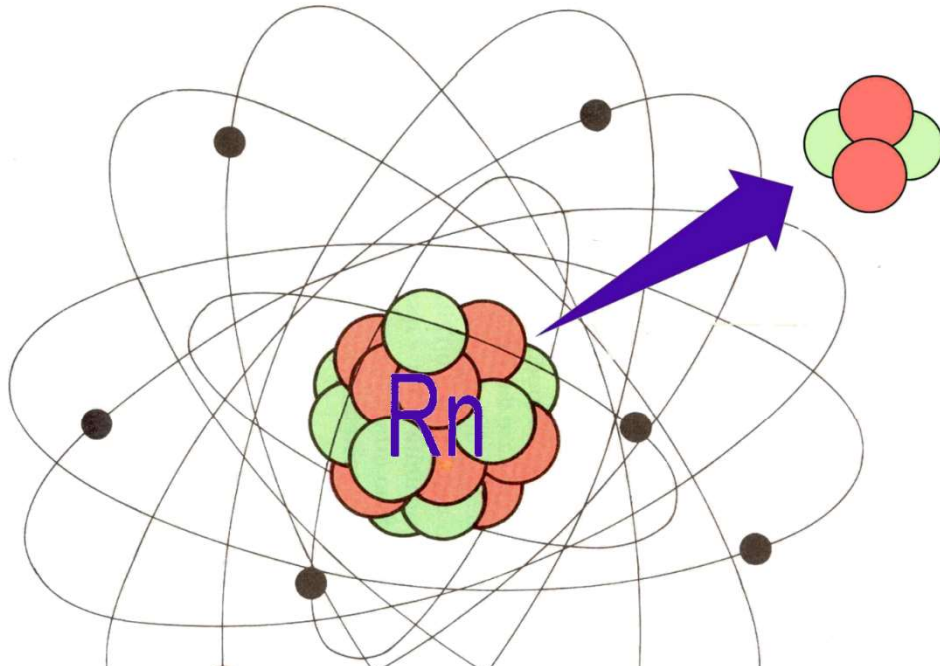


**MONITORAGGIO DEL RADON ATMOSFERICO
NELLA GROTTA DI BOSSEA
TRAMITE DOSIMETRI PASSIVI**



Guido Peano, Ezechiele Villavecchia

LABORATORIO CARSOLOGICO SOTTERRANEO DI BOSSEA - CAI DI CUNEO

Massimo Faure Ragani, Marisa Ducourtil, Giovanni Agnesod

ARPA VALLE d'AOSTA

Enrico Chiaberto, Elena Serena, Anna Prandstatter, R. Tripodi, M. Magnoni

ARPA PIEMONTE

La ricerca carsologica in Italia - Frabosa Soprana – grotta di Bossea 22-23 giugno 2013

Precedenti monitoraggi

il radon nelle grotte di Bossea
è già studiato dagli anni '90

Anni 1994 – 1995

- misurazioni puntuali in atmosfera tramite dosimetri
- misure in acqua

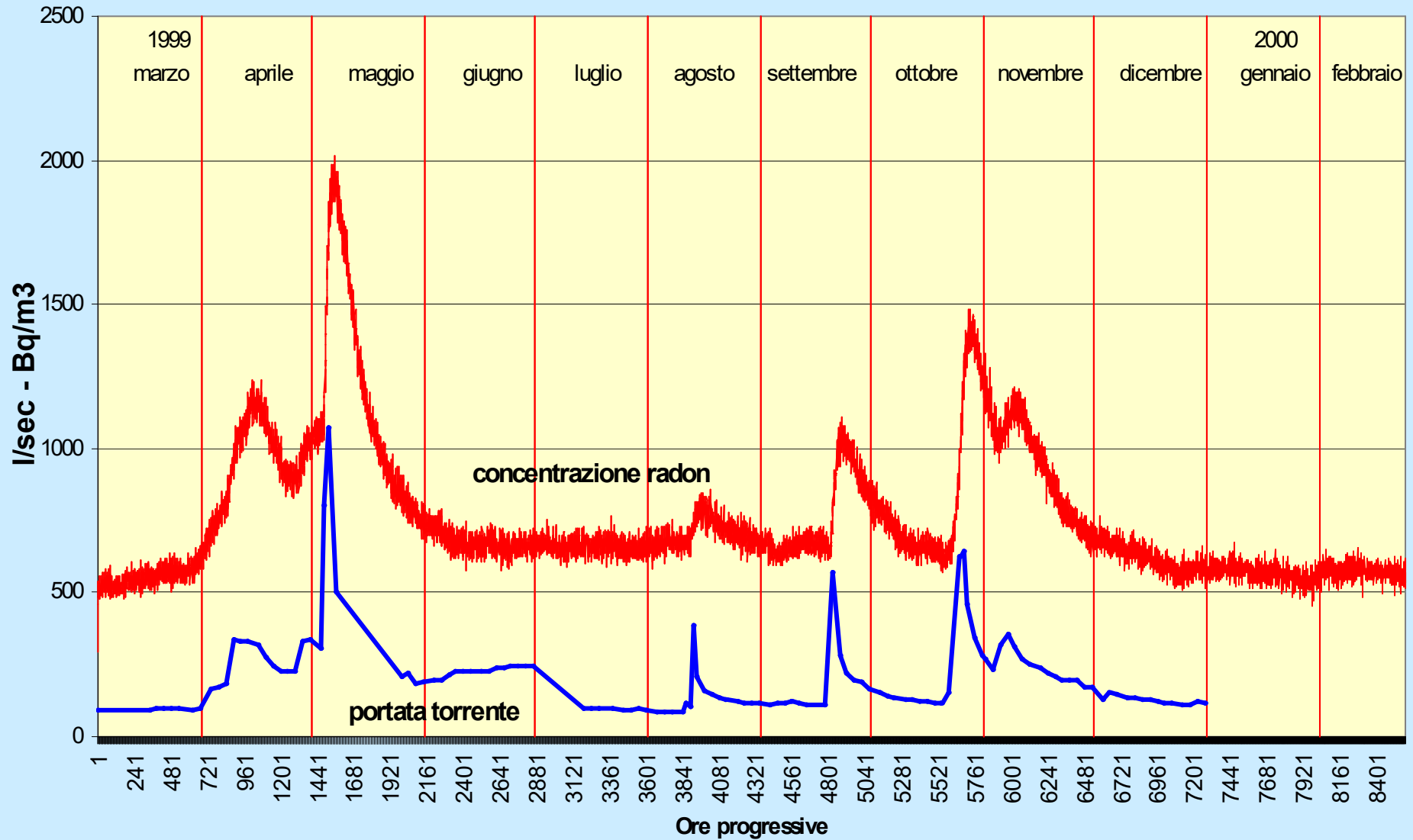
Dal 1996 ad oggi

- misure in continuo prima in aria e poi anche in acqua:
aumento progressivo dei punti monitorati con notevole dispiegamento di strumenti di misura, innovativi in particolare per quanto riguarda la misura in continuo del radon in acqua.

