

"SUPPORTO SCIENTIFICO PER LA VALUTAZIONE DEL MONITORAGGIO SISMICO  
OPERATO DALLE RETI DI ENEL GREEN POWER NELLE AREE GEOTERMICHE DI  
LARDERELLO-TRAVALE ED AMIATA"



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

seconda relazione

28 Novembre 2018

A cura di

Dr. Thomas Braun

Osservatorio INGV di Arezzo

Via F. Redi 13, 52100 Arezzo

e

Dott.ssa Daniela Famiani

Ingv-Roma1

Via di Vigna Murata 605, 00143 Roma

## Indice

<i>Premessa</i> .....	3
1. <i>Dati forniti da ENEL-Green Power</i> .....	4
2. <i>Valutazione delle attuali procedure implementate da ENEL Green Power per il monitoraggio microsismico delle aree geotermiche</i> .....	6
3. <i>Validazione dei dati acquisiti dalla rete microsismica ENEL Green Power</i> .....	6
4. <i>Validazione dei bollettini sismici forniti da ENEL Green Power</i> .....	8
(i) <i>Commenti generali:</i> .....	8
(ii) <i>Errori di tipografia:</i> .....	8
(iii) <i>Confronto dei bollettini ENEL (E) e INGV (IV):</i> .....	9
(iv) <i>Commenti relativi al calcolo della magnitudo:</i> .....	12
5. <i>Individuazione eventuali azioni migliorative</i> .....	12
6. <i>L'evento sismico <math>M_w</math>3.7 del 01/05/2018 a Castelnuovo di Val di Cecina (PI)</i> .....	13
7. <i>Bibliografia</i> .....	14

## Premessa

In data 13 Giugno 2018 è stato firmato un accordo di collaborazione scientifica tra la Regione Toscana (RT) e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) dal titolo *"Supporto scientifico per la valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti di ENEL GREEN POWER nelle aree geotermiche di Larderello - Travale ed Amiata"*. In attesa di una futura applicazione degli Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio delle attività antropiche [UNMIG, 2014, 2016], l'accordo prevede che le Parti si impegnino a collaborare per la realizzazione di attività di ricerca per il supporto scientifico alla valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti di ENEL Green Power (da ora in poi ENEL) nelle aree geotermiche di Larderello - Travale ed Amiata.

Sulla base di rapporti trimestrali, contenenti i bollettini sismici delle aree geotermiche toscane monitorate, redatti e trasmessi da ENEL, il programma delle attività prevede la validazione scientifica di tali rapporti che si concretizza nei seguenti punti:

1. Valutare, per conto della Regione Toscana, le attuali procedure implementate da ENEL per il monitoraggio microsismico delle aree geotermiche;
2. Validare i dati acquisiti dalla rete microsismica ENEL ;
3. Individuare di concerto con ENEL eventuali azioni migliorative;
4. Validare i bollettini sismici forniti da ENEL.

L'INGV si impegna (i) a mettere a disposizione le proprie competenze e professionalità, nonché i materiali e la documentazione tecnica raccolta in materia e (ii) a fornire, se richiesto, un parere esperto nel caso si evidenziassero eventuali problematiche nel corso dello studio, oltre che a fornire specifiche consulenze in materia.

I risultati delle attività devono essere trasmessi alla Regione Toscana attraverso la redazione di rapporti intermedi entro e non oltre il 30 novembre di ogni anno e di una relazione finale al termine dell'accordo a 36 mesi dall'avvio. In data 7 Luglio 2018 alla Regione Toscana è stata trasmessa una prima relazione – il rapporto "del punto zero" - contenente la descrizione delle attività previste e uno stato dell'arte prima della validazione dei bollettini sismici trasmessi da ENEL (INGV, 2018).

In riferimento ai quattro punti (*task*) di cui sopra, il presente rapporto è focalizzato sulla validazione dei bollettini sismici dei primi 9 mesi del 2018, seguito da un commento relativo all'evento sismico del 01-Mag-2018 di  $M_L$ 3.8 con epicentro a Castelnuovo Val di Cecina.

## 1. Dati forniti da ENEL-Green Power

Alla data di compilazione del presente primo rapporto L'ENEL ha trasmesso al Settore Sismico della Regione Toscana tre bollettini sismici trimestrali relativi ai periodi di Gennaio – Marzo, Aprile – Giugno e Luglio Settembre 2018. Tali documenti sono stati successivamente inoltrati all'INGV per consentirne la loro valutazione che viene riportata a seguire. La soglia minima di magnitudo significativa riportata nei bollettini è fissata ad  $M=1.5$ .

Data Ora	Data tempo origine (UTC) dell'evento sismico nel formato gg/mm/aaaa hh:mm:ss
LatGB	Latitudine in metri nel sistema di riferimento Gauss-Boaga
LongGB	Longitudine in metri nel sistema di riferimento Gauss-Boaga
Fuso	Fuso di riferimento
LatWGS84	Latitudine nel sistema di riferimento WGS84 espressa in gradi decimali
LongWGS84	Longitudine nel sistema di riferimento WGS84 espressa in gradi decimali
Profondità	Profondità ipocentrale riferita al livello mare in Km
MD	Magnitudo di durata
ML	Magnitudo Locale (per il momento il SW non inserisce il parametro automaticamente nel database, in corso la modifica)
RMS	Residuo quadratico medio calcolato sui residui dei tempi
ERH2, ERH1, ERZ	Lunghezza degli assi principali dell'ellissoide dell'errore ERH2, ERH1, ERZ in Km
NLet	Numero letture utilizzate per la localizzazione

