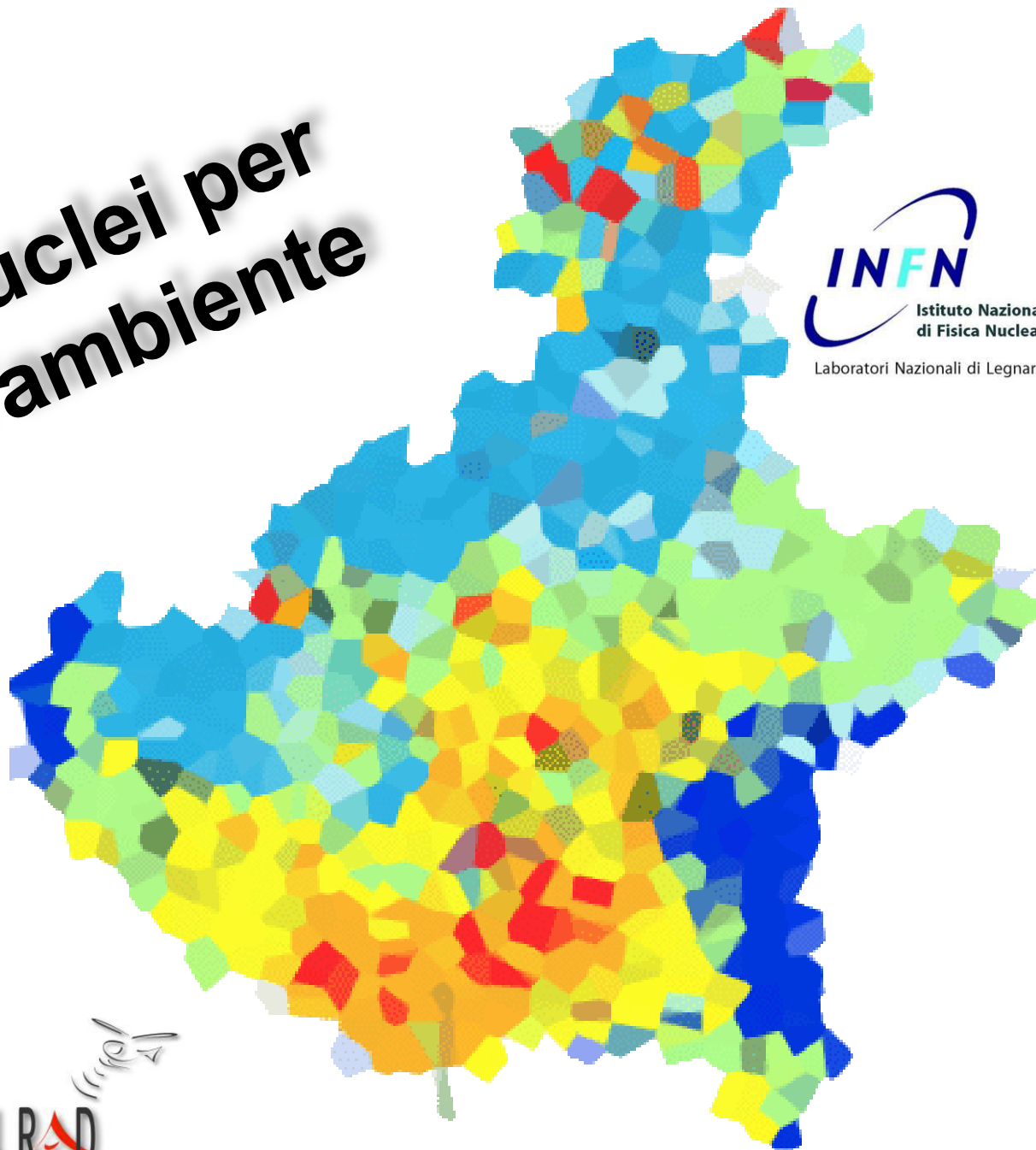




# Nuclei per l'ambiente

**INFN**  
Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare  
Laboratori Nazionali di Legnaro



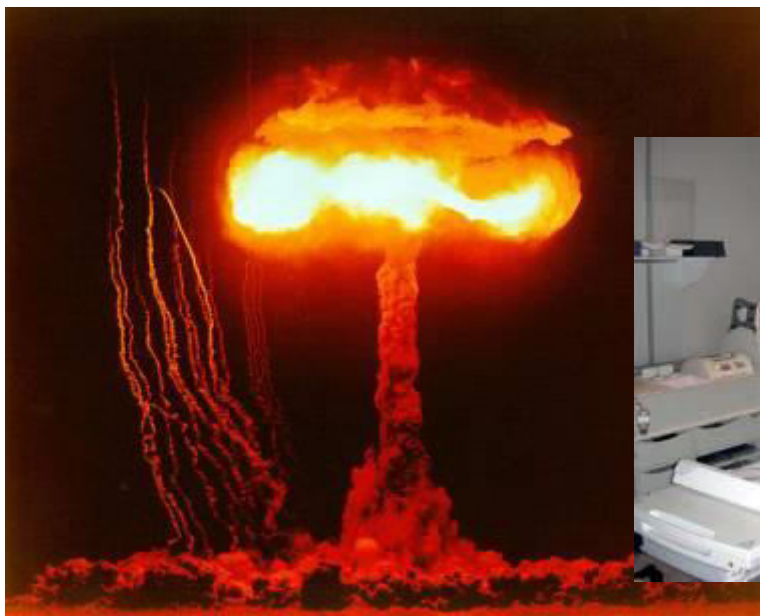
Italian Radioactivity Project

Fabio Mantovani – Università di Ferrara – [mantovani@fe.infn.it](mailto:mantovani@fe.infn.it)

# Sommario...



# Se dico radioattività, tu pensi a...



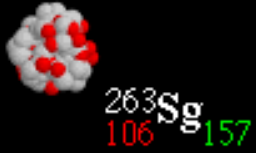
# La radioattività

La radioattività è un fenomeno fisico naturale che si verifica quando il nucleo di un atomo instabile raggiunge un nuovo stato di equilibrio emettendo radiazioni

1 Bq = 1 decadimento al secondo



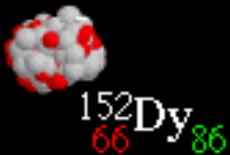
## Decadimento Alfa



## Decadimento Beta



## Decadimento Gamma

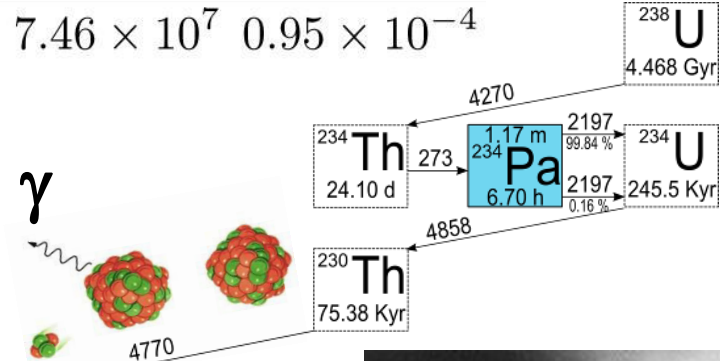


# La radioattività terrestre dall'uranio

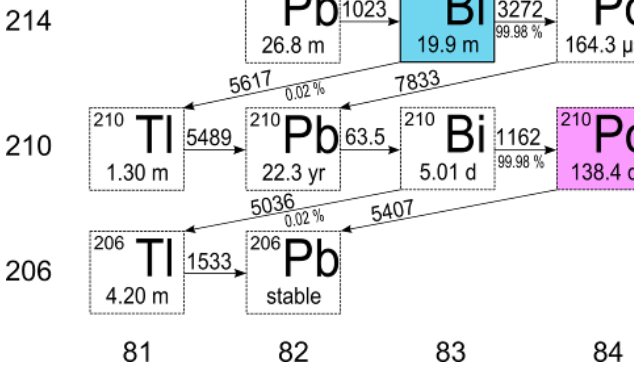
Decay	$T_{1/2}$	$E_{\max}$	$Q$	$\varepsilon_{\bar{\nu}}$	$\varepsilon_H$
	[ $10^9$ yr]	[MeV]	[MeV]	[ $\text{kg}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]	[W/kg]
$^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} + 8\ ^4\text{He} + 6e + 6\bar{\nu}$	4.47	3.26	51.7	$7.46 \times 10^7$	$0.95 \times 10^{-4}$



Anti-neutrini prodotti dai decadimenti  $\beta$  nella catena di U: i geo-neutrini.



Premio Nobel per la chimica: "in recognition of her services to the advancement of chemistry by the discovery of the elements radium and polonium"

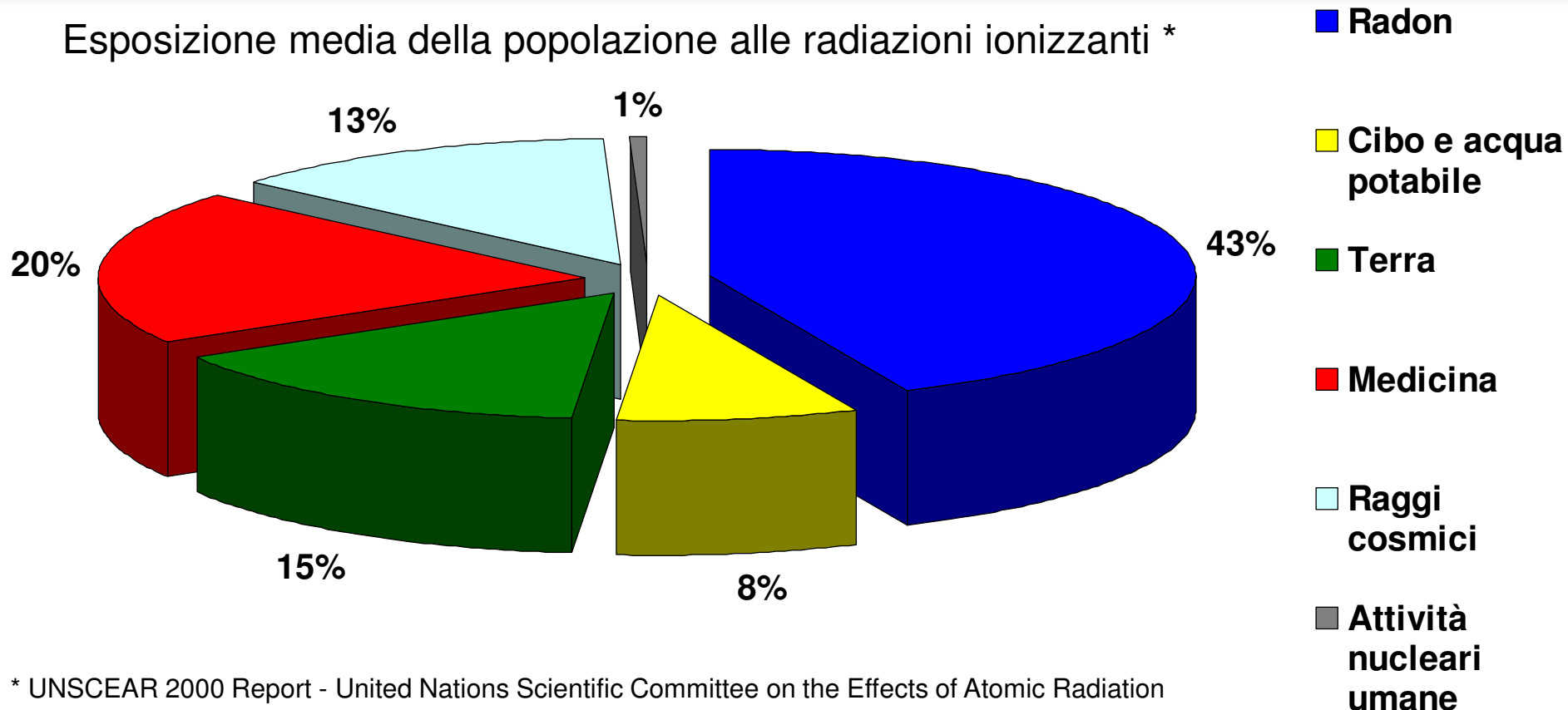


# La radioattività ed il nostro corpo

L'energia ceduta per unità di massa dalla radiazione ionizzante viene chiamata **dose** (Gy = gray = J/kg).

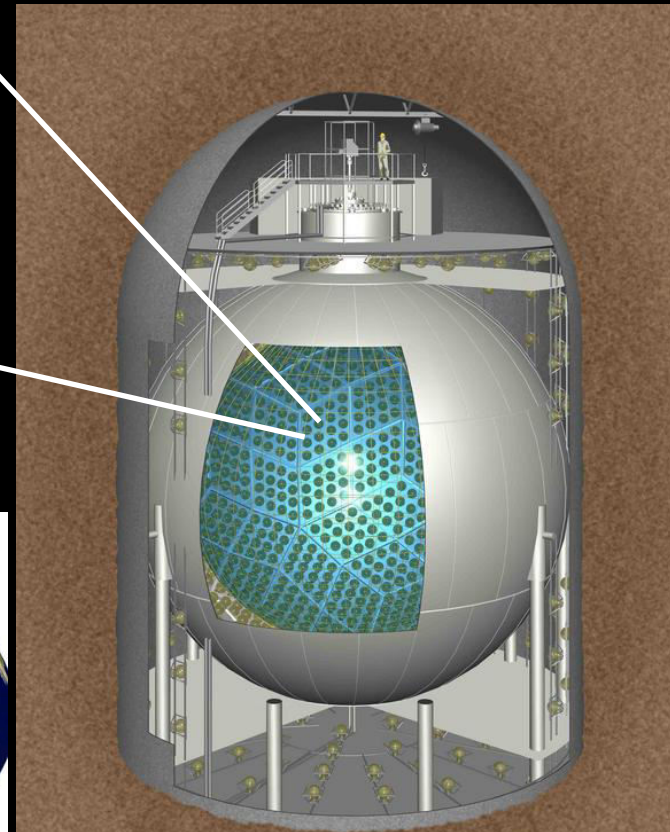
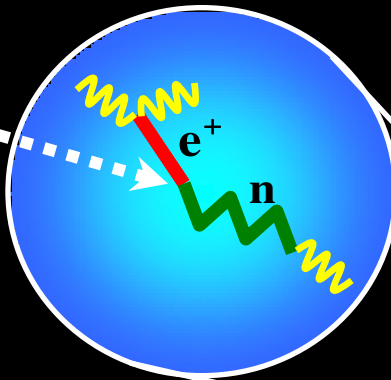
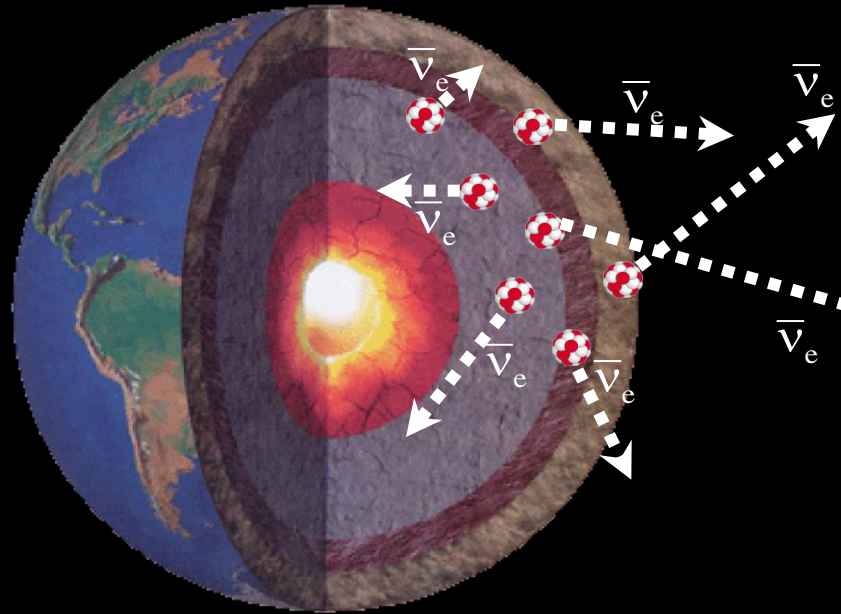
Per quantificare l'impatto sugli organismi della radiazione ionizzante bisogna tener conto del tipo di radiazione e della distribuzione della dose agli organi: **dose efficace** (Sv = sievert)

