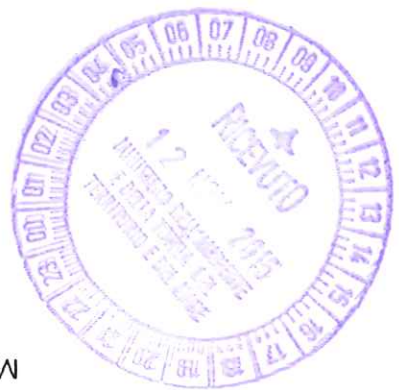


Prot. n. 22. U. del 06/10/2015



Spett.le
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Direzione generale per le valutazioni ambientali
Divisione II - Sistemi di Valutazione Ambientale
Via Cristoforo Colombo, 44
00147 Roma
Fax 06/57225994
dsalvaguardia.ambientale@pec.miniambiente.it

Spett.le ARPA Umbria
Via Pieveole 207/B-3
06132 - Perugia
protocollo@cert.arpa.umbria.it

Spett.le ARPA Lazio
Via Boncompagni, 101
00187 - Roma
direzione.gen.rm@arpalazio.it

OGGETTO: Istanza per l'avvio della procedura di verifica di ottemperanza alle prescrizioni A.1 f), A.1 g), A.1 h)
contenute nel provvedimento di VIA n. 000059 del 3 aprile 2015, ai sensi dell'art.28 del D.Lgs.152/2006 e s.m.i., relativa al progetto geotermico pilota Castel Giorgio

Il sottoscritto

Giorgio Garrone

in qualità di legale rappresentante dell'Ente/Società

ITW&LKW Geotermia Italia spa

con sede legale in:

**TORINO, P.zza Statuto, 16 - telefono 06.42029461, fax 06.48905185,
indirizzo di posta elettronica certificata: itwgeotermiaitalia@legalmail.it**

richiede l'avvio della procedura in oggetto relativamente alle seguenti prescrizioni contenute nel provvedimento di VIA n.000059 del 3 aprile2015, la cui verifica è posta a carico di codesta Amministrazione:



ITW LKW GEOFERMIA ITALIA s.p.a. Sede Legale Piazza Statuto, 16 - 10122 Torino P.IVA 11173231009
Capitale Sociale EURO 1.000.000,00 I.v. Numero REA: TO- 1144269
Sede amministrativa - Via di Porta Pinciana n. 4 00187 Roma -
Tel +39 06 42020461 Fax +39 06 48905185 E-mail - info@itwkwgeotermia.it

ITW LKW GEOTERMIA ITALIA s.p.a. Sede Legale Piazza Statuto, 16 - 10122 Torino P.IVA 11173231009
 Capitale Sociale EURO 1.000.000,00 I.v. Numero REA: TO - 1144269
 Sede amministrativa - Via di Porta Pinciana n. 4 00187 Roma -
 Tel +39 06 42020461 Fax +39 06 48905185 E-mail - info@itwkwgeotermita.it

La documentazione trasmessa è composta di 3 copie in formato digitale predisposte conformemente alle "Specifiche tecniche per la predisposizione e la trasmissione della documentazione in formato digitale per le procedure di VAS e VIA ai sensi del D.Lgs 152/2006 e s.m.i." del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare per un totale di n. 3 supporti/informativi e di 1 copia in formato cartaceo.

Si trasmette in allegato alla presente:
 1) Risposta alle prescrizioni A.1 f) - g) - h):

Testo integrale della prescrizione come riportato nel provvedimento di VIA	Prescrizione n.
<p>A.1 f)</p> <p>Rcalizzare la rete di monitoraggio della subsidenza descritta nel SIA(basata su misure radar/interferometriche da satellite del tipo InSAR) 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 ed al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare un documento in cui sono descritti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - il numero e la posizione degli scatter permanenti che si posizioneranno nell'area (uno almeno per ogni posizione dei pozzi) - la soglia di allarme per la subsidenza ragguantata la quale si dovranno ridurre le attività e quella per cui le attività dovranno essere sospesa sino al ritorno della subsidenza al di sotto della soglia di allarme. 	<p>A.1 g)</p> <p>Dovrà essere presentato al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare un modello geologico-strutturale validato da ISPRARPA Umbria con cui interpretare la deformazione verticale ed orizzontali che si dovessero presentare al fine di valutare la presenza di istressi nella deformazioni rivelate, eventuali faglie critiche ed eventuali accumuli di stress.</p>
<p>A.1 h)</p> <p>Dovrà essere presentato ad ARPA Umbria ARPA Lazio ed al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, una volta all'anno ed ogni volta che si dovessero raggiungere i livelli di allarme la mappa delle deformazione verticale e orizzontale rilevate</p>	

Il sottoscritto è consapevole che il Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare pubblicherà sul portale delle Valutazioni ambientali VAS-VIA (www.va.minambiente.it) la documentazione trasmessa con la presente.

ITW & LKW
Geotermia Italia S.p.A.
Il Presidente
Dr. Giorgio CARONE
Giorgio Carone

Riferimenti per contatti:

Nome e Cognome: Dr. Diego Righini

Telefono: 3927035794 – 06.42020461 Fax 06.48905185

E-mail: righini@itwkwgeotermia.it

ITW LKW GEOTERMIA ITALIA s.p.a. Sede Legale Piazza Statuto, 16 - 10122 Torino P.IVA 11173231009
Capitale Sociale EURO 1.000.000,00 I.V. Numero REA: TO-1144269
Sede amministrativa - Via di Porta Pinciana n. 4 00187 Roma -
Tel +39 06 42020461 Fax +39 06 48905185 E-mail – info@itwkwgeotermia.it

ITW LKW GEOTERMIA ITALIA S.p.a. Sede Legale Piazza Statuto, 16 - 10122 Torino P.IVA 11173231009
Capitale Sociale EURO 1.000.000,00 i.v. Numero REA: TO - 1144269
Sede amministrativa - Via di Porta Pinciana n. 4 00187 Roma -
Tel +39 06 42020461 Fax +39 06 48905185 E-mail - info@itwkwgeotermia.it

Prot. n. 22. U. del 06/10/2015

Spett.le
Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Direzione generale per le valutazioni ambientali
Divisione II - Sistemi di Valutazione Ambientale
Via Cristoforo Colombo, 44
00147 Roma
Fax 06/57225994
dgsalvaguardia.ambientale@pec.miniambiente.it

Spett.le ARPA Umbria
Via Pieveole 207/B-3
06132 - Perugia
protocollo@cert.arpa.umbria.it

Spett.le ARPA Lazio
Via Boncompagni, 101
00187 - Roma
direzione.gen.rm@arpalazio.it

OGGETTO: Istanza per l'avvio della procedura di verifica di ottemperanza alle prescrizioni A.1 f), A.1 g), A.1 h)

contenute nel provvedimento di VIA n. 000059 del 3 aprile 2015, ai sensi dell'art.28 del D.Lgs.152/2006 e s.m.i., relativa al progetto geotermico pilota Castel Giorgio

Il sottoscritto

Giorgio Garrone

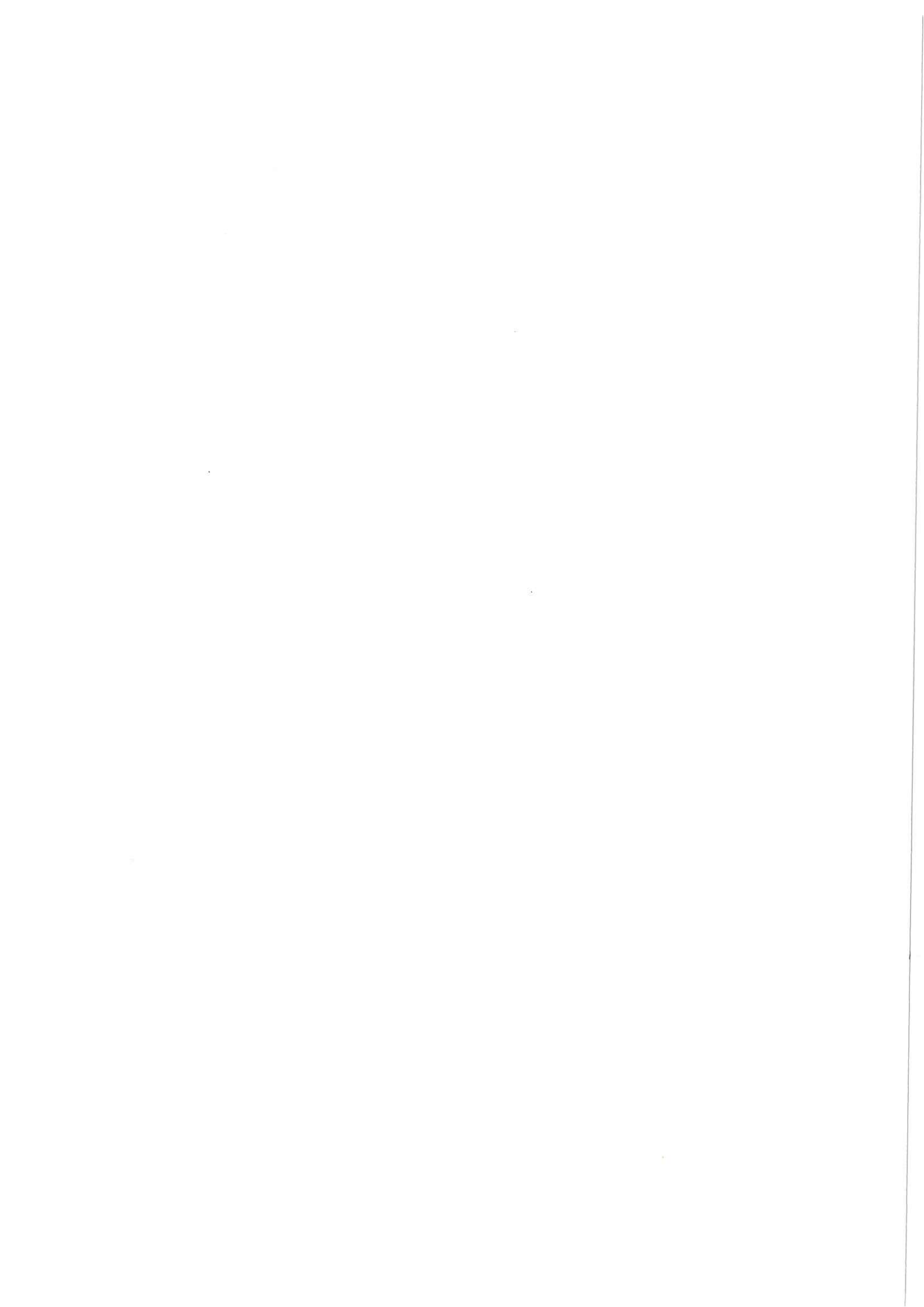
in qualità di legale rappresentante dell'Ente/Società

ITW&LKW Geotermia Italia spa

con sede legale in:

**TORINO, P.zza Statuto, 16 - telefono 06.42029461, fax 06.48905185,
indirizzo di posta elettronica certificata: itwgeotermiaitalia@legalmail.it**

richiede l'avvio della procedura in oggetto relativamente alle seguenti prescrizioni contenute nel provvedimento di VIA n.000059 del 3 aprile2015, la cui verifica è posta a carico di codesta Amministrazione:



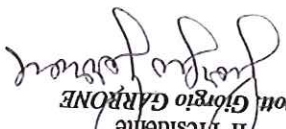
bb

La documentazione trasmessa è composta di 3 copie in formato digitale predisposte conformemente alle "Specifiche tecniche per la predisposizione e la trasmissione della documentazione in formato digitale per le procedure di VAS e VIA ai sensi del D.Lgs 152/2006 e s.m.l." del Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare per un totale di n. 3 supporti/ informatici/ e di 1 copia in formato cartaceo.

Si trasmette in allegato alla presente:
 1) Risposta alle prescrizioni A.1 f) – g) – h);

Testo integrale della prescrizione come riportato	Prescrizione n.
<p>Realizzare la rete di monitoraggio della subsidenza descritta nel SIA(basata su misure radar/Interferometriche da satellite del tipo InSAR) 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 ed al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare un documento in cui sono descritti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - il numero e la posizione degli scatter permanenti che si posizioneranno nell'area (uno almeno per ogni posizione dei pozzi) - la soglia di allarme per la subsidenza raggiunta la quale si dovranno ridurre le attività e quella per cui le attività dovranno essere sospesa sino al ritorno della subsidenza al di sotto della soglia di allarme. 	<p>A.1 f)</p>
<p>Dovrà essere presentato al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare un modello geologico-strutturale validato da ISPRA e ARPA Umbria con cui interpretare le deformazione verticali ed orizzontali che si dovessero presentare al fine di valutare la presenza di istressi nella deformazioni rivelate, eventuali faglie critiche ed eventuali accumuli di stress.</p>	<p>A.1 g)</p>
<p>Dovrà essere presentato ad ARPA Umbria ARPA Lazio ed al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, una volta all'anno ed ogni volta che si dovessero raggiungere i livelli di allarme la mappa delle deformazione verticale e orizzontale rilevate</p>	<p>A.1 h)</p>

Il sottoscritto è consapevole che il Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare pubblicherà sul portale delle Valutazioni ambientali VAS-VIA (www.va.minambiente.it) la documentazione trasmessa con la presente.

ITW & LKW
Geotermia Italia S.p.A.
Il Presidente
Don Giorgio GARRONE


Riferimenti per contatti:

Nome e Cognome: Dr. Diego Righini

Telefono: 3927035794 – 06.42020461 Fax 06.48905185

E-mail: righini@itwkwgeotermia.it

ITW LKW GEOTERMIA ITALIA s.p.a. Sede Legale Piazza Statuto, 16 -10122 Torino P.IVA 11173231009
Capitale Sociale EURO 1.000.000,00 I.v. Numero REA: TO- 1144269
Sede amministrativa - Via di Porta Pinciana n. 4 00187 Roma -
Tel +39 06 42020461 Fax +39 06 48905185 E-mail – info@itwkwgeotermia.it

Allegato all'istanza di verifica
prescrizioni A.1) f), g), h)



GEOTERMIA ITALIA S.p.a.

IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO CASTEL GORGIO

Prescrizioni VIA A.1 lettere A.1. f), A.1. g), A.1. h)

Rete di monitoraggio della subsidenza

1. Premessa

Con provvedimento del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATM), di concerto con il Ministro dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, registrazione 59 del 3 aprile 2015, è stato approvato con prescrizioni il decreto di compatibilità ambientale relativo all'impianto geotermico in oggetto.

Alcune delle prescrizioni (A.1. f, g, h) di seguito trascritte, prevedono la realizzazione di una rete di monitoraggio della subsidenza.

