

**Paolo Basile**

CN = Basile Paolo  
C = IT



IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO  
"CASTELGIORGIO"  
*PRESCRIZIONE A1F DEL MATTM*

Progetto No. P23\_ITW\_044

Doc. No. P23044-X-RL-0

REV.	DATA	PREPARATO DA	CONTROLLATO DA	APPROVATO DA
0	03-Lug-2024	V. Ciani	L. Favaro	P. Basile

Preparato per: ITW&LKW Geotermia Italia S.p.a.



STEAM srl  
Via Ponte a Piglieri 8  
Pisa 56121  
ITALY  
VAT no. IT01028420501

## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE .....	1
2	RISPOSTA ALLE PRESCRIZIONI.....	2
	2.1 A.1.F) REALIZZARE LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA DESCRITTA NELLO SIA CHE DOVRÀ ENTRARE IN FUNZIONE 6 MESI PRIMA DELL'INIZIO DELLE ATTIVITÀ DI COLTIVAZIONE DEL CAMPO GEOTERMICO. PRIMA DELL'INIZIO DEI LAVORI IL PROPONENTE DOVRÀ PRESENTARE AD ARPA UMBRIA, ARPA LAZIO E AL MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE UN DOCUMENTO IN CUI SONO DESCRITTI: - LA SOGLIA DI ALLARME PER LA SUBSIDENZA RAGGIUNTA PER LA QUALE SI DOVRANNO RIDURRE LE ATTIVITÀ E QUELLA PER CUI LE ATTIVITÀ DOVRANNO ESSERE SOSPESSE FINO AL RITORNO DELLA SUBSIDENZA AL DI SOTTO DELLA SOGLIA DI ALLARME. 2	
3	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	7

## INDICE TABELLE

Tabella 2.1.a- Esempi di Subsidenza internazionali (Bloomer A. & Currie S., 2001) .....	4
Tabella 2.1.b - Dati statistici relativi al tasso di deformazione verticale al suolo nell'Area Vasta di Studio (elaborazione su dati EGMS Ortho Vertical).....	5
Tabella 2.1.c - Intervalli o valori indicativi dei parametri di monitoraggio rilevati da utilizzare come riferimento per la definizione delle soglie di deformazione verticale .....	5

# 1

## INTRODUZIONE

Con Parere n. 1.092 del 22 maggio 2024, la Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale – VIA e VAS ha comunicato alla scrivente, che la documentazione atta alla verifica di ottemperanza delle condizioni ambientali A.1.f del D.M. n. 59 del 3 aprile 2015, relativa al progetto "Impianto Pilota Geotermico denominato Castel Giorgio da realizzarsi in Provincia di Terni, nel Comune di Castel Giorgio (TR)", non risultava totalmente ottemperata.

In particolare, relativamente alla definizione della *"soglia di allarme per la subsidenza, raggiunta la quale si dovranno ridurre le attività e quella per cui le attività dovranno essere sospese fino al ritorno della subsidenza al di sotto della soglia di allarme"*.

Il progetto in esame consiste nella realizzazione di un impianto geotermoelettrico pilota, con centrale di produzione elettrica a ciclo organico, capace di generare energia elettrica e calore, con assenza di emissioni in atmosfera, sfruttando come fonte di energia primaria fluidi geotermici altamente incrostanti. I fluidi geotermici, una volta utilizzati nell'impianto pilota, verranno reiniettati nelle formazioni di provenienza.

## 2 RISPOSTA ALLE PRESCRIZIONI

### 2.1 A.1.F) REALIZZARE LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA DESCRITTA NELLO SIA CHE DOVRÀ ENTRARE IN FUNZIONE 6 MESI PRIMA DELL'INIZIO DELLE ATTIVITÀ DI COLTIVAZIONE DEL CAMPO GEOTERMICO. PRIMA DELL'INIZIO DEI LAVORI IL PROPONENTE DOVRÀ PRESENTARE AD ARPA UMBRIA, ARPA LAZIO E AL MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE UN DOCUMENTO IN CUI SONO DESCRITTI: - LA SOGLIA DI ALLARME PER LA SUBSIDENZA RAGGIUNTA PER LA QUALE SI DOVRANNO RIDURRE LE ATTIVITÀ E QUELLA PER CUI LE ATTIVITÀ DOVRANNO ESSERE SOSPESSE FINO AL RITORNO DELLA SUBSIDENZA AL DI SOTTO DELLA SOGLIA DI ALLARME.

