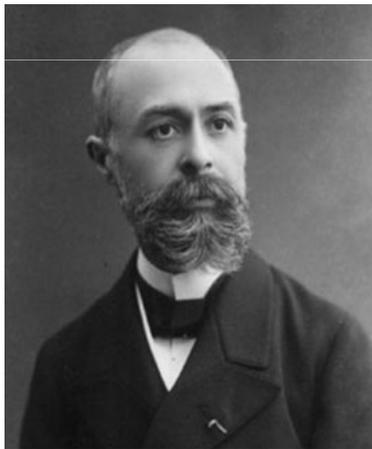
<sup>5</sup> *Fisico*

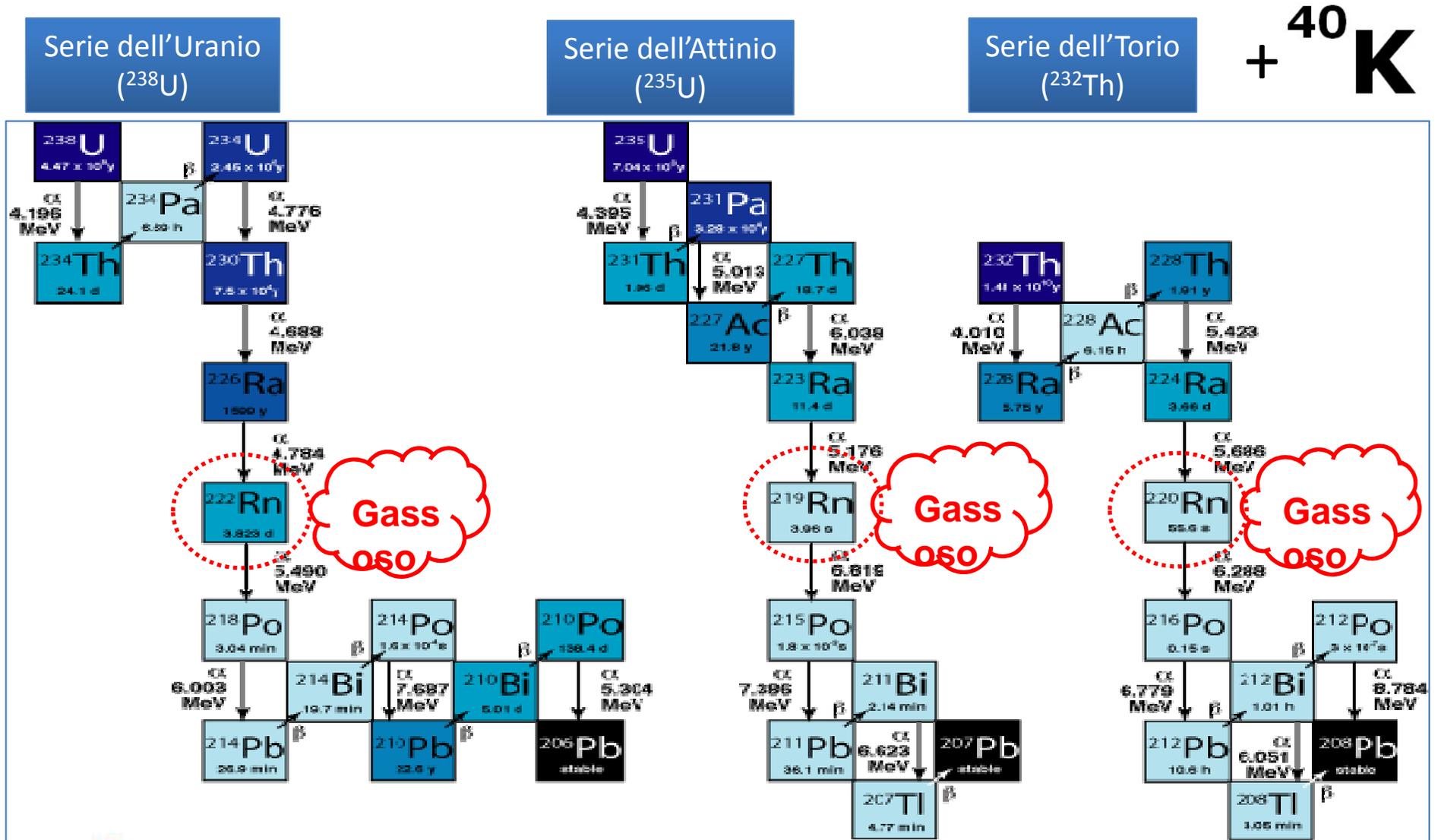


*E' un processo fisico attraverso il quale alcuni nuclei di atomi instabili decadono emettendo radiazioni ionizzanti*

**Spessori di materiale attraversato dalle radiazioni alfa , beta e gamma**

**Sottili fogli di metallo**







Produzione di energia

Esposizioni mediche

Esperimenti



Incidenti nucleari





Calcio, Magnesio, Sodio, Cloro, Potassio, Fluoro, Manganese,  
Fosforo...

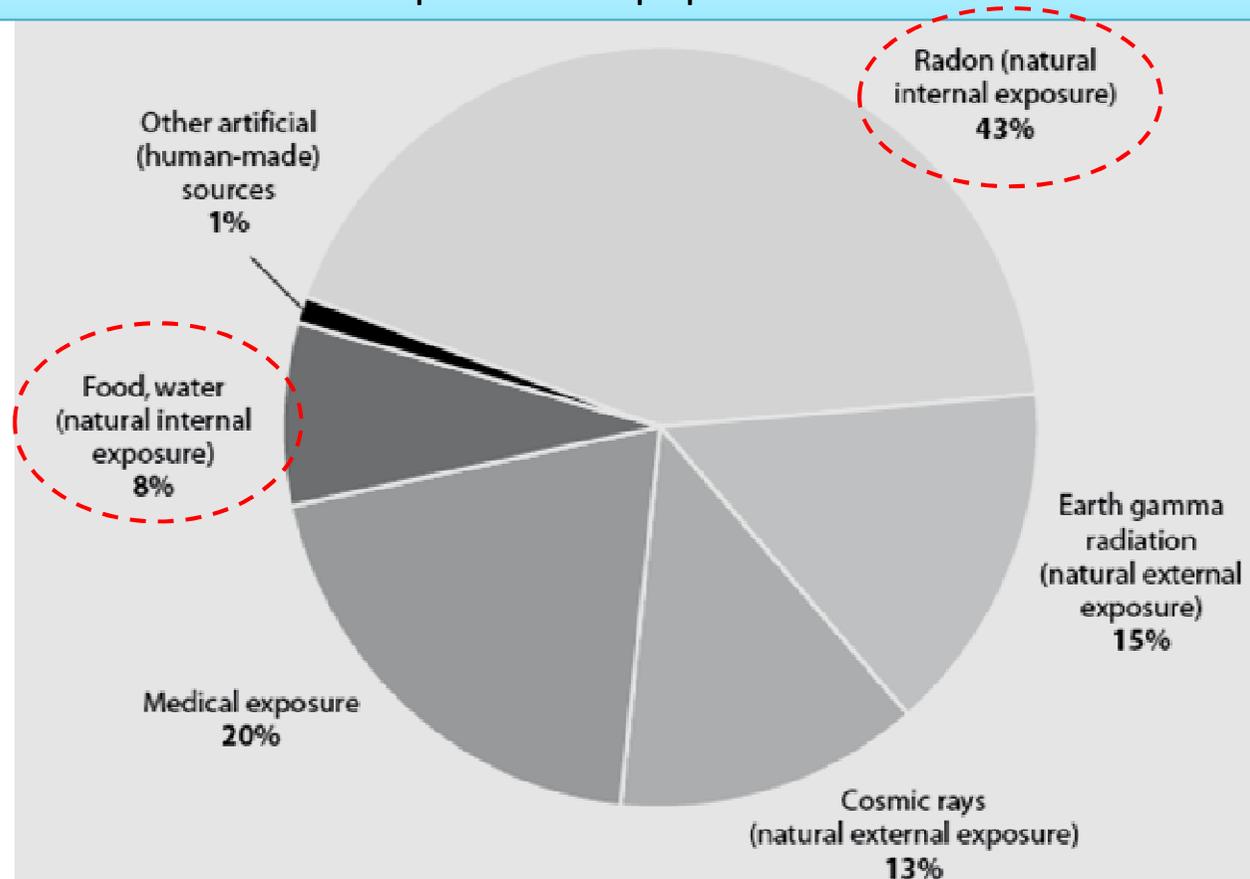


Radon, Trizio, Uranio, Radio, Torio...

