



IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO "CASA DEL CORTO"

Chiarimenti Volontari sulla Sismicità

Febbraio 2018

Codice Progetto:
P17_CAE_055

Revisione: 0

SVOLTA GEOTERMICA S.R.L.
Via Dell'Industria, 10
24126 Bergamo (BG)
C.F. e P.IVA: 07326720724

STEAM
Sistemi Energetici Ambientali
Via Ponte a Piglieri, 8
I - 56127 Pisa
Telefono +39 050 9711664
Fax +39 050 3136505
Email: info@steam-group.net



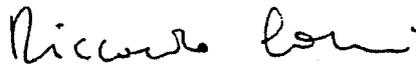
STEAM

Svolta Geotermica S.r.l.

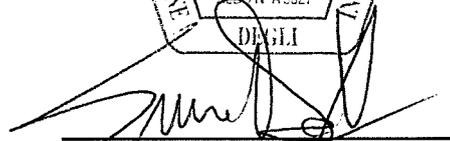
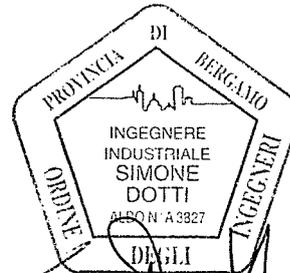
IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO "CASA DEL CORTO"

Chiarimenti Volontari sulla Sismicità

Ing. RICCARDO CORSI
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA
N° 869 Sezione A
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE
INDUSTRIALE



Ing. Riccardo Corsi
Project Director



Ing. Simone Dotti
*Coordinatore Generale
del Progetto*

Progetto	Rev.	Preparato da	Rivisto da	Approvato da	Data
P17_CAE_055	0	PB	AF; GB	RC; SD	27/02/2018

INDICE

1	CHIARIMENTI VOLONTARI SULLA SISMICITÀ	1
1.1	SISMICITÀ STORICA (1950 – 2015)	1
1.2	STIMA DELLA MAGNITUDO MASSIMA CAUSATA DA UN IPOTETICO EVENTO SISMICO INDOTTO DALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO DI PROGETTO	6
1.3	ULTERIORI CONSIDERAZIONI SU COLTIVAZIONE GEOTERMICA E SISMICITÀ INDOTTA	8
1.4	CONSIDERAZIONE SULLE FAGLIE PROSSIME AL PR "CASA DEL CORTO"	9
2	CONCLUSIONI	16

1

CHIARIMENTI VOLONTARI SULLA SISMICITÀ

Di seguito vengono riportati alcuni chiarimenti alla documentazione progettuale depositata, al fine di facilitarne la comprensione.

1.1

SISMICITÀ STORICA (1950 – 2015)

Come descritto nell'Allegato 5 al Progetto Definitivo non esiste un catalogo sismico unificato di riferimento. Pertanto, per eseguire lo studio particolareggiato della sismicità storica e recente dell'area interessata dal PR "Casa del Corto", è stata effettuata un'analisi dei vari cataloghi sismici disponibili presso l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), al fine di ottenere un data set quanto più completo possibile, sia per la copertura cronologica dei dati che per la completezza delle classi di magnitudo.

In particolare, una prima estrazione di dati è stata eseguita, per tutta la Toscana centromeridionale, utilizzando i seguenti cataloghi:

- il CPT111, per il periodo che va dall'anno 1000 fino al 1980;
- il CSI, per il periodo 1981 - 2002;
- il Bollettino Ufficiale INGV dal 2003 al 16 aprile 2005;
- ISIDE-new per i dati successivi al 16/4/2005, fino a maggio 2015 incluso.

Successivamente, sono stati estratti gli eventi sismici degli ultimi 50 anni caratterizzati da Magnitudo maggiori o uguali a 3.0 e rilevati in un raggio di circa 30 km dall'area di progetto. Tali dati sono riportati nella seguente *Tabella 1.1a*.

Tabella 1.1a Elenco degli eventi sismici con $M \geq 3$ rilevati dalla rete sismica nazionale (INGV) dal 1950 al 2015 in un intorno di circa 30 km dall'area di progetto.

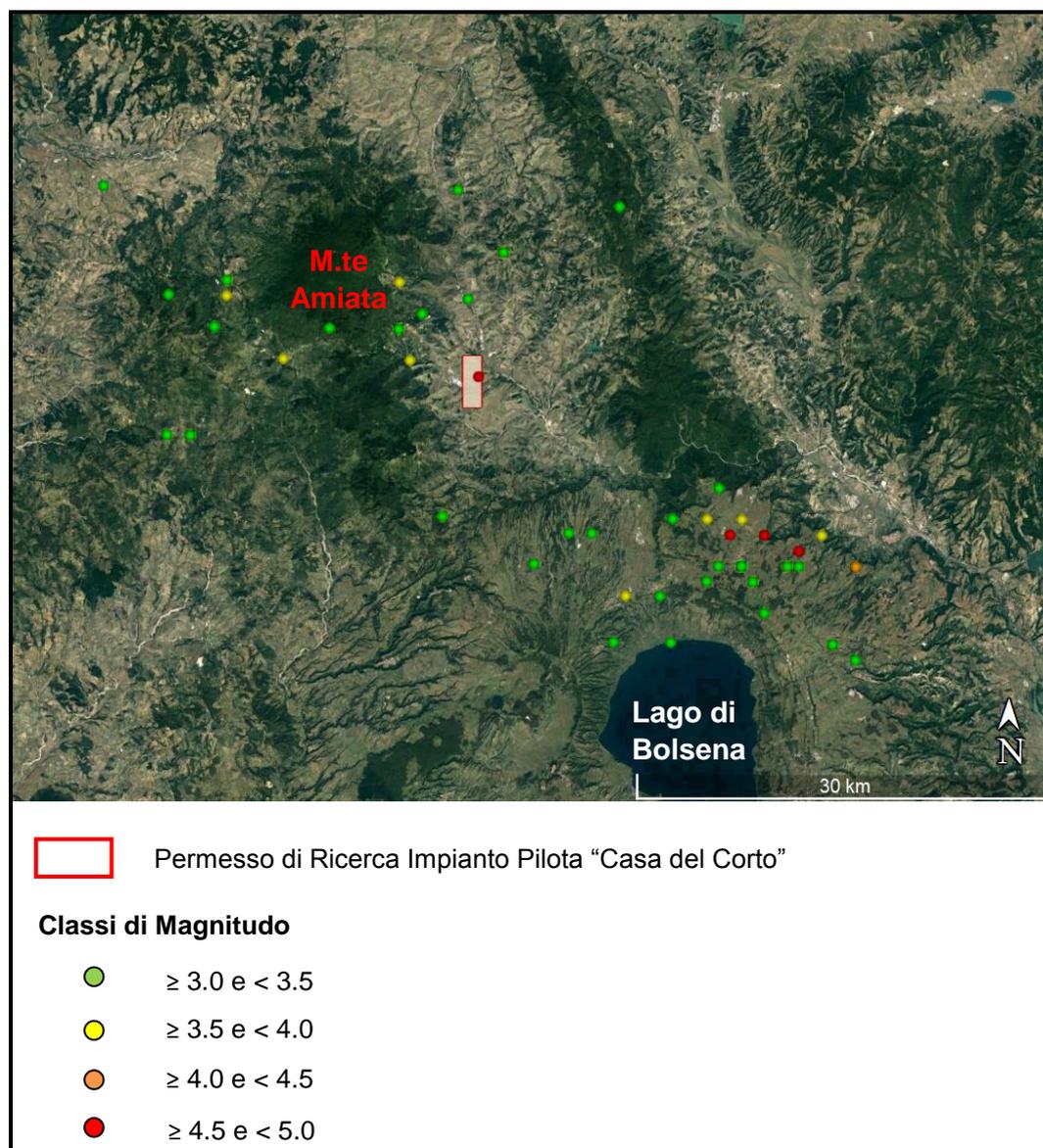
anno	mese	giorno	ora	min	sec	Lat	Long	Prof (km)	MAG	Località
1952	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,883	11,533	n/a	3,1	
1952	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,883	11,533	n/a	3,6	
1952	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,883	11,533	n/a	3,6	
1954	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,867	11,533	n/a	3,6	
1957	12	6	4	54	n/a	42,707	12,029	n/a	4,9	N Lago
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	11,983	n/a	3,1	
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	12,017	n/a	3,5	
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	12,017	n/a	3,7	
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	11,983	n/a	3,7	
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,717	12,000	n/a	4,5	N Lago
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,717	11,967	n/a	4,7	N Lago
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	11,983	n/a	3,1	
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	12,017	n/a	3,1	