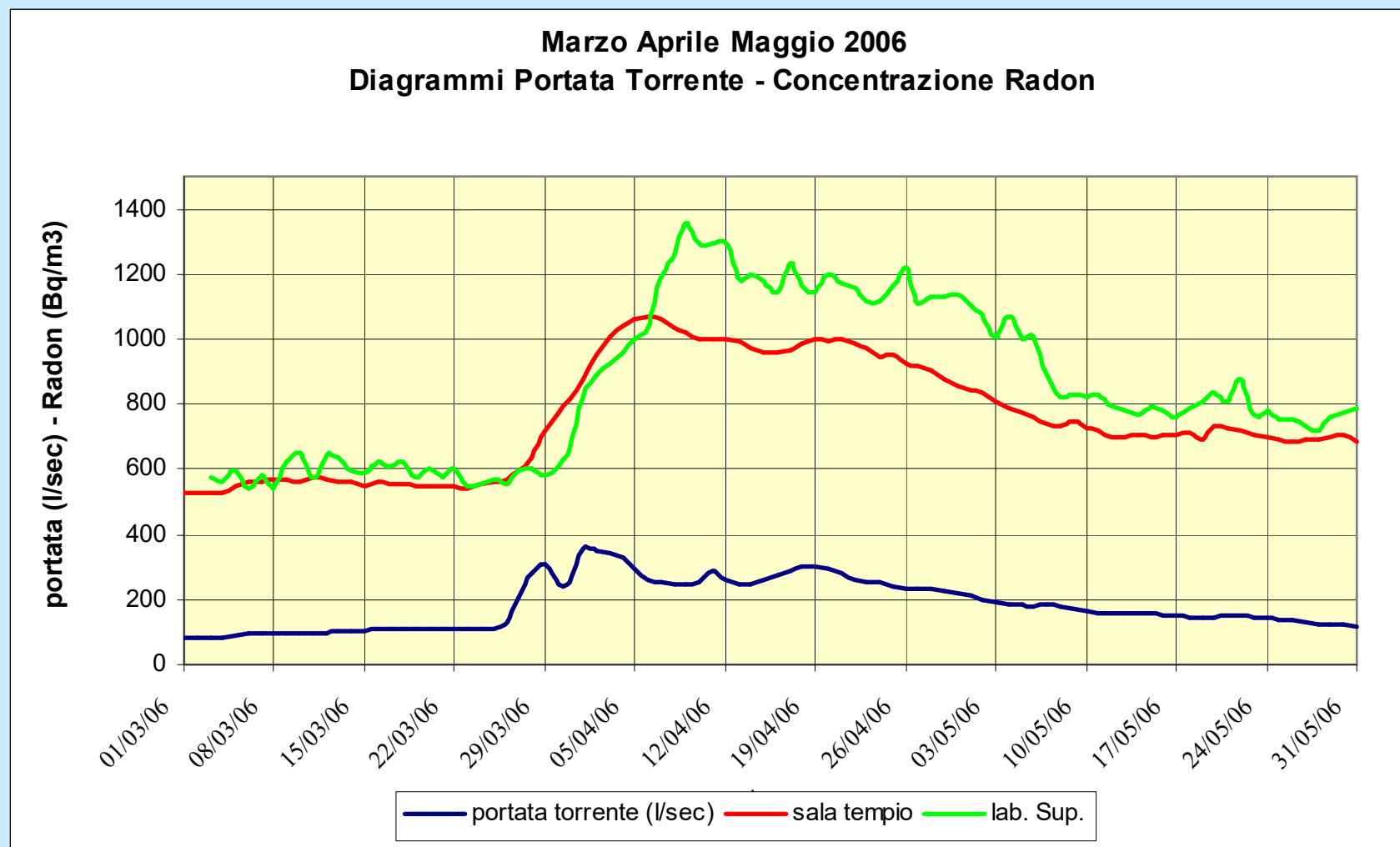
Risultati finora ottenuti

Uno tra i risultati messi in evidenza da studi precedenti è che le fluttuazioni temporali della concentrazione all'interno della grotta dipendono fortemente dall'andamento delle piene e dalle portate del torrente collettore del sistema carsico.

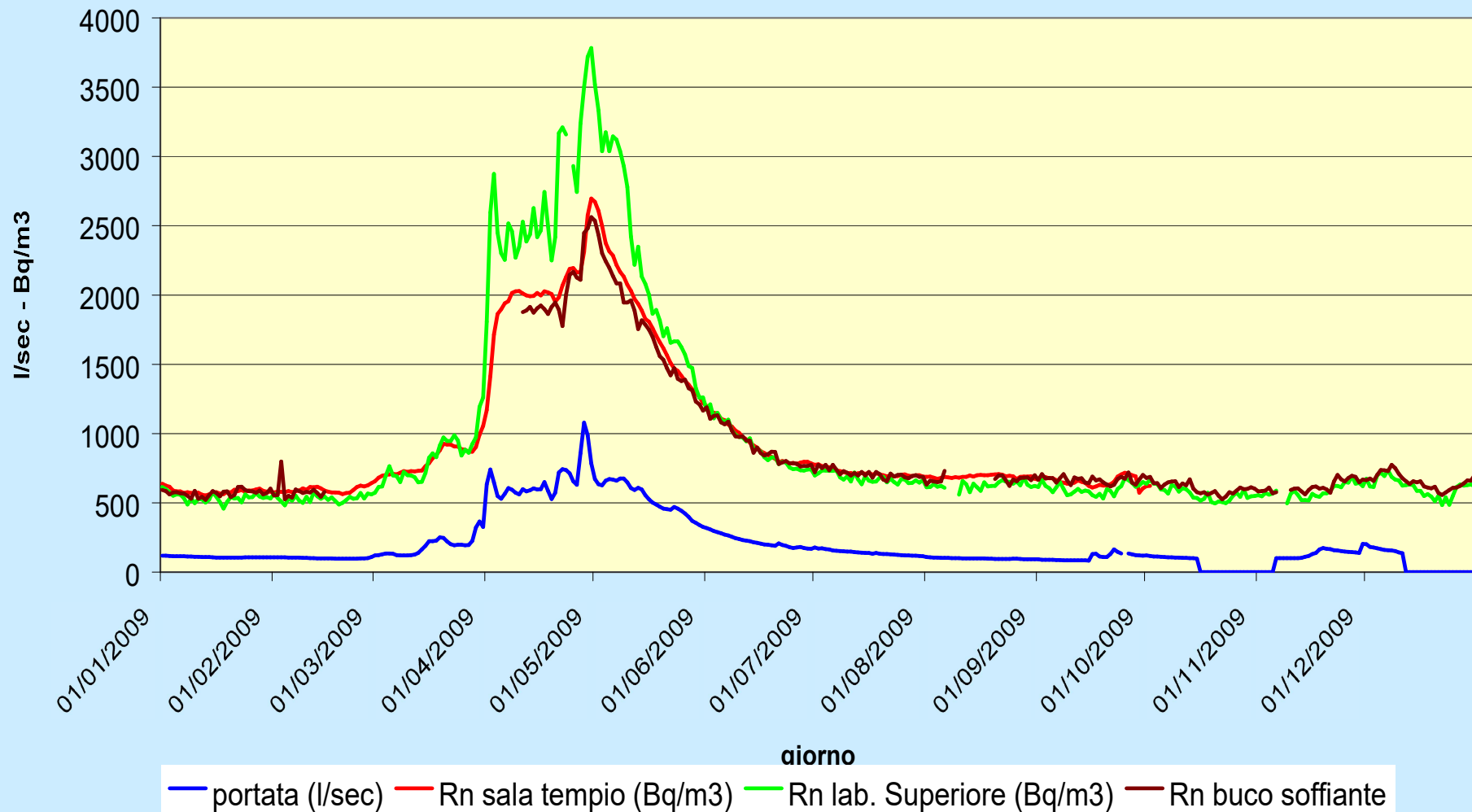
Diagrammi comparati portata del torrente – concentrazione atmosferica del Radon nella Sala del Tempio, negli anni 1999 - 2000