Esposizione media della popolazione alle radiazioni ionizzanti \*



\* UNSCEAR 2000 Report - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

# Solo da **10 anni** siamo in grado di misurare i geo-neutrini!!!



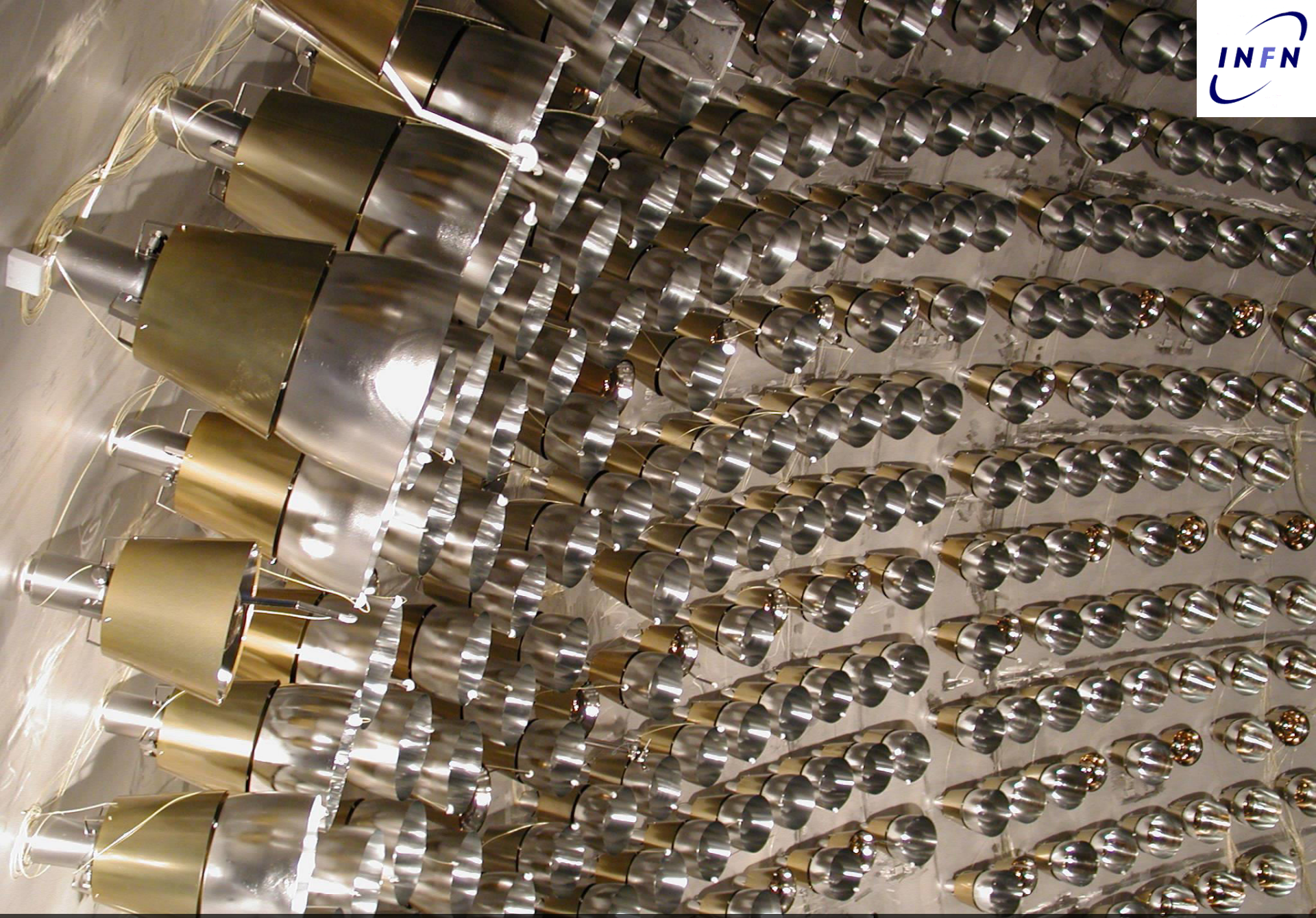
Solo due rivelatori al mondo sono in grado di misurare questa “radioattività”:  
**KamLAND (Giappone)** e  
**Borexino (Italia)**



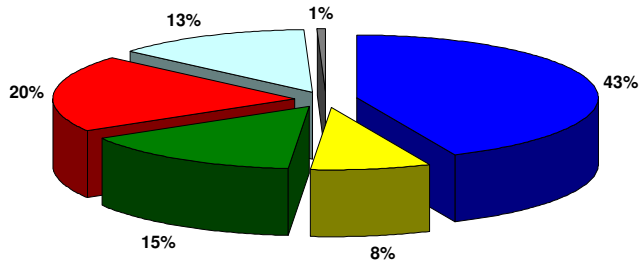




**Borexino: un detector contenente 300 tonnellate di liquido scintillante**

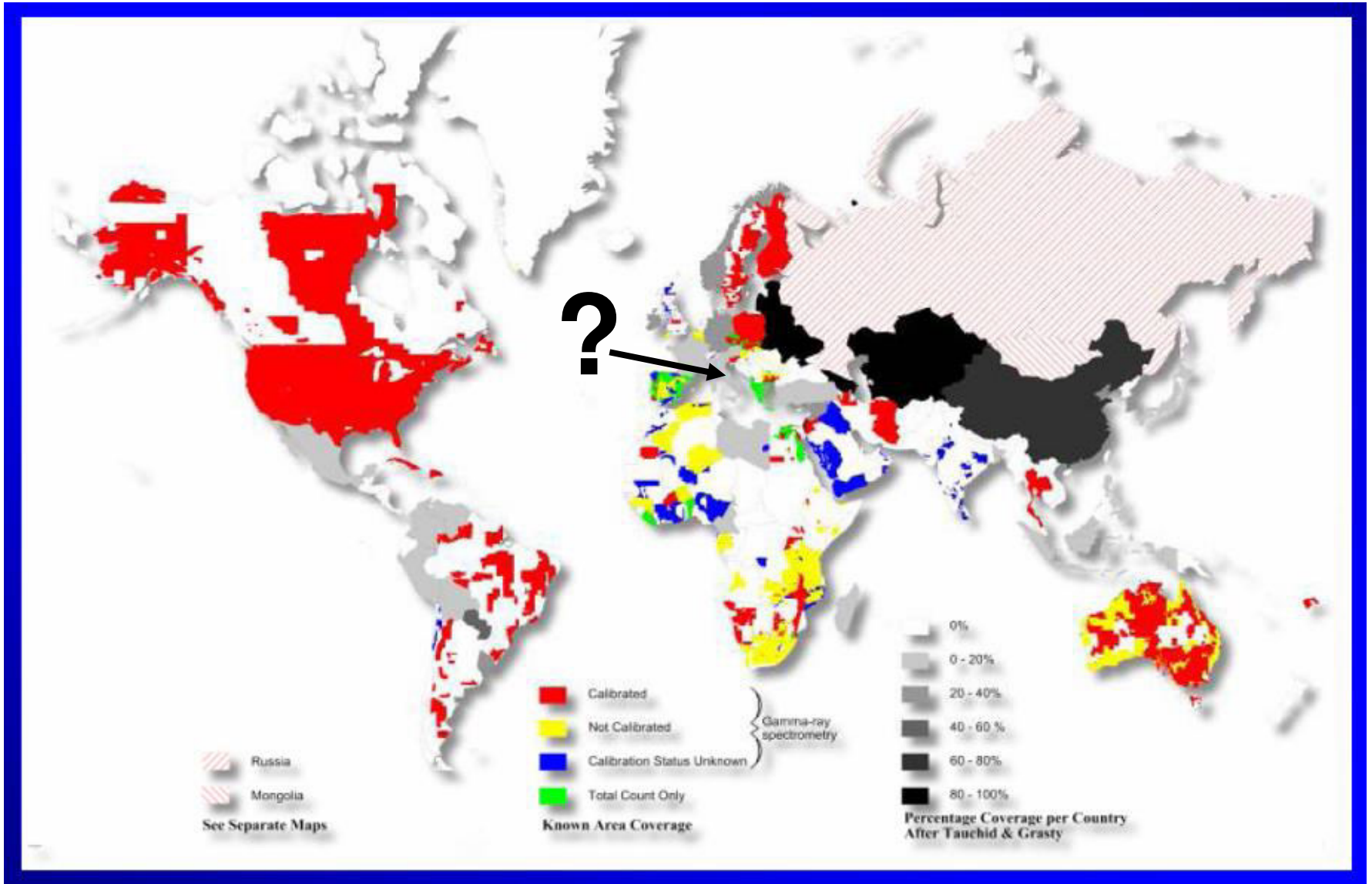


**Borexino: un detector composto da 2200 rivelatori di luce**



- Radon
- Cibo e acqua potabile
- Terra
- Medicina
- Raggi cosmici
- Attività nucleari umane

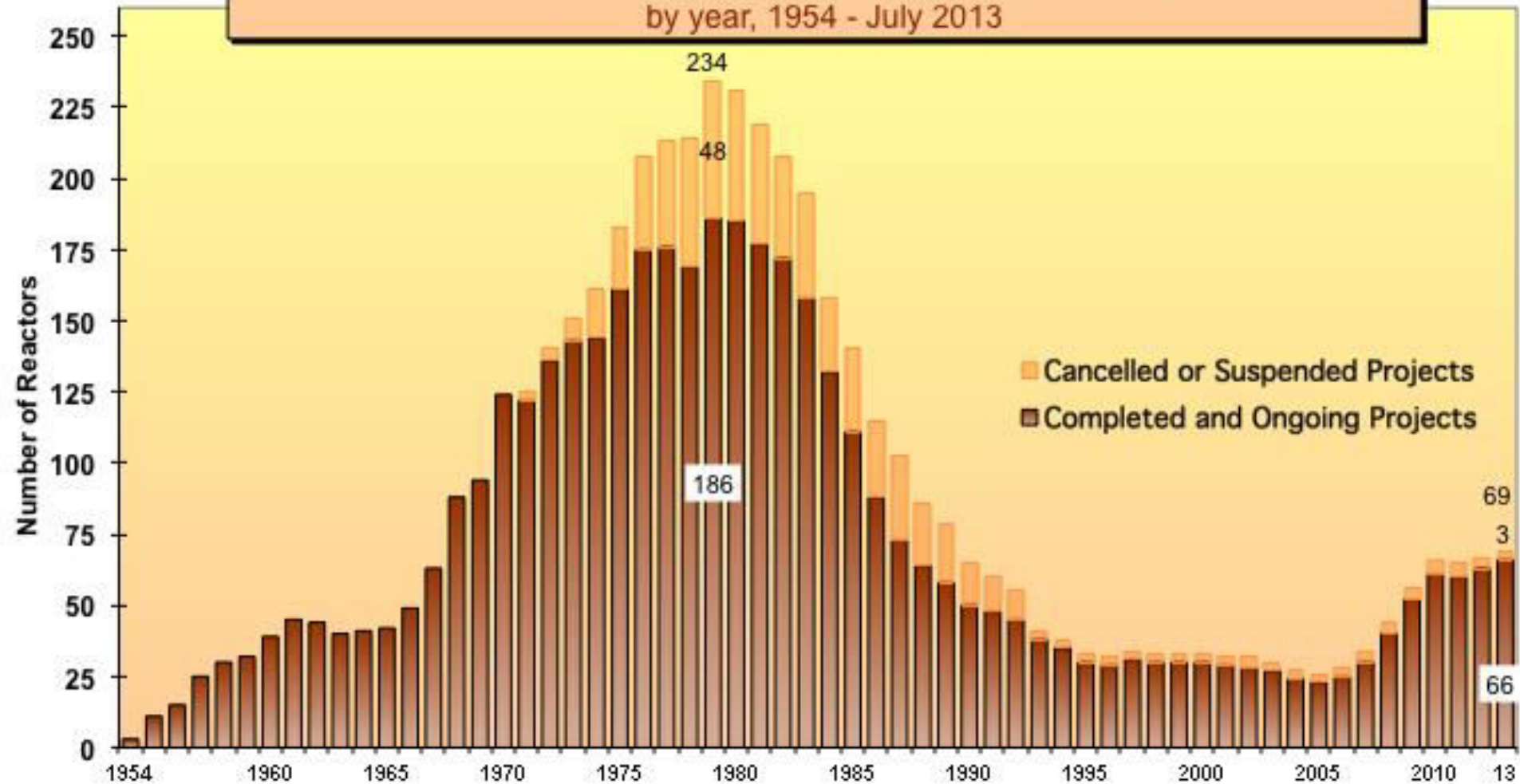
# Mappatura della radioattività nel mondo



\* Compiled by Sally Barritt, 2005 - Radioelement Mapping, IAEA.