M. P. ...

f) Realizzare la rete di monitoraggio della subsidenza descritta nel SIA (basata su misure radar/interferometriche da satellite del tipo InSAR) 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 ed al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare un documento in cui sono descritti il numero e la posizione degli scartri permanenti che si posizioneranno nell'area (uno almeno per ogni posizione dei pozzi)

- la soglia di allarme per la subsidenza raggiunta la quale si dovranno ridurre le attività e quella per cui le attività dovranno essere sospese sino al ritorno della subsidenza al di sotto della soglia di allarme.

g) Dovrà essere presentato al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare un modello geologico-strutturale validato da ISPRA e ARPA Umbria con cui interpretare le deformazioni verticali ed orizzontali che si dovessero presentare al fine di valutare la presenza di istress nella deformazioni rivelate, eventuali faglie critiche ed eventuali accumuli di stress

h) Dovrà essere presentato ad ARPA Umbria ARPA Lazio ed al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, una volta all'anno ed ogni volta che si dovessero raggiungere i livelli di allarme la mappa delle deformazioni verticali e orizzontali rilevate.

Le suddette prescrizioni sono state formulate dalla Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto Ambientale - VIA e VAS del MATTM, nel parere n° 1641 del 31/10/2014, allegato al suddetto decreto. Successivamente alla formulazione di questo parere, il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) ha pubblicato nel proprio sito web un documento intitolato "Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche", che è riprodotto nell'allegato 1, così come estratto dal sito web del MISE il 24 novembre 2014 e al quale si farà riferimento nel seguito come "Linee Guida MISE". Questi indirizzi e linee guida si riferiscono soprattutto al monitoraggio delle attività di estrazione, reiniezione e stoccaggio di idrocarburi, ma sono applicabili anche alla produzione di energia geotermica e relative attività minerarie.

Per quanto riguarda il monitoraggio della subsidenza (deformazioni del suolo) è opportuno rilevare che le Linee Guida MISE ricomprendono la prescrizione A.1 f) (monitoraggio basato su tecniche InSAR) e la estendono anche all'impiego di tecniche GPS.

Considerato che il MISE è l'autorità competente sia al rilascio di permessi, concessioni e autorizzazioni, sia alla vigilanza in materia di ricerca, produzione e reiniezione di fluidi

geotermici; considerato altresì che le Linee Guida MISE ricomprendono totalmente le prescrizioni della Commissione VIA e le ampliano, con indirizzi più specifici e precisi, si ritiene che la realizzazione e gestione della rete di monitoraggio della subsidenza debba essere conforme alle Linee Guida MISE.

Si precisa altresì che a breve verrà presentato al MATTM lo Studio d'Impatto Ambientale per il progetto geotermico pilota Torre Alfina, ubicato nella regione Lazio e contiguo al progetto Castel Giorgio. Si è pertanto ritenuto opportuno definire il piano di monitoraggio della subsidenza descritto nella presente nota, in modo da ricoprire entrambe le aree interessate dai due progetti.

Si segnala infine che il problema dell'eventuale subsidenza connessa allo sfruttamento del campo geotermico di Castel Giorgio-Torre Alfina è stato affrontato dalla scrivente società. In particolare è stato prodotto e consegnato al MATTM (allegato al SIA di Castel Giorgio) il rapporto tecnico intitolato "Subsidenza" (allegato 2), nel quale viene fornita una rassegna dei fenomeni di subsidenza nei campi geotermici toscani e nel mondo e viene discusso il caso specifico del campo geotermico di Torre Alfina.

2. Piano di monitoraggio della subsidenza

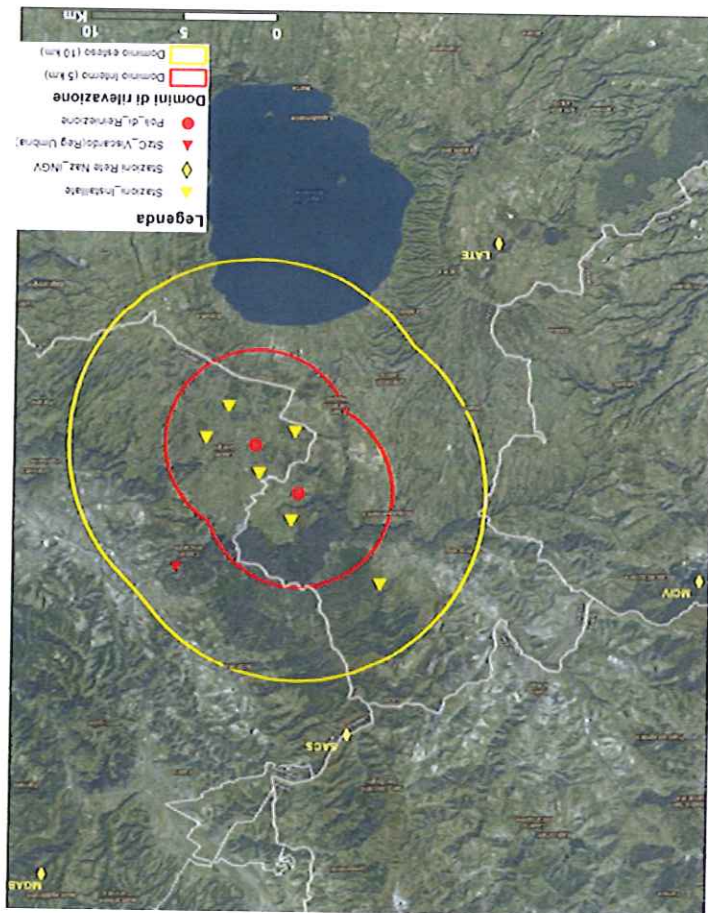
Si precisa che la struttura tecnica responsabile della realizzazione e gestione del monitoraggio della subsidenza è l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) di Roma che opera in base a una convenzione con la società scrivente. L'INGV rappresenta pertanto la SPM (Struttura Preposta al Monitoraggio) prevista nelle Linee Guida MISE.

Si ricorda che l'INGV svolge analoghe funzioni anche per il monitoraggio sismico e per il monitoraggio geochimico della falda acquifera e delle emissioni di CO₂ e H₂S.

L'obiettivo del piano è il monitoraggio delle deformazioni del suolo (subsidenza) nei domini interno ed esteso di rilevazione definiti nelle Linee Guida MISE e riportati in Figura 1, aventi una distanza rispettivamente di 5 e 10 km dal serbatoio geotermico, al fine di individuare eventuali movimenti del suolo con valori possibili di alcuni mm/anno sulle tre componenti Nord, Est e Verticale.

Considerati i tassi di deformazione superficiale attesi valutati sulla base di confronti con campi geotermici con caratteristiche molto più favorevoli a subsidenze (allegato 2), si ritiene che siano sufficienti accuratezze di misura di 5 mm/anno, per individuare eventuali effetti antropici dovuti allo sfruttamento, accuratezze che tuttavia saranno superate dai sistemi di monitoraggio previsti.

Figura 1. Limiti del dominio interno (linea rossa) e del dominio esteso (linea gialla) di rilevazione per i progetti geotermici Castel Giorgio-Torre Alfina. Sono anche indicate le stazioni sismiche già installate (triangoli gialli).



2.1. Metodologie di indagine

Le misure verranno effettuate attraverso metodologie geodetiche GPS e di telerilevamento SAR satellitare (InSAR).

2.1.1 Monitoraggio GPS

Le misure GPS di tipo geodetico, eseguite con strumenti a doppia frequenza con acquisizione in continuo e monumenti con standard internazionali (tipo UNAVCO) garantiscono accuratezze dell'ordine di 0.5 mm/anno sulle componenti planari dello spostamento e di 1 mm/anno sulla componente verticale. Con le attuali tecniche di analisi dati si può determinare la posizione della stazione GPS con accuratezze dell'ordine di alcuni millimetri nelle tre direzioni spaziali utilizzando 24 ore di osservazioni GPS continue e con accuratezze via via meno precise per determinazioni più frequenti (p.es. ogni 12, 6, 2 ore). Tali accuratezze permettono il monitoraggio continuo dei transienti e delle deformazioni lente del suolo, anche

La tecnica dei Permanent o Persistent Scatterers (PS, Ferretti et al., 2001), è basata sull'osservazione che un piccolo sottinsieme di bersagli radar, costituito da scatteratori persistenti, è poco sensibile ad effetti di decorrelazione temporale e mantiene invariata nel tempo l'informazione di fase contenuta nell'impulso radar. I PS sono tipicamente parti di edifici, strutture metalliche, rocce esposte, o più in generale tutti quegli elementi presenti sul suolo le cui caratteristiche elettromagnetiche non variano nel tempo. Al contrario, non sono PS tutti quegli elementi che variano nel tempo, come la vegetazione, i campi arati, ecc. L'elaborazione parte da uno studio statistico delle immagini, che porta ad una prima selezione di PS, per i quali viene calcolata la storia di fase interferometrica stimando nello stesso tempo gli effetti dovuti alle variazioni delle proprietà atmosferiche tra le varie immagini e la quota topografica nel punto.

Dalla storia di fase si ricava lo spostamento del PS nel tempo e quindi la serie temporale di deformazione e la velocità media nel periodo considerato.

I vantaggi principali delle tecniche InSAR risiedono nella capacità di investigare vaste aree di territorio (se coerenti).

I limiti della tecnica InSAR risiedono nella incapacità di ottenere misure su superfici che non sono stabili nel tempo, nella necessità di un numero minimo di osservazioni (immagini) per poter calcolare la serie temporale, nella misura di un valore scalare in LOS e non vettoriale come per il GPS. Per ovviare parzialmente a questo ultimo limite si generano mappe di deformazione utilizzando dati da orbite ascendenti e discendenti, in cui la superficie viene osservata da punti di vista opposti. Questo permette di calcolare con buona approssimazione le componenti verticale ed Est del movimento del suolo, ma non la componente Nord.

Per ovviare ai limiti sopra menzionati si preferisce sempre integrare le tecniche InSAR con misure GPS in continuo.

E' da notare che l'area in esame non si presenta molto favorevole al monitoraggio InSAR a causa della presenza di vegetazione e di campi coltivati, ovvero superfici tipicamente poco stabili nel tempo. Si prevede quindi che sarà possibile ottenere una buona misura di deformazione solo su scatteratori puntuali stabili come manufatti e abitazioni, che nell'area sono distribuiti in maniera molto disomogenea (vedi Figura 4).

Come richiesto nelle prescrizioni si utilizzeranno anche degli scatteratori artificiali (elementi metallici stabili nel tempo) per misurare con precisione punti di riferimento.

3. Installazione della rete di monitoraggio GPS in continuo

Stanti le difficoltà di copertura con Persistent Scatterers menzionate in precedenza, la rete di misura GPS assume particolare importanza. Si prevede quindi di ampliare le prescrizioni VIA riportate in premessa e, in conformità con le Linee Guida MISE, di installare cinque stazioni GPS in continuo monofrequenza nell'area del progetto Castel Giorgio ed altre quattro nell'area del progetto Torre Alfina. Tutte le stazioni saranno collocate in prossimità della verticale dei pozzi devianti delle aree di estrazione e di reiniezione dei fluidi (vedi Figura 3).

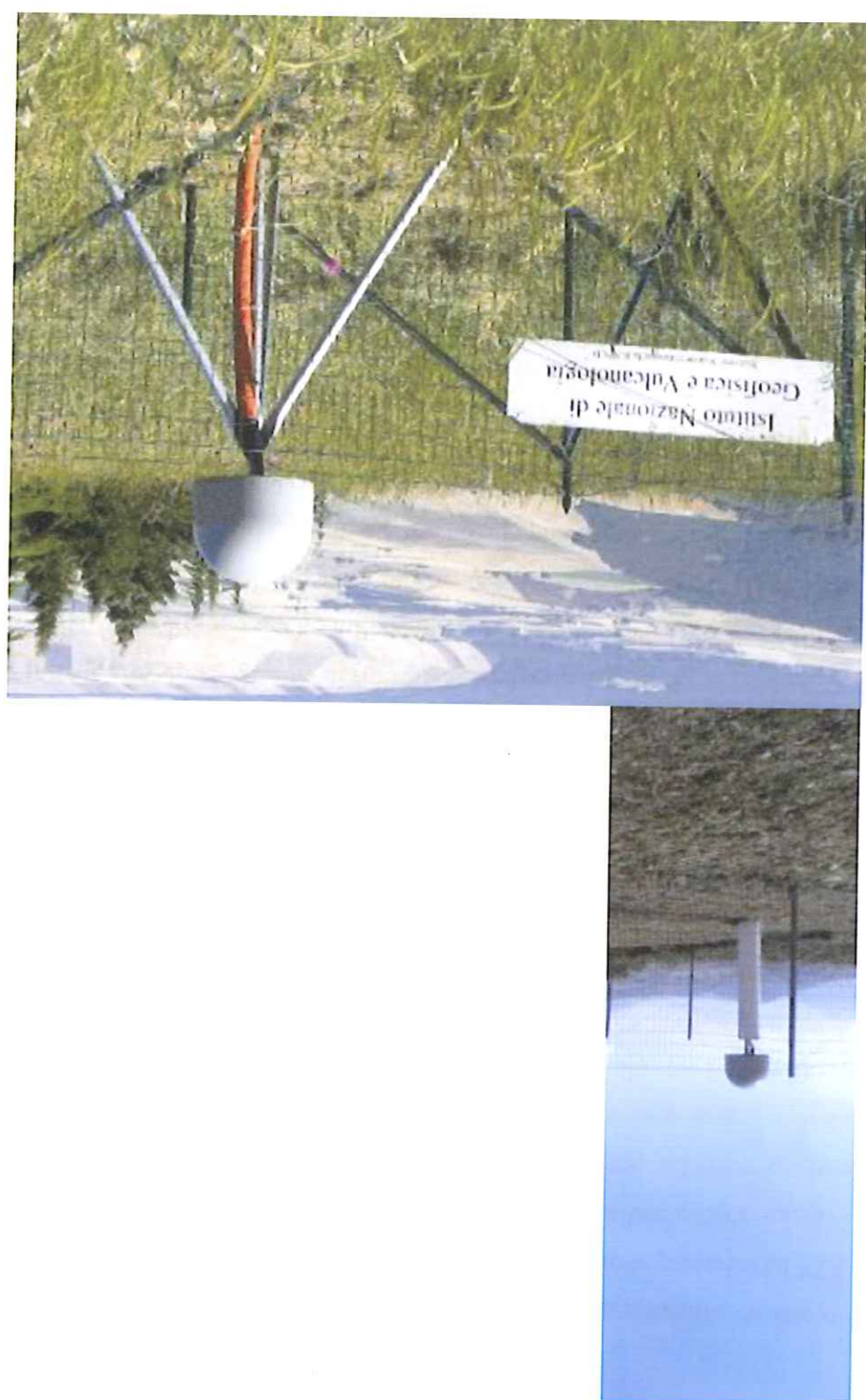
La rete sarà completata con una stazione GPS a doppia frequenza che verrà installata nell'area ad Est degli impianti, in prossimità del pozzo di monitoraggio ARPA Umbria ORV 11 (vedi Fig. 3). Si tratta di un'area prettamente agricola e si ritiene possibile che in questa zona possano verificarsi fenomeni di subsidenza dovuti ad emungimento di falde, che vanno adeguatamente monitorati nella fase ante operam.

In posizione solidale a tale stazione verrà installato uno scatteratore artificiale (corner reflector), che consentirà di stimare la velocità InSAR della stazione GPS, permettendo quindi di riferire le misure InSAR allo stesso sistema di riferimento delle misure GPS.

