



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SIENA  
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI  
Corso di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Geologiche

# Analisi del contenuto di radioattività delle principali formazioni rocciose delle aree alpine, prealpine e collinari della Regione Veneto, finalizzata alla produzione di carte tematiche della distribuzione di radionuclidi naturali

Relatore:

Prof. Luigi Carmignani

Correlatore:

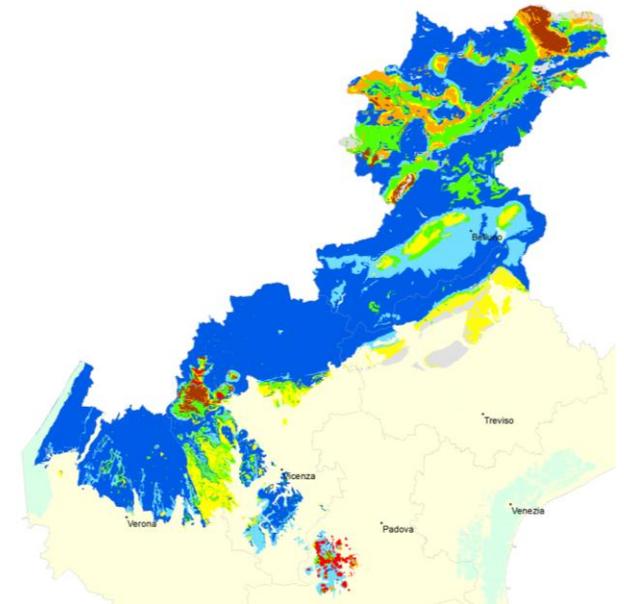
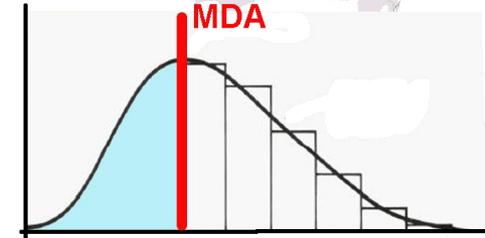
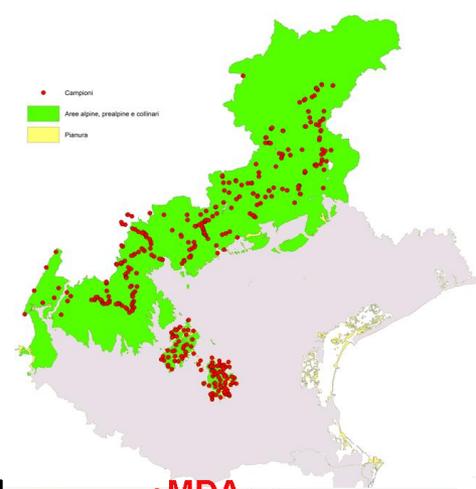
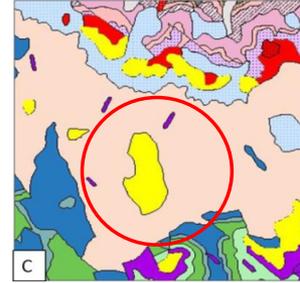
Dr. Fabio Mantovani

Tesi di Laurea di:

Virginia Strati

# SOMMARIO

- Obiettivi della tesi
- Inquadramento geologico
- Base cartografica: caratteristiche e collaudo
- Campionamento e strumentazione
- Analisi delle misure inferiori al Minimum Detection Limit
- Analisi statistica raffinata del contenuto di U, Th e K delle 48 Unità Cartografiche
- Carte della distribuzione di U, Th e K
- Conclusioni e prospettive



# IL PROGETTO RAD\_MONITOR

OBIETTIVO: realizzare la carta della radioattività naturale del territorio della Regione Veneto attraverso misure di spettroscopia gamma

Campionamenti di roccia  
rappresentativi **Aree Alpine,  
Prealpine e Collinari (APC)**

Misure airborne - **Pianura**

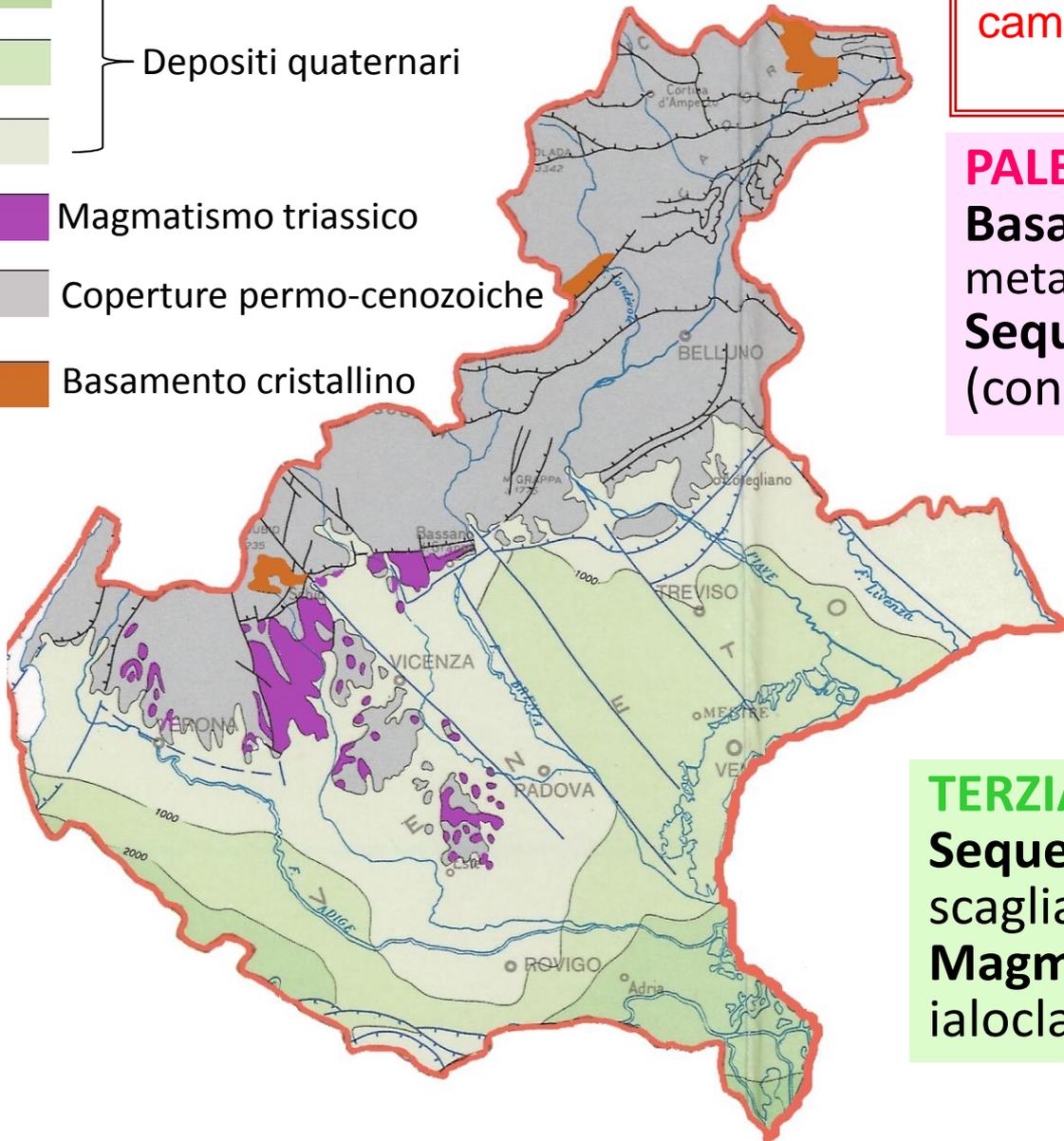


# ***OBIETTIVI DELLA TESI***

- Creazione di una **base cartografica** funzionale alla caratterizzazione della radioattività delle 48 Unità Cartografiche (UC)
- **Analisi statistica raffinata** delle misure di spettroscopia gamma realizzate su 486 campioni di roccia.
- Elaborazione delle **carte delle distribuzioni** di U, Th e K delle UC presenti nelle APC.
- **Raccomandazioni** per i futuri campionamenti.

