

Отклик детектора LVD на землетрясения в центральной Италии

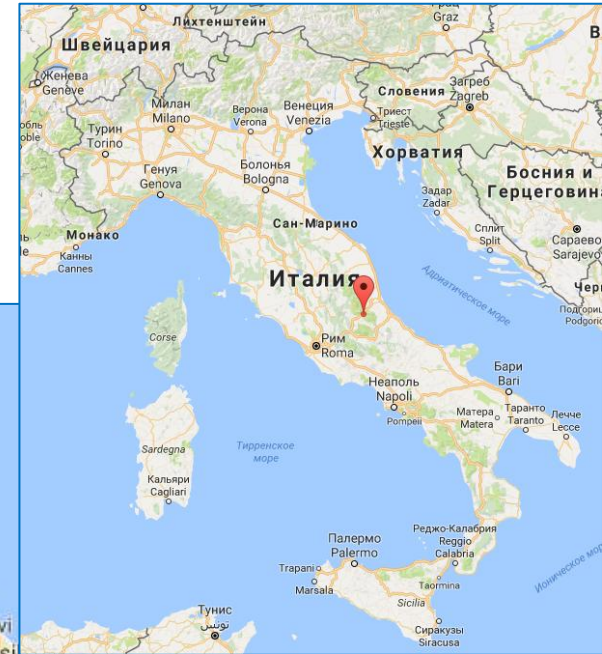
**ДОБРЫНИНА ЕКАТЕРИНА (ИЯИ РАН, dobrynina@inr.ru [skype live:.cid.de51d71d405942c1](https://www.skype.com/live/cid/de51d71d405942c1)),
Н. Агафонова, В. Ашихмин, Р. Еникеев, А. Мальгин, О. Ряжская, Н. Филимонова,
И. Шакирьянова, В. Якушев от имени Коллаборации LVD**

Основными источниками фона по низкому порогу в подземном Детекторе большого объема (LVD, LNGS, Италия) являются естественная радиоактивность грунта и радон, который выходит из грунтовых вод в атмосферу подземного помещения через множественные микротрещины в породе. Установка LVD регистрирует гамма-кванты от распадов дочерних ядер радона. При деформациях земной коры возникает напряжение, увеличивается количество микротрещин, что приводит к повышению концентрации радона. Представлен анализ темпа счета детектора во время мощных землетрясений в центральной Италии.

Подземная Лаборатория LNGS

Лаборатория **LNGS (Laboratori Nazionali del Gran Sasso)** находится в Центральной Италии, в сердце горного массива Центральных Апеннин. Хребет Гран Сассо имеет наивысшую точку 2914 м - пик Корне Гранде.

В этом регионе очень высока сейсмическая активность.



LNGS
координаты

Long=13.57°в.д.
Lat=42.45°с.ш.

Подземная Лаборатория LNGS

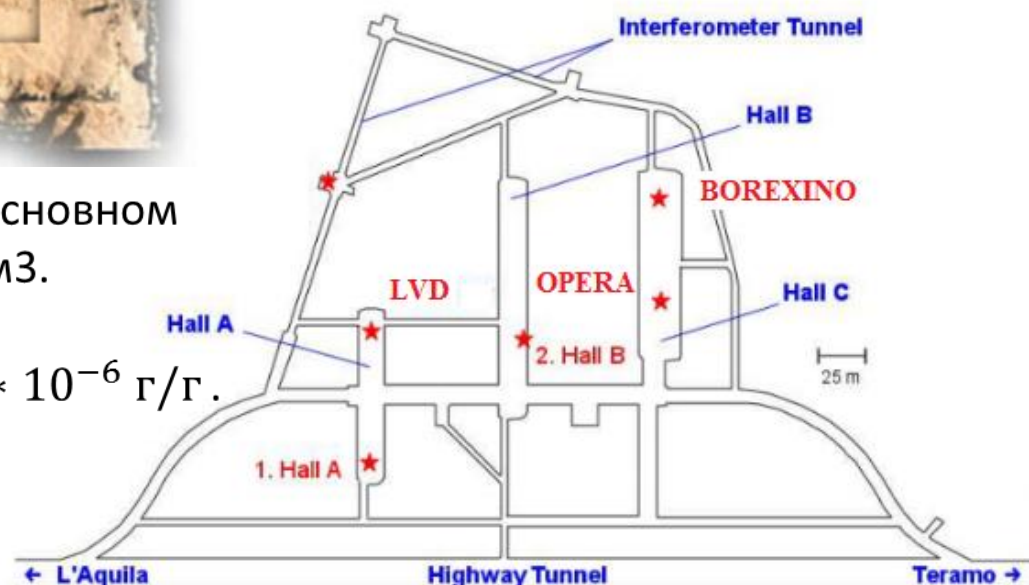


элемент	Масс.доля
H	0.03
C	12.17
O	50.77
Mg	8.32
Al	0.63
Si	1.05
K	0.1
Ca	26.89



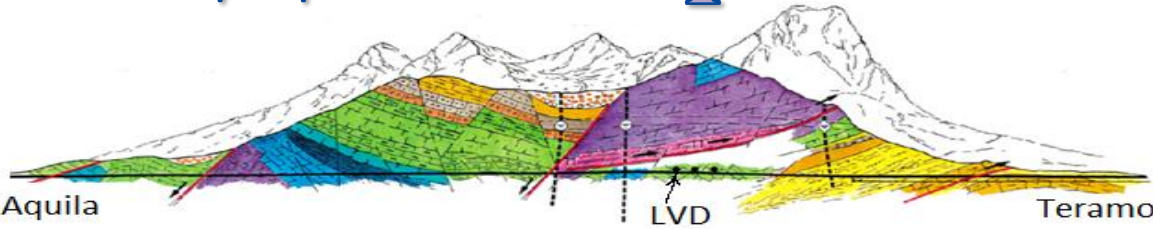
Скальный грунт Гран Сассо содержит в основном CaCO_3 и MgCO_3 , плотность $2.71 \pm 0.05 \text{ г/см}^3$.

Содержание ^{238}U в скале $(6.8 \pm 0.67) * 10^{-6} \text{ г/г}$.



Детектор Большого Объема

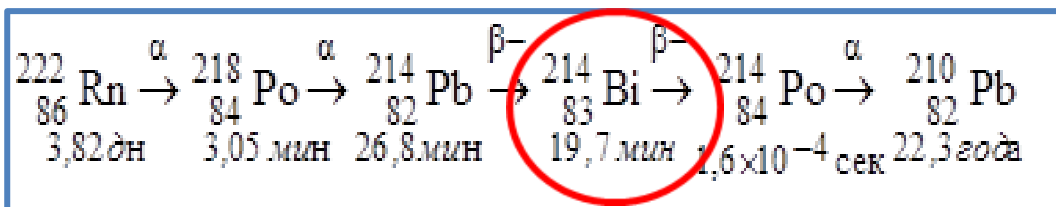
Large Volume Detector



Основная задача – **регистрация нейтрино от коллапсов звездных ядер**

Длина × Ширина × Высота	22.7 × 13.2 × 10 м
Масса железа	1020 т
Масса сцинтиллятора	1008 т
Число сцинт. счетчиков	840
Число PMTs (ФЭУ)	2520
Средняя глубина (минимальная)	3620 м.в.э. 3000 м.в.э.
Средняя энергия мюонов	280 ГэВ
E_μ на уровне моря (мин.)	1.3 ТэВ
Скорость счета мюонов (на 1 башню)	~ 120 ч ⁻¹
ε_{th} порог	5 MeV

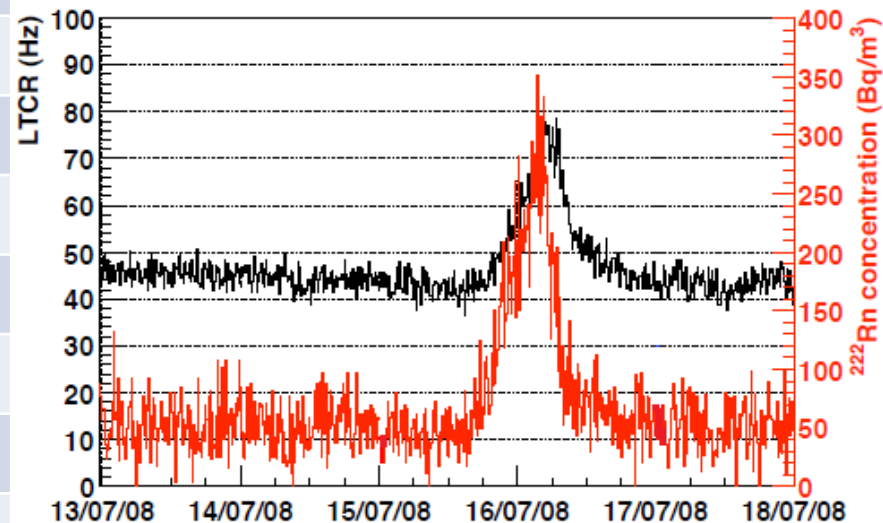
Метод регистрации



Энергия γ -кванта, МэВ	Количество γ -квантов на 100 ядер ${}^{214}\text{Bi}$
0,609	47
1,764	17
1,120	17
1,238	6
2,204	5
1,378	5
0,769	5
1,400	4
2,445	2

Основными источниками фона по низкому порогу в LVD являются естественная радиоактивность грунта и радон.

