

Monitoring of radioactivity in surface and underground water: From sampling to dose assessment

Rosella Rusconi

ARPA Lombardia - Centro Regionale Radioprotezione (CRR)

Via Juvara 22 - 20129 Milano - Italy

r.rusconi@arpalombardia.it



1. ARPA Lombardia – Presentation
2. Natural and artificial radioactivity in the environment
3. Emergency Quick Alert
4. European and National Environmental Radioactivity Network
5. Water Monitoring
6. Surface water
7. Environmental markers: Fish and Suspended Particles
8. Activity – Dose – Limit of detection
9. Conclusions

ARPA Lombardia – Presentation

SCOPRI ARPA TEMI AMBIENTALI DATI E INDICATORI EDUCAZIONE AMBIENTALE ARPA PER LE IMPRESE RAPPORTO STATO AMBIENTE DOCUMENTI



NEVE E VALANGHE



ARPA IN 10 NUMERI



IL METEO IN LOMBARDIA



PER I BAMBINI



**TEMI
AMBIENTALI**

SCOPRI DI PIÙ



ACQUA



MONITORAGGIO GEOLOGICO



RIFIUTI

ARPA Lombardia

- ARPA is a government Agency in charge of **preventing and monitoring environmental pollution**
- It is one of the 21 Italian Agencies operating in the framework of the Network of Italian Environmental Agencies (SNPA), coordinated by the National Environmental Agency (ISPRA) in Rome



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



ARPA Lombardia - Organization

- Lombardia region: 9 Million people, 15% of Italian population, highest concentration of productive activities
- ARPA Lombardia:
 - 13 offices in the main towns of the region
 - Around 1,000 people employed: chemists, biologists, physicists, engineers, etc.
 - Headquarters: Milano



ARPA Lombardia – Main fields of activity

- Air
- Surface water
- Groundwater
- Biodiversity

Environmental Monitoring



- Industrial emissions (air, water, wastes)
- Environmental remediation
- Noise
- Non Ionizing Radiation

Controls



- Hydrographic service
- Geological Risk
- Meteorology
- Weather Climatology

Natural Risks



- Radioactivity
- Radon

Radiation Protection



- IPA, As, Ni, Cd, Pb Samples
- Annual and daily bulletins
- Monitoring campaigns

Air Quality



- Environmental impact assessments
- Strategic environmental assessments

Environmental Assessment



Radiation Protection Centre

- 10 staff members: chemists, biologists and physicists
- 2 measurement labs (Milano and Bergamo), 1 radiochemistry lab accredited under ISO 17025
- Equipment for alfa, beta and gamma measurement, both in field and in lab
- Tools for data evaluation and risk assessment



Radiation Protection Centre

- Member of the National Network for Environmental Radioactivity Monitoring

- Member of IAEA ALMERA Network



- Scientific advisors of National and Regional Health Authorities for problems due to radioactive materials

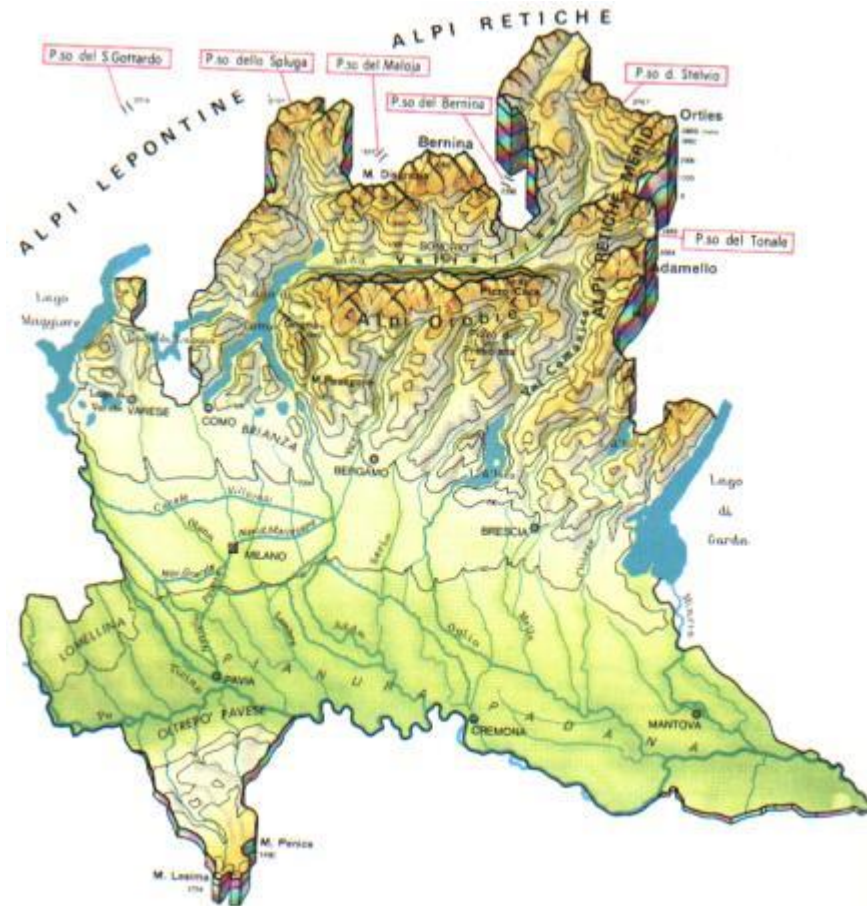


- Since 2000 member of ISO Committees

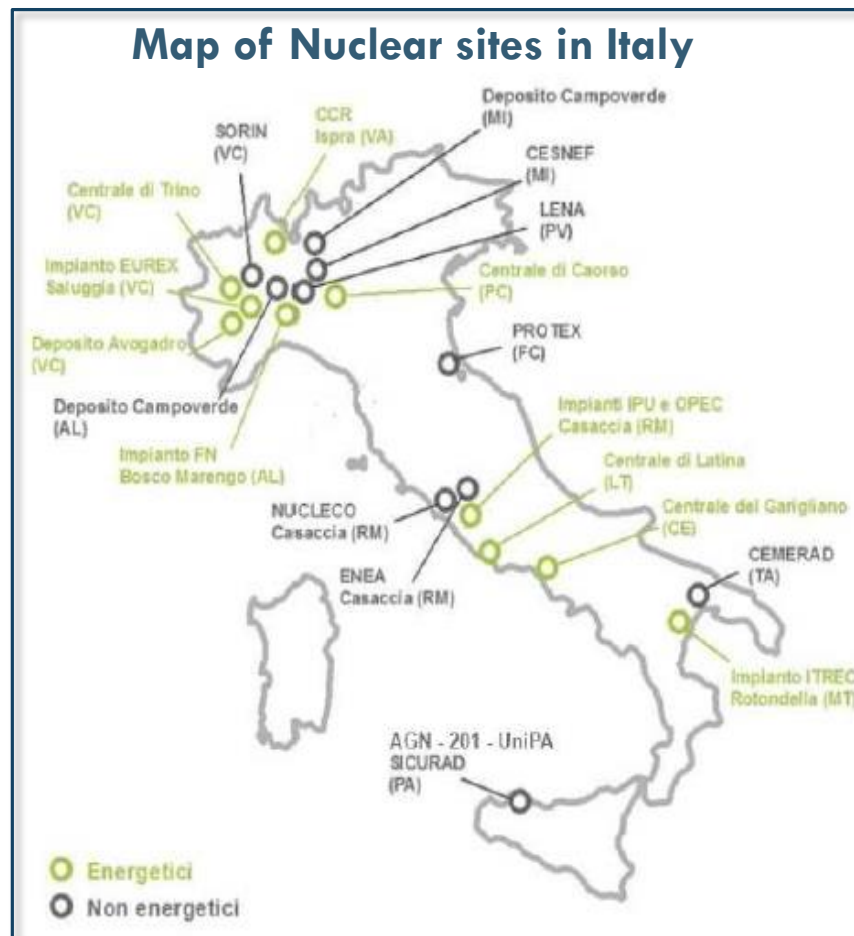


International
Organization for
Standardization

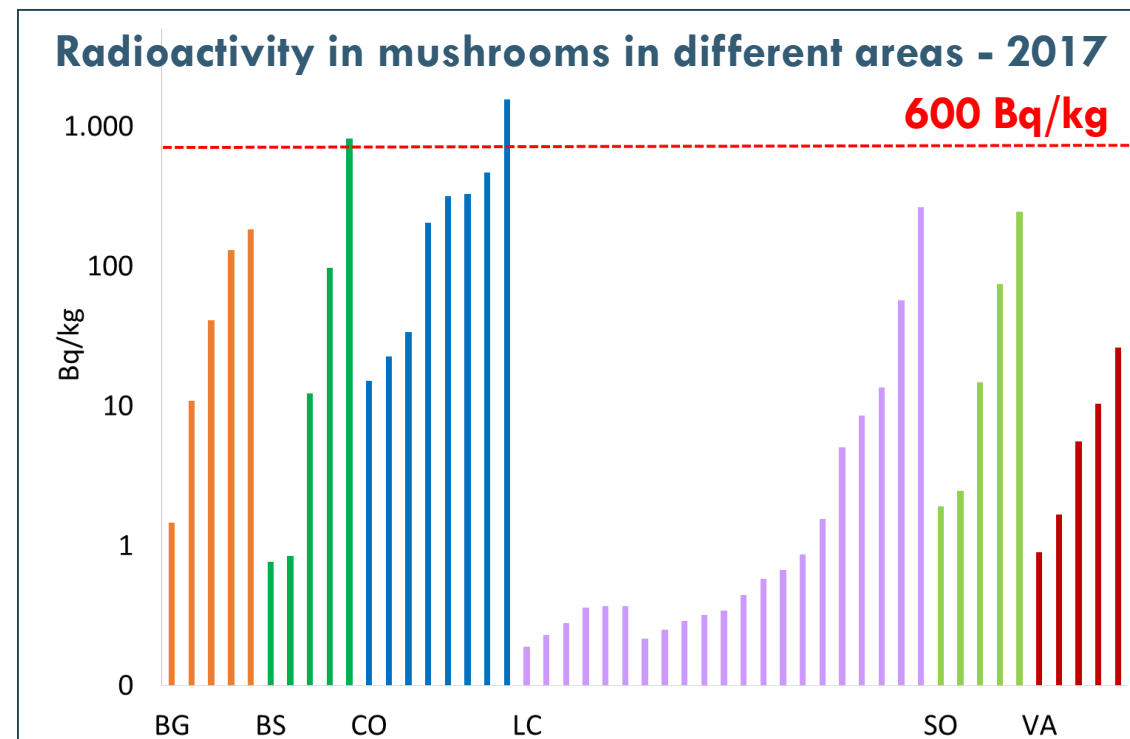
Natural and artificial radioactivity in the environment



Radioactivity in the environment



- Discharges from nuclear sites (**10 NPP under decommissioning**)



Radioactivity in the environment

- **Wastes from medical use of radioactivity**
- **Areas contaminated as a result of past activities:**
 - **NORM** industries (phosphogypsum repositories)
 - Waste repositories from accidents occurred in the past (**radioactive source melting** in foundries)

Contaminated wastes in incineration plants

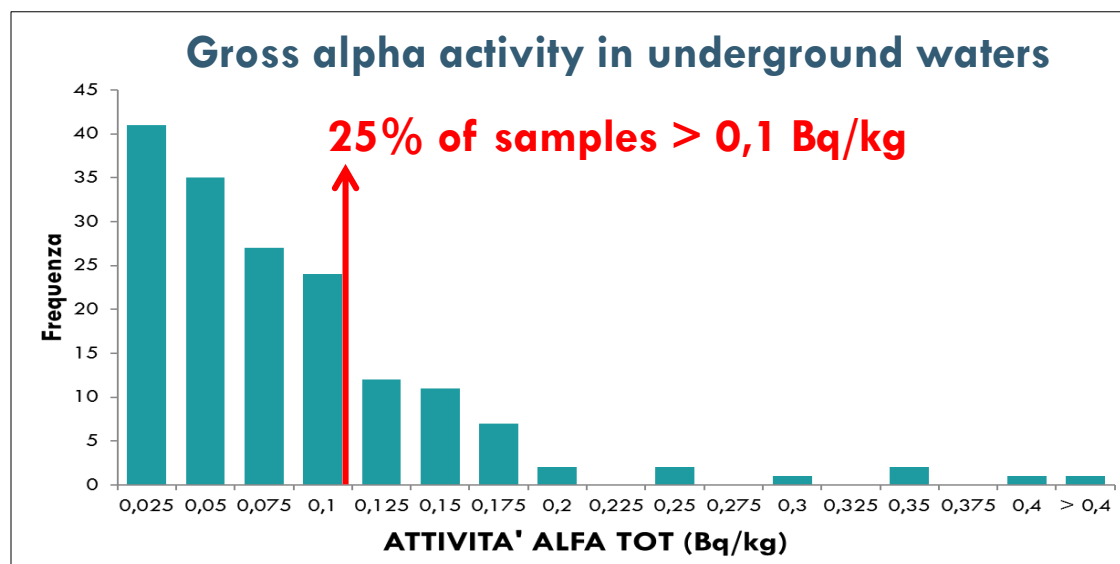


Wastes from radioactive source melting in foundries

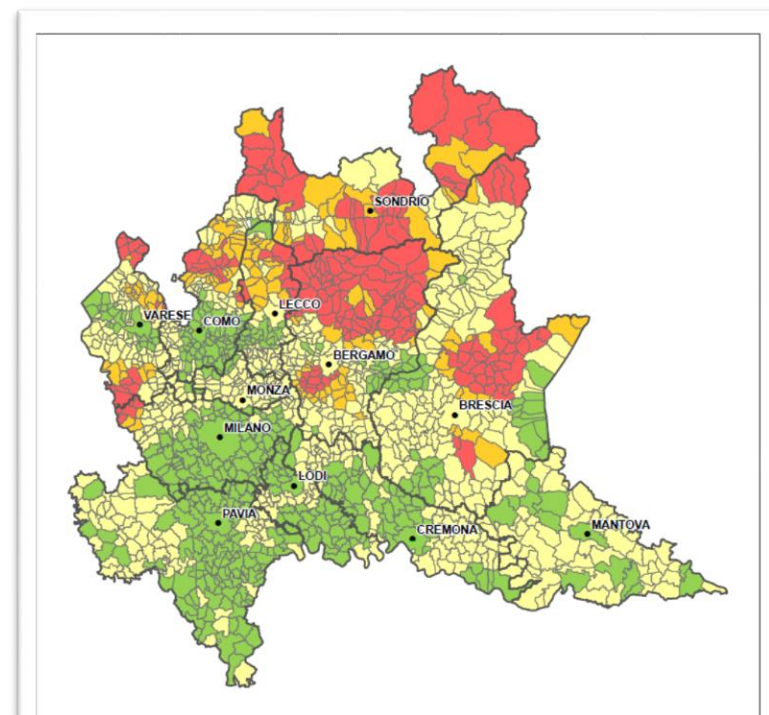


Radioactivity in the environment

- Natural radioactivity
 - Underground waters (radon, radium, uranium, etc.)



- Radon indoor
(Regional mean value = 116 Bq/m³)



Emergency Quick Alert



Air monitoring – Gas and particulate

- TSP monitoring: running since 1988
- Gas monitoring: running since 1997

Sampling point and frequency

- Milano city centre
- Particulate: Daily (continuous from 9 a.m. to 9 a.m.)
- Gas: Weekly

Measurement frequency

- Particulate: Daily, Weekly, Monthly
- Gas: Weekly



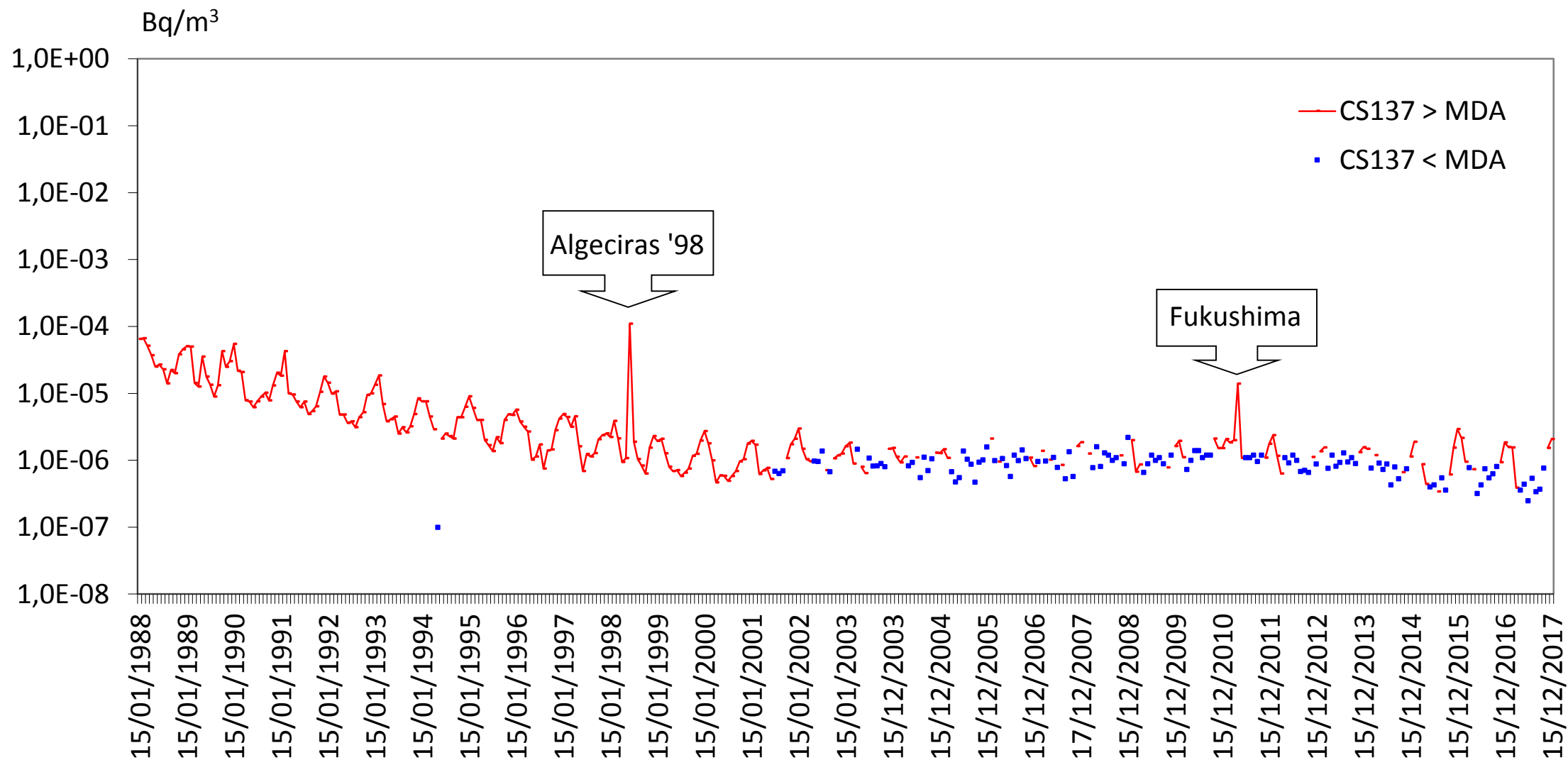
**Monitoring conditions
optimized for quick
alert of “relevant”
air contamination**

Air monitoring – Sampling unit

- **Housing:** Commercial
(Air Sampler GMWL-2000 H - General Metal Work Inc. US)
- **Flow counter:** Commercial (Schlumberger; resolution 0,01 m³)
Uncertainty in flow rate measurement: 5%
- **Pumping system:**
Flow: $\approx 100 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\approx 2400 \text{ m}^3/\text{d}$)
- **Filtering unit:**
Glass microfiber filter (Whatman GF/A CAT No. 1820-866, 203x254 mm) + **iodine trap**