Diagrammi comparati portata del torrente – concentrazione atmosferica del Radon (Sala del Tempio e Forra del torrente), nel periodo marzo maggio 2006



Monitoraggio in continuo del flusso torrentizio e della concentrazione atmosferica del ^{222}Rn (in 3 siti diversi) nell'anno 2009



Il futuro delle misure radon nella grotta

Gli studi condotti finora con monitori in continuo hanno consentito valutazioni approfondite solo in alcuni punti precisi della grotta.

La grotta però è un ambiente nel suo complesso tutt'altro che omogeneo e quindi si è rimarcata la necessità di monitorare contemporaneamente più settori, con ovvi problemi di costi nel reperire un numero notevole di monitori in continuo.

La grotta, luogo magico di incontri (tra laboratori), ha fatto nascere l'idea tra le ARPA (Valle d'Aosta e Piemonte) e il Laboratorio Carsologico di Bossea di studiare il radon con dosimetri passivi a tracce suddividendo l'arco temporale di un anno in più periodi di misura aumentando così i punti monitorati.

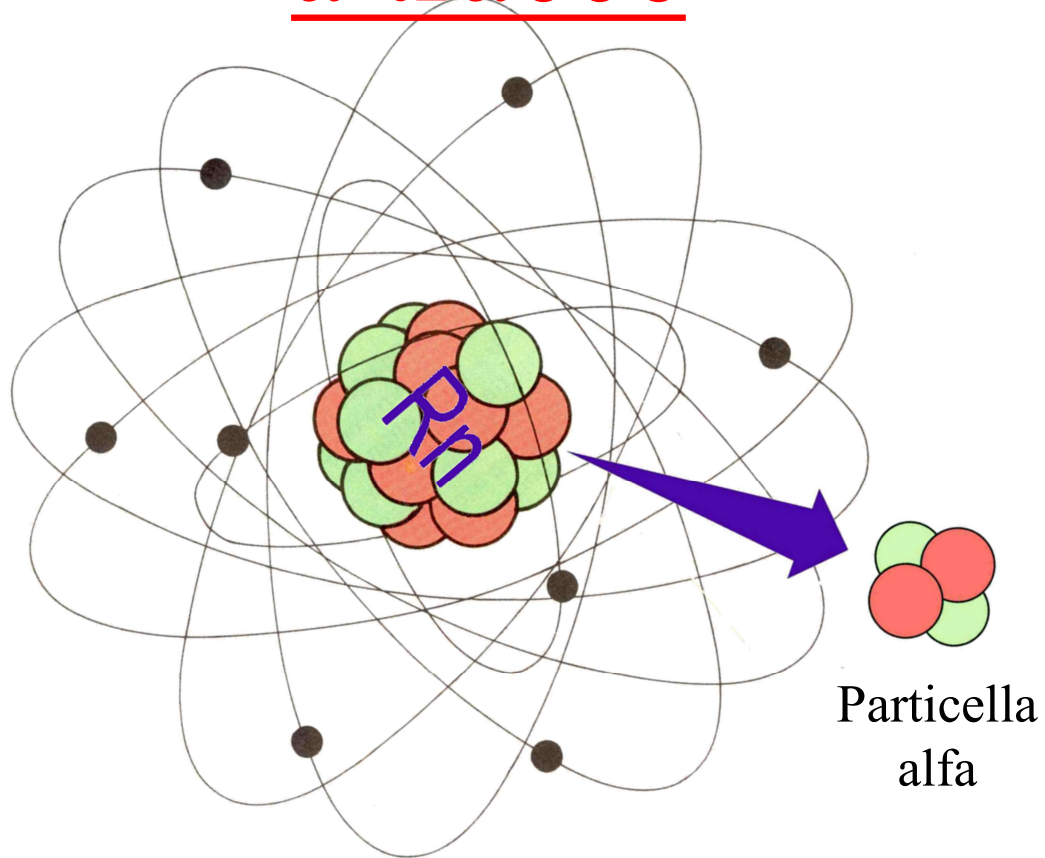


Le **ARPA** disponendo dei medesimi dosimetri a tracce (con rivelatori CR39 e LR115) sostituiscono e analizzano “a staffetta” i gruppi di dosimetri, che con attenta cura sono ogni volta posizionati dal **laboratorio Carsologico di Bossea** in punti ben precisi:

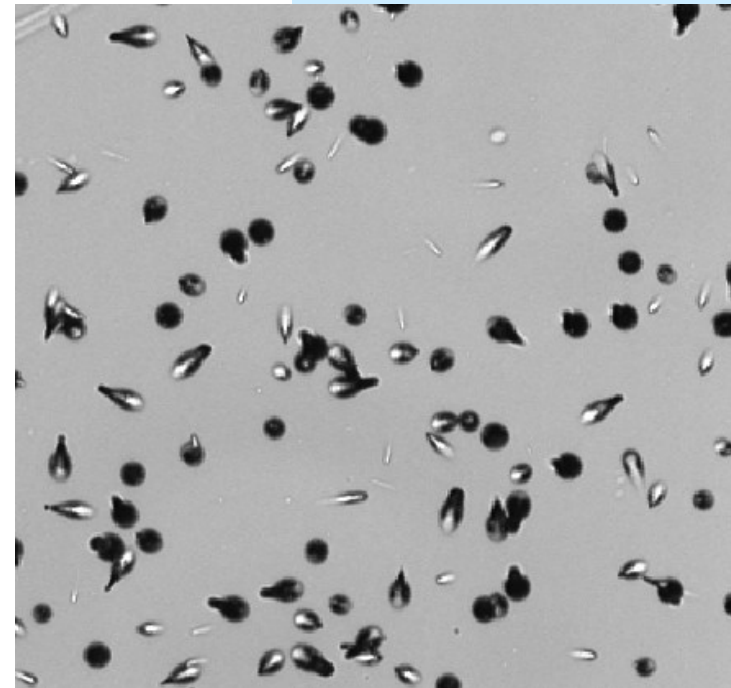
una sinergia tra laboratori di misura del radon e la conoscenza profonda di chi la grotta la vive