# Costruzione di nuovi impianti nucleari nel mondo\*

Number of Nuclear Reactors Listed as "Under Construction"  
by year, 1954 - July 2013



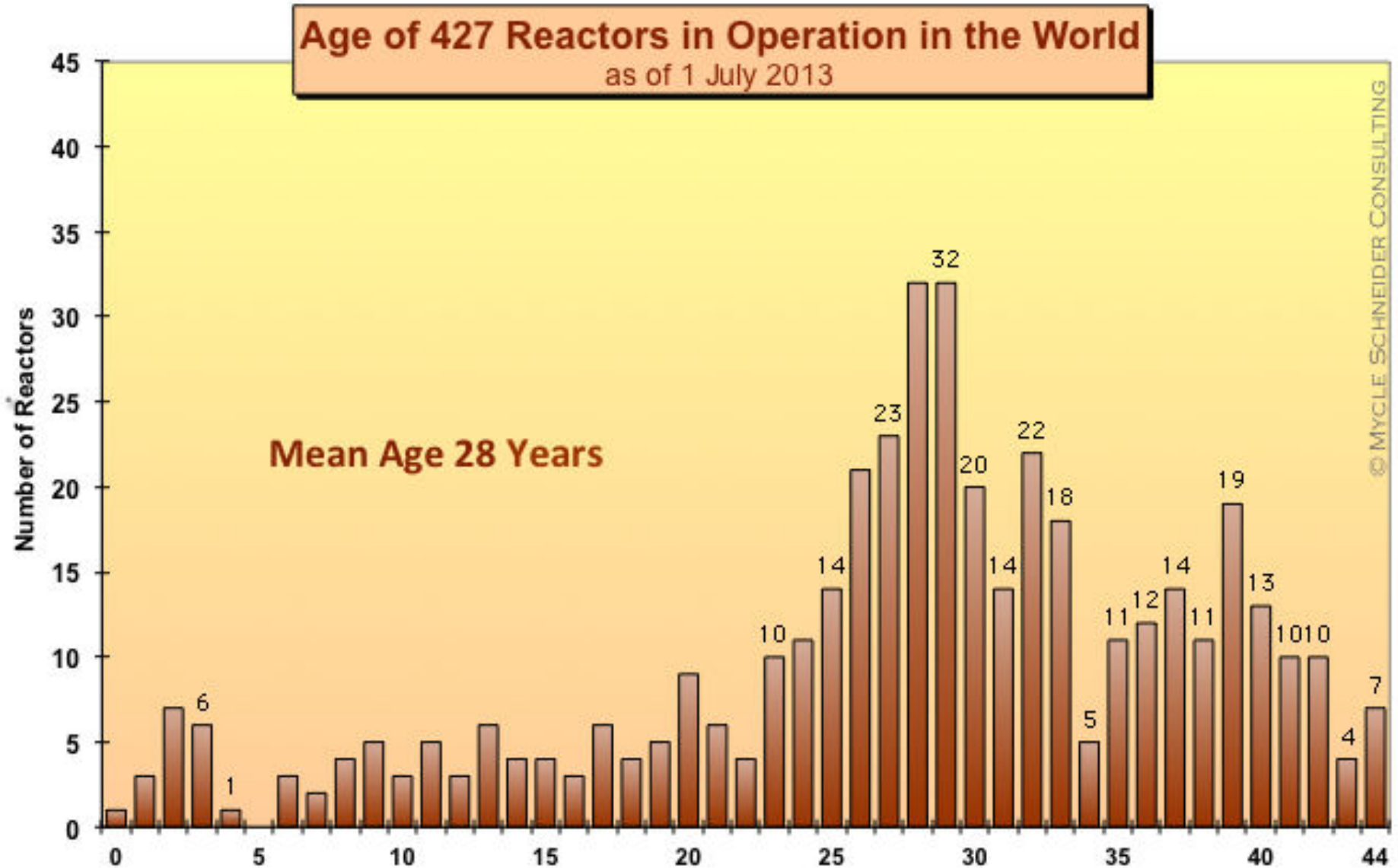
\* IAEA – PRIS – 2013

# Nuovi impianti nucleari nel mondo\*

Country	Units	MWe (net)	Construction Start	Grid Connection
China	28	27,790	2008-2013	2013-2017
Russia	9	7,273	1983-2019	2014-2019
India	7	4,824	2002-2011	2013-2016
South Korea	5	6,320	2008-2013	2013-2017
USA	3	3,399	1972-2013	2015-2017
Pakistan	2	630	2011	2016-2017
Slovakia	2	880	1985	2014-2015
Taiwan	2	2,600	1999	2014-2015
UAE	2	2,690	2012-2013	2017-2018
Ukraine	2	1,900	1986-1987	2015-2016
Argentina	1	692	1981	2013
Brazil	1	1,245	2010	2016
Finland	1	1,600	2005	2016
France	1	1,600	2007	2016
<b>Total</b>	<b>66</b>	<b>63,443</b>	<b>1972-2013</b>	<b>2013-2019</b>

\* IAEA – PRIS – 2013

# Età degli impianti nucleari nel mondo\*



\* IAEA – PRIS – 2013





# Dove lavoriamo?

... in lab



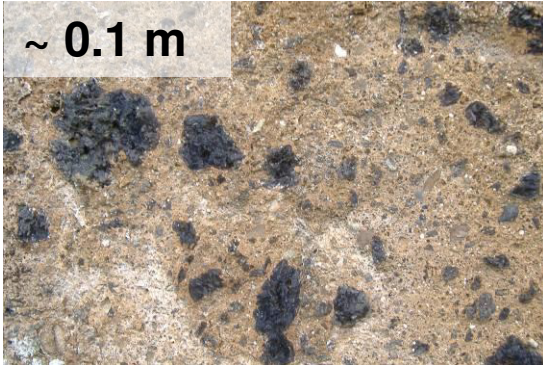
... in situ



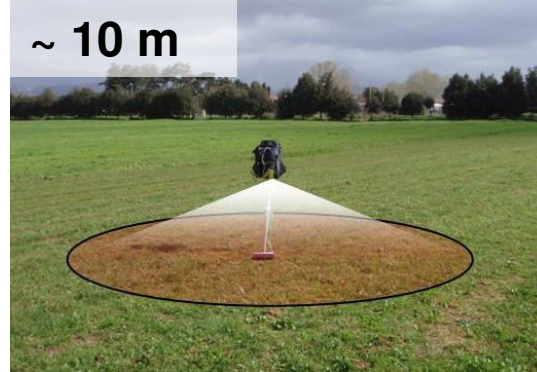
... airborne



~ 0.1 m



~ 10 m

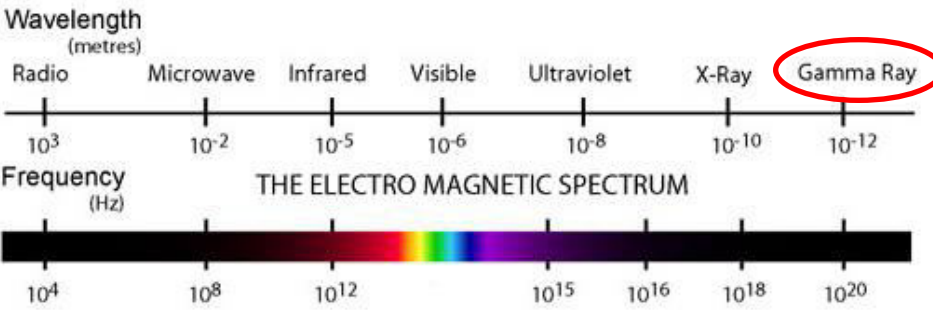
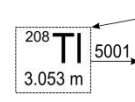
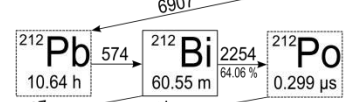
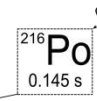
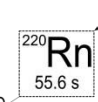
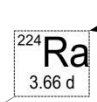
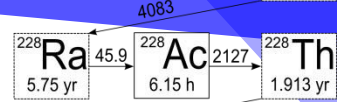


~ 100 m

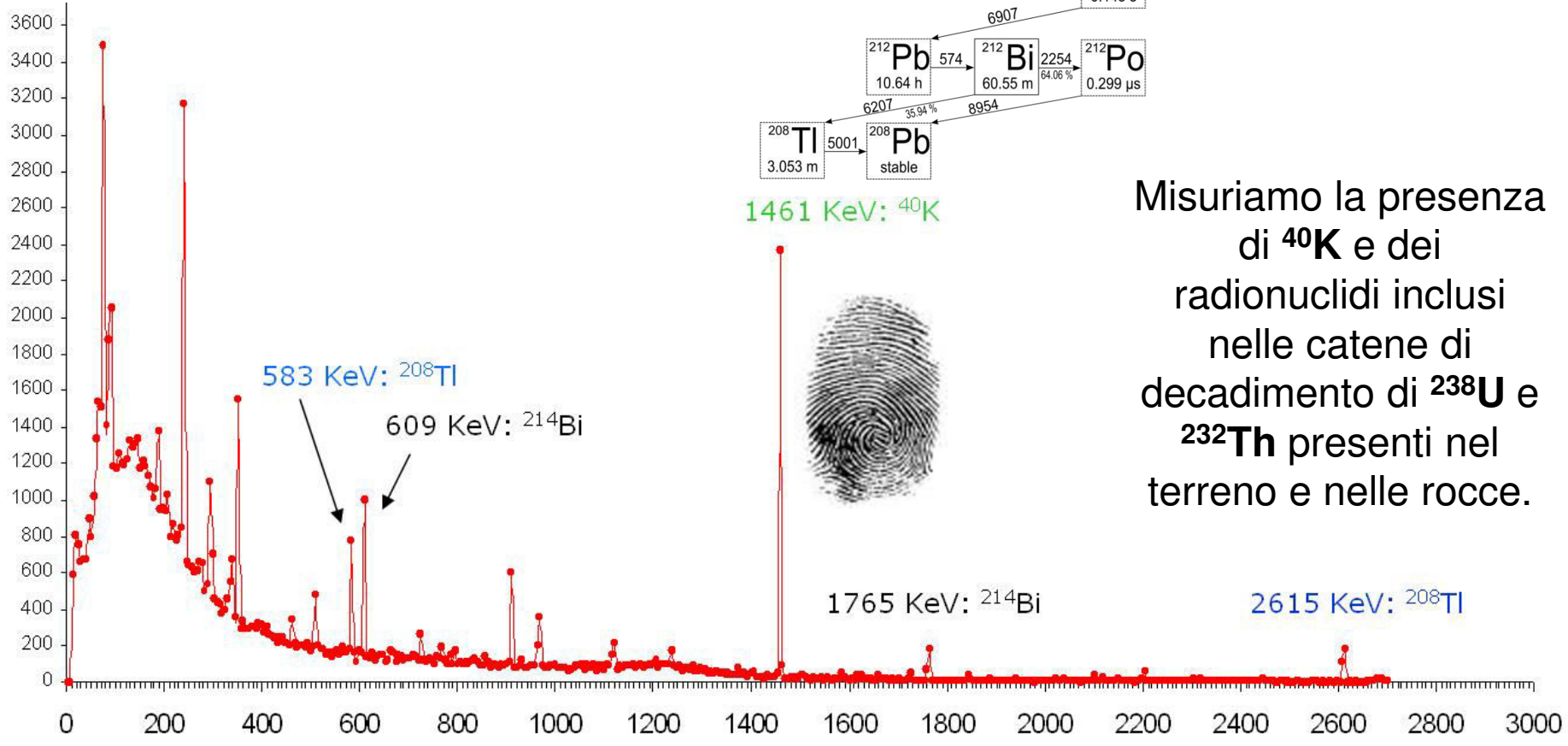


# Cosa misuriamo?

<sup>232</sup>Th  
14.05 Gyr



Conteggi



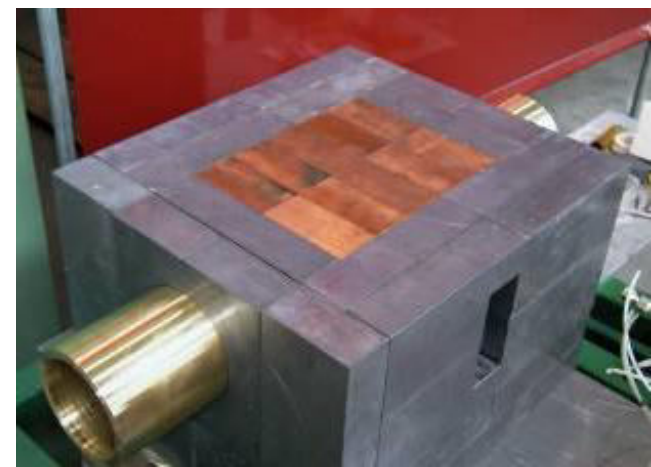
Energia [KeV]



Misuriamo la presenza di <sup>40</sup>K e dei radionuclidi inclusi nelle catene di decadimento di <sup>238</sup>U e <sup>232</sup>Th presenti nel terreno e nelle rocce.

# $\gamma$ -ray spectroscopy in lab: MCA\_Rad system

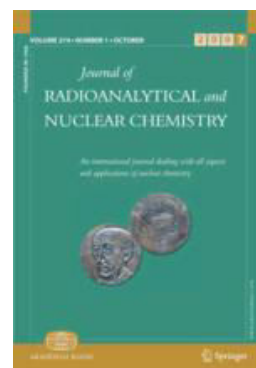
- Detectors: 2 HPGe (Rel. Eff. 80%)
- Risoluzione Energetica: 2.02 keV at 1.33 MeV
- Temperatura di funzionamento:  $\sim -190$  °C
- Schermatura: Cu, Pb
- Volume del campione: 200 cc
- Durata misura standard:  $\sim 1$  h
- Errore sistematico sulla misura dell'attività assoluta:  $< 5\%$
- Grado di automazione: 22 campioni con lettore di codice a barre
- Conforme alle linee guida IAEA