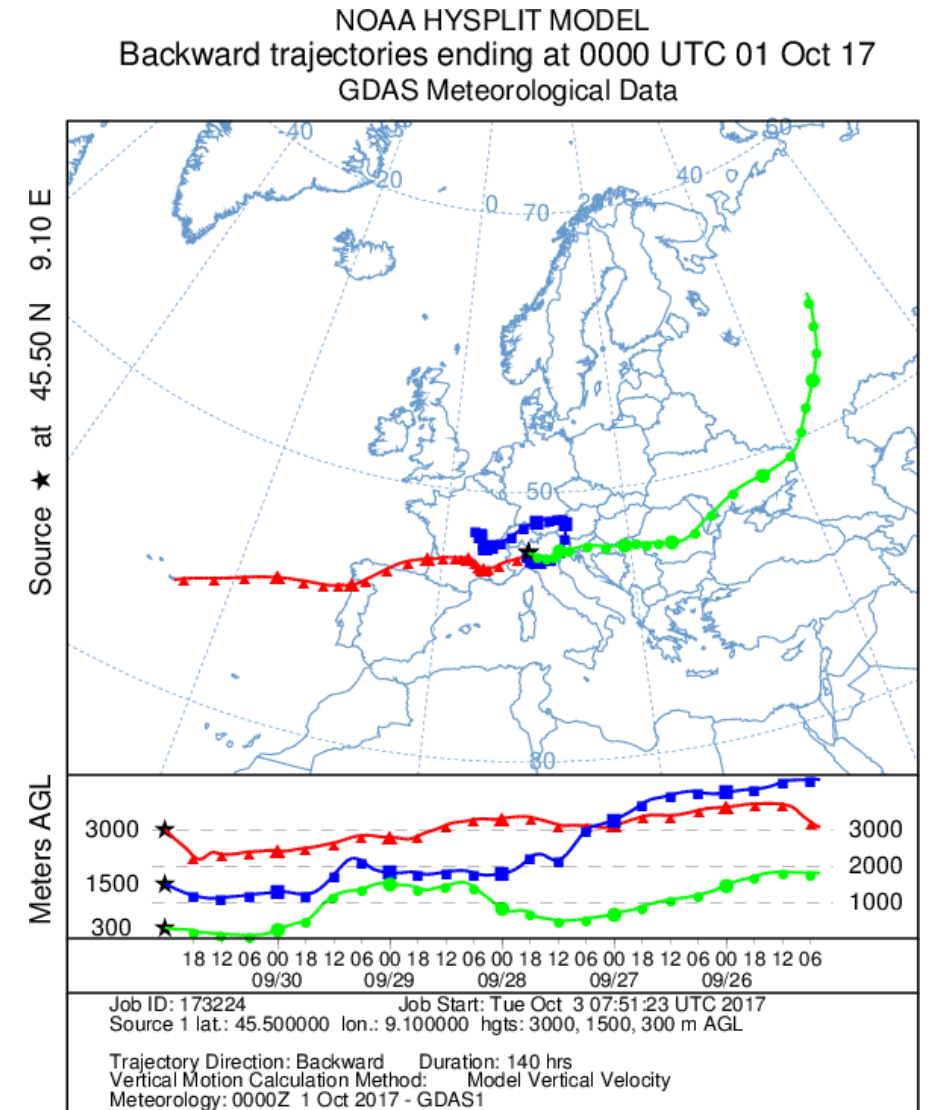
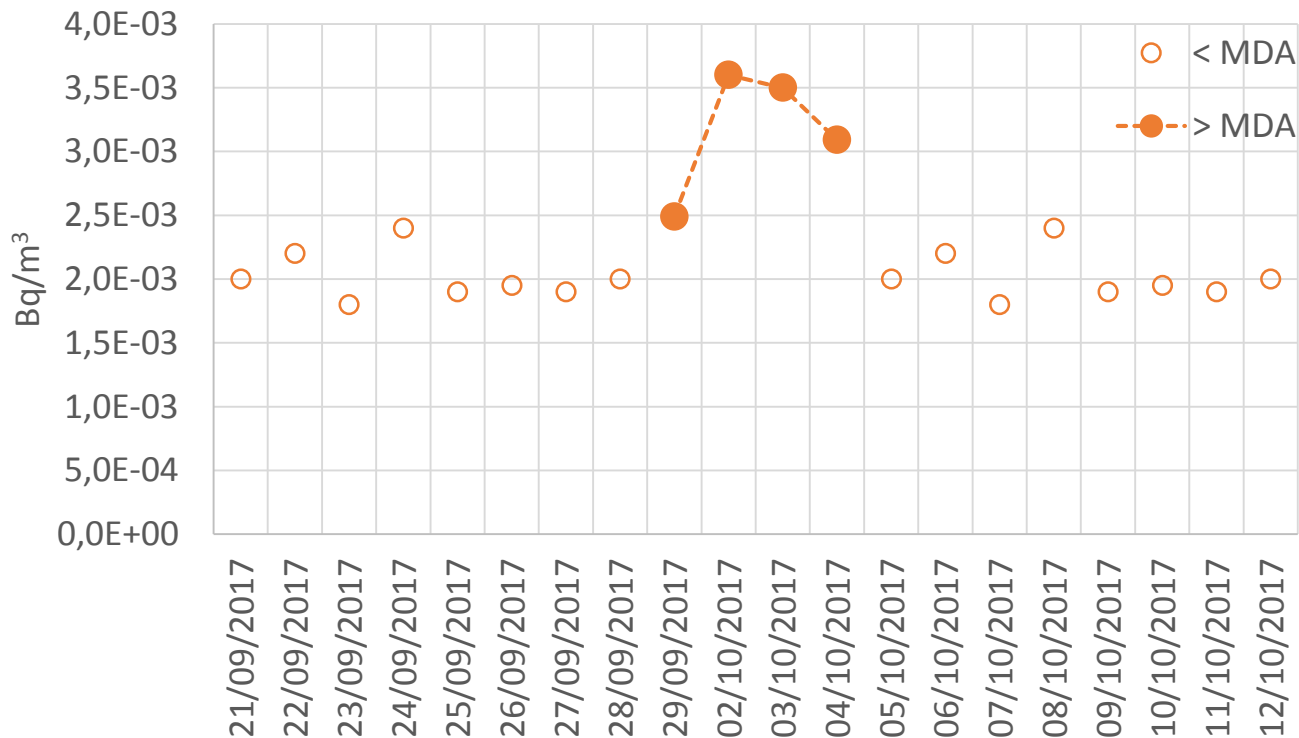


Air monitoring – Particulate



Air monitoring – Early detection of Ru-106

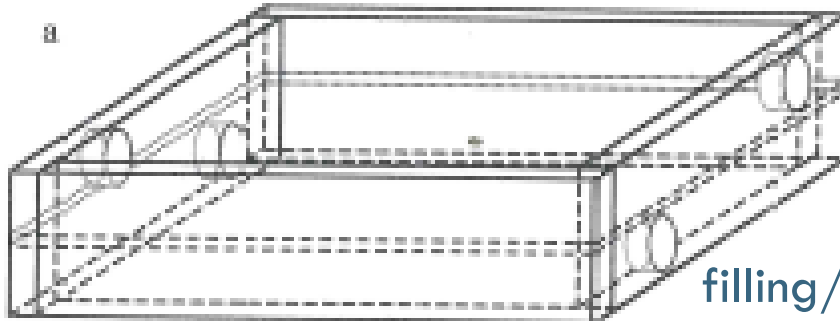
Ru-106 in air – September – October 2017



Air monitoring – Iodine trap



Methylmetacrylate box



Beds separated by double metal grids
(2 different meshes), silicon sealed



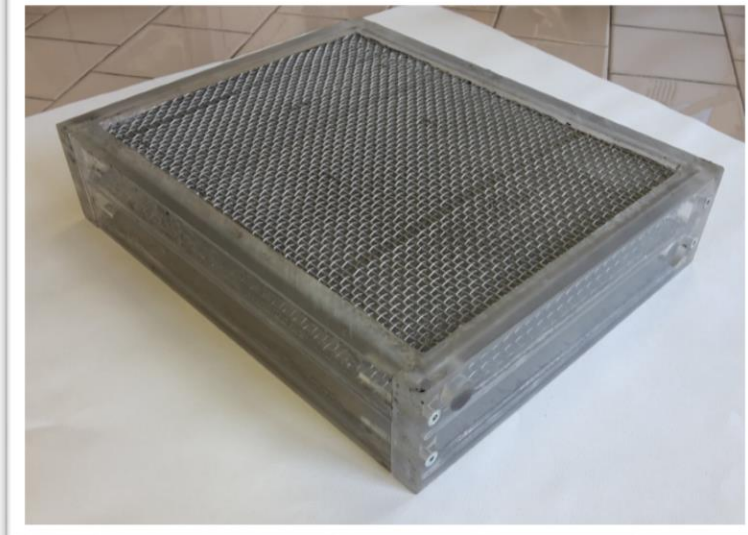
2 beds, each one:



19 x 24 x **2,4** cm

≈ 500 g RKJ (≈ 1 L) (Marinelli)

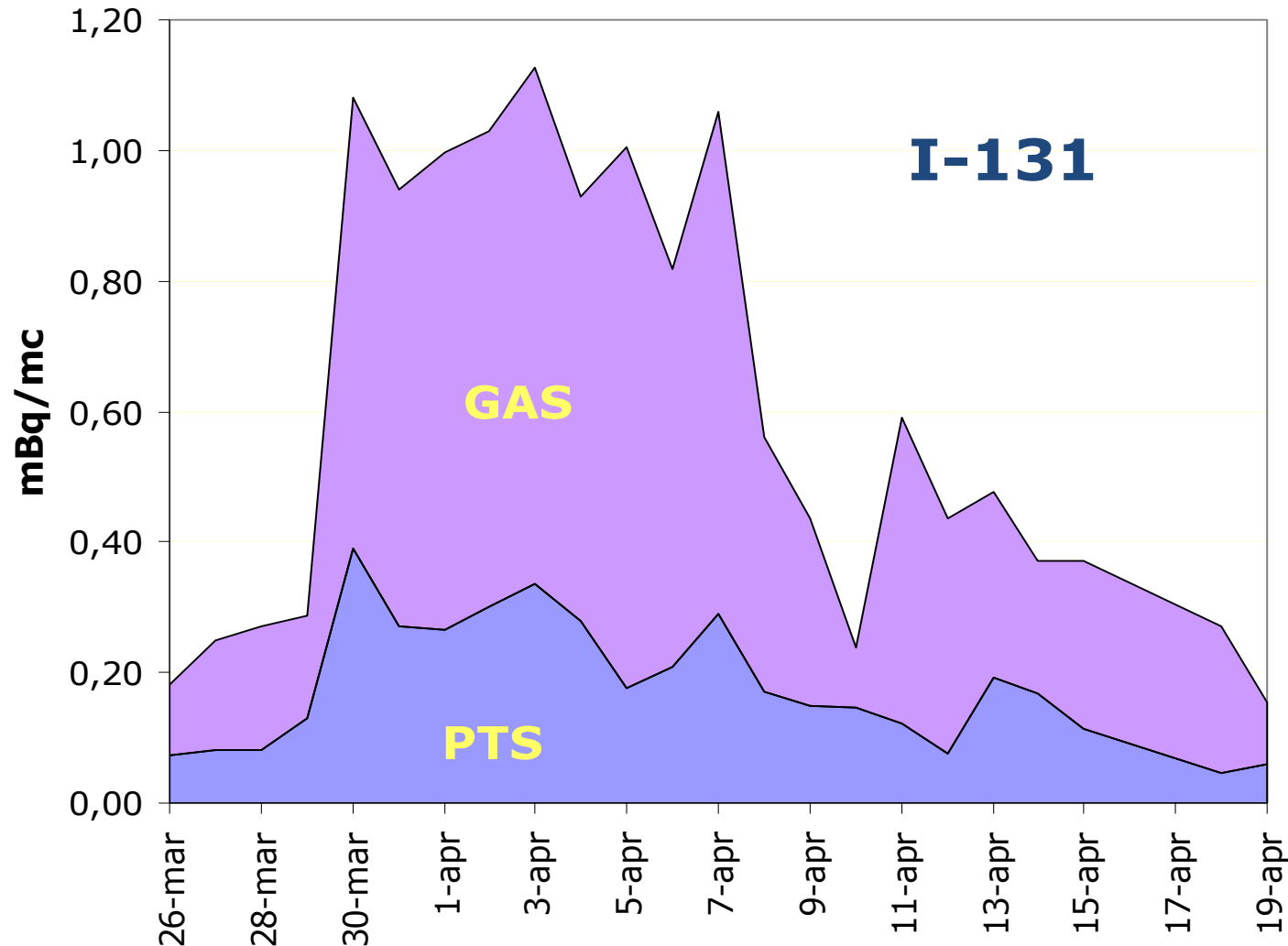
filling/emptying holes



NORIT RKJ

- * Granular activated carbon
- * Elemental, ionic and organic I retention
- * Pellet diameter: 1.3 – 1.5 mm
- * BET surface area: 900 – 1000 m²/g

Air monitoring – Iodine 131



FUKUSHIMA 2011

Radioactivity in Air (particulate)

$$\text{Avg } I_{\text{gas}}/I_{\text{particulate}} = 80 \%$$

Results comparable to
those obtained by other
EU laboratories (Masson
et al, 2011)

Nuclear Science and Technology

Environmental Radioactivity — in the — European Community 2004-2006

DG TREN: Nuclear Energy, Radiation Protection (Luxembourg)
JRC, Institute for Environment and Sustainability (Ispra)



European and National Environmental Radioactivity Network

Monitoring Network

ARPA is part of the **National Environmental Radioactivity Network**, fulfilling requirements of European Union:

- European Commission Recommendation 2000/473
- European Council Directives (2013/51/EURATOM)

Environment Monitoring



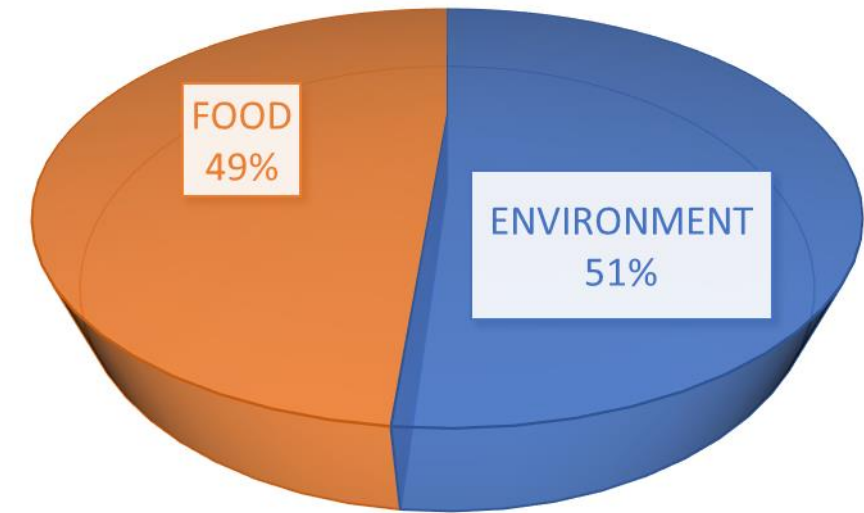
Source Related Monitoring



No. of samples analyzed

- Food and environmental samples, about 1 000 samples per year

Sample	Radionuclide	Minimum Detectable Activity
AIR	GROSS BETA Cs-137	0,005 BQ/M ³ 0,03 BQ/M ³
SURFACE WATER	GROSS BETA Cs-137	0,6 BQ/L 1 BQ/L
DRINKING WATER	H-3 Sr-90 Cs-137 NATURAL RADIONUCLIDES	100 BQ/L 0,06 BQ/L 0,1 BQ/L NOT SPECIFIED
MILK	Sr-90 Cs-137	0,2 BQ/L 0,5 BQ/L
MIX DIET	Sr-90 Cs-137	0,1 BQ/DAY PER PERSON 0,2 BQ/DAY PER PERSON



as required by European Commission
Recommendation 2000/473

Monitoring Network

2017

SURFACE WATER

79

DRINKING WATER

157

mSv

DOSE

3
2,5
2
1,5
1
0,5
0

0,003

0,037

0,1

2,4

Food consumption
Dose per year

1 Flight FRA-NYC

1 RX exam

Natural
radioactivity
Dose per year



Water Monitoring



Drinking water

- According to European Council Directive 2013/51:
 - monitoring of major ground or surface water supplies and water distribution networks

Parameter	Parameter value	Derived concentration	Limit of detection required by UE Directive
RADON	100 Bq/L		10 Bq/L
TRITIUM	100 Bq/L		10 Bq/L
INDICATIVE DOSE	0,1 mSv/y		
Gross Alpha		0,1 Bq/L	0,04 Bq/L
Gross Beta		1 Bq/L	0,4 Bq/L
U-238		3 Bq/L	0,02 Bq/L
Ra-226		0,5 Bq/L	0,04 Bq/L
Cs-137		11 Bq/L	0,5 Bq/L

Indicative Dose < 0,1 mSv/y



Gross alpha and beta as screening parameters

IF EXCEEDED

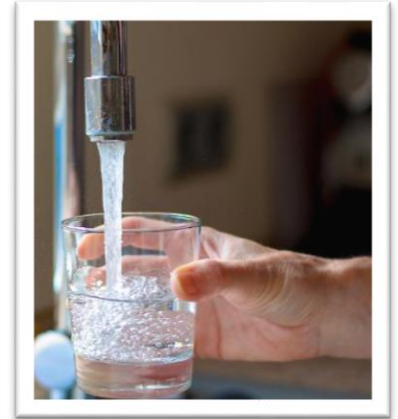


Single nuclides

Drinking water: Monitoring network

- Extensive monitoring of Gross Alpha and Beta (Gross Beta including possible contribution of Cs-137):

- Sampling about 0,5 L of water from tap
- Measurement by Liquid Scintillation Counting with ISO 11704:2010



20 mL Teflon
Coated
Polyethylene
Vials

MEASUREMENT METHOD

100 mL of sample concentrated 1:10 by evaporation

pH adjusted to 2,5

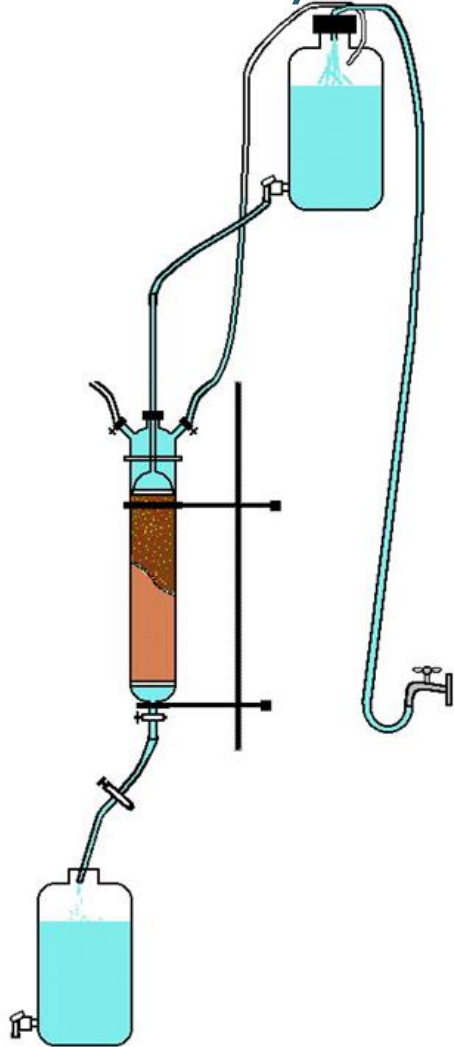
8 mL sample + 12 mL liquid scintillation cocktail

1000 min counting with alpha/beta discrimination

Parameter	Screening value	Limit of detection Required by Law	Limit of detection in our Lab
Gross Alpha	0,1 Bq/L	0,04 Bq/L	0,008 Bq/L
Gross Beta	1 Bq/L	0,4 Bq/L	0,08 Bq/L

Drinking water: Monitoring network

- In selected points, continuous sampling for high sensitivity monitoring by Gamma Spectrometry



METHOD

- Continuous elution, over 1 month, on a column (1 kg) of ionic exchange resin
- Measurement by Gamma Spec. for 4000 minutes

HPGe Detectors, 30% relative efficiency:

Parameter	Amount of sample	Counting Time	Limit of detection *
Cs-137	1 L	1000 min	0,1 Bq/L
	200 L	4000 min	0,0005 Bq/L

* Limit of detection required by EU: 0,5 Bq/L



Drinking water: Monitoring network

Results at a glance:

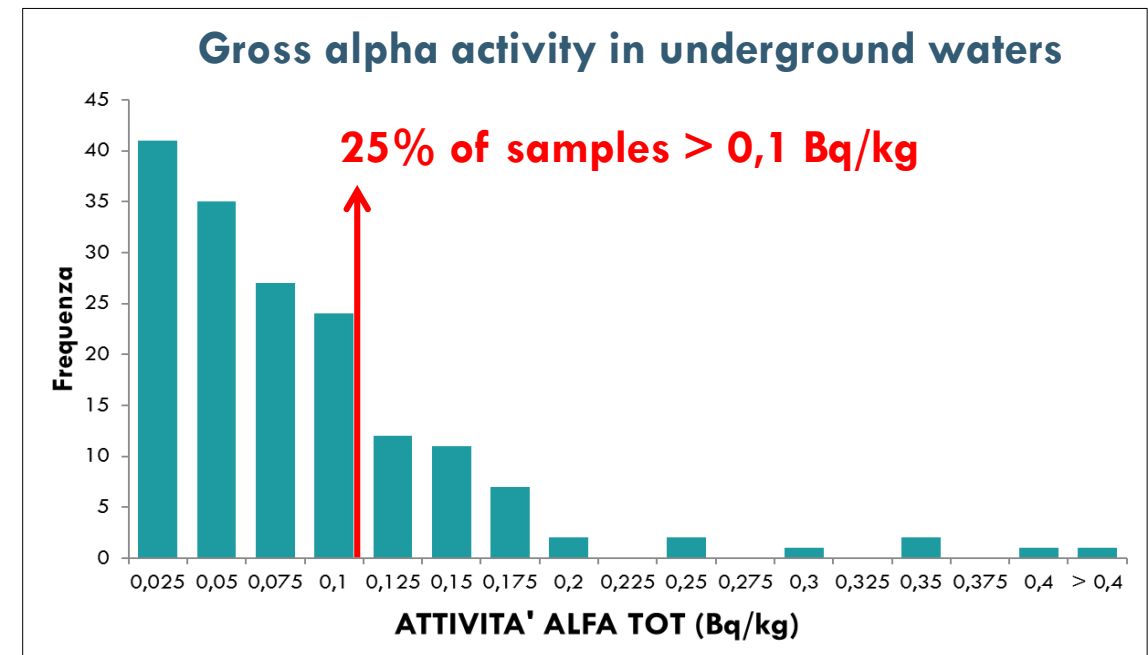
➡ Gross Alpha:

- 25% of samples $> 0,1$ Bq/L
- Mainly due to Uranium isotopes (natural origin)

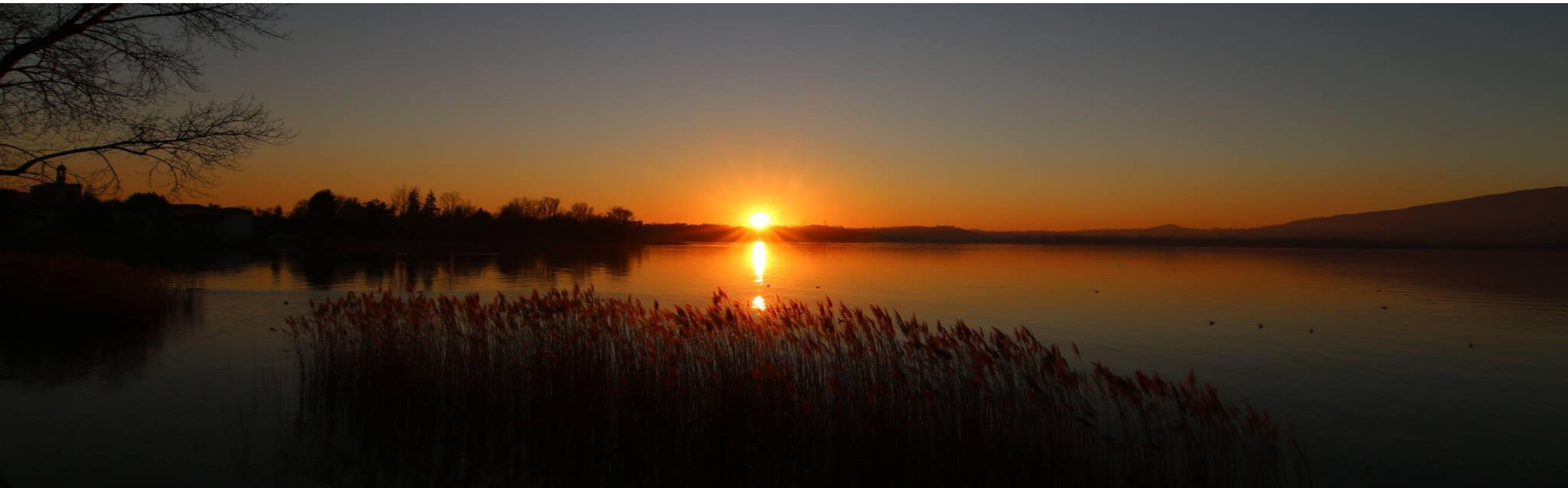
➡ Gross Beta:

- $<$ Limit of Detection (0,08 Bq/L)

➡ Artificial nuclides (Gamma Spec.) $<$ L.D. (0,0005 Bq/L for Cs-137)



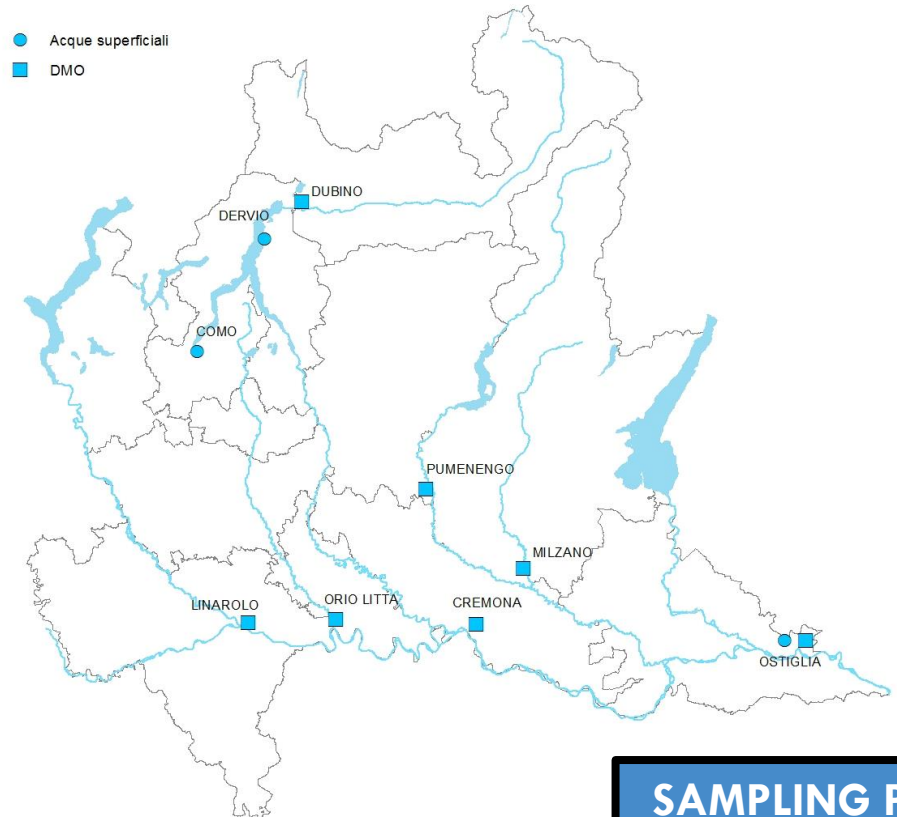
Surface water



Surface water

- According to European Recommendation 2000/473:
 - monitoring of major inland waters for *Residual beta* and *Cs-137*

SAMPLING POINTS:
36 rivers, 17 lakes



SAMPLING POINTS:
7 rivers, 1 lake

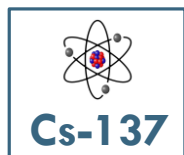
Surface water

- For surface water samples:

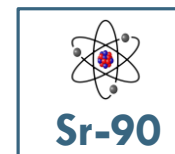
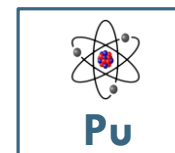
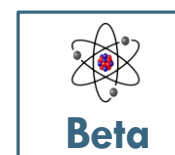
Reporting Level as required by EU Commission ($\geq$ Detection limit):

- Residual beta: 0,6 Bq/L
- Cs-137: 1 Bq/L

In few cases more parameters are required (Pu isotopes, Sr-90)



Direct sampling (1 liter) and measurement by Gamma Spec.:
1 L, Marinelli Beaker, 1000 min counting time, HPGe 30%
L.D. = 0,1 Bq/L



Radiochemistry:

- ISO 11704 Gross beta
(L.D. = 0,08 Bq/L)
- ISO 13167 Pu isotopes
- ISO 13160 Sr-90

Surface water: results at a glance

- Sampling point: Dervio (Como lake)
- Sampling depth: 5 mt
- 2 samples per year (spring + autumn)

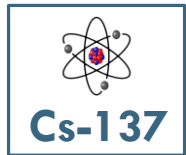


	Gross alpha Bq/kg	Gross beta Bq/kg	Pu-239/40 Bq/kg	Pu-238 Bq/kg	Sr-90 Bq/kg	Cs-137 Bq/kg
Autumn	$0,0212 \pm 0,0087$	$< 0,091$	$< 0,000047$	$< 0,000042$	$< 0,0057$	$< 0,10$
Spring	$0,0238 \pm 0,0092$	$< 0,085$	$< 0,00019$	$< 0,00016$	$< 0,0050$	$< 0,10$
L.D.*		$0,6 \text{ Bq/L}$				1 Bq/L

* L.D.: Limit of Detection as required by EU Commission Recommendation 2000/473

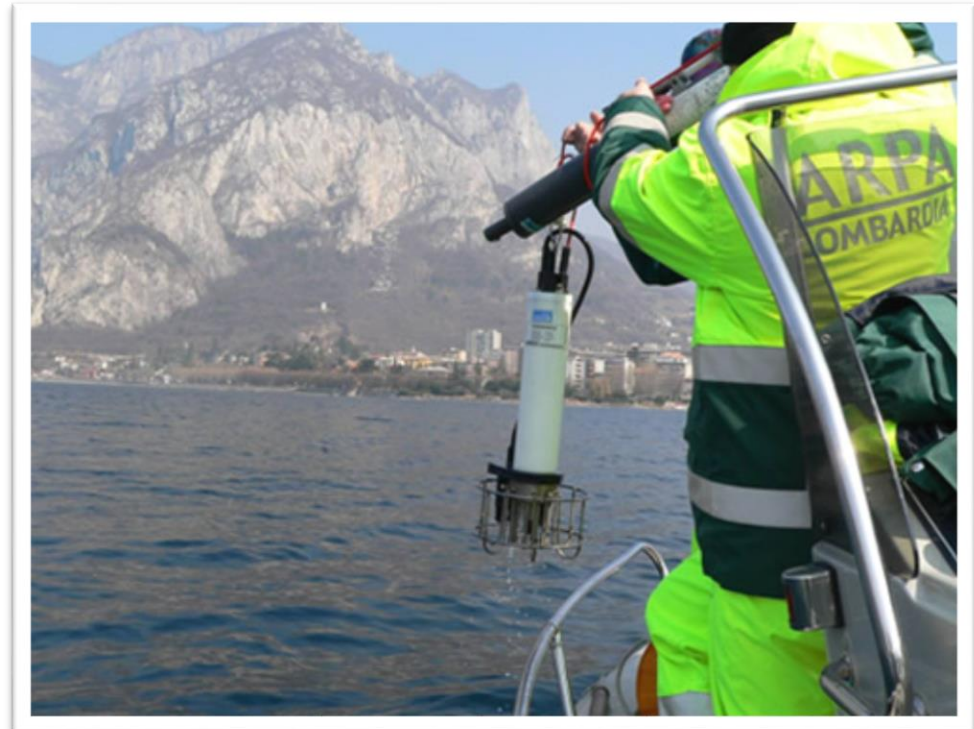
Surface water

- In few cases lower limits of detection (Gamma emitters, Cs-137) are required



Direct sampling of 5 liters followed by sample concentration:

- Absorption on ion exchange resins
- Sample evaporation with SiO₂



Absorption on ion exchange resins

- Resin: Amberlite MB6113 (mixed bed) with saturation indicator
- Resin capacity: ~ 35 ml resin / g dry residue (depending on dissolved salts)
- Resin amount: $\sim 0,1$ L
- Sample amount: ~ 5 L
- Elution rate: ~ 40 mL/min
- Contact time: $\sim 2,5$ min
- Resin uptake: tested by atomic adsorption analysis on eluate (stable Ca) – 100%



Sample evaporation with SiO_2

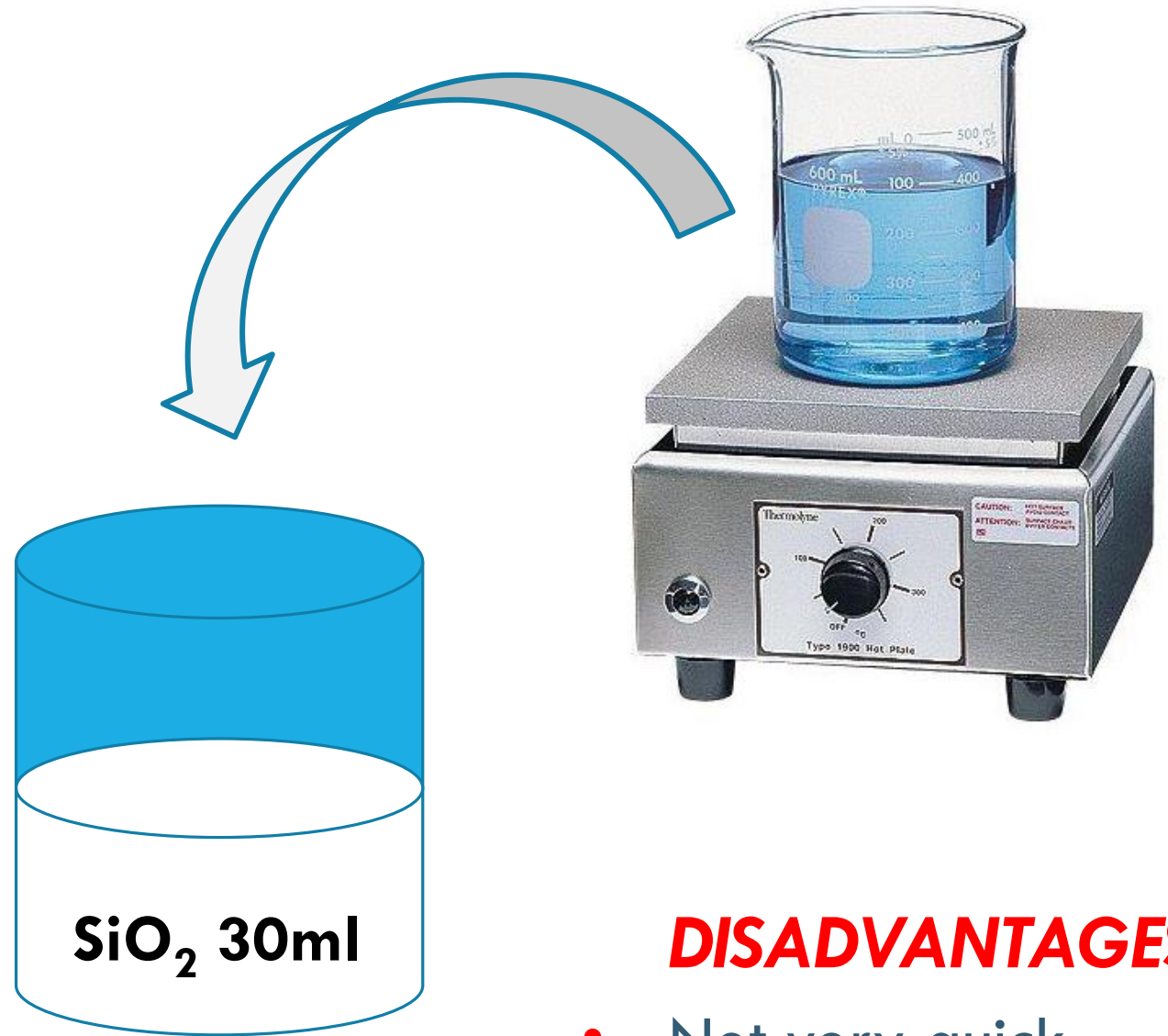
- Sample evaporated on a hot plate
- Water samples is acidified (nitric acid, pH 2 c.a.) to avoid salts precipitations and adhesion on beaker walls
- Inert material (silica-gel – SiO_2) is added (~ 25 g)
- Sample is evaporated to dryness, silica gel is transferred in a beaker and measured
- No filtration required
- Up to 10 liters can be easily treated (3-7 days)



**METHOD TESTED BY SPIKED SAMPLES,
 YIELD = 100%**

ADVANTAGES

- Works well independent on the amount of dissolved salts
- Once dried is still dusty (no crusty scales, no residues left on beaker)
- The residue recovery (powder) is easy and complete
- Very easy to attain correct geometry and density
- Silica gel is easily available and in high purity
- Relatively cheap: $\sim 0,1 \text{ €/g}$ of SiO_2



DISADVANTAGES

- Not very quick

Limit of Detection of different methods for Cs-137

HPGe detector, 30% relative efficiency

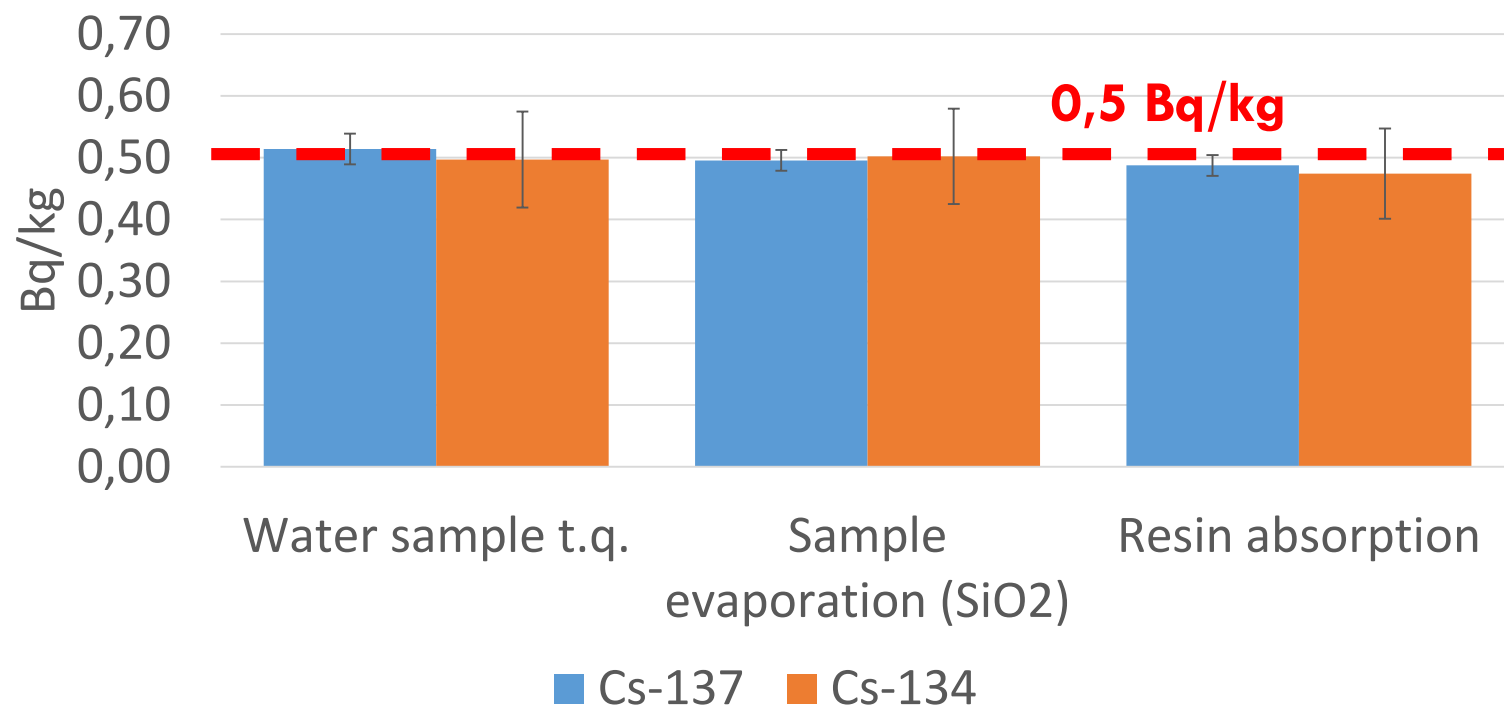
	Water as is	Sample evaporation (SiO ₂) Resin absorption	Resin absorption
Amount of sample	1 L	5 L	200 L
Geometry	Marinelli 1 L	Beaker 30 cc	Marinelli 1 L
Counting time	1000 min	1000 min	4000 min
MDA Cs-137	0,1 Bq/L	0,01 Bq/L	0,0005 Bq/L

Methods comparison – IAEA PT 2016

1. Water analysis (as is)
2. Sample evaporation (SiO_2)
3. Absorption on ion exchange resins – low volume

QC
SAMPLE

Sample 3 - Spike



Expected value:
0,5 Bq/kg

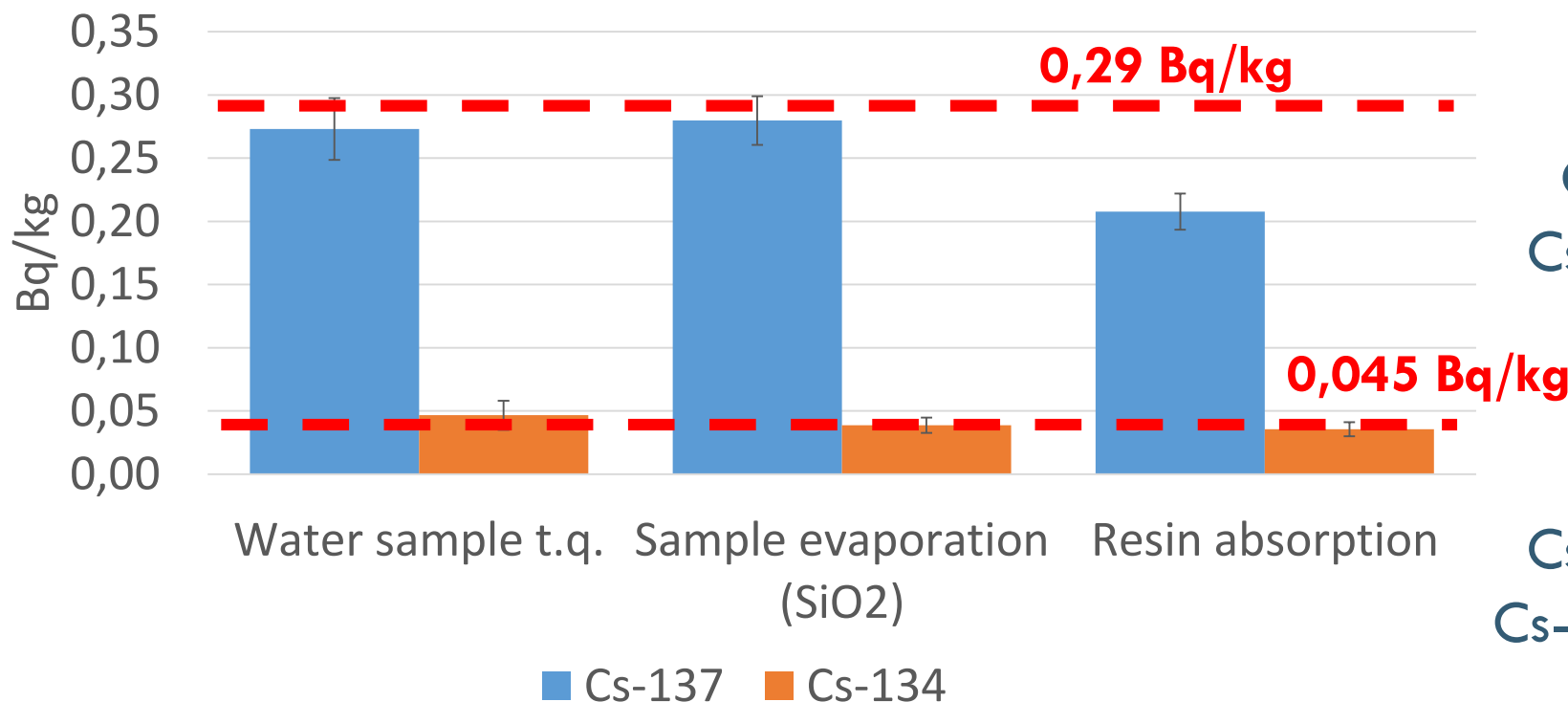
Measured value:
Cs-137: 0,495 ± 0,017 Bq/kg
Cs-134: 0,502 ± 0,078 Bq/kg