Nell'analisi dei dati della rete verranno anche utilizzati i dati delle stazioni GPS in continuo della rete RING dell'INGV prossime all'impianto, ovvero le stazioni SACS, MGAB, LATE, MCIV (Figura 1). Si tratta di stazioni a doppia frequenza ad alta precisione.

Tutti i monumenti della rete verranno realizzati seguendo gli standard INGV della rete RING, che seguono standard internazionali per le reti geodetiche (pilastrino o tripode, Figura 2).

Figura 2. Esempi di monumentazione geodetica per stazioni GPS; a sinistra su pilastro di cemento armato, a destra su tripode in acciaio ancorato al suolo.



Considerata la necessità di eseguire misure per la determinazione del "bianco", in fase ante operam per un periodo di almeno 6 mesi/1 anno e considerato che l'inizio delle attività di ITW LKW GEOTERMIA ITALIA s.p.a. Sede Legale Piazza Statuto, 16 -10122 Torino P.IVA 11173231009 8 Capitale Sociale EURO 1.000.000,00 I.V. Numero REA: TO- 1144269 Sede amministrativa - Via di Porta Pinciana n. 4 00186 Roma - Tel +39 06 42020461 Fax +39 06 48905185 E-mail - info@itwkwgeotermia.it

produzione nel campo di Castel Giorgio (CG in Figura 3) potrebbe impedire di determinare la situazione ante operam del campo attiguo di Torre Alfina (AP in Figura 3), come già precisato, si ritiene necessario installare in quest'area altre 4 stazioni monitoraenza fin dall'inizio delle operazioni di monitoraggio.

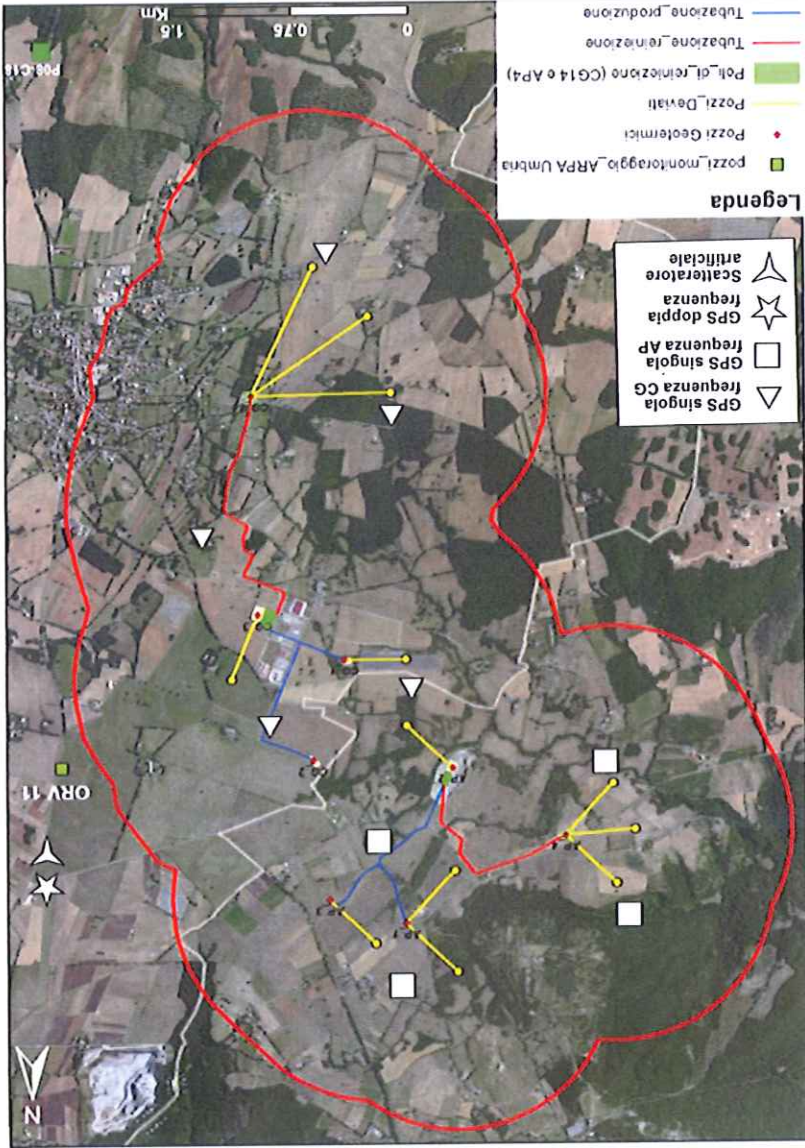


Figura 3. Distribuzione dei punti di misura della rete GPS prevista nel piano. È indicata anche la posizione dello scaturatore artificiale.

4. Analisi dei dati GPS

Le osservazioni GPS saranno rese disponibili in formato RINEX con campionamento a 30 secondi (<https://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex300.pdf>) e come dati elaborati, ovvero posizione e velocità dei siti. Saranno fornite le serie temporali calcolate su base giornaliera per le componenti Est, Nord e Verticale e i relativi ratei.

Come visto in precedenza la rete di monitoraggio GPS si compone di una stazione di riferimento posta al limite Est del dominio interno di rilevazione (Figure 1 e 3) e di 5+4 stazioni di monitoraggio distribuite in corrispondenza dei pozzi di estrazione e reiniezione. Le posizioni delle stazioni di monitoraggio saranno misurate rispetto alla stazione di riferimento, la quale sarà utilizzata per definire il sistema di riferimento locale e, insieme alle stazioni della rete RING-INGV, per caratterizzare le deformazioni regionali (p.es. originate da variazioni della falda acquifera). In tale configurazione le stazioni monitoranti saranno molto sensibili alle variazioni di posizione (spostamenti rispetto all'origine) piuttosto che al valore assoluto delle posizioni (ad esempio movimenti areali a grande scala come i movimenti tettonici).

I dati grezzi acquisiti da ciascun ricevitore, saranno salvati su supporto di archiviazione locale (nello stesso ricevitore) e trasmessi in tempo reale ad un sistema centralizzato di elaborazione dati. Il sistema centrale fornirà le posizioni di tutte le stazioni GPS relative alla stazione di riferimento, con cadenza configurabile da 2 a 24 ore. Il sistema centrale permetterà la piena configurazione della rete monitorante ed il controllo dei parametri di funzionamento di ciascuna stazione. La visualizzazione delle stime delle posizioni ed il controllo delle funzionalità del sistema sarà possibile anche tramite un software client di facile utilizzo (app o browser), per ciascuna stazione saranno visualizzabili le componenti topocentriche (Est, Nord, Verticale) in funzione del tempo.

4.1. Soglie di allerta

Si prevedono due soglie critiche del sistema: una soglia di attenzione, utilizzata per l'attivazione di procedure di pre-allarme e di verifica dell'anomalia, e una soglia di allarme che individua un'anomalia persistente in una qualche stazione.

Per la definizione dei livelli di soglia è necessario uno studio preliminare che tenga conto delle caratteristiche generali delle serie storiche (rumore, stagionalità e movimenti indotti da attività antropiche). Lo studio includerà in particolare le informazioni ottenute dal

monitoraggio delle variazioni temporali della piezometria della falda eseguito da ARPA-ITW LKW GEOTERMIA ITALIA s.p.a. Sede Legale Piazza Statuto, 16 - 10122 Torino P.IVA 11173231009 10 Capitale Sociale EURO 1.000.000,00 i.v. Numero REA: TO-1144269
Sede amministrativa - Via di Porta Pinciana n. 4 00186 Roma -
Tel +39 06 42020461 Fax +39 06 48905185 E-mail - info@itwkwgeotermia.it

Umbria. Nello studio verrà anche modellato il possibile segnale connesso allo sfruttamento del campo geotermico.

I parametri di attenzione saranno determinati a partire dalle serie storiche delle stazioni, in particolare i transienti e le variazioni di pendenza (derivata locale) nelle coordinate 3-D di ciascuna stazione concorreranno alla definizione degli algoritmi di controllo dell'allerta. Questi parametri verranno determinati d'intesa con ARPA-Umbria e ARPA-Lazio.

5. Monitoraggio satellitare InSAR

L'area soggetta al monitoraggio InSAR corrisponde al dominio esteso indicato in Figura 1. Saranno utilizzati i dati SAR in banda C acquisiti dalle missioni ERS ed ENVISAT e dalla missione Sentinel-1 dell'Agencia Spaziale Europea (ESA). I primi consentiranno di avere una copertura temporale dal 1992 al 2010 (con una assenza di dati tra il 2001 ed il 2003), mentre a partire dal 2015 la copertura avverrà esclusivamente con i dati in banda C dei satelliti Sentinel-1 (A e B).

Verranno presi in considerazione sia i dati in orbita ascendente (ASC) che discendente (DESC), di conseguenza si avranno a disposizione 8 mappe differenti:
2 mappe ERS (ASC & DESC), copertura temporale circa 1992-2001
2 mappe ENVISAT (ASC & DESC), copertura temporale circa 2003-2010
2 mappe Sentinel-1 (ASC & DESC), copertura temporale dal 2015 in poi.

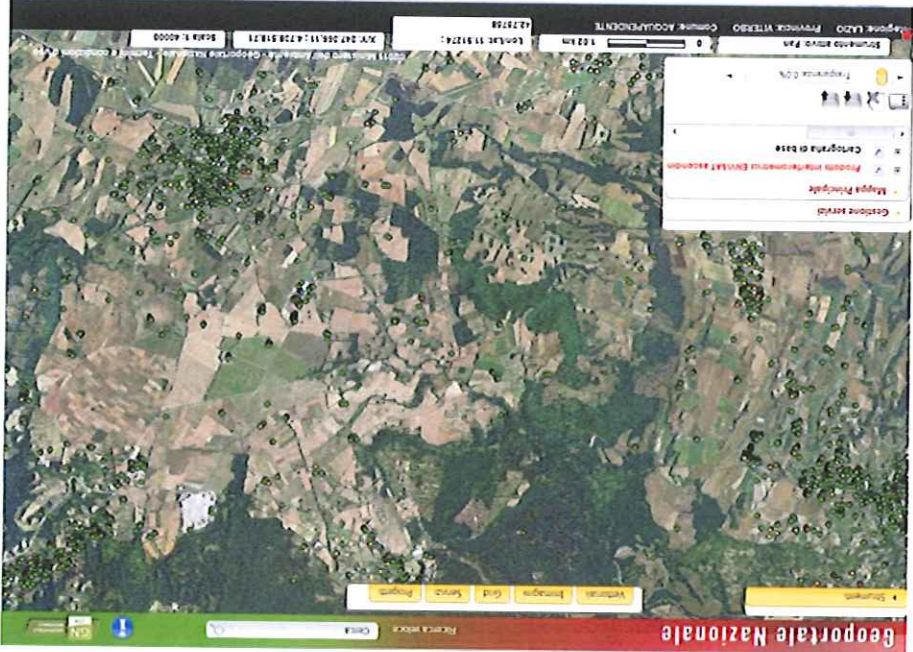
Per quanto riguarda i satelliti ERS ed ENVISAT, saranno utilizzate direttamente le velocità medie (ascendenti e discendenti) disponibili nel database del Piano Nazionale di Telerilevamento, sul Geoportale Nazionale (Figura 4).

Figura 4. Velocità medie nel periodo 2003-2010 da immagini ENVISAT ascendenti, disponibili sul Geoportale Nazionale.

Per quanto riguarda i dati Sentinel-1, la frequenza di acquisizione attuale è di una immagine ogni 12 giorni e i dati sono direttamente scaricabili da sito web poco dopo l'acquisizione. Saranno utilizzate immagini nella modalità Interferometric Wide swath (IW) che coprono per ogni orbita una larghezza di territorio di oltre 200 km. Sarà possibile produrre una prima elaborazione di questi dati con uno dei metodi descritti in precedenza, quando saranno disponibili almeno 20 immagini con la stessa geometria di acquisizione. Questo nell'area in esame avverrà entro Agosto 2015.

Per gli scopi del presente monitoraggio sarà elaborata una mappa dei ratei di deformazione sui punti coerenti che copra un periodo temporale di almeno 6 mesi (se possibile un anno) precedente l'inizio della coltivazione del campo. Successivamente, la mappa sarà aggiornata con nuove immagini ogni 6 mesi. Trascorso un periodo di 1 anno dall'inizio della fase di sfruttamento industriale, se non saranno visibili effetti di deformazione dovuti alle attività geotermiche, si procederà all'aggiornamento della mappa InSAR ogni 12 mesi.

Tutte le mappe InSAR saranno riferite alla stazione GPS a doppia frequenza di riferimento, dove sarà collocato anche uno scatteratore artificiale visibile nelle immagini Sentinel-1 (Figura 3).
Le mappe verranno fornite nel formato Shapefile, con i valori di velocità dei punti coerenti espressi in mm/anno. Lo shapefile conterrà anche le serie temporali dello spostamento del suolo. Velocità e spostamenti saranno forniti nella linea di vista del satellite (LOS ascendente



All. 2_Rapporto su "Subsidenza"

All. 1_Linee Guide MISE

Allegati

Trans. Geosci. Remote Sens., 39, 8-20.

Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001). Permanent Scatterers in SAR Interferometry. IEEE

Trans. Geosci. Remote Sens., 40, 2375-2383.

Berdardino P., Fornaro G., Lanari R., Sansosti E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. IEEE

7. Riferimenti bibliografici

confronto con i risultati del monitoraggio GPS.

Se non saranno riscontrati movimenti del suolo riconducibili alle attività dei campi geotermici, l'aggiornamento delle mappe InSAR sarà fatto ogni 12 mesi e con esso anche il GPS avverrà ogni 6 mesi, ad ogni nuova elaborazione delle mappe InSAR.

Nel corso del primo anno di attività dell'impianto geotermico, il confronto tra dati InSAR e riconducibili a sfruttamento della falda acquifera per scopi agricoli o idropotabili).

Dopo la misura del "bianco" per un periodo di 6 mesi/1 anno, si procederà ad una analisi delle sorgenti di deformazione naturali e antropiche esistenti in fase ante operam (ad es.