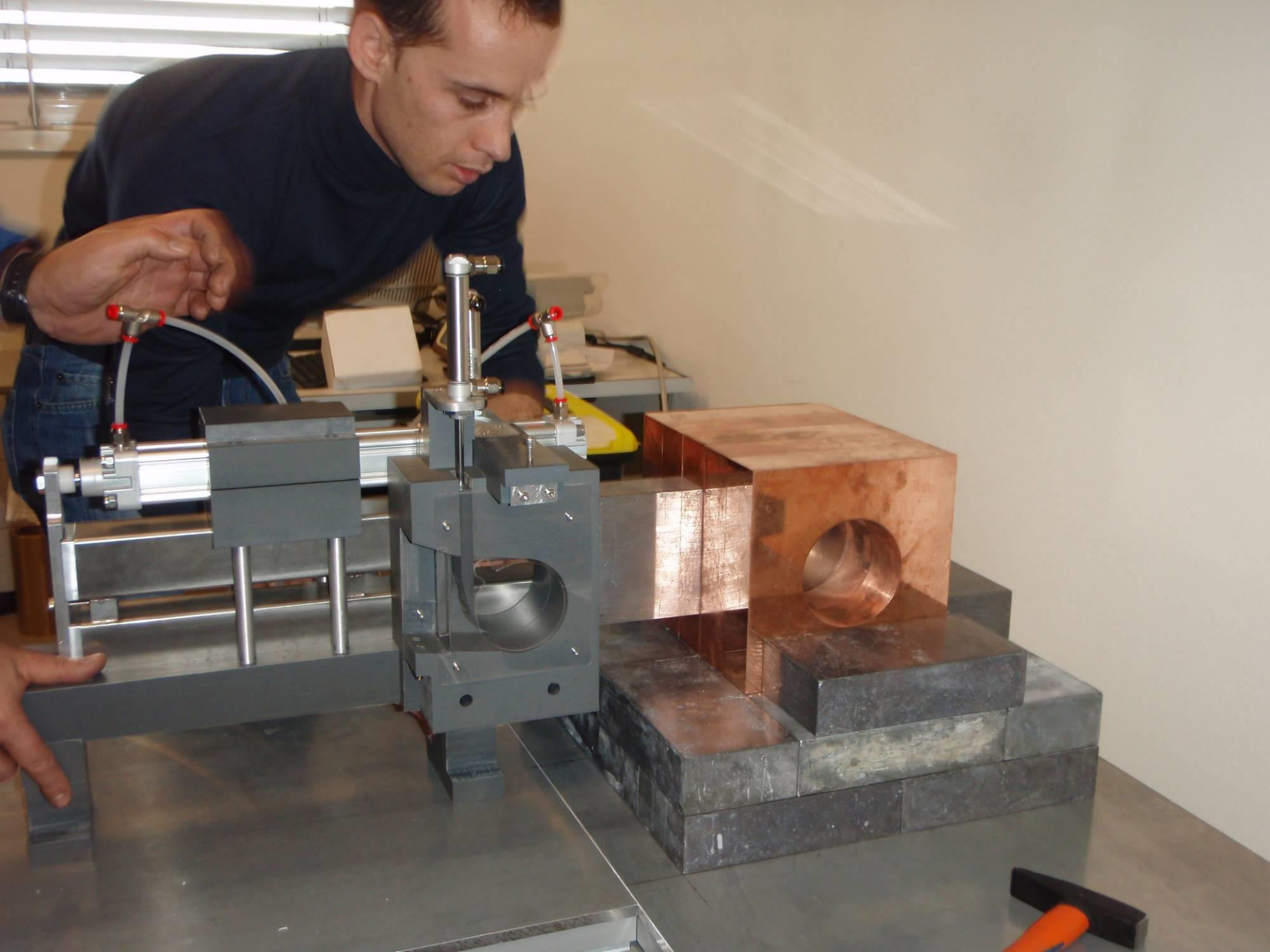


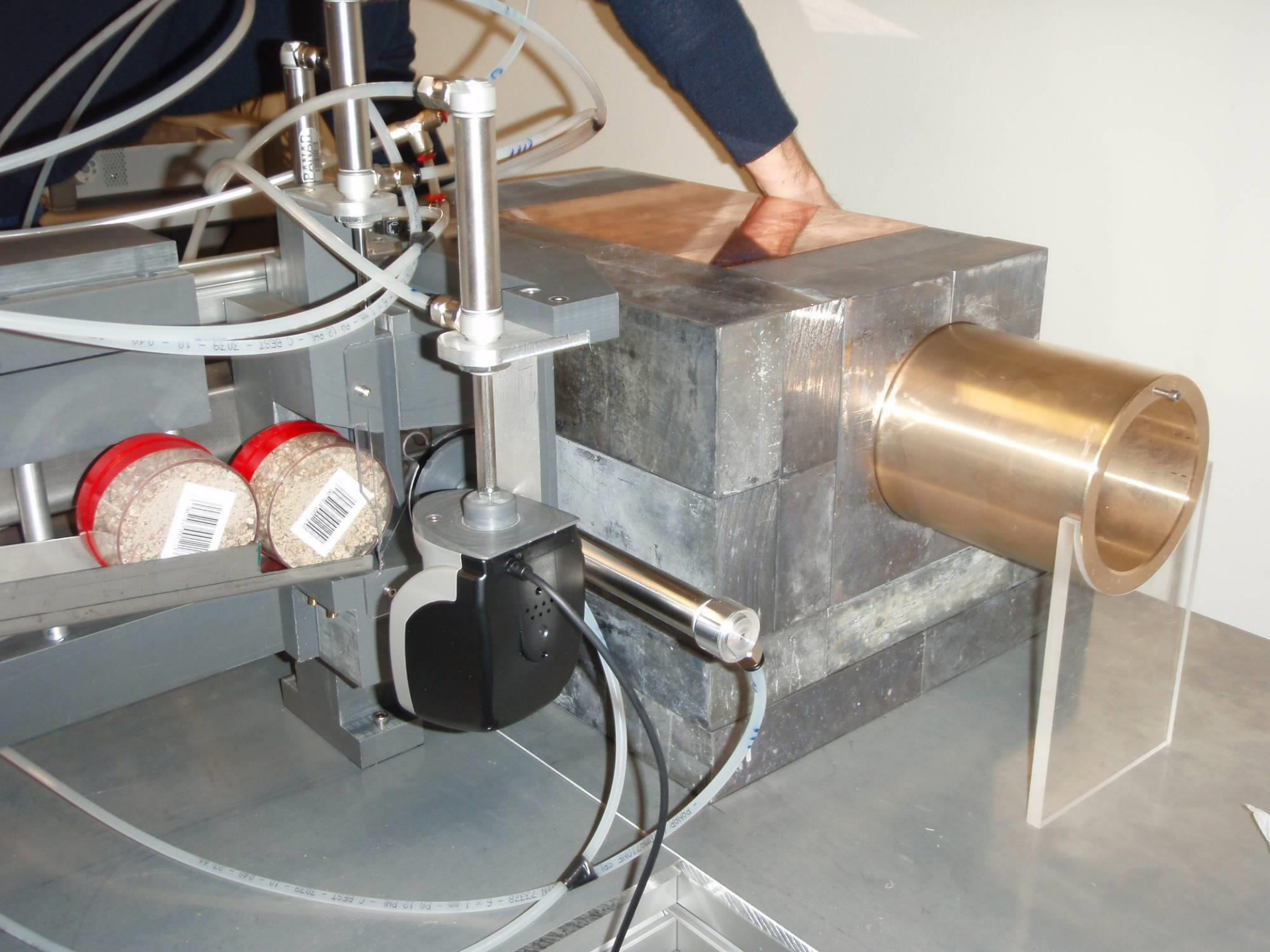
J Radioanal Nucl Chem  
DOI 10.1007/s10967-012-1791-1

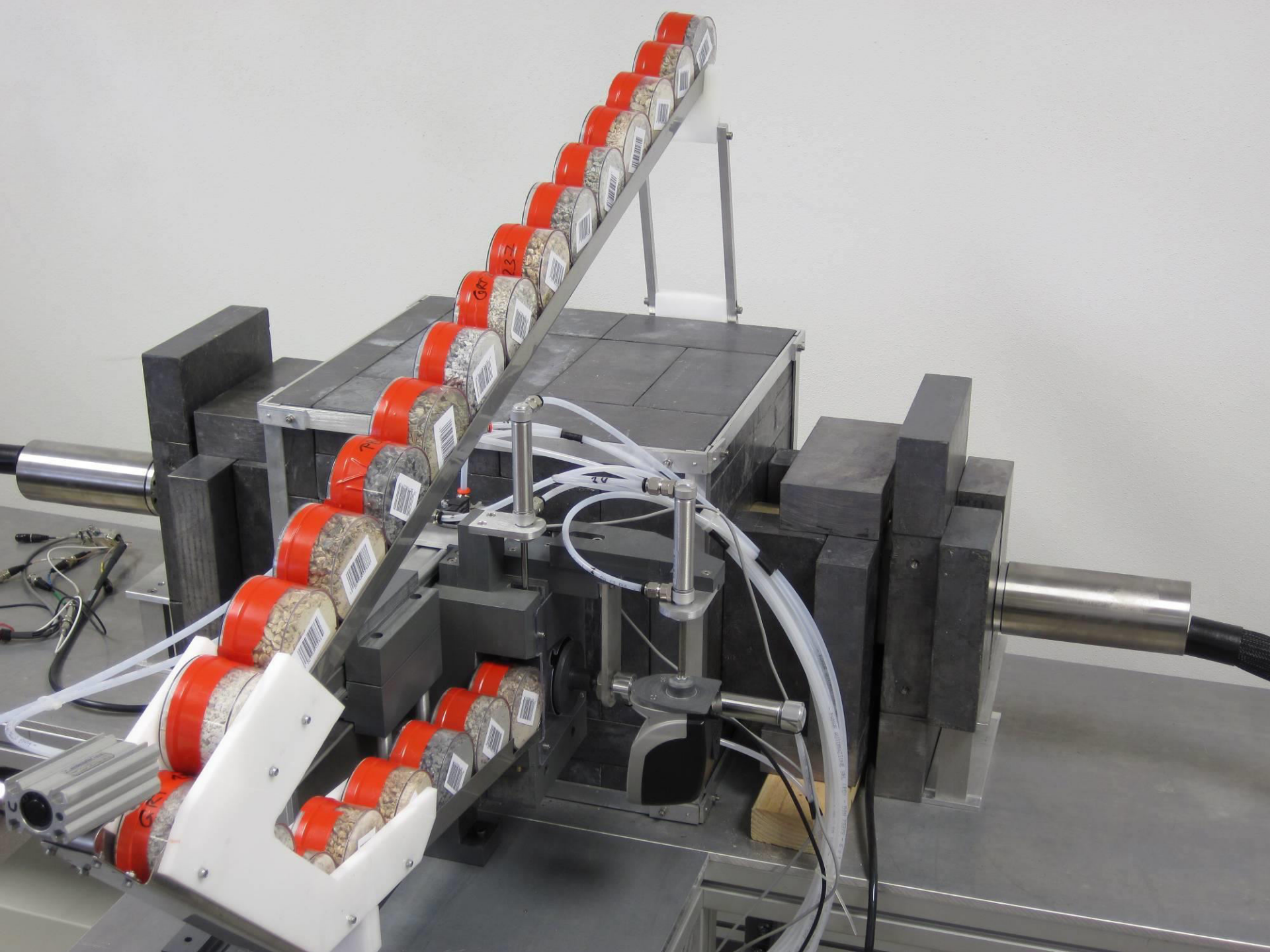
## The worldwide NORM production and a fully automated gamma-ray spectrometer for their characterization

G. Xhixha · G. P. Bezzon · C. Brogginì · G. P. Buso · A. Caciolli ·  
I. Callegari · S. De Bianchi · G. Fiorentini · E. Guastaldi · M. Kaçeli Xhixha ·  
F. Mantovani · G. Massa · R. Menegazzo · L. Mou · A. Pasquini ·  
C. Rossi Alvarez · M. Shyti
















# Campionamento e preparazione campioni



# ZaNal\_10

Lo ZaNal è uno strumento portatile dedicato alla determinazione quantitativa in-situ della radioattività gamma di origine naturale ed antropica.

Richieste	Soluzioni	Strumento
<b>Portatile</b>	0.3L NaI(Tl) detector ~ 4 kg zaino 	
<b>Veloce</b>	Standard acquisition time: 5 - 10 min 	
<b>Lunga autonomia</b>	Elettronica integrata USB Digibase (1024 channel) Power Aut.: 6 hours 	
<b>Risposta in real time</b>	Laptop EeePC Asus Software Maestro 	
<b>Sensori accessori</b>	USB GPS antenna, USB Temp & Humidity sensor 	
<b>Risoluzione energetica</b>	Energetic resolution 12.5% (662 keV $^{137}\text{Cs}$ ), 15% (122 keV $^{57}\text{Co}$ )	



# ZaNal\_10 in situ



# Studenti misurano la radioattività ambientale

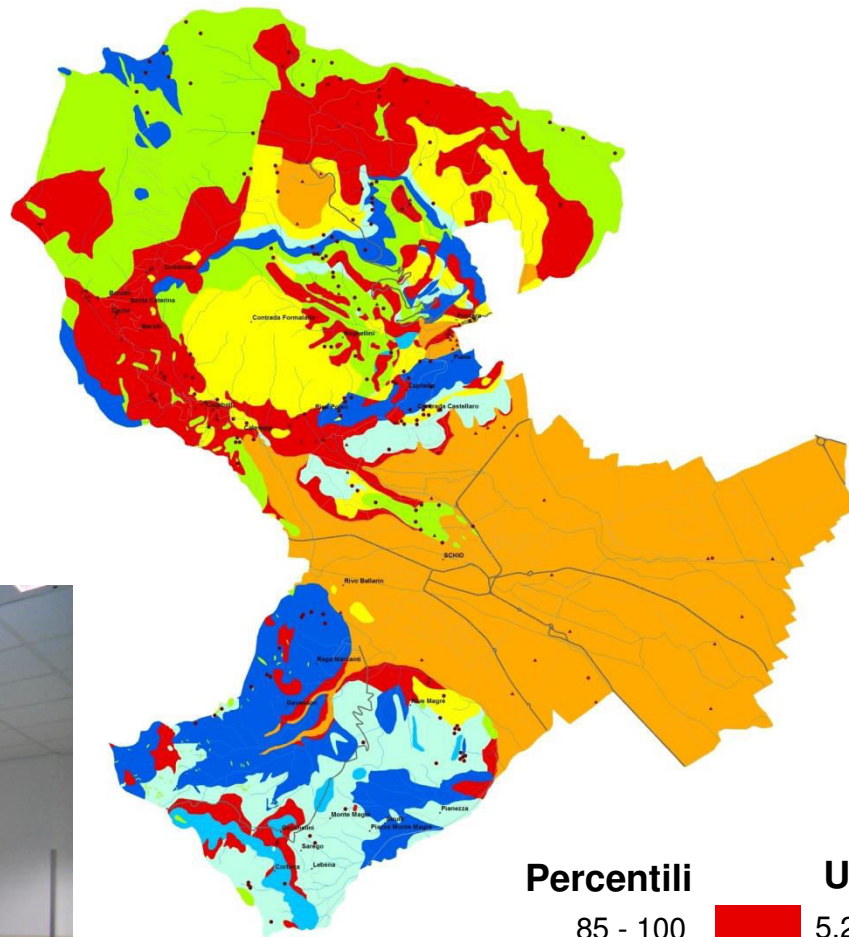


 **ITIS DE PRETTO**  
Istit. Tecnico Industriale Schio

 **Fondazione**  
Cassa di Risparmio di Padova e Rovigo



# Studenti: sentinelle del territorio

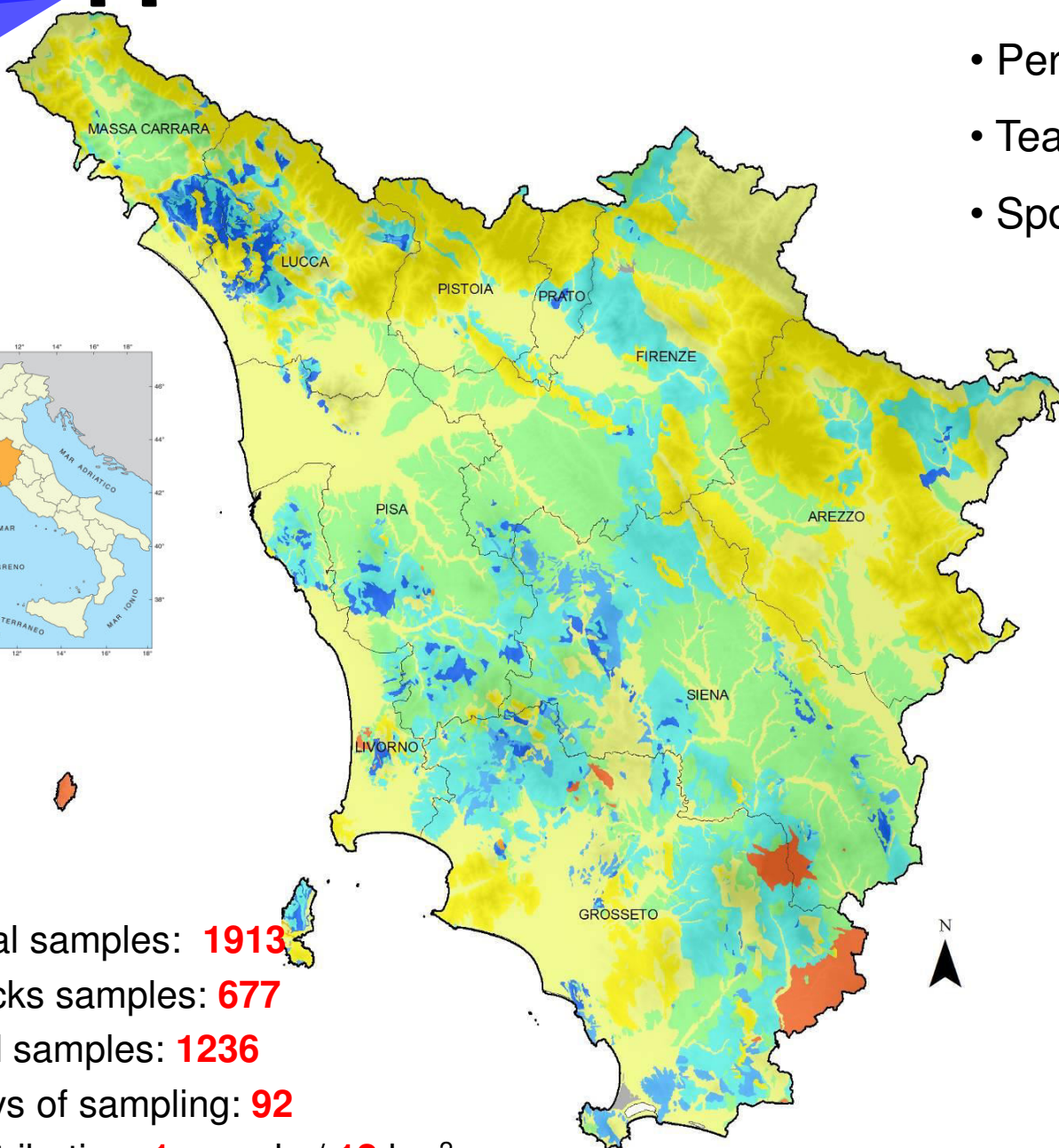




Percentili	U (ppm)
85 - 100	5.2 - 29.0
65 - 85	3.5 - 5.2
50 - 65	2.8 - 3.5
35 - 50	1.8 - 2.8
25 - 35	1.3 - 1.8
15 - 25	0.9 - 1.3
0 - 15	0.2 - 0.9