Methods comparison – IAEA PT 2016

1. Water analysis (as is)
2. Sample evaporation (SiO_2)
3. Absorption on ion exchange resins – low volume

**JAPAN
RIVER**

Sample 1 - River water from Japan



Expected value:

Cs-137: $0,29 \pm 0,02$ Bq/kg

Cs-134: $0,045 \pm 0,005$ Bq/kg

Measured value:

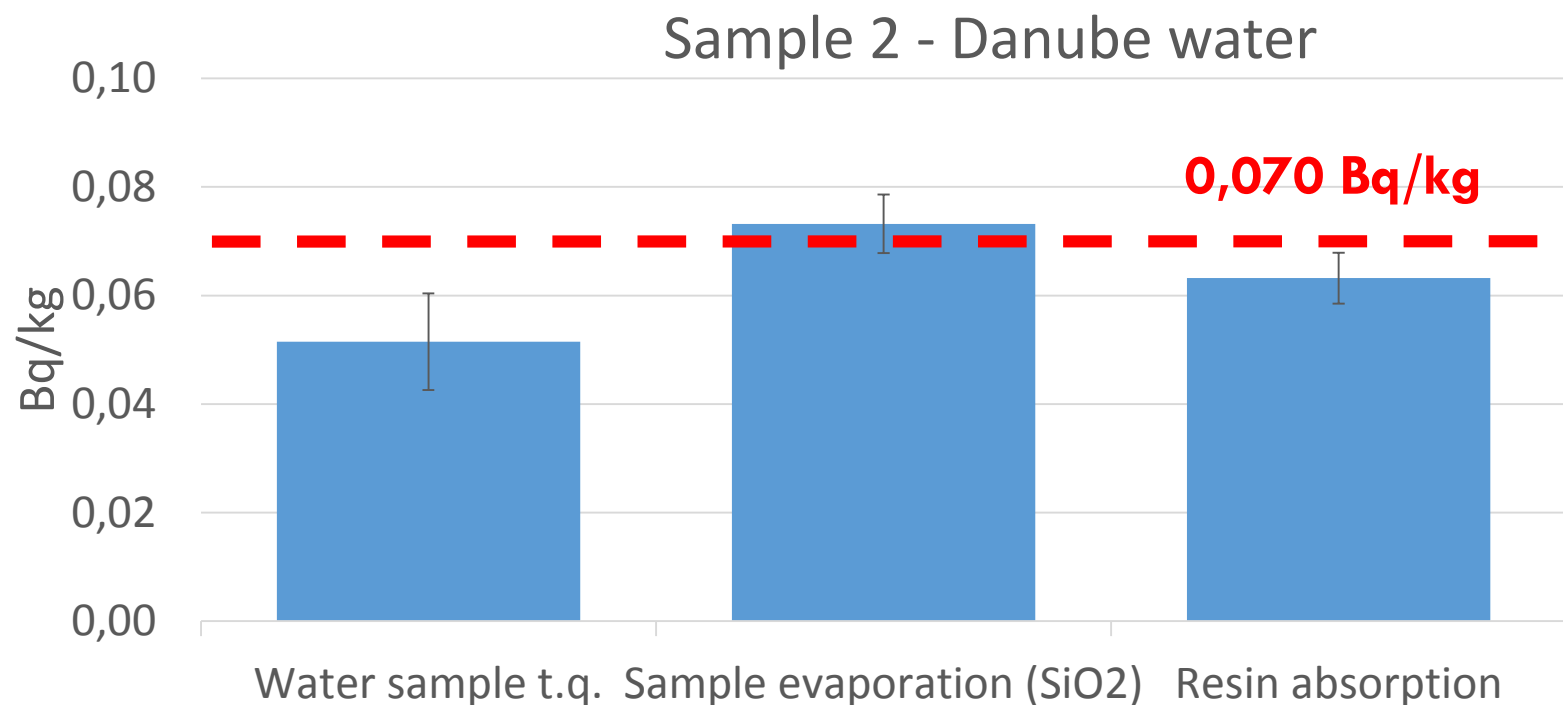
Cs-137: $0,279 \pm 0,019$ Bq/kg

Cs-134: $0,0387 \pm 0,0062$ Bq/kg

Methods comparison – IAEA PT 2016

1. Water analysis (as is)
2. Sample evaporation (SiO_2)
3. Absorption on ion exchange resins – low volume

**DANUBE
WATER**



Expected value:
Cs-137: $0,070 \pm 0,005$ Bq/kg

Measured value:
Cs-137: $0,0732 \pm 0,0054$ Bq/kg

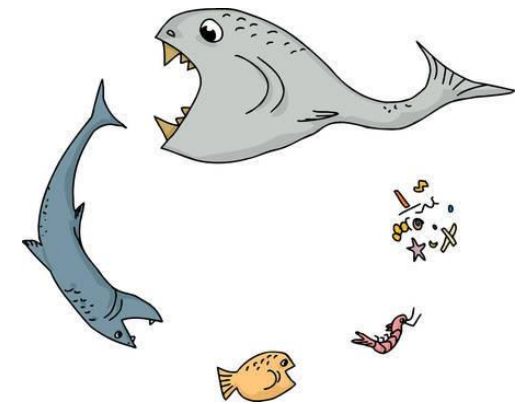
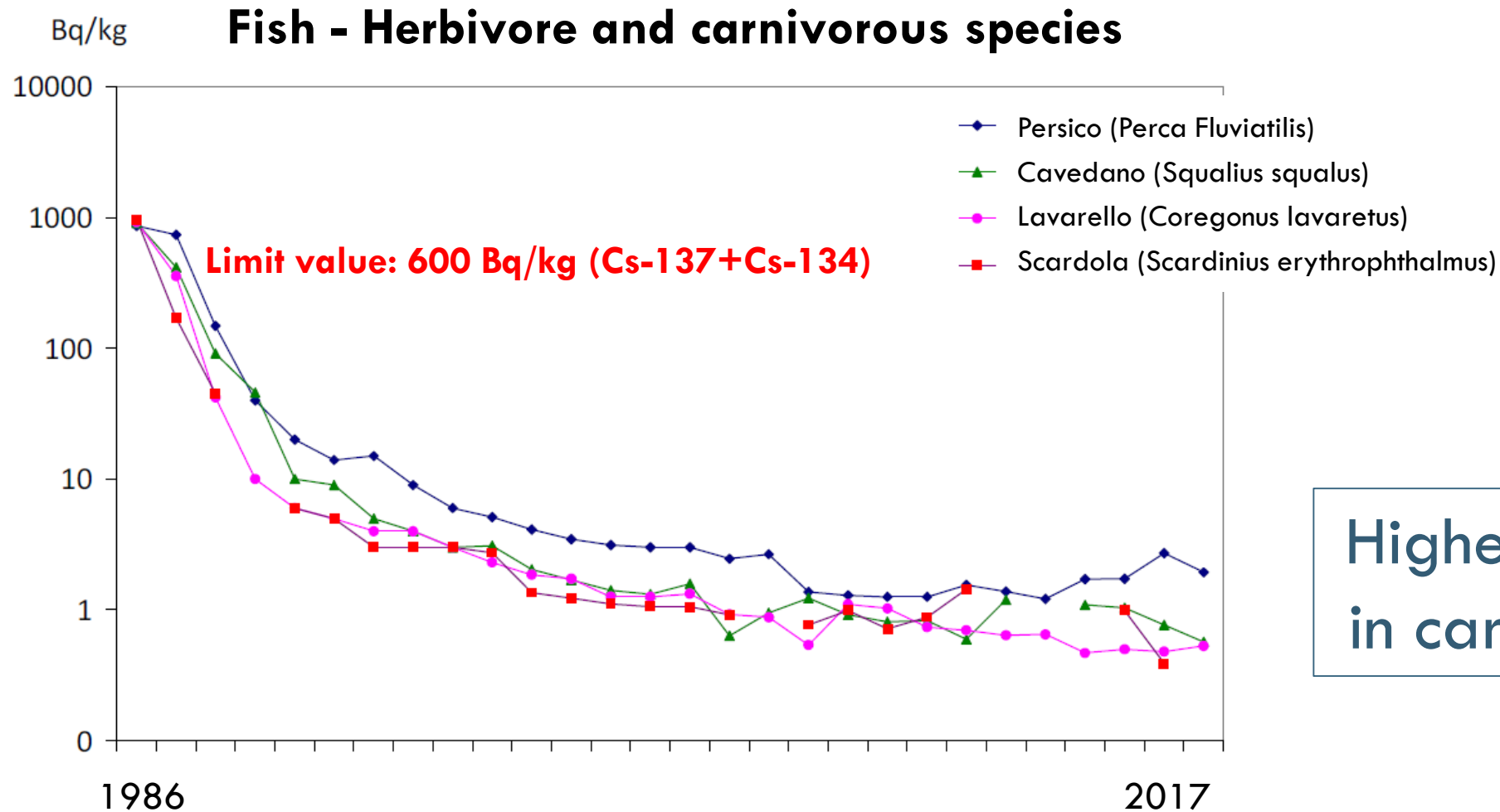
Surface water – Environmental markers

Fish and Suspended Particles



Surface water - Fish

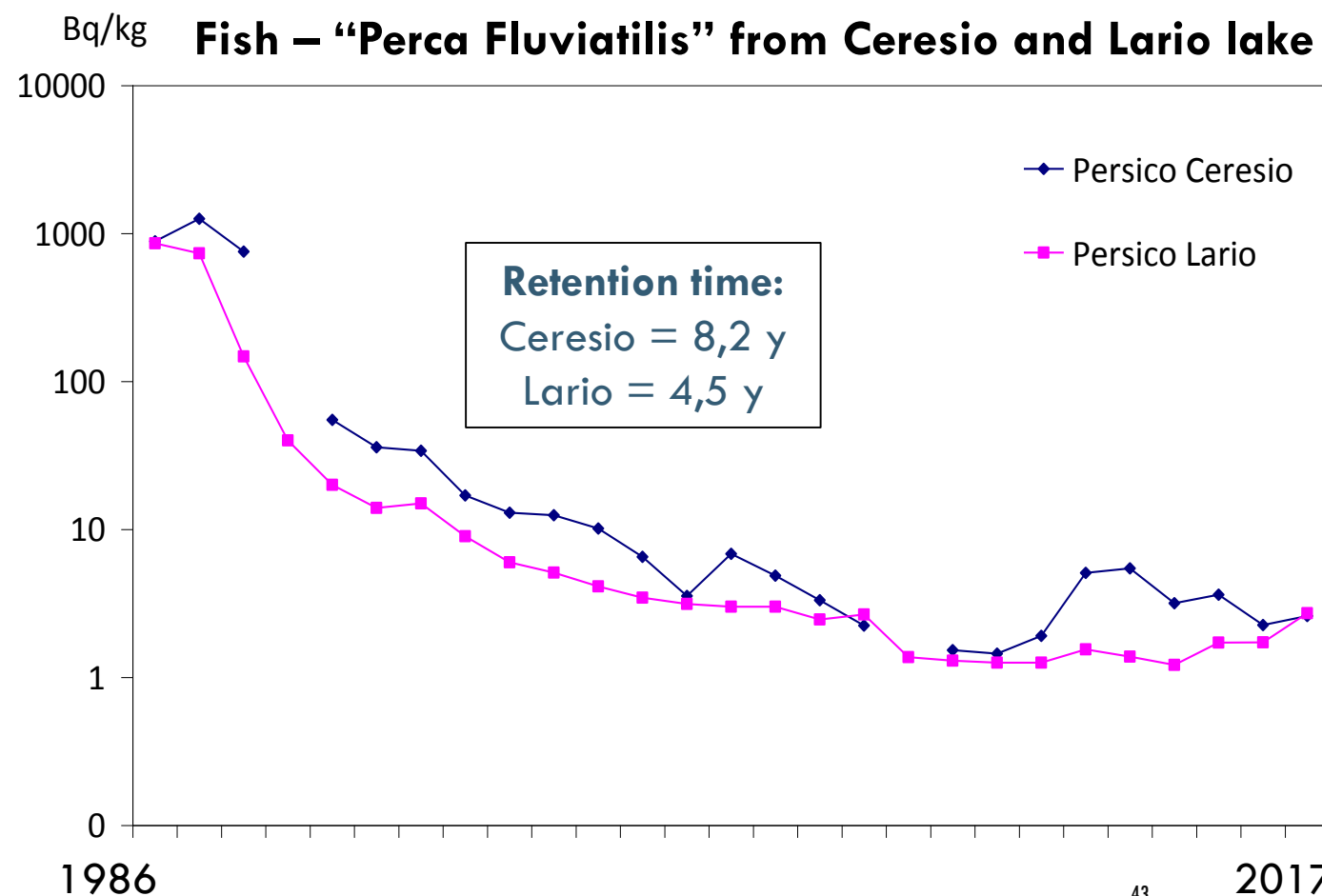
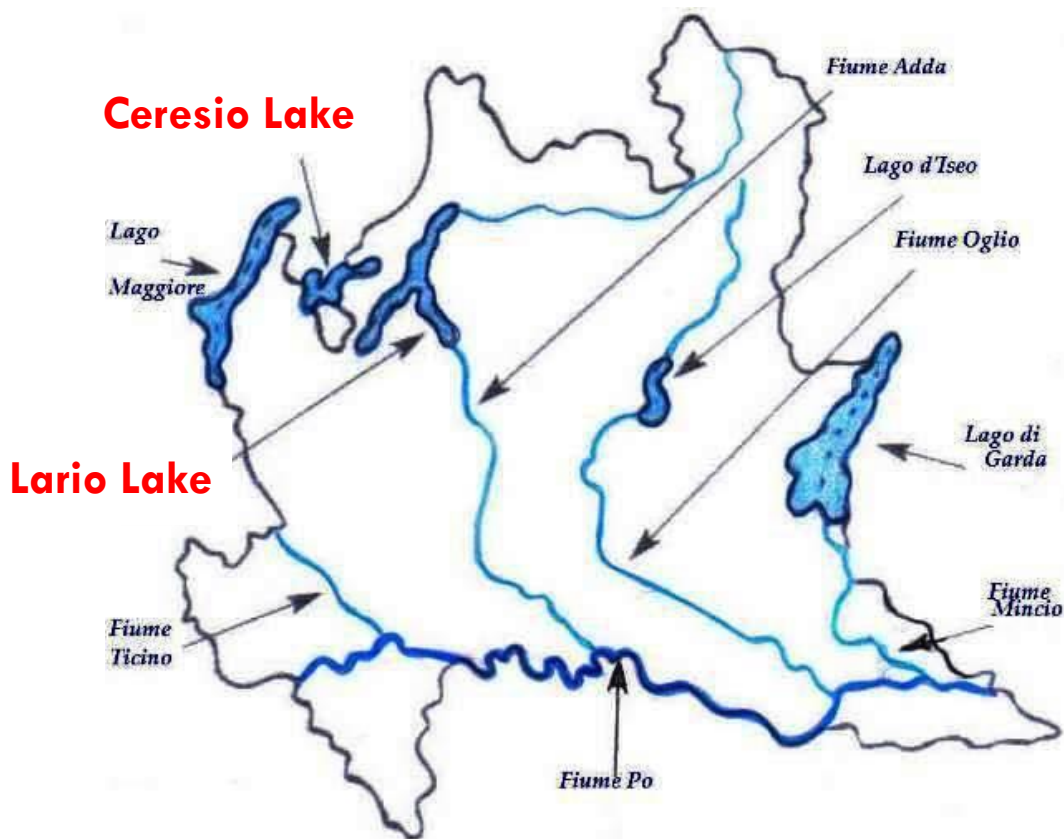
- Fish monitoring provides direct data of food contamination



Higher Cs-137 values
in carnivorous species

Surface water - Fish

- Source of information about environmental dynamics of different water basins



Surface water – Suspended particles

“Cartene shells” time-integrating method:

- Point and time integrating system
- Sampling period: from 5 to 7 days

ADVANTAGES: easy and cheap

DISADVANTAGES: can't be referred to a specific volume of water, just a relative marker

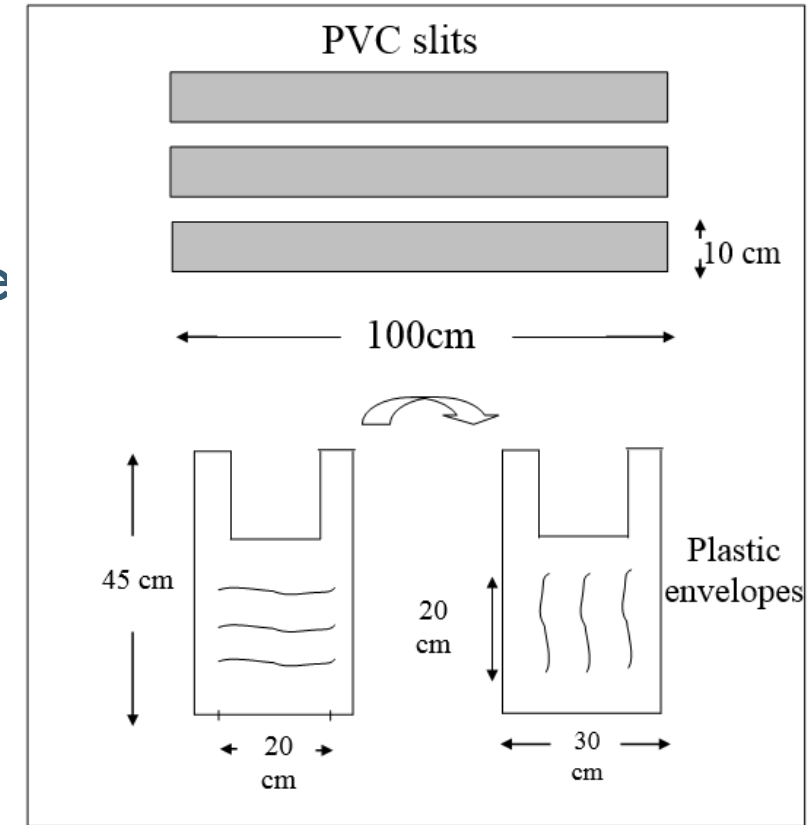
Successfully tested during the “Intercomparison of freshwater and suspended particles sampling” held in 1999



Surface water – Suspended particles

“Cartene shells” time-integrating method:

- Consist of a cartene envelope inserted in a second one. A grid is made on these plastic bags to trap the particulate matter in suspension. Inside these 2 envelopes at least 3 PVC strips are inserted, after being balled up to effectively collect the suspended particles.