anno	mese	giorno	ora	min	sec	Lat	Long	Prof (km)	MAG	Località
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	11,983	n/a	3,8	
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	11,983	n/a	3,1	
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	11,983	n/a	3,3	
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	11,983	n/a	3,3	
1957	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,717	12,050	n/a	3,6	
1958	5	30	6	26	n/a	42,896	11,769	n/a	4,3	N Lago
1958	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,900	11,767	n/a	4,1	N Lago
1959	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,783	11,500	n/a	3,1	
1959	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,783	11,500	n/a	3,3	
1959	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,783	11,500	n/a	3,6	
1962	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,733	11,950	n/a	3,6	
1962	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,733	11,983	n/a	3,6	
1966	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	11,800	n/a	3,3	
1971	3	2	18	52	12	42,700	12,083	n/a	4,6	N Lago
1971	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	12,083	n/a	4,0	N Lago
1971	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,700	12,033	n/a	3,1	
1971	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,683	11,883	n/a	3,6	
1972	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,850	11,683	n/a	3,6	
1973	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,733	11,717	n/a	3,3	
1973	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,733	11,717	n/a	3,9	
1973	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,650	11,867	n/a	3,4	
1975	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,850	11,683	n/a	4,1	N Lago
1975	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,850	11,683	n/a	4,1	N Lago
1978	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,850	11,517	n/a	3,1	
1980	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,850	11,517	n/a	3,1	
1980	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,833	11,583	n/a	3,6	
1980	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,883	11,683	n/a	3,6	
1980	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,867	11,483	n/a	3,2	
1982	10	17	11	5	11,67	42,928	11,872	13,58	3,0	
1982	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,850	11,617	n/a	3,3	
1982	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,850	11,683	n/a	3,3	
1982	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,783	11,483	n/a	3,2	
1985	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,717	11,833	n/a	3,1	
1985	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,717	11,850	n/a	3,1	
1986	8	4	5	4	8,2	42,672	12,002	5	3,2	
1987	5	16	9	10	53,3	42,641	12,083	5	3,3	
1987	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,850	11,683	n/a	3,1	
1990	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	42,900	11,767	n/a	3,1	
1992	2	7	23	17	52,79	42,690	11,991	5	3,5	
1992	2	7	23	17	54,21	42,689	11,989	21	3,4	
1992	2	7	23	43	59,31	42,689	11,947	21,96	3,1	
1992	2	8	n/a	33	46,35	42,695	11,963	8,19	3,0	
1992	6	12	9	28	34,77	42,936	11,417	5	3,3	
1994	2	9	21	49	13,8	42,730	11,916	21,98	3,1	
1994	2	9	22	20	57,84	42,647	11,921	6	3,2	
1997	3	21	16	46	20,29	42,861	11,697	21,06	3,4	
1997	3	21	16	46	21,19	42,874	11,735	10	3,1	
2000	4	1	18	8	3,68	42,831	11,692	1,63	3,9	Sud Amiata
2000	4	1	18	8	4	42,815	11,746	1,63	4,6	Sud Amiata
2000	4	1	18	8	5,16	42,939	11,733	7,5	3,0	
2000	7	1	22	25	14,07	42,747	11,965	0,02	3,2	
2000	7	1	22	43	58,92	42,677	11,913	5,87	3,0	
2006	7	6	21	47	31,63	42,649	12,064	3,01	3,0	
2006	7	6	21	47	31,63	42,649	12,064	3,1	3,2	

Nella seguente *Figura 1.1a* viene riportata la distribuzione spaziale degli epicentri degli eventi sismici riportati nella precedente tabella, differenziati per classi di magnitudo.



Figura 1.1a Distribuzione spaziale degli epicentri



Come da tabella precedente, in data 1/4/2000 sono riportati due eventi localizzati a Sud del Monte Amiata, verificatisi con una differenza temporale di 0.4 secondi e con magnitudo rispettivamente di 3.9 e 4.6.

In particolare, il secondo evento con $M=4.6$ ricade al margine orientale del PR “Casa del Corto”, ma sull’esattezza della sua localizzazione sono stati espressi dubbi e incertezze, come risulta da vari studi e pubblicazioni (Mucciarelli et al. 2001¹, Braun et al. 2016²). Per completezza informativa, si allega copia delle succitate pubblicazioni.

¹ Mucciarelli M., Gallipoli M., Fiaschi A., Pratesi G., 2001. Osservazioni sul danneggiamento nella zona del Monte Amiata a seguito dell’evento del 1° Aprile 2000. X Congresso Nazionale “L’ingegneria sismica in Italia”, Potenza-Matera 9-13 Settembre 2001.

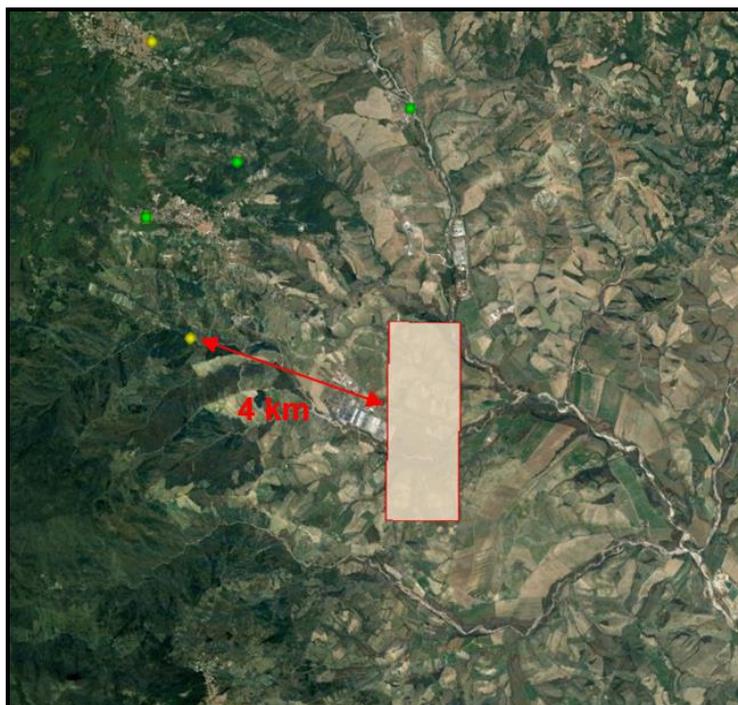
² Braun Th., Caciagli M., Dahm T., Famiani D., Gattuso A., Kruger F., Ohrnberger M., 2016. On the seismicity recorded in the geothermal area of Mt. Amiata. 35th General Assembly of the ESC; Trieste; 7 – Sep 2016.