EVENTI SISMICI CON MAGNITUDO SIGNIFICATIVA REGISTRATI DALLE RETI ENEL GREEN POWER DAL 01/01/2018 AL 31/03/2018																
DATA	ORA			LATITUDINE Km GB	LONGITUDINE Km GB	Fuso	LATITUDINE WGS84	LONGITUDINE WGS84	PROF km	MAG Dur	MAG Locale	RMS s	ERH2 km	ERH1 km	ERZ km	Num Let
	HH	MI	SS													
15/01/2018	02	25	09	4780270,5	1666752,5	Ovest	43,15668644	11,05065342	6,45	1,52	n.d.	0,055	0,253	0,441	1,037	20
05/03/2018	19	19	0	4786321,6	1667207,7	Ovest	43,21103833	11,05807778	3,28	1,53	n.d.	0,078	0,355	0,453	0,499	25
28/01/2018	07	53	19	4784014,1	1669654,2	Ovest	43,18972824	11,08746819	6,22	1,62	n.d.	0,069	0,348	0,46	1,028	25
12/03/2018	19	20	07	4785502,6	1665944,4	Ovest	43,20394747	11,04229013	4,20	1,69	n.d.	0,043	0,138	0,229	0,6	21
29/01/2018	04	05	35	4827141,5	1670206,6	Ovest	43,57767217	11,10766873	8,84	1,75	n.d.	0,106	0,894	2,478	14,766	23
02/03/2018	04	04	31	4826973,4	1686964,0	Ovest	43,57214655	11,31498963	5,91	1,89	n.d.	0,208	2,167	4,839	99	22
26/02/2018	02	32	32	4759281,0	1727626,0	Ovest	42,95204576	11,79003245	1,83	2,00	n.d.	0,24	3,784	6,571	6,169	21
11/01/2018	15	37	10	4790085,9	1658252,8	Ovest	43,24684464	10,94898331	4,15	2,18	n.d.	0,063	0,193	0,342	0,293	26
26/02/2018	2	32	32	4747857,3	1718674,0	Ovest	42,85190903	11,67596313	3,08	2,27	n.d.	0,084	0,242	0,422	0,912	18
29/03/2018	23	0	42	4777472,3	1718763,8	Ovest	43,1182706	11,68865398	0,98	2,50	n.d.	0,188	1,644	3,761	1,66	38

Tabella 1: Riepilogo eventi sismici di magnitudo significativa registrati dalle reti Larderello – Travale e Amiata (gestite da ENEL) per il 1° trimestre 2018.

EVENTI SISMICI CON MAGNITUDO SIGNIFICATIVA REGISTRATI DALLE RETI ENEL GREEN POWER DAL 01/04/2018 AL 30/06/2018															
DATA	ORA			LATITUDINE	LONGITUDINE	Fuso	LATITUDINE	LONGITUDINE	PROF	MAG	RMS	ERH2	ERH1	ERZ	Num
	HH	MI	SS	Km GB	Km GB		WGS84	WGS84		km					
01/04/2018	21	40	55	4787726,2	1665504,2	Ovest	11,03754170	43,22405330	4,26	1,68	0,065	0,192	0,283	1,036	27
02/04/2018	7	37	32	4779648,9	1663551,5	Ovest	11,01112396	43,15179119	7,22	2,58*	0,042	0,132	0,193	0,402	28
05/04/2018	17	7	55	4781882,1	1645042,1	Ovest	10,78418540	43,17566512	3,93	1,82	0,061	0,196	0,257	0,282	28
06/04/2018	9	24	45	4772078,2	1673819,6	Ovest	11,13495163	43,08137818	13,61	1,52	0,105	1,791	3,973	2,955	8
06/04/2018	23	36	38	4787463,0	1650709,4	Ovest	10,85539915	43,22478416	5,36	1,57	0,06	0,178	0,249	0,511	29
08/04/2018	4	55	59	4789267,1	1658653,5	Ovest	10,95368089	43,23939118	3,71	1,5	0,061	0,16	0,215	0,198	32
08/04/2018	4	56	20	4789279,0	1658627,0	Ovest	10,95335835	43,23950407	3,71	1,63	0,064	0,169	0,227	0,208	32
11/04/2018	4	41	52	4779750,8	1649827,0	Ovest	10,84245000	43,15555000	3,91	3,71*	0,061	0,171	0,234	0,257	27
11/04/2018	8	17	37	4779610,6	1649452,9	Ovest	10,83781000	43,15436000	4,03	2,10*	0,066	0,197	0,254	0,284	27
01/05/2018	5	16	58	4789023,2	1658215,0	Ovest	10,94821283	43,23728843	4,56	3,87*	0,062	0,188	0,232	0,572	28
07/05/2018	3	34	1	4808745,7	1677971,3	Ovest	11,19775146	43,41034498	4,89	1,57	0,111	1,305	5,301	62,531	12
07/05/2018	6	51	18	4772279,4	1626571,3	Ovest	10,55482860	43,09254678	1,31	1,55	0,071	0,782	1,594	0,728	11
22/05/2018	7	25	57	4771298,1	1694421,0	Ovest	11,38755107	43,06935996	2,56	1,57	0,142	1,354	1,733	1,194	21
28/05/2018	7	46	10	4770796,6	1630727,4	Ovest	10,60552641	43,07849405	5,93	1,53	0,061	1,373	1,891	10,39	8
01/06/2018	9	20	34	4767234,4	1626317,4	Ovest	10,55056494	43,04717642	0,54	1,58	0,034	0,418	0,852	0,564	10
23/06/2018	01	56	02	4748079,0	1718912,0	Ovest	11,67895884	42,85383546	2,28	1,71	0,143	0,364	0,65	0,929	22
24/06/2018	01	43	42	4735240,8	1726671,4	Ovest	11,76866352	42,73610039	2,81	1,75	0,16	0,769	1,548	0,672	20
24/06/2018	01	44	35	4734908,0	1726448,5	Ovest	11,76580992	42,73317235	3,08	1,60	0,137	0,72	1,667	0,641	19
26/06/2018	11	14	20	4747219,4	1718744,6	Ovest	11,87657796	42,84615129	3,50	2,24*	0,07	0,196	0,353	0,368	21
27/06/2018	23	56	08	4778526,2	1648429,9	Ovest	10,82494636	43,14480440	3,64	1,58	0,071	0,25	0,369	0,366	21
30/06/2018	20	42	01	4782989,9	1652920,9	Ovest	10,88137709	43,18408312	4,01	1,68	0,047	0,128	0,17	0,23	27
30/06/2018	3	41	41	4779920,7	1664855,8	Ovest	11,02723556	43,15395459	6,61	1,97	0,045	0,142	0,212	0,322	29

Nota: I valori con l'asterisco sono riferiti alla Magnitudo Locale calcolata sull'ampiezza delle sole componenti orizzontali. Gli altri sono relativi alla Magnitudo durata.