Publicità della radioattiva nelle acque destinate ad uso umano, anche minerali, negli anni del dopo guerra della seconda guerra mondiale fino agli anni '60



Sorgenti e distribuzione media in percentuale dell'esposizione a radiazioni ionizzanti da parte della popolazione mondiale



Media di 2,4 mSv/anno, dato UNSCEAR 2000,  
su un range mondiale compreso tra 1 e 10 mSv/anno



Guidelines for Drinking-Water Quality – Fourth Edition – 2011



DIRETTIVA 2013/51/EURATOM DEL CONSIGLIO del 22 ottobre 2013 che stabilisce requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano

Raccomandazione 2001/928/EURATOM della Commissione del 20 dicembre 2001 in merito alla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile



Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n. 31  
"Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano"

**Bequerel, Bq:** unità di misura dell'attività di un radionuclide che ha un decadimento radioattivo al secondo, quindi *1 Bq equivale ad una disintegrazione al secondo;*

**Dose:** *energia assorbita dalla massa corporea,* si misura in Gy (Gray), ovvero J/kg, ceduta dalla radiazione, altre unità di misura della dose sono il Sv, che tiene conto del tipo di radiazione (alfa, beta, gamma ecc...) per la dose equivalente.

**Dose indicativa o DI:** *la dose efficace impegnata per un anno di ingestione risultante da tutti i radionuclidi,* di origine naturale e artificiale, la cui presenza è stata rilevata nella fornitura di acque destinate al consumo umano ad eccezione di trizio, potassio-40, radon e prodotti di decadimento del radon a vita breve. Consumo medio annuo stimato in 730 l.

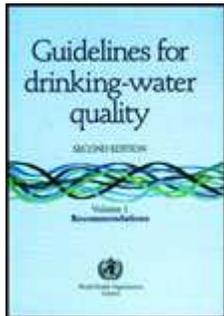
**Alfa totale:** attività dovuta a tutti gli emettitori di particelle alfa con l'esclusione del  $^{222}\text{Rn}$  e dei suoi prodotti di decadimento a vita breve.

**Beta totale:** attività dovuta a tutti gli emettitori di particelle beta con l'esclusione dei radionuclidi che emettono particelle beta di bassa energia, come il  $^3\text{H}$  ed il  $^{14}\text{C}$ , e dei prodotti di decadimento a vita breve del  $^{222}\text{Rn}$ .

**MAR: Minima Attività Rilevabile,** è il limite inferiore di attività misurabile per un determinato radionuclide in funzione di una determinata metodica di preparazione e tecnica di misura, si esprime in Bq o in Bq per unità di massa, o di volume o di superficie.