Il fenomeno della deformazione del suolo causato dalla coltivazione di risorse geotermiche è stato ampiamente studiato in diversi campi in Italia e nel mondo.

L'estrazione di fluidi endogeni dal sottosuolo, infatti, avendo ripercussioni sull'idrogeologia e sul regime locale degli stress sub-superficiali, può dar luogo a fenomeni di subsidenza la cui entità varia in funzione di vari parametri ed effetti causativi, i più importanti dei quali sono:

- il periodo temporale della coltivazione;
- la profondità di emungimento;
- le caratteristiche petrofisiche della formazione geologica costituente il potenziale serbatoio (litologia, proprietà meccaniche, porosità ecc.);
- le metodologie operative della coltivazione stessa.
- In particolare, è stato evidenziato che i fenomeni più significativi di subsidenza si manifestano nei primi periodi della coltivazione e, soprattutto, quando non è prevista la tecnica della reiniezione.

A titolo informativo, si riporta uno stralcio conclusivo di quanto scrive, in merito alla subsidenza nel campo geotermico toscano di Larderello-Travale, l'associazione ambientalista *Amici della Terra* (2008): *"In conclusione quindi anche se la subsidenza rappresenta un effetto per così dire fisiologico dell'attività di estrazione, manifestandosi soprattutto nei primi periodi di coltivazione dei campi geotermici, le moderne tecniche di reiniezione insieme con un responsabile sfruttamento del sistema rappresentano, a oggi, efficaci misure per minimizzarne gli effetti e contribuire alla soluzione dei problemi ambientali connessi all'utilizzo energetico della risorsa"*.

I fenomeni di subsidenza nei campi geotermici in Italia sono generalmente molto meno evidenti di quelli rilevati nella coltivazione di campi ad idrocarburi.

Questo è certamente dovuto anche al fatto che le rocce litoidi costituenti i serbatoi dei campi geotermici italiani (formazioni carbonatiche e/o rocce metamorfiche) hanno generalmente parametri meccanici (modulo di Young, e di compressibilità in particolare) caratterizzati da valori sufficientemente elevati e tali da prevenire significativi effetti di subsidenza durante l'estrazione dei fluidi. Queste rocce sono quindi considerate dei buoni serbatoi geotermici dal punto di vista della stabilità meccanica.

Tutti i dati, ad oggi pubblicamente disponibili, sulla rilevazione della subsidenza nei campi geotermici italiani derivano da studi eseguiti da ENEL. Due recenti lavori, uno pubblicato da Enel (*Ciulli, Dini et al., 2005*) ed uno dall'*Università di Siena (2008)*, che ha utilizzato dati Enel nell'ambito di un accordo con la Regione Toscana, riportano i risultati di oltre 30 anni di rilevazioni eseguite nei campi geotermici di Travale-Radicondoli e del Monte Amiata.

Nel caso di Travale-Radicondoli, dove la coltivazione della risorsa geotermica è eseguita in sostanziale assenza di reiniezione, è stata rilevata una subsidenza massima di 50 cm che ha interessato solo una piccola area centrale di circa 1 km<sup>2</sup>, prossima ai pozzi di produzione. In 30 anni di coltivazione il rateo di subsidenza, che mediamente è di circa 1,7 cm/anno, è in effetti diminuito dagli iniziali 2,3 cm/anno a meno di 1,0 cm/anno, mentre la produzione di fluido è aumentata da 60 a 240 kg/s.