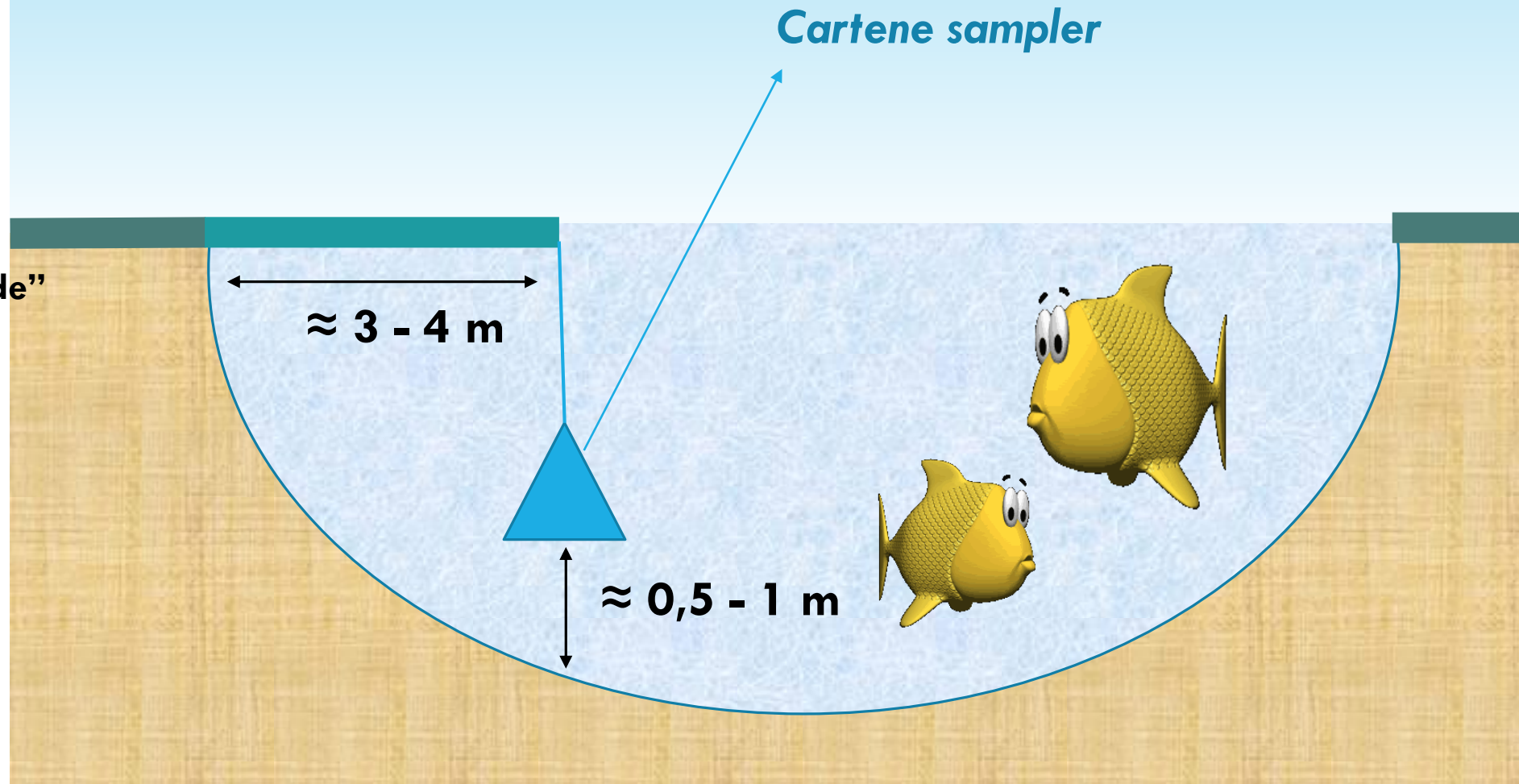
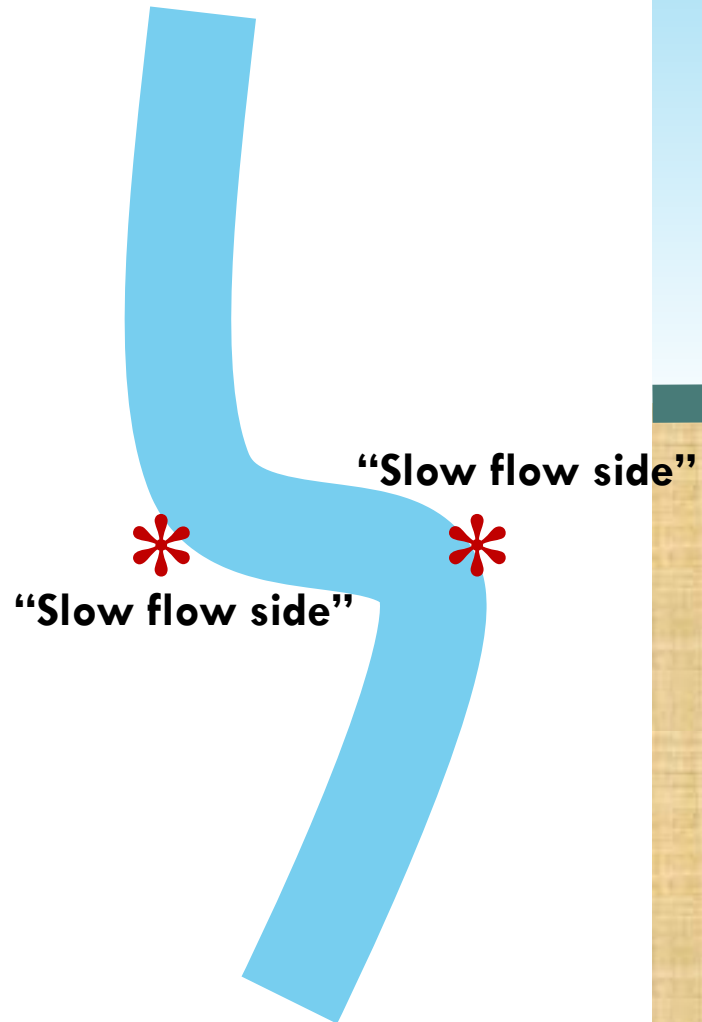


- In these 2 envelopes, secured by tying together the handles, are inserted some stones as ballast

“Cartene shells”

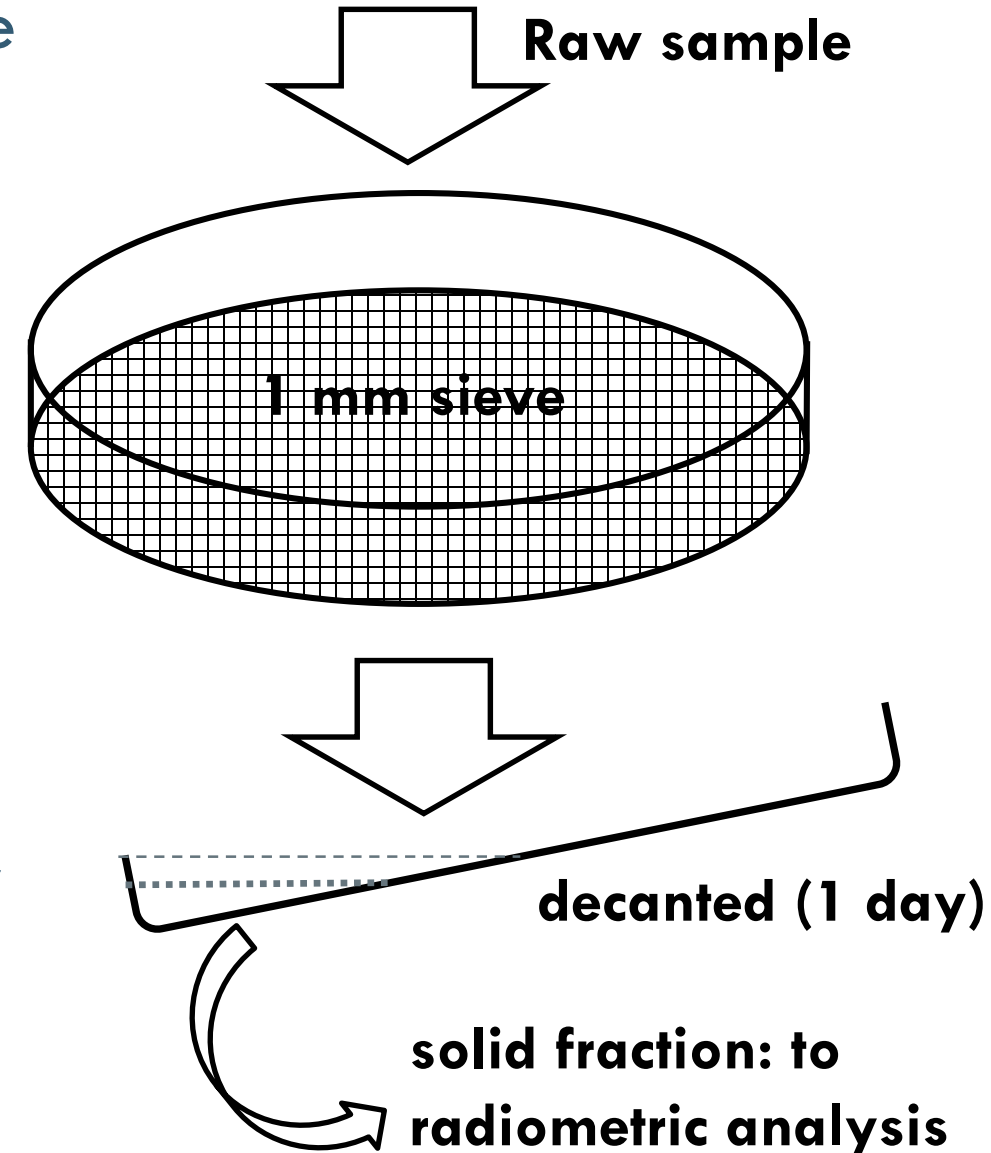
7 days sampling

Possible sampling points



“Cartene shells”

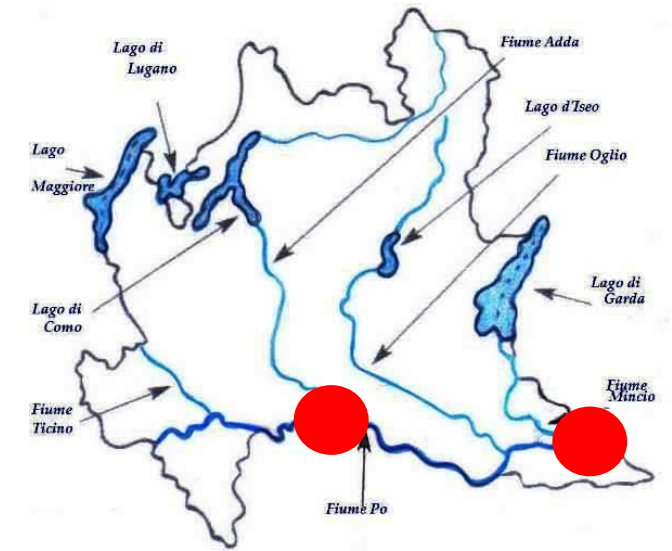
- At the end of the sampling time the systems are pulled out and brought to the laboratory
- The particles collected are sieved at 1 mm and left to settle during one night
- The supernatant water is removed and the sample homogenized
- The solid fraction is analysed by gamma spectrometry
- The activity concentration is referred to the dry weight, determined on 40 g aliquot, 1 night at 105° C



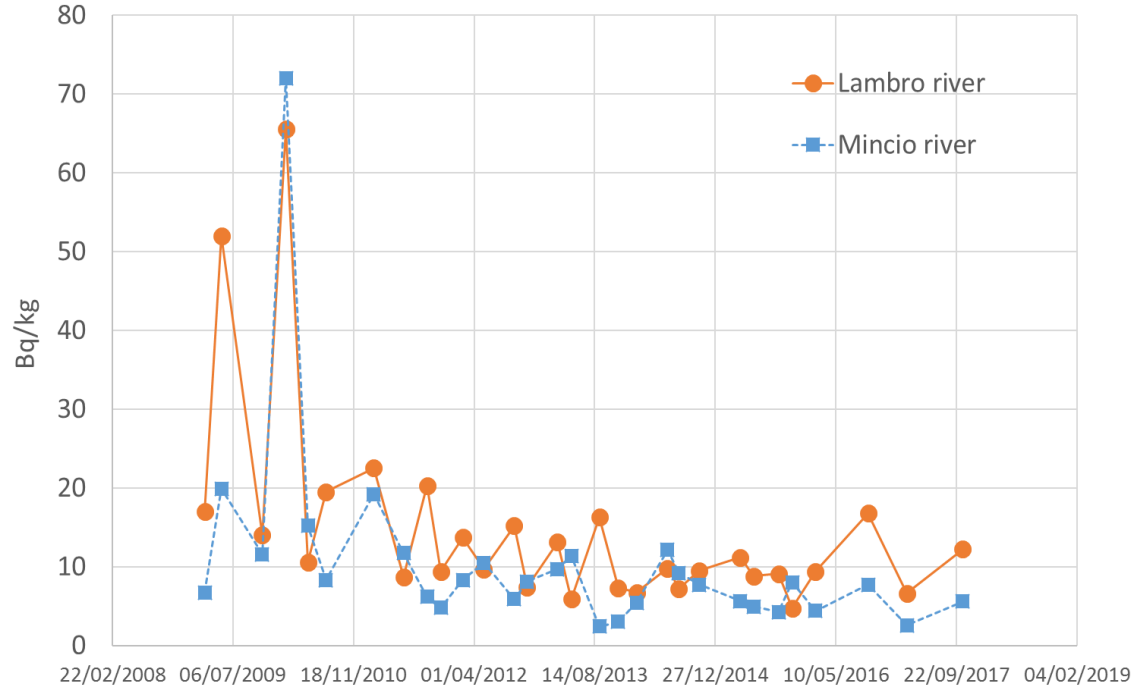
Suspended particles: results at a glance

Sampling points:

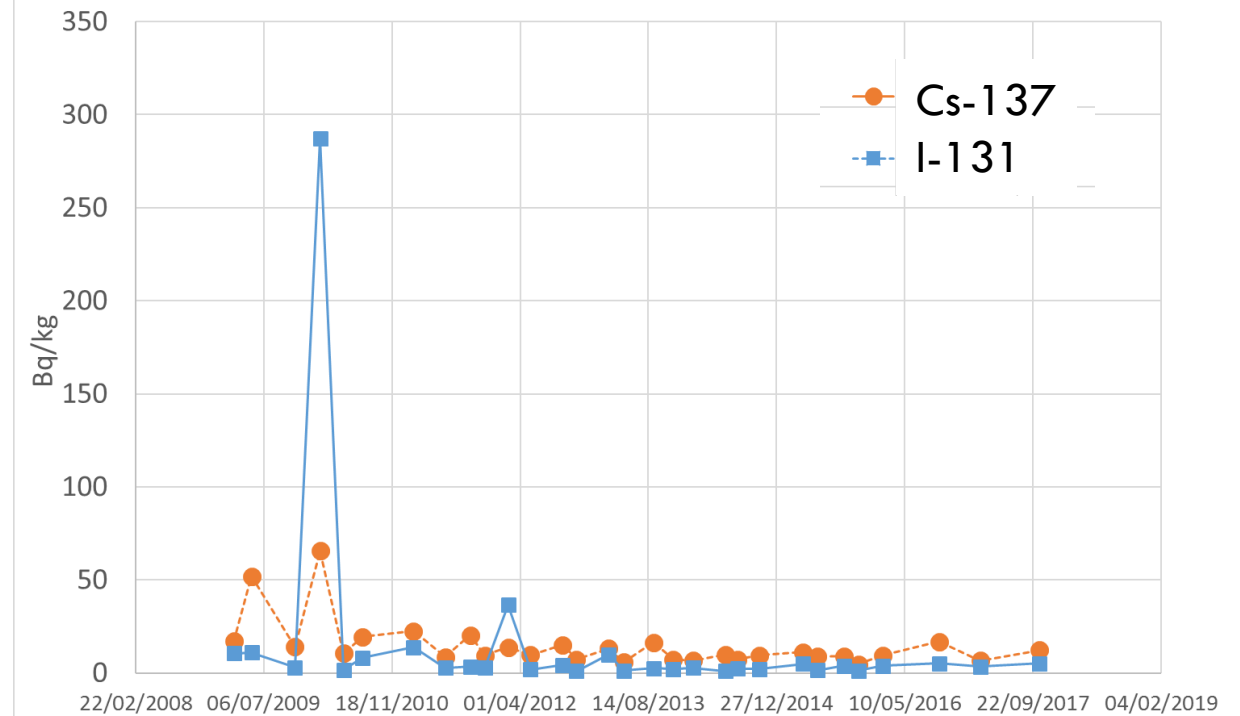
- Lambro river, south of Milano
- Mincio river, south of Cremona



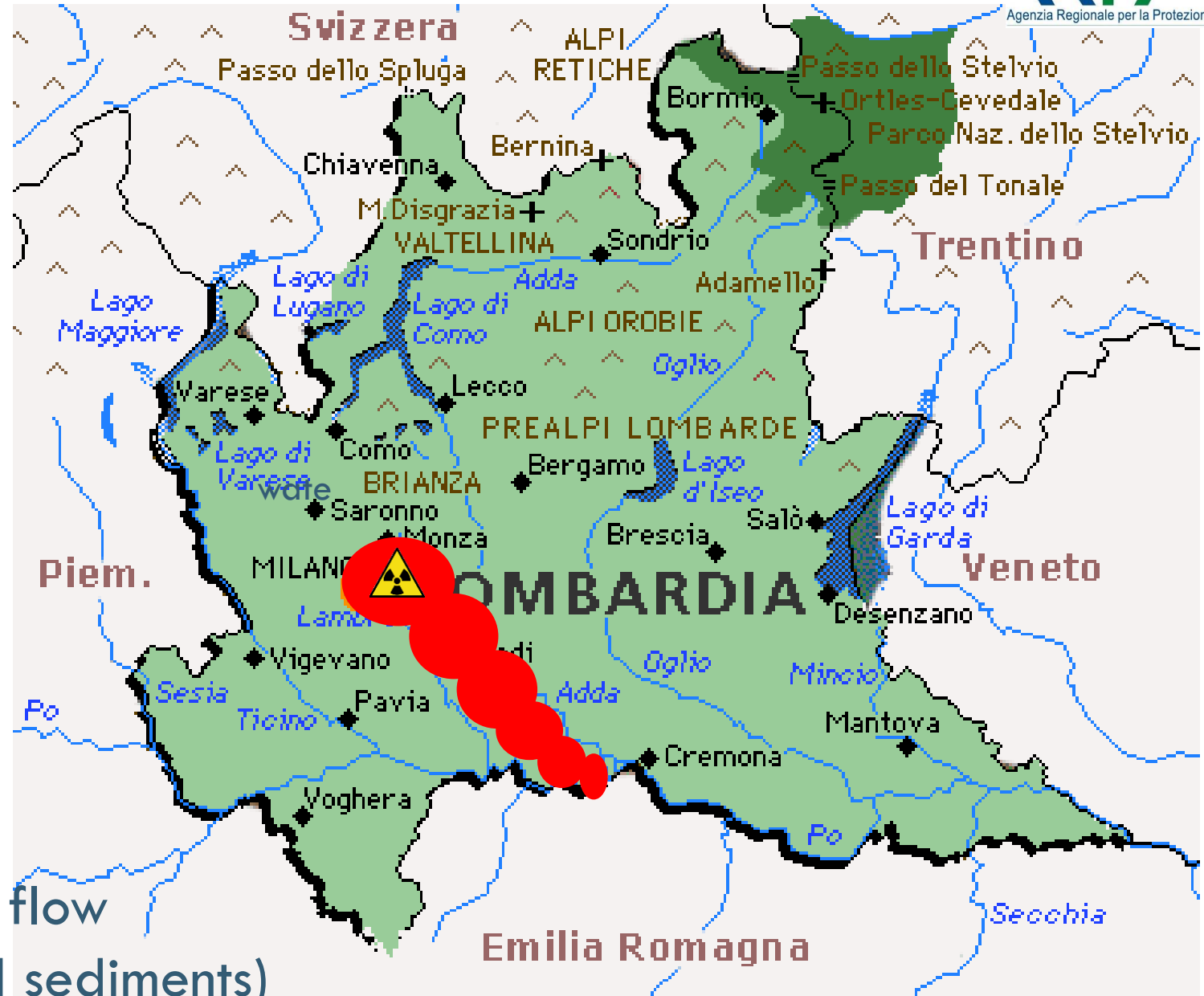
Cs-137



Lambro river



Suspended particles
 «allowed» to detect
 a serious accident in
 an aluminum foundry
 that melted
 contaminated scraps
 and discharged into
 a river contaminated
 waste waters



«Excess» Cs-137 in river flow
 (suspended particles and sediments)



Activity

Dose

Limit of detection

Which method? Which Detection Limit?

STEPS:

- Define the exposure scenario
- Define the “Target Dose” (T.D.)
- Define the relationship between dose and Cs-137 concentration (C)
- Calculate the Cs-137 concentration ($C_{T.D.}$) corresponding to the target dose
- Assume as Detection Limit a fraction (e.g. 1/10) of $C_{T.D.}$
- Select the measurement method

1. Exposure scenario: Drinking water



- Target Dose: 0,1 mSv/y according to EU Directive 51/2013
- Relationship between dose (D) and Cs-137 concentration (C):

$$D \text{ (Sv/a)} = C \text{ (Bq/kg)} \times I \text{ (kg/y)} \times h(g) \text{ (Sv/Bq)}$$



$$C \text{ (Bq/kg)} = D \text{ (Sv/a)} / \left[I \text{ (kg/y)} \times h(g) \text{ (Sv/Bq)} \right]$$

Where:

$I \text{ (kg/y)}$ = Water consumption rate – Adults: **730 kg/y**

$h(g)$ = Dose coefficient for ingestion – **Cs-137**, adults: **1,3E-08 Sv/Bq**

1. Exposure scenario: Drinking water



- Cs-137 concentration ($C_{T.D.}$) corresponding to the target dose of 0,1 mSv/y:

$$C_{T.D.} (Bq/kg) = D (Sv/a) / \left[I (kg/y) \times h(g) (Sv/Bq) \right] =$$
$$= 1E-04 (Sv/a) / \left[730 (kg/y) \times 1,3E-08 (Sv/Bq) \right] = 10,5 Bq/kg$$



- Desired Detection Limit: $1/10$ of $C_{T.D.} = 10,5 / 10 = 1 Bq/kg$



- Measurement method: direct Gamma Spec. on 1 L (typical L.D. = 0,1 Bq/L)

2. Exposure scenario: Fishing



- Target Dose: 1 mSv/y
- Relationship between dose (D) and Cs-137 concentration (C):

$$D \text{ (Sv/a)} = C \text{ (Bq/kg)} \times I \text{ (kg/y)} \times h(g) \text{ (Sv/Bq)}$$



$$C \text{ (Bq/kg)} = D \text{ (Sv/a)} / [I \text{ (kg/y)} \times h(g) \text{ (Sv/Bq)}]$$

Where:

$I \text{ (kg/y)}$ = Fish consumption rate – Adults: **16 kg/y** (Italian Diet)

$h(g)$ = Dose coefficient for ingestion – **Cs-137**, adults: $1,3E-08 \text{ Sv/Bq}$

2. Exposure scenario: Fishing



- Cs-137 concentration in Fish (C_F) corresponding to the target dose of **1 mSv/y**:

$$C_F \text{ (Bq/kg)} = D \text{ (Sv/a)} / \left[I \text{ (kg/y)} \times h(g) \text{ (Sv/Bq)} \right] =$$

$$= 1\text{E-}03 \text{ (Sv/a)} / \left[16 \text{ (kg/y)} \times 1,3\text{E-}08 \text{ (Sv/Bq)} \right] = \textbf{4800 Bq/kg}$$

Relationship between Dose and Fish contamination

2. Exposure scenario: Fishing



Relationship between Fish and Water contamination?