# Schema strutturale

- Depositi quaternari
- Magmatismo triassico
- Coperture permo-cenozoiche
- Basamento cristallino



Le unità cartografiche sono state utilizzate come riferimento per il **campionamento** e per l' **interpretazione geologica** delle misure.

**PALEOZOICO**  
**Basamento cristallino** (argilloscisti, metabasalti, filladi, metarioliti)  
**Sequenze sedimentarie:** (conglomerati e arenarie)

**MESOZOICO**  
**Sequenze sedimentarie** (dolomie, calcari e marne)  
**Magmatismo** (andesiti, rioliti e daciti)

**TERZIARIO**  
**Sequenze sedimentarie:** (facies di scaglia, flysch e molassa)  
**Magmatismo** (basalti, tufi, ialoclastiti, latiti, trachiti e rioliti)

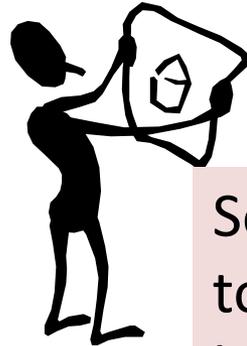
**QUATERNARIO**  
**Depositi alluvionali**

# *Cartografia geologica utilizzata*

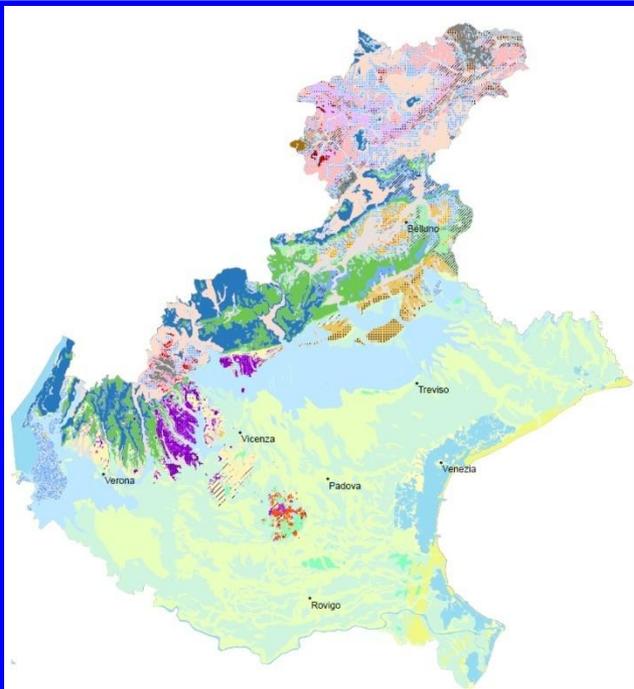
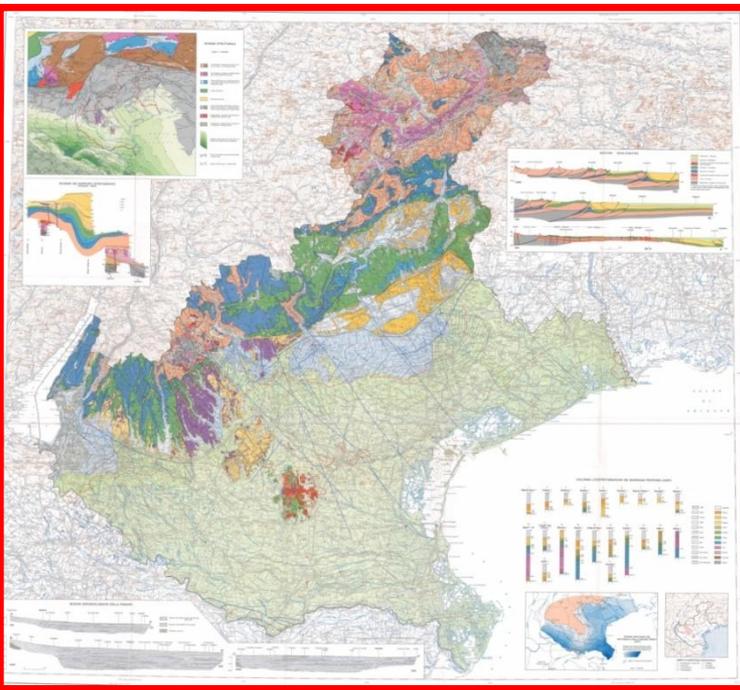
- La Carta Geologica della Regione Veneto in scala 1:250000 è disponibile on line in **versione raster**
- Abbiamo richiesto la cartografia in **formato vettoriale** al Servizio Geologico Regione del Veneto



*È stato recepito uno shapefile poligonale in Gauss Boaga Roma 40 con quattro attributi*



Sono emersi dei problemi topologici e di coerenza con la legenda della Carta Geologica



# Check per il collaudo della cartografia

Verifica della **georeferenziazione** attraverso la sovrapposizione tra shapefile e base topografica.



Il check ha dato esito positivo. Lo shapefile è stato proiettato in UTM WGS 84.

Confronto tra le **sigle** dello shapefile e quelle della legenda della carta geologica



Lo shp contiene 4 sigle in più per la classificazione dei depositi quaternari. Si è scelto tale criterio ritenuto più raffinato.

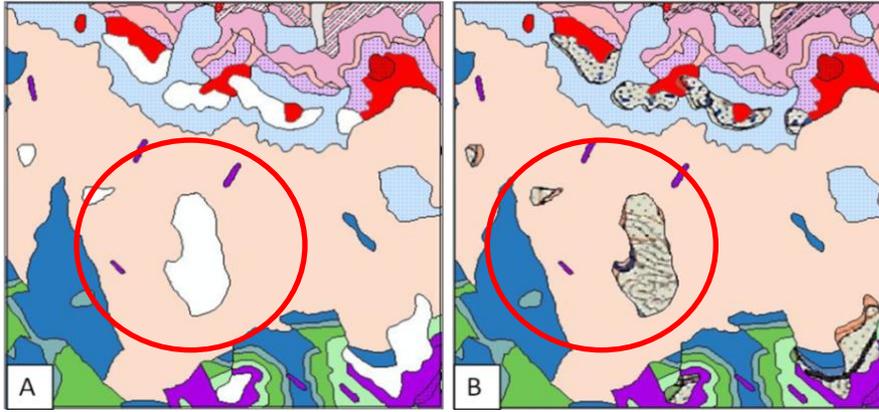
Verifica della **qualità** del dato e le relazioni esistenti tra i poligoni attraverso due regole topologiche: 'Must not have gaps' e 'Must not overlap'



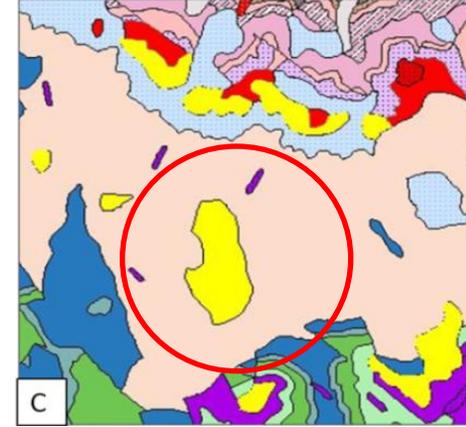
Sono state individuate aree prive di poligoni e aree appartenenti a due o più poligoni per un totale di 108 errori

# Base cartografica: criticità e soluzioni

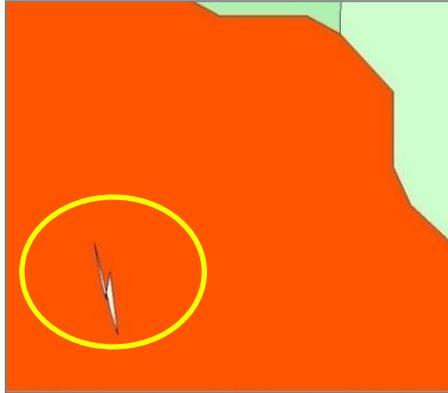
## Gaps nello strato informativo



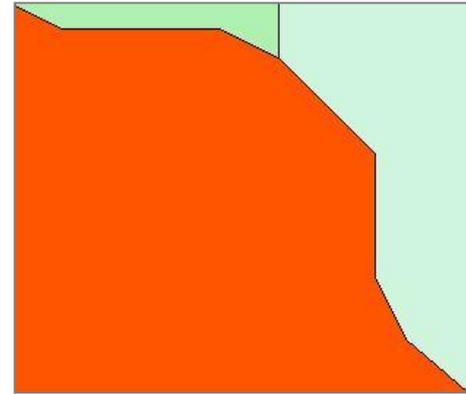
Digitalizzazione  
dei poligoni e  
assegnazione  
degli attributi