Мониторинг концентрации радона осуществляется с помощью регистрации γ -квантов от распадов дочерних ядер ${}^{222}\text{Rn}$, период полураспада которого 3,8 дня.



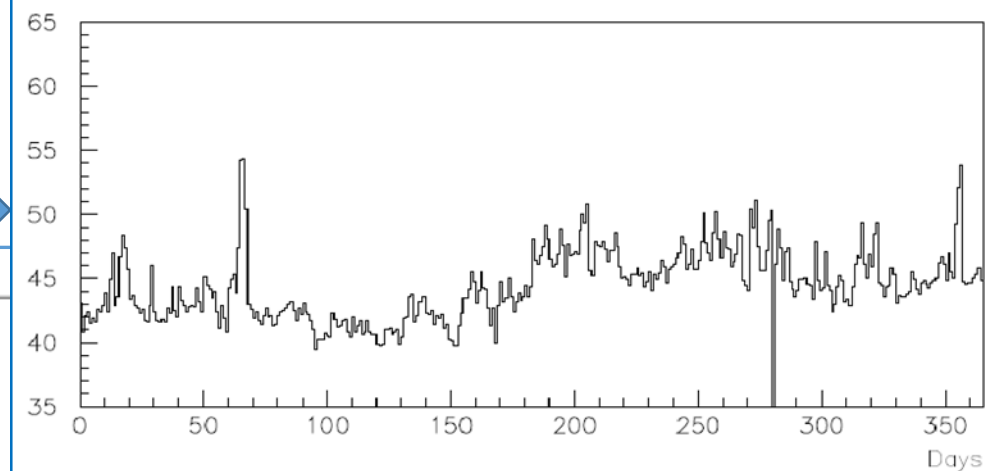
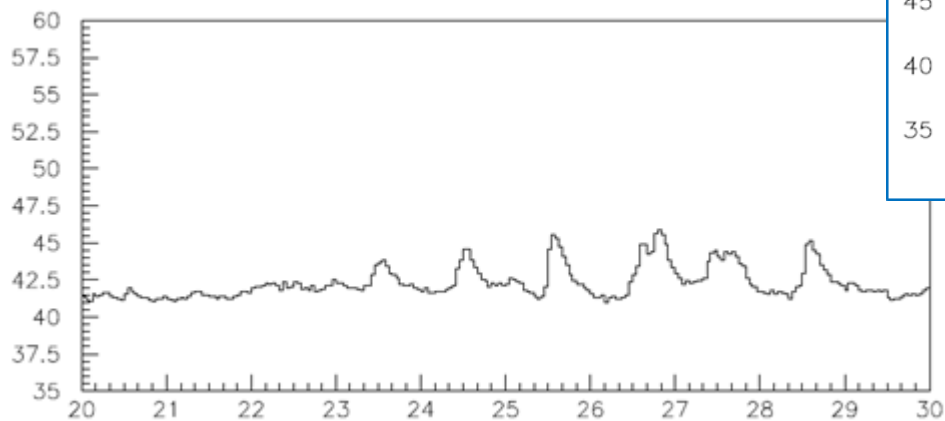
Темп счета LVD по низкому порогу, соотнесенный с показаниями радометра

Результаты измерений на установке LVD

Для примера представлены данные 2015 года
(темп счета установки LVD по нижнему порогу в сек.)
период с 20/03/15 по 30/03/15 (10 дней)



за год →



Система регистрации содержит низкоэнергетичный канал, порог срабатывания которого 0.5 МэВ (для внутренних, защищенных от радиоактивности породы, счетчиков).

Каждые 10 минут все счётчики запускаются импульсом от генератора на регистрацию сигналов ($E > 0.5$ МэВ) в течение 10 секунд (scaler data).

Число включаемых в обработку счетчиков по одной башне - от 60 до 76 (внутренние счетчики). Данные суммируются за 1 час.

Суммарный темп счета нормируется на один счетчик в герцах (Hz).

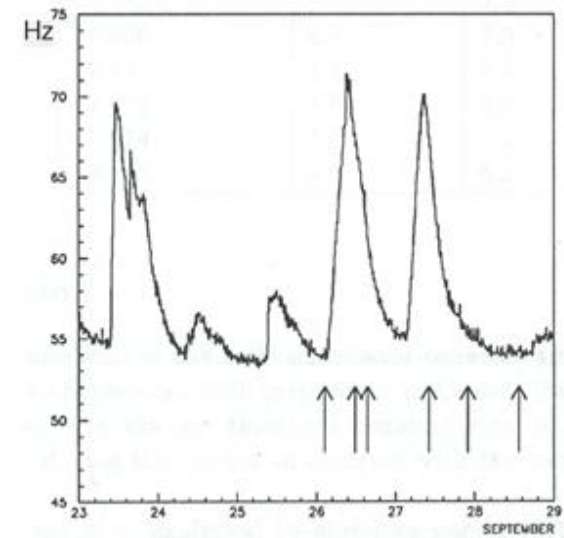
Общее число отсчетов в одном бине ~ 184000 (~ 420 отсчетов за 10 сек $\cdot 73$ счетчика $\cdot 6$ запусков в час), что дает относительную ошибку измерений $\sim 0.2\%$.

Отклик на землетрясения

На возможности установки LVD для изучения вариаций концентрации радона под землей было обращено внимание сотрудниками коллаборации LVD Джовани Бадино и Вальтером Фуджионе после обнаружения аномального повышения фонового темпа счета детектора в время сильного землетрясения в Центральной Италии в сентябре 1997 года. Эпицентр толчков находился примерно в 300 км от установки.

После похожего увеличения темпа счета в 1999 году, которое по времени появления было ассоциировано с разрушительным землетрясением в Турции, началось целевое изучение вариаций темпа счёта низкоэнергетичных фоновых событий, которые отражают временное поведение концентрации радона.