World Health Organization

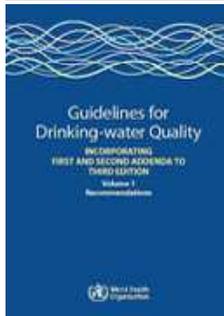


Guidelines for Drinking-Water Quality -  
Second Edition – 1993

Dose annua 0,10 mSv e Radon

Alfa totale 0,1 Bq/l  
Beta totale 1,0 Bq/l

Da valutare  
nazione per  
nazione



Guidelines for Drinking-Water Quality -  
Third Edition – 2008

Dose annua 0,10 mSv e Radon

Alfa totale 0,5 Bq/l  
Beta totale 1,0 Bq/l

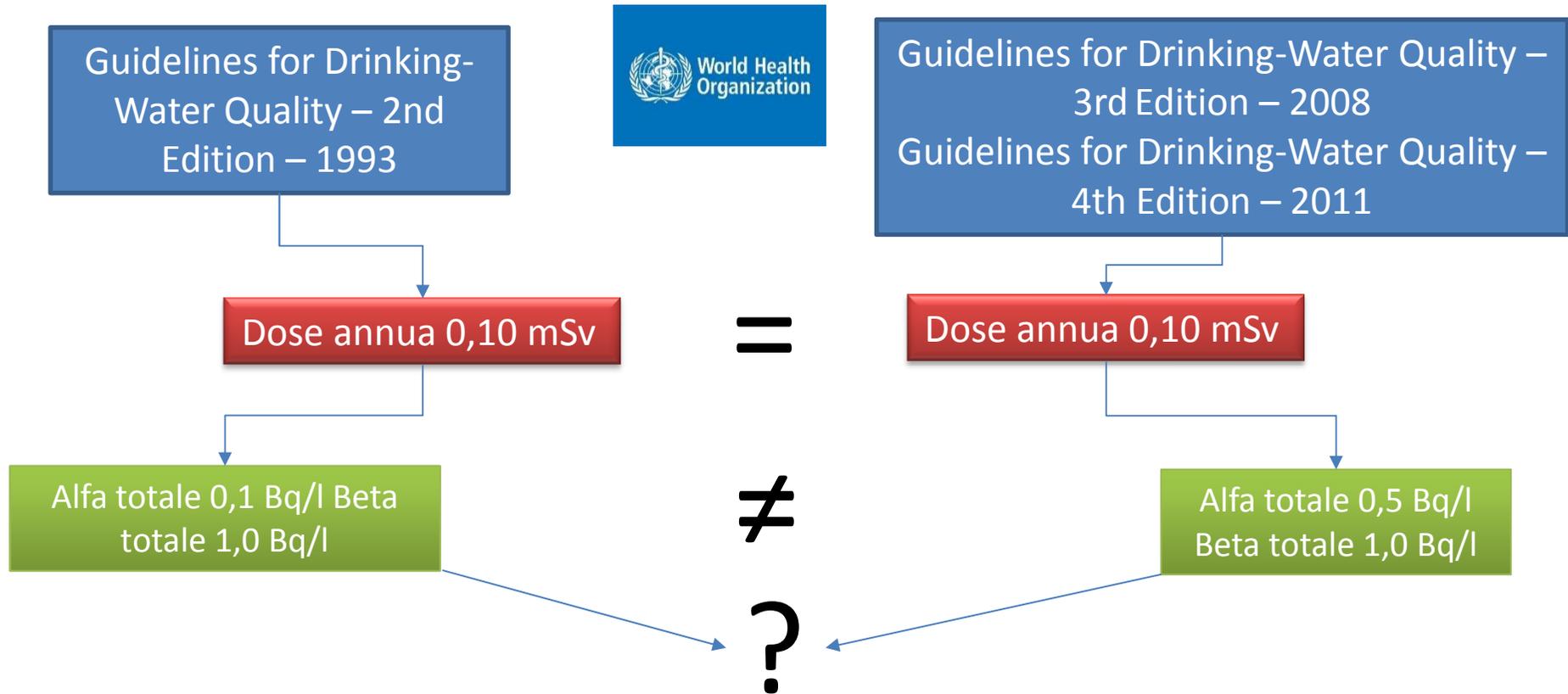
100 Bq/l



Guidelines for Drinking-Water Quality –  
Fourth Edition – 2011

Consumo acqua stimato in 730 l/anno

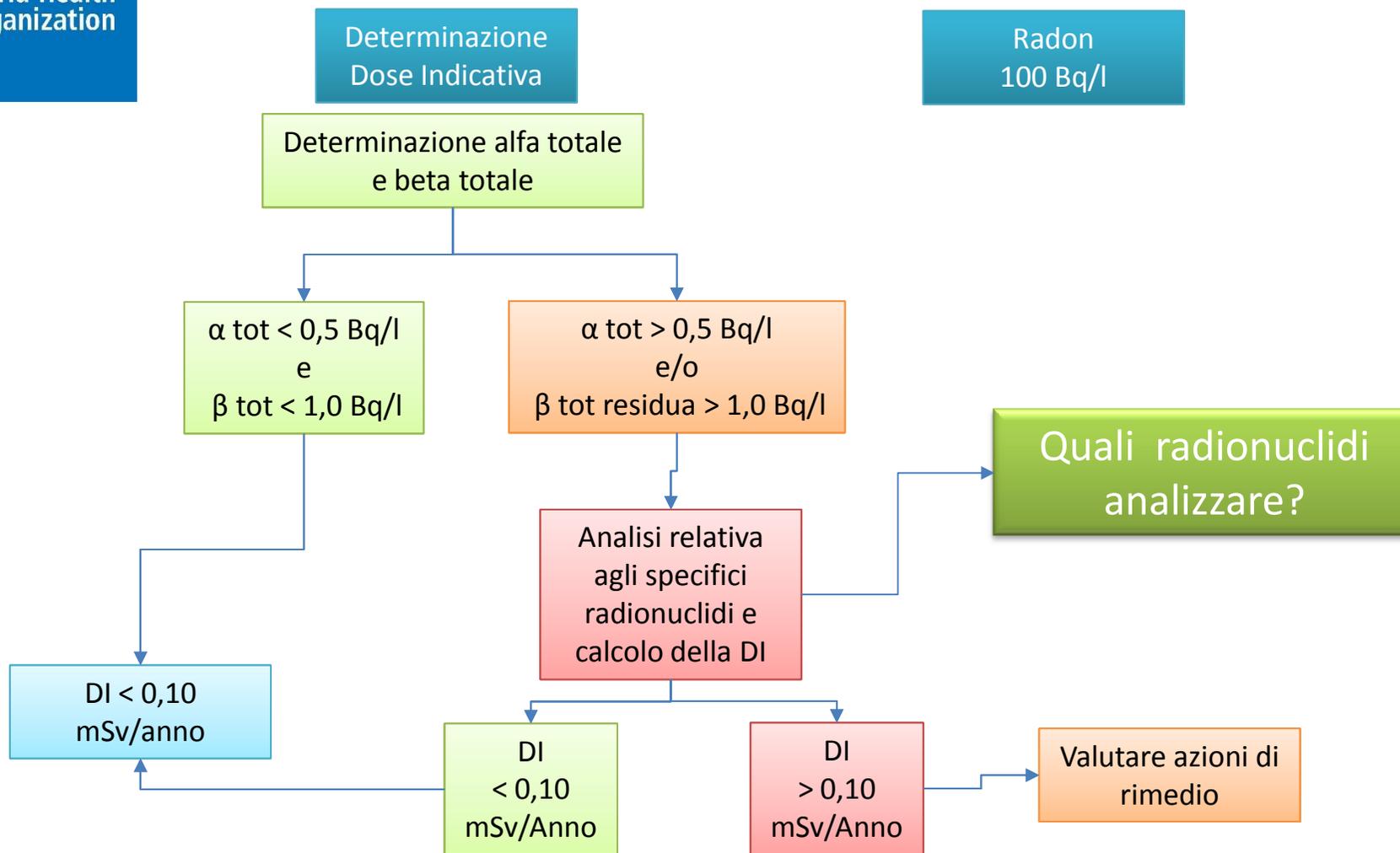




0,10 mSv/anno rappresenta meno del 5% della dose media annuale attribuibile alle radiazioni di origine naturale, esperienze successive hanno mostrato che questo valore tende a non essere superato anche per alfa totale minore o uguale a 0,5 Bq/l  
(§ Cap.9 – Radiological aspects – 9.2)



## Come fare uno screening radiologico delle acque...





Quali radionuclidi  
analizzare?

Table 9.2 Guidance levels for common a natural and artificial radionuclides for members of the public  
Chapter 9 – Radiological aspects

Category	Radionuclide	Dose coefficient (Sv/Bq)	Guidance level <sup>b</sup> (Bq/l)
Naturally occurring radioactive isotope that starts the uranium decay series <sup>c</sup>	Uranium-238	$4.5 \times 10^{-8}$	10
Naturally occurring radioactive isotopes belonging to the uranium decay series	Uranium-234	$4.9 \times 10^{-8}$	1
	Thorium-230	$2.1 \times 10^{-7}$	1
	Radium-226	$2.8 \times 10^{-7}$	1
	Lead-210	$6.9 \times 10^{-7}$	0.1
	Polonium-210	$1.2 \times 10^{-6}$	0.1
Naturally occurring radioactive isotope that starts the thorium decay series	Thorium-232	$2.3 \times 10^{-7}$	1
Naturally occurring radioactive isotopes belonging to the thorium decay series	Radium-228	$6.9 \times 10^{-7}$	0.1
	Thorium-228	$7.2 \times 10^{-8}$	1
Artificial radionuclides that can be released to the environment as part of the fission products found in reactor emissions or nuclear weapons tests	Caesium-134 <sup>d</sup>	$1.9 \times 10^{-8}$	10
	Caesium-137 <sup>d</sup>	$1.3 \times 10^{-8}$	10
	Strontium-90 <sup>d</sup>	$2.8 \times 10^{-8}$	10
Artificial radionuclide that can be released to the environment as a fission product (see above). It is also used in nuclear medicine procedures and thus can be released into water bodies through sewage effluent.	Iodine-131 <sup>d,e</sup>	$2.2 \times 10^{-8}$	10
Radioactive isotope of the hydrogen produced artificially as a fission product from nuclear power reactors and nuclear weapons tests. It may be naturally present in the environment in a very small amount. Its presence in a water source suggests potential industrial contamination.	Tritium <sup>e</sup>	$1.8 \times 10^{-11}$	10 000
Naturally occurring radioactive isotope widely distributed in nature and present in organic compounds and in the human body	Carbon-14	$5.8 \times 10^{-10}$	100
Artificial isotope formed in nuclear reactors that also exists in trace quantities in <i>natural</i> uranium ores	Plutonium-239 <sup>d</sup>	$2.5 \times 10^{-7}$	1
Artificial isotope by-product formed in nuclear reactors	Americium-241 <sup>d</sup>	$2.0 \times 10^{-7}$	1



**Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n. 31**  
"Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano"

**Allegato I - Parte C – Radioattività**

Parametro	Valore di parametro	Unità di misura
Trizio	100	Bq/l
Dose Totale Indicativa	0,10	mSv/anno

Parametro non direttamente misurabile!!!

Il decreto, come la direttiva, non indicano i metodi di misura, le prestazioni analitiche e non specifica come valutare il superamento o meno della dose totale indicativa...

Norma superata?



**DIRETTIVA 2013/51/EURATOM** DEL CONSIGLIO del 22 ottobre 2013 che stabilisce requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano

Acque destinate al consumo umano (rif. Art.2 Direttiva EURATOM 51/2013):

- tutte le acque trattate o non trattate, destinate a uso potabile, per la preparazione o la cottura di cibi o per altri usi domestici, a prescindere dalla loro origine, siano esse fornite tramite una rete di distribuzione, cisterne, o in bottiglie o contenitori.
- tutte le acque utilizzate in un'impresa alimentare per la fabbricazione, il trattamento, la conservazione o l'immissione sul mercato di prodotti o sostanze destinati al consumo umano, salvo il caso in cui le autorità nazionali competenti ritengano che la qualità dell'acqua non possa avere conseguenze sulla salubrità del prodotto alimentare finale.