Tabella 2: Riepilogo eventi sismici di magnitudo significativa registrati dalle reti Larderello – Travale e Amiata (gestite da ENEL) per il 2° trimestre 2018.

EVENTI SISMICI CON MAGNITUDO SIGNIFICATIVA REGISTRATI DALLE RETI ENEL GREEN POWER DAL 01/07/2018 AL 30/09/2018															
DATA	ORA			LATITUDINE	LONGITUDINE	Fuso	LATITUDINE	LONGITUDINE	PROF	MAG	RMS	ERH2	ERH1	ERZ	Num
	HH	MI	SS	Km GB	Km GB		WGS84	WGS84		km					
06/07/2018	10	06	33	4779327,5	1664093,7	Ovest	11,01769282	43,14878143	6,65	1,91	0,081	0,26	0,407	0,578	28
06/07/2018	17	2	27	4786998,5	1665386,2	Ovest	11,03587114	43,21753095	4,00	1,57	0,121	0,357	0,518	0,598	27
14/08/2018	0	19	35	4779112,2	1665542,0	Ovest	11,03542840	43,14652889	6,25	2,31*	0,054	0,149	0,285	0,338	43
14/08/2018	6	39	39	4778646,7	1665836,6	Ovest	11,03890923	43,14227578	6,46	1,77	0,056	0,202	0,328	0,4	26
16/08/2018	23	58	33	4725162,1	2276218,3	Est	12,02646573	42,64021902	6,44	1,69	0,165	2,99	4,247	30,721	15
22/08/2018	9	52	18	4779098,2	1665024,5	Ovest	11,02906433	43,14651576	7,38	2,03	0,06	0,204	0,331	0,59	26
22/08/2018	22	51	29	4807401,5	1662319,1	Ovest	11,00415944	43,40180047	4,62	1,69	0,063	0,391	0,66	4,781	22
10/09/2018	5	16	59	4779972,2	1649912,4	Ovest	10,84355995	43,15752646	3,28	2,76*	0,161	0,469	0,521	0,654	26
13/09/2018	3	3	41	4733699,5	1726986,2	Ovest	11,77188693	42,72214313	2,71	1,99	0,174	0,855	1,684	0,748	18
14/09/2018	23	44	3	4769363,4	1703290,9	Ovest	11,49568463	43,04963113	13,87	2,01	0,119	0,891	1,893	3,337	22
19/09/2018	10	1	42	4769100,0	1626115,5	Ovest	10,54851044	43,06400359	6,71	1,65	0,084	1,06	4,331	10,14	9
19/09/2018	4	54	19	4759854,7	1630143,2	Ovest	10,59579751	42,98010326	3,81	1,61	0,026	0,391	0,444	0,433	13
26/09/2018	17	5	47	4791564,3	1664146,0	Ovest	11,02197068	43,25888865	5,61	1,68	0,092	0,378	0,589	1,489	21

Nota: I valori con l'asterisco sono riferiti alla Magnitudo Locale calcolata sull'ampiezza delle sole componenti orizzontali. Gli altri sono relativi alla Magnitudo durata.

Tabella 3: Riepilogo eventi sismici di magnitudo significativa registrati dalle reti Larderello – Travale e Amiata (gestite da ENEL) per il 3° trimestre 2018.

## 2. Valutazione delle attuali procedure implementate da ENEL Green Power per il monitoraggio microsismico delle aree geotermiche

Allo stato attuale l'INGV non è in possesso di documentazione che descriva le attuali procedure implementate da ENEL per il monitoraggio sismico nelle aree geotermiche. Facendo riferimento a delle collaborazioni scientifiche tra ENEL e INGV negli anni precedenti, le procedure utilizzate da ENEL per la localizzazione si basano sul software standard Hypoellipse (Lahr et al., 1989). La formula applicata per il calcolo della magnitudo di durata ( $M_D$ ) non è indicata, quindi, le magnitudo indicate nei bollettini trasmessi da ENEL (Tabelle 1-3) non possono essere attualmente confrontate con i valori di magnitudo calcolati della Rete Sismica Nazionale dell'INGV (RSN) che consentirebbero una valutazione di carattere qualitativo del dato prodotto.

## 3. Validazione dei dati acquisiti dalla rete microsismica ENEL Green Power

Lo scambio dati previsto dall'accordo tra Regione Toscana e INGV non include esplicitamente la trasmissione dei documenti relativi alle specifiche tecniche della rete sismica installata da parte dell'ENEL nelle aree geotermiche toscane. Mancano quindi tutte le informazioni inerenti alle coordinate geografiche e alla strumentazione di cui sono equipaggiate le stazioni sismiche della rete di ENEL. Facendo riferimento ai dati trasmessi nell'ambito di precedenti collaborazioni scientifiche tra ENEL e INGV, le informazioni sulle reti ENEL possono essere riassunte come segue (si consiglia l'aggiornamento delle informazioni):

A partire dagli anni '90 la rete sismometrica ENEL era composta da 26 stazioni nell'area Larderello - Travale e una dozzina di stazioni sull'Amiata (Figura 1). Inizialmente la rete sismica era dotata esclusivamente di sensori Teledyne Geotech S13, sia mono-componente (triangoli blu) sia triassiali (triangoli rossi) con acquisizione 12 bit a trigger. A posteriori alcuni sensori sono stati sostituiti con Lennartz LE3D-lite e, a partire dal 2004, nell'ambito di una convenzione con l'INGV, alcune stazioni sono state equipaggiate con digitalizzatori GAIA2 e sensori a larga banda (Nanometrics Trillium) modificando la modalità di acquisizione da trigger a continuo a 24 bit (triangoli rossi invertiti). La Figura 1 mostra la mappa delle stazioni come riferite da ENEL a INGV nell'ambito della passata convenzione scientifica.