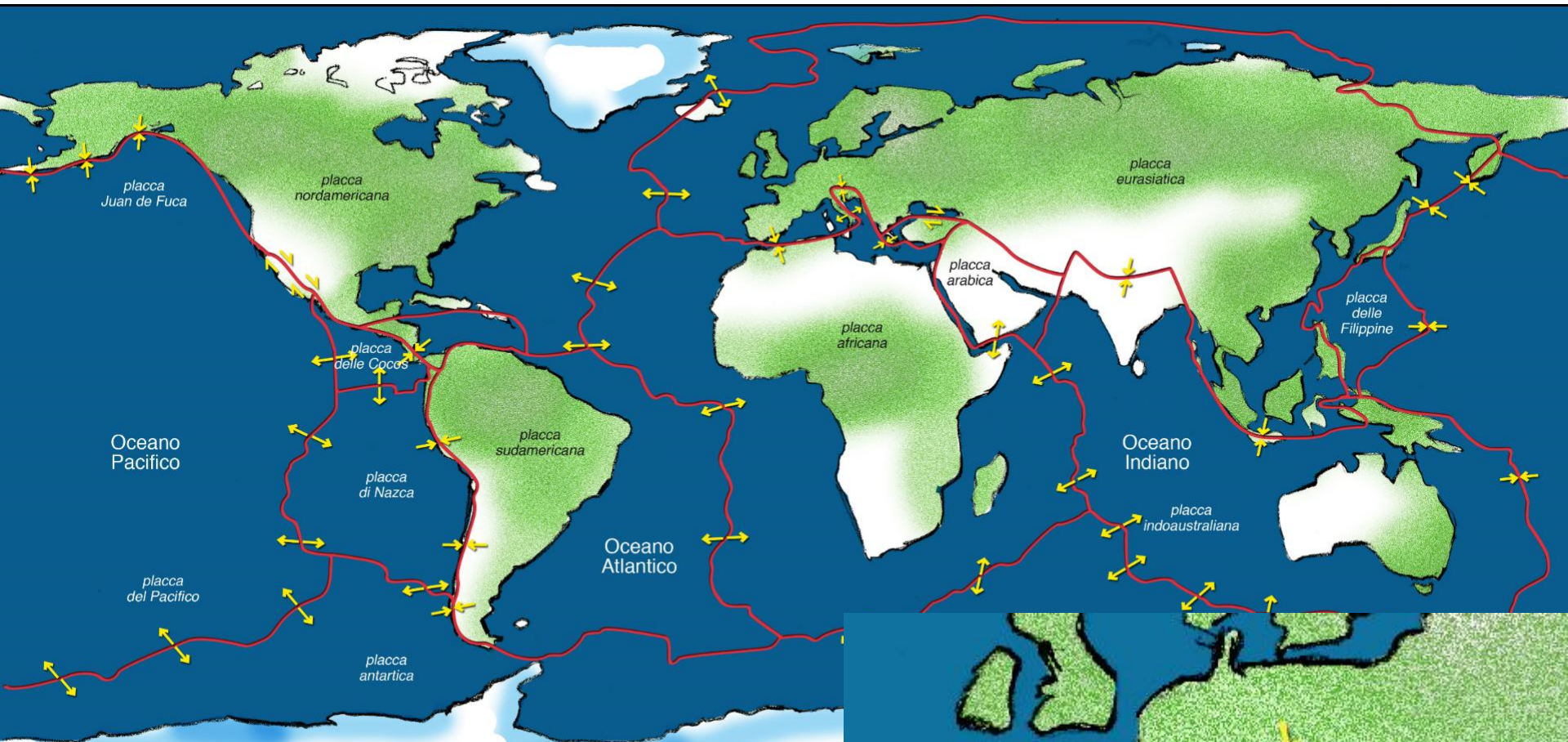
С ним связываются надежды выделить предвестники сильных землетрясений.



Темп счета установки во время землетрясения в Италии (1997 г.). Стрелками отмечены моменты сейсмических толчков.



Тектонические плиты Земли



Тектонические плиты и их движение.

В течение последних нескольких миллионов лет северная часть африканской тектонической плиты постепенно врезается под европейский континент со скоростью несколько сантиметров в год. Это движение приводит к возникновению мощных землетрясений.





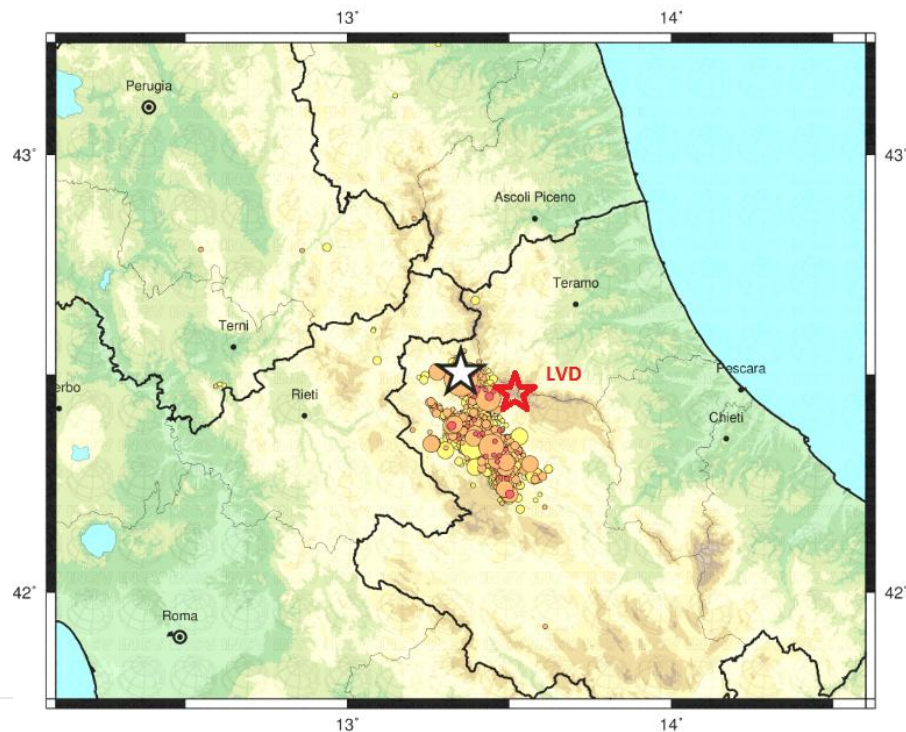
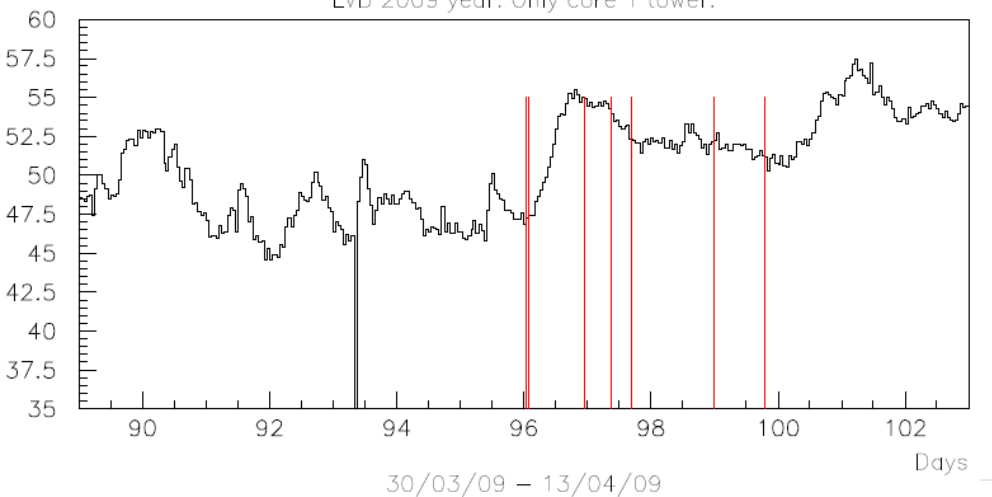
6 апреля 2009 года

Землетрясение в Абруццо (Италия)

Погибло 309 человек, ранено около 1200. Повреждено примерно 15 тысяч зданий.

Данные установки LVD. Линиями отмечены моменты сильных толчков.

LVD 2009 year. Only core 1 tower.



Дата e Ora (UTC)	Magnitudo	Provincia/Zona	Profondità	Latitudine	Longitudine
2009-04-09 19:38:16	5.0	L'AQUILA	9	42.50	13.35
2009-04-09 00:52:59	5.2	L'AQUILA	11	42.49	13.35
2009-04-07 17:47:37	5.4	L'AQUILA	17	42.30	13.49
2009-04-07 09:26:28	4.9	L'AQUILA	10	42.34	13.39
2009-04-06 23:15:36	5.0	L'AQUILA	10	42.46	13.39
2009-04-06 02:37:04	4.9	L'AQUILA	9	42.36	13.33
2009-04-06 01:36:29	4.7	L'AQUILA	10	42.35	13.35
2009-04-06 01:32:40	6.1	L'AQUILA	8	42.34	13.38