Non si applica la direttiva:

- né alle acque minerali naturali riconosciute come tali dalle competenti autorità nazionali a norma della direttiva 2009/54/CE
- né alle acque medicinali ai sensi della direttiva 2001/83/CE

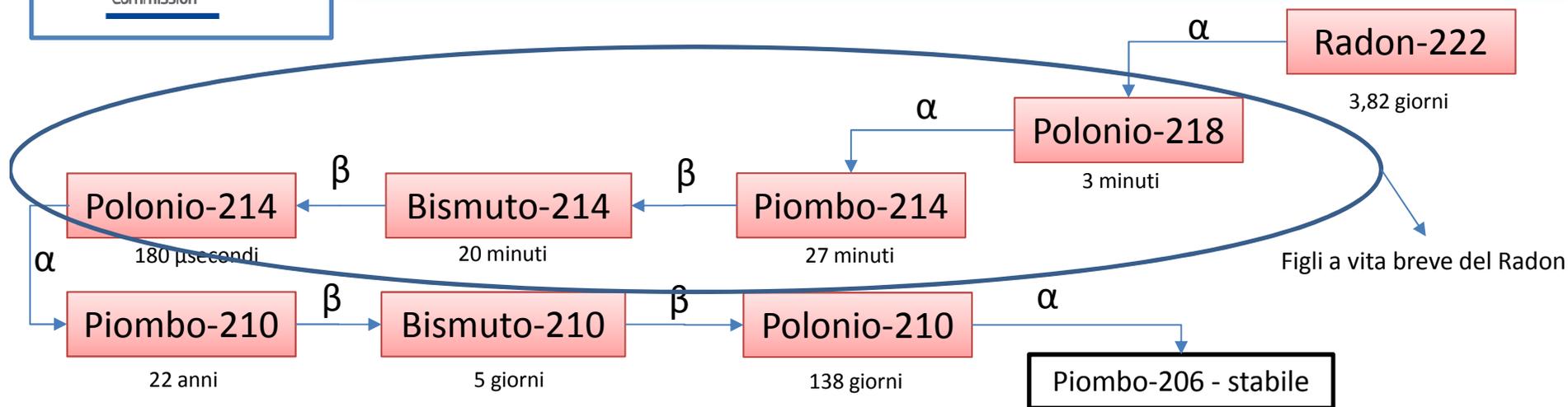


**DIRETTIVA 2013/51/EURATOM** DEL CONSIGLIO del 22 ottobre 2013 che stabilisce requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano

Parametri	
Parametro	Valori di parametro
Radon	100 Bq/l
Trizio	100 Bq/l
Dose Totale Indicativa, DTI*	0,10 mSv/anno
*: la DTI è ottenuta indirettamente dalla misura del contenuto di attività alfa totale e beta totale, i cui valori di parametro sono rispettivamente 0,10 Bq/l e 1,0 Bq/l, che sono invece grandezze misurabili (Allegato III).	
Frequenze di campionamento	
Tra 100 e 1.000 mc	1
Tra 1.000 e 10.000 mc	Almeno 2
Tra 10.000 e 100.000	Almeno 3
Oltre 100.000	Almeno 10



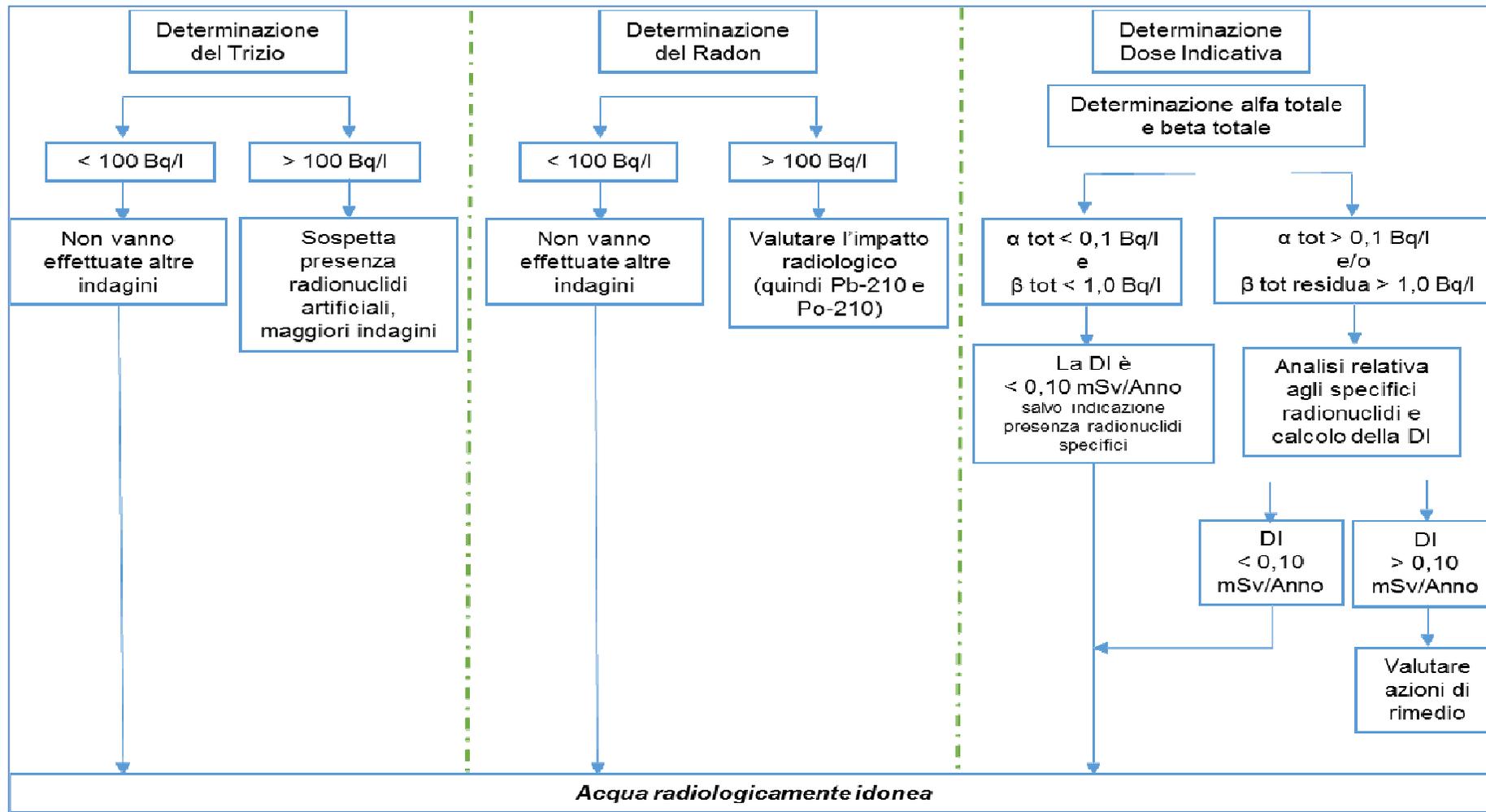
Raccomandazione 2001/928/EURATOM della Commissione del 20 dicembre 2001 in merito alla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile



Parametro	Valori di parametro
Radon*	100 Bq/l
Pb-210**	0,2 Bq/l
Po-210**	0,10 Bq/l

\*: ingerimento di acqua contenente 1000 Bq/l dose efficace annua tra 0,2 mSv e 1,8 mSv, a seconda del consumo annuale di acqua  
 \*\*: sospetta presenza per via di elevate concentrazioni di Radon o di altre indicazioni

DIRETTIVA 2013/51/EURATOM (include Raccomandazione 2001/928/EURATOM)



### DIRETTIVA 2013/51/EURATOM

Al superamento dei valori di parametro, cosa fare?

- a) Si supera il valore di parametro per il **Trizio (100 Bq/l)**: è importante valutare l'eventuale presenza di altri **radionuclidi artificiali**; a questa informazione va aggiunta la necessità che la determinazione del trizio avvenga sullo stesso campione ove viene effettuata l'analisi alfa totale e beta totale;
- b) Si supera il valore di parametro del **Radon (100 Bq/l)**: occorre verificare l'eventuale presenza di **Polonio-210 e Piombo-210** e assicurare che non venga superato il valore di 1000 Bq/l per il Radon. Oltre 1000 Bq/l è giustificata la messa in opera di azioni di rimedio volte a diminuire la concentrazione del gas nell'acqua e l'eventuale presenza di figli a vita lunga, Piombo-210 e Polonio-210 appunto;
- c) Si supera uno dei due o entrambi i valori di parametro di **alfa totale (0,10 Bq/l) e beta totale (1,0 Bq/l)** (residua): è necessario effettuare **indagini mirate su singoli radionuclidi** per determinare, come indicato in Allegato III della direttiva EURATOM 51/2013, il valore della DI e verificare che essa sia inferiore ad 1.

Se tale criterio non è soddisfatto lo stato membro deve procedere ad ulteriori indagini e valutare eventuali azioni di rimedio.