Mucciarelli et al. 2001, in merito a tale terremoto e alla sua localizzazione, all'interno della pubblicazione "Osservazioni sul danneggiamento nella zona del Monte Amiata a seguito dell'evento del 1° Aprile 2000", affermano che: "Non sembra che una localizzazione nelle immediate vicinanze di Piancastagnaio sia compatibile con la distribuzione dei danni"...I danni sono principalmente da attribuirsi al normale scarso comportamento antisismico delle vecchie strutture in pietra".

Braun et al. 2016, nell'ambito di uno studio condotto da INGV, GFZ e OGS sulla sismicità dell'area geotermica amiatina, indicano come unico evento sismico del 1/4/2000 a Sud dell'Amiata, quello esterno al PR Casa del Corto (4 km a Ovest) e con magnitudo di 3.9.

Per chiarire queste divergenze, è stato analizzato il più recente catalogo, aggiornato da INGV nel 2015 (CPTI15), nel quale viene confermata l'esistenza di un solo evento sismico in data 1/4/2000 nell'area a Sud dell'Amiata, localizzato esternamente al PR in oggetto (4 km ad Ovest), con $M = 4.5$ e profondità ipocentrale di 1.6-1,7 km (vedi *Figura 1.1b*).

Figura 1.1b Localizzazione dell'evento del 1/4/2000 a Sud del Monte Amiata



Nella sottostante *Figura 1.1c* si riporta l'estrazione dal catalogo CPTI15 dei parametri di localizzazione dell'evento in oggetto.

Figura 1.1c Localizzazione e parametri dell'evento del 1/4/2000 da Catalogo CPTI15

► homepage ► consultazione per terremoto (CPTI15) ► consultazione per località (DE)

Terremoti in elenco: 4584.

Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
1999	12	01	18	21	35	Tirreno meridionale			4.16
1999	12	10	21	18	59	Tirreno meridionale			4.07
1999	12	26	14	19	49	Etna - C.da Ilice Carlino (Milo)	43	5-6	3.27
1999	12	28	04	26	49	Crotonese	20	4-5	3.99
1999	12	29	20	42	34	Alpi Retiche	74		4.78
1999	12	30	18	34	39	Tirreno meridionale	29		4.83
1999	12	31	04	55	53	Alpi Retiche	99		4.11
2000	01	07	12	00	40	Tirreno meridionale			4.53
2000	01	11	08	20	53	Etna - S. Alfio	39	6-7	3.38
2000	02	12	20	34	09	Golfo di Policastro			4.26
2000	03	11	10	35	27	Valle dell'Aniene	214	6	4.25
2000	03	17	03	52	44	Calabria meridionale	52	5	4.05
2000	03	30	09	32	25	Tirreno meridionale			4.88
2000	04	01	18	08	03	Monte Amiata	68	6	4.52
2000	04	06	17	40	36	Alpi Retiche	40		4.02
2000	04	22	11	13	47	Tirreno meridionale			4.26
2000	04	26	13	28	41	Tirreno centrale			4.30
2000	04	26	13	37	46	Tirreno centrale	265		4.77
2000	05	01	13	20	53	Stretto di Sicilia			4.03
2000	05	02	08	48	50	Faentino			4.10
2000	05	05	02	02	02	...			4.00

2000 aprile 01 18:08:03.68
Monte Amiata

EqID 20000401_1808_000

	Rif	Lat	Lon	Io	Mw	ErMw	Profond.
★ CPTI15	CSI1.1	42.831	11.691	IM	6	4.52 ± 0.07	InsOInsO 1.6
□ Macro	BMINGV004a	42.820	11.739	bx0	6	4.55 ± 0.16	bxn
◇ Instr	CSI1.1	42.831	11.691			4.52 ± 0.07	MwMT 1.63

MDP set di Bollettino Macrosismico INGV, 2004a (BMINGV004a) [altre informazioni sul terremoto]
 NMDP 68 Imax 6-7 MCS

L'incertezza di localizzazione è sicuramente dovuto al limitato numero di stazioni che hanno rilevato e localizzato l'evento stesso e, come noto in letteratura, il parametro profondità ipocentrale è sicuramente affetto da un errore più elevato rispetto a quello della localizzazione epicentrale (Havskov, J., et al., 2012³).

Ciò è tanto più vero se si considera che la Rete Sismica Nazionale (RSN), gestita in tempo reale dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è stata fortemente implementata, sia per numero di stazioni che per sensibilità della strumentazione utilizzata, solo negli ultimi 10 anni.

Fino al 2005-2007 la RSN era inoltre costituita da stazioni sismometriche a componente prevalentemente verticali. Pertanto, i sismogrammi disponibili consentivano una buona lettura prevalentemente delle fasi P delle onde sismiche. La carenza di lettura delle fasi S determina un maggiore errore nella determinazione delle profondità ipocentrali.

³ Havskov, J., Bormann, P., Schweitzer, J., 2012. Seismic source location. - In: Bormann, P. (Ed.), New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2), Potsdam : Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, pp. 1–36.

La RSNC è attualmente composta da circa 300 stazioni, con una predominanza di accelerometri a 3 componenti e, come valutabile dai dati sopra esposti, è oggi in grado di monitorare l'attività sismica in corso sul territorio nazionale, anche per eventi rilevabili a livello essenzialmente strumentale.

Infatti, solo dal 2007 il significativo aumento delle stazioni di monitoraggio e la maggiore sensibilità della strumentazione consentono di rilevare eventi anche con Magnitudo comprese tra 0 e 1.0.

Nell'area di interesse dal 2007 al 2015, come evidenziato in Tabella 1.1a, non sono stati rilevati eventi con $M \geq 3.0$ che avrebbero potuto consentire qualche considerazione sulle caratteristiche di eventuali sciame microsismici conseguenti a eventi con magnitudo maggiori.

Pertanto, considerando quanto già riportato nell'Allegato 5 al Progetto Definitivo e quanto suddetto, si può concludere che nessun evento sismico con $M \geq 3$ è stato mai rilevato (dal 1000 ad oggi) all'interno dell'area del PR "Casa del Corto".