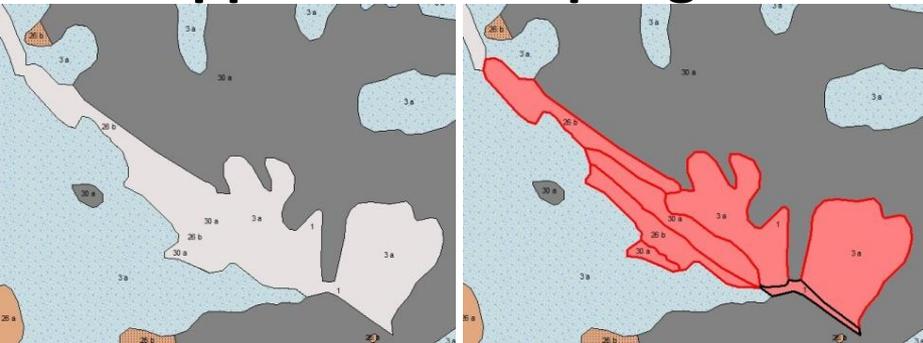
## Gaps all'interno dei singoli poligoni



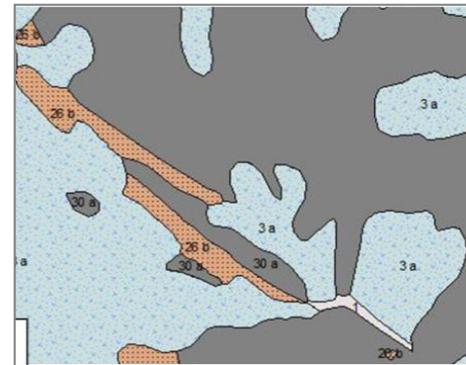
Digitalizzazione  
dei poligoni  
corrispondenti



## Sovrapposizioni tra poligoni

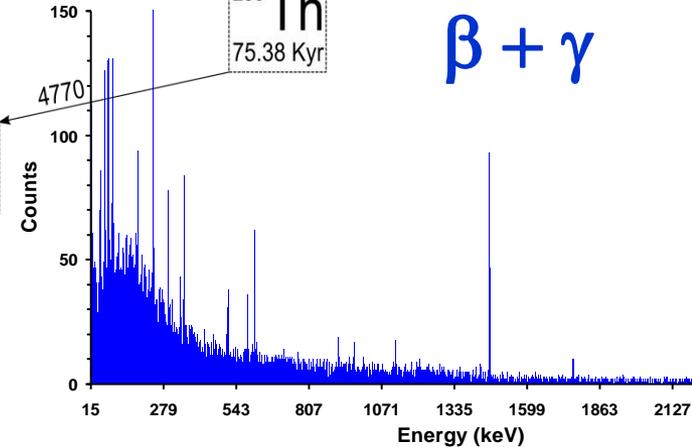
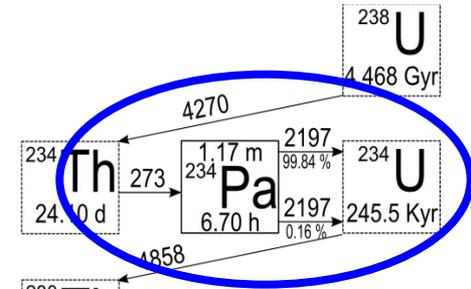


Digitalizzazione  
dei poligoni sulla  
base dei limiti  
evidenziati

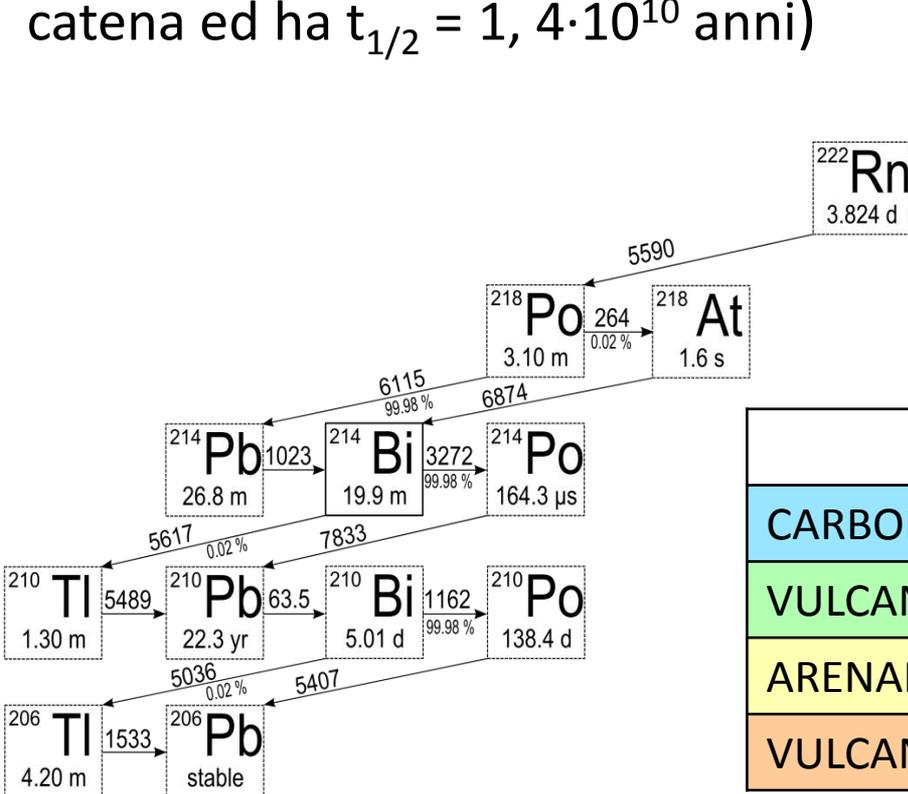


# La radioattività di origine terrestre

- **K**: metallo alcalino, facilmente assorbito dai minerali argillosi ( $^{40}\text{K}$  decade con  $t_{1/2} = 1.3 \cdot 10^9$  anni)
- **U**: attinide, elevata mobilità ed una forte correlazione con la silice ( $^{238}\text{U}$  con  $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$  anni)
- **Th**: attinide, resistente alla degradazione con esistenza transitoria in soluzione ( $^{232}\text{Th}$  con una catena ed ha  $t_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$  anni)