Screening iniziale

Parametro	Emissione principale	Limite di rilevazione, Bq/l	Tecnica analitica
Trizio	Beta	10	<b>Scintillazione liquida</b>
Alfa totale	Alfa	0,04	<b>Scintillazione liquida</b> – Spettrometria alfa contatore alfa
Beta totale	Beta	0,4	<b>Scintillazione liquida</b> – contatore beta
Radon-222	Alfa	10	<b>Scintillazione liquida</b> – Spettrometria gamma
Uranio-238	Alfa	0,02	<b>Scintillazione liquida</b> – spettrometria alfa – Spettrometria gamma
Uranio-234	Alfa	0,02	<b>Scintillazione liquida</b> – spettrometria alfa
Radio-226	Alfa	0,04	<b>Scintillazione liquida</b> – spettrometria alfa – Spettrometria gamma
Radio-228	Beta	0,02	<b>Scintillazione liquida</b> – spettrometria alfa – Spettrometria gamma
Pb-210	Beta	0,02	<b>Scintillazione liquida</b> – Spettrometria gamma
Po-210	Alfa	0,01	Spettrometria alfa
Carbonio-14	Beta	20	<b>Scintillazione liquida</b>
Stronzio-90	Beta	0,4	<b>Scintillazione liquida</b>
Plutonio-239/240	Alfa	0,04	Spettrometria alfa
Americio-241	Alfa	0,06	Spettrometria alfa – Spettrometria gamma
Cobalto-60	Gamma	0,5	Spettrometria gamma
Cesio 134	Gamma	0,5	Spettrometria gamma
Cesio-137	Gamma	0,5	Spettrometria gamma
Iodio-131	Gamma	0,5	Spettrometria gamma

Per alcuni radionuclidi la determinazione via spettrometria gamma è effettuata in maniera indiretta attraverso i prodotti di decadimento e pre-concentrando il campione di almeno un fattore 10 per poter rispettare le prestazioni analitiche richieste dalla direttiva.

Indagine di dettaglio



Scintillazione liquida

Spettrometria gamma



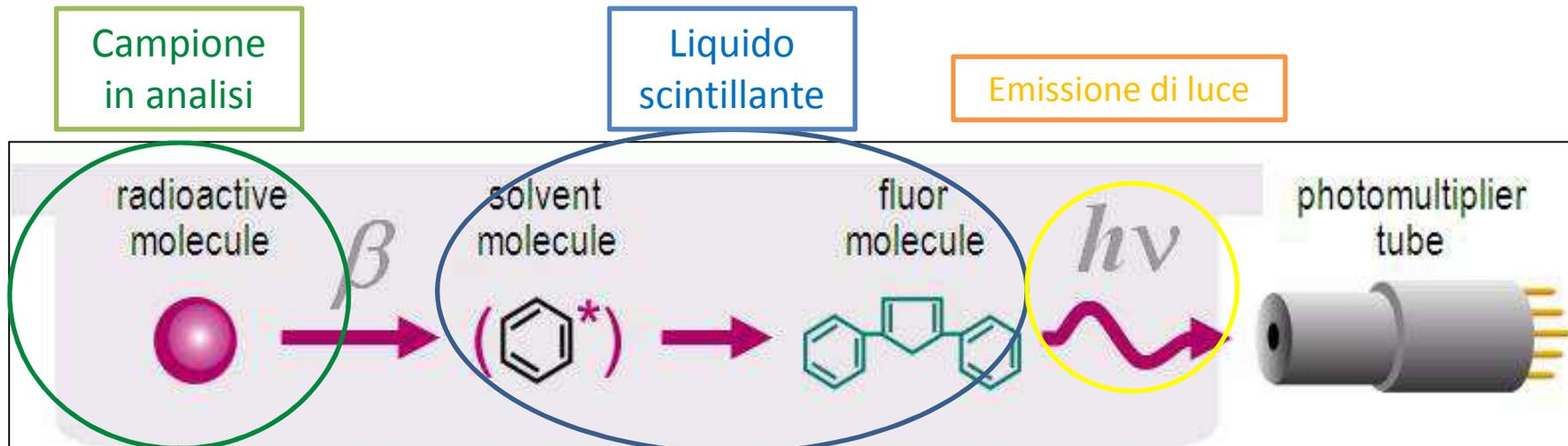
Una tecnica analitica permette la rilevazione sia di eventi alfa che di eventi beta; tale tecnica è la scintillazione liquida, che grazie a non complesse tecniche preparatorie del campione consente di poter determinare tutti i parametri di screening iniziale richiesti dalle norme e linee guida sopra richiamate, **Trizio, Radon e attività alfa totale e beta totale.**

Risulta comunque indubbio la necessità di integrare le diverse tecniche analitiche per poter ottenere un quadro più che completo nella caratterizzazione radiologica delle acque destinate ad uso umano, utilizzando il metodo analitico che meglio si adatta alla rilevazione di uno specifico radionuclide ed al risultato che si vuole ottenere.

Parametro	Esempio di Norma tecnica
<b>Alfa totale</b>	<p>UNI 11260:2008: "Qualità dell'acqua - Determinazione del contenuto di attività alfa e beta totale in acque destinate al consumo umano mediante scintillazione liquida"</p> <p>ISO 11704:2010 "Water quality – Measurement of gross alpha and beta activity concentration in non-saline water – Liquid scintillation counting method"</p> <p>ISO 9696:2007 "Water quality -- Measurement of gross alpha activity in non-saline water -- Thick source method"</p>
<b>Beta totale</b>	<p>UNI 11260:2008: "Qualità dell'acqua - Determinazione del contenuto di attività alfa e beta totale in acque destinate al consumo umano mediante scintillazione liquida"</p> <p>ISO 11704:2010 "Water quality – Measurement of gross alpha and beta activity concentration in non-saline water – Liquid scintillation counting method"</p> <p>ISO 9697:2008 "Water quality -- Measurement of gross beta activity in non-saline water -- Thick source method"</p>
<b>Trizio</b>	<p>ISO 9698:2010: "Water quality - Determination of tritium activity concentration - Liquid scintillation counting method"</p>
<b>Radon</b>	<p>UNI 11261:2008: "Qualità dell'acqua - Determinazione della concentrazione di attività del Radon (<sup>222</sup>Rn) nelle acque mediante scintillazione liquida"</p> <p>Draft ISO/DIS 13164-4 "Water quality – Radon 222 – part 4: Test method using two-phase liquid scintillation counting" - "under development"</p>