Si fa infine presente che gli eventi sismici verificatisi dal 1950 al 2015 in un'area di circa 30 km dal PR "Casa del Corto" con $M \geq 3.0$ sono gli stessi già considerati all'interno dell'Allegato 5 al Progetto Definitivo e che la loro localizzazione marca due noti focolai sismici storici dell'area in esame (*Batini et al., 1990*⁴):

- a Nord, la struttura vulcano-tettonica a trend WSW-ENE che taglia il settore meridionale del Monte Amiata;
- a Sud, la struttura vulcano-tettonica che borda il settore settentrionale della caldera del Lago di Bolsena.

La prima struttura vulcano tettonica (M. Amiata meridionale), salvo un'esigua minoranza di eventi con profondità ipocentrale entro i primi 2,5 km, è prevalentemente caratterizzata da eventi con profondità ipocentrali comprese tra 7 e 8 km (*Batini et al., 1990*).

Si fa presente che i pozzi di progetto, che interessano l'area meridionale del M. Amiata, raggiungono la profondità verticale di 2 km, restando quindi ben lontani dalle profondità ipocentrali degli eventi che generalmente caratterizzano l'area.

1.2

STIMA DELLA MAGNITUDO MASSIMA CAUSATA DA UN IPOTETICO EVENTO SISMICO INDOTTO DALL'ESERCIZIO DELL'IMPIANTO DI PROGETTO

A completamento di quanto riportato nell'Allegato 5 del Progetto Definitivo, di seguito si riporta la stima della magnitudo calcolata con la relazione *Lay e Wallace (1995)*⁵, utilizzando i parametri di progetto ottenuti dalla simulazione

⁴ *Batini F., Fiordelisi A. & Moia F., 1990. Main features of the seismicity in the Monte Amiata and Latera geothermal Areas (Italy). XXII General Assembly, European Seismological Commission. Barcelona, 11-22 September 1990.*

⁵ *Lay T., Wallace TC. (1995) – Modern global seismology. Accademic Press.*



numerica del serbatoio geotermico di Casa del Corto (*Allegato 4* al Progetto Definitivo).

È stato quindi possibile ricavare empiricamente la magnitudo momento (M_w), correlandola alla superficie di faglia attivata (assumendo una faglia circolare) durante un ipotetico terremoto.

$$M_w = \frac{2}{3} \text{Log} \left(\frac{16}{7} \Delta \sigma r^3 \right) - 6$$

[Lay T, Wallace TC. (1995); Scholz (2008)]

dove: $\Delta \sigma$ è lo stress drop e r il raggio equivalente per una faglia circolare.

Per il calcolo dello stress drop tipico dell'area è stata utilizzata la seguente equazione (McGarr, 2014⁶; si veda pag. 28 dell'*Allegato 5* al Progetto Definitivo):

$$\Delta P = \Delta \sigma / 2\mu$$

dove:

- ΔP è la variazione di pressione di poro, che nel caso in oggetto assume un valore di 3 bar (come da risultato simulazioni relative alle variazioni della P a seguito dell'emungimento e reiniezione dei fluidi nel serbatoio geotermico, *Allegato 5* al Progetto Definitivo);
- μ rappresenta il coefficiente di frizione per il quale è stato utilizzato un valore tipico di $\mu = 0.6$ (Jaeger et al., 2007⁷).

Sostituendo nell'equazione i valori di ΔP e μ sopra descritti è stato ottenuto uno stress drop ($\Delta \sigma$) di 3,6 bar.

Come da *Allegato 5* al Progetto Definitivo (pag. 32) i raggi equivalenti utilizzati, ipotizzando una faglia circolare equivalente, sono pari a 185 m e 287 m, rispettivamente dopo 22 e 50 anni di simulazione.

Sostituendo i suddetti valori di stress drop e di raggio equivalente della faglia circolare nell'equazione di Lay e Wallace, si ottiene una magnitudo massima pari a -0.86 dopo 22 anni di re-iniezione e -0.47 dopo 50 anni di re-iniezione.

Come osservabile sono stati ottenuti valori di magnitudo negativi, riferibili quindi ad una eventuale attività indotta di natura essenzialmente microsismica e rilevabile solo strumentalmente.

⁶ McGarr, A. (2014) – Maximum magnitude earthquakes induced by fluid injection. *J.Geoph. Res. Doi 10.1002/2013JB010597*.

⁷ Jaeger J.C., Cook N.G.W., Zimmerman R.W. (2007). *Fundamental of rocks mechanics*. Blackwell.

Si riportano di seguito alcuni concetti estratti da un recentissimo lavoro a cura del CNR dal titolo “*Environmental and social aspects of geothermal energy in Italy*” (Manzella et al., 2018⁸), che per comodità alleghiamo al presente documento.

Paragrafo 3.5, pg. 240-241:

“Il possibile fenomeno di terremoti indotti dall’attività di coltivazione geotermica, sebbene relativamente rari e generalmente di piccola magnitudo, è di comprensibile interesse pubblico. Infatti, l’estrazione e la reiniezione di fluidi dal serbatoio geotermico possono generare un’alterazione del campo degli stress nel sottosuolo come conseguenza della variazione della pressione dei pori, dello squilibrio isostatico e degli effetti poro- e termo-elastici, e quindi, a loro volta, produrre sismicità (ad esempio Grasso, 1992; Davis e Frohlich, 1993; Guha, 2000; McGarr et al., 2002; Majer et al., 2007; Suckale, 2009; Evans et al., 2012; National Research Council degli Stati Uniti, 2013; Ellsworth, 2013; Grünthal, 2014; McGarr, 2014; Astiz et al., 2014; Zang et al., 2014; Dahm et al., 2015). Oltre cento anni di produzione di energia geotermica in Italia e molti decenni di produzione in molti paesi del mondo dimostrano che le attività geotermiche possono essere associate a fenomeni di sismicità indotta, di solito di piccola magnitudo (Evans et al., 2012, National Research Council, 2013; Zang et al., 2014)”.

“La comprensione dei processi fisici di base che controllano lo sviluppo di eventi sismici indotti (ad esempio, Zoback, 2012, US National Research Council, 2013, Zang et al., 2014), i risultati di progetti di ricerca internazionali (ad esempio, Progetto GEISER <http://www.geiser-fp7.fr>) e l’esperienza acquisita in diverse iniziative industriali (Kagel et al., 2007; Moeck et al., 2015) hanno portato alla formulazione delle Best Practices. Queste pratiche aiutano a valutare, gestire e mitigare il potenziale rischio sismico posto da alcune attività industriali, tra cui la coltivazione geotermica.

Le cinque pratiche chiave riguardano:

- 1) studi geologici e sismotettonici dettagliati per identificare “faglie capaci” di generare terremoti dannosi;*
- 2) tecnologie che mantengono un equilibrio tra fluido prodotto e reiniettato e minimizzare i cambiamenti della pressione dei pori in profondità;*
- 3) reti di monitoraggio microsismiche locali;*
- 4) protocolli operativi definiti congiuntamente dagli operatori e dai regolatori pubblici (ad esempio i sistemi a semaforo) per ridurre o sospendere le attività se vengono rilevati eventi sismici indotti;*
- 5) comunicazioni trasparenti ed efficaci per ottenere l’accettazione da parte dell’informazione pubblica.*

Queste Best Practices sono state implementate in Italia con le “Linee guida per il monitoraggio della sismicità, deformazione del terreno e pressione dei pori per attività industriali”, sviluppato dal gruppo di lavoro istituito presso il Ministero dello

⁸ Manzella A., Bonciani R., Allansdottir A., Botteghi S., Donato A., Giamberini S., Lenzi A., Paci M., Pellizzone A., Scrocca D., 2018. *Environmental and social aspects of geothermal energy in Italy*. *Geothermics* 72 (2018) - pp. 232-248.