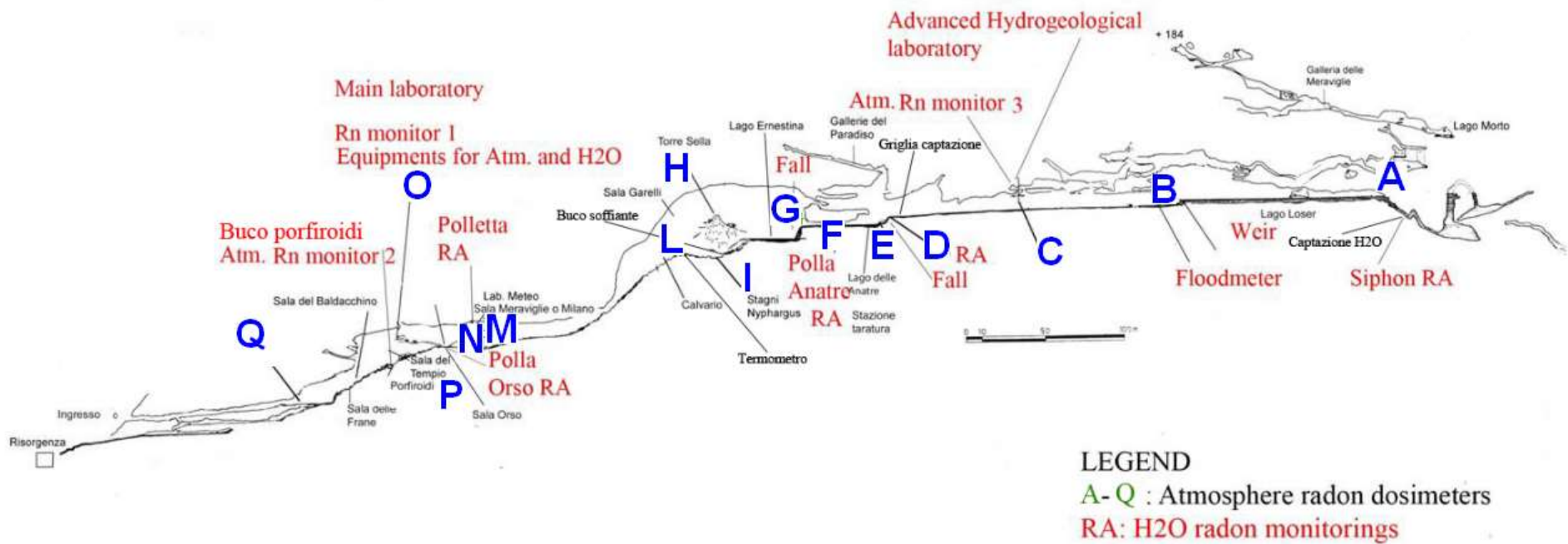
Dosimetri passivi a tracce



Ciò che vediamo coi nostri
strumenti di analisi



PUNTI DI MISURA



sezione longitudinale della grotta

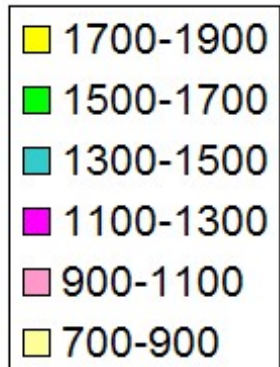
PUNTI DI MISURA

Punti principali monitorati

misura	sito
Q	Sala frane cascata
O	Sala tempio
M	Sala Milano centr.
L	Term. Sala Garelli
H	Torre sella
G	lago Ernestina
F	polla anatre
E	lago anatre
D	griglia captazione
C	laboratorio superiore
A	sifone Lago Loser
Ulteriori punti in fase di valutazione	
B	Idrometrografo
P'	Buco porfiroidi interno
I	Buco soffiante S.G.
N	Sala Milano canalino
P	Buco porfiroidi esterno

PRIMI RISULTATI

Concentrazione radon nella grotta di Bossea (andamento spaziale e temporale)



Parte terminale grotta

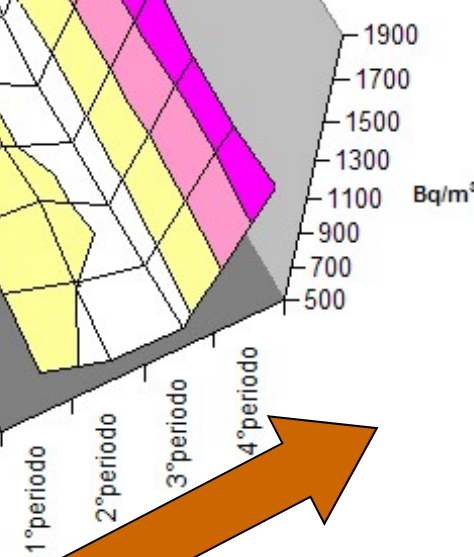
pto A: sifone Lago Loser
pto C: laboratorio superiore
pto D: griglia captazione
pto E: lago anatre
pto F: polla anatre
pto G: lago Ernestina
pto H: Torre sella
pto L: Term. Sala Garelli
punto di misura
pto M: Sala Milano centr.
pto O: Sala tempio
pto Q: Sala frane cascata

Ingresso grotta

Sezione longitudinale della grotta

Concentrazione radon

Tempo



misura	sito	1°periodo 18/8/12 19/9/12	2°periodo 12/10/12 28/12/12	3°periodo 28/12/12 8/3/13	4°periodo 8/3/13 30/5/13
Q	Sala frane cascata	778	636	636	1253
O	Sala tempio	833	704	611	1211
M	Sala Milano centrale	813	793	589	1215
L	Term. Sala Garelli	730	731	577	1255
H	Torre sella	726	732	557	1255
G	lago Ernestina	742	761	596	1248
F	polla anatre	835	876	673	1755
E	lago anatre	797	822	643	1772
D	griglia captazione	737	843	599	1647
C	laboratorio superiore	830	755	560	1521
A	sifone Lago Loser	750	743	559	1391
Altri punti in studio					
B	Idrometrografo		867	623	1666
P'	Buco porfiroidi interno	8354	6599	6649	7566
I	Buco soffiante S.G.		816		1260
N	Sala Milano canalino		744	607	1267
P	Buco porfiroidi esterno	778		601	
Q'	sala frane evaporimetro				1708