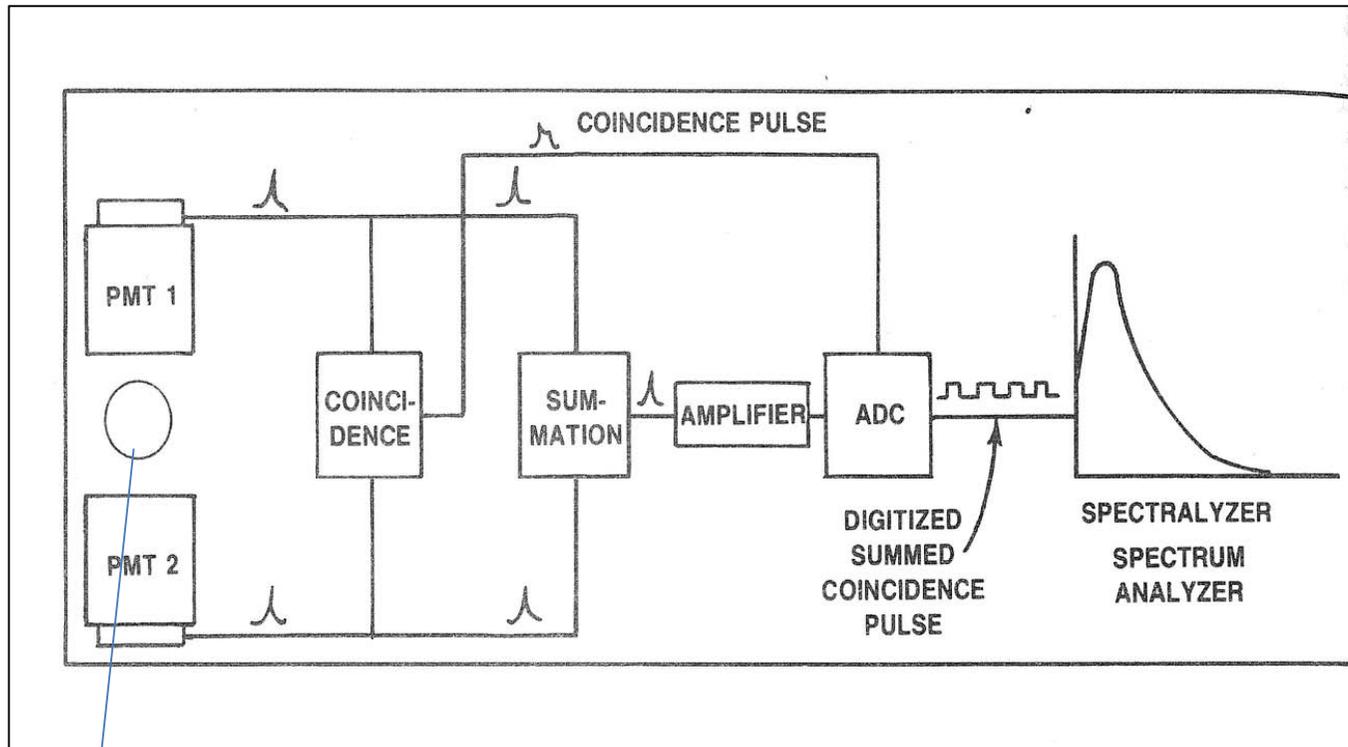
## Scintillazione liquida

Rileva eventi alfa e beta  
Sfrutta la proprietà di emissione di luce di scintillatori liquidi, liquidi scintillanti  
Luce emessa proporzionale all'energia che l'ha generata  
Alta sensibilità, MAR dell'ordine del mBq

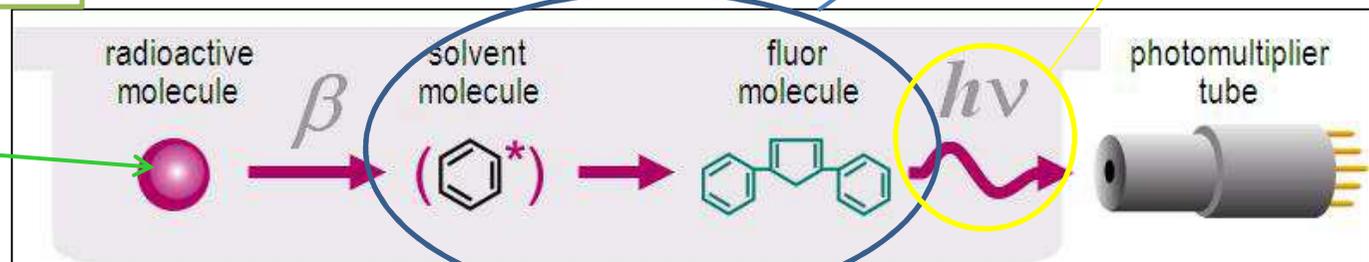
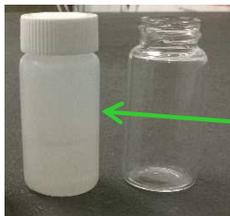


Campione deve essere reso liquido  
Bassa risoluzione dei picchi alfa  
Fenomeni di quenching (spegnimento)

Schema funzionamento  
Scintillatore liquido

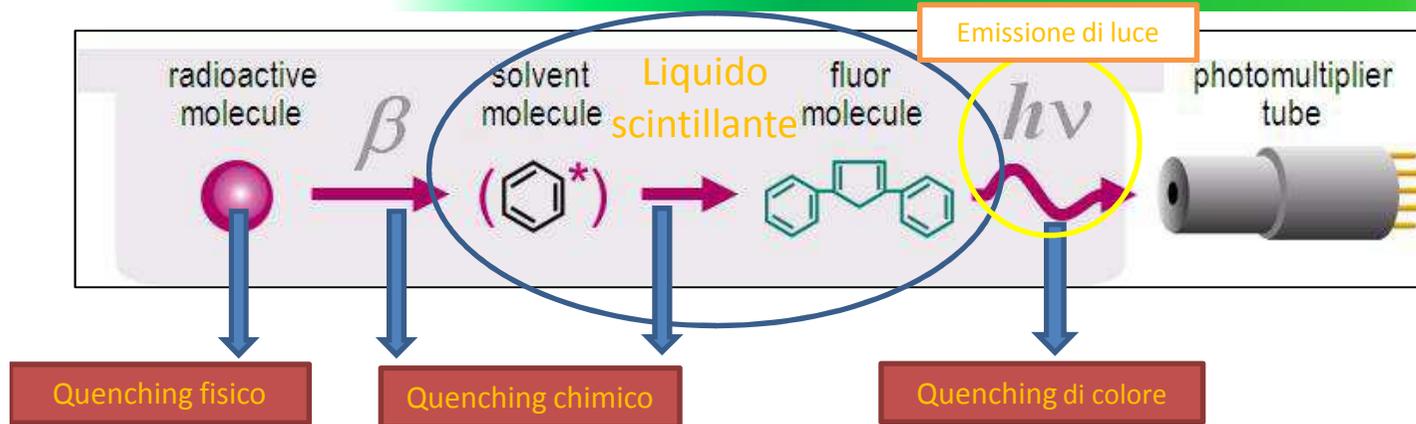


Cocktail scintillante  
Campione + Liquido scintillante

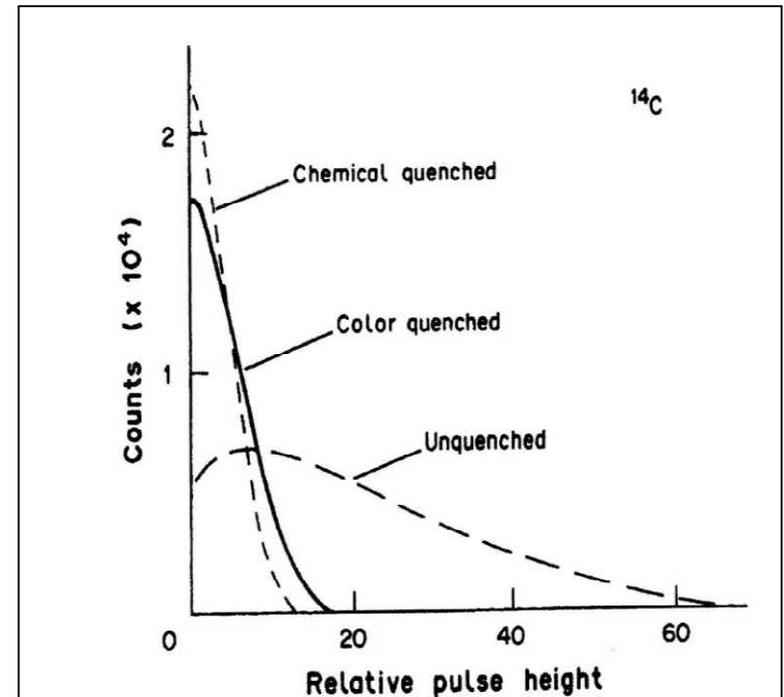
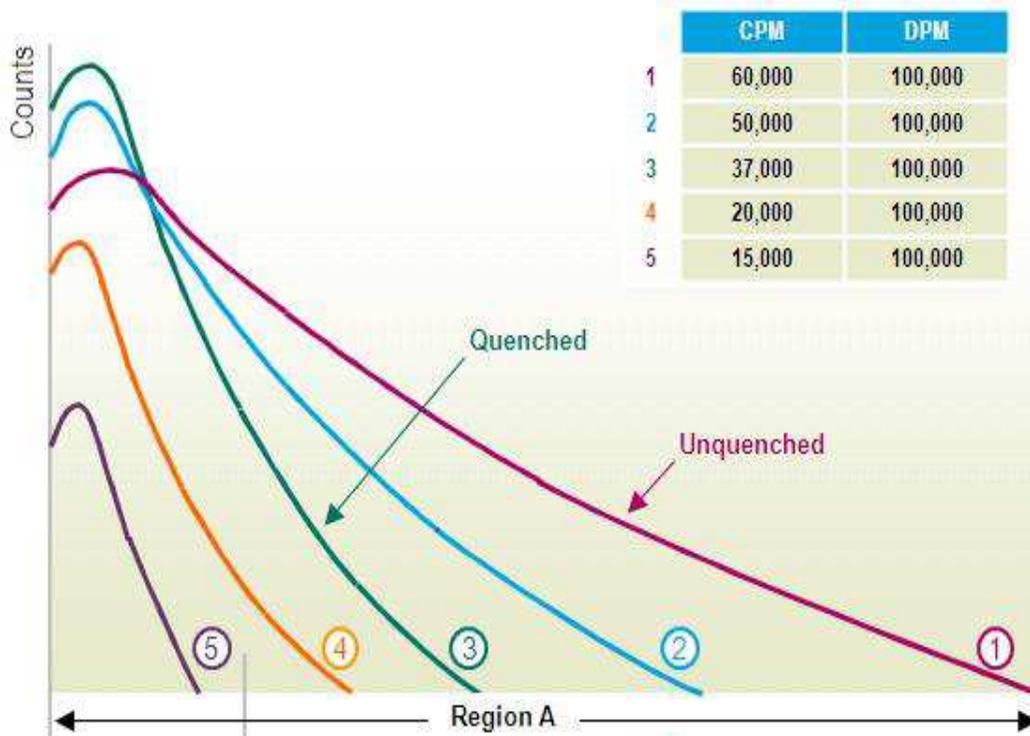