Sviluppo Economico all'interno della Commissione per gli idrocarburi e le risorse minerarie (CIRM Working Group, 2014)."

Si sottolinea che sia nella documentazione del Progetto Definitivo che nella documentazione Integrativa prodotta, come più volte ribadito (si veda ad es. l'*Allegato 8* alle Integrazioni), è stato fatto specifico riferimento alle Linee Guida citate ed in particolare alle "pratiche chiave" sopra riportate.

1.4

CONSIDERAZIONE SULLE FAGLIE PROSSIME AL PR "CASA DEL CORTO"

Il Servizio Geologico d'Italia - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), quale Autorità preposta, ha sviluppato il progetto ITHACA⁹ (ITaly HAZard from CAPable faults), che sintetizza le informazioni disponibili sulle faglie capaci che interessano il territorio nazionale.

La conoscenza approfondita e la precisa collocazione spaziale delle faglie attive, in special modo di quelle stimate in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie ("faglie capaci"), assume un ruolo chiave per la mitigazione del rischio (*Manzella et al., 2018*).

Dalla consultazione di tale studio, come già riportato al Paragrafo 2.3.3 del documento di risposta alle richieste di integrazioni, è stato appurato che l'area interessata dal Progetto "Casa del Corto" non è interessata da nessuna "faglia capace", e che la più prossima all'area in oggetto si trova ad Est (Appennino Centrale) e dista da questa circa 40 km (ID: Normal Fault 62702).

Inoltre, anche la consultazione della più recente Cartografia Geologica 1:10.000 del Progetto CARG della Regione Toscana (*Figura 2.3.3a* del documento di risposta alle richieste di integrazioni), si veda la seguente *Figura 1.4a*, non ha evidenziato alcuna linea di faglia all'interno del Permesso "Casa del Corto".

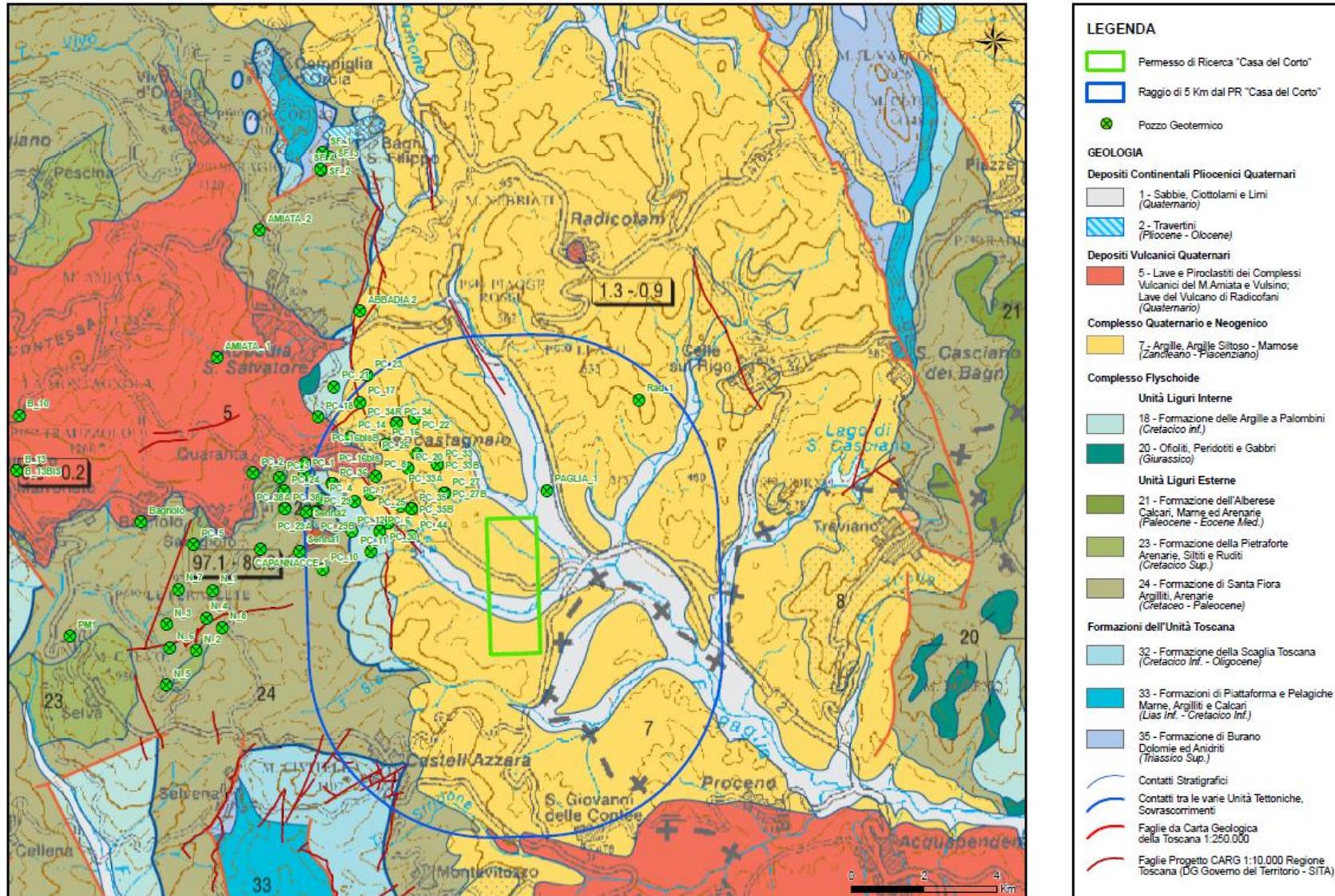
La Cartografia del Progetto CARG della Regione Toscana (*Figura 1.4a*), mostra invece la presenza di faglie in corrispondenza ed in vicinanza dei pozzi del vicino campo geotermico di Piancastagnaio (Concessione Enel).

Diversi studi, già riportati nell'*Allegato 7* al documento di risposta alle richieste di integrazioni, non hanno rilevato una correlazione tra l'attività microsismica dell'area amiatina e le attività di produzione e reiniezione afferenti al su citato campo geotermico.