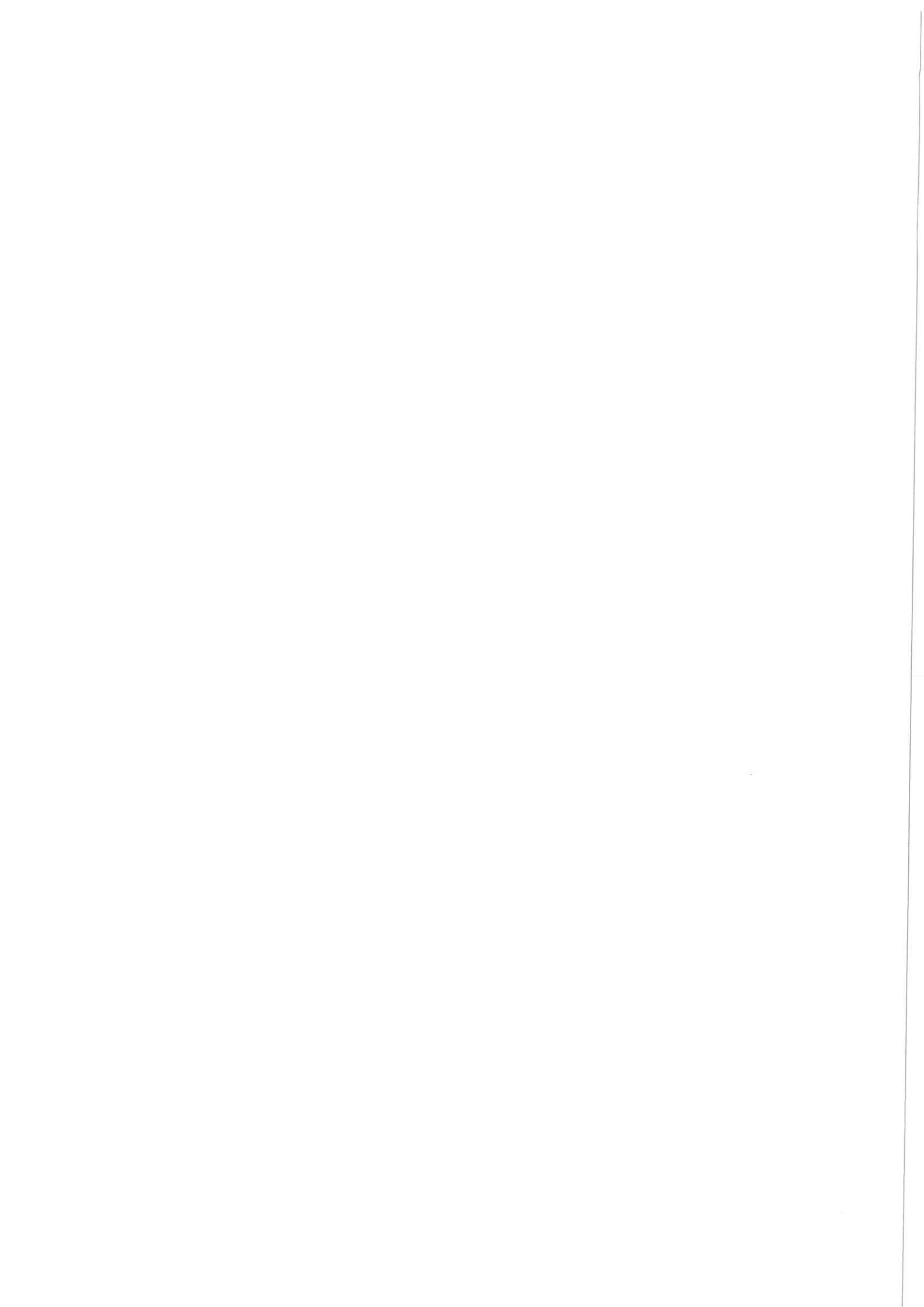
6. Analisi dei dati

ID	Lat	Lon	East	North	Mean Vel.	Coh.	Date 1	Date 2	Date 3	...
xxxx	41.575	15.125	702580.	5000125.	1.5	0.10	0.0	9.2	11.2	12.3

di spostamento del suolo.

Si fornisce di seguito un esempio della tabella di attributi dello Shapefile delle serie temporali (significativi) in entrambi i dataset di immagini.

Fare ciò è necessario che lo stesso punto a terra sia coerente (ovvero restituisca valori punti anche le componenti Est e Verticale dello spostamento e della velocità del suolo. Per o discendente). A seguito di adeguata mediatore spaziale, sarà possibile calcolare su alcuni



Allegato 1 alle risposte A.1) f, g, h

INDIRIZZI E LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DELLA SISMICITÀ, DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO E DELLE PRESSIONI DI PORO NELL'AMBITO DELLE ATTIVITÀ ANTROPICHE

1. INTRODUZIONE.....	3
2. MOTIVAZIONI E FINALITÀ.....	5
3. TIPOLOGIE DI ATTIVITÀ TRATTATE E MODALITÀ DI APPLICAZIONE.....	8
4. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, STRUTTURALE E SISMOTETTONICA.....	8
5. CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO SISMICO.....	10
5.1 Definizione dei volumi interessati dal monitoraggio sismico.....	10
5.2 Scopo del monitoraggio sismico.....	11
5.3 Caratteristiche tecniche della rete di monitoraggio sismico.....	11
5.4 Elaborazione e analisi dei dati.....	13
6. CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO.....	15
6.1 Generalità.....	15
6.2 Caratteristiche tecniche del monitoraggio delle deformazioni del suolo.....	16
7. CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI PORO.....	18
8. PUBBLICAZIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO E DIVULGAZIONE DELLE INFORMAZIONI.....	19
8.1 Informazioni sulla concessione.....	19
8.2 Introduzione alle attività di monitoraggio (sismicità, deformazioni del suolo, pressioni di poro).....	19
8.3 Dati generali sui monitoraggi.....	19
8.4 Dati di monitoraggio sismico.....	20
8.5 Dati di monitoraggio delle deformazioni del suolo.....	20
8.6 Dati di monitoraggio della pressione di poro.....	21
8.7 Documentazione.....	21
8.8 Formazione e accesso al sito.....	21
8.9 Link utili.....	21
9. INDIRIZZI IN MATERIA DI STRUTTURA DI GESTIONE, CONTROLLO E INTERVENTO.....	22
9.1 Progettazione, realizzazione e manutenzione delle reti di monitoraggio.....	22
9.2 Sistema di attivazione delle azioni da intraprendere.....	23
9.3 Fasi di gestione delle attività.....	24
Fase 1 - Gestione ordinaria del monitoraggio.....	25
Fase 2 - Gestione ordinaria di variazioni nei parametri monitorati.....	25
Fase 3 - Gestione straordinaria di variazioni nei parametri monitorati.....	27
9.4 Sistema sperimentale a <i>semaforo</i>	28

10. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI 30

GLOSSARIO 32

APPENDICE A 36

BIBLIOGRAFIA 38

1. INTRODUZIONE

In questo documento sono riportate le conclusioni del Gruppo di Lavoro istituito presso il MISE per definire indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio delle attività di sottosuolo, con particolare riferimento a quelle di coltivazione, reiniezione e stoccaggio di idrocarburi. Esso rappresenta la prima tra le azioni promosse dal Ministero dello sviluppo economico (MISE) al fine di mantenere al più alto livello delle conoscenze gli standard di sicurezza per tali attività in zone sismicamente attive e in aree dove tali attività possono produrre deformazioni del suolo.

La commissione ICHESE (International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia Region, Appendice A) ha evidenziato l'opportunità che le attività di coltivazione di idrocarburi e di produzione di energia geotermica, sia in atto sia di nuova programmazione, siano costantemente monitorate tramite reti ad alta tecnologia, finalizzate a seguire l'evoluzione nello spazio e nel tempo dell'attività microsismica, delle deformazioni del suolo e della pressione di poro. La commissione ha indicato che queste reti dovranno essere messe in funzione prima dell'avvio di nuove attività, al fine di poter verificare e misurare la sismicità naturale di fondo e l'andamento delle deformazioni del suolo in condizioni "non perturbate". La stessa commissione ha inoltre auspicato il miglioramento delle basi informative di dati riguardanti i fenomeni monitorati.

Nelle raccomandazioni ICHESE aveva già fornito una prima indicazione delle caratteristiche minime delle reti: capacità di rilevare tutti i terremoti di magnitudo almeno a partire da M_L 0,5, utilizzo di metodi satellitari per la rilevazione delle deformazioni del suolo con tecnologie interferometriche - InSAR - e GNSS/GPS (d'ora in poi GPS) con una risoluzione di alcuni millimetri all'anno, misura al fondo pozzo della pressione dei fluidi con frequenza giornaliera.

Nelle raccomandazioni era inoltre auspicata l'attivazione di un sistema operativo "a semaforo" e la definizione di valori di soglia, per parametri osservati, associati a diversi livelli di attenzione.

Nelle more della definizione di una completa regolamentazione della materia da parte di tutte le autorità competenti, nazionali e regionali, il MISE, per le proprie competenze in materia di attività estrattive e, in particolare, in qualità di autorità competente sia al rilascio di permessi, concessioni e autorizzazioni, sia alla vigilanza in materia di ricerca e produzione di idrocarburi e di stoccaggio di gas naturale e di CO_2 , ha ritenuto di dover procedere tempestivamente alla messa a punto di linee di indirizzo per un sistema di monitoraggio avanzato e integrato.

Il presente documento costituisce, quindi, una prima formulazione delle Linee Guida tecniche per la realizzazione dei monitoraggi e degli indirizzi per la loro gestione e controllo nonché per le modalità di intervento legate agli scenari di variazione dei parametri monitorati, che saranno sperimentate dal MISE su alcuni siti pilota. I risultati di questa sperimentazione saranno resi pubblici e condivisi con il Ministero ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM) e le Regioni interessate.

Le presenti Linee Guida sono state redatte dal Gruppo di Lavoro istituito a tal fine dal MISE il 27 febbraio 2014 nell'ambito della Commissione Idrocarburi e Risorse Minerarie (CIRM). Nel Gruppo di Lavoro, coordinato dal MISE, sono riuniti esperti nazionali di sismicità, di deformazione del suolo e di geologia operanti in Università ed Enti di ricerca con competenze in materia; è presente, inoltre, un rappresentante del Dipartimento della Protezione Civile.

I Componenti del gruppo di lavoro sono:

Ing. Gilberto Dialuce (MISE - coordinatore),
 Dott. Claudio Chiarabba (INGV – Struttura Terremoti),
 Dott.ssa Daniela Di Bucci (Dipartimento della Protezione Civile),
 Prof. Carlo Doglioni (Dipartimento Scienze della Terra, Università Sapienza di Roma),
 Prof. Paolo Gasparini (Università di Napoli “Federico II”; Analisi e Monitoraggio del rischio ambientale - AMRA),
 Ing. Riccardo Lanari (CNR – Istituto per il Rilievamento Elettromagnetico dell’Ambiente - IREA),
 Dott. Enrico Priolo (OGS – Sezione Scientifica Centro di Ricerche Sismologiche),
 Prof. Aldo Zollo (Università di Napoli “Federico II” - Dipartimento di Fisica).

Il Gruppo di Lavoro ha affrontato per la prima volta a livello nazionale il tema del monitoraggio delle attività di estrazione, reiniezione e stoccaggio di idrocarburi relativamente alla sismicità, alla deformazione del suolo e alle pressioni di poro producendo una prima versione che contiene specifiche tecniche tra le più avanzate. Il MISE valuterà, caso per caso, la loro prima applicazione tenuto conto della variabilità della situazione geologico-strutturale e della sismicità naturale del territorio. Si raccomanda che questa prima versione del documento sia rivalutata a distanza di due anni sulla base:

- dell'esperienza acquisita in una prima fase sperimentale su campi pilota rappresentativi delle diverse casistiche riguardanti, tra l'altro, reservoir in rocce carbonatiche che includono attività di reiniezione (attività che, in generale in Italia, già è sottoposta a monitoraggio sismico che viene gestito, nella maggioranza dei casi, dagli operatori stessi);
- di uno studio di fattibilità, comprensivo dei costi di realizzazione e di gestione a regime, per tutti i campi produttivi in cui è realizzata la reiniezione e per gli altri casi che, come si vedrà nel seguito, si suggerisce di considerare in prima istanza (cioè concessioni per l'estrazione in cui siano presenti reiniezione e concessioni per lo stoccaggio di gas naturale).

Si suggerisce, inoltre, considerando la vasta esperienza già acquisita nei monitoraggi delle attività di stoccaggio di gas naturale in sotterraneo, di includere tra i casi pilota alcuni di questi campi di stoccaggio. Infatti, nella maggior parte di quelli in esercizio in Italia sono già attive reti di monitoraggio sismico e delle deformazioni del suolo.

2. MOTIVAZIONI E FINALITÀ

Le presenti Linee Guida hanno l'obiettivo di definire gli standard iniziali di osservazione degli effetti delle attività antropiche a seguito di operazioni di reiniezione di fluidi nel sottosuolo (acque di strato) e di estrazione/stoccaggio di idrocarburi e, in particolare, di stabilire le procedure e i protocolli di monitoraggio, includendo tra questi le modalità di analisi dell'evoluzione spazio-temporale di alcuni parametri descrittivi della sismicità, della deformazione del suolo e della pressione di poro. Tali standard dovranno essere aggiornati e perfezionati mediante una fase sperimentale su casi pilota rappresentativi di diverse casistiche, prima di una loro applicazione generalizzata.

Le Linee Guida presentano gli indirizzi e i criteri generali per la formulazione delle successive prescrizioni o specificazioni da parte delle Amministrazioni competenti coinvolte (Cfr. Glossario), da applicare alle singole concessioni in funzione delle caratteristiche del sito e del progetto di reiniezione, estrazione o stoccaggio. Il Gruppo di Lavoro ha tenuto in debita considerazione le prescrizioni di monitoraggio emanate in precedenza dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, compresa la Relazione che discute le problematiche relative alla definizione del quadro prescrittivo (MATTM, 2013).

Prima che le attività antropiche in esame abbiano inizio, il monitoraggio permette di quantificare i valori di fondo, naturali e/o indotti da altre attività antropiche, dei parametri sopra menzionati. Durante tutto il periodo di esercizio, il monitoraggio permette invece di distinguere e misurare in continuo l'eventuale sismicità e le variazioni di tutti i parametri monitorati attraverso il confronto con i valori di fondo precedentemente acquisiti e stimati.

In particolare, mediante il monitoraggio sismico si intende individuare e localizzare la sismicità in un volume circostante il luogo delle attività antropiche, anche con l'obiettivo di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente causata da tali attività. Il monitoraggio deve consentire di seguire l'evoluzione spazio-tempo-magnitudo della sismicità al fine, ove occorra, di rimodulare o, nei casi previsti, di sospendere le attività stesse.

Mediante il monitoraggio delle deformazioni del suolo si intende identificare eventuali fenomeni di deformazione superficiale legati alle attività in esame, per misurarne e analizzarne le variazioni spazio-temporali rispetto alle condizioni di fondo.

Con il monitoraggio delle pressioni di poro (o di giacimento) si intende misurare la pressione a fondo pozzo ed effettuare eventuali prove di interferenza con pozzi limitrofi, allo scopo di verificare il modello fluidodinamico del sottosuolo interessato dalle attività antropiche e valutare l'evoluzione nello spazio e nel tempo delle pressioni.

Le presenti Linee Guida sono state elaborate con particolare riferimento alle attività antropiche di reiniezione *onshore*, a cui saranno in primo luogo applicati gli standard previsti; ma sono comunque applicabili, con opportuni adattamenti tecnici, anche ad attività *offshore*, specialmente vicino alla costa. Esse costituiscono, inoltre, un riferimento per tutte le attività minerarie di stoccaggio di gas naturale in sottosuolo e di coltivazione di idrocarburi, e potranno essere estese alle altre attività di sottosuolo con opportuni adattamenti.