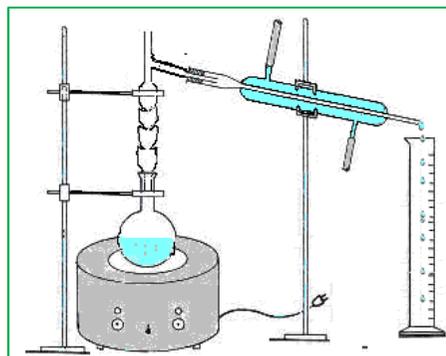
Liquido scintillante

Emissione di luce

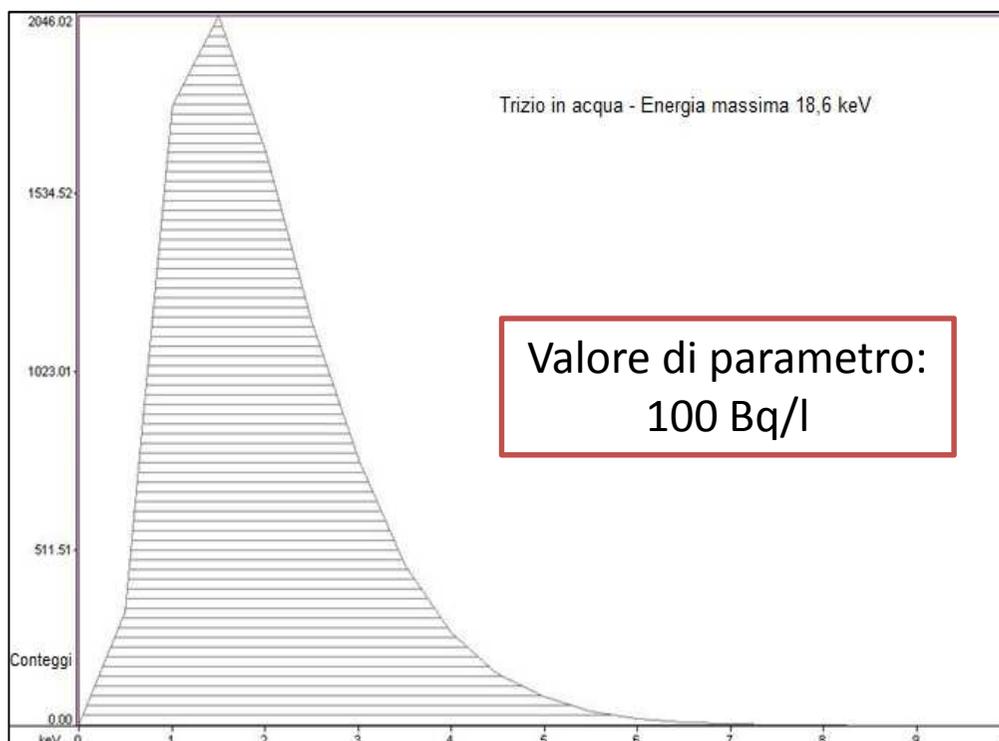


**Quenching**  
Basso trasferimento della particella ionizzante al liquido scintillante e/o di emissione di luce ai fototubi  
**degrado del segnale**

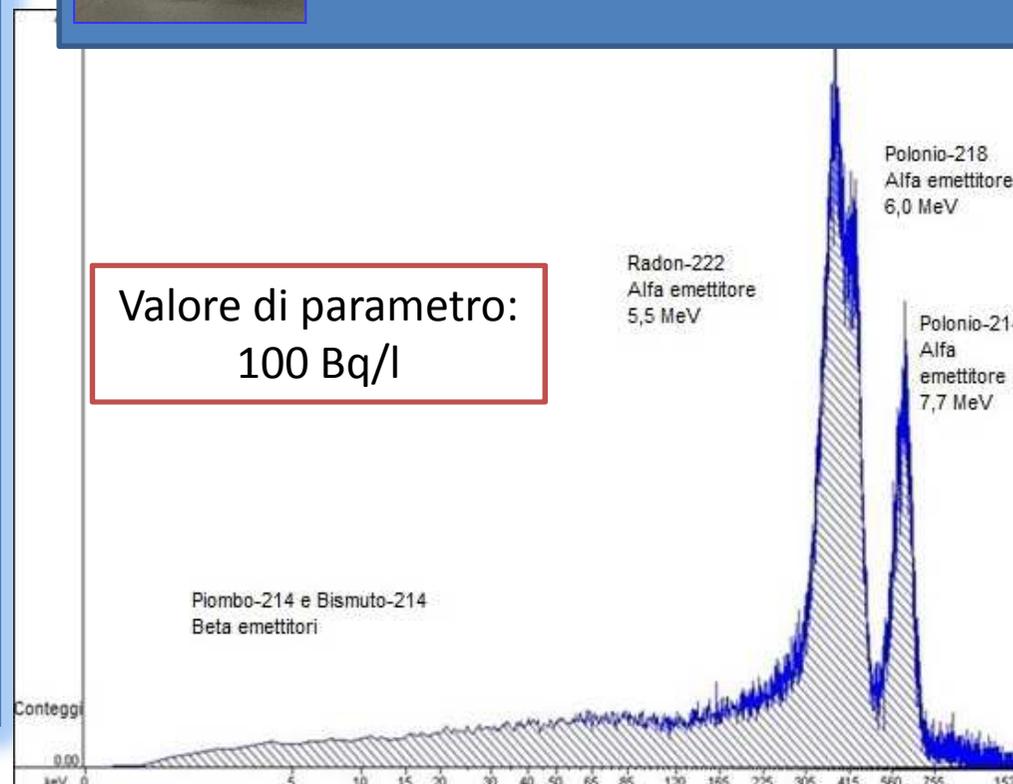
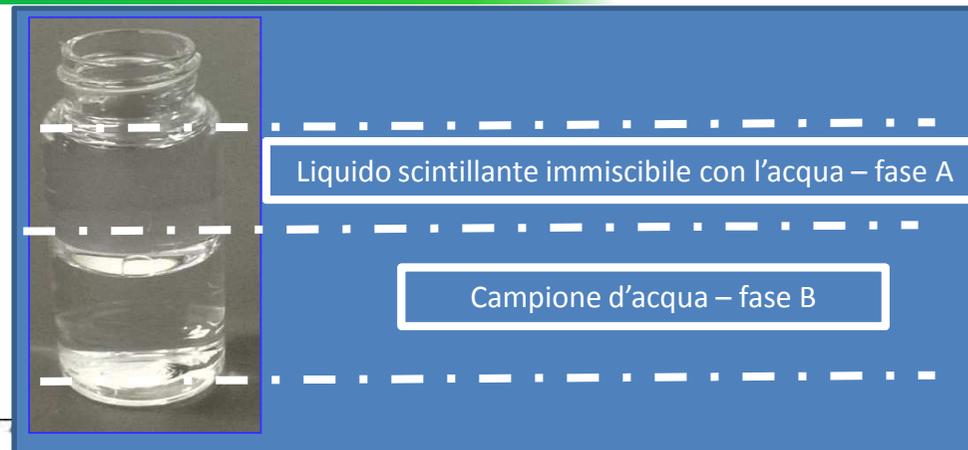