⁹ <http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>



Figura 1.4a Stralcio Carta Geologica della Toscana (1:250.000) – Integrata con dati del Progetto CARG Regionale



In particolare, la pubblicazione degli Amici della Terra (2008¹⁰) riporta che, per valutare possibili correlazioni tra gli eventi sismici e coltivazione dei campi geotermici, l'Enel ha fornito all'INGV i dati di produzione e reiniezione di fluido nel periodo gennaio 1995 - luglio 2000 e il catalogo degli eventi sismici localizzati dalla propria rete sismografica nella zona di Piancastagnaio. Dall'analisi di tali dati INGV conclude:

"In letteratura le condizioni necessarie per evidenziare una possibile relazione di causa-effetto tra attività di reiniezione ed eventi sismici sono due: la prima, è che l'evento sismico avvenga in zone non interessate prima da attività sismica; la seconda, che l'attività si manifesti dopo un breve intervallo dal momento della reiniezione"... "La comparazione dei dati di reiniezione ricevuti da Enel con quelli riguardanti gli eventi sismici accaduti nello stesso periodo, **non ha indicato nessun tipo di relazione**. Durante il periodo, infatti, le operazioni di reiniezione sono state costanti, e quindi non indicative di un possibile rapporto causa-effetto, facendo propendere per una spiegazione casuale dei fenomeni sismici con andamenti nel tempo del tutto imprevedibili."

...<<omissis>>...

"Nello stesso periodo su commissione della comunità Montana zona I-2, allo scopo di raccogliere maggiori informazioni sulla sismicità della zona, è stato assegnato alla società EDRA il compito di realizzare un monitoraggio sismico, il cui studio si è focalizzato in particolare sull'analisi delle forme d'onda sismica, interpretate come possibili indicatori del legame tra attività di reiniezione e sismicità.

Le osservazioni offerte nello studio in esame secondo l'INGV "non hanno rilevato una correlazione tra l'attività microsismica e la coltivazione del campo geotermico; le caratteristiche delle onde sismiche analizzate sono coerenti con quelle naturalmente presenti in altre aree vulcaniche, e determinate dalla fratturazione idraulica probabilmente connessa a variazioni di pressione dei fluidi all'interno delle fratture".

Pertanto, si rimarca che nessuna correlazione tra attività geotermica di produzione/reiniezione ed eventi microsismici è evidente nemmeno laddove è presente una faglia, così come cartografata dal CARG Regione Toscana, in corrispondenza dei pozzi di processo del Campo di Piancastagnaio.

Di seguito, inoltre, si riportano alcune considerazioni in merito al profilo stratigrafico del pozzo Paglia 1, distante meno di 1 km dal bordo settentrionale del PR "Casa del Corto" (Figura 1.4a), e a profili degli altri pozzi profondi ad esso più prossimi (Campo di Piancastagnaio).

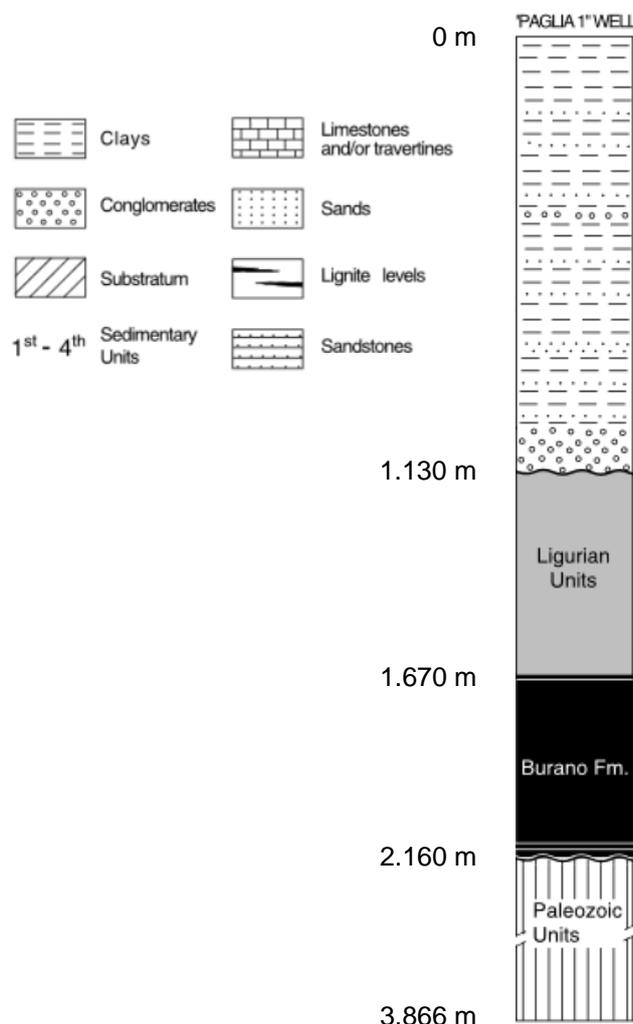
La stratigrafia del pozzo Paglia 1, di seguito riportata, mostra nella sua parte superiore un notevole spessore dei depositi neogenici (circa 1.100 m) che hanno riempito il bacino sedimentario del Graben di Radicofani formatosi nel Miocene Sup.-Pliocene.

Spessori significativamente ridotti dei sottostanti complessi geologici (Ligurian Units e Burano Fm., in Figura 1.4b) avrebbero potuto suggerire, il possibile

¹⁰ Amici della Terra, Firenze – Onlus (2008). "La risorsa geotermica per usi elettrici in Italia: Energia, Ambiente e Accettabilità sociale".

attraversamento da parte del pozzo stesso di indizi di fenomeni di fagliazione, comunque di difficile conferma. Eventuali faglie avrebbero potuto essere solo di età Pliocenica (risalenti a 4 - 5 Ma) poiché non presenti nei depositi più recenti in superficie.

Figura 1.4b Stratigrafia pozzo Paglia 1 (da Bonini & Sani, 2002¹¹)



Nel pozzo Paglia 1, gli spessori dei sottostanti complessi geologici, che regionalmente presentano naturali variazioni laterali, non sono molto diversi da quelli osservabili nelle stratigrafie dei pozzi profondi del vicino Campo Geotermico di Piancastagnaio.

Nella seguente *Tabella 1.4a* sono riportati i dati stratigrafici dei pozzi profondi: Piancastagnaio 11, Piancastagnaio 44, Piancastagnaio 36, Piancastagnaio 30 e Piancastagnaio 27. La loro ubicazione è riportata nella precedente *Figura 1.4a*.

¹¹ Bonini M. & Sani F., 2002. *Extension and compression in the Northern Apennines (Italy) hinterland: Evidence from the late Miocene-Pliocene Siena-Radicofani Basin and relations with basement structures.* June 2002 *Tectonics* 21(3) - DOI10.1029/2001TC900024;

L'insieme delle pubblicazioni scientifiche che hanno considerato tali dati non hanno ipotizzato, all'interno del PR "Casa del Corto", alcun fenomeno di fagliazione passato o recente.