Concentrazioni di attività radon in Bq/m³

UNA SEMPLICE VISIONE DEI DATI NON È SUFFICIENTE

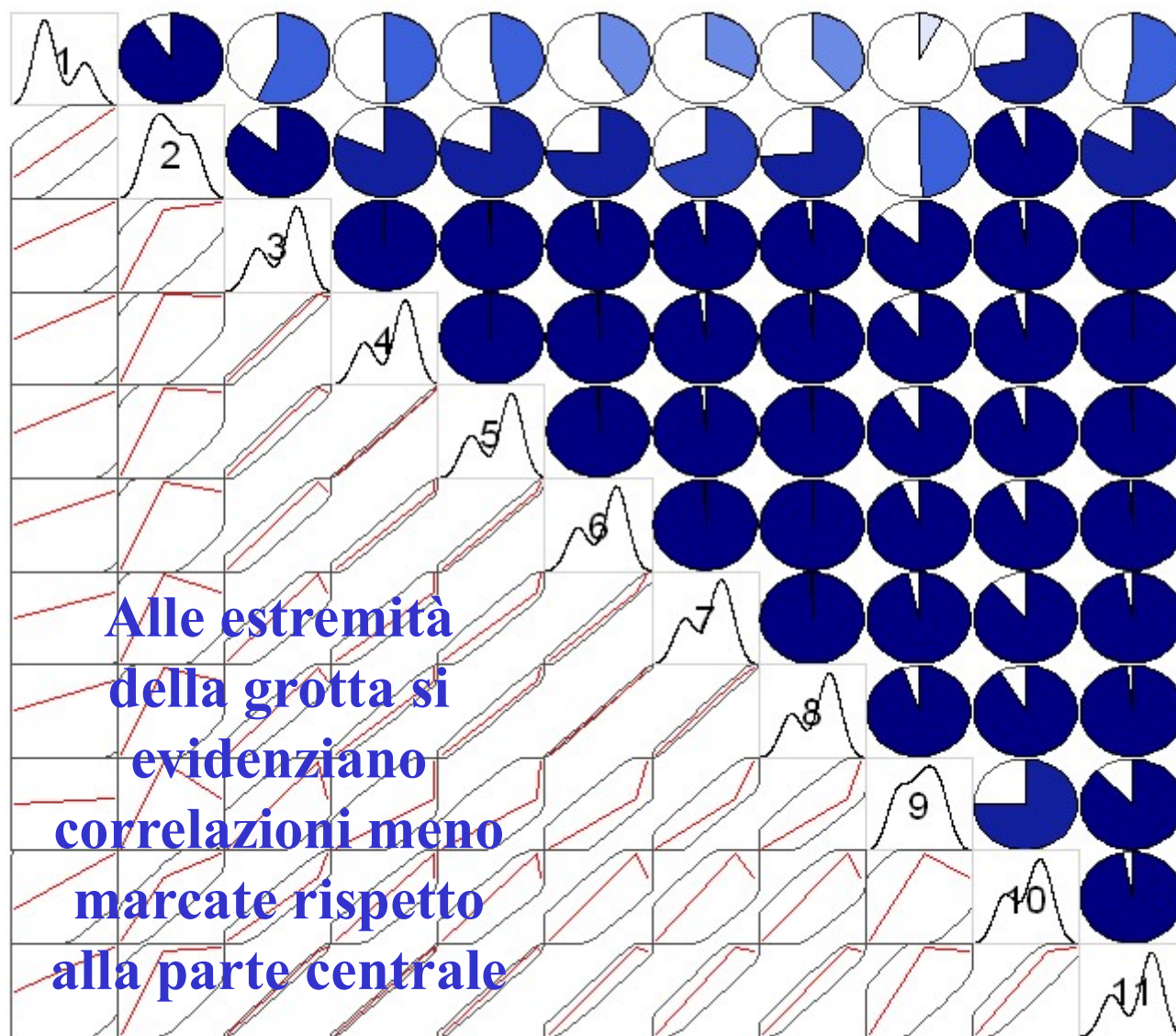
I dati da punto a punto non si discostano enormemente e le differenze riscontrate, spesso, sono entro le incertezze.

Si è pensato allora di introdurre un'analisi statistica ANOVA che permetta di mettere in evidenza eventuali correlazioni sia in termini spaziali che temporali dei vari siti e periodi

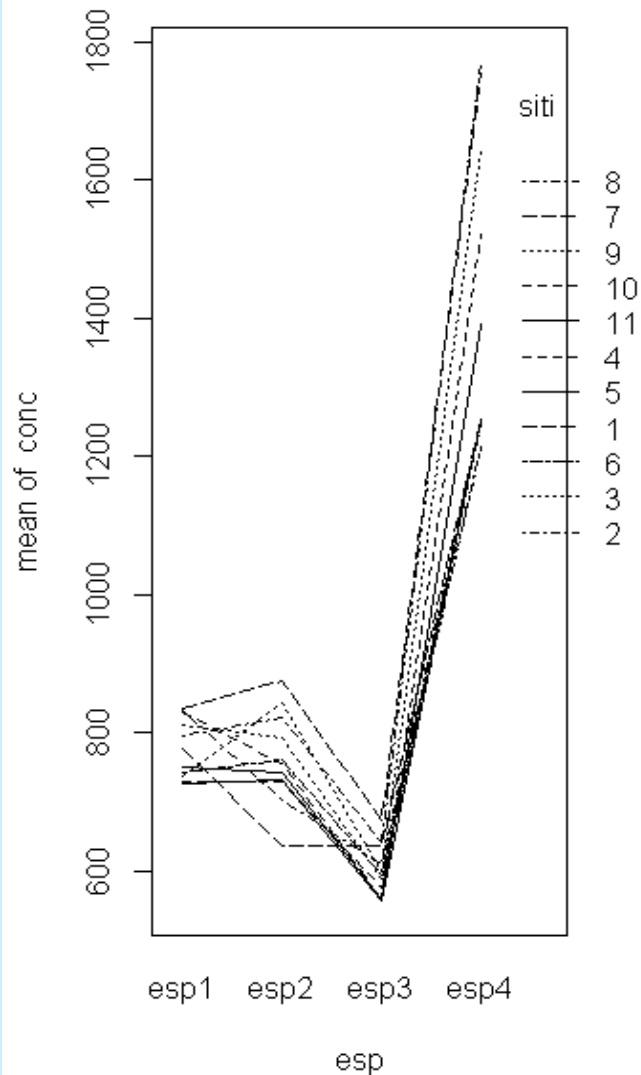
I dati sono stati organizzati in una matrice per spazio (lungo lo sviluppo della grotta e per tempo (periodi di misura) e tramite R (SW open source per l'analisi statistica) sono state effettuate le prime elaborazioni.

Ovviamente tali metodi di indagine statistica si irrobustiscono con l'arricchimento di dati e per valutazioni precise occorre attendere, anche se, già al momento, alcuni siti e periodi temporali sembrano distinguersi da altri (questa è la forza dell'analisi statistica che permette di andare oltre l'intuito osservativo dei dati)