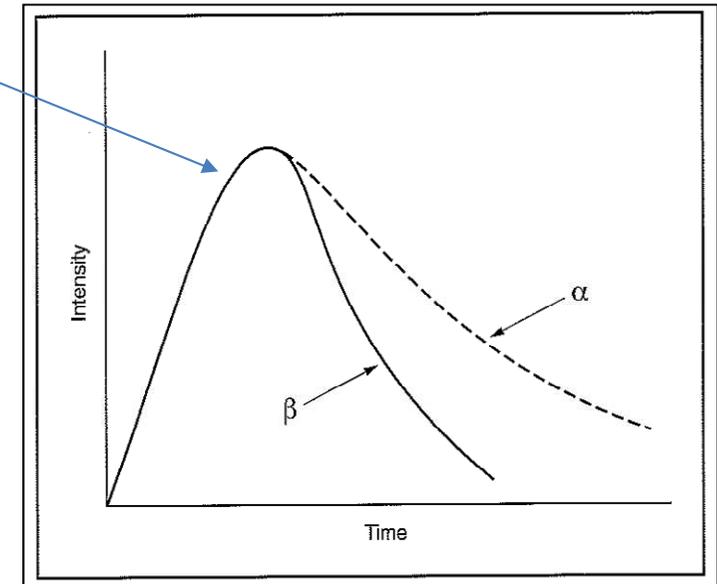
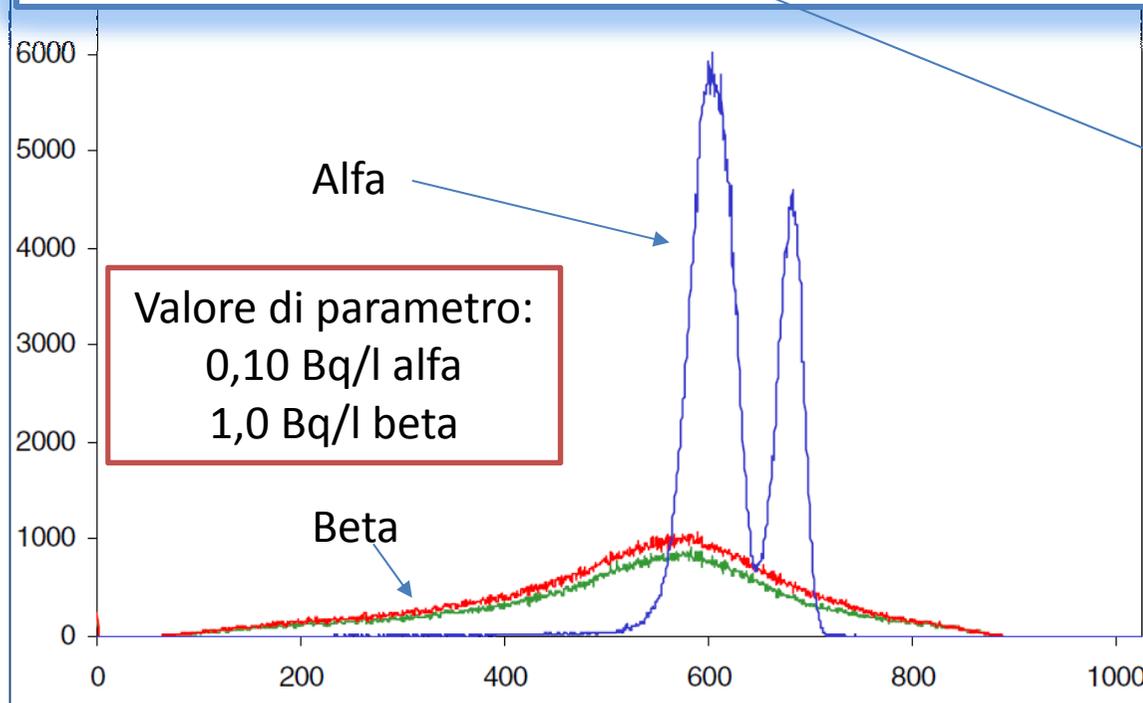
- 250 ml di campione
- Distillazione frazionata
- 1-2 ore di conteggio
- MAR inferiore a 10 Bq/l
- Tempo di preparazione del campione di 4 ore circa
- Minimizzare gli effetti di chemi e foto-luminescenza che possono interferire nella misura del fondo e del campione



- La criticità è nel campionamento: bassa dissoluzione del Radon in acqua, quindi: iniettare il campione al di sotto del liquido scintillante immiscibile con l'acqua
- Calibrazione con Ra-226 all'equilibrio con Rn-222 e figli a vita breve (21 gg)
- Misura dopo tre ore dalla preparazione della fiala affinché venga raggiunto l'equilibrio tra il Radon ed i suoi figli a vita breve.
- 10 ml di campione per pochi Bq/l di MAR con 60 minuti di conteggio.



- Utilizzo di strumenti ad ultra basso fondo e dotati di discriminatore alfa e beta
- Semplice preparazione del campione (acidificazione e pre-concentrazione), circa 20 mBq/l per l'alfa totale e 200 mBq/l per il beta totale di MAR
- Il circuito discriminatore basa la sua funzionalità sulla durata del fenomeno dell'impulso luminoso generato da un evento alfa rispetto ad un beta, più lungo il primo rispetto al secondo





Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n. 31 "Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano"

Trizio e Dose Totale Indicativa

Fornisce indicazioni non esaustive sulla caratterizzazione radiologica delle acque destinate ad uso umano  
Deve essere integrato secondo quanto indicato dalla UE



**DIRETTIVA 2013/51/EURATOM** DEL CONSIGLIO del 22 ottobre 2013 che stabilisce requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano

Trizio, Radon e Dose Totale Indicativa (alfa totale e beta totale)

I parametri di alfa totale e beta totale per la dose indicativa sono più conservativi dei livelli individuati nell'ultima edizione delle linee guida per la qualità delle acque pubblicati dalla WHO

### Proposta di screening radiologico

- **Trizio:** scintillazione liquida, al superamento del valore di parametro, 100 Bq/l, utilizzare la spettrometria gamma per verificare il sospetto di presenza di radionuclidi artificiali;
- **Radon:** scintillazione liquida, superamento del valore di parametro, 100 Bq/l, verificare il non superamento di 1000 Bq/l e determinare la presenza di Piombo-210 e Polonio-210, figli a vita lunga;
- **Alfa totale:** scintillazione liquida, al superamento del valore di parametro, 0,10 Bq/l, verificare la presenza di Uranio, Radio-226 e Polonio-210 e determinare la DI verificandone il non superamento di 0,10 mSv/anno (da integrarsi con l'attività beta totale residua se anch'essa supera il valore di parametro);
- **Beta totale:** scintillazione liquida, al superamento del valore di parametro, 1,0 Bq/l, verificare la presenza di Radio-228 e Piombo-210 e determinare la DI verificandone il non superamento di 0,10 mSv/anno (da integrarsi con l'attività alfa totale se anch'essa supera il valore di parametro);
- **Emettitori gamma:** spettrometria gamma, consente uno screening generico sugli emettitori gamma sia naturali che artificiali fornendo indicazioni complementari per le analisi dei punti precedenti.

Scintillazione liquida

+

Spettrometria gamma

# ***GRAZIE PER L'ATTENZIONE***

## **Giacomo Zambelli**

Elenco fisici professionisti ANFeA, sezione A, settori  
«Fisica della Terra, dell'ambiente e del territorio»  
«Fisica industriale, fisica dei materiali e tecniche  
dell'informazione»

Esperto Qualificato di II grado  
Tecnico Competente in Acustica Ambientale  
Dirigente Gestione del Rischio Amianto

Socio di ANPEQ, AIRP, AIDII, SIF, AGI, ANFeA

[zambelli@protexgroup.com](mailto:zambelli@protexgroup.com)  
Protex Italia SpA - Lavoro e Ambiente Srl  
Gruppo Laboratori Protex

**PROTEX ITALIA SPA**  
**GRUPPO LABORATORI PROTEX**  
*Via Cartesio 30 - 47122 Forlì (FC)*  
*Tel. 0543.724747*

**LAVORO E AMBIENTE SRL**  
**GRUPPO LABORATORI PROTEX**  
*Via Cartesio 30 - 47122 Forlì (FC)*  
*Tel. 0543.724429*

[www.protexgroup.com](http://www.protexgroup.com)