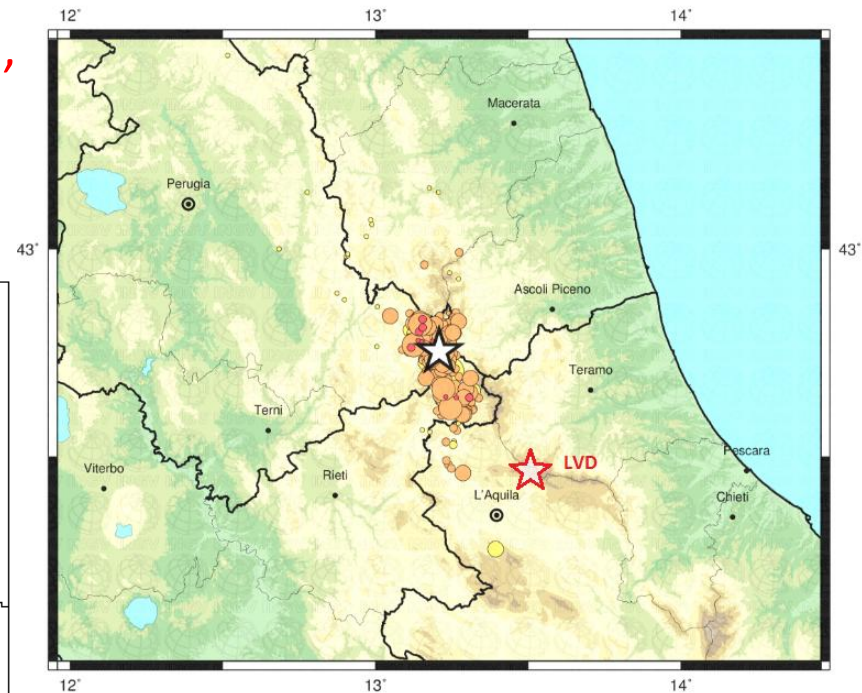
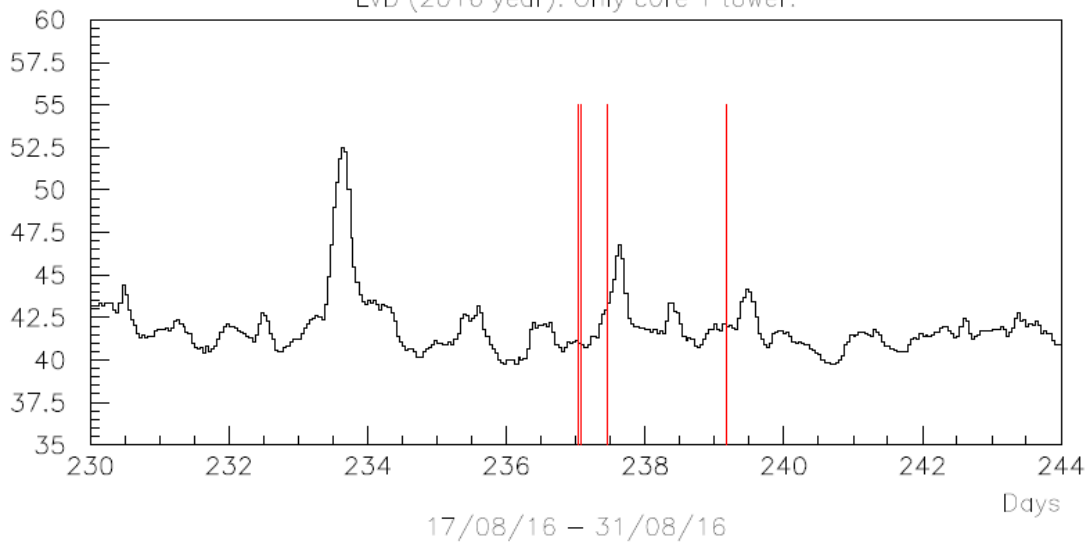
<http://cnt.rm.ingv.it/>

24 августа 2016 года

Наиболее пострадавшие города — Аккумоли, Аматриче, Асколи-Пичено.

Данные установки LVD. Линиями отмечены моменты сильных толчков.

LVD (2016 year). Only core 1 tower.



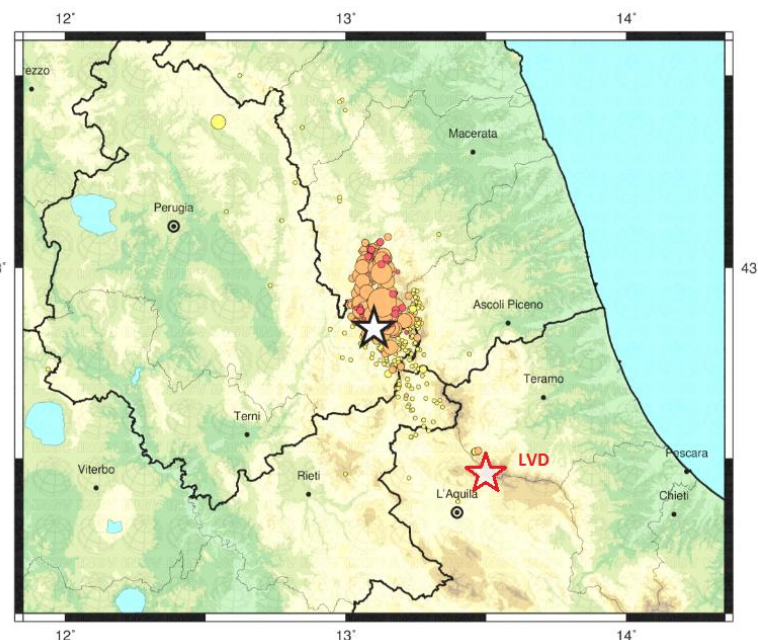
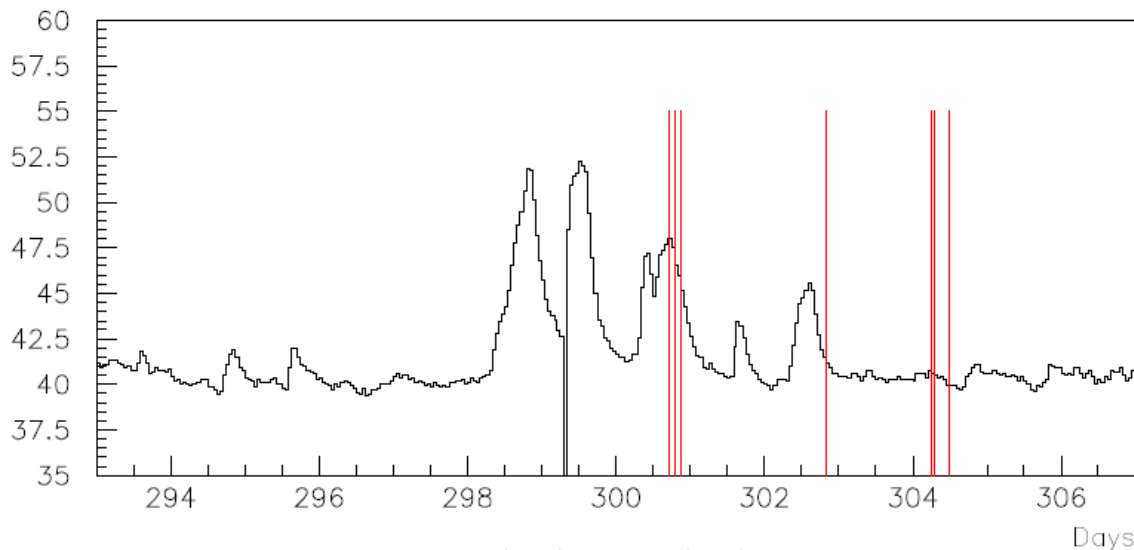
Дата и Ora (UTC) 📅 ⌚	Magnitudo 📏	Provincia/Zona 📍	Profondità 📏	Latitudine	Longitudine
2016-08-26 04:28:25	4.8	Rieti	9	42.61	13.29
2016-08-24 11:50:30	4.5	Perugia	10	42.82	13.16
2016-08-24 02:33:28	5.4	Perugia	8	42.79	13.15
2016-08-24 01:37:26	4.5	Rieti	9	42.71	13.25
2016-08-24 01:36:32	6.0	Rieti	8	42.70	13.23

<http://cnt.rm.ingv.it/>

26 октября 2016 года

Землетрясение ощущалось в центральных регионах страны — Перудже, Анконе, Фабриано, Пезаро и Риме.

Данные установки LVD. Линиями отмечены моменты сильных толчков.