Nel caso del Monte Amiata, dove la coltivazione della risorsa geotermica è eseguita con la reiniezione parziale dei fluidi estratti, lo studio geo-strutturale, idrogeologico e ambientale condotto dall'*Università di Siena (2008)* ha messo a confronto i risultati delle livellazioni ottico-geometriche di elevato dettaglio eseguite dall'ENEL con le analisi interferometriche di immagini satellitari. Ovviamente sono stati utilizzati gli interferogrammi aventi la migliore sovrapposizione temporale con i rilievi ENEL.

Da tale studio è emerso che sulle aree amiatine particolarmente interessate dalla coltivazione della risorsa geotermica sussiste un sostanziale accordo tra i dati acquisiti con le due metodologie suddette e, in particolare:

- nella zona di Abbadia S.S., nel periodo 1994-2001, è stata rilevata una subsidenza massima di circa 2,0 cm, pari ad un rateo di deformazione di 0,29 cm/anno;
- nella zona di Bagnore, nel periodo 1992-2006, la subsidenza massima rilevata è stata di circa 4,0 cm con analogo rateo di 0,29 cm/anno;
- nella zona di Piancastagnaio, per la quale sono disponibili dati ricoprenti un maggiore periodo d'osservazione (1988-2006), si ha la maggiore subsidenza rilevata nell'area Amiatina che ha raggiunto valori massimi di circa 7,0 cm, pari ad un rateo di deformazione di 0,36 cm/anno.

Sono comunque valori decisamente inferiori a quanto rilevato nell'area di Travale-Radicondoli che confermano come l'impiego della tecnica della reiniezione, anche se parziale come quella eseguita nelle suddette aree amiatine, rappresenti un effettivo ed efficace strumento di mitigazione delle deformazioni del suolo provocate dalla coltivazione dei campi geotermici.

Come noto, il progetto di coltivazione geotermica oggetto della presente relazione prevede la reiniezione integrale dei fluidi estratti. Tuttavia, al fine di monitorare eventuali effetti locali è stato comunque previsto un sistema di monitoraggio dei movimenti del suolo, per separare il contributo deformativo dovuto a processi naturali in corso, da quelli eventualmente causati dall'attività di estrazione e iniezione dei fluidi.

A titolo informativo si riportano in Tabella 2.1.a alcuni esempi internazionali di valori di subsidenza legati ad attività estrattive di fluidi dal sottosuolo.

Country	Location	Fluid tapped	Vertical max	Vertical now	Period	Horizontal	Ref
USA	Long Beach Wilmington	Oil	710 mm/yr ≈ 9 m total	0 or positive?	1938 - ~1960	3 m	1,8
USA	Lost Hills/ Belridge	Oil	400 mm/yr	400 mm/yr	~ 20 yr		1
USA	San Jose	Ground water	200 mm/yr ≈ 9 m total	~ 0	~ 60 yr		2
Mexico	Mexico City	Ground water	450 mm/yr ≈ 9 m total				7 8, 10
Japan	Tokyo, Osaka,	Ground water			1920 -		8, 10
China	Tianjin	Ground water	2.15 m total	0?	1959 -82		9
Italy	River Po delta	Ground water	300 mm/y	0?			8
Italy	Venice	Ground water	200 mm total	0?			8
Italy	Lardarello	Geothermal	27 mm/y (av)	10 mm/y	63 yr		3
Italy	Travale	Geothermal	25 mm/y	20 mm/y	-25 yr	10 mm/y	4,5
Mexico	Cerro Prieto	Geothermal	120mm/y				6

References

1. Fielding et al. (1998)
2. Galloway et al. (2001)
3. Dini et al. (1995)
4. Di Filippo et al. (1995)
5. Beinat et al. (1995)
6. Glowacka et al. (2000)
7. Terzhagi (1967)
8. Viets et al. (1979)
9. Quingzhi & Zioujun (1984)
10. Yamamoto and Kobayashi (1984)

**Tabella 2.1.a- Esempi di Subsidenza internazionali (Bloomer A. & Currie S., 2001)**

Come si può vedere dalla Tabella 2.1.a, in particolare per la massima deformazione verticale monitorata, i campi geotermici di Larderello e Travale presentano valori compresi tra 25 e 27 mm/anno, valori notevolmente inferiori rispetto anche ad attività estrattive a scopo idropotabile presenti per esempio in Pianura Padana.