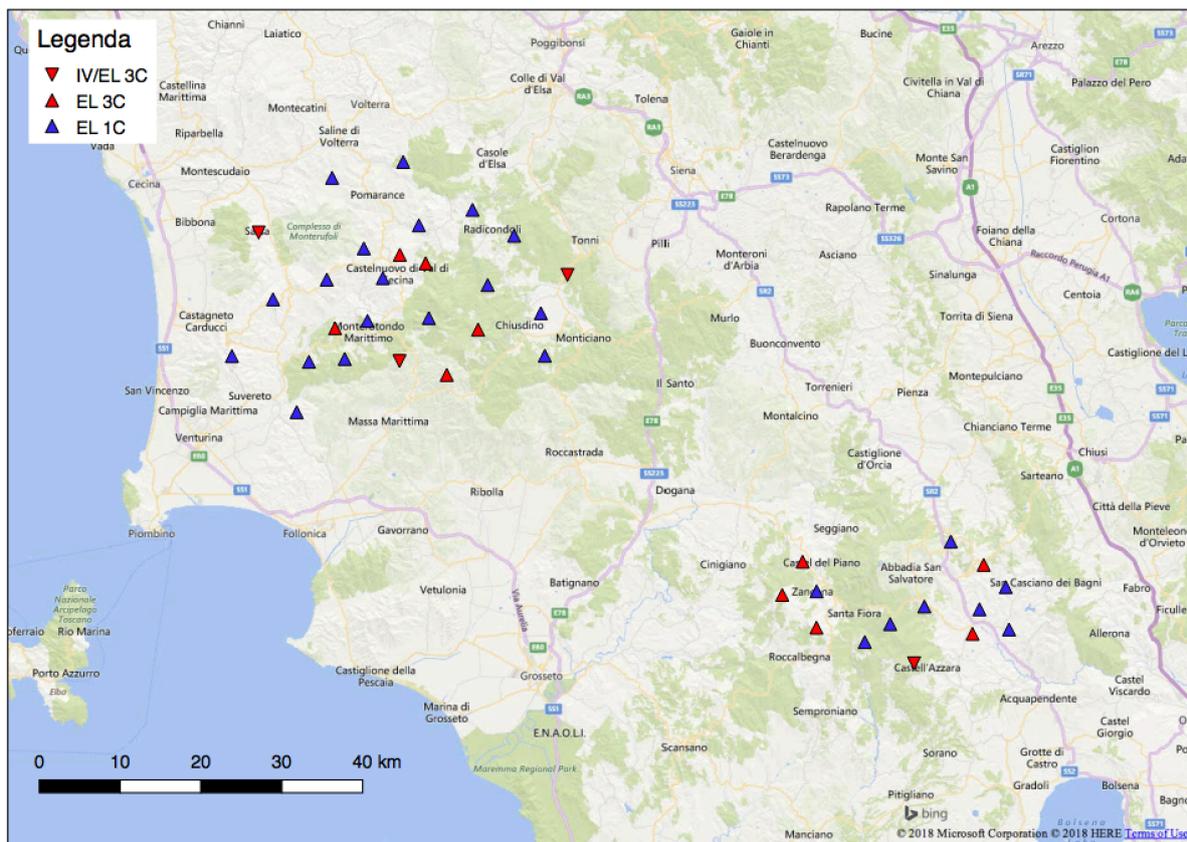


Figura 1: Mappa delle stazioni delle reti sismiche di ENEL installate nelle aree di Larderello – Travale e Amiata (triangoli blu: S13 monocomponente; triangoli rossi: stazioni triassiali; triangoli rossi invertiti: stazioni a 3 componenti con flusso dati in continuo trasmesso al RSN (INGV).

Per poter validare i dati acquisiti dalla rete microsismica ENEL si consiglia di procurare le informazioni aggiornate allo stato attuale sulle stazioni delle reti oggetto di valutazione in termini di coordinate, tipo sensore, numero di componenti, dinamica (in bit), modalità di acquisizione (trigger/continuo) e trasmissione dati (tempo reale), corredate da una tabella che indichi l'operatività delle stazioni in funzione del tempo (*state of health*).

#### 4. Validazione dei bollettini sismici forniti da ENEL Green Power

Le tabelle riepilogative degli eventi sismici di magnitudo significativa ( $M \geq 1.5$ ) contenuti nei tre bollettini trimestrali redatti da ENEL sono illustrate nelle Figure 1 - 3. Si propone una validazione a più livelli: (i) Commenti generali, (ii) Errori tipografici, (iii) Confronto dei bollettini ENEL e INGV, (iv) Commenti relativi al calcolo della magnitudo:

##### (i) Commenti generali:

- Non è stata definita l'area geografica della sismicità considerata. Alcuni eventi sismici, evidenziati in Tabella 4 con colore verde, risultano nettamente fuori dalla rete ENEL (E) e vengono riportati di seguito:
  - o Certaldo (#4), Greve (#7)
  - o Val d'Orcia (#10)
  - o Onano (#27,#28), Sorano (#41)
- Interrogando il database INGV che contiene gli eventi sismici registrati e localizzati dalla rete sismica nazionale IV è stato possibile identificare ed ipotizzare di considerare i suddetti eventi come poco rilevanti ai fini del presente studio (p. es.: lo sciame sismico in Val d'Orcia dal 29/03/2018 - 01/04/2018).
- La determinazione dell'area di interesse della rete ENEL è di fondamentale importanza per stabilire i limiti geografici all'interno dei quali considerare la sismicità registrata dalla rete ENEL. Per la redazione dei futuri bollettini sismici ENEL si consiglia di valutare se - e con quale criterio - eventi "fuori rete" devono essere riportati, tenendo presente che la qualità delle localizzazioni e la completezza degli eventi rilevati diminuisce con la distanza dalla rete sismica.