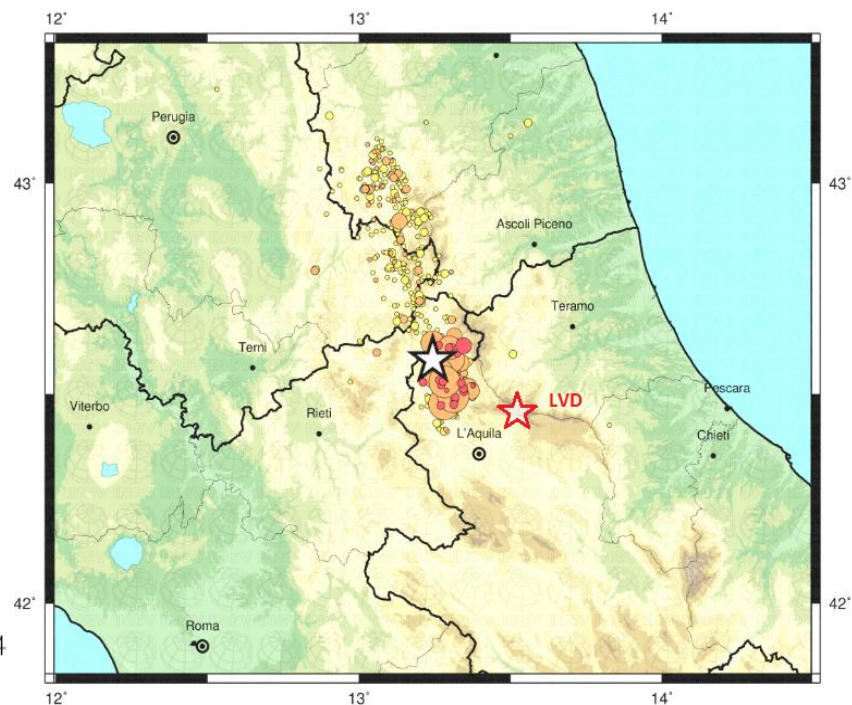
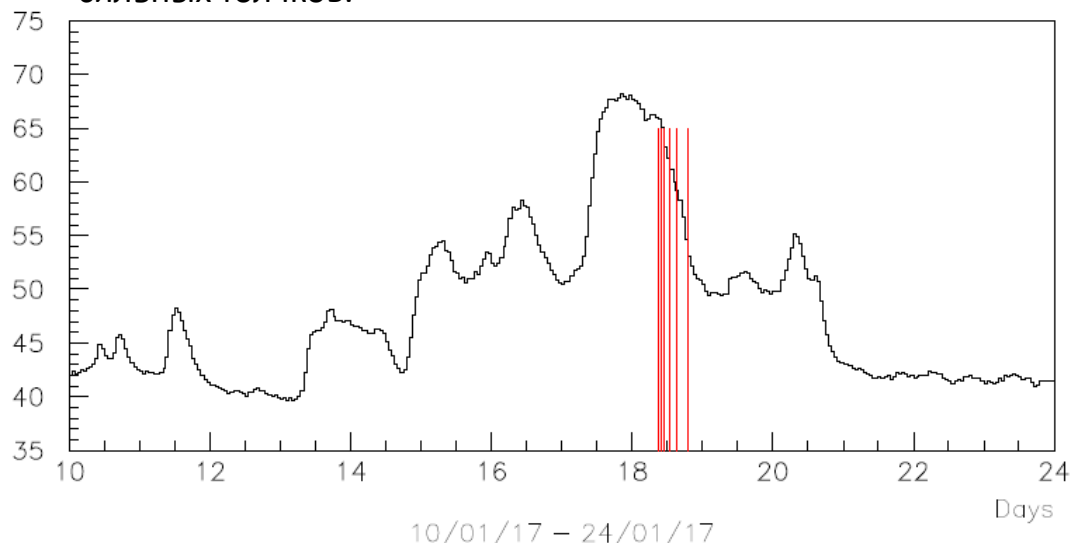
Data e Ora (UTC) ⓘ ⓘ	Magnitudo ⓘ	Provincia/Zona ⓘ	Profondità ⓘ	Latitudine	Longitudine
2016-10-30 12:07:00	4.5	Perugia	10	42.84	13.08
2016-10-30 07:13:05	4.5	Rieti	11	42.69	13.23
2016-10-30 06:44:30	4.6	Perugia	8	42.86	13.09
2016-10-30 06:40:17	6.5	Perugia	9	42.83	13.11
2016-10-28 20:02:43	5.7	Tirreno Meridionale (MARE)	481	39.27	13.55
2016-10-26 21:42:01	4.5	Macerata	10	42.86	13.12
2016-10-26 19:18:05	5.9	Macerata	8	42.91	13.13
2016-10-26 17:10:36	5.4	Macerata	9	42.88	13.13

<http://cnt.rm.ingv.it/>

18 января 2017 года

Землетрясение почувствовали в центральных
регионах Италии — Лацио, Марке, Абруццо.

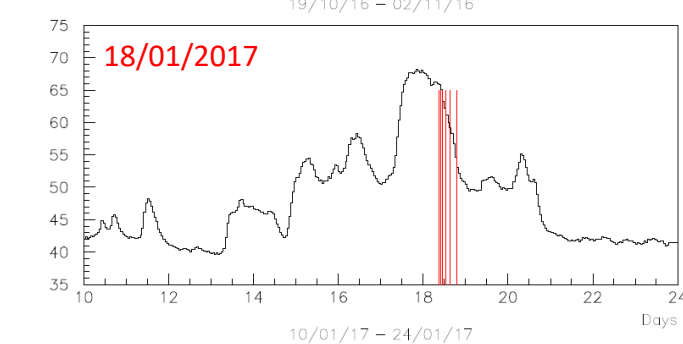
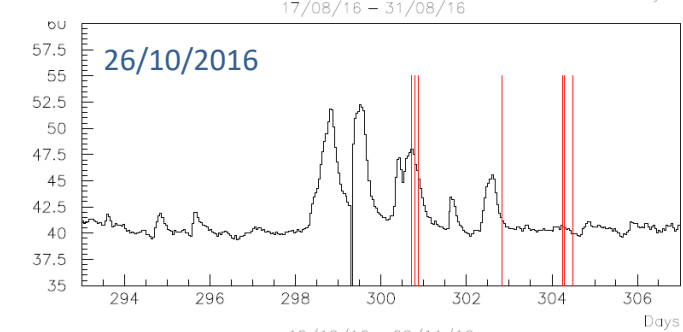
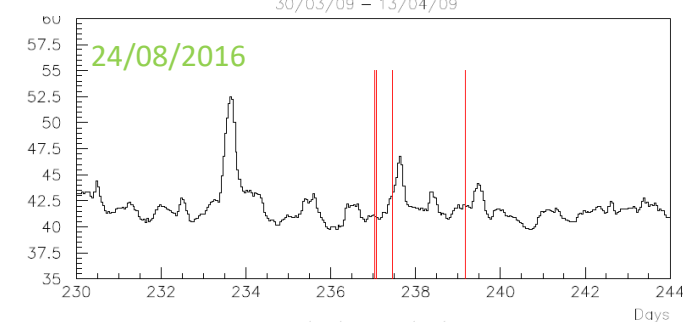
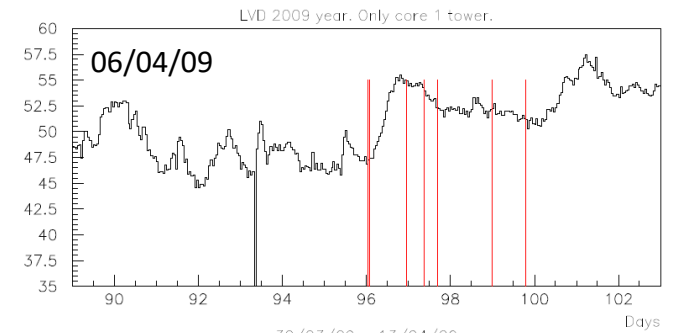
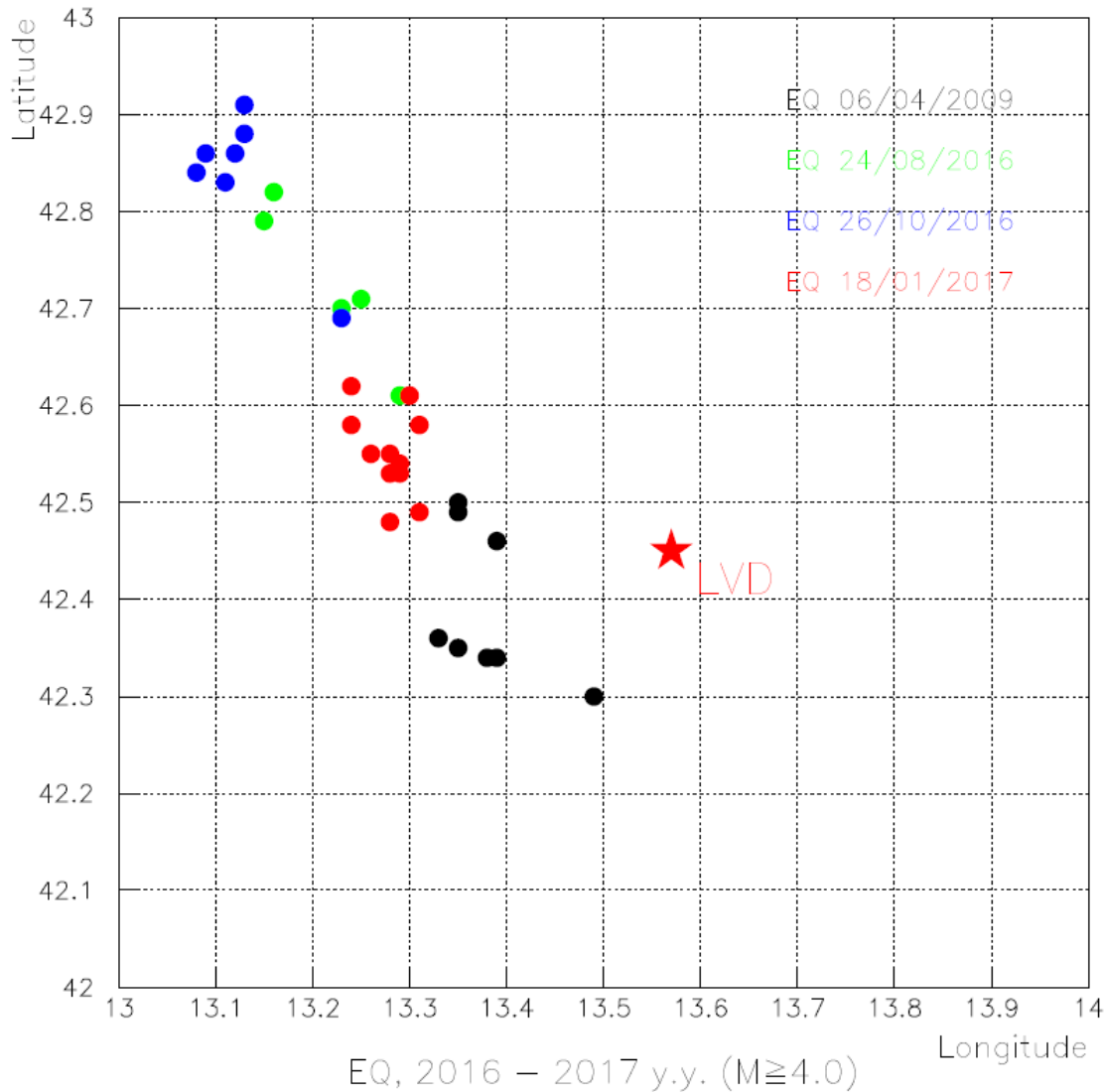
Данные установки LVD. Линиями отмечены моменты
сильных толчков.