Tali valori si sono stabilizzati negli anni, con gli impianti a regime, raggiungendo i 10-20 mm/anno di variazione verticale del suolo.

Si specifica che tali valori di subsidenza, non provocano e non hanno provocato alcun tipo di effetto sulle costruzioni e/o sulle opere civili presenti sui territori.

Questi sono i valori comuni e reali legati pertanto all'attività geotermica sui quali si può e si deve basare la definizione delle soglie di allarme.

Inoltre, come riportato nella precedente relazione, alla quale si rimanda per dettagli, si è proceduto a calcolare i dati statistici relativi al rateo di deformazione per l'Area Vasta di Studio, riportati nella tabella seguente:

Tasso di deformazione verticale (mm/anno) – Area Vasta di Studio (900 km <sup>2</sup> )	
N. punti di misura	7.616
Media	-0,57
Minimo	<b>-10,9</b>
Massimo	6,3
Mediana	-0,4
Moda	-0,3

**Tabella 2.1.b - Dati statistici relativi al tasso di deformazione verticale al suolo nell'Area Vasta di Studio (elaborazione su dati EGMS Ortho Vertical).**

Come si evince dalla Tabella 2.1.b, anche in assenza dell'impianto in oggetto, sono stati monitorati valori di deformazione verticale del suolo molto superiori ai 3 mm/anno (valore di soglia suggerito dal Parere n. 1.092 del 22 maggio 2024). Infatti, nel periodo di riferimento (2018-2022) sono stati monitorati delle variazioni verticali del suolo superiori a **10 mm/anno**.

Pertanto, in accordo con l'analisi dello stato deformativo verticale ante-operam, analizzato per l'area di studio, ed in accordo con i dati bibliografici relativi ai campi geotermici italiani in coltivazione da diversi decenni, in Tabella 2.1.c vengono riportati i due intervalli e valori di riferimento, così come richiesti nel Parere n. 1.092 del 22 maggio 2024, che possono essere adottati coerentemente con il progetto in esame.

Soglia di Allarme	Deformazione verticale (Dv)(mm/anno)	Misure
1	$Dv \geq \pm 20$	Superata la quale le attività dovranno essere ridotte
2	$Dv \geq \pm 30$	Superata la quale le attività dovranno essere sospese fino al recupero di un tasso di subsidenza inferiore a quello della soglia minore.

**Tabella 2.1.c - Intervalli o valori indicativi dei parametri di monitoraggio rilevati da utilizzare come riferimento per la definizione delle soglie di deformazione verticale**

In particolare:

- per la Soglia di Allarme 1 è stato considerato un valore di Dv maggiore di quello già monitorato nell'area di studio (10,9 mm/anno) e comunque inferiore al picco di Dv monitorato nei campi di Larderello e Travale (rispettivamente 25 e 27 mm/anno, vedi Tabella 2.1.a)
- Per la Soglia di Allarme 2 è stata considerata una deformazione verticale annua maggiore di ½ volta la soglia di Allarme 1, circa pari ai valori di picco monitorati nei campi geotermici sopra citati.

Si precisa inoltre, come già riportato all'interno del documento Allegato D (Subsidenza) allo SIA, che eventuali variazioni del livello di suolo saranno apprezzabili arealmente esclusivamente nelle immediate vicinanze dei pozzi.

Il valore di variazione verticale del suolo previsto, pari a 20 mm/anno ovvero 2 cm/anno, è inoltre coerente con quanto già valutato in un altro progetto geotermico da 5 MW, di competenza ministeriale, denominato Casa del Corto ed afferente alla società Svolta Geotermica srl. Infatti, nell'ambito di tale progetto era stata effettuata una modellazione preliminare mediante il codice Comsol Multiphysics® che aveva restituito il valore assoluto di 2 cm/anno come variazione verticale del terreno sia nell'area di produzione (variazione negativa) che nell'area di reiniezione (variazione positiva) durante la coltivazione del sistema geotermico.