Lo scopo è di rilevare variazioni nei parametri monitorati, evidenziare la loro eventuale correlazione con le attività antropiche svolte nel sottosuolo e intraprendere le azioni di mitigazione necessarie per ricondurre i parametri misurati entro il livello di fondo atteso, nonché predisporre le azioni più opportune per la messa in sicurezza dell'impianto, delle persone e del territorio interessato.

Le Linee Guida individuano, inoltre, le modalità per assicurare la massima trasparenza ed oggettività dei monitoraggi, la pubblicazione dei dati rilevati e la divulgazione delle informazioni. Esse delineano, altresì, i criteri e le procedure da adottare per l'individuazione dei soggetti che, in base alle proprie competenze, gestiranno le reti di monitoraggio, analizzeranno i dati che verranno raccolti e li renderanno disponibili al Concessionario e alle autorità competenti.

Da un punto di vista generale, si ritiene che la loro attuazione contribuirà a creare un sistema osservativo integrato, volto a tutelare maggiormente le aree in cui sono previste attività di coltivazione del sottosuolo in Italia. Questo gioverà, nel tempo, anche allo sviluppo di future attività, che potranno avvalersi di un'acresciuta base di dati e di conoscenze, nonché di una più completa copertura strumentale del territorio. Il Gruppo di Lavoro, in tal senso, auspica il rafforzamento delle sinergie esistenti tra i differenti soggetti pubblici (Enti Pubblici di Ricerca, Università, Istituzioni) e privati coinvolti, e la promozione di nuove collaborazioni. Ciò al fine di assicurare la piena condivisione dei dati e delle metodologie di analisi e modellazione, anche attraverso l'utilizzo mirato delle infrastrutture disponibili.

1. Invasi idrici artificiali,
2. Geotermia tradizionale,
3. Geotermia a ciclo chiuso,
4. Geotermia stimolata (attività attualmente non realizzata in Italia),
5. Stoccaggio del biossido di carbonio (attività attualmente non realizzata in Italia),
6. Estrazioni minerarie (cave e miniere),
7. Scavi di tunnel.

Più in generale, le Linee Guida, opportunamente adattate, potrebbero essere adottate anche nel caso

di:
 queste produzioni rimangono comunque opportuni i monitoraggi delle deformazioni del suolo.
 con riserve originarie inferiori a 300 milioni di m³ standard di gas o a 30 milioni di barili di olio. Per
 significative nei parametri monitorati. Per produzioni marginali si intendono quelle in giacimenti
 svolte nell'ambito di tali specifiche condizioni non risultano sufficienti a determinare variazioni
 casi di produzioni marginali di gas andro e olio a profondità minori di 2 km, in quanto le attività
 Si ritiene che le indicazioni delle presenti Linee Guida non si debbano applicare, in via generale, nei
 siano presenti pozzi utilizzabili a tal fine nell'intorno del pozzo monitorato.

Relativamente al monitoraggio delle pressioni di poro, si suggerisce di effettuare a partire dalle
 nuove attività e, per quelle in essere, dai casi in cui i pozzi siano tecnicamente equipaggiabili con le
 attrezzature per effettuare tale misurazione, nonché, per le prove di interferenza, dai casi in cui
 prodotti; (ii) allo stoccaggio di gas naturale in sotterraneo.

Se ne raccomanda l'applicazione sperimentale prioritariamente: (i) alle attività antropiche, nuove e
 in corso, che prevedono la reiniezione in sotterraneo dei fluidi di strato separati dagli idrocarburi

Il MISE avrà cura di controllare e verificare che i monitoraggi svolti siano consistenti con le indicazioni contenute nel presente documento.

Per meglio garantire l'indipendenza del soggetto preposto al monitoraggio rispetto al titolare della concessione di coltivazione e stoccaggio, si suggerisce di prevedere, se del caso anche attraverso un opportuno strumento normativo, l'istituzione presso il MISE di un apposito fondo, alimentato dai Concessionari, con cui il MISE stesso potrà curare direttamente l'affidamento del monitoraggio mediante procedure pubbliche. Tuttavia, nella fase transitoria che precede l'auspicata istituzione di tale modalità di gestione, e al fine di non posticipare *sine die* l'attuazione del monitoraggio delle concessioni, nell'interesse pubblico generale, al Capitolo 9.2 è indicata una possibile modalità per garantire la maggiore separazione possibile tra il Concessionario e il soggetto che effettua il monitoraggio.

Un aspetto importante riguarda le procedure di analisi su cui basare le azioni da adottare in base al monitoraggio. Il Gruppo di Lavoro, dopo approfondita analisi, ha concluso che per l'Italia mancano, al momento, metodologie consolidate e diffuse di analisi statistiche o fisiche che permettano di correlare sismicità rilevata alle attività antropiche entro il tempo massimo di uno/due giorni, necessario per prendere delle decisioni attraverso procedure direttamente applicabili. Nelle more di un miglioramento delle conoscenze in tale settore, è stato scelto un approccio a semaforo basato su parametri misurati esclusivamente entro un volume di sottosuolo circoscritto nell'intorno del pozzo di reiniezione e specifiche misure del moto del suolo in superficie.

Per quanto riguarda le azioni da intraprendere in base alle variazioni dei parametri monitorati, si è definito uno schema generale che opera per livelli successivi di attivazione. Inoltre, anche sulla base dell'esperienza e della normativa di altre nazioni, si propone di introdurre in via sperimentale per le sole attività di reiniezione un modello decisionale basato sul superamento di soglie prestabilite, detto anche "sistema a semaforo". A questo scopo sono definiti i criteri con cui fissare, caso per caso, le soglie dei diversi livelli di attenzione per alcuni parametri monitorati. Vengono inoltre individuate le modalità di controllo dei parametri stessi e delle attività antropiche, nonché le linee di azione in caso di passaggio da un livello di attivazione all'altro, o di superamento delle soglie nel caso del sistema a semaforo.

3. TIPOLOGIE DI ATTIVITÀ TRATTATE E MODALITÀ DI APPLICAZIONE

Le Linee Guida, pur essendo applicabili a tutte le attività di sottosuolo, sono state elaborate principalmente per il monitoraggio sismico, delle deformazioni del suolo e della variazione di pressione di poro in relazione alle attività di estrazione di idrocarburi, di reiniezione delle acque di strato e di stoccaggio di gas naturale nel sottosuolo.

Se ne raccomanda una prima applicazione in forma sperimentale su casi pilota di attività già in corso, affiancata da uno studio di fattibilità, comprensivo dei costi di realizzazione e di gestione a regime, per tutti i campi produttivi in cui è realizzata la reiniezione e per i campi di stoccaggio (cfr. Capitolo 1), per poi passare, sulla base dell'esperienza acquisita, ad una successiva estensione alle altre attività in corso e alle nuove attività.

In fase di applicazione delle presenti Linee Guida, si raccomanda che le nuove infrastrutture di monitoraggio siano progettate anche tenendo in considerazione un principio di "valorizzazione dell'esistente", e, quindi, di prevedere, a seguito di opportuna valutazione, l'eventuale adeguamento di infrastrutture già operanti per ottenere le prestazioni richieste.

4. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, STRUTTURALE E SISMOTETTONICA

Al fine di disporre del quadro geologico e sismotettonico dettagliato dell'area che include le attività, utile anche per la progettazione delle reti di monitoraggio, le Società richiedenti e, nei casi previsti, i Concessionari, predispongono e rendono disponibili, anche alla luce degli studi geologici precedentemente effettuati, i seguenti dati e informazioni:

- almeno tre sezioni geologiche: due perpendicolari ed una parallela alla struttura geologica che costituisce il giacimento, che abbiano lunghezza pari a non meno di 15 volte la profondità dei pozzi. Le sezioni devono arrivare ad una profondità almeno 3 volte maggiore di quella dei pozzi. L'area deve essere anche coperta da una carta geologica alla stessa scala delle sezioni, che contenga le sezioni stesse. La carta e le sezioni devono essere prodotte preferibilmente a scala 1:5.000 o, comunque, a scala non superiore a 1:25.000;
- profili sismici a riflessione, multicanale, dell'area definita secondo i criteri del punto precedente e, quando possibile, acquisizione sismica 3D del dominio esteso di rilevazione;
- modello stratigrafico - strutturale 3D, con profondità pari ad almeno 3 volte la profondità del pozzo di produzione o iniezione più profondo realizzato o previsto, e lati pari ad almeno 2 volte l'estensione della zona mineralizzata (reservoir), e che includa comunque le strutture sismogeniche nel raggio di 15-20 km;
- stima diretta o indiretta, anche mediante analisi su carote, dei parametri di porosità primaria

- e secondaria nella stratigrafia del pozzo e nel volume emisferico a fondo pozzo di raggio pari a 2 volte la profondità del pozzo stesso (es. tramite log di pozzo, misure geoelettriche o magnetoteluriche e proiezioni laterali delle stratigrafie);
 - valutazione del grado di compattezza della serie stratigrafica e della subsidenza attesa in funzione dell'emungimento/reiniezione di fluidi dalla porosità primaria;
 - simulazione, in base alle caratteristiche petro-fisiche del giacimento, della migrazione dei fluidi nell'intorno del giacimento e nel dominio interno di rilevazione (quest'ultimo concetto è definito nel Capitolo 5);
 - individuazione delle eventuali faglie attive adiacenti (entro 3 km) o prossime (entro 15 km) al giacimento;
 - quadro cinematico generale dell'area interessata, anche alla luce dei dati geodetici, satellitari e sismologici di cui ai capitoli successivi;
 - stima delle variazioni del carico litostatico in base ai dati previsti di emungimento o reiniezione, quindi in positivo o in negativo, associate alle attività minierarie;
 - valutazione del volume intorno al pozzo attraverso il quale i fluidi reiniettati sono in grado di migrare e programmazione del relativo monitoraggio. A tal fine, potrà essere utilizzato un monitoraggio geochimico con traccianti (per esempio isotopi dell'ossigeno) per verificare la permocabilità e la velocità di migrazione dei fluidi tra pozzi;
 - realizzazione di un modello geometrico che comprenda tutte le informazioni di cui sopra, da aggiornare periodicamente in funzione delle informazioni rese progressivamente disponibili dal monitoraggio e dai dati di produzione.
- Inoltre, si suggerisce che venga curata:
- l'installazione, in pozzi pilota piezometrici superficiali, di piezometri e strumenti che monitorino in continuo le variazioni della falda (profondità, temperatura, composizione chimica) per evidenziare eventuali variazioni non legate al ciclo idrologico naturale. Si raccomanda, inoltre, che almeno uno dei piezometri venga accoppiato ad un assensimetro per la misura della compattezza degli strati superficiali attraverso la fuoriuscita dal terreno di una barra metallica, ancorata a fondo pozzo ad una profondità che raggiunga il limite inferiore degli acquiferi;
 - l'esecuzione di rilievi geoelettrici o di magnetotelurica ripetuti relativi al volume del "dominio interno di rilevazione" (cfr. Capitolo 5) per valutare le anomalie di resistività e le loro eventuali variazioni nel tempo.

5. CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO SISMICO

5.1 Definizione dei volumi interessati dal monitoraggio sismico

Domnio interno di rilevazione (DI) - Definisce il volume all'interno del quale si ritiene che possano verificarsi fenomeni di sismicità indotta o di deformazione del suolo associati all'attività svolta. Esso rappresenta il volume di riferimento per il quale saranno identificati, monitorati e analizzati con la massima sensibilità i fenomeni di sismicità e deformazione del suolo.

a) Per le attività di estrazione di olio/gas da giacimento senza reiniezione, è il volume che si estende fino alla superficie comprendendo la zona mineralizzata (giacimento), come ricostruita dallo studio geologico preliminare, e un'ulteriore fascia che si estende ai lati e sotto fino ad una distanza di 3 km dal bordo del giacimento stesso. Qualora sia prevista reiniezione in livelli compresi nel giacimento, tale fascia si estende fino a 5 km dal bordo del giacimento stesso.

b) Per le attività di stoccaggio, è il volume che comprende la zona mineralizzata (giacimento usato per lo stoccaggio), come ricostruita dallo studio geologico preliminare, e un'ulteriore fascia nell'intorno del giacimento fino ad una distanza di 2-3 km, in funzione dell'estensione del giacimento.

c) Nel caso di reiniezione di fluidi all'esterno del giacimento, è il volume, che si estende fino alla superficie, definito dall'involuppo costruito tracciando sfere centrate al fondo dei pozzi di reiniezione aventi raggio pari alla profondità del pozzo e comunque non inferiore a 8 km.

Domnio esteso di rilevazione (DE) - E' il volume circostante il dominio di rilevazione che comprende una porzione maggiore di crosta terrestre, al fine di definire e contestualizzare al meglio i fenomeni monitorati. Per tutte le attività si suggerisce che esso si estenda oltre il dominio interno di rilevazione per una fascia di ampiezza compresa tra 5-10 km, tenendo conto delle dimensioni del giacimento e tipologia di attività.

Le definizioni sopra date discendono dall'evidenza, risultante dai dati di letteratura, che la maggior parte della sismicità indotta può generarsi principalmente nel volume che circonda il giacimento e i pozzi di reiniezione, soprattutto interiormente. Per la reiniezione di fluidi all'esterno del giacimento si fa riferimento alla profondità dei livelli del pozzo in cui viene reiniettata l'acqua di strato, mentre per lo stoccaggio si fa riferimento al bordo esterno del giacimento, essendo i pozzi di produzione e stoccaggio comunque compresi all'interno del giacimento.

Un eventuale ampliamento dei domini di rilevazione potrà essere stabilito per ogni singola concessione durante le fasi di progettazione delle reti di monitoraggio sulla base di considerazioni specifiche, o durante il periodo di monitoraggio sulla base di nuovi dati emergenti che ne consigliassero la modifica. Nel caso di attivazione di nuovi pozzi di reiniezione entro o fuori dal giacimento, detti volumi dovranno obbligatoriamente essere ridefiniti in accordo a quanto stabilito.

- a) Verrà utilizzata un'interdistanza tra le stazioni indicativamente di circa 3-5 km nell'area superficiale del dominio interno di rilevazione DI che verrà aumentata progressivamente procedendo verso il bordo esterno del dominio esteso DE.
- b) Ogni stazione dovrà essere dotata di due sensori tri-assiali, uno ad elevata sensibilità (sismometro) e uno ad elevata dinamica (accelerometro). Potranno essere adottati sensori sismometrici a corto periodo ($T \leq 1$ s), ma con periodo proprio non inferiore a $T = 0,5$ s. Si raccomanda l'installazione di almeno un sensore a banda estesa o larga (periodo proprio $T \geq 20-40$ s, e frequenza massima di rilevazione non inferiore a 80 Hz) presso una stazione interna alla rete dedicata.
- c) Il segnale dovrà essere acquisito in continuo, con frequenza di campionamento dei dati non inferiore a 200 Hz e a 100 Hz, rispettivamente per i sismometri e per gli accelerometri posti in superficie, e a 250 Hz per i sensori (sismometri o accelerometri) posti in pozzi profondi. Il

L' idoneità dell' infrastruttura di monitoraggio realizzata sarà valutata su base prestazionale, ovvero per la sua capacità di soddisfare i punti 1-4 sopra enunciati. Tuttavia le presenti Linee Guida si pongono anche l'obiettivo di fornire dei riferimenti tecnici per la progettazione. In conseguenza, nel seguito vengono enunciate alcune caratteristiche che si ritiene opportuno che le reti soddisfino.