$\beta + \gamma$



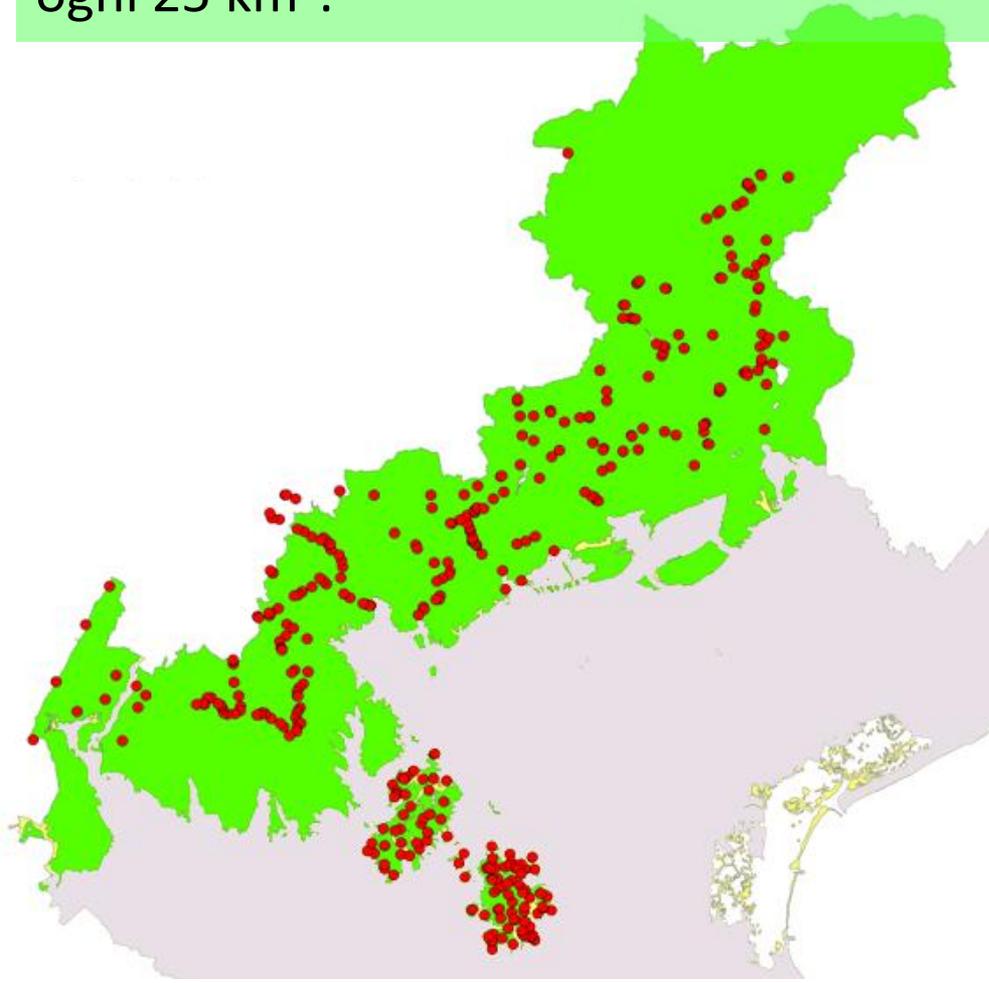
Valori medi di riferimento (IAEA,2003)

ROCCE	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)
CARBONATICHE	0.3	2.0	1.3
VULCANICHE BASICHE	0.8	0.8	2.3
ARENARIE	1.5	4.8	12.4
VULCANICHE ACIDE	3.4	4.5	25.7

# Campionamento e strumentazione

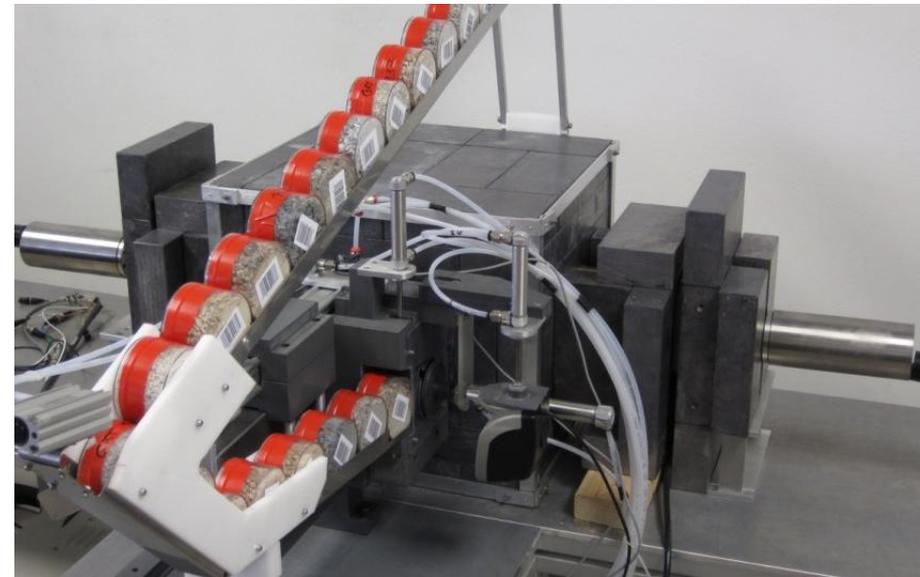
## Obiettivi del campionamento

- Campioni rappresentativi delle UC.
- Per ciascuna UC, almeno 1 campione ogni 25 km<sup>2</sup>.



## Lo spettrometro MCA\_RAD

- Due detectors: HPGe (Rel. Eff. 80%)
- Temperatura: -190 °C
- Schermatura: Cu, Pb
- Volume del campione: 180 cc
- Durata misura standard: ~ 1 h
- Grado di automazione: 38 campioni con lettore di codice a barre



# Il dataset analizzato

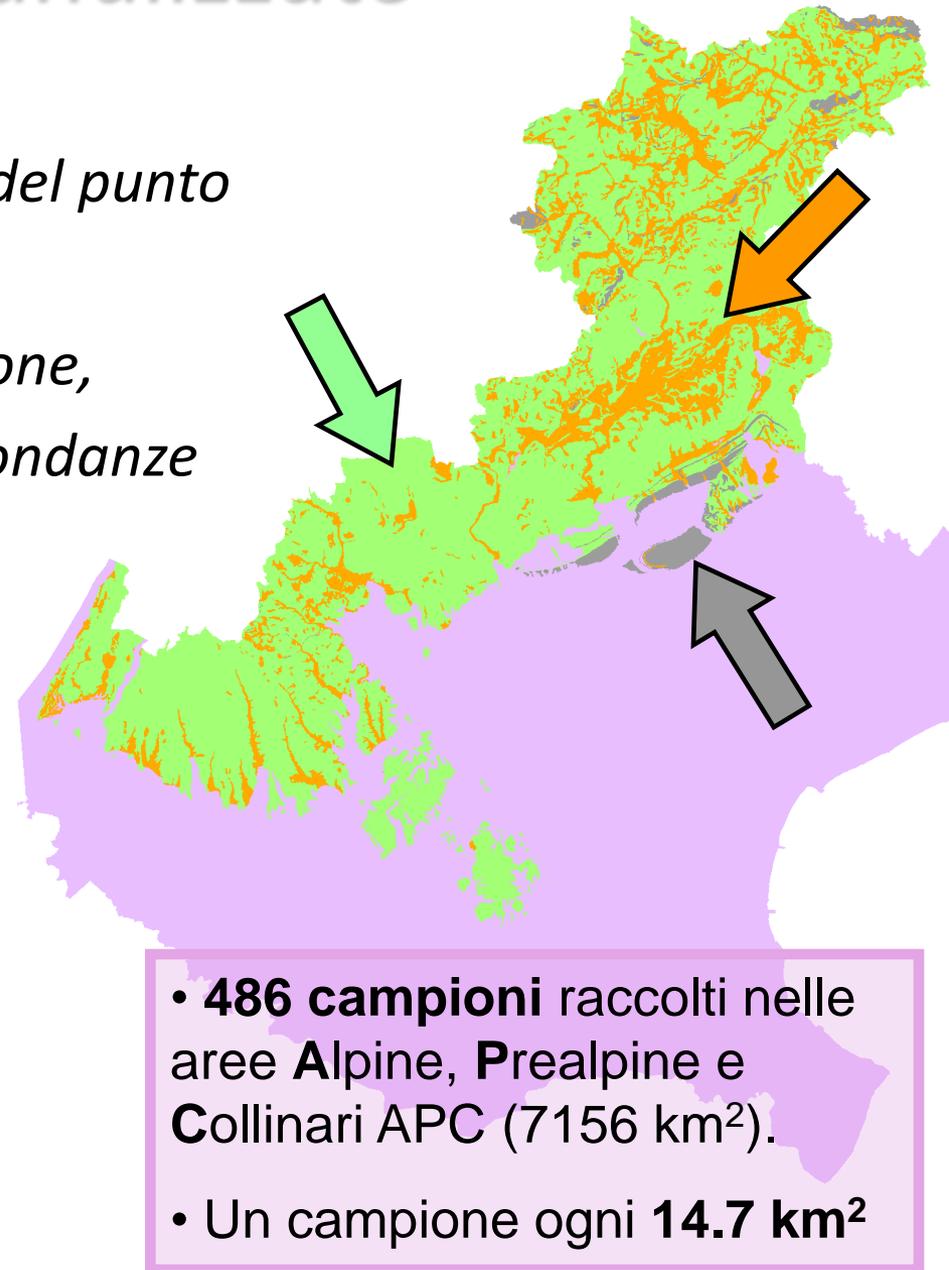
Ogni campione è caratterizzato da:

- **dati di campagna** (coordinate GPS del punto di raccolta, UC, litologia ecc.)
- **dati di laboratorio** (peso del campione, tempo di acquisizione, attività e abbondanze degli isotopi ecc.).