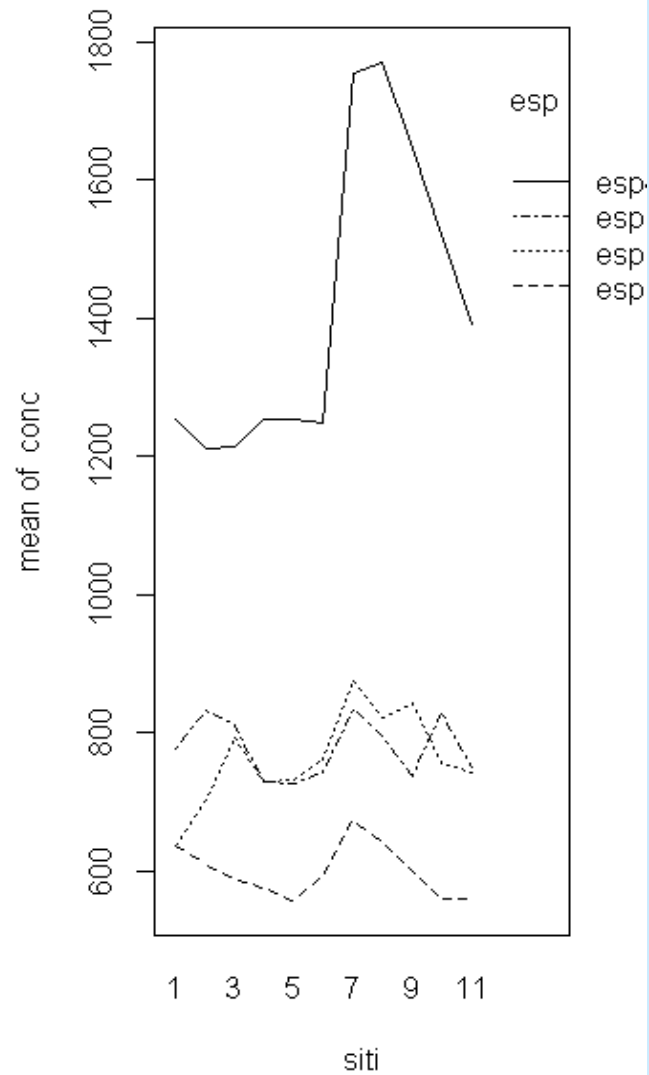
Correlogramma semplice



Concentrazioni per sito al variare del periodo



Concentrazioni per periodo al variare del sito



I dati sembrano apparentemente dipendere più dal periodo che dal sito:
correlazione con le piene stagionali

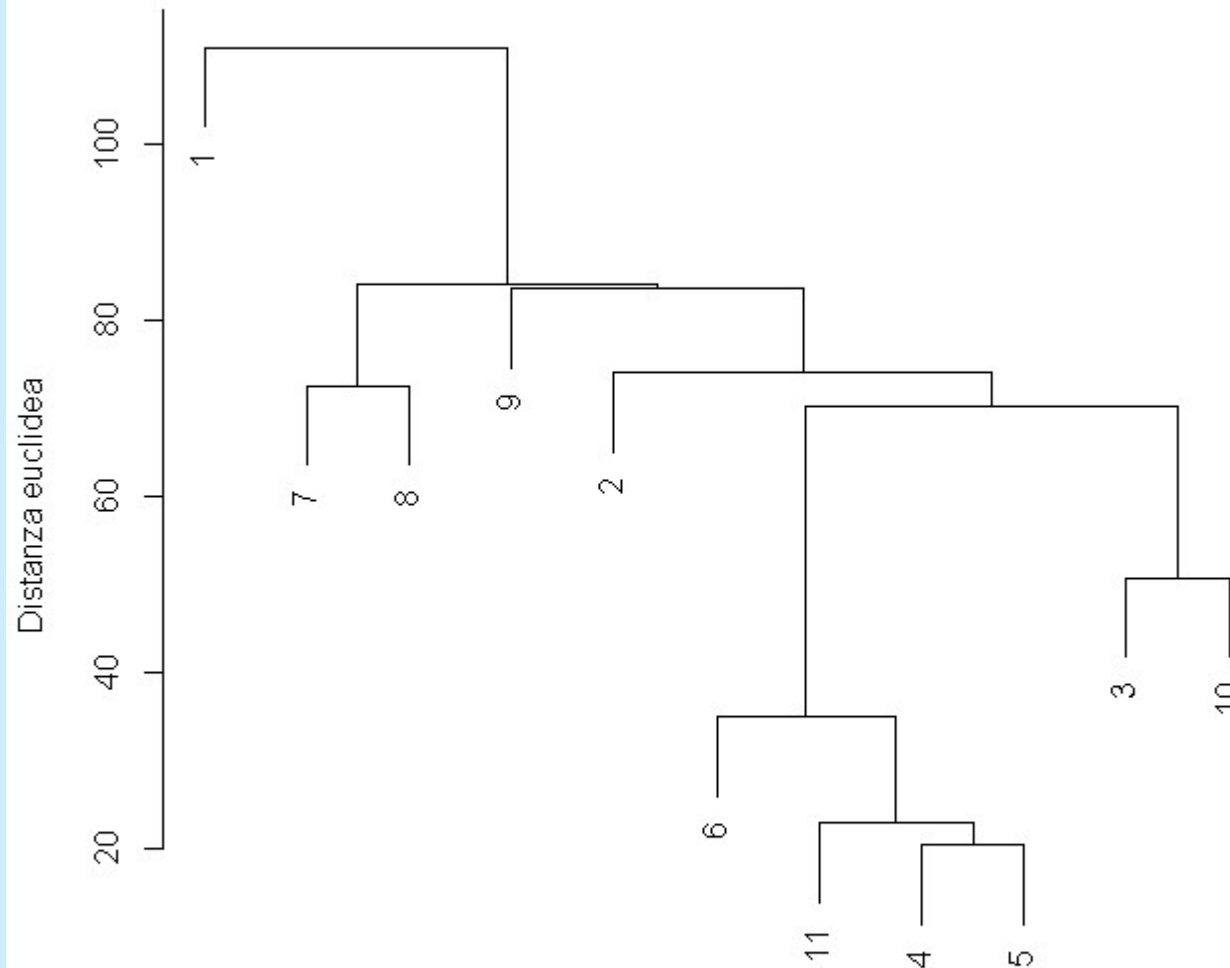
ANOVA ci dice infatti

- Con ottima certezza almeno una media delle concentrazioni sui periodi differisce significativamente dagli altri periodi
- Con debole certezza almeno una media per sito è significativamente diversa dagli altri siti

UN'ANALISI DEI CLUSTER PUÒ AIUTARE A
TROVARE
PUNTI MONITORATI CON SIMILITUDINI DI
COMPORTAMENTO RADON

- Per questo tipo di analisi non occorre che le distribuzioni siano normali ...
- Occorre definire una “distanza”: la più classica e conosciuta è la euclidea ma non è la sola.
- Ci sono poi diversi modi (algoritmi) di ricercare i cluster (gruppi simili).
- Quelli provati finora portano a raggruppamenti piuttosto simili.