# Mappa della Radioattività della Toscana


- Periodo: 2008-2010
- Team: ~ 12 persone
- Sponsor:

REGIONE  
TOSCANA



-  Border of region
-  Border of provinces

## Total specific activity [Bq/kg]

Percentile	Bq/kg
90 - 100	1663 - 3761
80 - 90	954 - 1663
65 - 80	763 - 954
50 - 65	568 - 763
35 - 50	278 - 568
20 - 35	110 - 278
10 - 20	39 - 110
0 - 10	5 - 39
	Water

- Total samples: **1913**
- Rocks samples: **677**
- Soil samples: **1236**
- Days of sampling: **92**
- Distribution: **1** sample / **12** km<sup>2</sup>

# Ed il Veneto?

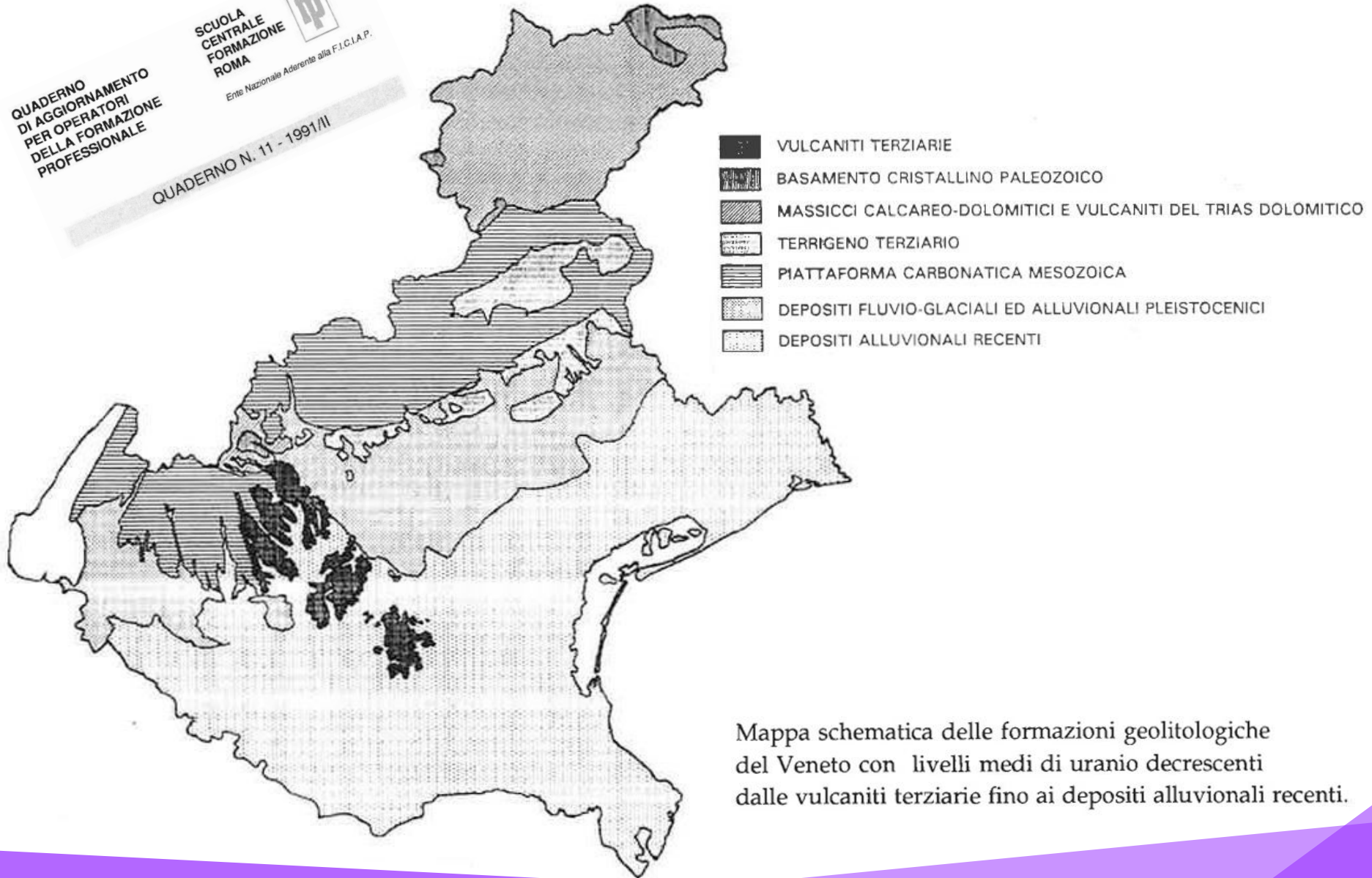
QUADERNO  
DI AGGIORNAMENTO  
PER OPERATORI  
DELLA FORMAZIONE  
PROFESSIONALE

SCUOLA  
CENTRALE  
FORMAZIONE  
ROMA



Ente Nazionale Aderente alla F.I.C.I.A.P.

QUADERNO N. 11 - 1991/III



Mapa schematica delle formazioni geolitologiche del Veneto con livelli medi di uranio decrescenti dalle vulcaniti terziarie fino ai depositi alluvionali recenti.

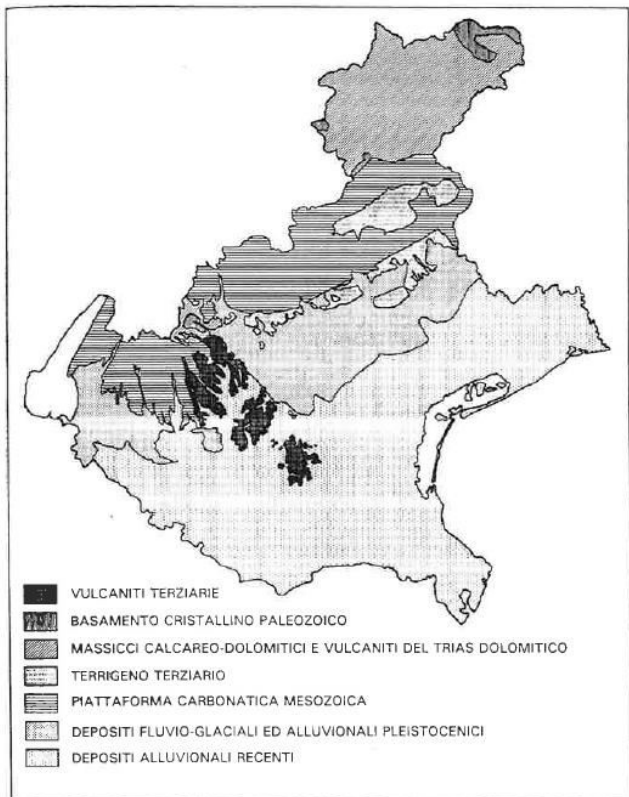


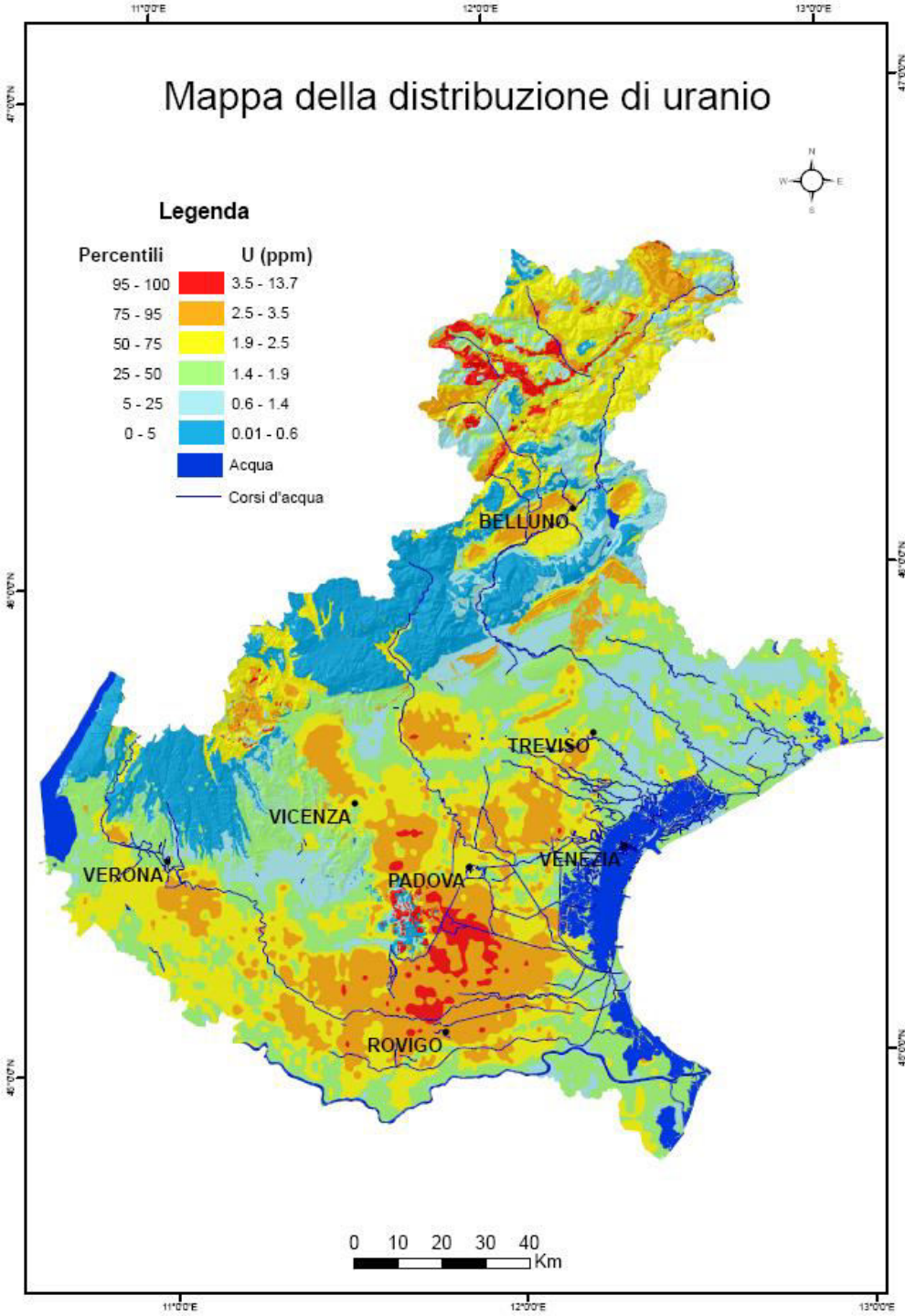
Fig.1 Mappa schematica delle formazioni geolitologiche del Veneto con livelli medi di uranio decrescenti dalle vulcaniti terziarie fino ai depositi alluvionali recenti.