- 30 U.C. indagate  
(73 % della sup. APC)

- 14 U.C. inesplorate  
(3 % della sup. APC)

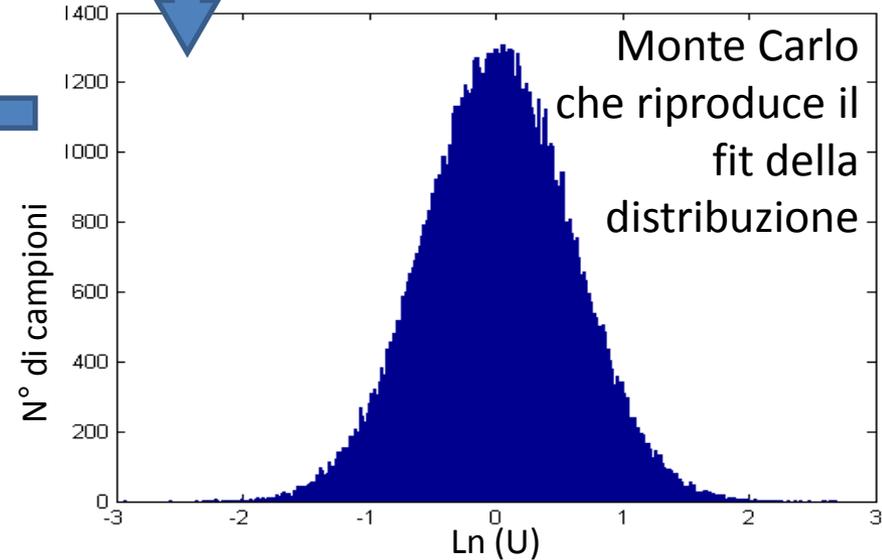
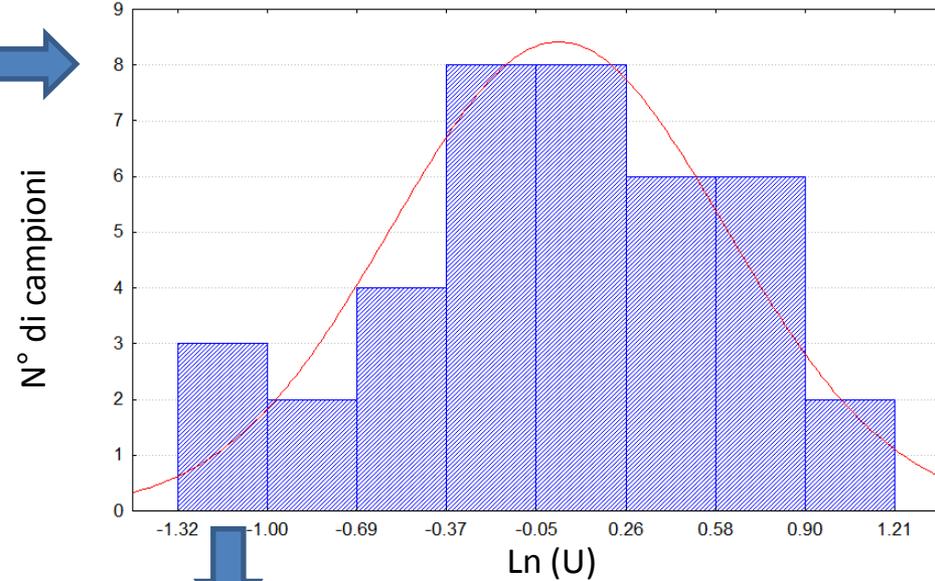
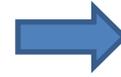
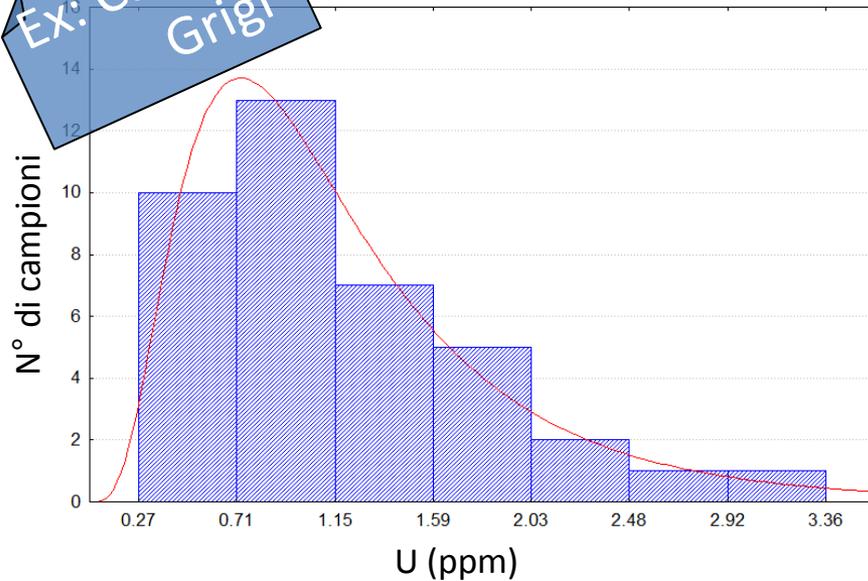
- 4 U.C. di depositi quaternari  
(24% della sup. APC)



# Analisi delle distribuzioni dei dati

Assumiamo che le concentrazioni dei radioisotopi seguano una distribuzione lognormale per ciascuna UC.

Ex: Calcarei Grigi



Con un codice Matlab sono stati calcolate le mediane e le incertezze ( $1 \sigma$ ) per i tre isotopi e per i rapporti Th/U e K/U.

$$U = 1.0^{+0.8}_{-0.5} \text{ ppm}$$

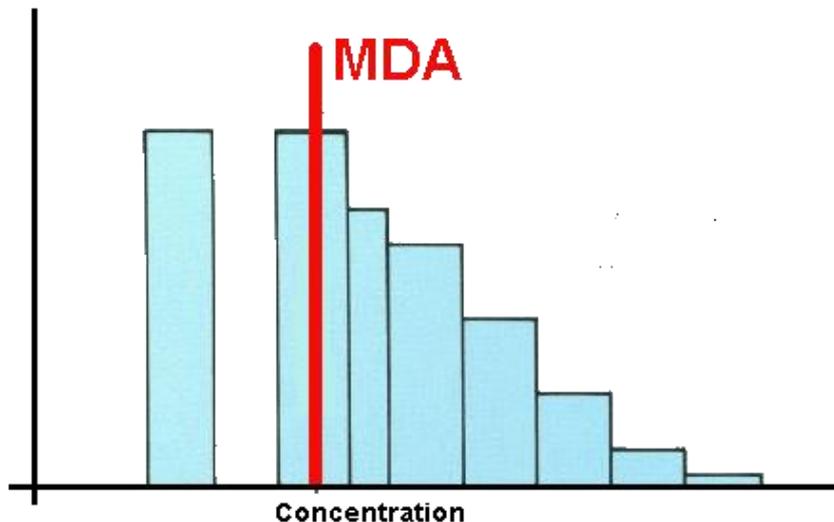
# Trattamento dei 'dati censurati'

- **MDA** (Minimum Detection Activity):  
valore minimo misurabile dallo strumento.
- **Dati censurati**: molti campioni hanno un contenuto di radioattività inferiore al MDA.