##### (ii) Errori di tipografia:

- Nella seconda riga dei bollettini ENEL del 1°, 2°, 3° trimestre l'unità di misura Latitudine/Longitudine GB è indicata erroneamente in km anziché in m.
- Nel bollettino del 1° semestre ENEL gli eventi non sono ordinati cronologicamente; in data 26-feb-2018 02:32:32 UTC sono stati riportati due eventi (#5\*, #6) con parametri ipocentrali e magnitudo differenti. Il confronto con il bollettino INGV confermerebbe l'epicentro a Piancastagnaio (#6), suggerendo la cancellazione dell'evento (#5\*) localizzato a Contignano.

- Nel bollettino del 2° semestre ENEL gli eventi del 30-giu-2018 non sono ordinati cronologicamente; si consiglia di precedere le data mono-cifre con uno zero iniziale: p.es. 01/03/18 anziché 1/3/18).
- Nel report ENEL del 2° e del 3° semestre sono state invertite le colonne della Latitudine e Longitudine WGS84, corretta nella Tabella 4 del presente rapporto.

(iii) Confronto dei bollettini ENEL (E) e INGV (IV):

La Tabella 4 (con rispettiva didascalia Tabella 5) riassume il confronto effettuato tra eventi sismici di  $M \geq 1.5$  registrati nelle aree geotermiche toscane nei primi tre trimestri del 2018 dalle reti Larderello – Travale e Amiata (gestite da ENEL ) e il corrispondente bollettino INGV. Gli eventi cronologicamente numerati si riferiscono agli eventi elencati nei bollettini ENEL (Tabelle 1-3). Le sigle introdotte nella seconda colonna indicano:

- IV/E: evento riportato nei bollettini IV/E con epicentro nelle aree geotermiche toscane
- IV/E: evento con epicentro fuori rete E riportato nei bollettini IV/E
- +E: evento registrato esclusivamente da reti E
- +IV: evento registrato esclusivamente da IV

La Figura 2 mostra gli epicentri riportati dalle reti ENEL e INGV nelle aree geotermiche toscane. E' fuori discussione che la qualità delle localizzazioni calcolate con le reti locali ENEL utilizzando i propri modelli di velocità locali di Larderello – Travale e Amiata siano migliori rispetto agli epicentri calcolati con le poche stazioni dell'INGV installate nell'area, utilizzando un modello di velocità nazionale. Inaspettatamente il bollettino INGV riporta comunque alcuni epicentri che non sono stati elencati nei bollettini ENEL (evidenziati in grigio in Tabella 4 e Figura 2). Una delle ragioni della presenza degli eventi aggiuntivi nel bollettino INGV potrebbe stare in una diversa stima della magnitudo. Considerando che l'ENEL trasmette alla Regione Toscana esclusivamente eventi sismici con magnitudo significativa ( $M \geq 1.5$ ), non significa che gli eventi aggiuntivi nel bollettino INGV non siano stati registrati anche dalle reti di ENEL, ma che la rete ENEL possa aver registrato gli eventi in questione stimandone però una magnitudo inferiore a 1.5 causandone quindi l'esclusione dal bollettino ENEL.