- Cs-137 concentration in water (C_W) corresponding to C_F (4800 Bq/kg):

Hypothetical* relationship between Cs-137 in surface water (C_W) and in fish (C_F):

$$C_F \text{ (Bq/kg)} = C_W \text{ (Bq/m}^3\text{)} * B_p \text{ (Bq/kg per Bq/L)} / 1000$$

where B_p = **Bioaccumulation factor** = $30 \div 10000$ Bq/kg per Bq/L



$$C_W \text{ (Bq/m}^3\text{)} = C_F \text{ (Bq/kg)} * 1000 / B_p \text{ (Bq/kg per Bq/L)} =$$

$$= 4800 \text{ (Bq/kg)} * 1000 / 10000 \text{ (Bq/kg per Bq/L)} = 480 \text{ Bq/m}^3 = 0,48 \text{ Bq/L}$$

* IAEA Safety Reports Series No.19 - Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment.

* IAEA Technical Reports Series No. 472 - Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments.

2. Exposure scenario: Fishing



Desired Detection Limit: $1/10$ of $C_W = 0,48 / 10 = 0,05 \text{ Bq/kg}$



HPGe detector, 30% relative efficiency

	Water as is	Sample evaporation (SiO ₂) Resin absorption	Resin absorption
Amount of sample	1 L	5 L	200 L
Geometry	Marinelli 1 L	Beaker 30 cc	Marinelli 1 L
Counting time	1000 min	1000 min	4000 min
MDA Cs-137	0,1 Bq/L	0,01 Bq/L	0,0005 Bq/L

NO

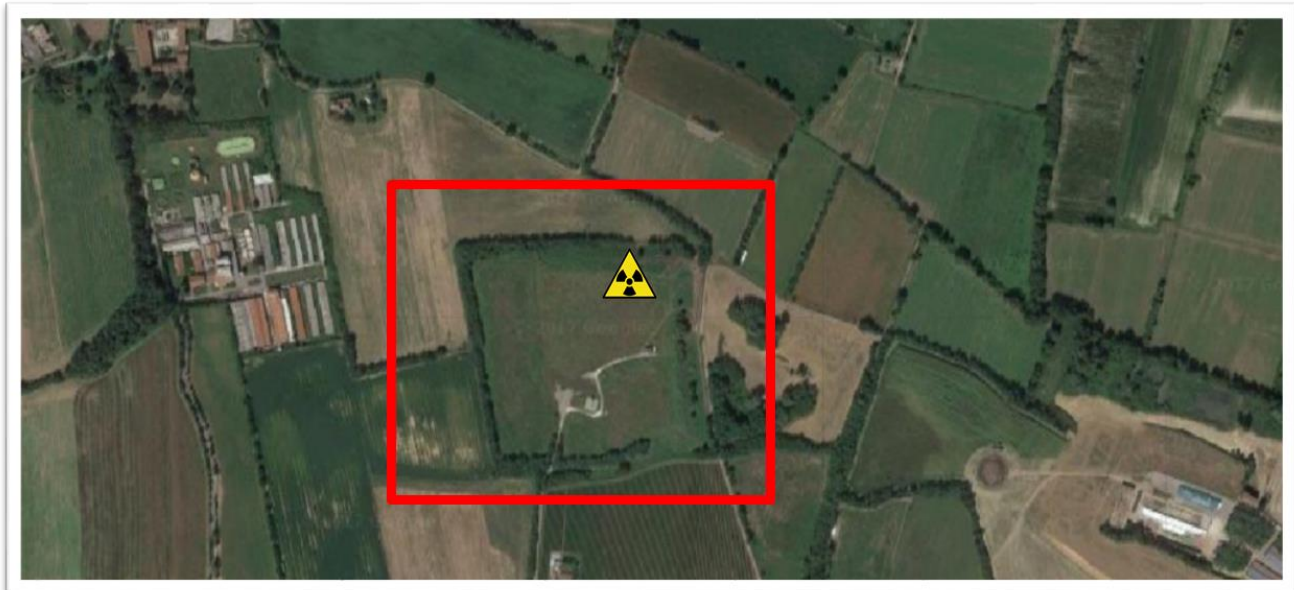


3. Exposure scenario: Waste waters from waste repository



- Surveillance around contaminated sites
 - Phosphogypsum repositories: gross activity, Uranium, Radium, Po-210 and Pb-210
 - Foundry slag repositories contaminated by artificial nuclides: Cs-137, Am-241

Foundry slag repository
contaminated by Cs-137



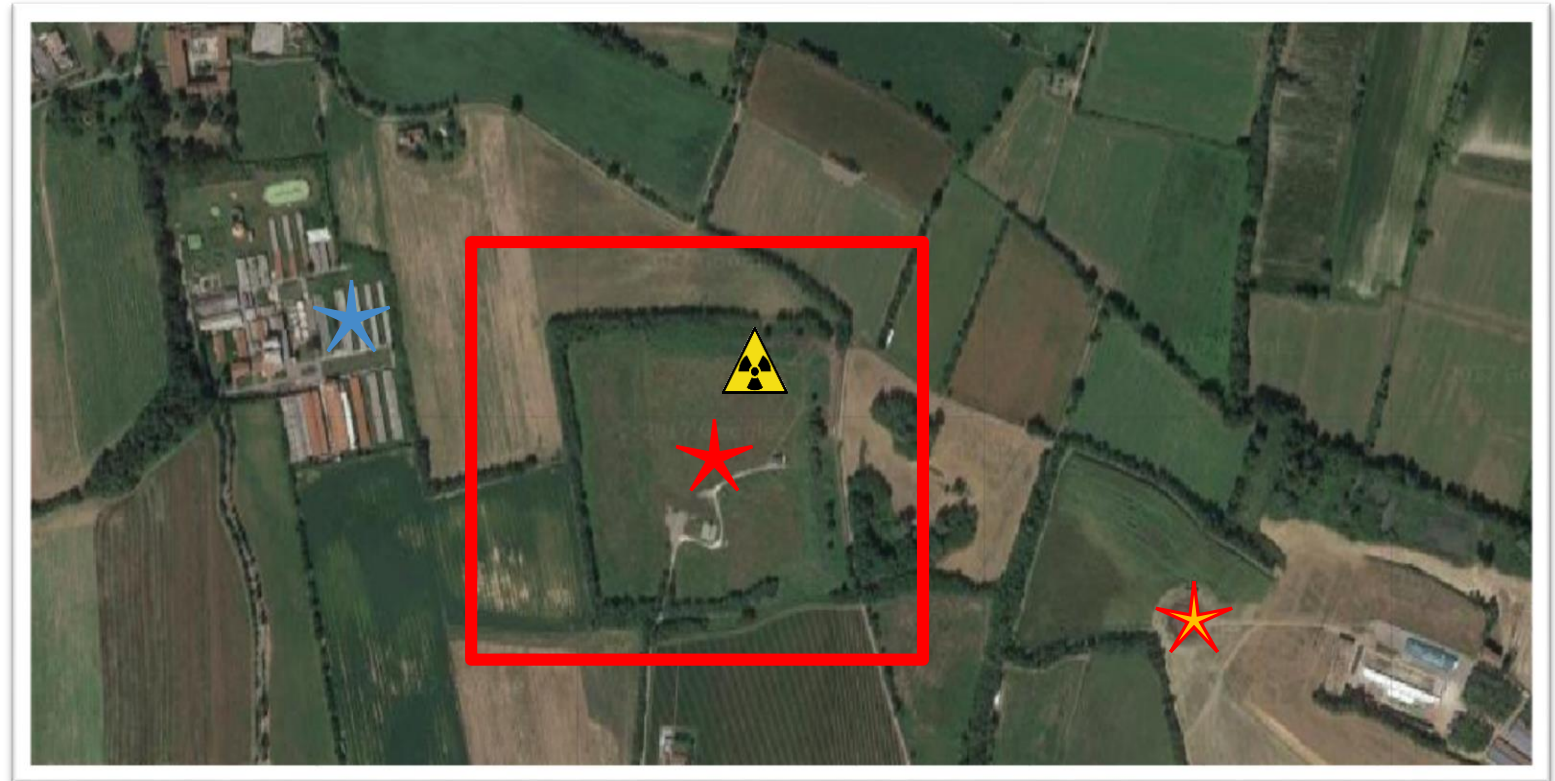
3. Exposure scenario: Waste waters from waste repository



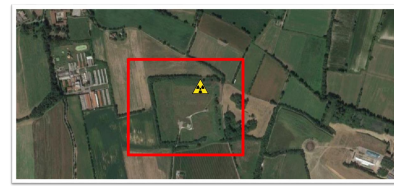
Which monitoring plan?

- Well providing drinking water to animals and human ★
- Groundwater below the repository ★
- Pond water outside the repository, potentially contaminated by groundwater ★

Sampling every 9 month



3. Exposure scenario: Waste waters from waste repository



Which Limit of Detection?

Well providing drinking water to animals and human

- Drinking water (EU Directive 51/2013): 0,1 mSv/y
- Corresponding derived concentration for Cs-137: 10,5 Bq/L
- Dose constraint put to 10 microSv/y (radiological non relevance)
- Corresponding derived concentration for Cs-137: 1,0 Bq/L

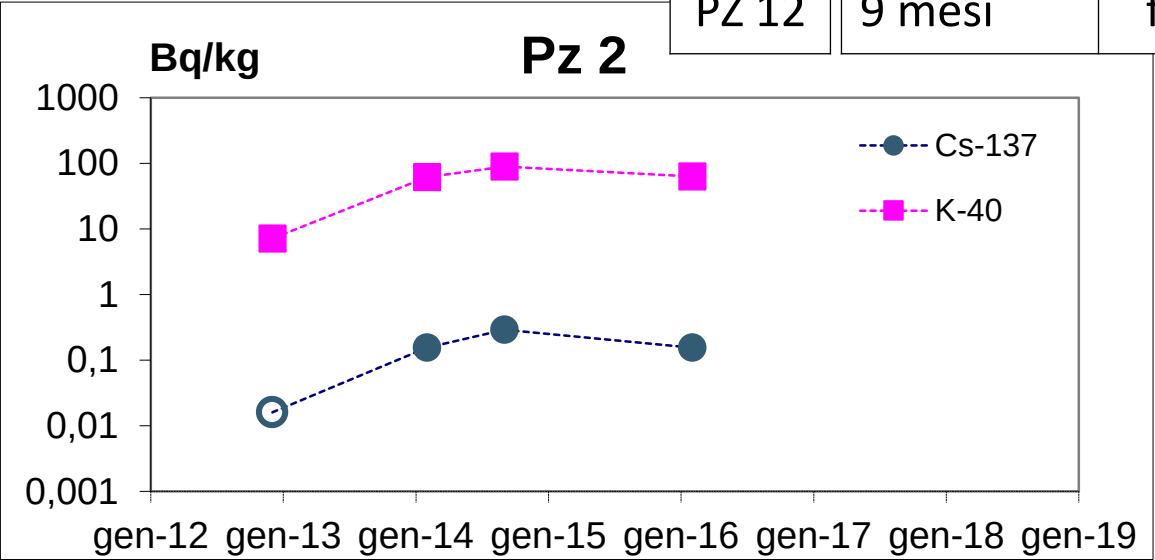
Required sensitivity:

- For radioprotection purposes: 0,1 Bq/L (1/10 of 1,0 Bq/L)
- To assure early detection of contamination release: 0,01 Bq/L

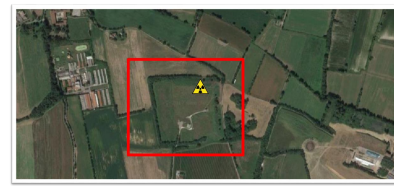
3. Exposure scenario: Waste waters from waste repository



ID	Frequency	Last sampling	Next sampling	Amount	Treatment	MDA (Bq/kg)
PZ 1	9 mesi	feb-16	nov-16	6 L	5 liters silica gel	0,01
PZ 2	9 mesi	feb-16	nov-16	6 L	5 liters silica gel	0,01
PZ 4	9 mesi	feb-16	nov-16	6 L	5 liters silica gel	0,01
PZ 10	9 mesi	feb-16	nov-16	6 L	5 liters silica gel	0,01
PZ 11	9 mesi	feb-16	nov-16	6 L	5 liters silica gel	0,01
PZ 12	9 mesi	feb-16	nov-16	6 L	5 liters silica gel	0,01



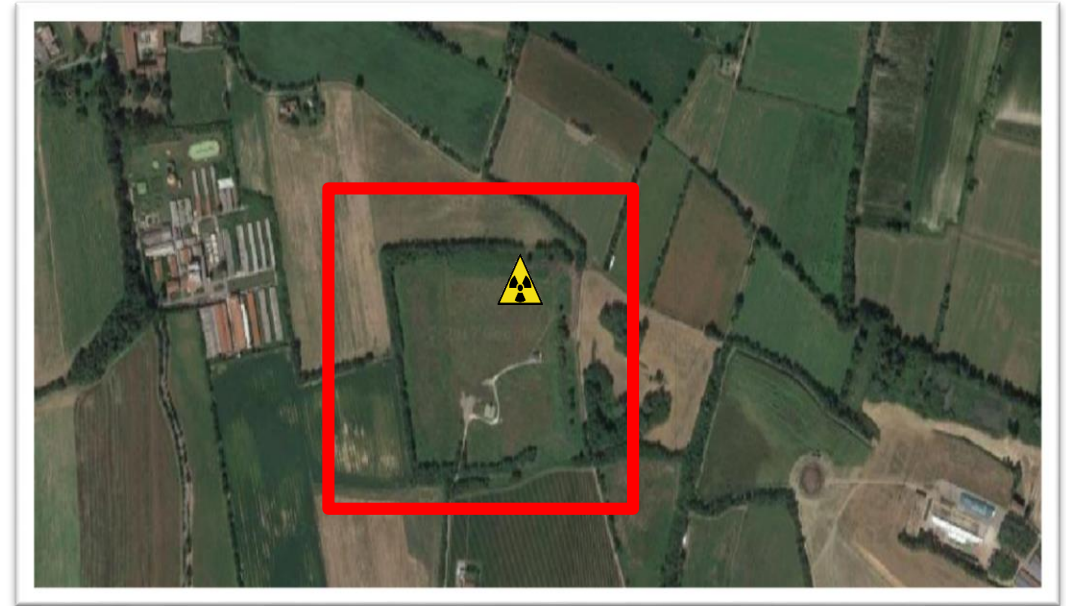
3. Exposure scenario: Waste waters from waste repository



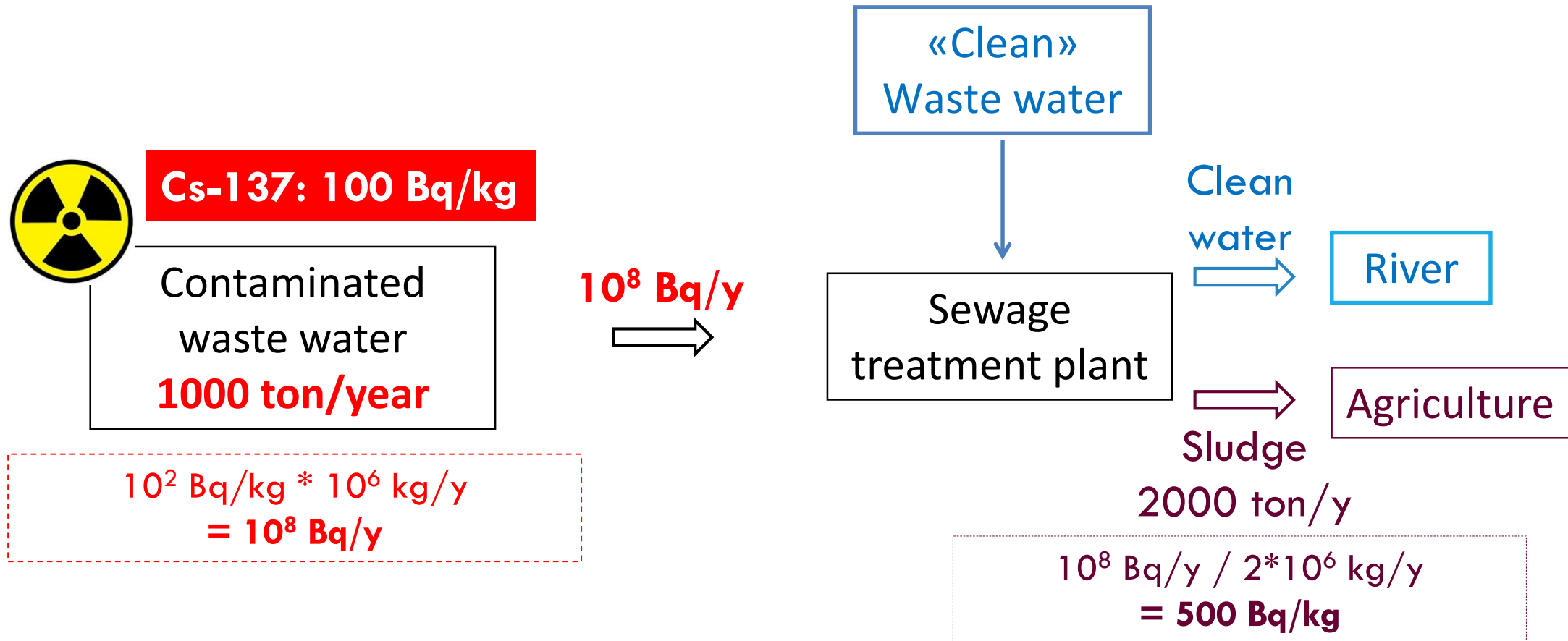
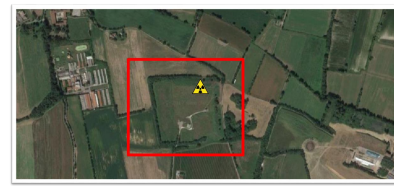
Further problem: production of big amounts of waste water contaminated by Cs-137

Definition of exposure scenario:

- waste collected by tanks
- sent for waste processing to an ordinary sewage
- sludge (which concentrate Cs) used in agriculture



3. Exposure scenario: Waste waters from waste repository



3. Exposure scenario: Waste waters from waste repository



Sludge (500 Bq/kg Cs-137) in agriculture:

- Max amount per area: 0,75 kg/m² of agricultural land (National Regulation)
- Cs-137 (Bq/m²) = 500 Bq/kg * 0,75 kg/m² = 375 Bq/m²
- Sludge mixed with soil (10 cm depth - 1500 kg/m³) :
$$375 \text{ Bq} / (1 \text{ m}^2 * 0,1 \text{ m} * 1500 \text{ kg/m}^3) = 2,5 \text{ Bq/kg}$$

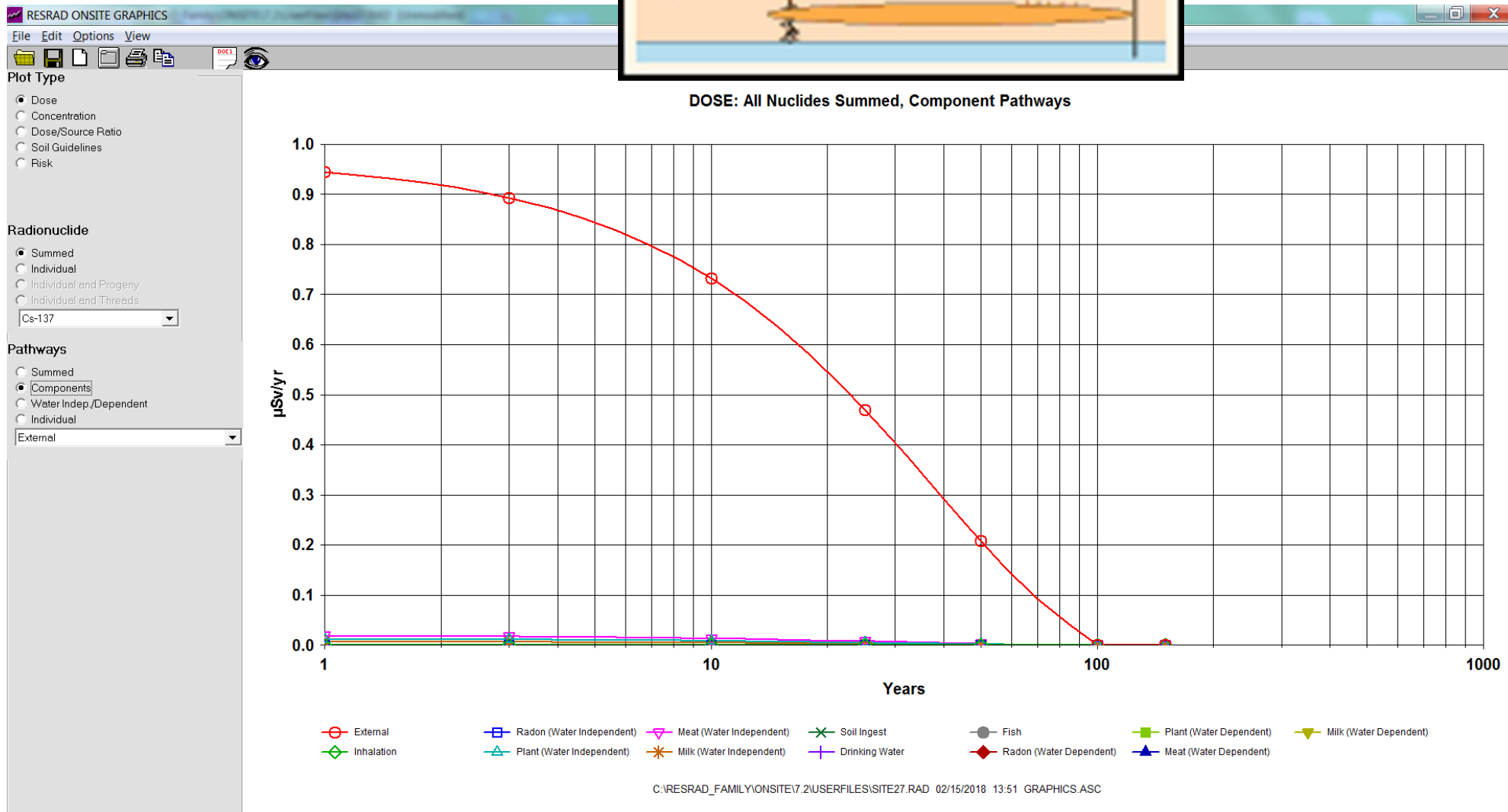
10 cm of soil
contaminated by
Cs-137 – 2,5
Bq/kg



1 μSv/y,
mainly due
to external irradiation (97%)

RESRAD - Argonne National Laboratory - <http://resrad.evs.anl.gov/>

Exposure pathways: external irradiation, food ingestion, etc.