	MDA	% di dati con valori < MDA
K	0.03 %	16
U	0.4 ppm	6
Th	1.0 ppm	41

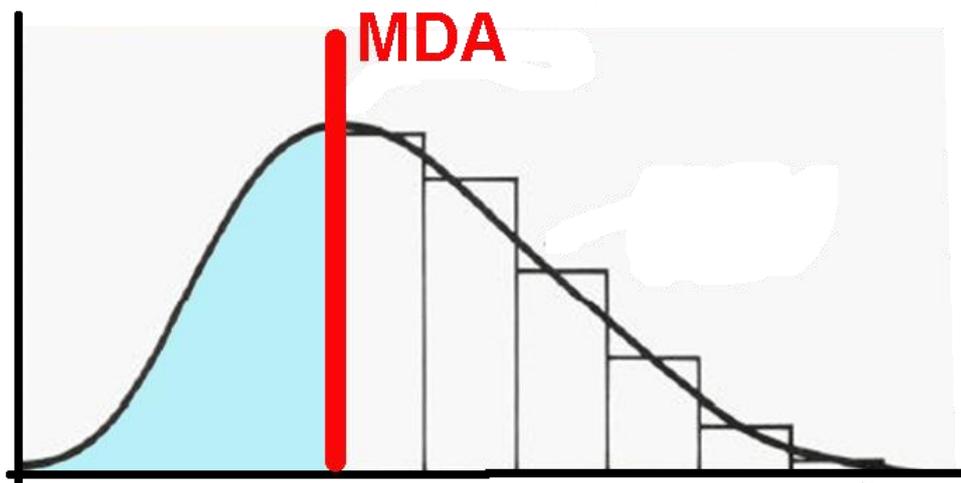
## Soluzioni adottate

**Sostituzione:**  $X = \text{MDA} / \sqrt{2}$



Con UC aventi più di 10 campioni ed un numero di dati censurati < 10 %.

**Estrapolazione:** fit attraverso il Maximum Likelihood Estimation



Con UC aventi più di 10 campioni ed un numero di dati censurati > 10 %.

# Report dettagliato per ogni UC

## - Descrizione della UC

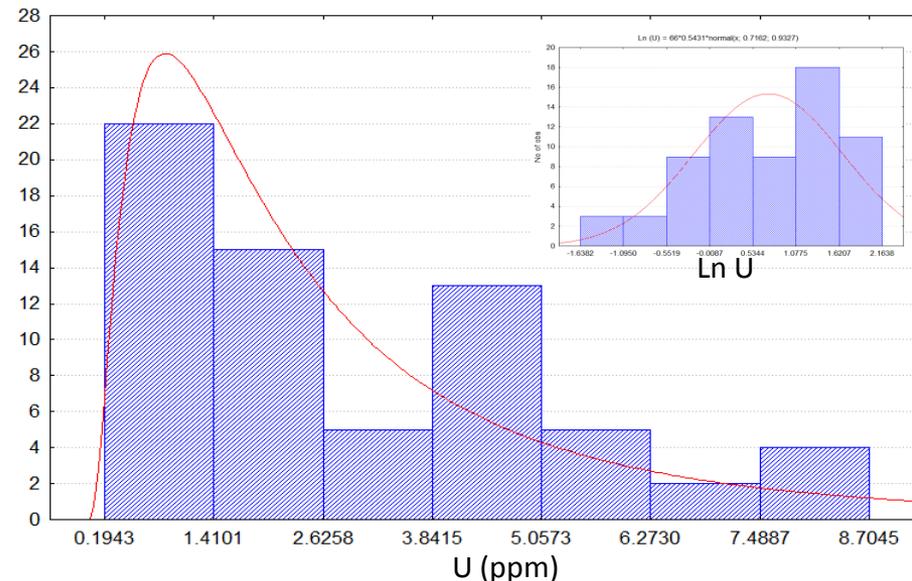
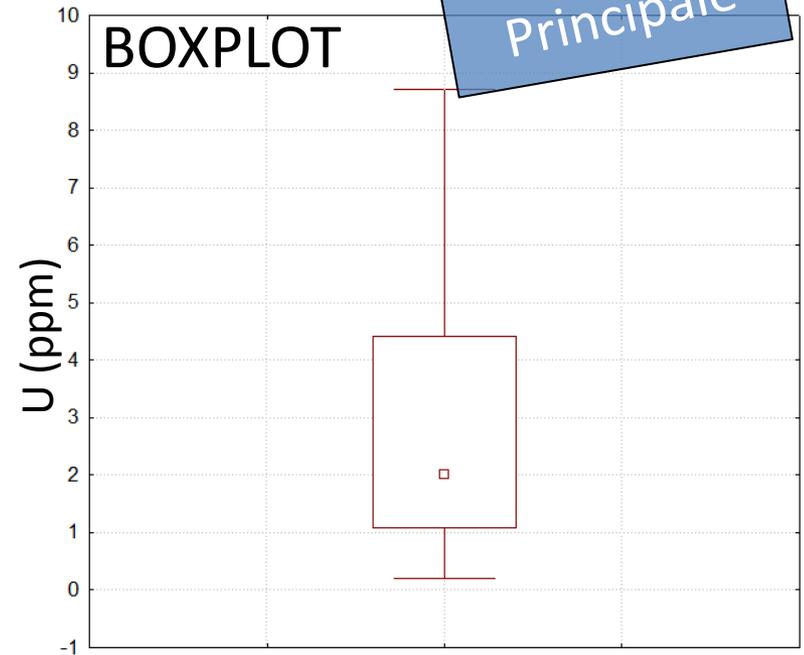
N° Campioni	66
Area	761.4 Km <sup>2</sup> (10.6%)
A/C	11.5 Km <sup>2</sup>
Formazioni	Dolomia Principale
Litologie	Dolomie e calcari dolomitici

## - Report delle misure

	<b>K</b>	<b>U</b>	<b>Th</b>
MDA	0.04 %	-	1.0 ppm
Misure < MDA	35	0	53
Misure > MDA	31	66	13
Metodo	MLE	-	MLE

## - Sintesi dei risultati

	<b>Mediana</b>	<b>+ 1 <math>\sigma</math></b>	<b>-1 <math>\sigma</math></b>
<b>K (%)</b>	0.03	0.09	0.02
<b>U(ppm)</b>	2.1	3.2	1.3
<b>Th (ppm)</b>	0.4	0.7	0.2
<b>A (Bq/Kg)</b>	45	58	24
<b>Th/U</b>	0.2	0.6	0.1
<b>K/U</b>	131	610	108



# Costruzione di una legenda

Geochemical mapping: technique or art?