2009

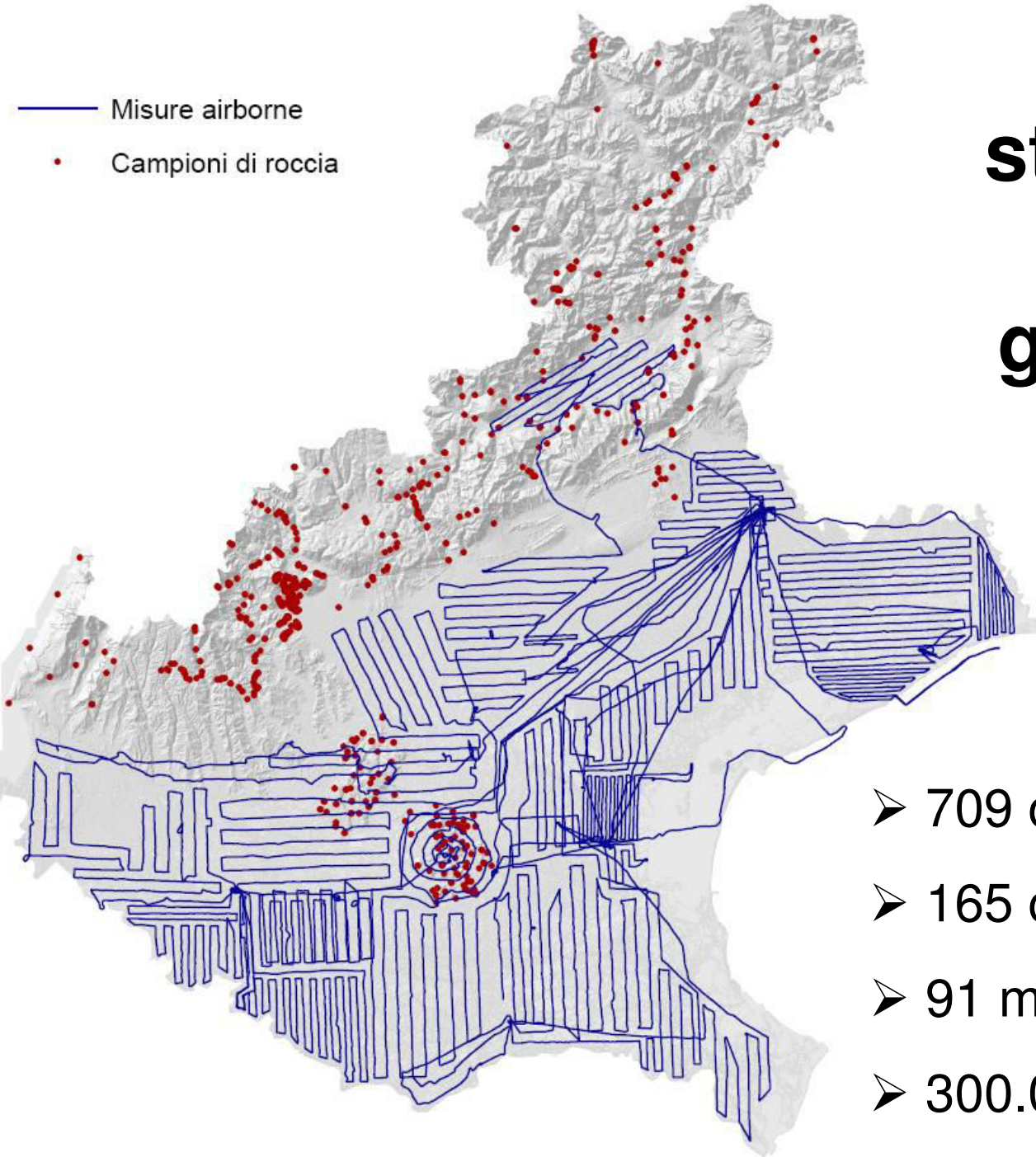


2013

**Sponsor:**  
**Fondazione Cassa di**  
**Risparmio di Padova e Rovigo**



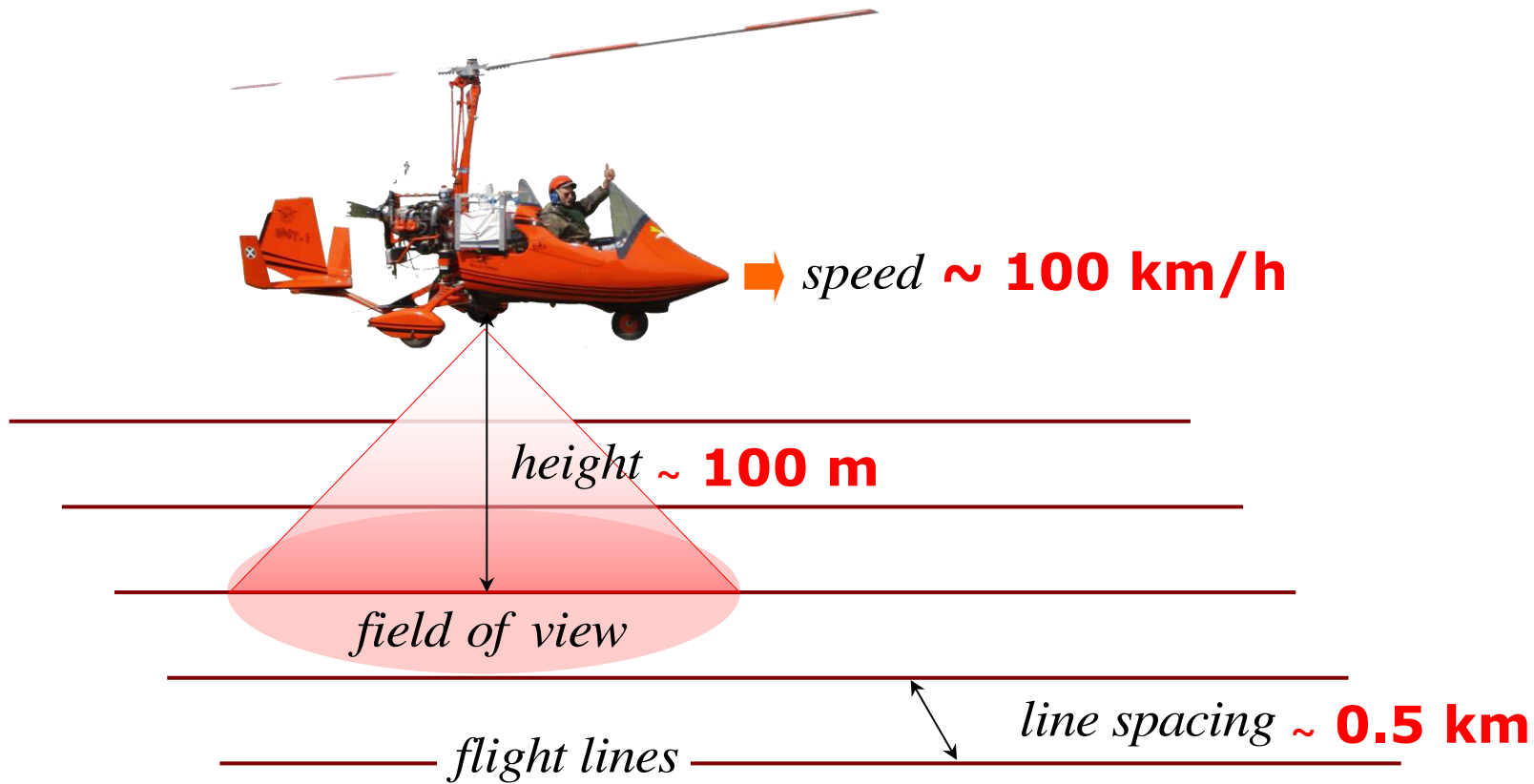
# Quello che sta dietro alla carta: il geodatabase



- 709 campioni di roccia
- 165 campioni di suolo
- 91 misure in situ
- 300.000 misure airborne

# Airborne Gamma-Ray Spectrometry

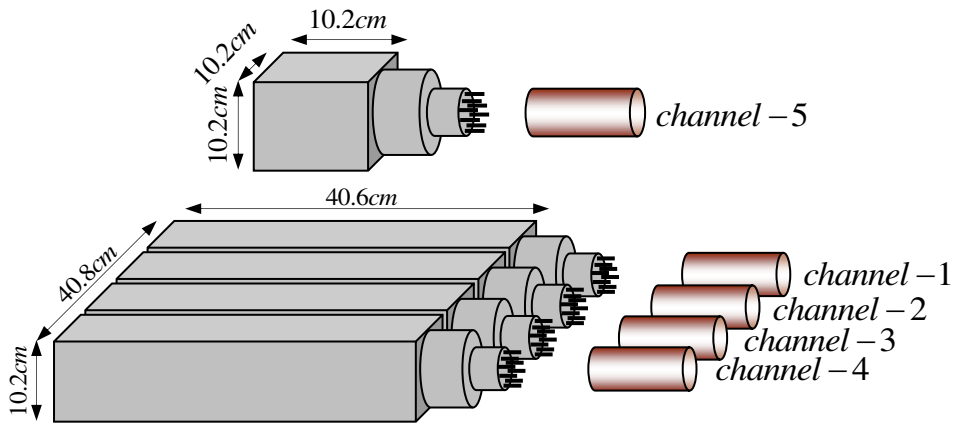
Nell'impostare la campagna di voli abbiamo seguito i suggerimenti delle linee guida dell'IAEA: questo ci permetterà di confrontarci con altre esperienze internazionali.



**Il velivolo deve seguire la morfologia del territorio**



# AGRS\_16: il nostro strumento



<b>4 NaI(Tl) detector</b>	<b>4 Lit. (102 x 102 x 406 mm)</b>
<b>1 NaI(Tl) detector</b>	<b>1 Lit. (102 x 102 x 102 mm)</b>
<b>Energetic resolution</b>	<b>8.5% at 662 keV (<sup>137</sup>Cs)</b>
<b>Channels</b>	<b>1024 (512, 256)</b>
<b>Real-time feedback</b>	<b>notebook (smartphone &amp; tablet)</b>
<b>Power autonomy</b>	<b>3 hours (without external batteries)</b>
<b>Dimensions</b>	<b>L 75 cm x W 45 cm x H 50 cm</b>
<b>Weight (total)</b>	<b>~ 115 kg</b>
<b>Output</b>	<b>List mode events (individual &amp; composite spectra)</b>
<b>Spectrum analysis (off-line)</b>	<b>FSA with NNLS constrain (stripping ratio method)</b>
<b>Auxiliary sensors</b>	<b>GPS, Pressure &amp; Temperature</b>



ASSOXI SPIRIT

ITALIA

PISA  
AERO CLUB

17848

Microflight



PISA  
AERO CLUB

ITALIA

12

PISA



ITALIA

AERO CLUB

7848



# Un patrimonio per tutti



The screenshot shows a web browser window with the URL [www.fe.infn.it/italrad/](http://www.fe.infn.it/italrad/). The page features a navigation bar with green buttons for 'Progetto', 'Risultati', 'Strumenti', 'Partner', 'Pubblicazioni', 'People', and 'Collabora'. The main heading is 'ITALRAD - ITALIAN RADIOACTIVITY PROJECT'. Below this, there are three paragraphs of text describing the project's goals, its funding by INFN, and its focus on training and sustainable research. A section titled 'SINTESI DEL PROGETTO' includes a map of Italy with a legend: green for 'Regioni completate' and orange for 'Survey in progress'. The map shows the northern and central regions in green and the southern regions in orange.

www.fe.infn.it/italrad/

Applicazioni

Progetto Risultati Strumenti Partner Pubblicazioni People Collabora

INFN Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

## ITALRAD - ITALIAN RADIOACTIVITY PROJECT

L'obiettivo principale del progetto ITALRAD (ITALian Radioactivity Project) è quello di realizzare la carta della radioattività naturale del territorio italiano attraverso misure di spettroscopia gamma. Il contenuto di radioisotopi naturali ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) nelle rocce e nei suoli italiani è investigato mediante misure in laboratorio, in-situ ed airborne.

La prima fase del progetto ITALRAD è stata finanziata nel 2012 come "Progetto Premiale INFN" dal Ministero dell'Università e della Ricerca (MIUR). Consolidando i rapporti maturati in attività scientifiche pregresse, il gruppo di ricerca dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) ha coinvolto altri quattro partner operativi: il Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara, il Centro di GeoTecnologie dell'Università di Siena, il Dipartimento di Scienze della Natura e del Territorio dell'Università di Sassari e la Fondazione Museo Civico di Rovereto.

Il progetto intende dare la massima priorità agli investimenti per la formazione di dottorandi e post-doc, e per lo sviluppo di know-how d'eccellenza nelle tecnologie di geofisica nucleare. Valorizzando il partenariato con le realtà produttive pubbliche e private attraverso azioni di cofinanziamento, ITALRAD mira a sviluppare un modello di ricerca sostenibile in grado di dare continuità alla crescita scientifica dei giovani ricercatori.

### SINTESI DEL PROGETTO

Ambiente e salute sono temi sempre più strettamente collegati a politiche di salvaguardia preventiva dagli effetti della radioattività naturale e che stanno diventando sempre più urgenti sia a livello nazionale che europeo. L'Italia è tenuta a rispettare la raccomandazione della Commissione Europea dell'8 giugno 2000 sull'applicazione dell'articolo 36 del trattato Euratom riguardante il controllo del grado di radioattività ambientale allo scopo di determinare l'esposizione dell'insieme della popolazione.

Lo sviluppo di "tecnologie per i monitoraggi e per la tutela dell'ambiente" è uno degli obiettivi di rilevanza strategica del Programma Nazionale della Ricerca 2011-2013. Nell'ambito dei programmi di ricerca europei Horizon 2020 il tema delle "secure societies" è una delle sfide strategiche che intende stimolare la collaborazione scientifica multidisciplinare.

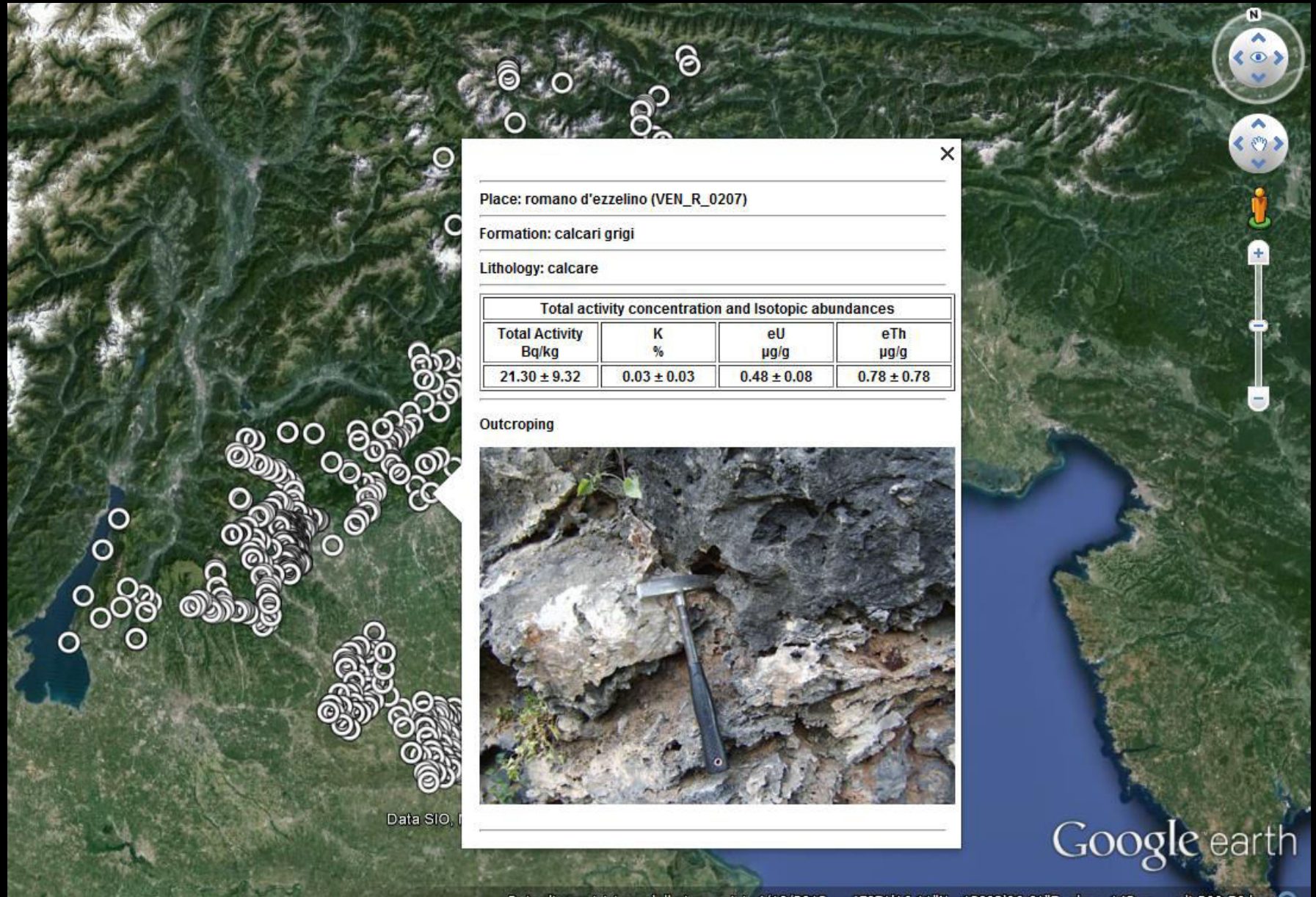
In questo quadro scientifico e normativo si inserisce il progetto ITALRAD che intende dotare l'Italia di una carta tematica della radioattività gamma terrestre. Sulla base di rigorose procedure di campionamento e di misure di spettroscopia gamma ci si propone di caratterizzare la radioattività naturale del territorio italiano in modo da permettere la ripetitività delle indagini in caso di contaminazione radiologica.