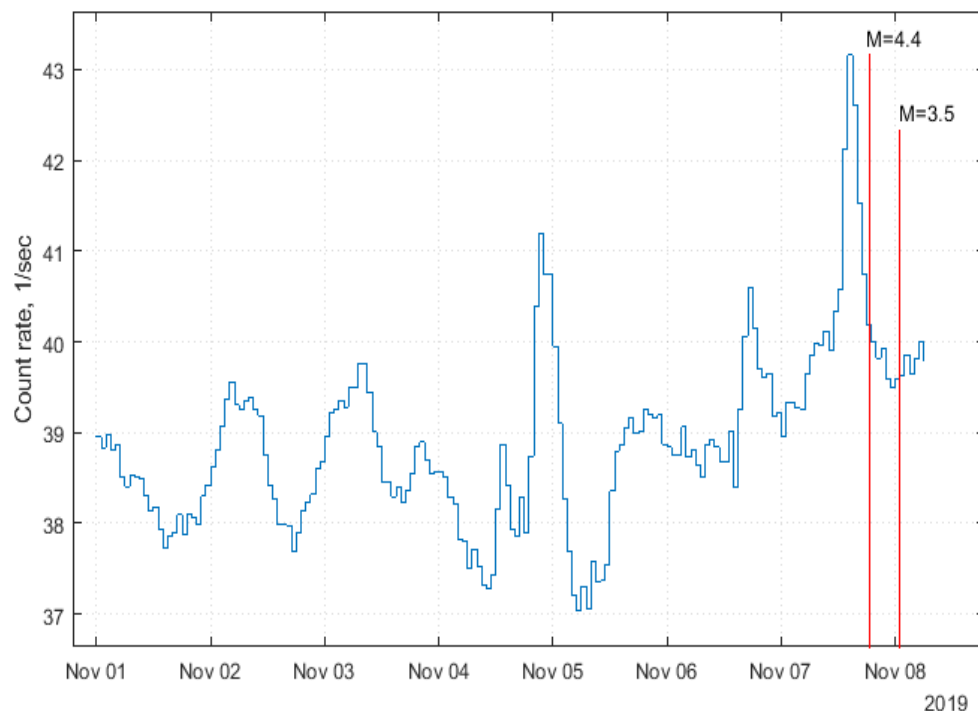
Data e Ora (UTC) 📅 ⌚	Magnitudo 📏	Provincia/Zona 📍	Profondità 📏	Latitudine	Longitudine
2017-01-18 19:32:31	4.2	L'Aquila	13	42.58	13.24
2017-01-18 15:16:10	4.3	Rieti	10	42.61	13.30
2017-01-18 13:33:36	5.0	L'Aquila	10	42.48	13.28
2017-01-18 11:07:37	4.1	Rieti	10	42.62	13.24
2017-01-18 10:39:24	4.1	L'Aquila	11	42.54	13.29
2017-01-18 10:25:23	5.4	L'Aquila	9	42.49	13.31
2017-01-18 10:24:14	4.0	L'Aquila	10	42.58	13.31
2017-01-18 10:16:39	4.6	L'Aquila	11	42.55	13.28
2017-01-18 10:15:33	4.7	L'Aquila	10	42.53	13.29
2017-01-18 10:14:09	5.5	L'Aquila	9	42.53	13.28
2017-01-18 09:25:40	5.1	L'Aquila	9	42.55	13.26

Анализ землетрясений

На рисунке нанесены координаты эпицентров выше рассмотренных сейсмических событий относительно расположения установки LVD.



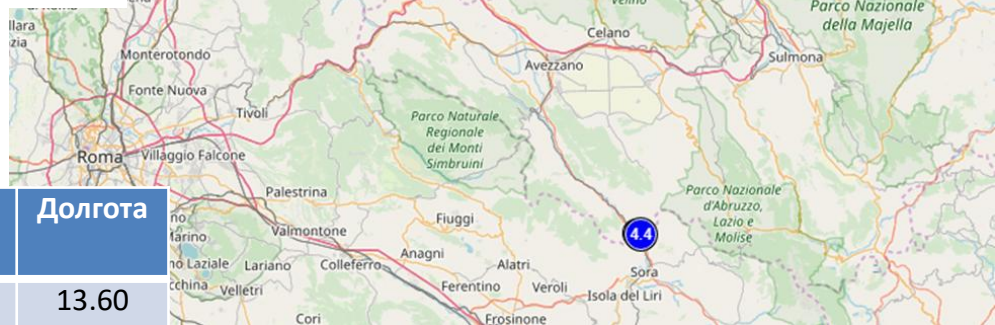
7 ноября 2019 года



Вечером 7 ноября произошло землетрясение в Балсорано (регион Абруццо, провинция Аквила) в 75 км от установки LVD.

На рисунках показаны только толчки с магнитудой больше 3.5. Обычно сильные землетрясения сопровождаются серией толчков с небольшой магнитудой.