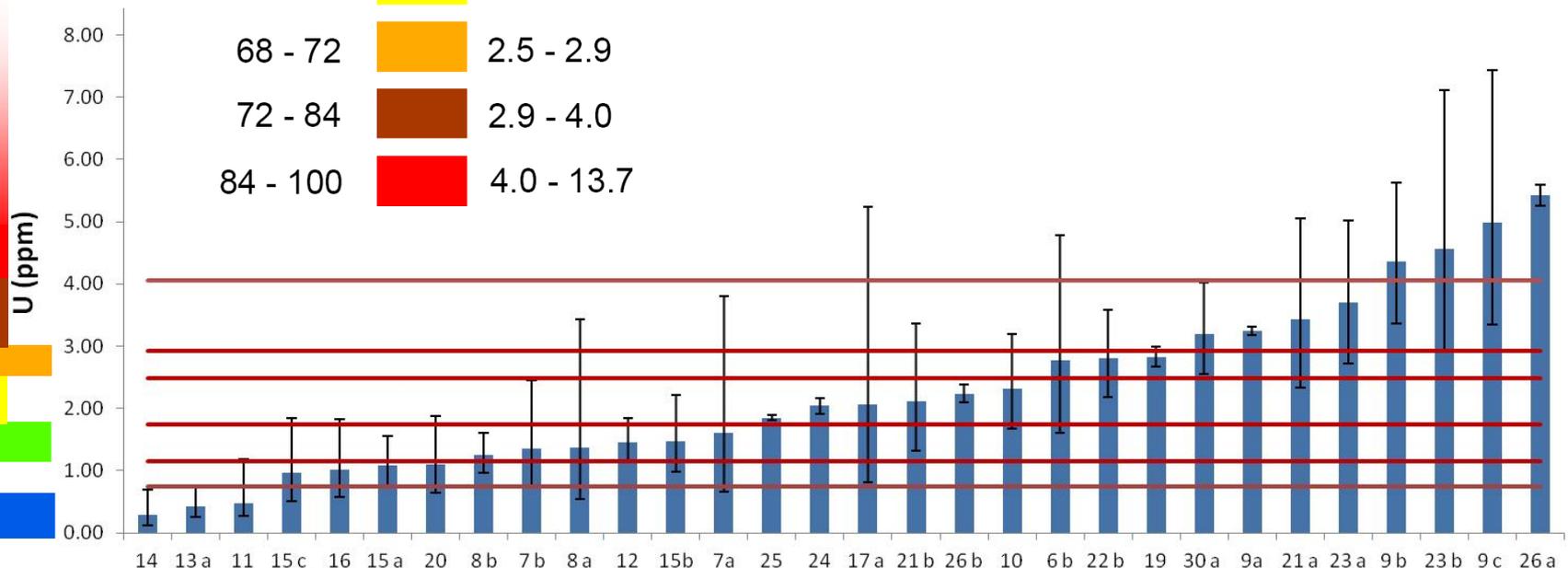
Clemens Reimann

Geological Survey of Norway, N-7491 Trondheim, Norway (e-mail: Clemens.Reimann@ngu.no)



Percentili	U (ppm)
0 - 30	0 - 0.7
30 - 44	0.7 - 1.2
44 - 58	1.2 - 1.7
58 - 68	1.7 - 2.5
68 - 72	2.5 - 2.9
72 - 84	2.9 - 4.0
84 - 100	4.0 - 13.7

Per elaborare una legenda funzionale agli obiettivi prefissati, tenendo conto dei limiti strumentali (MDA), è stato scelto il **metodo dei percentili**.

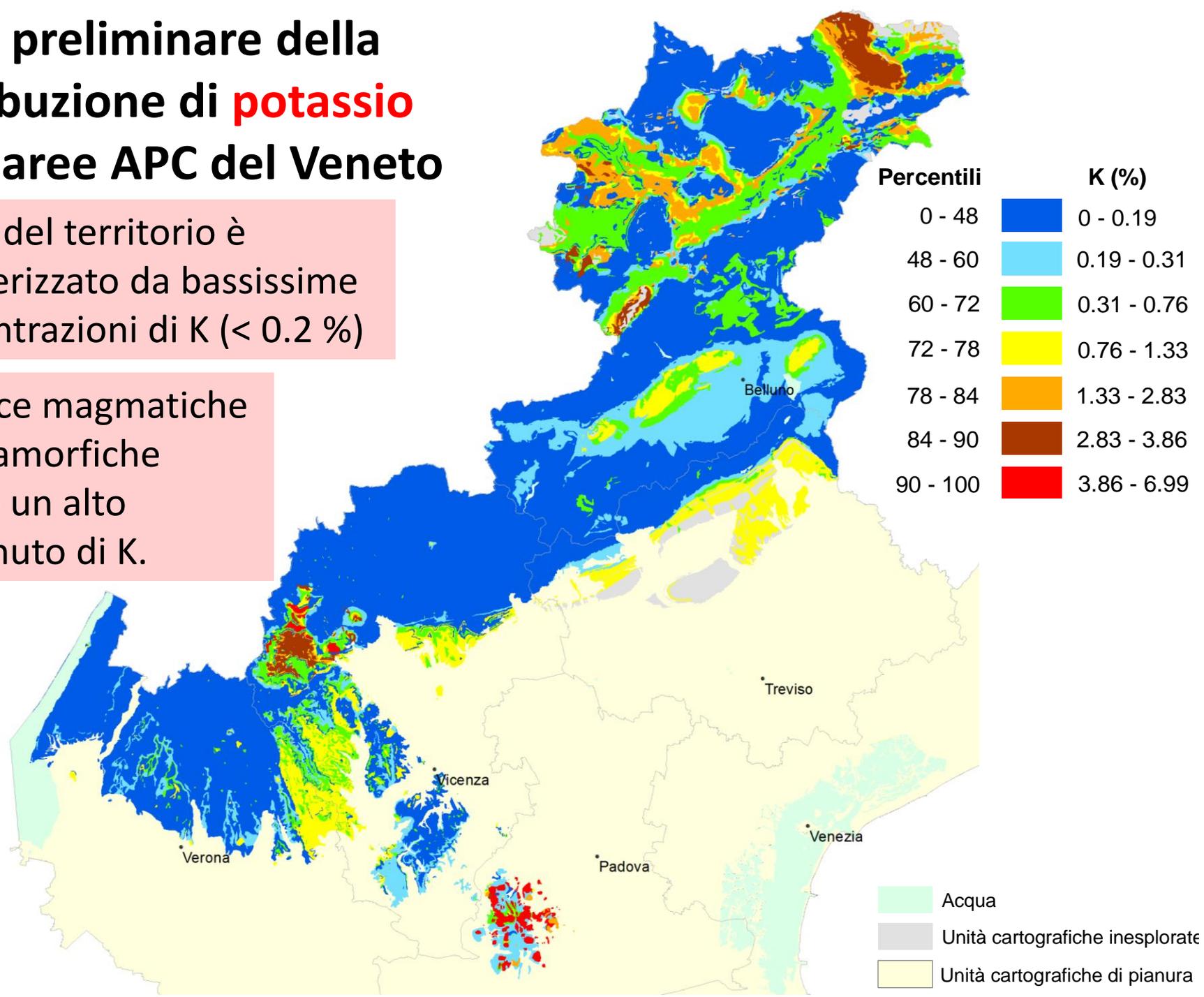


U.C.

# Carta preliminare della distribuzione di **potassio** nelle aree APC del Veneto

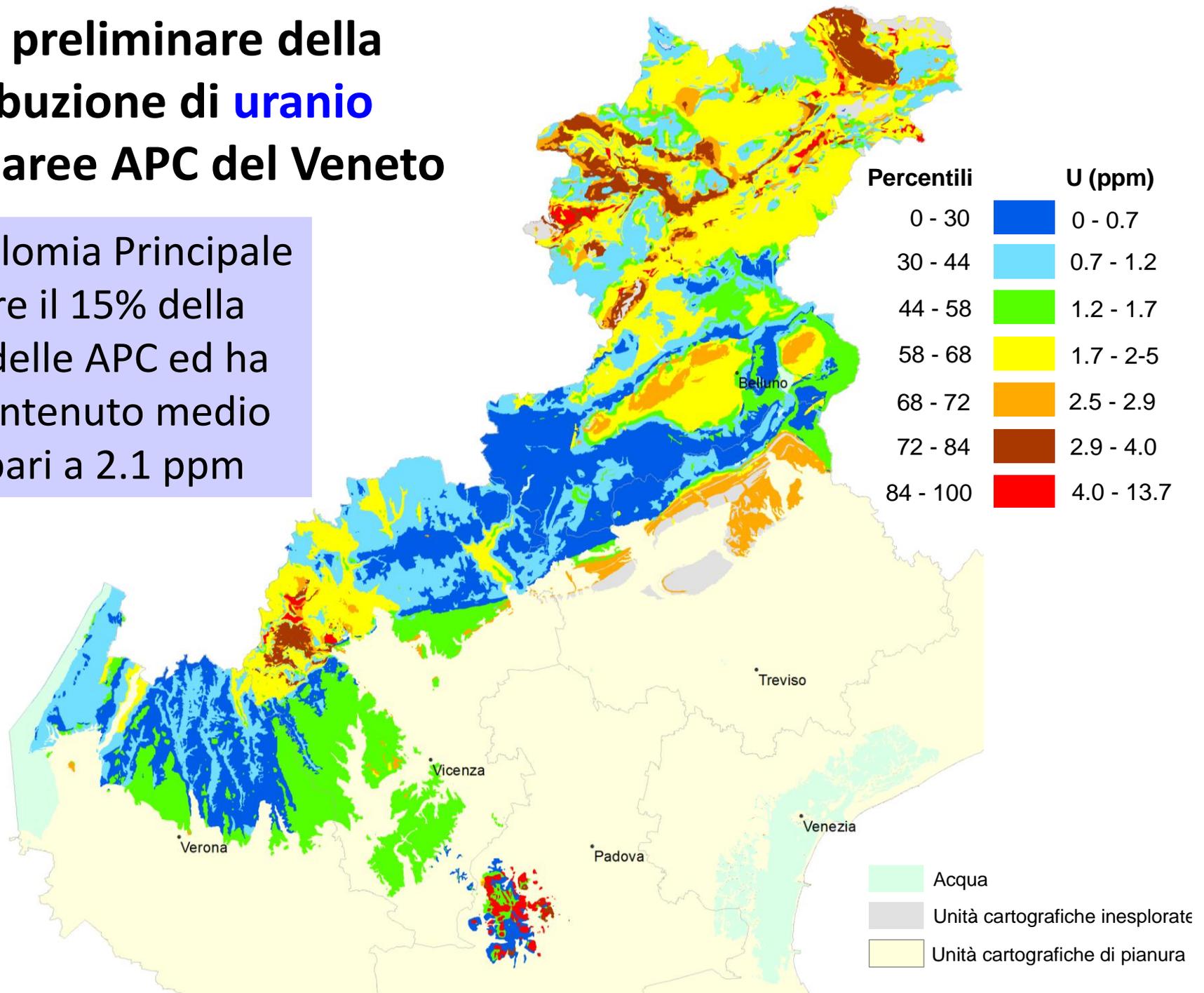
Il 50% del territorio è caratterizzato da bassissime concentrazioni di K (< 0.2 %)