Tali valori di soglie di deformazione verticale saranno comunque concordati con il settore competente delle Regioni/Ministero di Competenza durante le fasi operative dell'impianto, ed a seguito della definizione di ulteriori parametri meccanici delle rocce derivanti dai test di pozzo.

Inoltre, negli anni successivi la messa in esercizio dell'impianto in progetto, potrà essere valutata una revisione di tali valori soglia (in diminuzione) a seguito della stabilizzazione del sistema geotermico interessato dalla coltivazione.

Preme precisare che ITW-LKW si rende disponibile a rendere i dati, via via registrati, facilmente accessibili agli enti preposti al controllo, per loro valutazione, analisi e revisione. A seguito della validazione da parte degli enti di controllo saranno redatti report fruibili alla cittadinanza analogamente a quanto previsto per i dati derivanti dal monitoraggio sismico e microsismico.

Infatti, come indicato nelle Linee Guida del Ministero, tutti i dati acquisiti ed elaborati, durante il monitoraggio sismico/microsismico, saranno forniti non solo all'Amministrazione competente e agli Enti eventualmente individuati dalla stessa, ma anche alla struttura preposta al monitoraggio (SPM) di comprovata esperienza in materia indicata dal MASE come proprio organo tecnico. Infine, tutti i risultati riportati nel bollettino sismico verranno comunque inseriti in una banca dati dedicata, il cui accesso verrà consentito a tutte le strutture pubbliche interessate che ne facciano richiesta.

### 3

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

*Bell J. W., Amelung F., Ferretti A., Bianchi M., Novali F. (2008) - Permanent Scatterer InSAR reveals seasonal and long-term aquifer system response to groundwater pumping and artificial recharge - Water Resources Research, Vol. 44, February 2008, pp 1-18;*

*Bloomer A. & Currie S., 2001. Effect of Geothermal Induced Subsidence. Proceedings 23<sup>rd</sup> NZ Geothermal Workshop, 2001.*

*Bozzano F., Esposito C., Franchi S., Mazzanti P., Perissin D., Rocca A. & Romano E. (2015) - Understanding the subsidence process of a quaternary plain by combining geological and hydrogeological modeling with satellite InSAR data: the acque albule plain case study - Remote Sensing of Environment, 168C, 219-238, DOI: 10.1016/j.rse.2015.07.010;*

*Bozzano F., Esposito C., Franchi S., Mazzanti P., Perissin D., Rocca A., Romano E., (2015) - Analysis of a Subsidence Process by Integrating Geological and Hydrogeological Modelling with Satellite InSAR Data. - Engineering Geology for Society and Territory, Volume 5, Springer International Publishing, Switzerland, pp. 155-159.*

*Burgmann R., Hilley G., Ferretti A., Novali F. (2006) - Resolving vertical tectonics in the San Francisco Bay Area from permanent scatterer InSAR and GPS analysis - Geology, March 2006, Volume 34, N. 3, pp. 221-224;*

*Ciulli B., et al. WGC 2005 - Interpreting Ground Deformation and Microgravity Changes in the Travale-Radicondoli Geothermal Field (Italy) - Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 24-29 April 2005;*

*De Agostini Anna. (2012) - L'utilizzo dell'Interferometria Radar Satellitare nella caratterizzazione dei fenomeni franosi a differenti scale d'indagine - Tesi PHD, Scuola di Dottorato di ricerca in Scienze della Terra, Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova;*

*Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2000) - Nonlinear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry. IEEE - Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 38, NO. 5, September 2000, pp 2202 – 2212;*

*Ferretti A., Colesanti C., Prati C., Rocca F. (2001) - Comparing GPS, Optical Levelling and Permanent Scatterers. Proceedings of the IEEE - International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGAARS 2001, Sydney (Australia), 9-13 July 2001, Vol. 6, pp 2622-2624, 2001;*

*Klemm H., Quseimi I., Novali F., Ferretti A., Tamburini A. (2010) - Monitoring Horizontal and Vertical Surface Deformation over a Hydrocarbon Reservoir by PSInSAR™ - First Break, Vol. 28, 2010;*