Stato dell' arte

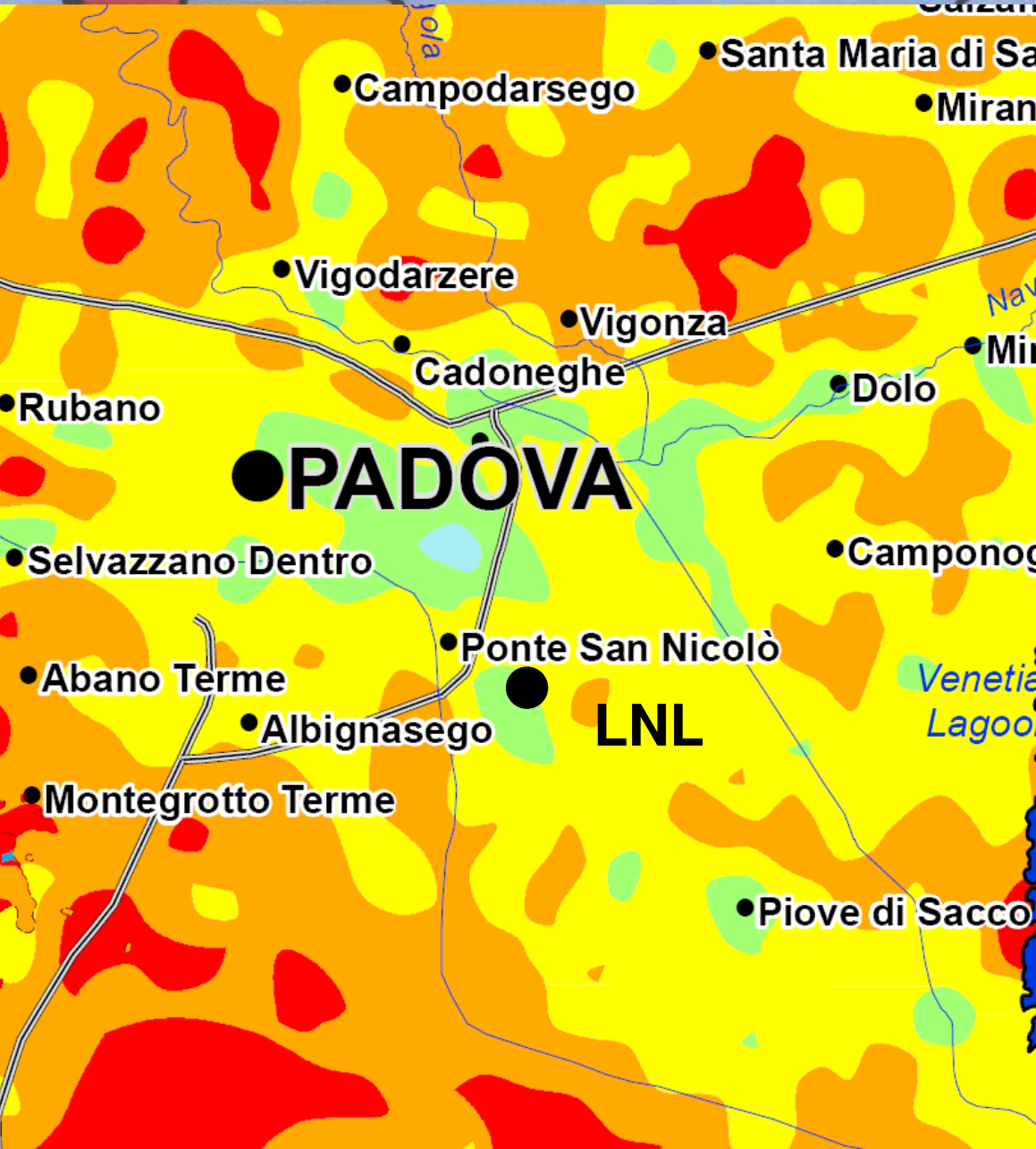
- Regioni completate
- Survey in progress

[www.fe.infn.it/italrad](http://www.fe.infn.it/italrad)

# Un patrimonio pubblico



# La radioattività attorno a noi...

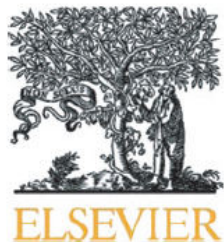


Percentile		Total radioactivity (Bq/kg)
95 - 100		921 - 2429
80 - 95		758 - 921
50 - 80		550 - 758
20 - 50		301 - 550
5 - 20		153 - 301
0 - 5		39 - 153

Il contenuto medio di radioattività nella crosta terrestre è di circa 1400 Bq/kg



# La ricerca continua..



Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://SciVerse.ScienceDirect.com)

Geoderma

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/geoderma](http://www.elsevier.com/locate/geoderma)

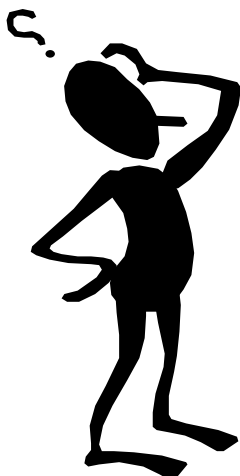


Are there any effects of the agricultural use of chemical fertiliser on elements detected by airborne gamma-spectrometric surveys?

Johanna Wetterlind <sup>a,\*</sup>, Bruno Tourlière <sup>b</sup>, Guillaume Martelet <sup>b</sup>, Jacques Deparis <sup>b</sup>, Nicolas P.A. Saby <sup>a</sup>, Anne C. Richer de Forges <sup>a</sup>, Dominique Arrouays <sup>a</sup>

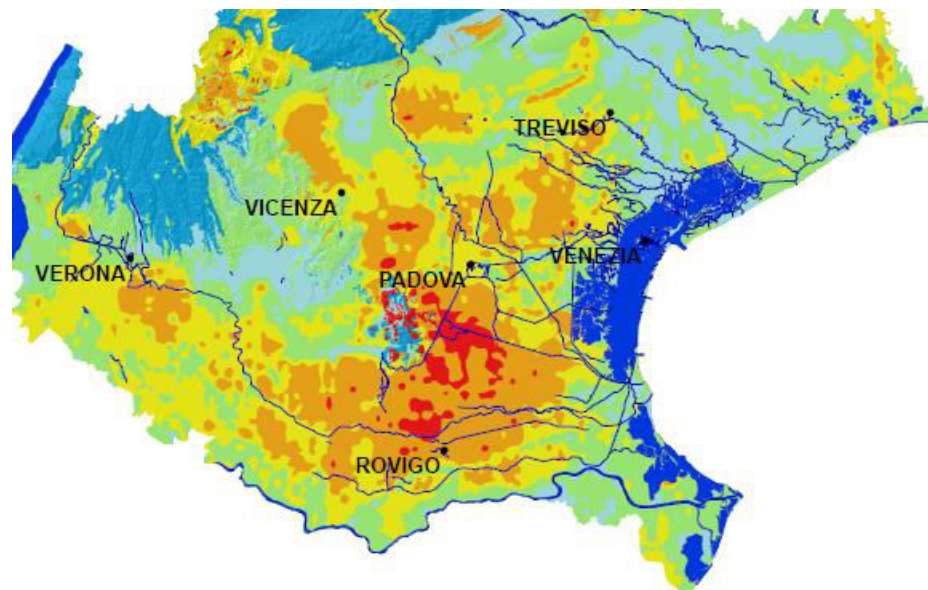
<sup>a</sup> INRA Orléans, InfoSol Unit, US 1106, CS 40001 Ardon, 45075, Orléans cedex 2, France

<sup>b</sup> BRGM, Service Géologie, 3 av. Claude Guillemin, BP36009, 45060 Orléans cedex 2, France

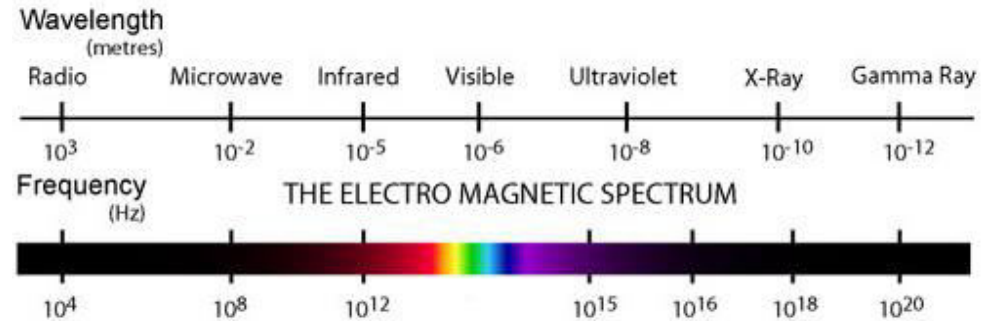


## Legenda

Percentili	U (ppm)
95 - 100	3.5 - 13.7
75 - 95	2.5 - 3.5
50 - 75	1.9 - 2.5
25 - 50	1.4 - 1.9
5 - 25	0.6 - 1.4
0 - 5	0.01 - 0.6
	Acqua
	Corsi d'acqua



# Radgyro: an aircraft for multiparametric airborne survey



## Desiderata

### Sensors

- Thermal camera
- Infrared camera
- Visible photogrammetric camera
- Gamma ray detectors
- Radar altimeter
- GPS + electronics

- **MODULAR**: each sensor can acquire independently from the other
- **INTEGRATION**: each datum can be correlated to the other using the univ. time

# Radgyro: an aircraft for multiparametric airborne survey



# Radgyro: main features



- Engine: 125 CV turbo
- Payload: 150 kg
- Fuel tank: 90 liter
- Fuel: regular gasoline
- Length: 5.20 m
- Width: 2 m
- Rotor: 8.5 m
- Space for take off: ~ 70 m
- Range of flight: ~ 4 hours
- Range of investigation:  
~ 50 km<sup>2</sup> / h
- Easy to move in a container  
without disassemble



ROTAX

Warning: Do not touch the engine or its parts.



12 v  
12 v  
5 v

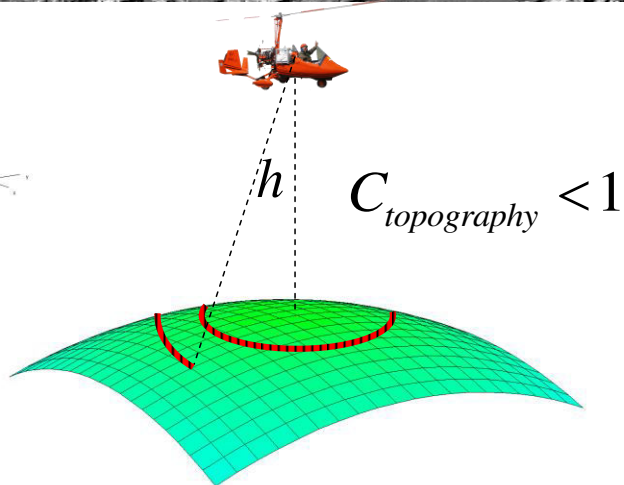
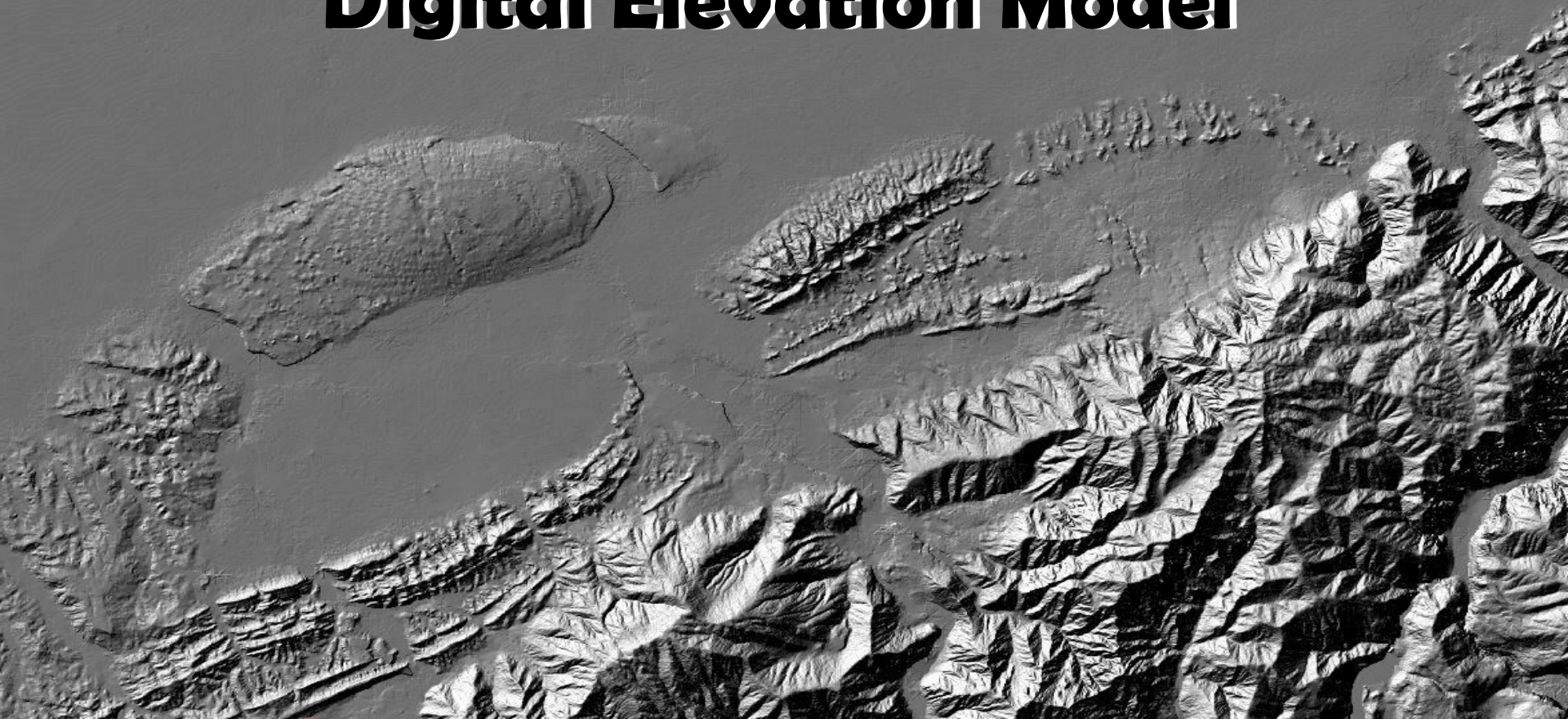
Batt avv