Le rocce magmatiche e metamorfiche hanno un alto contenuto di K.



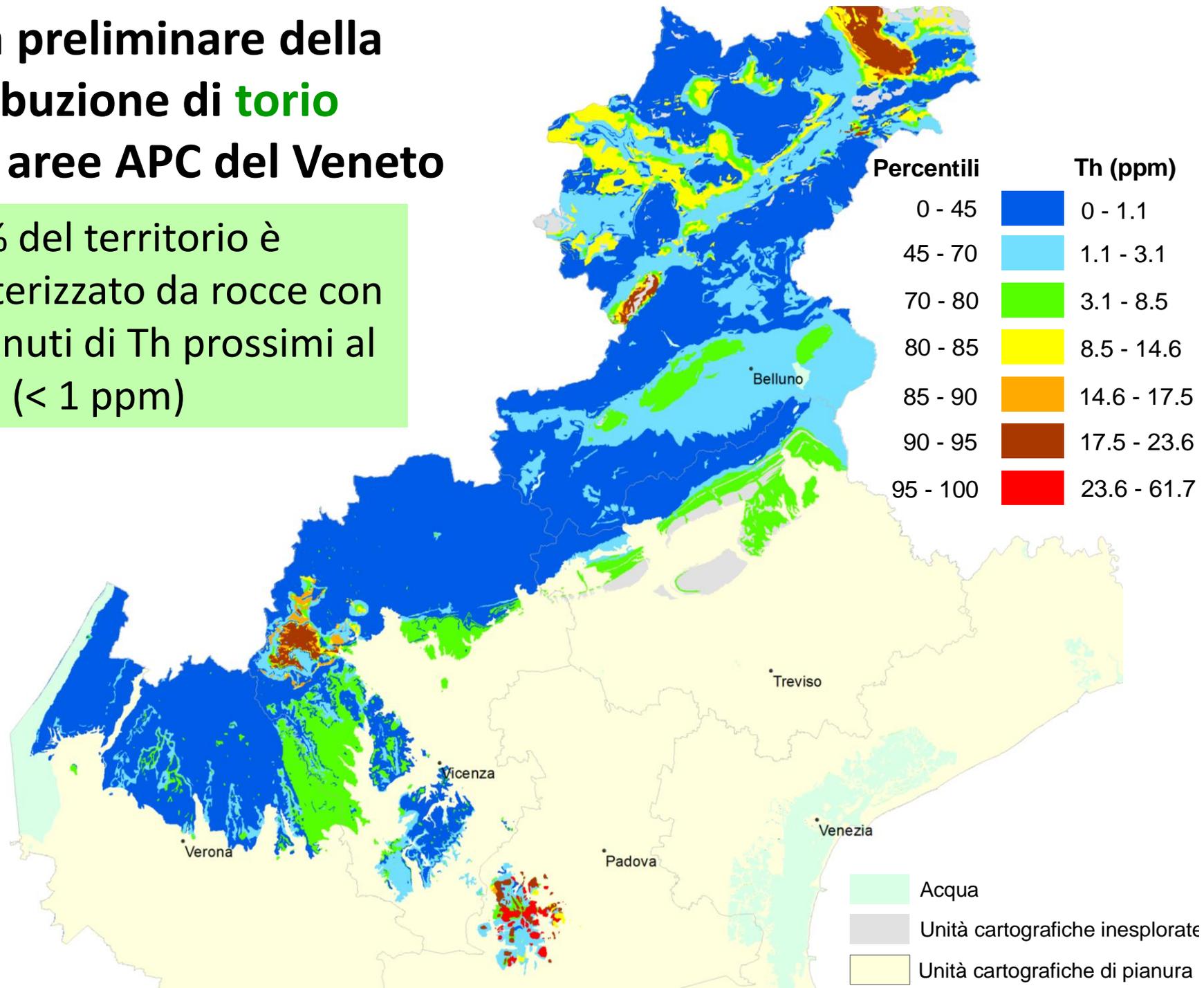
# Carta preliminare della distribuzione di uranio nelle aree APC del Veneto

La Dolomia Principale ricopre il 15% della sup. delle APC ed ha un contenuto medio di U pari a 2.1 ppm



# Carta preliminare della distribuzione di **torio** nelle aree APC del Veneto

Il 50% del territorio è caratterizzato da rocce con contenuti di Th prossimi al MDA. (< 1 ppm)



# Conclusioni

Tutti gli obiettivi prefissati all'inizio del mio percorso di tesi sono stati raggiunti:

- ✓ Collaudo di una base cartografica appropriata al campionamento
- ✓ Analisi statisti raffinata delle 486 misure di radioattività
- ✓ Produzione di carte della distribuzione di U, Th e K per le APC

Le radioattività delle rocce delle zone Alpine, Prealpine e Collinari del Veneto (7156 km<sup>2</sup>) è stata caratterizzata con una media di **1 campione ogni 14.7 km<sup>2</sup>**.

**Il campionamento sulla base cartografica adottata è stato efficace** per la caratterizzazione del contenuto di U, Th e K delle diverse UC. In particolare le UC aventi caratteristiche litostratigrafiche simili, sono risultate molto omogenee per il loro contenuto di radioattività.

I campioni appartenenti alle UC Biancone, Calcari Grigi e Dolomia Principale (circa il 34% delle APC) presentano contenuti di K e Th prossimi o inferiori al **MDA**: lo **studio del trattamento statistico di questi dati è stato determinante** per la valorizzazione del lavoro di monitoraggio.

# *Conclusioni e...*

Su una popolazione di dati statisticamente significativa si osserva chiaramente che **all'aumentare del contenuto di silice** nelle rocce magmatiche corrisponde un **incremento di abbondanza di radionuclidi**.

Le Filladi appartenenti alla Seq. **metamorfica di Recoaro** hanno un alto contenuto di K, U e Th probabilmente dovuto alla componente vulcanica dei sedimenti di origine.

Il valore medio del rapporto **Th/U** ( $< 1$ ) delle dolomie e dei calcari dolomitici è circa la metà di quello delle altre rocce carbonatiche. Questa anomalia è ancora più evidente se confrontata con il valor medio delle rocce cristalline ( $\sim 4$ )

## *...prospettive*

Con l'obiettivo di caratterizzare la radioattività delle APC con 1 campione ogni 25 km<sup>2</sup> devono essere raccolti altri **28 campioni** nelle UC già esplorate e **19 campioni** per le UC completamente da esplorare.

Le carte tematiche presentate sono preliminari in quanto si basano su circa il **90%** dei campioni che si intendono raccogliere nel progetto Rad\_Monitor