1. nel dominio interno di rilevazione, rilevare e localizzare i terremoti a partire da magnitudo locale M_L compresa tra 0 e 1 ($0 \leq M_L \leq 1$) e con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro di alcune centinaia di metri;
2. nel dominio esteso di rilevazione, migliorare di circa 1 unità il livello di magnitudo di completezza delle rilevazioni effettuate dalle reti nazionali o regionali che svolgono servizio di monitoraggio sismico per finalità di protezione civile a livello nazionale o regionale, con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro contenuta entro circa 1 km;
3. determinare l'accelerazione e la velocità del moto del suolo provocata da eventuali terremoti (deboli e forti) presso i punti di misurazione;
4. integrarsi opportunamente con le reti di monitoraggio esistenti (ovvero: rete nazionale, reti regionali e ulteriori eventuali reti locali) al fine di migliorare l'accuratezza e la completezza della rilevazione della sismicità.

5.3 Caratteristiche tecniche della rete di monitoraggio sismico

La rete di monitoraggio sismico dovrà soddisfare provatamente i seguenti requisiti:

1. Lo scopo del monitoraggio sismico è di rilevare, localizzare e determinare i principali parametri di sorgente della sismicità e microsismicità verificatasi nei domini di rilevazione;
 2. migliorare a scala locale il livello di magnitudo di completezza delle rilevazioni nei domini di rilevazione;
 3. misurare con accuratezza le accelerazioni del suolo prodotte in superficie da terremoti in prossimità dell'area di coltivazione o stoccaggio.
- I dati rilevati dovranno anche servire a costruire un catalogo di eventi sismici che possa essere utilizzato per monitorare l'evoluzione nel dominio spazio-tempo-magnitudo della sismicità nei domini di rilevazione, e per le analisi di pericolosità da sismicità indotta, anche dipendente dal tempo.

5.2 Scopo del monitoraggio sismico

- segnale dovrà essere trasmesso in tempo "quasi-reale" al centro di controllo presso la Struttura Preposta al Monitoraggio (d'ora in avanti SPM; cfr. Capitolo 9), ove ne sarà curata anche l'archiviazione, in modo da garantire l'integrità, la continuità e la sicurezza del dato. L'apparato di acquisizione dovrà essere dotato di un sistema di temporizzazione di precisione, basato su tecnologia GPS, per consentire la stima corretta dei tempi di arrivo delle fasi e l'integrazione con le altre reti esistenti.
- d) Si raccomanda che la stazione a banda larga integri la funzione di rilevazione sismica con quella geodetica tramite la realizzazione di una stazione permanente di precisione GPS, co-localata e configurata con campionamento di acquisizione a 10 Hz. Tale stazione sarà parte integrante del sistema di monitoraggio della deformazione di cui al Capitolo 6.
- e) Per l'installazione dei sensori si dovrà prevedere l'adozione di specifici accorgimenti atti a ridurre il rumore sismico ambientale. Nel caso di elevato rumore sismico di fondo, si suggerisce l'installazione dei sensori sismometrici in profondità, in funzione della litologia e della tipologia del sensore; nel caso di suoli poco consolidati, come ad esempio quelli di pianura, si suggerisce una profondità indicativa compresa tra 100 m e 200 m.
- f) Si raccomanda di adottare strategie di gestione della rete atte a minimizzare le interruzioni nel flusso dei dati e delle elaborazioni. In particolare, dovrebbe essere garantita la copertura dei dati per almeno il 95% del tempo per ogni stazione, ed eventuali interruzioni o malfunzionamenti della singola stazione dovrebbero essere risolti in tempi brevi, in un intervallo di tempo massimo possibilmente compreso tra 7-10 giorni. A tale scopo, si raccomanda l'acquisto di strumentazione di ricambio da tenere disponibile per eventuali sostituzioni. Tale materiale dovrebbe essere disponibile in numero di circa una unità completa ogni quattro, intendendosi per unità l'insieme della strumentazione (sismologica, elettronica, elettrica, etc.) necessaria per il funzionamento della stazione.
- g) Si raccomanda che siano attivate procedure idonee a determinare le curve di risposta strumentale, che includano sia i sensori sia gli acquisitori digitali, e a stimare l'orientazione dei sismometri posti in pozzo, di prevedere la verifica periodica della risposta strumentale complessiva, nonché di provvedere a tutti gli aggiornamenti in conseguenza a modifiche/sostituzioni degli apparati.
- Ove non sia possibile raggiungere le prestazioni richieste ai punti precedenti, si consiglia l'installazione di sensori sismici anche in pozzi, eventualmente profondi, in modo da ridurre il più possibile la distanza dal dominio di rilevazione (ad esempio nel caso in cui risultino disponibili pozzi che possano essere attrezzati con la strumentazione di rilevazione sismica). In questi casi si suggerisce l'adozione di sensori a corto o cortissimo periodo, con numero di sensori per stringa non inferiore a 4 e frequenza di campionamento più elevata di quanto indicato al precedente punto c).
- In linea generale, potrà essere prevista l'installazione di sistemi di monitoraggio sismico con stazioni) in funzione della pericolosità attesa di sismicità indotta, valutata in funzione dei volumi iniettati.
- Si rimarca quanto già espresso nel Capitolo 3, cioè che le caratteristiche tecniche delle reti micro-sismiche, sotto specifiche, debbano essere perseguite alla luce del principio di "valorizzazione dell'esistente" e quindi prevedere, a seguito di opportuna valutazione, un eventuale adeguamento della rete già attiva per ottenere le prestazioni richieste.
- Per quanto riguarda i tempi di esercizio del monitoraggio, si raccomandano le seguenti modalità:

Da adottarsi entro la conclusione del quarto anno di monitoraggio, compatibilmente con la presenza di eventi locali sufficientemente raggruppati nello spazio (*cluster*).

Configurazione 2 - deve prevedere l'adozione di metodi di localizzazione relativa di precisione e/o di metodi basati sulla coerenza delle forme d'onda registrate (es: cross-correlazione). A questo livello saranno rideterminate sia la magnitudo locale che la magnitudo momento, sarà calcolato il meccanismo focale e stimato il rilascio di sforzo statico (o *stress drop*).

Da adottarsi entro la conclusione del terzo anno di monitoraggio.

Configurazione 1 - deve prevedere: un modello di velocità *ID ad hoc* per il dominio di rilevazione, supportato da studi specifici e coerente con i dati ottenuti dalla stratigrafia e dalla rete di monitoraggio; l'adozione di eventuali metodi di localizzazione assoluta ritenuti più accurati o completi; la calibrazione dell'intera procedura (es: attraverso la riduzione dei residui di stazione), al fine di migliorare l'accuratezza complessiva del sistema. A questo livello saranno determinate sia la magnitudo locale che la magnitudo momento. Per la stima della magnitudo momento sarà necessario determinare i parametri da utilizzare per la correzione degli effetti di attenuazione anelastica.

Da adottarsi contestualmente all'avvio del sistema di monitoraggio sismico.

Configurazione 0 - deve allinearsi alle procedure di localizzazione assoluta e di stima della magnitudo adottate dalla Rete Sismica Nazionale o da eventuali Reti Sismiche Regionali esistenti nell'area e riconosciute per finalità di protezione civile, nazionale o regionale. In particolare, a questo livello è stimata la magnitudo locale o la magnitudo momento, con procedure omogenee a quelle adottate a scala nazionale o regionale. In aggiunta, possono essere adottati calcoli della localizzazione della magnitudo più accurati tramite calibrazione delle leggi di attenuazione di ampiezza e dei termini di correzione di sito.

Per quanto riguarda la localizzazione e il calcolo della magnitudo si raccomanda di adottare, nel tempo, delle configurazioni dei parametri che garantiscano un'accuratezza progressivamente maggiore nel dominio interno di rilevazione, secondo lo schema seguente.

Dovranno essere implementate procedure di elaborazione e analisi dei dati in grado di soddisfare gli obiettivi del monitoraggio sismico già specificati in precedenza ai paragrafi 5.2 e 5.3. Dovranno inoltre essere adottate strategie di archiviazione sicura e distribuzione/diffusione dei dati, ricorrendo alle pratiche e ai formati standard in uso presso la comunità scientifica sismologica.

5.4 Elaborazione e analisi dei dati

Dopo due anni consecutivi di attività, la SPM valuterà le prestazioni della rete di monitoraggio ed eventuali criticità del sistema di analisi ed elaborazione dei dati adottato. Nel caso in cui il monitoraggio non soddisfi le prestazioni sopra indicate per limiti tecnici, dovranno essere previsti opportuni interventi di miglioramento. Eventuali motivazioni oggettive, che precludano il raggiungimento delle prestazioni prescritte, dovranno essere documentate da parte dei Concessionari al MISE tramite relazioni della SPM.

1. il monitoraggio sismico dovrà partire almeno un anno prima dell'inizio della attività di coltivazione o stoccaggio, al fine di poter verificare e misurare la sismicità naturale di fondo in condizioni "non perturbate";
2. il monitoraggio sismico dovrà proseguire per tutto il tempo dell'attività di coltivazione o stoccaggio prevista, e protrarsi per almeno un anno dopo la conclusione delle attività.

Configurazione 3 - deve prevedere lo sviluppo di un modello di velocità 3D specifico per il dominio di rilevazione e l'adozione di metodi di localizzazione (assoluta o relativa) in grado di utilizzare detto modello. A questo livello saranno rideterminate sia la magnitudine locale che la magnitudine momento e calcolati il meccanismo focale ed il rilascio di sforzo statico (*stress drop*).

Facoltativo, ma raccomandato, senza specifica di tempo.

I risultati delle rilevazioni dovranno essere forniti almeno nella forma di catalogo parametrico degli eventi localizzati, per ognuno delle singole configurazioni adottate, rielaborando a ogni livello superiore anche i dati della sismicità pregressa.

Considerate le caratteristiche tecnologiche, la densità della rete e le metodologie di analisi dei dati suggerite in queste Linee Guida, le reti dedicate saranno in grado di effettuare stime più accurate di localizzazione e magnitudine locale/momento, rispetto alle reti nazionali/regionali, per eventi che accadano in entrambi i domini di rilevazione. Per questo motivo si propone che il sistema decisionale si basi sulle determinazioni di magnitudine, locale o momento, effettuate dalla singola rete dedicata.

Il sistema di riconoscimento della sismicità dovrà avere le seguenti funzioni:

- a) sistema di riconoscimento automatico in modalità di tempo "quasi reale", utilizzato dalla SPM per la verifica dei valori dei parametri selezionati o dei livelli di soglia (cfr. Capitolo 9). L'eventuale occorrenza di attività sismica che si discosti dal quadro ordinario, secondo quanto descritto nel Capitolo 9, dovrà essere segnalata e analizzata con tempestività, seguendo la tempistica definita nello stesso Capitolo;
- b) sistema di riconoscimento e revisione dei dati *off-line* per le analisi di dettaglio, con tempistica definita al Capitolo 9. La SPM dovrà aggiornare il quadro della sismicità nei domini di rilevazione facendo riferimento a un intervallo di tempo corrente (finestra temporale mobile) di alcuni giorni, la cui durata è determinata dal tipo di attività per cui il monitoraggio è stato istituito (cfr. Tabella 1) e dai valori dei parametri selezionati o del livello di soglia eventualmente superato a seguito di eventi pregressi (cfr. Capitolo 9).

Tipologia di attività	ΔT_s
Estrazione olio/gas	30 gg
Re-iniezione di fluidi	1-2 gg
Stoccaggio del gas in serbatoi depleti	10-20 gg

Tabella 1 – Durata della finestra temporale corrente (ΔT_s) entro cui deve essere eseguita l'analisi *off-line* dei dati sismologici in funzione del tipo di attività.

Le presenti Linee Guida non richiedono, in generale, l'istituzione di turnazioni di personale che prevedano la presenza continua di un analista sismologico presso la SPM. Si suggerisce, invece, l'istituzione di un sistema di reperibilità.

I risultati complessivi delle rilevazioni dovranno essere illustrati e analizzati in rapporti periodici, con cadenza indicativa da 3 a 12 mesi (consigliata: 6 mesi). Detti rapporti dovranno descrivere, per

Si raccomanda anche per il sistema di monitoraggio delle deformazioni del suolo quanto già espresso nel Capitolo 3, ovvero che tale sistema debba essere realizzato o adeguato tenendo conto delle caratteristiche descritte nel seguito ma secondo un principio di opportuna valorizzazione della strumentazione (e dei relativi archivi dati) già esistente.

Tale sistema di monitoraggio ha l'obiettivo di fornire informazioni sia sull'andamento temporale delle deformazioni del suolo (più precisamente dello strato superficiale del suolo) durante il periodo di osservazione, sia sulla loro distribuzione spaziale nell'area analizzata, evidenziando eventuali variazioni rispetto allo scenario deformativo di *background*.

Le attività di estrazione/stoccaggio di idrocarburi e di reiniezione di fluidi nel sottosuolo possono indurre fenomeni di deformazione superficiale anche di notevole entità. Tali effetti deformativi forniscono importanti informazioni sulle caratteristiche dei fenomeni sub-superficiali da cui sono originati e sulla loro evoluzione temporale. Essi hanno tipicamente una dinamica temporale abbastanza lenta e si estendono spazialmente. Pertanto risulta particolarmente appropriato per la loro misura l'utilizzo di tecniche InSAR avanzate, che si basano sull'elaborazione di sequenze temporali di immagini SAR (Sansosti et al., 2010). I risultati delle elaborazioni InSAR (d'ora in avanti, misure InSAR) sono rappresentati da serie temporali di deformazione i cui valori sono relativi ad una zona di riferimento (rappresentata generalmente da un pixel delle immagini SAR, spesso denominato pixel di "aggancio" o di "riferimento"), scelta tipicamente in un'area assunta stabile, e si riferiscono alla componente degli spostamenti superficiali rilevati, proiettata lungo la linea di vista del radar (LOS, acronimo dell'inglese *line of sight*). Queste misure vanno perciò opportunamente integrate con quelle fornite da una rete di stazioni GPS in continuo, che consentono di ottenere informazioni sulle tre componenti degli spostamenti rilevati in corrispondenza delle stazioni riceventi.

6.1 Generalità

6. CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO

Il periodo rendicontato: lo stato di funzionamento della rete, riportando eventuali anomalie, con rappresentazione grafica dello stato on/off quotidiano delle stazioni e del livello del segnale/runmore di fondo; la sismicità rilevata, riportando anche un catalogo parametrico completo e aggiornato; un'analisi delle prestazioni complessive della rete, che viene valutata in funzione della sismicità rilevata e localizzabile (es. stima della magnitudo di completezza di eventi localizzabili); eventuali situazioni in cui la sismicità si discosti dall'ordinario, in accordo a quanto già indicato nel paragrafo precedente. Nel caso si rilevi attività sismica che si discosti dal quadro ordinario, i rapporti saranno predisposti con la tempistica indicata al Capitolo 9.