3. Exposure scenario: Waste waters from waste repository

To resume:

Exposure scenario: use in agriculture of slags contaminated by water contaminated by Cs-137

Waste water: 100 Bq/kg of Cs-137  1 µSv/y to the most exposed group

“Specific clearance level” for waste water corresponding to 10 µSv/y:
1000 Bq/kg of Cs-137

Required sensitivity: $1/10$ of 1000 Bq/kg = 100 Bq/kg

Conclusions



Conclusions

- The choice of the method to be used for the measurement of Cs-137 in water depends on the desired Limit of Detection
- The Limit of Detection can be fixed by law (especially for drinking water)
- In most cases, the Limit of Detection must be evaluated taking into account the specific exposure scenario and dose limit

Limit of Detection	Drinking water	Surface water	Waste water
EU Legislation	0,1 - 0,5 Bq/L	1 Bq/L	--
Specific exposure scenarios	1 Bq/L	0,05 Bq/L	100 Bq/L

- In surface water monitoring the use of “contamination markers” provides reliable and useful data



00 : 00 : 00

Rusconi : 皆さん、こんにちは。今回は、この機会をいただきましたことを非常に誇りに思っております。また皆さまとお話しできる機会をいただきましたことを、心から恩田先生にお礼を申し上げたいと思います。今回のワークショップに伺い、昨日も含めまして、さまざまな興味深い会議に参加をすることができました。私にとっても、われわれの経験を共有できる素晴らしい機会となっております。ありがとうございます。

まず最初に、私の所属する機関についてお話をします。それに続きまして、なぜこの環境における放射線の源を同定することが必要なのか、影響を見ることが必要なのかを話したいと思います。また緊急のコンテキストにおきまして、どのようにアラートを出していくのかということにつきましてお話をしたいと思います。またヨーロッパにおきまして、国家レベル、そして EU レベルでの環境放射線ネットワーク、放射能ネットワークの機構がございまして、そのご紹介をします。加えまして、具体的に水に関するモニタリング活動についてお話をしたいと思います。具体的に、この測定の結果をどのように評価をするかということについてもお話をしながら、その測定の内容が適切なのか、ないのか、そしてそれを判断するに当たって何を基準としているのかというところを共有したいと思います。

私の機構ですけれども、こちらの組織がロンバルディアにあります。これは政府の機関の一つになりまして、研究所であったり大学ではありません。全てのありとあらゆる環境の汚染につきまして、これは化学的なものから、先ほど申しました放射線関連の物質に関しても含めて、環境汚染に関するモニタリングと測定を行っています。ここにありますように、**= ARPA =** というわれわれのこの機関、環境汚染の予防とモニタリングをしておりますが、イタリア中に、その関係の組織を持っています。それぞれの地域に、この ARPA の組織があります。それがこの地図に示されているとおりです。またそれをまとめる組織としまして、イタリアの環境保護研究所がございます。

ロンバルディアですが、イタリアでも一番大きな地域になります。東京よりも小さいんですけれども、イタリアでは最大の地方となります。そこに、この地域の主要な都市に 13 のオフィスを持っています。またそこで約 1,000 人が働いておりまして、全員が、例えば物理学者、生物学者、その他のいわゆる技術系の専門家になります。

こちらが活動の領域になります。先ほども申しましたが、主にモニタリングの活動をしながら環境を見てまいります。ただ、そこに含まれますのがさまざまな汚染源、異なるものが入ってきます。化学物質、放射性物質、またその土地の地場であったり、そういったものも管理をしながら検証をしてまいります。

加えまして、地表水、地下水もモニタリングのターゲットに入ってまいります。それに加えまして、もっと深く、例えばいわゆる生産活動、工場や農業生産というところも含めて、具体的な環境に対する影響プラス、その行われている生産の場が環境的に安全かどうかというところも見てまいります。こういった産業活動の中には廃棄物の処理、その他によって、水、その他の環境への汚染が及ぶものもあるからです。

また、われわれのこの放射性物質、またはわれわれの●のところでは、特に、この同位元素などをトラッキングしながら人工的なもの、そして自然界に存在するものも含めてモニタリングをしまっています。

またわれわれのセンターで特に、こちらでご紹介をしていますように、化学者、そして物理学者がいろいろおります。10名のスタッフ、専門家がおりまして、2つの測定ラボラトリーを持っています。ミラノと、それからベルガモにございます。

そこで扱いますのが、ここにありますようにアルファ、ベータ、ガンマといった放射線の測定機器。加えて、実際のラボ、そして現場で使えるものを＝トウヨウ＝してまいります。測定方法ですからラボ、そして現場でさまざまに違うものを使っていますが、基準として、ISO認証を受けたラボが行っていくことになります。プレゼンテーションの最後に、こういったツールも含めた具体的な例をお話したいと思います。

00 : 04 : 59

また先ほども申しましたが、環境に関する、いわゆる●の全国的なネットワークの環境系のモニタリングのフレームワークの中に組み込まれています。そしてこれはもっと大きな枠で言うと、EUの組織につながっていくわけです。また世界的には国際原子力機関のネットワークにも含まれてまいります。オンダ先生も先ほどおっしゃっていただきましたが、われわれの機能といたしまして、国、そしてEUといった地域にも足を伸ばして、われわれの専門性を生かした、例えば化学的な顧問という形での参画の仕方をしておりますし、各国の保健当局に対してもアドバイスをしています。

ロンバルディアというわれわれの地方は、イタリアの北のほうにある比較的、山岳地帯の多い地域になります。イタリアにおきましては、もうきょうの段階で原子力発電所というのはありません。過去、そうですね、1986年の頃から大体廃炉の処置が始まりまして、その過程にあるものが今は10個あります。そういった意味で、今は活動をしている原子力発電所というのはないんですが、そこが例えば廃棄、または廃炉の処理を受けて、その周囲の環境が放射能汚染をされているかどうかというところも含めて確認をしていく必要がある＝時点に＝来ています。

またチェルノブイリの事故の影響もまだ残っています。非常に重度の影響を受けてしまいました。ヨーロッパ、特にイタリアの北のほうというのは影響を深く受けたエリアになります。特に、このロンバルディアの地方でも北のほうに影響が近く、非常に高いレベルの放射能の活性が残っています。

こちらは昨年のサンプルの検証結果になります。2017年の段階で、例えばその森の中で取れるキノコ、マッシュルームを一つ取っても、高いレベルの放射能が排出されています。このロンバルディアの地域によりましては、ここですね、非常に北のほうのサンプリングポイントになります。セシウムの期待値が600ベクレルパーキロというヨーロッパの指令が出しているリミットを超える値がいまだに検出されます。

加えて、環境に関する活動としまして、実際に人為的につくられてしまったものとし

て、いわゆる医療廃棄物なんかにある放射線の残留というところが問題になります。これは、この放射線源となってしまうものを隠して、または他のものと一緒に廃棄をしてしまった場合に、その廃棄物の中から再生をするためのプロセスをする中で放射線が漏れ、そして被ばくが起こるという問題になっています。例えばこういったスクラップの中に、廃棄物の中に放射線源が紛れてしまっている場合、これを再生する場合にも、そのプロセスで関わる人にも、そしてそれを処理する工場でも放射線の問題が起こってきます。ということで、これはこの種の問題というのが、まだ散見するという。これを人が人為的につくってしまう汚染源ということで管理をしていく必要があります。そしてその発生してしまった所の周囲の地域についても継続的なモニタリングが必要になってきます。

先ほども言いましたが、このわれわれの活動というのは継続的な測定によってトラッキングをしていくものです。特に水のところです。こちらが注目をされる部分になります。それについては後ほど申し上げますが、非常にレベルの高いラドンが水だけではなく土壌からも出ていますし、このレベルが例えば全体で見ますと、このような色で色分けをしているような形で、ある地域に非常に高く見えてしまいます。この土壌に紛れた放射線というのが例えば肺がんの原因になっており、実際に、喫煙の次に高い肺がんの原因として記録されています。

00 : 09 : 55

この環境モニタリングというコンテキストに特化して申しますと、特にモニタリングのこの活動を、定点観測的にこのように行っているわけです。まず放射能のレベルにつきましては、非常に早い段階でそれを検知することが必要です。また事故などが起こったときに、早く環境の中における放射線の濃度の変化を把握することによって＝警鐘＝を出すことができます。そういった目的のためにも継続的な、定期的なサンプル収集が必要であり、これを粒子、そしてガスの２種類で行っています。

これが実際に、このサンプリングをするシステムなんですが、これが大体 1 時間で 100 立法メートルを実際に把握し、フィルターを使いまして、グラスマイクロファイバーのフィルターを使って粒子を把握します。これも日々、毎日測定をしますので、日々のサンプルを積み上げることによってコンポジットのサンプルを作って、月次、そして年次と増やしていきます。

こちらですが、毎月ごとのサンプルのデータの計測値になります。チェルノブイリの事故があったとおり、セシウムは全て、このチェルノブイリから来たものであります。チェルノブイリの事故があったときですが、このセシウムのレベルは空中の中ですが、大体 10 ベクレルでありました。これは 1 立方当たりの数字になります。

まずこの定期的なモニタリングを始めたのが 1988 年、チェルノブイリの事故から 2 年後のことです。その当時のレベルのセシウムのレベルですが、既に低下状態にありました。しかしながら、実際に測定を継続していきました。こちらは常にピークがあります。特に冬にピークが出る傾向があります。冬というのは、天気は非常に安定してしまして実際に風も吹

かないような傾向があります。ですから、風が吹かない状態が一番最悪の状況で、さまざまな汚染物質が蓄積してしまう、たまってしまう状況にあります。このセシウムはチェルノブイリから定期的にモニタリングを行っています。

また 1998 年、これはまたピークがあります。これは、われわれがヨーロッパで初めて、この状況を検知したわけですが、このまたスペインの南側から工場があるんですが、ここから放射物の検知をしました。このセシウムの●自体は、実際にこの工場の中で隠された状態で発覚をしました。そしてまた福島事故の当時、こちらでも検知をしております。これは、こちらは先ほどの粒子の話です。

最後のスライドになりますが、数カ月前の、こちらは数字になります。ここでも空中の中で非常に量は少ないんですけども、このような数日間、大体、異常値が出ました。これはルテニウム 106 というものを、検知をしました。これは非常に特殊な物質であります。これは通常、ウランから●されるものであります。この原子力の事故があったような場合、例えばチェルノブイリもそうですけれども、通常そういった場合には、このルテニウムの検知が行われます。このルテニウムと他の実際の物質もあるんですが、通常はヨウ素やセシウムやルテニウムといったものが一緒に検知されることがよくあります。これはちょっとまれなケースでありました。このルテニウムだけしか検知されませんでした。シミュレーションを行いまして、まず他のヨーロッパの協力機関から情報を得て、そしてこのルテニウムの量は小さいんですが、ただこれは恐らく、この辺りから来たのではないか、ヨーロッパの東側から来たのではないかということが分かりました。これまでのところ、われわれから出ましたということを言った機関は●ないんですが、ただいろんなシミュレーションをする結果から分かることは、最も●が高いルテニウムの発生源というのは、恐らくロシアの南側ではないかというふうに見られています。

こちらの濃度ですが、われわれが測定したヨーロッパでの放射能の濃度ですが、非常に低かったわけです。ですから、全く心配する必要はありませんでした。

00 : 14 : 56

ただ、しかしながら＝早期＝の大気汚染が行われたということを検知をしまして、これがひょっとしたら大きな事故につながる可能性もあるわけです。また人への影響もあるかもしれない。今の話が粒子の話をしました。

また具体的なシステムを使いながらガスの●も行っています。この中で実際にガスと、それからヨウ素の＝ホソク＝、ヨウ素の 107 のホソクを行っています。特定の浮流の粒子を取るための装置になります。まずフィルターを置きまして、この箱の中にフィルターを入れます。これはプラスチックボックスですが、これをまた＝シールド＝という形でしっかりと、これは活性炭を入れていきます。この特定の活性炭を使うことによって、さまざまな特定の化学物質、それからヨウ素を捕獲することができます。こちらの＝サンプラー＝を 1 週間ぐらい放置しまして、そしてそれを実際に測定を行います。このデバイスを使って何を測定したかといいますと、福島事故があった当時の、こちらはデータになります。全体のヨウ

素 130 のミラノの数字になります。まずこの粒子の部分が全体のヨウ素 137 の 20%を占めています。このヨウ素のより多くの部分、イタリアに来たものはガス、気体の形でイタリアに来ました。全体のヨウ素 131 の中の気体、つまりガスの割合が 80%ありました。こういったデータを探った後、われわれのほうからイタリアの国の研究機関に送りました。そしてイタリアの機関からヨーロッパの研究機関に送りました。そしてその中で環境モニタリングを行いました。

モニタリングというのは 2 つの法規制に合致する形で行っています。まず一つは欧州委員会の一般の環境モニタリングになります。もう一つは欧州理事会の指令、こちらは飲み水に関わる法規定になります。このモニタリングですけれども、一般環境の中でのモニタリングを行っています。特定のサンプルの中で、一般の方は住んでいる所、そこからミルクや通常に食べているもの、そこにもチェックを行います。また汚染源からモニタリングも行います。例えば具体的な廃棄物の保管所ですね、こういった所の近くのモニタリングも行います。このヨーロッパコミッションの中での何をチェックするものかというエリアとしては、空気、それから地表水、それから飲み水、それからミルクもそうです。ヨーロッパでは、ミルクというものは一般的に食事の中に取り込まれていますので、それらもチェックします。またそれ以外も、他の食品を組み合わせたチェックも行っています。またわれわれの主に食べているものからもチェックをします。ストロンチウムの 90 ですが、こちらでもチェックをします。これは 60 年代に行われた原子力テストの影響を受けて、ストロンチウム 90 というものを検出することがあります。セシウムの 137 ですが、これは主にチェルノブイリの影響で検知されます。またヨーロッパ欧州委員会の中で限界●を発生源に依拠している形で決められています。年間に 1,000 サンプルを行っています。そのうちの半分が食品関連、それから残りの半分が空気や飲み水や、それから土壌のチェックを行います。

水からのサンプルを見ていきましょう。まず飲み水、それから地表水をこのような形で見えています。この中で全てのデータを集め、その中で空気や、それから食品の汚染状況を確認をします。そして●計算しながら人工放射能の線量を確認します。

こちらをご覧ください。非常にこれは低い数字なんです。0.003 ミリシーベルトと、これは年間の数量ですが、これはほとんど何もないというのと同じ数値になります。この右側のほう、こちらが天然の放射能ということで、これは 2.4 ミリシーベルト。年間の数字ですが、これが実際のラドンの主な発生源になります。

00 : 20 : 00

われわれが一番心配すべきところ、一番被ばくになる可能性としては、自然の放射能によるものであります。

それではもう少し、水のモニタリングの話をしていきたいと思います。われわれは飲み水、それから地表水を、モニタリングをしています。まず飲み水に関してですが、具体的な指令があります。まず欧州理事会の指令に 51 というのがあります。ですから、われわれがモニタリングをする際には主な地表水、それから地表水、それから排水＝網＝のモニタリングを

行います。＝丸の＝地域の中ではほぼ全ての水、飲み水というのは地下水になります。この地下水というのは天然の放射能がたくさん含まれています。われわれは、まずラドンをチェックします。それからトリチウムというのは、人口トリチウムが環境の中にある場合、このトリチウムを確認をします。ですから、ここではトリチウムはチェックはしません。このヨーロッパの指令に基づく形で、理論値で確認をしていきます。人工、それから自然の放射能を確認をします。これは水の中にも当然入っていますので、われわれは、このヨウ素を確認をする必要があります。これは 0.1 ミリシーベルトと書いていますが、これが＝指標洗浄＝としての数字になります。ヨーロッパの指令に合わせる形でスクーリングのパラメーターも設置されています。＝グラス＝アルファ、グラスベータの数字が決められています。全てのアルファのパーティクルですが、まずベータの＝グロス＝ですが、これは水の中に入っている数字を確認をしていきます。

こちらにもあるように、1 ベクレルパーリットルというところを目指してサンプルを採っていきます。これを確認することによって水が安全であるかを判断します。またその結果によって、例えばここにありますように核種を確認していくことになります。この裏面もそうです。ラジウム、セシウム、このような形で基準となる濃度というのがあります。こちらを見ていただきますと検出の限度がこちらに示されていますので、これが非常に参考になります。というのは、最も適切な測定方法が何かということを確認することができるからです。

実際に、飲み水に対してわれわれが行いましたのは、非常に密なるモニタリングをしてまいりました。これは皆さんがご存知かは分かんないんですけども、●カウンターとわれわれが呼んでいる機器があります。これを使いまして飲み水を検査しています。これは蒸発することによって濃度を高め、そして実際に●と、このサンプルを混ぜまして、これを行うことによって非常に効率よく効果的なアルファ、そしてベータ、そして粒子の残留量というのを測定することができます。

こちらがこのような機器、写真になっています。水中に放射されている放射性の物質というのが非常に少量の光を発しますので、それをこのカウンターの中で測定することになります。非常に測定についてはベータ、アルファ、そして粒子を検出するのに適した方法です。この形ができない場合、これを使えない場合は科学的に非常に複雑な対応をしなければいけないということです、このツールが非常に有利であると思っています。

飲み水につきましては、われわれが実際に見ています水につきまして、ウラニウムのアイソトープ、それからここにありますベータの含有量がこのように出ていますし、実際にわれわれの調べた飲み水の中からはラジオアクティブな、いわゆる人工的な残留というのはありませんでした。

00 : 24 : 54

これが、その仕組みになります。これも継続的に蒸留をしながら 200 リットルを、これは水道水で 1 カ月調べました。こちらに＝レジン＝が入っています。これはラボで実際にやるんですけども、1 カ月間、継続的に水を流し続けます。そしてこれは樹脂を通します

ので非常にゆっくりろ過されて出てきます。その結果がここに出ています。これで分かりますように、感度が非常に高いということが分かります。特にセシウムの 137 につきましては、非常にヨーロッパの当局が指定しているものよりも高い感度で検出することができます。

それから水につきましては、この湖や河川の水について、直接サンプリングをして検証しています。これはヨーロッパ、欧州のリコメンデーション推奨の項目、そして値があります。それに照らして検証をいたします。

サンプリングポイントがイタリア全土に、さまざまに散らばっております。ロンバルディアのわれわれの地方に関して言いますと、7つの川、そして1つの湖をサンプリングポイントとして指定しています。

ここで見なければいけないのがセシウムの 137、そしてベータの活性になりますが、このレベルが非常に高いです。1リットル当たり1ベクレルというふうになっています。ということで、1リットルの直接サンプリングを使って、ガンマスペクトロメトリを使った検証をしています。

それからそれができない場合、それをしない場合というのはラジオケミストリーの手法を使います。●、それからプルトニウムのアイソトープ、それらについて水中の含有度を測るということをしてはいますが、それについては ISO の定める方法というのをを使って検出をしてみたいです。