EVENTI SISMICI CON $M \geq 1.5$ REGISTRATI DALLE RETI ENEL GREEN POWER DAL 01/01-30/09/2018												
ENEL		DATA	ORA			LATITUDINE	LONGITUDINE	Fuso	LATITUDINE	LONGITUDINE	PROF	MAG
ev.Nr			HH	MI	SS	m GB	m GB		WGS84	WGS84	km	Dur
1	IV/E	1/11/18	15	37	10	4790085.9	1658252.8	Ovest	43.24684464	10.94898331	4.15	2.18
2	IV/E	1/15/18	02	25	09	4780270.5	1666752.5	Ovest	43.15668644	11.05065342	6.45	1.52
---	+IV	1/22/18	08	53	14	6 km NW Chiusdino (SI) **			43.18980000	11.02720000	9.20	1.7*
3	IV/E	1/28/18	07	53	19	4784014.1	1669654.2	Ovest	43.18972824	11.08746819	6.22	1.62
4	IV/E	1/29/18	04	05	35	4827141.5	1670206.6	Ovest	43.57767217	11.10766873	8.84	1.75
---	+IV	2/14/18	19	44	54	1 km N Montieri (GR) **			43.14070000	11.01920000	9.70	1.6*
---	+IV	2/24/18	06	22	36	6 km SW Radicondoli (SI) **			43.21420000	11.01120000	8.30	1.70
5	*	2/26/18	02	32	32	4759281.0	1727626.0	Ovest	42.95204576	11.79003245	1.83	2.00
6	IV/E	2/26/18	02	32	32	4747857.3	1718674.0	Ovest	42.85190903	11.67596313	3.08	2.27
7	IV/E	3/2/18	04	04	31	4826973.4	1686964.0	Ovest	43.57214655	11.31498963	5.91	1.89
---	+IV	3/4/18	18	15	46	5 km W Castel del Piano (GR) **			42.88730000	11.47620000	5.10	1.60
8	IV/E	3/5/18	19	19	00	4786321.6	1667207.7	Ovest	43.21103833	11.05807778	3.28	1.53
---	+IV	3/8/18	06	21	59	6 km NW Chiusdino (SI) **			43.19430000	11.03370000	10.60	1.70
9	+E	3/12/18	19	20	07	4785502.6	1665944.4	Ovest	43.20394747	11.04229013	4.20	1.69
---	+IV	3/20/18	10	04	55	3 km W Montieri (GR) **			43.13730000	10.97830000	8.40	1.80*
10	IV/E	3/29/18	23	00	42	4777472.3	1718763.8	Ovest	43.11827060	11.68865398	0.98	2.50
---	+IV	3/30/18	14	10	27	8 km NW Seggiano (GR) **			42.99050000	11.51930000	10.60	1.5*
11	IV/E	4/1/18	21	40	55	4787726.2	1665504.2	Ovest	43.22405330	11.03754170	4.26	1.68
12	IV/E	4/2/18	07	37	32	4779648.9	1663551.5	Ovest	43.15179119	11.01112396	7.22	2.58*
13	IV/E	4/5/18	17	07	55	4781882.1	1645042.1	Ovest	43.17566512	10.78418540	3.93	1.82
14	+E	4/6/18	09	24	45	4772078.2	1673819.6	Ovest	43.08137818	11.13495163	13.61	1.52
15	+E	4/6/18	23	36	38	4787463.0	1650709.4	Ovest	43.22478416	10.85539915	5.36	1.57
16	+E	4/8/18	04	55	59	4789267.1	1658653.5	Ovest	43.23939118	10.95368089	3.71	1.5
17	+E	4/8/18	04	56	20	4789279.0	1658627.0	Ovest	43.23950407	10.95335835	3.71	1.63
18	IV/E	4/11/18	04	41	52	4779750.8	1649827.0	Ovest	43.15555000	10.84245000	3.91	3.71*
19	+E	4/11/18	08	17	37	4779610.6	1649452.9	Ovest	43.15436000	10.83781000	4.03	2.10*
---	+IV	4/16/18	05	49	37	1 km W Piancastagnaio (SI) **			42.84520000	11.67650000	8.60	1.6*
20	IV/E	5/1/18	05	16	58	4789023.2	1658215.0	Ovest	43.23728843	10.94821283	4.56	3.87*
21	+E	5/7/18	03	34	01	4808745.7	1677971.3	Ovest	43.41034498	11.19775146	4.89	1.57
22	+E	5/7/18	06	51	18	4772279.4	1626571.3	Ovest	43.09254678	10.55482860	1.31	1.55
23	+E	5/22/18	07	25	57	4771298.1	1694421.0	Ovest	43.06935996	11.38755107	2.56	1.57
24	+E	5/28/18	07	46	10	4770796.6	1630727.4	Ovest	43.07849405	10.60552641	5.93	1.53
25	+E	6/1/18	09	20	34	4767234.4	1626317.4	Ovest	43.04717642	10.55056494	0.54	1.58
26	IV/E	6/23/18	01	56	02	4748079.0	1718912.0	Ovest	42.85383546	11.67895884	2.28	1.71
27	IV/E	6/24/18	01	43	42	4735240.8	1726671.4	Ovest	42.73610039	11.76866352	2.81	1.75
28	IV/E	6/24/18	01	44	35	4734908.0	1726448.5	Ovest	42.73317235	11.76580992	3.08	1.60
29	IV/E	6/26/18	11	14	20	4747219.4	1718744.6	Ovest	42.84615129	11.67657796	3.50	2.24*
30	+E	6/27/18	23	56	08	4778526.2	1648429.9	Ovest	43.14480440	10.82494636	3.64	1.58
31	IV/E	6/30/18	03	41	41	4779920.7	1664855.8	Ovest	43.15395459	11.02723556	6.61	1.97
32	IV/E	6/30/18	20	42	01	4782989.9	1652920.9	Ovest	43.18408312	10.88137709	4.01	1.68
33	IV/E	7/6/18	10	06	33	4779327.5	1664093.7	Ovest	43.14878143	11.01769282	6.65	1.91
34	IV/E	7/6/18	17	02	27	4786998.5	1665386.2	Ovest	43.21753095	11.03587114	4.00	1.57
35	IV/E	8/14/18	00	19	35	4779112.2	1665542.0	Ovest	43.14652889	11.03542840	6.25	2.31*
36	IV/E	8/14/18	06	39	39	4778646.7	1665836.6	Ovest	43.14227578	11.03890923	6.46	1.77
---	+IV	8/15/18	14	56	15	5 km W Montieri (GR) **			43.10820000	10.96100000	11.10	1.9*
37	+E	8/16/18	23	58	33	4725162.1	2276218.3	Est	42.64021902	12.02646573	6.44	1.69
38	IV/E	8/22/18	09	52	18	4779098.2	1665024.5	Ovest	43.14651576	11.02906433	7.38	2.03
39	+E	8/22/18	22	51	29	4807401.5	1662319.1	Ovest	43.40180047	11.00415944	4.62	1.69
40	IV/E	9/10/18	05	16	59	4779972.2	1649912.4	Ovest	43.15752646	10.84355995	3.28	2.76*
41	IV/E	9/13/18	3	3	41	4733699.5	1726986.2	Ovest	42.72214313	11.77188693	2.71	1.99
42	IV/E	9/14/18	23	44	03	4769363.4	1703290.9	Ovest	43.04963113	11.49568463	13.87	2.01
43	+E	9/19/18	10	01	42	4769100.0	1626115.5	Ovest	43.06400359	10.54851044	6.71	1.65
44	+E	9/19/18	04	54	19	4759854.7	1630143.2	Ovest	42.98010326	10.59579751	3.81	1.61
---	+IV	9/21/18	14	21	45	2 km E Montieri (GR) **			43.13080000	11.03630000	10.70	1.5
45	IV/E	9/26/18	17	05	47	4791564.3	1664146.0	Ovest	43.25888865	11.02197068	5.61	1.68

Tabella 4: Confronto tra eventi sismici di  $M \geq 1.5$  registrati nelle aree geotermiche toscane nei primi tre trimestri del 2018 dalle reti Larderello – Travale e Amiata (gestite da ENEL) e il bollettino INGV.