- 6.2 Caratteristiche tecniche del monitoraggio delle deformazioni del suolo
- Si raccomanda che il monitoraggio riguardi la porzione superficiale dei domini di rilevazione (interno ed esteso) ed abbia le seguenti caratteristiche:
- per l'area interessata dal monitoraggio deve essere fornito un quadro delle deformazioni superficiali rilevate attraverso l'utilizzo di misure InSAR effettuate su dati di archivio acquisiti possibilmente negli ultimi 15-20 anni, e comunque relativi almeno agli ultimi 10 anni, con accuratezze dell'ordine di 5 - 10 mm (per le misure InSAR in LOS) e di circa 1 - 2 mm/anno per le stime dei tassi di deformazione. Tali attività possono eventualmente beneficiare di banche dati di misure interferometriche già disponibili, come ad esempio nel caso di quelle ottenute grazie al Piano Straordinario di Tele-rilevamento Ambientale o alle iniziative effettuate dalle singole regioni. In ogni caso, però, le accuratezze delle misure interferometriche rese disponibili devono essere in linea con quanto sopra specificato;
 - il monitoraggio dei fenomeni deformativi del suolo deve essere aggiornato mediante successive misure InSAR con cadenza indicativa da 3 a 12 mesi (consigliata 6 mesi, ma è da valutare alla luce della disponibilità dei dati SAR e della caratterizzazione geologica, strutturale e sismotettonica del sito) e per almeno 3 anni successivi alla fine delle attività di coltivazione, stoccaggio o reiniezione nel sottosuolo. La suddetta cadenza va opportunamente ridotta (intensificazione delle misure) in presenza di variazioni rilevate rispetto al quadro deformativo di *background*, in accordo con quanto indicato nel Capitolo 9. L'aggiornamento delle misure InSAR può essere effettuato sfruttando i dati SAR acquisiti dai sensori attualmente disponibili, quali RADARSAT-2, COSMO-SkyMed e TerraSAR-X, misure InSAR, deve essere disponibile anche l'archivio dei dati grezzi SAR (anche denominati *Level 0*) o delle immagini SAR (generate a piena risoluzione spaziale e spesso definite immagini *SLC*, acronimo di *Single Look Complex*) che sono state utilizzate per il calcolo delle misure InSAR. A partire dal 2015 si raccomanda, però, l'uso dei dati SAR collezionati dai sistemi europei Sentinel-1, che consentiranno di acquisire in breve tempo ed in uno scenario "*free and open access*" un vasto archivio di dati SAR relativi all'intero territorio italiano;
 - le misure InSAR aggiornate devono prevedere l'utilizzo di dati SAR acquisiti da orbite ascendenti e discendenti, in modo tale da poter ricostruire le componenti verticale ed orizzontale (E-W) delle deformazioni del suolo rilevate. Nel caso in cui siano disponibili dati SAR collezionati da una sola orbita di acquisizione, si dovrà far riferimento alla componente degli spostamenti proiettata rispetto al *LOS* del radar. Le misure InSAR devono essere generate con formati standard e attraverso metodologie note o in uso presso la comunità scientifica, per le quali devono essere indicate le accuratezze stimate (dipendenti dall'estensione temporale delle sequenze di immagini SAR analizzate e dalle loro caratteristiche); inoltre, le misure InSAR devono essere prodotte con un campionamento compreso tra 30 e 100 m, ottenuto a valle di opportune operazioni di mediatura spaziale;
 - i valori di deformazione ottenuti grazie alle misure InSAR vanno integrati/complementati con quelli forniti da una rete GPS in continuo, preesistente o di nuova realizzazione, le cui

- fornire informazioni sia sull'andamento temporale delle deformazioni del suolo, sia sulla loro distribuzione spaziale,

- descrivere lo stato di funzionamento del sistema di monitoraggio,

6 mesi). Tali rapporti dovranno, per il periodo analizzato:

• i risultati complessivi delle rilevazioni delle deformazioni del suolo dovranno essere illustrati e analizzati in rapporti periodici, con cadenza indicativa da 3 a 12 mesi (consigliata

2-3 anni al massimo;

superficiali. Le misure di livellazione vanno effettuate con una periodicità non superiore a un utilizzo presuppone una buona conoscenza dell'estensione spaziale del campo deformativo (etc.), deve essere collegata ad una delle reti esistenti (possibilmente alla rete IGM) ed il suo capisaldi opportunamente spaziali e posizionati (tipicamente materializzati su edifici, ponti, livellazione geometrica di precisione. In tal caso la rete di livellazione, basata su una serie di deformazioni del suolo, ottenute attraverso le misure InSAR e GPS, con misure di la SPM (cfr. Capitolo 9) deve valutare l'opportunità di integrare le informazioni sulle

i relativi ratei;

degli spostamenti rilevati lungo le direzioni N-S (latitudine), E-W (longitudine) e verticale, e devono essere fornite le serie temporali calcolate, su base giornaliera, per le tre componenti presso la comunità scientifica (ad esempio software BERNSEB). Per ogni stazione GPS risultato opportuno della loro elaborazione eseguita mediante l'utilizzo di software in uso • i dati raccolti dalle stazioni GPS vanno resi disponibili sia in formato RINEX, sia come dal dominio interno di rilevazione.

GPS in continuo già operanti da almeno due anni e poste a distanza inferiore a 200-300 km studio. È infine necessario verificare l'accesso ai dati acquisiti da almeno altre 5 stazioni per poter separare eventuali fenomeni di sito dal fenomeno di deformazione oggetto di banda larga della rete di monitoraggio sismico descritta nel Capitolo 5; si suggerisce, inoltre, di valutare la possibilità di installare dei clinometri biasati in corrispondenza delle stazioni, abbiano interdistanze inferiori a 10-15 km e che una di esse sia co-locala con la stazione a adatta a scopi geofisici (ad esempio UNAVCO). In particolare, si richiede che le stazioni caratteristiche dell'area da monitorare ed installate con una adeguata monumentazione precisione (di tipo geodetico), distribuite opportunamente in funzione dell'estensione e delle Pertanto, si raccomanda che la rete locale GPS preveda la presenza di stazioni permanenti di

rilevazione.

- effettuare eventuali modellazioni 3D del campo di deformazione relativo al dominio di

- rilevare (e correggere) eventuali artefatti che possono essere presenti nelle misure InSAR;

rappresentazione,

- rendere le misure InSAR indipendenti dalla "zona di riferimento" scelta per la loro analisi e

(attualmente ITRF2008), devono permettere di:

a tale rete locale GPS, opportunamente inquadrata nel sistema di riferimento internazionale deformazioni del suolo da parte della SPM (cfr. Capitolo 9). Le informazioni ottenute grazie caratteristiche vanno adeguate o definite a valle del progetto della rete di monitoraggio delle

- evidenziare eventuali variazioni rispetto allo scenario deformativo di *background*; in questo ultimo caso, i rapporti saranno predisposti con la tempistica indicata nel Capitolo 9.

7. CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI PORO

Il valore della pressione statica nel dominio di rilevazione è un utile elemento per l'aggiornamento e la verifica dei modelli di giacimento per gli stocaggi e le reiniezioni.

La scelta dei pozzi da monitorare sarà basata sulle caratteristiche geologiche dell'area e su criteri di ingegneria di giacimento.

Per i nuovi pozzi di stoccaggio e reiniezione (esclusi i pozzi di produzione), la pressione di poro (o di giacimento) verrà misurata in continuo a fondo pozzo tramite appositi strumenti fissi al fondo ("surface read-out"), predisposti al momento del completamento del pozzo stesso, che forniscono una misura in tempo reale.

Per alcuni dei pozzi esistenti verranno utilizzati "memory gauges", temporaneamente posizionati al fondo pozzo per una registrazione in remoto della pressione ad intervalli predefiniti. Periodicamente verranno effettuate campagne di misurazione della pressione statica del campo.

Un'ulteriore possibilità per acquisire i valori della pressione è quella di utilizzare pozzi non produttivi, anche ubicati nelle vicinanze, all'esterno del giacimento.

I valori di pressione nel volume circostante i pozzi, che comunque sono di difficile misurazione ed altamente incerti, possono essere stimati effettuando correlazioni con altri pozzi di monitoraggio, anche avvalendosi dell'applicazione di modelli.

Con periodicità almeno semestrale dovranno essere prodotti rapporti di andamento delle pressioni misurate o stimate.

Un maggiore dettaglio negli aspetti descritti potrà essere definito a valle della fase di sperimentazione.

8. PUBBLICAZIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO E DIVULGAZIONE DELLE INFORMAZIONI

Con lo scopo di garantire l'efficiacia e la trasparenza delle attività svolte, si prevede la realizzazione, sul sito internet del Ministero dello sviluppo economico – DGRME, di un'apposita area contenente sezioni specifiche per le singole concessioni, dedicate alla disseminazione di informazioni sulle attività in corso e dei dati acquisiti nel corso del monitoraggio.

Il modello di tali sezioni sarà identico per tutti i giacimenti oggetto di monitoraggio. I dati del giacimento saranno forniti dal Concessionario, mentre i dati del monitoraggio saranno forniti direttamente dalla SPM (cfr. Capitolo 9). Gli stessi soggetti potranno inoltre realizzare materiale divulgativo, anche in formato cartaceo, e organizzare incontri con la popolazione per illustrare le attività industriali, le attività di controllo della sismicità indotta e della deformazione attraverso il monitoraggio.

Nella sezione del sito internet relativa a ciascuna concessione dovranno essere fornite le seguenti informazioni.

8.1 Informazioni sulla concessione

1. storia
2. caratteristiche del giacimento/sito di stoccaggio
3. descrizione sintetica del modello geomeccanico
4. dati di produzione mensili dall'inizio delle attività
5. FAQ

8.2 Introduzione alle attività di monitoraggio (sismicità, deformazioni del suolo, pressioni di poro)

1. monitoraggio sismico: introduzione sulla sismicità; tecniche di misurazione; inquadramento della sismicità naturale regionale; focus sulla sismicità nell'intorno del sito
2. monitoraggio delle deformazioni del suolo: introduzione sulle deformazioni del suolo; tecniche di misurazione; inquadramento delle deformazioni naturali regionali; focus sulle deformazioni nell'intorno del sito
3. monitoraggio della pressione di poro: introduzione sulle deformazioni del suolo; tecniche di misurazione e di valutazione tramite modelli

8.3 Dati generali sui monitoraggi

1. soggetto che ha progettato le reti, che le ha realizzate e ne cura la manutenzione, che raccoglie e analizza i dati
2. caratteristiche delle reti (mappa generale delle stazioni, numero dei sensori e caratteristiche)
3. dominio interno e dominio esteso di rilevazione (criterio di identificazione, mappa)

- 8.5 Dati di monitoraggio delle deformazioni del suolo**
1. Informazioni generali:
- a) introduzione sulle deformazioni del suolo
 - b) tecniche di misurazione
 - c) inquadramento delle deformazioni naturali regionali e focus sulle deformazioni nell'intorno del sito
2. Dati generali sul monitoraggio svolto:
- a) soggetto che ha progettato le reti, che le ha realizzate e ne cura la manutenzione, che raccoglie e analizza i dati
 - b) caratteristiche delle reti (mappa generale delle stazioni, numero dei sensori e caratteristiche)
3. Dati di monitoraggio delle deformazioni del suolo:
- a) InSAR: pubblicazione delle misure secondo la cadenza delle rilevazioni
 - b) rilevazioni GPS in continuo: pubblicazione dei dati elaborati con aggiornamento almeno settimanale
 - c) livellazioni geodetiche (ove disponibili)
 - d) pubblicazione dei dati pregressi disponibili

- 8.4 Dati di monitoraggio sismico**
1. Informazioni generali:
- a) introduzione sulla sismicità
 - b) tecniche di misurazione
 - c) inquadramento della sismicità naturale regionale e focus sulla sismicità nell'intorno del dominio esteso
2. Dati generali sul monitoraggio svolto:
- a) soggetto che ha progettato le reti, che le ha realizzate e ne cura la manutenzione, che raccoglie e analizza i dati
 - b) caratteristiche delle reti (mappa generale delle stazioni, numero dei sensori e caratteristiche)
3. Dati di monitoraggio sismico:
- a) localizzazione degli eventi registrati sulla mappa delle stazioni appartenenti alla rete nazionale e locale, nella concessione e nel suo intorno; nella stessa mappa deve essere riportata la localizzazione degli impianti (pozzi, centrale di trattamento, etc.)
 - b) dati di forme d'onda in continuo con formati sismologici standard (es.: miniSeed e/o SAC), completi delle informazioni necessarie per effettuare la correzione strumentale (es: file dataless)
 - c) informazioni aggiornate sulle stazioni (in funzione o temporaneamente non operanti)
 - d) lista completa degli eventi sismici localizzati dall'entrata in esercizio della rete, con aggiornamento in base ai tempi indicati in Tabella 1

8.6 Dati di monitoraggio della pressione di poro

1. Informazioni generali:
 - a) introduzione sulle pressioni di giacimento
 - b) tecniche di misurazione e di valutazione tramite modelli
2. Dati generali sul monitoraggio svolto:
 - a) soggetto che ha realizzato le reti, che ne cura la manutenzione, che raccoglie e analizza i dati
 - b) caratteristiche delle reti (ubicazione dei pozzi monitorati, numero dei sensori e caratteristiche)
3. Dati di monitoraggio delle pressioni di giacimento:
 - a) misure di fondo pozzo
 - b) pressioni di poro nell'intorno del giacimento, stimate tramite l'applicazione dei modelli a partire dalle misure in pozzo

8.7 Documentazione

1. rapporti di gestione della concessione (annuali)
2. rapporti periodici sui risultati dei monitoraggi, eventuali pubblicazioni scientifiche in merito
3. documento di gestione operativa del monitoraggio (DGO; cfr. Capitolo 9)

8.8 Formazione e accesso al sito

1. conferenze
2. news ed eventi
3. organizzazione delle visite presso gli impianti (inclusa la modulistica di richiesta)
4. filmati e foto dell'impianto

8.9 Link utili

1. Link ai siti istituzionali di riferimento
2. indirizzo email per eventuali contatti (info@...)

9. INDIRIZZI IN MATERIA DI STRUTTURA DI GESTIONE, CONTROLLO E INTERVENTO

9.1 Progettazione, realizzazione e manutenzione delle reti di monitoraggio

Considerando che attualmente nell'ordinamento nazionale non è prevista una struttura con competenze specifiche idonee al controllo dei monitoraggi volti a individuare possibili effetti di sismicità indotta dalle attività antropiche, in questa fase transitoria è individuato un soggetto tecnico/scientifico altamente qualificato che supporti il MISE (in particolare gli uffici tecnici UNMIG - Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le georisorse), e, più in generale, l'Autorità competente, nella gestione, nell'analisi e nell'utilizzo dei dati dei monitoraggi. Pertanto, nelle more dell'istituzione di un fondo finalizzato all'affidamento diretto dei monitoraggi da parte del MISE (cfr. Capitolo 2), si propone di seguire i seguenti indirizzi per l'individuazione di tale struttura, che viene definita Struttura Preposta al Monitoraggio (SPM), organo tecnico MISE. La SPM è costituita da una o più Università o Enti di ricerca di comprovate competenze in materia, eventualmente in consorzio tra loro, o anche con strutture private.