Tabella 1.4a *Dati stratigrafici dei pozzi geotermici presenti nel Campo di Piancastagnaio*

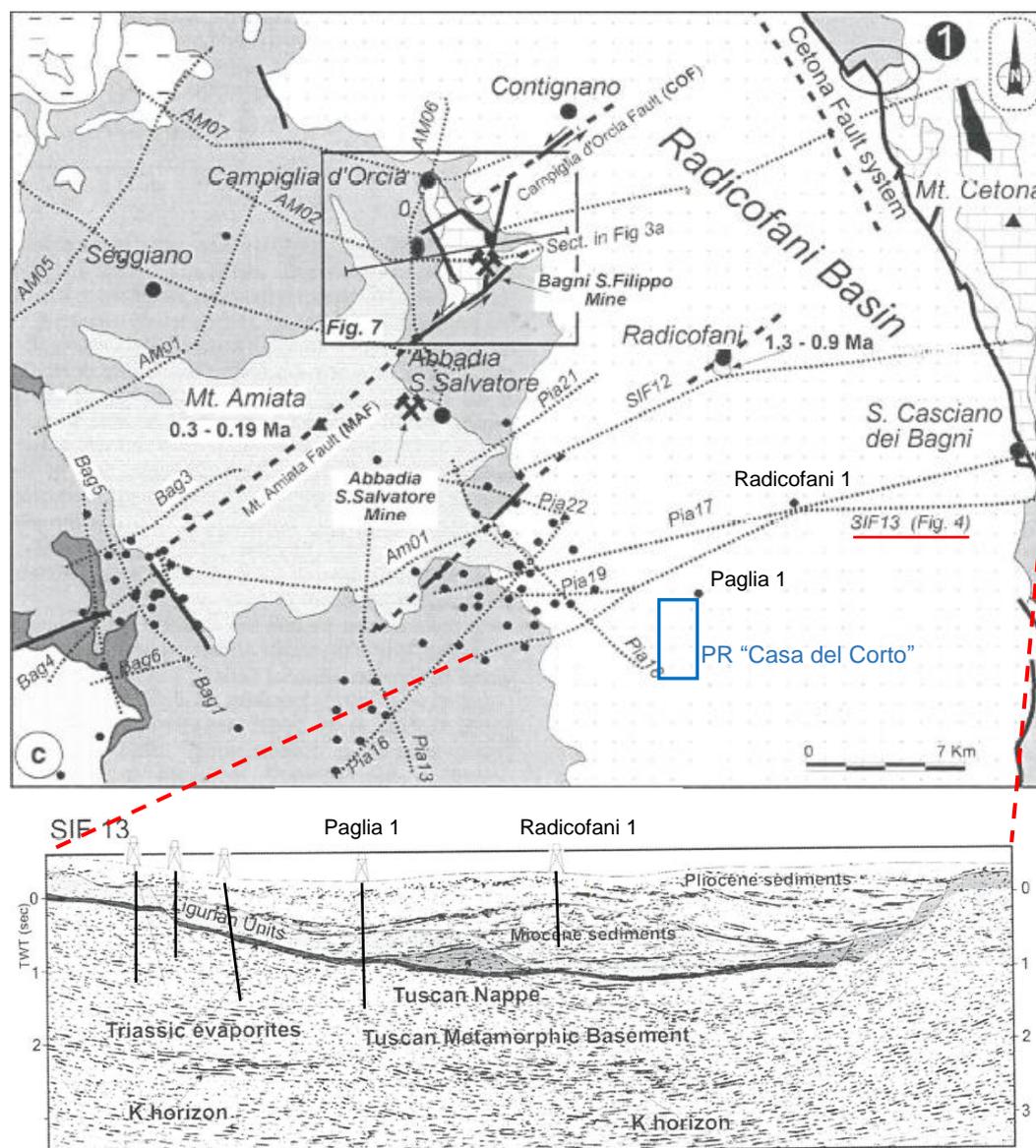
Pozzo	Cod	Quota in m s.l.m.	Strati	Da (m da p.c.)	a (m da p.c.)	Formazioni Geologiche
PIANCASTAGNAIO 11	PC_11	435	1	0	467	Liguridi s.l.
			2	467	561	Form. Del Calcare Cavernoso
PIANCASTAGNAIO 27	PC_27	400	1	0	550	Argille
			2	550	660	Argille e Sabbie
			3	660	990	Argille a Palombini
			4	990	1.190	Form. Calcare Cavernoso
			5	1.190	1.260	Gruppo del Verrucano
			6	1.260	1.735	Form. del Farma
			7	1.735	2.300	Filladi Cloritiche
			8	2.300	2.661	Form. del Farma
PIANCASTAGNAIO 30	PC_30	446	1	0	70	Argille
			2	70	400	Form. Calcari a Palombini
			3	400	448	Form. S. Fiora
			4	448	1.270	Form. Calcare Cavernoso
			5	1.270	3.340	Form. del Farma
			6	3.340	3.565	Calcare Termometamorfico
PIANCASTAGNAIO 36	PC_36	690	1	0	100	Calcari a Palombini
			2	100	500	Gruppo Form. S. Fiora
			3	500	1.220	Breccia Anidriti e Dolomie
			4	1.220	1.350	Gruppo Form. del Verrucano
			5	1.350	2.223,7	Form. del Farma
PIANCASTAGNAIO 44	PC_44	380	1	0	220	Argille e Conglomerati
			2	220	555	Argille Siltose
			3	555	937	Calcari Dolomitici, Anidriti

Per completezza ed a conferma di quanto sopra esposto si riportano alcuni lavori scientifici disponibili in bibliografia.

Nella seguente *Figura 1.4c* è riportata un'interpretazione del profilo sismico SIF13, passante poco a Nord del limite settentrionale del PR "Casa del Corto" (da Brogi & Fabbrini, 2009¹²)

Come visibile, secondo gli autori il profilo sismico non mostra la presenza di alcuna fagliazione in prossimità del pozzo Paglia 1 e tantomeno nell'area interessata dal PR in oggetto.

Figura 1.4c Interpretazione del profilo sismico SIF13 (da Brogi & Fabbrini, 2009) passante a Nord del PR "Casa del Corto" (in blu).