2019

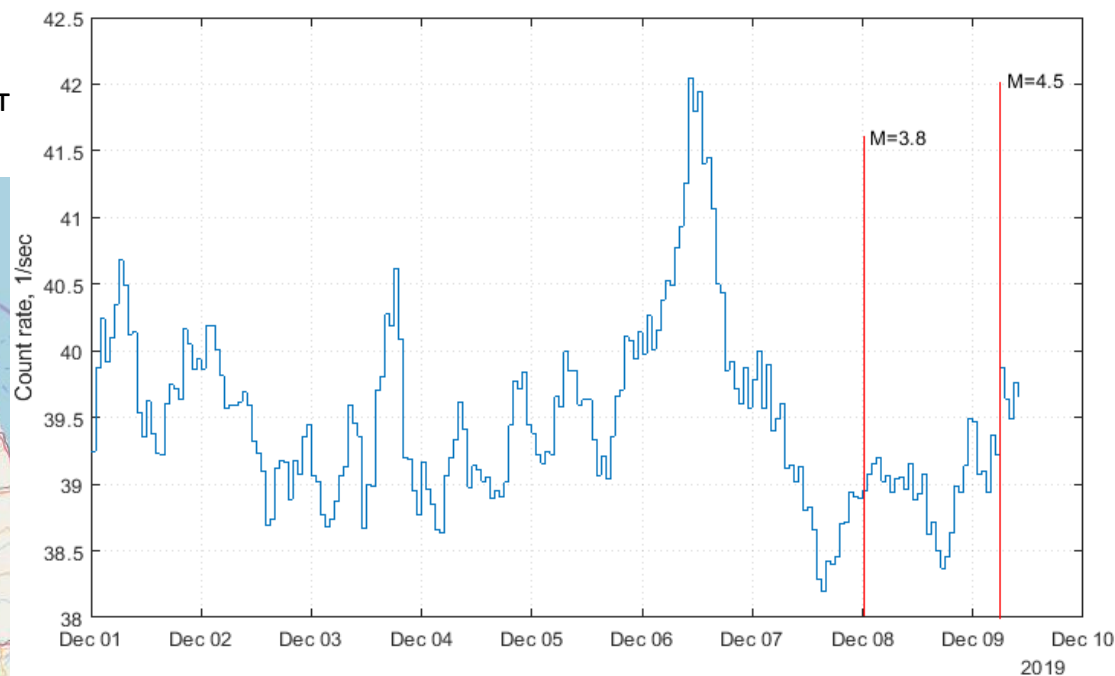
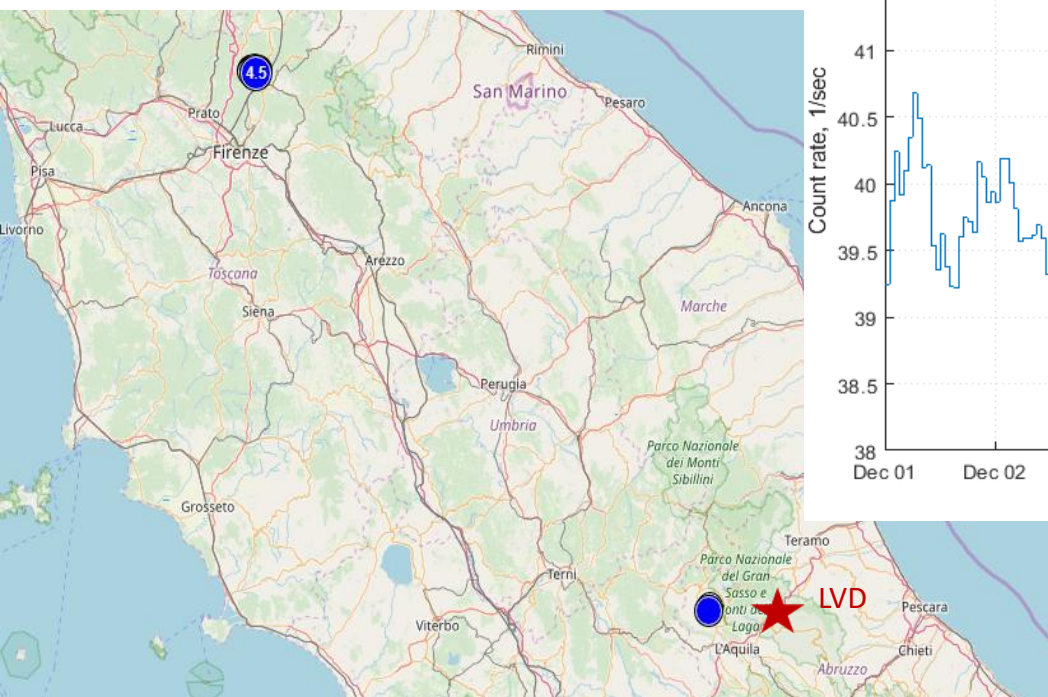


Дата и время (UTC)	Магнитуда	Место	Глубина	Широта	Долгота
2019-11-07 17:35:21	4.4	5 km SE Balsorano (AQ)	16	41.78	13.60
2019-11-07 23:19:50	3.5	4 km SE Balsorano (AQ)	15	41.78	13.60

8-9 декабря 2019 года

Ночью с 7 на 8 декабря произошло землетрясение в Барете (регион Абруццо, провинция Аквила), а утром 9 декабря – множественные толчки в провинции Флоренция региона Тоскана в 250 км от установки LVD.

К сожалению, мы не можем достоверно определить на какое сейсмическое событие дает отклик установка.



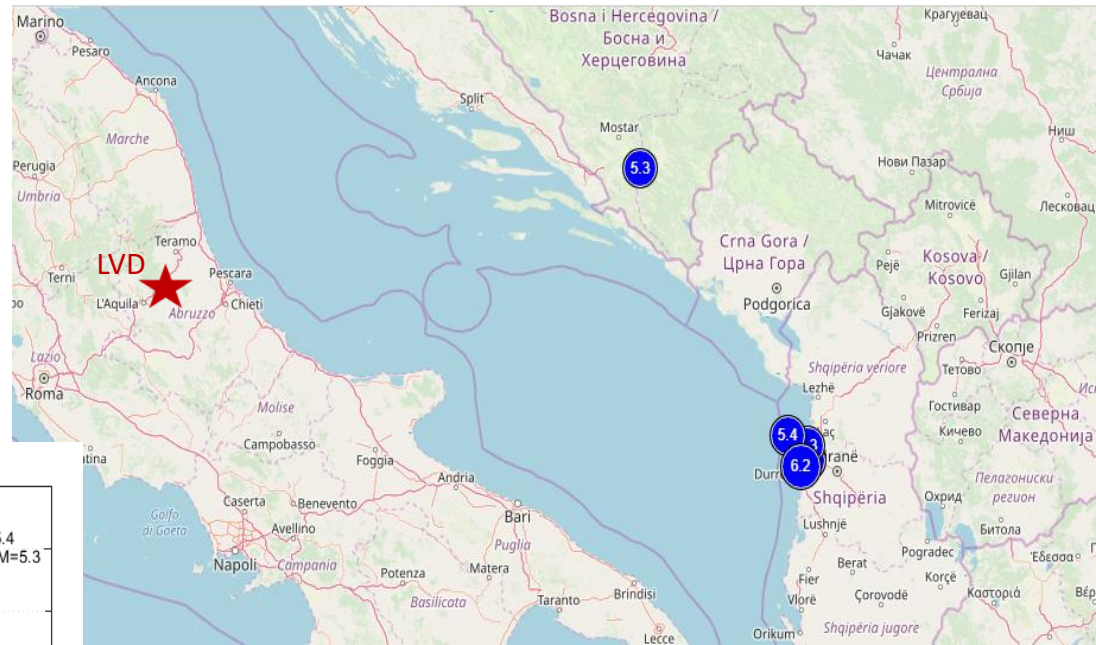
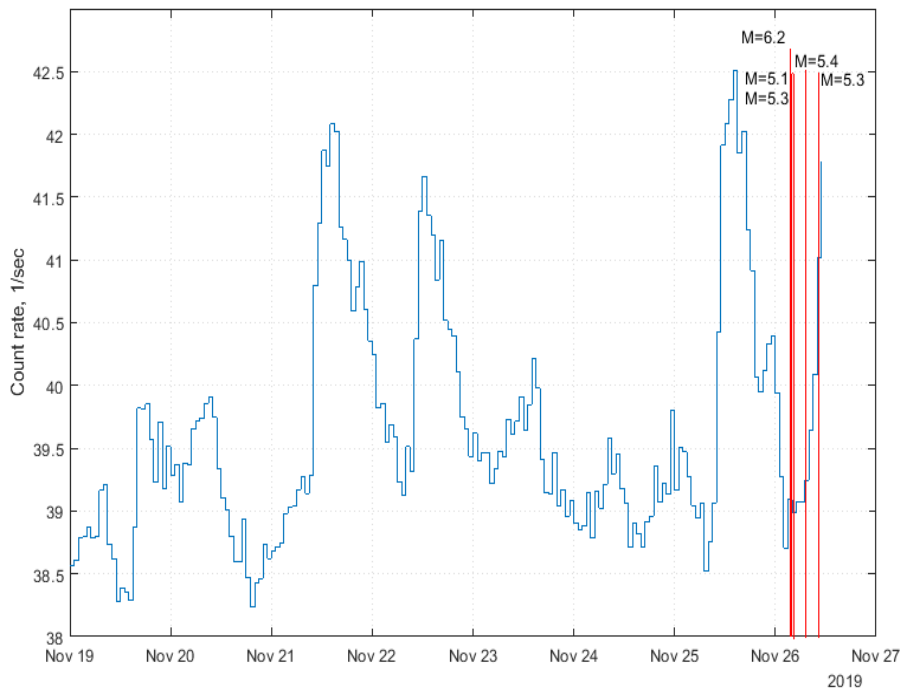
Первое землетрясение произошло совсем рядом с установкой LVD, но оно было намного слабее второго события в Тоскане.