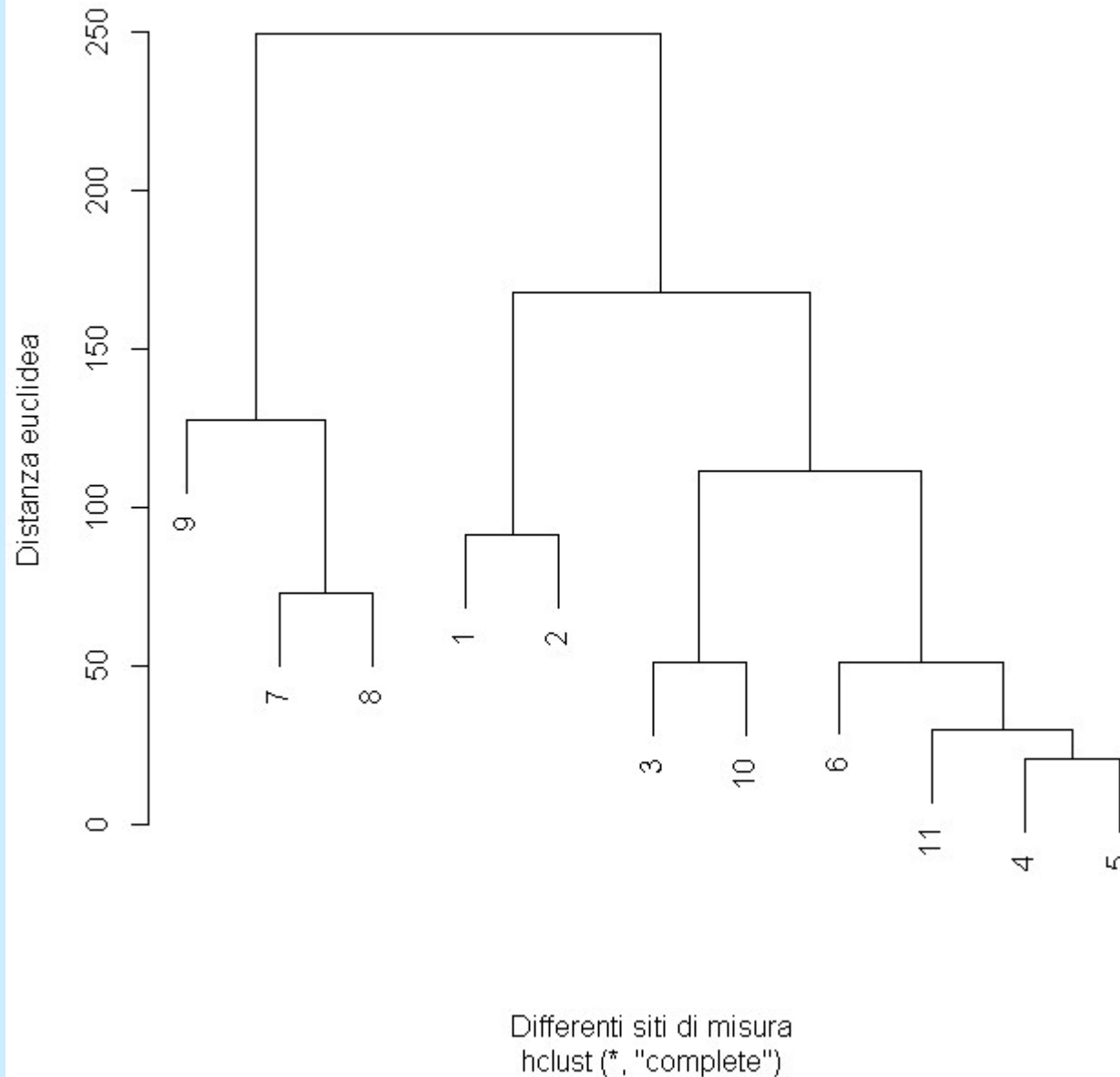
Cluster analysis: dendrogramma



pto Q: Sala frane cascata	1
pto O: Sala tempio	2
pto M: Sala Milano centr.	3
pto L: Term. Sala Garelli	4
pto H: Torre sella	5
pto G: lago Ernestina	6
pto F: polla anatre	7
pto E: lago anatre	8
pto D: griglia captazione	9
pto C: laboratorio superiore	10
pto A: sifone Lago Loser	11

Raggruppamento di
elementi o gruppi i
cui centroidi
(baricentri) risultano
più vicini

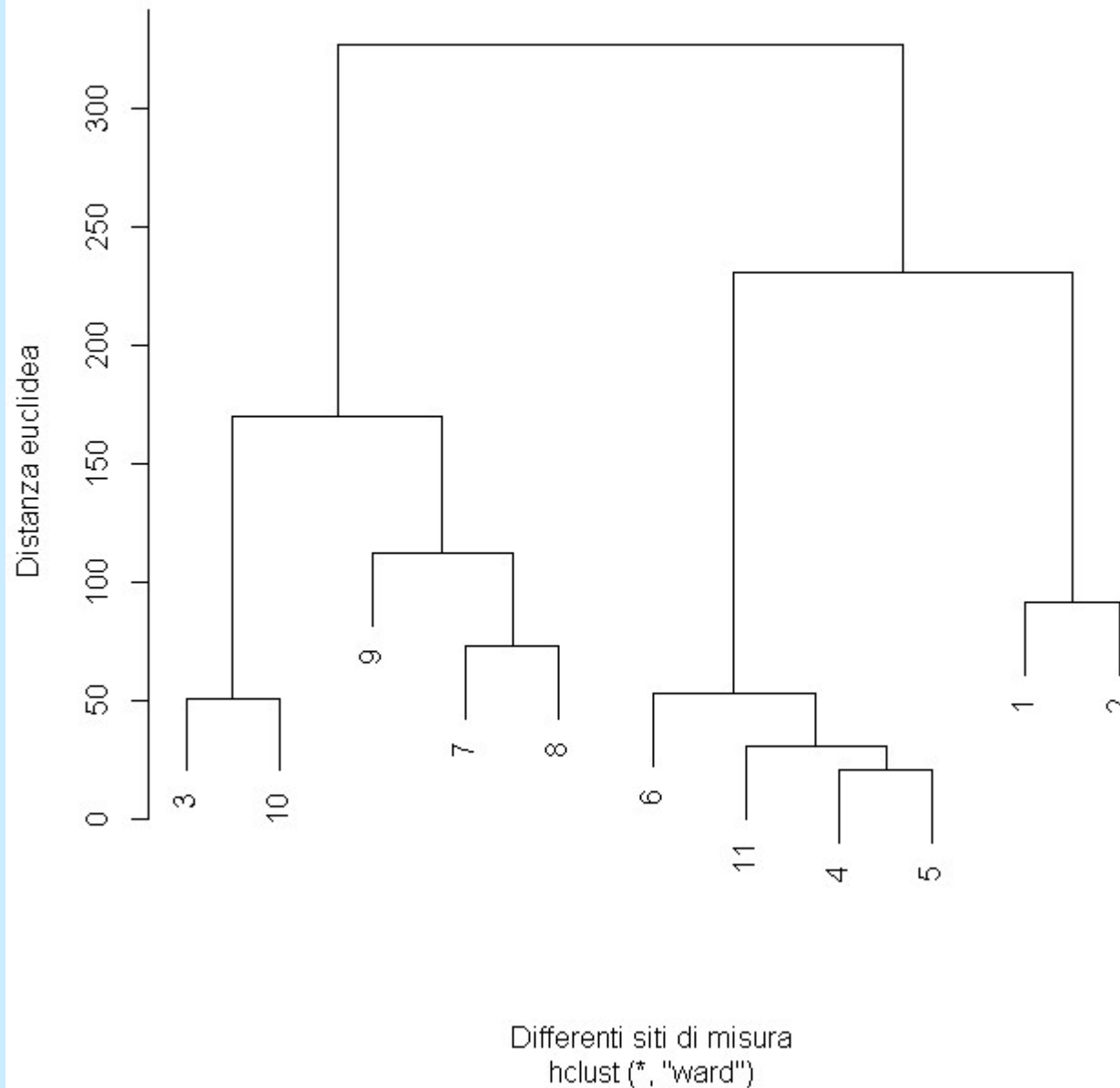
Cluster analysis: dendrogramma



pto Q: Sala frane cascata	1
pto O: Sala tempio	2
pto M: Sala Milano centr.	3
pto L: Term. Sala Garelli	4
pto H: Torre sella	5
pto G: lago Ernestina	6
pto F: polla anatre	7
pto E: lago anatre	8
pto D: griglia captazione	9
pto C: laboratorio superiore	10
pto A: sifone Lago Loser	11