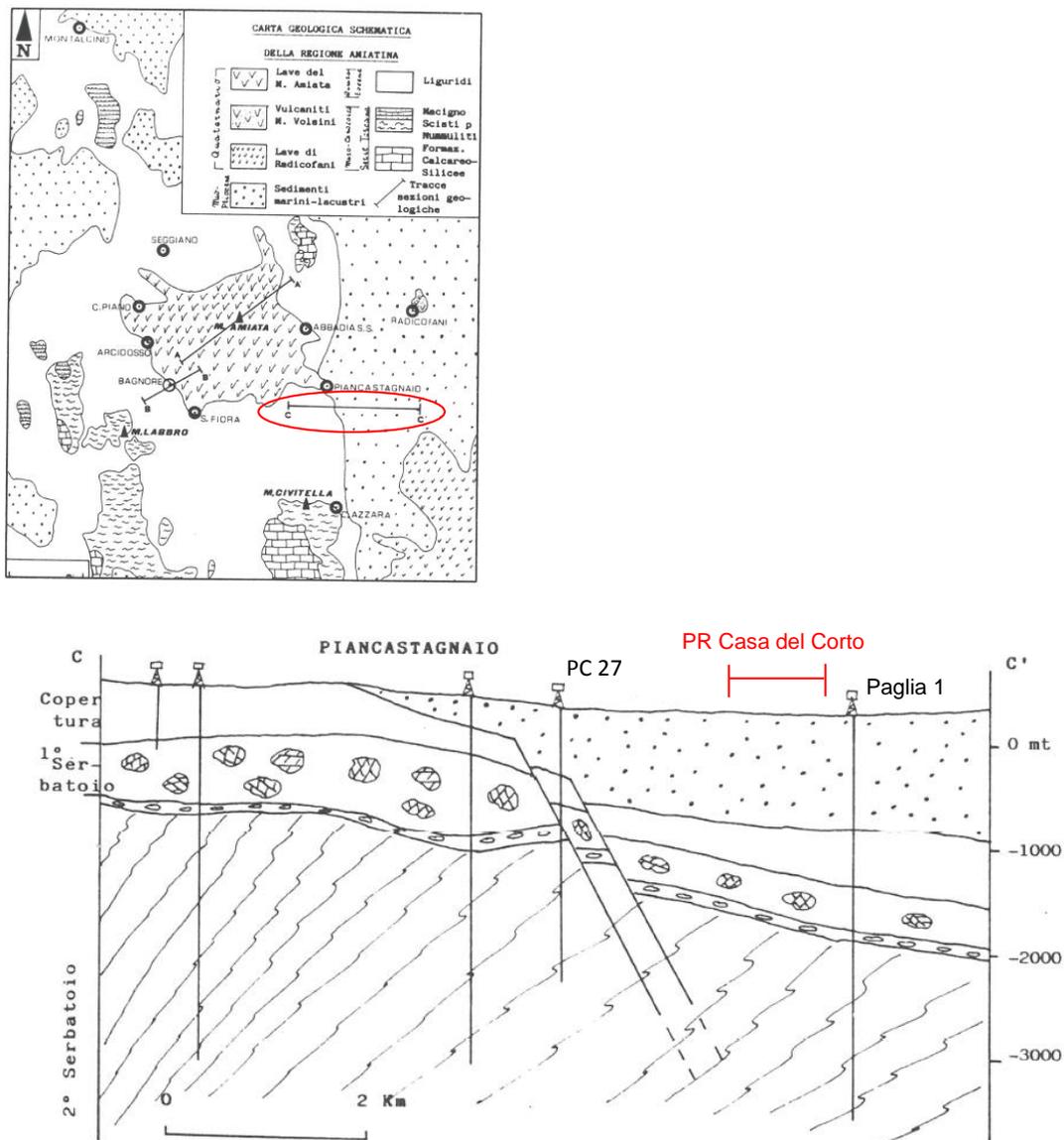


Anche la seguente sezione geologica interpretativa (*Figura 1.4d*), passante a Sud dell'abitato di Piancastagnaio ed orientata W-E (*Franceschelli M. et al.*,

¹² Brogi A. & Fabbrini L., 2009. Extensional and strike-slip tectonic across the Monte Amiata-Monte Cetona transect (Northern Apennines, Italy) and seismotectonic implications. *Tectonophysics* (2009), doi:10.1016/j.tecto.2009.02.020.

1988¹³; Gianelli G. et al., 1988¹⁴), pur riportando indicativamente alcune faglie ai fini della correlazione stratigrafico strutturale laterale (ribassamento del graben Mio - Pliocenico di Radicofani), non mostra alcuna presenza di fagliazioni in prossimità del pozzo Paglia1 ed all'interno della porzione di sottosuolo interessata dal PR "Casa del Corto" e dai relativi pozzi in progetto.

Figura 1.4d Sezione Geologica a Sud di Piancastagnaio orientata W-E (mod. da Franceschelli M. et al., 1988; Gianelli G. et al., 1988)



¹³ Franceschelli M., Lovari F., Pandeli E., 1988. Area geotermica del Monte Amiata. *Amiata Storia e Territorio, Rivista Quadrimestrale di Studi e Ricerche sul Territorio Amiatino*. Anno I – Luglio 1988, pp 36-40.

¹⁴ Gianelli G., Puxeddu M., Batini F., Bertini G., Dini I., Pandeli E., Nicolich R., 1988. Geological model of a young volcano-plutonic system: the geothermal region of Monte Amiata (Tuscany, Italy). *Geothermics*, Vol. 17, No.5/6, pp. 719-734, 1988.

CONCLUSIONI

Per quanto esposto ai punti precedenti, si può ragionevolmente assumere che all'interno del PR Casa del Corto e nell'intervallo storico-temporale analizzato non sono stati registrati eventi sismici.

Gli eventi sismici caratterizzati da profondità ipocentrali entro 2.5 km mostrano una ricorrenza di accadimento inferiore all'1%; tale ricorrenza di accadimento è stata riscontrata sia per gli eventi con $M \geq 3.0$ (vedi precedente *Tabella 1.1a*) che per l'insieme della sismicità storica rilevata in un raggio di 30 km dal PR in oggetto (vedi *Figura 2.3c* dell'*Allegato 5* al *Progetto Definitivo*).

La stragrande maggioranza dei terremoti storici registrati nell'area in esame ha invece una ricorrenza ipocentrale compresa tra 7 e 8 km (*Batini et al., 1990; Moia, 2008¹⁵*).

Pertanto, gli eventi sismici prevalenti presentano nell'area in esame una profondità ipocentrale maggiore rispetto alla profondità verticale dei pozzi di progetto, che raggiungono invece solo i 2.000 m dal piano campagna.

Inoltre, come riportato al *Paragrafo 1.2* del presente documento, considerando che la magnitudo momento massima della eventuale sismicità dovuta all'esercizio dell'impianto geotermico di "Casa del Corto" è stata stimata pari a $M = - 0.47$ (dopo 50 anni di re-iniezione), allo stato attuale delle conoscenze si possono escludere importanti fenomeni di sismicità indotta.

Infine, come argomentato al *Paragrafo 1.4* del presente documento, i lavori scientifici (Progetto ITACHA, ISPRA) e le pubblicazioni disponibili (*Brogi & Fabbrini, 2009; Bonini & Sani, 2002; Franceschelli M. et al., 1988; Gianelli G. et al., 1988*) relativamente all'area di progetto, non evidenziano la presenza di alcuna faglia all'interno del perimetro del Permesso di Ricerca "Casa del Corto".

Comunque si ribadisce che, come riportato all'Allegato 8 delle Integrazioni, in ottemperanza alle "Linee Guida per l'utilizzazione della Risorsa Geotermica a media e alta entalpia" (*MiSE, 2016*), la società SVOLTA GEOTERMICA SRL intende installare una rete locale per il monitoraggio sismico che sarà articolato in due fasi:

- Fase 1 - finalizzata alla registrazione della sismicità di fondo dell'area in esame per determinare il cosiddetto "bianco imperturbato". Questa fase avrà durata di circa 12 mesi a partire dall'installazione della rete microsismica e si

¹⁵ Moia F. (2008). "Individuazione ed applicazione di metodologie di monitoraggio di possibili fughe di CO2 dai serbatoi di stoccaggio". *Rapporto CESI, Area Produzione e Fonti Energetiche*.

protrarrà fino all'avvio delle attività di perforazione e relativi test di iniezione di fluidi geotermici;

- Fase 2 - consistente nel monitoraggio continuo, con elaborazione dati in realtime, a partire dall'inizio delle attività di perforazione e per tutto il successivo periodo di coltivazione.

Si precisa che la Fase 2, come da Linee Guida (*MiSE, 2016*), si protrarrà per almeno un anno dopo la conclusione delle attività di coltivazione.