*Luzi G. (2010) - Ground based SAR interferometry: a novel tool for Geoscience. - Geoscience and Remote Sensing New Achievements, pp. 1-26;*

Massonet D. & Fiegl K.L. (1998) - *Radar Interferometry and its application to changes in the earth's surface. Reviews of Geophysics, 36(4), pp. 441-500;*

Mazzanti P. (2011) - *Displacement Monitoring by Terrestrial SAR Interferometry for Geotechnical Purposes. - Geotechnical instrumentation news (Giugno 2011), pp. 25-28;*

Peltier A., Bianchi M., Kaminski E., Komorowski J. C., Rucci A., Staudacher T. (2010) *PSInSAR™ as a new tool to monitor pre-eruptive volcano ground deformation: Validation using GPS measurements on Piton de la Fournaise. - Geophysics Research Letters, Vol. 37, L12301, doi: 10.1029/2010GL043846, 2010;*

Pigorini A., Ricci M., Sciotti A., Giannico C., Tamburini A. (2010) - *La tecnica PSInSAR™ di telerilevamento satellitare applicata al progetto ed alla realizzazione delle infrastrutture ferroviarie - Ingegneria Ferroviaria anno LXV Ottobre 2010 numero 10 pag 729;*

Rocca A., Perissin D., Mazzanti P., Bozzano F., 2013. *Monitoring ground instability in wide areas and single-building cases by means of satellite A-DInSAR - GEOTECHNICAL DIVISION 33RD ANNUAL SEMINAR "Geotechnical Aspects of Housing Supply and Development", Hong Kong, 31 May 2013, pp. 181-186;*

UniSi, (2008) - *Studio Geostrutturale, idogeologico e geochimico ambientale dell'area Amiatina.*

- "Linee guida per l'analisi di dati interferometrici satellitari in aree soggette a dissesti idrogeologici", redatte nell'ambito del progetto di copertura interferometrica nazionale "Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A)". Autori vari, dicembre 2009. Link: <http://www.pcn.minambiente.it/GN/images/documenti/leggi/LINEE%20GUIDA%20PER%20ANALISI%20DI%20DATI.pdf>

- "Nota sintetica per la comprensione del dato satellitare PSInSAR e Squeesar", progetto RiskNat-Alcotra. Autori vari. Link: [http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/RiskNat/doc/NOTA%20SINTETICA\\_PSInSAR.pdf](http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/RiskNat/doc/NOTA%20SINTETICA_PSInSAR.pdf)

- "Analisi dei fenomeni di subsidenza nel bacino del fiume Arno mediante interferometria radar". Canuti et al., 2006. Link: <https://www.aigaa.org/AIGA/public/GGA.2006-04.0-17.0145.pdf>

- "Nuove tecnologie radar per il monitoraggio delle deformazioni superficiali del terreno: casi di studio in Sicilia". Casagli et al., 2009. Link: [https://www.researchgate.net/publication/233859531\\_Nuove\\_tecnologie\\_radar\\_per\\_il\\_monitoraggio\\_delle\\_deformazioni\\_superficiali\\_del\\_terreno\\_casi\\_di\\_studio\\_in\\_Sicilia](https://www.researchgate.net/publication/233859531_Nuove_tecnologie_radar_per_il_monitoraggio_delle_deformazioni_superficiali_del_terreno_casi_di_studio_in_Sicilia)

- "Persistent scatterer interferometry". Crosetto et al., 2016, link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271615002415>

- "Permanent scatterers in SAR interferometry". Ferretti et al., 2001, link: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/898661/>

- "A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR". Ferretti et al., 2011, link: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5765671/>
- "Applications of SAR Interferometry in Earth and Environmental Science Research". Zhou et al., 2009, link: <https://www.mdpi.com/1424-8220/9/3/1876/htm>
- "Monitoring landslides and tectonic motions with the Permanent Scatterers Technique". Colesantiet al., 2003, link: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795202001953>
- "Landslide Types and Processes". Cruden & Varnes, 1996, pdf disponibile su researchgate.net