Raggruppamento del
“vicino più lontano”:
ogni membro del
gruppo deve stare
entro un livello di
prossimità da tutti gli
elementi del gruppo

Cluster analysis: dendrogramma



pto Q: Sala frane cascata	1
pto O: Sala tempio	2
pto M: Sala Milano centr.	3
pto L: Term. Sala Garelli	4
pto H: Torre sella	5
pto G: lago Ernestina	6
pto F: polla anatre	7
pto E: lago anatre	8
pto D: griglia captazione	9
pto C: laboratorio superiore	10
pto A: sifone Lago Loser	11

Raggruppamento
basato sulla
minimizzazione delle
varianze

SUGGERIMENTI

I punti 1 e 2 tendono a fare gruppo a se, forse per la vicinanza all'ingresso principale;

I punti 4-5 con l'11 e il 6 fanno gruppo;

7, 8 e 9 si raggruppano probabilmente per vicinanza;

3 e 10 benché lontani hanno un comportamento simile ...

pto Q: Sala frane cascata	1
pto O: Sala tempio	2
pto M: Sala Milano centr.	3
pto L: Term. Sala Garelli	4
pto H: Torre sella	5
pto G: lago Ernestina	6
pto F: polla anatre	7
pto E: lago anatre	8
pto D: griglia captazione	9
pto C: laboratorio superiore	10
pto A: sifone Lago Loser	11

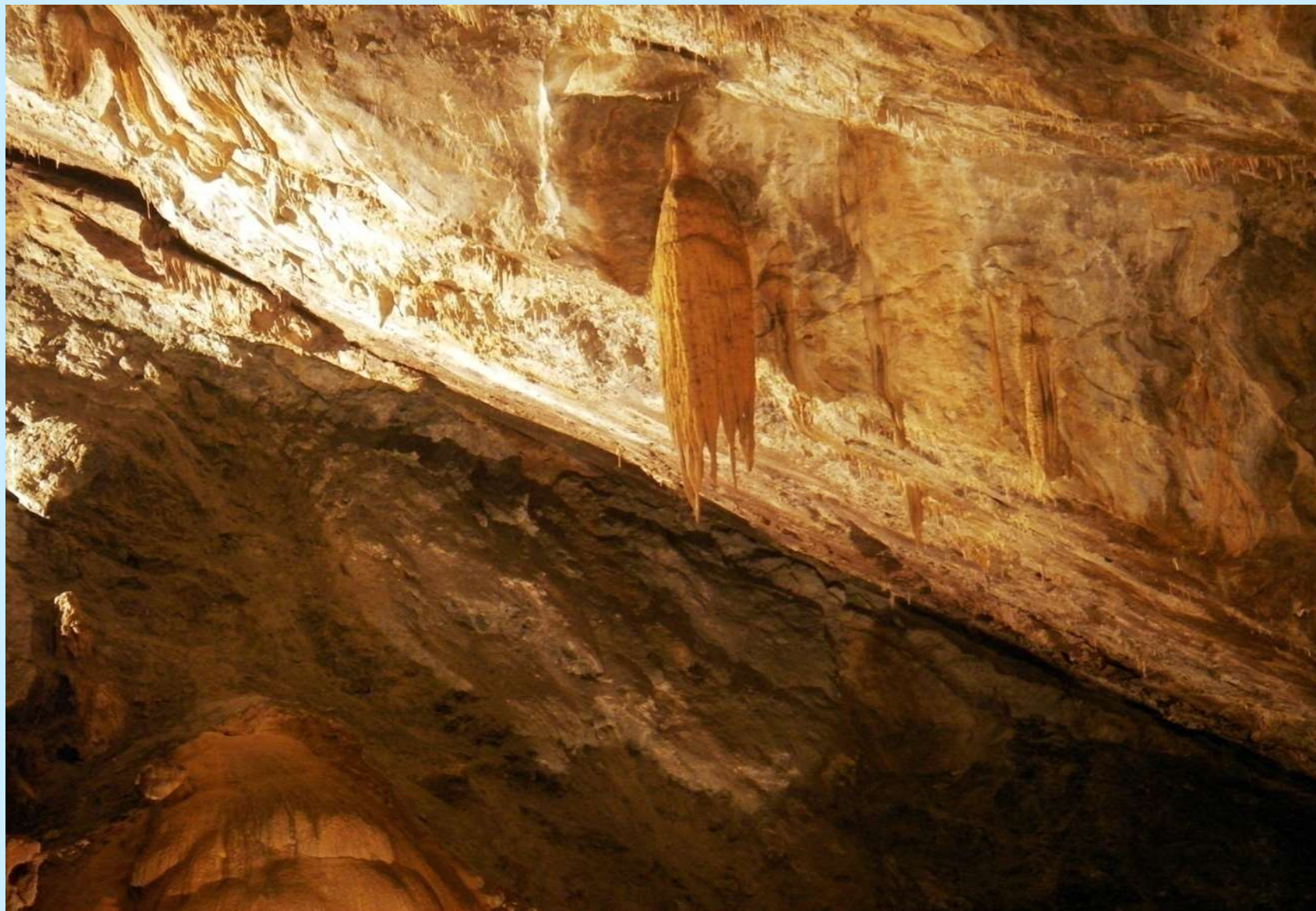
È ancora prematuro trarre conclusioni anche se gli aspetti morfologici e litologici della grotta si crede avranno la meglio a lungo termine sulle fluttuazioni statistiche delle misure.

In particolare si indagherà l'importanza dei seguenti aspetti:

- Variazioni di volume e restringimenti;
- Correnti d'aria e soffioni;
- Variazioni delle caratteristiche morfologiche e litologiche es. presenza di porfiroidi piuttosto che calcari;
- Sifoni e cascate: fonti di emanazione radon per arieggiamento dell'acqua.

Di questi interessanti aspetti ecco alcune eloquenti immagini:

CONTATTO PORFIROIDI-CALCARI NELLA SALA DEL TEMPIO



IL CANYON DEL
TORRENTE
NELLA PARTE
SUPERIORE
DELLA GROTTA



IL LAGO TERMINALE
DEL RAMO ATTIVO
(Lago Loser)



La cascata del Lago di Ernestina, con molte altre turbolenze delle acque, favorisce la cessione del Radon all'atmosfera della grotta









Grazie per
l'attenzione