サンプリングポイントが、例えば私たちのロンバルディアの地方の湖と設定して、これは継続的に採っています。年に2回採ります。春と秋、サンプリングを採りまして、またこの湖の水面から異なる深さでのサンプリングをしますので、1つのポイントに複数ポイントの異なる深さのサンプリングを行って検証をしています。ただし春と秋では大した差がないということが実際に分かってまいりました。このアルファに関しては若干差がありますが、ほぼ同じであると。他のヨウ素につきましてもこのような形でほぼ差がなく、全て検出の限界よりは低い値で出ているということになります。

この検出が必要であるということについて考えますと、よりサンプルを密に検証するために、この濃度を上げるということをしてはいます。＝イオンエクスチェンジ＝を使いましてサンプルを蒸発させ、そして濃度を上げることによって検出をしていきます。

この、いわゆるイオンエクスチェンジの手法というのは皆さんにとって新しいものではないと思います。イオンのプラス、マイナスを利用してレジンの層を、サンプルを通していくものになります。これを行うのに5リットル分の水を処理いたしますので、大体2～3時間を要することになります。

また蒸発を伴うプロセスがあります。これも新しい話ではありませんが、このシリコンジェルの●を使いまして5リットルの水に混ぜます。水の中にこれを混ぜるわけですが、数グラムを混ぜます。シリカ、シリコンなんですけど、それを混ぜた状態でホットプレートに乗せてサンプルを蒸発させます。実際に、もう乾燥してしまうところまで蒸発をさせる

わけですが、この方法のいいところといいますのは、例えば、どれぐらいの量のサンプルかというところに左右をされない結果が出せるということです。先ほども言いましたが、このレジンを使ってろ過をしていきますので、若干そのレジンに吸収されてしまうソース、サンプルの水というものはあるわけです。ただしその量の加減に影響を受けない結果が出せるということになります。

00 : 30 : 02

ポイントとしましては、何も混ぜないで蒸発をさせてしまうと残留物がビーカー、または器の底に張り付いた形になって、なかなかその残留物を採取することができません。それを収集するのに役立つということで、これを混ぜています。また非常に安価にできます。ただ時間がかかるということです。お金がなくて時間はあるけどということであれば、この方法をお勧めしたいと思います。

こちらセシウム 137 に関して検出の●どのように見ていくかというところを示しています。どのぐらいのサンプルを集めて、どのぐらいの濃度のものをつくり検出できるかというところを試した部分を表にしています。

また、異なる方法を比較するという機会にも恵まれました。昨年、実際に、このテストをすることができました。＝プロフィシエンテスト＝とわれわれは呼んでいますが、IAEA が企画をいたしまして、また皆さまの機関、大学からも教授からもご協力をいただきまして、日本の川から採ったサンプルを検証することができました。セシウム 137 に汚染されている、それからセシウム 134 によって汚染されている水を日本の川から採ることができました。このリアルサンプルを使っていますので、例えば＝クオリティーコントロール＝のサンプルを使う場合、IAEA から提供されたものを使いますが、ある意味、人為的にセシウムを入れて、放射線の活性を加えてスパイクが出る形にしています。こういった、いわゆる人為的に作ったサンプルであると、実際にリアルサンプル、つまり自然界から採ってきたものとは違う反応を示すということなんです。そういった意味で、測定の方法が一番適切なものはどれかということを検証するには、やはりリアルワールドのサンプルを使うということが有効であると考えますし、それをする機会に、われわれは日本の水を使うことができました。

一番いい方法というのは、こちらです。蒸発の方法が一番よかったということが分かりました。これはもちろん樹脂のやり方もあるんですが、またこちらのような形で、方法で行った結果を比べますと、具体的な樹脂を使ったということで、セシウムの捕獲を行ったわけですが、ただこの樹脂がたまたま合わなかったということもあるかもしれません。同じような結果が出ています。こちらはまた別の、ドナウ川からの水のサンプルの例もあります。

地表水のモニタリングをする際にわれわれがやっていることは、魚の中での放射性のチェックも行います。また実際に、川の流れの中の懸濁粒子のチェックも行います。魚のチェックを行ったんですが、われわれが実際に食べるお魚がありますよね。ですから、そのチェックをしたんですが、この中でも実際の環境の汚染状態のマーカーとしても有効なデータ

を得ることができました。さまざまな魚があります。まずこのサンプリングを行ったんですが、チェルノブイリの事故があつて直後にサンプル採りました。1,000 ベクレルということ、これはセシウムの 137 の数字が出ています。この制限値が 600 ベクレルということですので、右側のさまざまな魚の種類でも似たような結果が出ています。

こちらの魚ですが種類が違ひまして、一番下が小さな種類の魚。この一番下です。それから一番大きな魚が一番上のものになります。上の 2 つは、これは肉食の魚になります。ですから、小さな魚の数値はこちらになります。こちらのほうがセシウムの濃度が低いことが分かります。それに対してセシウム濃度が高かったのは、この場合はですけど＝フードチェーン＝の中で、やはり一番肉食のところで多いことが分かります。

00 : 35 : 03

また興味深い発見としては 2 つの池をチェックしたんですが、同じような魚を確認して、実際にヨーロピアンパーチという魚を使つたんです。2 つの●のサンプルを使いました。こちらのほうです。これは●といいます。もう一つが●という 2 つの池から水を取りました。似たような濃度でありました。しかしながら、この 2 つの池の中に、一つは数値が下がっていきました。なぜかということなんですが、こちらの池というのは●というんです。こちらのほうが水の入れ替わりの時間が短いということが分かりました。つまりこちらのケースの場合には、4 年ほどで全体の池の水が変わってしまうということが分かりました。それに対して、こちらのほうが水の入れ替えの時間がかかるということが分かったわけです。ですから、より早く下の池のほうが汚染された水が出ていくということが分かりました。またこの魚を見ても、濃度がより低いということが分かりました。

また別のモニタリングを行って、地表水を確認しました。懸濁粒子の確認です。この方法というのは非常に簡単でお金もかからないやり方なんですが、実際に動画もあります。この動画のほうが、恐らく皆さん理解がしやすいと思います。本当に、もう明確に分かつていただけたかと思ひます。もしよろしければ私のほうから、このモニタリングの結果を、懸濁粒子の結果だけをご説明して、プレゼンテーションの後で動画を皆さんにご覧いただければと思います。よろしいでしょうか。

これは方法論です。説明をしているんですが、結果をここに書かれています。このセシウム 137 の濃度が書かれています。さまざまな川からの結果が出ています。これはわれわれの地域のもんですが、こちらのほうが、より高いセシウム濃度が検出されました。こちらの川はランブロ川というんですが、こちらです。こちらにあります。これは実際、ロンバルディアの南側にあります。しかしこの水というのは、北部からランブロ川に水が流れてきます。こちらのほうがチェルノブイリの影響でセシウム濃度が高いわけです。セシウムの濃度は、こちらの川のほうが高かったわけです。

右側をご覧ください。こちらと比較のための同じ川から採っています。セシウム、それからヨウ素 137 の比較を行っています。ヨウ素 137 も、この川からチェックをしたんですが、こちらは治療で使った、診断分析のための医療目的での放射能が影響していると思われま

す。

こちらの方法ですが、この懸濁粒子の結果によって、数年前の話になりますが、この方法を使うことによって、あることを発見しました。つまりここで起こった事故が実際にあったわけです。ここは川なわけですが、これより下の部分は川になります。通常のモニタリングの中で懸濁粒子を確認していました。ここで実際に、このポイントでサンプルを採りました。ここで以前、原子力発電所がありました。ここで通常よりも、より高いセシウム 137 の検知が行われました。これは懸濁物質の中に入っていました。この地域というのをまず理解する必要があります。何が起こったのかということを確認しました。川沿いに、さまざまな川が、この川が枝分かれをしていきます。この中で常に、よりセシウム 137 の数値が高いということが分かりました。特に、この懸濁物質の中での数値が高かったわけです。この中で実際に、セシウム 137 を濃縮した形で工場がここにありました。鋳物工場があったわけですが、ここがより小さな川に近い所であって、そして汚染された水を小さな川に流していきしました。

00 : 40 : 03

そして非常に高いレベルでのセシウム 137 が濃縮した形で川の中に放出されました。そしてこの大きな川へと、その汚染された水が流れていったわけです。このアクシデントを、もしこういった方法論、モニタリングがなければ検知することはできなかったでしょう。

ほぼプレゼンテーションは終わりに近づいてきました。プレゼンテーションの最後のトピックになりますけれども、こちらは、この放射能をどの方法を使って行うのか、そして数値を、データをどう理解すればいいのかということをお話をしていきます。

まずこの放射能を地表水の中で確認をしていくわけですが、どの検出限界値を使うべきなのか、そしてどの方法論を使って地表の放射能を検出すべきなのかをお話をしていきたいと思います。

これが通常、私たちが使うステップになります。どうするのか、何を検出するのかをこちらに書かれています。まずわれわれとして、水の中での放射性物質を確認していく。そして線量を確認していきます。最終、全ての放射能検知というのは、こういった目的を持っているわけです。まず被ばくシナリオを定義していきます。3つの例があります。またわれわれの標的線量をどこに置くのかというところ。つまり、もし私がこの水を飲んだとき、それでもこの線量というのは安全なのかどうかということを見ていきます。またそれと同時に、この線量と、それから例えばこの放射性物質の濃度の環境を見ていきます。この標的物質と比較をして、この濃度はどういうレベルなのかということを見ていきます。それからこの濃度に対する分数という形で検出限界値を見ていきます。そしてこの測定方法を定義していきます。

幾つか例を挙げてご説明していきたいと思います。まず最初の例は一番分かりやすいもの、この飲み水から見ていきたいと思います。こちらの例ですが、この標的線量があります。これはヨーロッパの指令からも決まっている数値になります。水は汚染されているとして

も、この線量と、それから水の飲む量を考えて、この 0.1 ミリシーベルト、これは年間の線量になります。こういった数字が決まっています。この水の中での放射能を見ていくわけですが、この数値を使って線量を計算していきます。この濃度と掛ける、それから実際のわれわれが年間に飲む水の量を掛けます。そしてまたこの =ケイコウ= 線量係数というものに掛けることによって、こちらは実際に化学的な =チャーター= によって決まっています。この方程式を使うことによって、濃度というものを計算することができます。こちらに数字を入れていけば、年間にどれぐらい水を飲むのか、大人であれば、通常はこれだけの年間に水を飲むということが分かっています。またセシウム 137 に関して、大人に関して、このケイコウの線量係数、化学的な分析を基にこちらの数字が出ていますので、これをこの中に代入していただきます。

セシウム 137 の濃度、これが 0.4 ミリシーベルトのこちらに対応します。それによって 10.5 ベクレルパーキロという数字が計算できます。実際に測定をする際に、われわれは計算の中で全般的な前提、想定を立てました。この値を推定値として、どの測定方法を使うかということを選び、そして 1 ベクレルパーキロというのを ● 検知の限界というふうに設定しました。そういうふうに理由付けをして、そして方法を選んでいくというのが適正だと思います。

00 : 44 : 59

飲料水に関してはセシウムの検出下限値というのがありましたので、その飲む量との関係から、1 リットル当たりというところを標的にするのがいいと思います。

それからこの地表水の測定を行っていく中で、懸念が幾つかありました。これは地表水の汚染も非常に懸念されるところであり、その影響が、単に水そのものが汚染されるわけですから、それが流れていく先の湖などに魚も汚染してしまいます。そのレベルがどのくらいになるかということが気になりました。実際に水の中の濃度がどのくらい残り続けるのかということも見たいと思いました。今回のターゲットは 1 ミリ ● ということで、これは一般的な一般の人たちの摂取量に対応している想定ということが出来ます。そして魚に蓄積される放射能の線量、そして実際に魚が地表水に影響を受けて放射線の濃度が体内で上がり、それを食べる人間にそれが影響してしまうわけですから、ここでわれわれのターゲット汚染量、こちらの =デシシーベルト= 、1 年当たりの量を使いました。また魚の摂取量、消費量です。1 年間に 16 キロ、これは平均的なイタリアでの消費量になります。こちらがセシウムの部分。そしてこの方程式に入れますと、セシウムの濃度を魚で見たときに、1 ミリシーベルトパーイヤーというところを設定して計算しました。そうしますと 4,800 ベクレルパーキロという計算ができました。これがセシウム、魚の中に蓄積されるものと、それから実際にわれわれが摂取する際の量に当たるわけです。実際に水中にあるセシウムとでは、魚に蓄積されるものとは何か相関があるのかということになります。

これもすごく一般的な式です。非常にシンプル化したものですが、さまざまな化学的なテクニカルレポートから参照して採っています。それによりますと、魚に蓄積される量

と、それから水の中に残留する濃度を見てみますと、＝バイオキュミレーションファクター＝というふうに呼んでいます。これは実際に濃度が魚の中で残留として残っていく量をベクレルパーキロで計算をし、それと水の中のセシウムの量を比較しています。さまざまな化学的なリテラチャー、文献の中でもさまざまな値が出ています。大体 30 から 1 万ぐらいです。非常に幅広いばらつきが報告されています。皆さんが行われるリサーチの中でもいろいろな検証も既にされていると思いますが、この実験的なデータがたくさん出ていると思います。福島事故の後、いろんなデータが出てきていると思いますし、それらを見ていくことによって、実際にこのファクター、因子のいろんな値の中で精度を上げて選んでいくことがしなければいけないタスクだと思っています。

ただ最悪のケースを例えば考えると、つまりこの蓄積のファクターとして最高値を考えてみますと、水の中の濃度に換算してみますと、例えばこの魚の密度に達するためには 0.48 ベクレルパーリットルというレベルになります。つまりセシウムが水中にこれだけの濃度であったときには、最悪のシナリオとして、この濃度が魚に上記のような濃度で表れるということになります。この検出限界度というのは、例えば 0.05 ベクレルパーキロというのが望ましい検出の限界値であると想定しましょう。そうしますと、ここにありますように限界値が非常に高くなってしまうものは適用されませんし、どれが適切かということは、このように比較することで見えてきます。

サンプルにつきましては、これも排水から採りました。いわゆる廃棄物の処理サイトから採った水です。

00 : 49 : 59

この検証の中では、リアルケースとしてわれわれの地域に実際にある所の現地のサンプルで採っています。ここはいわゆる貯蔵地域、貯蔵場所になっていました。ファウンドリーの、いわゆる廃棄物であったり廃物をここにためていく、または置いていたわけです。

セシウムの 137 で、この影響として近くの湖が汚染されました。場所的には農作地帯のど真ん中にあるわけですが、雨が降ったときに地表から汚染物質を含んだまま地中に吸収されます。そしてこのエリアの下にたまった汚染物質が、この場合はセシウムですけれども、それが流れ込んでいくことになります。ですから問題になるのは、ここで地下水の所に含まれてしまった汚染物質がどこの水系に流れていくのか、どこ水源として汚染を起こしてしまうのかということになります。

ちょっと一歩、先に進んでもう一度申しますと、このファウンドリーの周り、ここに具体的な測定のポイントを置いてモニタリングをしていきました。実際にここに住んでいる動物や人の、いわゆる飲料水になり得る水源を検証したかったので、リポジトリーの所から吸収された汚染物質がどのように出てくるかということを検証したかったわけです。という意味で、飲み水をこの地域で確認をしてみました。

フォーミュラ、式としましては先ほどご紹介をしました、これを使っています。それから少し手を加えまして、ターゲットとしたい容量と線量というのを下げました。10 マイクロ

シーベルパーイヤーということで、1年間の●ターゲットとして設定をしています。なので、飲み水に関しては先ほどの●よりも低いレベルでのセシウムのターゲットレベルにしたいということで式に入れ込んでいます。

排水につきましては、ここで影響を受けた例えば排水ですね。話が少し複雑になってしまいうのは、このセシウムに汚染された水、これは地中に染み込むプラス、このサイトからいわゆる汚染水として流れ出されたものというものが加わるということです。そしてこの近くにある町から●として出くると混ざって水源を汚染してしまうということがあるわけです。この地域自体は農村地帯でしたけれども、農業地帯でしたが、どのようにこの汚染された水、またはその水を農業の生産に使っていけばいいのかということ、これを解決する必要が出てまいりました。そしてどのくらい大きな問題が実際にあるのかということも実測をしたいと思います。

ここにありますように、1年間に1,000トン汚染された水が出るとします。そしてセシウム137のレベルが100ベルパーキロと想定しました。なので、この排水の中から出てくるセシウム137というのは、このリポジトリの場所から出てくるものというのは、ここに書かれているようなベクレルが1年当たりの量になってきます。それからこれが他の下水などから出てくる排水と混ざるわけです。

セシウムは通常の傾向として、土壌の中に入っていく傾向があります。下水処理からきれいな水が出て、そして汚染された●が、ここにセシウムが全てこの中に入っていくわけです。これだけの量のセシウムが、まずこの下水処理場に入ってきます。最終的に年間ですが、2,000トンの非常にかなり大量の汚水が下水処理場から出て、汚泥が出てきます。

00 : 55 : 00

セシウムのこの濃度はこちらに書いていますが、これが1キロ当たり500ベクレルという高いレベルでの放射能を持ったものが下水処理場から出てきます。

こちらは農場地帯になりますが、汚泥を使って農業を行っていくわけですが、われわれのイタリアの中ではこの規定が決まっていまして、土壌に対して0.75キロの汚泥を上限という形で使ってもいいという、これは国の中の規定があります。ということは、セシウム137という観点から見た場合に、1平方メートル当たりの土壌に対して大体ですけれども、1平方メートル当たり400ベクレルのセシウムがあることになります。

この計算をしていくと、前提をシンプルに考えていくと、シンプルにしなければ結局結果は出ませんので、まず全体条件をシンプルに考えて、そして控えめな数字をまず採っていき

ました。

この数字から汚泥というのは実際に農場地帯で使われますので、この10センチ分の土地と混ぜたということで、この濃度でいった場合、最初の10センチの土壌と一緒に組み合わせる場合、これが土壌の濃度になります。ということは、最終の濃度、セシウムの濃度はこのような形で出ています。1キロ当たりの2.5ベクレルの濃度になります。これだけのセシウムが土壌の中にあるということで、例えば農場園で働いている方がいます。これは非

常に濃度の高い土壌で農業を行っています。ここにも家があるわけです。そしてこの中で野菜を作ったり、こういった飼育を行っているわけです。

こちらのモデルを使用しました。これは＝レセラド＝というモデルになります。これはアメリカの Argonne National Laboratory が作ったものになります。これは自由にダウンロードができます。こちらを使うことによって、非常にすぐに計算を行うことができます。さまざまな暴露の経路がありますので、汚染された土壌によるさまざまな被ばくのルートを考える中、人への影響を見ることができます。またセシウムだけではなく、実際に汚染をされた水や、それから食べ物を食べた結果もここから計算をすることができます。最終的にこのモデルを使うことによって出てくる数字ですけれども、年間 1 マイクロシーベルトというのは非常に、これは小さな数字であることが分かりました。この主な理由としては、外部の消費者によるものであるということが分かりました。

最終結果はどうなったのかということなのですが、この数字は非常に低い数字であると。こちらは 10 マイクロシーベルト、年間の数字よりもはるかに低いわけです。この数字自体は全世界的な●スタンダードを見てもかなり低いということが分かります。ですから、この数字だけを見ると全く心配する必要はないということが分かります。他のサイトからも、このプログラムを使って測定を行いました。この数字はわれわれにとって、まだ高過ぎると考えているわけですが、もちろんこの 2.5 のほうが高いわけですが、ただこちらの数字もまだ高いとわれわれは考えています。

ただこの被ばくというのは外部照射ということになっています。ですから、われわれとしては一般の人、この地域に住む人たちの被ばくレベルを下げなければいけないわけです。ということは、こういったタイプでの被ばくを下げなければいけない。つまりこれは、ここで作られた食べ物を食べるというだけではなくて、実際にここで作られたものを食べる量というのはそれほど大きなものではありませんので、実際の問題というのは、この外部照射によるものが大きいということが分かります。

01 : 00 : 07

最後のスライドになります。まずわれわれとしては、この汚水の中での汚染物質、そして最終的な線量というものを関連して見ることもできました。この 10 マイクロシーベルトよりも低い数字に収めるために、そのためにはセシウム 137 の量を 1 キロ当たり 1,000 ベクレル以下にしなければいけないということになります。その場合に必要な●ですが、この 1,000 ベクレルの 10 分の 1 ということになります。つまりこのセシウムとしては●当たりの 1,000 ベクレルということになります。これだけの●ということが必要になります。

もうこれはほぼ終わりになりますけれども、既にお話をしたことのまとめになりますが、セシウムの中の測定、水の中の測定ですが、望ましい検出限界値を決めなければいけません。そしてこの限界値ですが、一番簡単なのは法律によって決まっていると。ただ法律でそういった規定がない場合、その場合は具体的な被ばくシナリオを考えていく必要があります。またこの具体的な被ばくシナリオを使うことによって、この＝要件＝も変わってくる。つまり

被ばく限度も変わってくるようになります。これが非常に重要なポイントになります。

またこの食品をチェックする場合ですが、ある程度の魚や、それから懸濁粒子を見ていく中で、非常に有益なデータを採ることができます。一般的な環境の汚染状況を見る上で非常に有益なデータマーカーになります。

プレゼンテーションは以上になります。動画の時間はありますでしょうか。もしなければ動画をやめてしまうということもできますが。ご清聴、どうもありがとうございました。

01 : 02 : 36