M<sub>1</sub> M<sub>2</sub> M<sub>3</sub> M<sub>4</sub> M<sub>5</sub> M<sub>6</sub> M<sub>7</sub> M<sub>8</sub> M<sub>9</sub> M<sub>10</sub> M<sub>11</sub> M<sub>12</sub> M<sub>13</sub> M<sub>14</sub> M<sub>15</sub> M<sub>16</sub> M<sub>17</sub> M<sub>18</sub> M<sub>19</sub> M<sub>20</sub> M<sub>21</sub> M<sub>22</sub> M<sub>23</sub> M<sub>24</sub> M<sub>25</sub> M<sub>26</sub> M<sub>27</sub> M<sub>28</sub> M<sub>29</sub> M<sub>30</sub> M<sub>31</sub> M<sub>32</sub> M<sub>33</sub> M<sub>34</sub> M<sub>35</sub> M<sub>36</sub> M<sub>37</sub> M<sub>38</sub> M<sub>39</sub> M<sub>40</sub> M<sub>41</sub> M<sub>42</sub> M<sub>43</sub> M<sub>44</sub> M<sub>45</sub> M<sub>46</sub> M<sub>47</sub> M<sub>48</sub> M<sub>49</sub> M<sub>50</sub> M<sub>51</sub> M<sub>52</sub> M<sub>53</sub> M<sub>54</sub> M<sub>55</sub> M<sub>56</sub> M<sub>57</sub> M<sub>58</sub> M<sub>59</sub> M<sub>60</sub> M<sub>61</sub> M<sub>62</sub> M<sub>63</sub> M<sub>64</sub> M<sub>65</sub> M<sub>66</sub> M<sub>67</sub> M<sub>68</sub> M<sub>69</sub> M<sub>70</sub> M<sub>71</sub> M<sub>72</sub> M<sub>73</sub> M<sub>74</sub> M<sub>75</sub> M<sub>76</sub> M<sub>77</sub> M<sub>78</sub> M<sub>79</sub> M<sub>80</sub> M<sub>81</sub> M<sub>82</sub> M<sub>83</sub> M<sub>84</sub> M<sub>85</sub> M<sub>86</sub> M<sub>87</sub> M<sub>88</sub> M<sub>89</sub> M<sub>90</sub> M<sub>91</sub> M<sub>92</sub> M<sub>93</sub> M<sub>94</sub> M<sub>95</sub> M<sub>96</sub> M<sub>97</sub> M<sub>98</sub> M<sub>99</sub> M<sub>100</sub>

# A typical photo

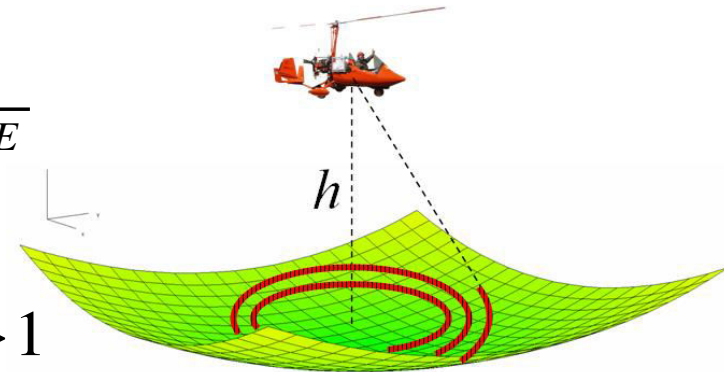


# Digital Elevation Model



$$C_{topography} = \frac{N_h^{DEM}}{N_h^{PLANE}}$$

$$C_{topography} > 1$$

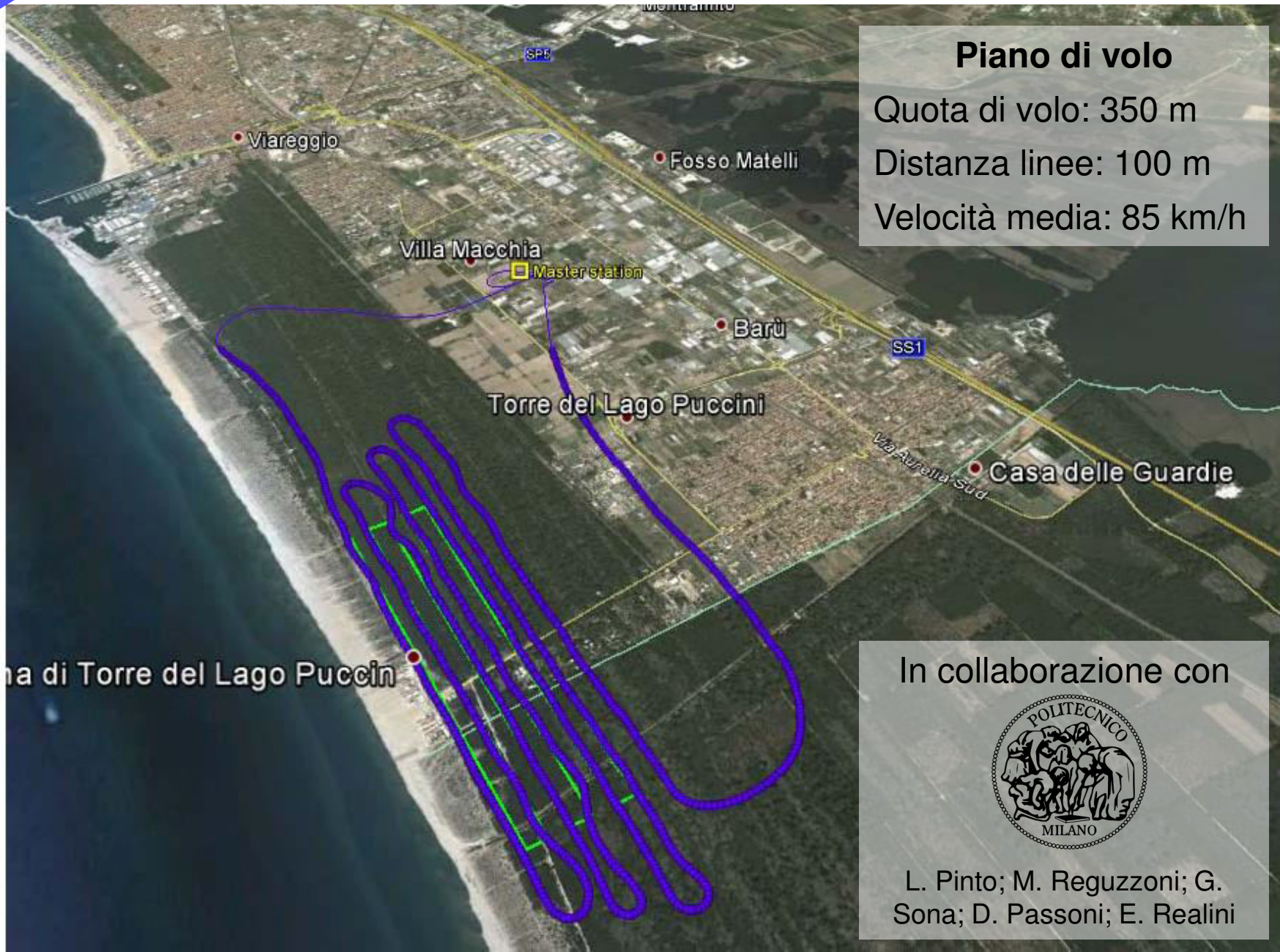




# Ultra Resolution DEM



# Primi esperimenti in NIR



## Piano di volo

Quota di volo: 350 m

Distanza linee: 100 m

Velocità media: 85 km/h

na di Torre del Lago Puccini

In collaborazione con



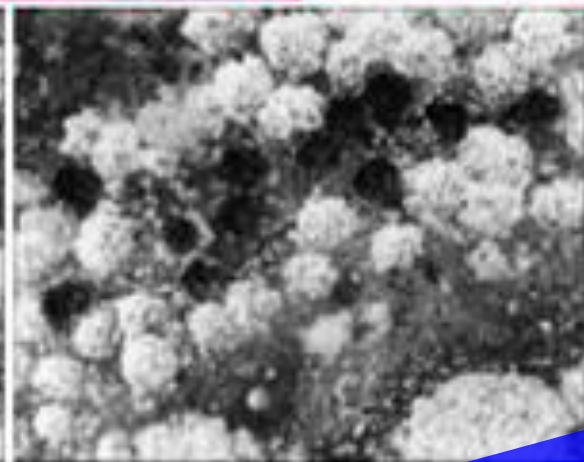
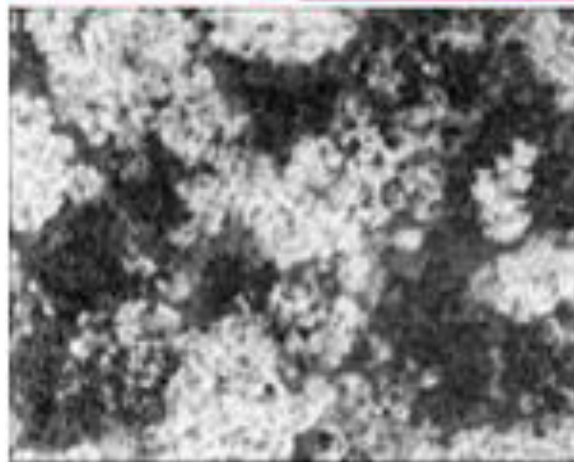
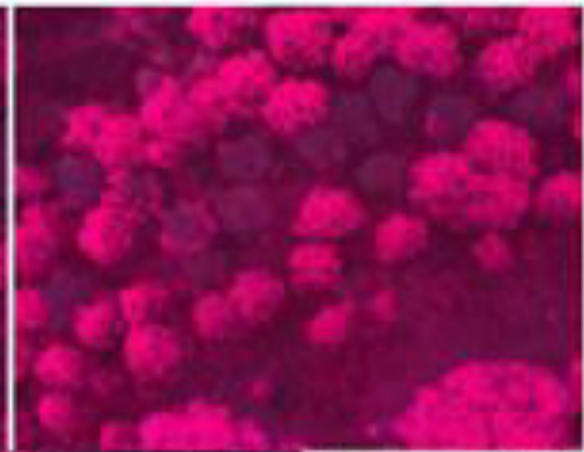
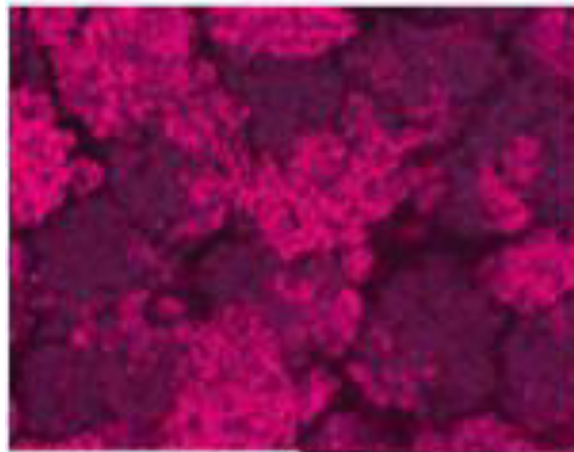
L. Pinto; M. Reguzzoni; G. Sona; D. Passoni; E. Realini

# Primi passi nell'infrarosso



Tre bande:

- 1) 0.52-0.60  $\mu\text{m}$ ;
- 2) 0.63-0.69  $\mu\text{m}$ ;
- 3) 0.76-0.90  $\mu\text{m}$

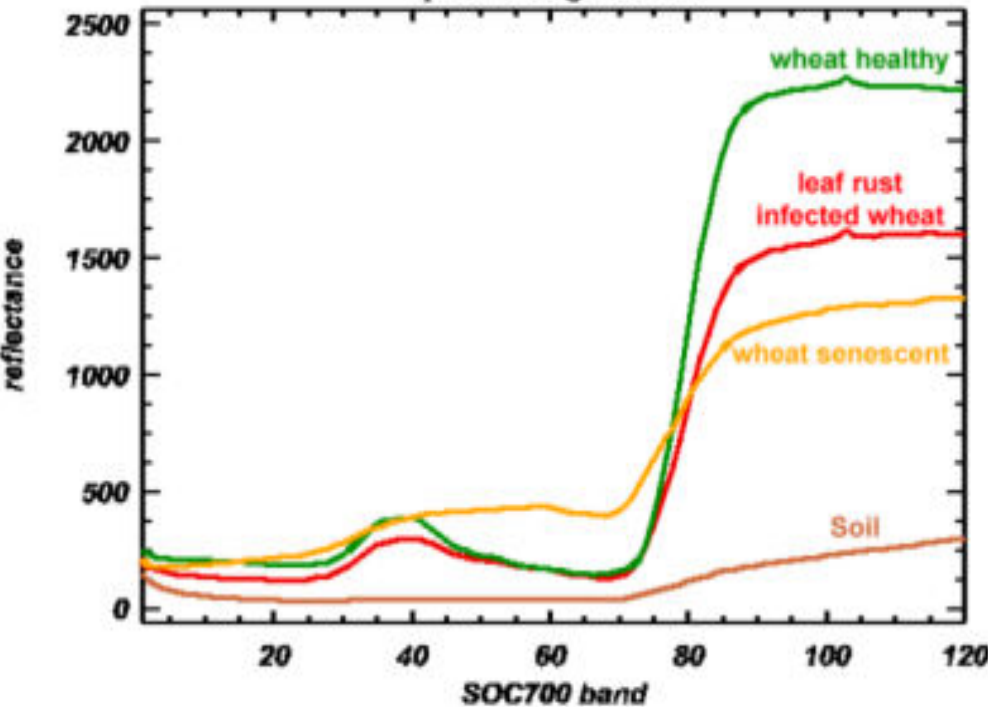
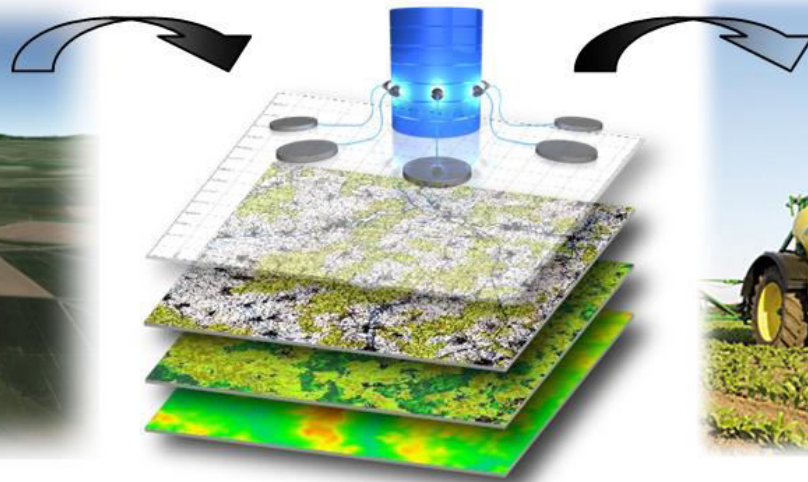


Le cellule delle foglie disperdono la radiazione solare nel vicino infrarosso ( $\lambda > 700 \text{ nm}$ ):

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{VIS})}{(\text{NIR} + \text{VIS})}$$

Normalized Difference Vegetation Index

# Precision farming



- Monitoring the infested plants
- Controlling the herbicide effects
- Identifying the stress of plants
- Mapping the humidity of soils