IV/E	Registrazione IV/ENEL in comune										
+E	Registrazione solo ENEL										
+IV	Registrazione solo IV										
**	localizzazione INGV in sostituzione di LAT/LON GB										
5*	Identica data/identico orario del evento n° 6										
IV/E	Registrazione IV/ENEL in comune fuori rete										
4	IV/E	1/29/18	04	05	35	2 km E Certaldo (FI) **	Ovest	43.57767217	11.10766873	8.84	1.75
7	IV/E	3/2/18	04	04	31	6 km SW Greve in Chianti (FI) **	Ovest	43.57214655	11.31498963	5.91	1.89
10	IV/E	3/29/18	23	00	42	4 km NW Cast. d'Orcia (SI) **	Ovest	43.11827060	11.68865398	0.98	2.50
27	IV/E	6/24/18	01	43	42	6 km NW Onano (VT) **	Ovest	42.73610039	11.76866352	2.81	1.75
28	IV/E	6/24/18	01	44	35	6 km NW Onano (VT) **	Ovest	42.73317235	11.76580992	3.08	1.60
41	IV/E	9/13/18	3	3	41	6 km NE Sorano (GR) **	Ovest	42.72214313	11.77188693	2.71	1.99

Tabella 5: Didascalia della Tabella 4.

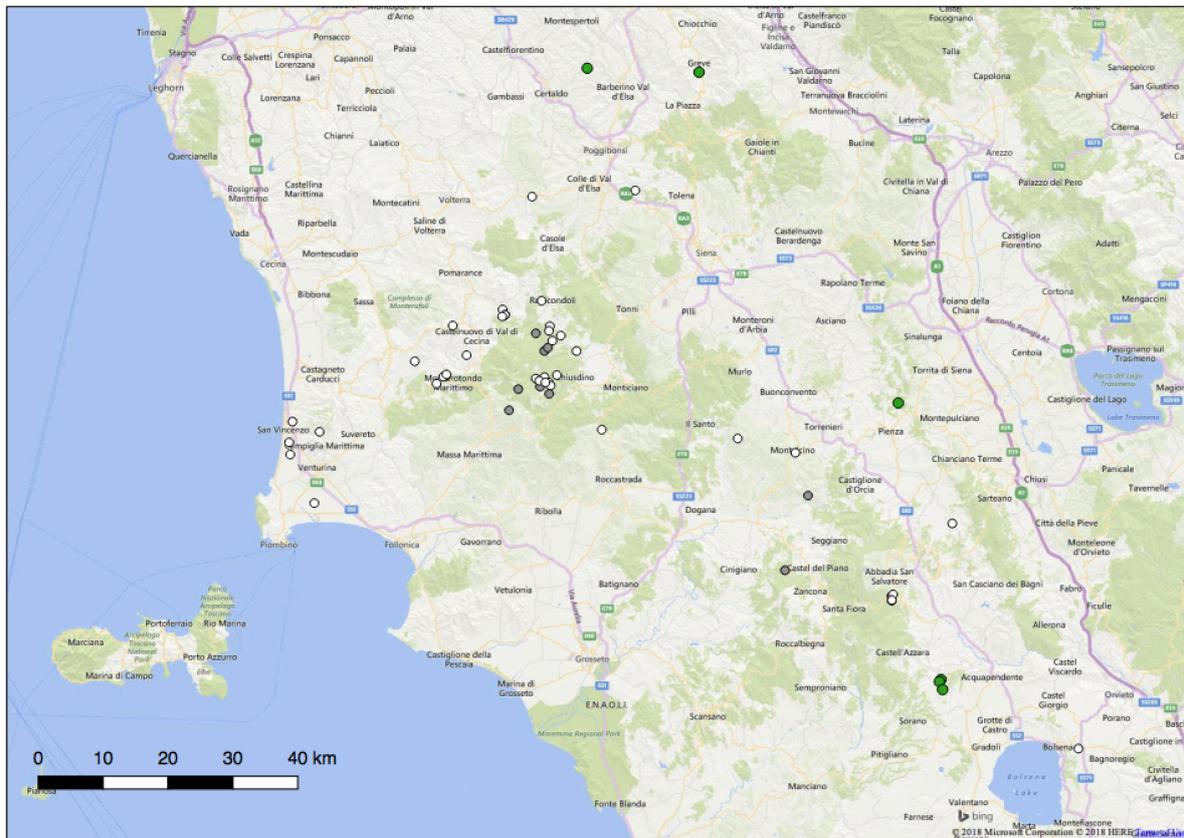


Figura 2: Eventi sismici localizzati da ENEL e INGVV installate nelle aree di Larderello - Travale e Amiata. Simboli delle stazioni delle reti ENEL e INGV vedi didascalia Figura 1.

#### (iv) Commenti relativi al calcolo della magnitudo:

Come indicato nei bollettini ENEL del 2° e 3° trimestre, a partire da Aprile 2018 nella tabella sono state unificate le due colonne per la magnitudo locale ( $M_L$ ) e la magnitudo di durata ( $M_D$ ), dove il calcolo della  $M_L$  viene contrassegnata con un asterisco. Il calcolo della  $M_L$  si basa sulle ampiezze massime in mm dell'onda S registrata sulle componenti orizzontali di un sismografo Wood-Anderson. Considerando che attualmente solo poche stazioni sono allestite con sismometri a 3 componenti, non è chiaro quali stazioni contribuiscano al calcolo delle  $M_L$ .

Ai fini di poter confrontare i valori di  $M_L$  e  $M_D$  tra di loro e con le magnitudo riportate nel bollettino INGV (Braun et al., 2018), si suggerisce di mantenere nei futuri bollettini entrambe le colonne separate. Per una valutazione della magnitudo di durata  $M_D$  è indispensabile conoscere la formula utilizzata da ENEL.