Дата и время (UTC)	Магнитуда	Место	Глубина	Широта	Долгота
2019-12-07 22:55:38	3.8	2 km NW Barete (AQ)	14	42.46	13.26
2019-12-07 23:16:54	3.4	3 km N Barete (AQ)	13	42.48	13.27
2019-12-09 04:37:04	4.5	4 km N Scarperia e San Piero (FI)	9	44.00	11.31
+ 9 толчков до 10:17:17	3.0 – 3.3		7 - 9		

26 декабря 2019 года

Утром 26 декабря произошло сильное землетрясение со множественными толчками в Албании в 500 км от установки LVD, а чуть позже - в Боснии (~ 370 км от установки).

Пока непонятно, на каком расстоянии от эпицентра землетрясения установка LVD может дать отклик на сейсмическое событие.



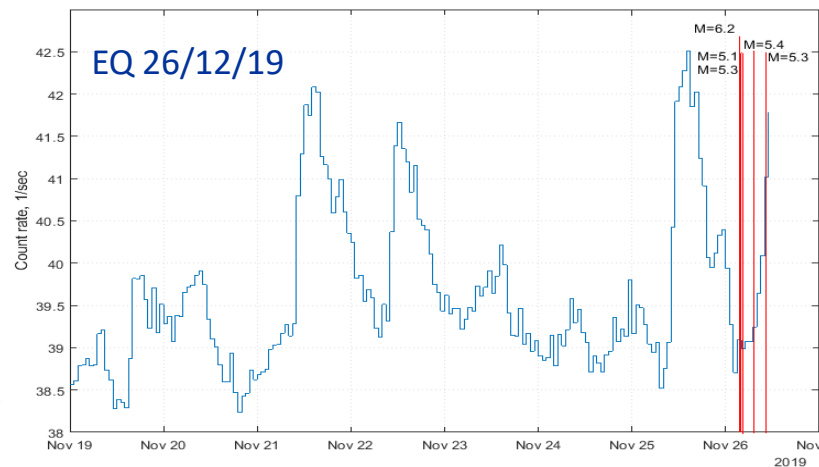
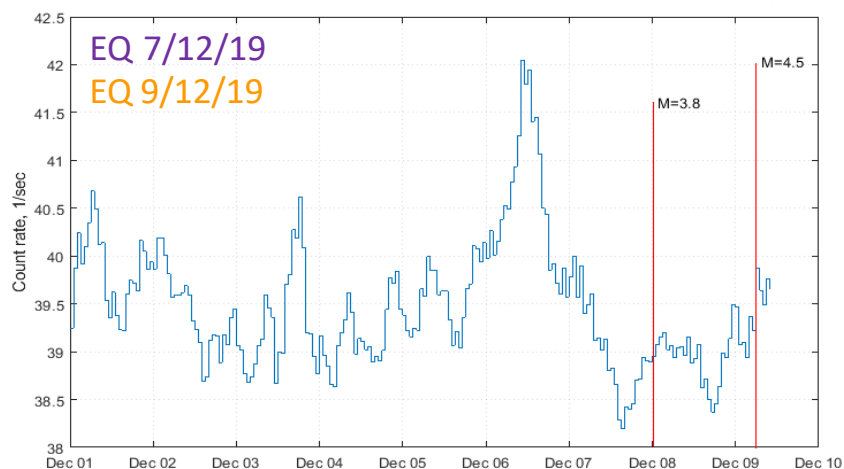
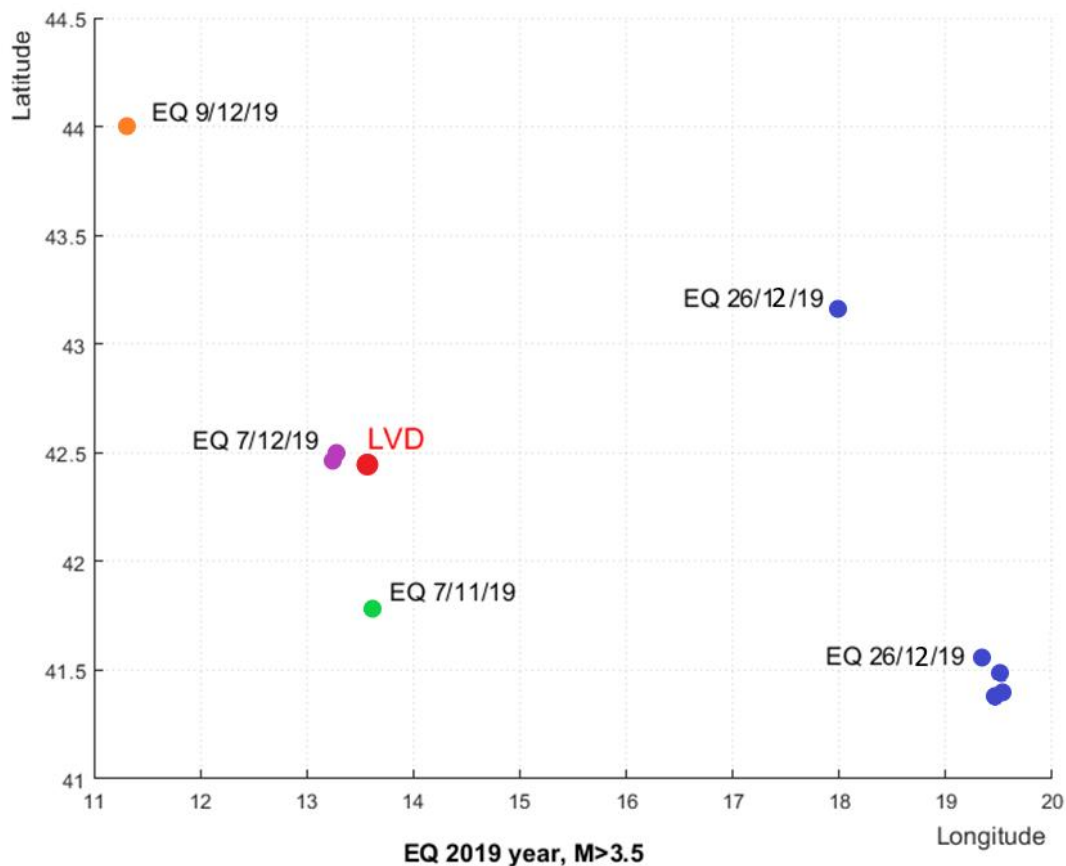
Дата и время (UTC)	Магнитуда	Место	Глубина	Широта	Долгота
2019-11-26 02:54:11	6.2	ALBANIA	10	41.37	19.47
2019-11-26 02:59:24	5.1	ALBANIA	10	41.40	19.54
2019-11-26 03:03:00	5.3	ALBANIA	10	41.49	19.53
2019-11-26 06:08:22	5.4	ALBANIA	10	41.56	19.35
2019-11-26 09:19:25	5.3	Bosnia and Herz. [Land]	10	43.16	17.98

<http://cnt.rm.ingv.it/>

Время LVD=UTC+1 час.

Анализ землетрясений 2019 года

На рисунке нанесены координаты эпицентров выше рассмотренных сейсмических событий относительно расположения установки LVD.



Заключение

Исследования по выявлению связи поведения радоновых полей с сейсмической активностью проводятся во всем мире в течение многих десятилетий. И мы видим отклик установки LVD на повышение сейсмической активности. В ряде случаев видно повышение концентрации радона за 2-3 дня до землетрясения, что дает надежду на возможность предсказания готовящегося события.

Но прогноз землетрясения предполагает предсказание, с известной достоверностью, трёх характеристик: силы, времени и места очага землетрясения. Мы же пока хотим выявить источники фоновых радоновых событий и *a posteriori* выделить характеристики вариаций концентрации радона под землей, коррелирующие со временем сильных землетрясений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонова Н.Ю., Алексеев В.А., Добрынина Е.А. и др. // Препринт № 1071/2001 ИЯИ РАН, 2001.
2. Н. Ю. Агафонова¹, В. В. Ашихмин, Е. А. Добрынина и др. // Известия РАН. Сер. Физ., 2019, том 83, № 5, с.673–675
3. Bari G., Bazile M., Bruni G. et al. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A. 1988. V. 264. P. 5.
4. Bruno G. on behalf of the LVD Collaboration // J. Phys. Conf. Ser. 2010. V. 203. Art. no. 012091.
5. Bruno, G., Menghetti, H. //“Low energy background measurement (~ 0.8 MeV) with the LVD.”, 2006, J. Phys. Conf. Ser. 39, 278-280.
6. <http://cnt.rm.ingv.it/>