## 5. Individuazione eventuali azioni migliorative

A seguito della prima valutazione dei riepiloghi della sismicità rilevata dalle reti ENEL nelle aree geotermiche (periodo Gennaio - Settembre 2018) è prematuro pianificare eventuali azioni migliorative di concerto con ENEL. Di seguito si riassumono le osservazioni più rilevanti, utili per la redazione del prossimo rapporto di valutazione. Si consiglia quindi di fornire delle informazioni mancanti e/o aggiornate quelle presenti relative a:

- le attuali procedure implementate da ENEL per il monitoraggio sismico nelle aree geotermiche.
- le specifiche della rete sismica installata da parte dell'ENEL nelle aree geotermiche toscane (coordinate geografiche, tipo sensore, numero di componenti, dinamica in bit, modalità di acquisizione (trigger/continuo) e trasmissione dati (tempo reale).
- una tabella del funzionamento delle stazioni in funzione del tempo (*state of health*).
- l'elenco delle stazioni a 3 componenti che contribuisce al calcolo di  $M_L$ .
- la formula applicata dall'ENEL per il calcolo della  $M_D$ .
- l'inserimento di entrambe le magnitudo  $M_L$  e  $M_D$  nei bollettini sismici.
- la definizione dei limiti geografici all'interno dei quali considerare la sismicità registrata dalla rete ENEL e la valutazione di eventuali criteri per includere nel bollettino gli eventi "fuori rete".

## 6. L'evento sismico $M_w$ 3.7 del 01/05/2018 a Castelnuovo di Val di Cecina (PI)

In data 01-05-2018 05:16:58 (UTC) si è verificato un evento sismico di magnitudo  $M_w$ 3.7 nella zona a 3 km NE da Castelnuovo di Val di Cecina (PI). Anche se non esplicitamente richiesto nell'accordo RT - INGV si allega un breve approfondimento dell'evento principale finora esaminato. I bollettini INGV e ENEL riportano i seguenti parametri ipocentrali:

Event n°	Rete	MM/GG/ANNO	ORA	MI	SS	Latitudine °N	Longitudine °E	Prof.	Magnitudo
19103491	IV	05/01/2018	05	16	58	43.23	10.93	7 km	$M_w$ 3.7
20	E	05/01/2018	05	16	58	43.23729	10.94821	4.56 km	$M_L$ 3.87*

Tabella 6: Parametri ipocentrali del terremoto del 01-Mag-2018 a Castelnuovo di Cecina.

Per quanto riguarda la sismicità storica dell'area epicentrale delle Colline Metallifere il CPTI15 (Rovida et al., 2016) riporta n°7 eventi a partire del 1900 con Magnitudo massima ( $M$ 4.68) nel 1970. Considerando la geometria delle reti sismiche la profondità calcolata da INGV è probabilmente soggetta a un'incertezza elevata. La profondità più superficiale calcolata da ENEL è più coerente con le osservazioni macrosismiche e quindi con il livello di risentimento del terremoto nell'area.

MM/DD/ANNO	ORA	MI	SS	Latitudine °N	Longitudine °E	Prof (km)	$I_0$	$M_w$
03/21/1925	7	33	40	43.227	10.871		5-6	4.29
10/19/1933	13	29	45	43.166	10.864		4-5	3.93
04/29/1946	0	6		43.267	10.879		6	4.63
08/19/1970	12	19		43.252	10.788		6	4.68
06/24/1990	5	52	31	43.186	10.815	0.5	4-5	3.56
08/06/1993	7	51	48	43.291	10.944	2.3	5-6	4.03
05/20/1998	11	7	42	43.081	10.81	7.5	4-5	4.19

Tabella 7: Riepilogo degli eventi storici significativi nelle Colline Metallifere (fonte CPTI15, Rovida et al., 2016).

Rispetto agli eventi sismici recenti, l'evento del 1 Maggio 2018 è comparabile con il terremoto del 24 giugno 1990 presente in Tabella 7. I parametri ipocentri riportati da INGV (Tabella 6) si basano sulla rete sismica Nazionale che nell'area geotermica in questione non è molto densa. Ulteriori informazioni su parametri, modellazioni di mappe di scuotimento e osservazioni delle intensità macrosismiche relative a questo evento possono essere consultate sul sito dell'INGV <http://cnt.rm.ingv.it/event/19103491>.

## 7. Bibliografia

- Braun, T., Caciagli, M., Carapezza, M., Famiani, D., Gattuso, A., Lisi, A., Marchetti, A., Mele, G., Pagliuca, N.M., Ranaldi, M., Sortino, F., Tarchini, L., Kriegerowski, M. and Cesca, S. (2018). The seismic sequence of 30<sup>th</sup> May - 9<sup>th</sup> June 2016 in the geothermal site of Torre Alfina (central Italy) and related variations in soil gas emissions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 359, 21-36. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2018.06.005.
- INGV (2018). Supporto scientifico per la valutazione del monitoraggio sismico operato dalle reti ENEL GREEN POWER nelle aree geotermiche di Larderello – Travale. Primo Rapporto 7 Luglio 2018 nell'ambito della convenzione RT-INGV del 13 Giugno 2018.
- Lahr, J.C. (1989). HYPOELLIPSE/version 2.00: A computer program for determining local earthquakes hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern. *U.S. Geological Survey Open File Report* 89116.
- Rovida, A., M. Locati, R. Camassi, B. Lolli, and P. Gasperini (2016). CPTI15, the 2015 Version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, doi:10.6092/INGV.IT-CPTI15.
- UNMIG, Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse, (2014). Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche, 1-38. .  
[http://unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85\\_238.pdf](http://unmig.mise.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf)
- UNMIG, Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse, (2016). Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia, 1-43. .  
[http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/agenda/upload/174\\_375.pdf](http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/agenda/upload/174_375.pdf)