Per ogni concessione sarà designata una SPM che svolgerà, in via esclusiva, il compito di organo tecnico di supervisione dei progetti, raccolta, trattamento e trasmissione dei dati al MISE e al Concessionario. Le modalità di conferimento dell'incarico saranno stabilite dal MISE.

Per quanto riguarda la realizzazione e la gestione del monitoraggio - intendendo con il termine "monitoraggio" l'insieme dei tre tipi di monitoraggio previsti, ovvero monitoraggio sismico, delle deformazioni del suolo e della misurazione della pressione di poro - i compiti del Concessionario e della SPM sono suddivisi come spiegato nel seguito.

Il Concessionario, in concerto con la SPM designata, è in carico di predisporre il progetto di monitoraggio, ed è responsabile della realizzazione delle reti (intendendo con ciò l'acquisto, l'installazione o l'eventuale adeguamento della strumentazione), nonché per la loro manutenzione e gestione.

La SPM esamina e valuta il progetto di monitoraggio ai fini della sua approvazione da parte del MISE ed esegue l'elaborazione, l'analisi e l'interpretazione dei dati. La SPM può anche essere incaricata dal Concessionario di eseguire la realizzazione e la manutenzione delle reti, ferme restando la responsabilità e la copertura dei costi da parte dello stesso Concessionario. Al fine di consentire la completa operatività della SPM, il flusso dei dati in continuo deve essere disponibile direttamente per la SPM.

Concessioni limitrofe possono dotarsi di sistemi di monitoraggio condivisi e a tale scopo possono essere stipulati appositi accordi.

In fase di completamento dell'infrastruttura di monitoraggio (reti, centro di raccolta dati, ecc.), la SPM, il Concessionario, l'UNMIG, la Regione e, ove ricorra, il MATTM si riuniscono per definire le modalità operative di gestione del monitoraggio e di interazione tra i vari soggetti coinvolti, tra cui quelle con cui il Concessionario fornisce con cadenza giornaliera alla SPM i dati di produzione/iniezione/stoccaggio, redigendo un Documento di Gestione Operativa del Monitoraggio (DGO). Il DGO dovrà essere reso pubblico mediante le modalità stabilite al Capitolo 8,

salvaguardando comunque la riservatezza industriale dei dati di produzione. All'interno di questo documento saranno indicate le decisioni concordate tra le parti e saranno descritti gli elementi più significativi per la conduzione del monitoraggio nonché, in accordo con le Amministrazioni competenti, le modalità di comunicazione e informazione al pubblico delle eventuali variazioni dei livelli di attivazione delle azioni da intraprendere (cfr. Capitolo 9.2). In particolare, saranno esplicitate le seguenti informazioni:

- i limiti dei domini di rilevazione;
 - i valori dei parametri per il quadro di riferimento e per le soglie del *semforo* da adottare nell'ambito del modello decisionale specifico per ogni singola concessione (cfr. Capitoli 9.2 e 9.4);
 - la procedura con cui sarà messa in atto la riduzione progressiva o la sospensione delle attività di produzione/reiniezione/stoccaggio nel caso di passaggio ai Livelli di attivazione 2 e 3, corrispondenti rispettivamente ai colori arancione e rosso;
 - la procedura con cui sarà ripristinata l'attività, nel momento in cui i parametri monitorati siano tornati al di sotto dei valori corrispondenti ai Livelli di attivazione 1 e 0;
 - eventuali ulteriori elementi utili all'interpretazione dei dati di monitoraggio.
- Nella fase transitoria di cui al Capitolo 2, si ritiene opportuna l'istituzione, sotto il coordinamento del MISF, di un Tavolo di Lavoro in cui i soggetti che svolgono il ruolo di SPM, insieme con rappresentanti del Ministero dell'Ambiente e dei concessionari possano, con cadenza almeno semestrale:

- confrontarsi sulle modalità di attuazione delle presenti Linee Guida;
- analizzare le metodologie applicate nei diversi casi e la qualità dei risultati raggiunti;
- trovare modalità operative quanto più possibile condivise;
- fornire proposte per giungere alla soluzione di eventuali criticità che dovessero emergere nel corso delle attività e nell'implementazione delle presenti Linee Guida.

9.2 Sistema di attivazione delle azioni da intraprendere

Per quanto relativo agli Indirizzi per la gestione del monitoraggio, si propone di adottare, in via sperimentale, un sistema decisionale definito attraverso quattro livelli di attivazione basato sulla valutazione del modello geodinamico dell'area e del quadro complessivo di una serie di parametri monitorati nei domini di rilevazione, quali:

1. la variazione del numero e della frequenza degli eventi sismici, la loro magnitudo e distribuzione spaziale;
 2. i valori di picco di accelerazione e di velocità del moto del suolo;
 3. la variazione dei ratei di deformazione del suolo;
 4. la variazione delle pressioni di poro.
- I quattro livelli di intervento sono definiti nella Tabella 2.

Livello di attivazione	0	Stato corrispondente
	1	Ordinarietà
	2	Attenzione
	3	Riduzione delle attività
		Sospensione delle attività

Tabella 2 – Livelli di attivazione previsti in base alla valutazione del quadro complessivo dei parametri monitorati.

Il sistema decisionale del tipo *a semforo* prevede delle procedure volte a intraprendere delle azioni associate a diversi livelli di attivazione definiti sulla base di valori di soglia dei parametri monitorati. In base alle conoscenze scientifiche attuali, il Gruppo di Lavoro non ritiene opportuno adottare un modello decisionale con degli automatismi a *semforo*, legato a valori precisi di soglia, per tutte le varie attività considerate nelle presenti Linee Guida. Infatti, data la variabilità dei contesti geologici, delle profondità e delle modalità con cui le attività di estrazione e coltivazione di idrocarburi sono svolte, della sismicità naturale di fondo e dalla sua profondità, non è possibile stabilire in modo univoco dei valori di soglia per tutti i parametri sopra citati, ma solo per alcuni di essi. In particolare, le variazioni delle deformazioni e dei relativi ratei devono essere valutate caso per caso in funzione della loro distribuzione spaziale e in riferimento al quadro deformativo di fondo.

Pertanto, il modello decisionale proposto prevede che la transizione da un livello all'altro avvenga attraverso valutazioni effettuate di concerto tra la SPM, l'UNMIG, la Regione e il Concessionario, nell'ambito delle rispettive competenze, contestualmente al manifestarsi di un quadro di valori dei parametri fuori dall'ordinario e al riconoscimento di una possibile correlazione tra le variazioni dei parametri monitorati e le attività di coltivazione/stoccaggio in corso.

Si propone, invece, l'adozione in via sperimentale del sistema decisionale a *semforo*, con automatismi legati a precisi valori di soglia, esclusivamente per le attività di reiniezione di fluidi nel sottosuolo. Questa parte è trattata in dettaglio nel Capitolo 9.4.

I valori di riferimento (o di soglia, per i casi previsti) dei parametri adottati nel DGM saranno definiti dalla SPM per ogni singola concessione in funzione delle caratteristiche sismotettoniche dell'area di attività. Essi potranno eventualmente essere perfezionati e specificati nel DGM alla luce dei dati via via acquisiti nel corso delle attività stesse. Si sottolinea l'importanza, durante i primi anni di applicazione delle Linee Guida, di favorire studi e ricerche, nonché occasioni di confronto scientifico, al fine di pervenire, auspicabilmente, all'identificazione di *marker* che permettano di distinguere la sismicità naturale da quella causata dalle attività antropiche.

9.3 Fasi di gestione delle attività

Per quanto riguarda le azioni da intraprendere in base agli esiti del monitoraggio, si individuano tre distinte fasi di gestione, da affrontarsi come segue.

4. Se sussistono le condizioni per effettuare in tempi utili analisi di correlazione tra le variazioni dei parametri monitorati e le attività di coltivazione/stoccaggio in corso, e l'esito è negativo, cioè non si rilevano correlazioni, si rientra nel Livello di attivazione 0 (ordinarietà, colore verde). Se invece l'esito è positivo, l'UNMIG, la Regione e il Concessionario, ciascuno per quanto di propria responsabilità e sulla base delle analisi della SPM, stabiliscono se ridurre progressivamente (Livello di attivazione 2, colore arancione) o sospendere (Livello di attivazione 3, colore rosso) le attività di produzione/reiniezione/stoccaggio in corso.
1. La SPM informa immediatamente il Concessionario l'UNMIG e la Regione.
 2. La SPM provvede ad analizzare i segnali del monitoraggio con cadenza giornaliera e a fornire consulenza al Concessionario e agli Enti sopra menzionati.
 3. Il Concessionario provvede a fornire i dati di produzione/iniezione/stoccaggio con cadenza possibilmente oraria, comunque al massimo giornaliera, come previsto nel DGM, nonché le eventuali ulteriori informazioni a sua disposizione, al fine di consentire alla SPM di studiare le variazioni riscontrate in relazione alle attività di produzione, reiniezione o stoccaggio in corso, e verificare, se i dati a disposizione lo consentono, l'occorrenza di eventuali correlazioni. È auspicabile che le metodologie di elaborazione utilizzate permettano, tra l'altro, di evidenziare variazioni dagli andamenti tipici della sismicità di fondo, quali variazioni dell'intervallo di tempo tra eventi, variazioni nel valore di b della distribuzione della magnitudo, *clustering* spaziali o/e temporali, comportamenti non-poissoniani. Nel frattempo, la produzione, la reiniezione o lo stoccaggio continuano, salvo diverse considerazioni dell'UNMIG e del Concessionario.

In tal caso, le azioni da intraprendere sono le seguenti.

attivazione 1 (attenzione, colore giallo).
 Nel caso in cui si riscontrino variazioni al di fuori dell'intervallo di variazione di fondo nell'andamento dei parametri monitorati, e/o il superamento dei valori di soglia del semaforo relativi al Livello 0, secondo quanto definito dal DGM per ogni concessione, si passa al Livello di attivazione 1 (attenzione, colore giallo).

Fase 2 - Gestione ordinaria di variazioni nei parametri monitorati

La SPM fornisce i dati acquisiti e le elaborazioni effettuate in regime ordinario al Concessionario, internet come descritto nel Capitolo 8. Inoltre, rilascia all'UNMIG e alla Regione un rapporto periodico sulle attività svolte (cfr. Capitoli 5, 6, 7 e 8).

Riguarda il caso in cui il quadro dei parametri monitorati nel dominio interno di rilevazione, relativamente alla variazione del numero degli eventi e/o della magnitudo della sismicità, nonché dell'accelerazione e della velocità di moto del suolo, dei ratei di deformazione del suolo e delle pressioni di poro, non si discostino dall'andamento di fondo e si mantengano al di sotto dei livelli di riferimento adottati nel DGM, o dei valori di soglia nel caso del sistema a semaforo (un esempio di valori indicativi è riportato nel Capitolo 9.4). Tale quadro si colloca nel Livello di attivazione 0 (ordinarietà, colore verde).

Fase 1 - Gestione ordinaria del monitoraggio

Qualora non sussistano le condizioni per effettuare in tempi utili le analisi di correlazione tra le variazioni dei parametri monitorati e le attività di coltivazione/stoccaggio in corso, l'UNMIG, la Regione e il Concessionario, sulla base delle analisi della SPM, valutano congiuntamente il quadro che emerge dai dati di monitoraggio e stabiliscono, ciascuno per quanto di propria responsabilità, se permanere nello stato di attenzione (Livello di attivazione 1, colore giallo) o eventualmente ridurre progressivamente le attività di produzione/reiniezione/stoccaggio in corso (Livello di attivazione 2, colore arancione). In caso si decida di passare al Livello di attivazione 2 (colore arancione), il Concessionario dà tempestiva comunicazione formale delle azioni intraprese all'UNMIG di competenza (che ne informa a sua volta il MISE-DGRME), alla Regione e del Mare – Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali e della Tutela Ambientale, e alla Provincia. Il MISE-DGRME informa il Dipartimento della Protezione Civile nazionale.

Nel caso in cui, trovandosi nel Livello di attivazione 2, le azioni intraprese non siano considerate sufficienti, l'UNMIG, la Regione e il Concessionario, sulla base delle analisi della SPM, ciascuno per la propria responsabilità, valutano la possibilità di passare al Livello di attivazione superiore (Livello di attivazione 3, colore rosso), sospendendo le attività di produzione/reiniezione/stoccaggio in corso. Il Concessionario dà tempestiva comunicazione formale delle azioni intraprese all'UNMIG di competenza (che ne informa a sua volta il MISE-DGRME), alla Regione e, nei casi di competenza, al Ministero per l'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali e alla Provincia. Il MISE-DGRME informa il Dipartimento della Protezione Civile nazionale.

In tutti i casi, la SPM continua ad analizzare i segnali del monitoraggio con cadenza giornaliera e a fornire consulenza al Concessionario e agli Enti sopra menzionati.

Entro dieci giorni dalla riduzione o sospensione delle attività, la SPM verifica se sia avvenuta una variazione dei parametri compatibile con il rientro ad un livello inferiore o, più in generale, un ripristino delle condizioni di fondo o un'inversione di tendenza nelle variazioni osservate. In caso di esito favorevole di uno dei primi due riscontri, il Concessionario comunica agli Enti sopra menzionati che il quadro dei parametri è compatibile con un rientro al Livello di attenzione inferiore e concorda con essi se riprendere o aumentare progressivamente le attività, verificando giornalmente l'andamento dei valori dei parametri monitorati rispetto al Livello raggiunto. Nel caso in cui il quadro dei parametri indichi un'inversione di tendenza nelle variazioni non sufficiente per il rientro nei Livelli inferiori, si permane nel Livello attivato ancora per un periodo di osservazione stabilito congiuntamente da SPM, UNMIG e Regione, sentito il Concessionario. In tutti i casi il MISE informa il Dipartimento della Protezione Civile nazionale.

Qualora tali condizioni non siano verificate, e dunque permanga l'anomalia dei parametri misurati oltre i tempi sopra definiti, si passa alla Fase 3.

Livello di attivazione	Azioni
0	La SPM fornisce i dati acquisiti e le elaborazioni effettuate in ordinario al Concessionario, all'UNMIG e alla Regione.
1	<p>a) La SPM effettua un'analisi delle variazioni dei parametri monitorati verificandone, ove possibile, l'eventuale correlazione con i dati di produzione/reiniezione/stoccaggio</p> <p>b) La SPM informa immediatamente il Concessionario, l'UNMIG e la Regione</p> <p>c) Il Concessionario fornisce eventuali ulteriori dati sulla produzione, re-iniezione o stoccaggio</p> <p>d) Nel caso sia esclusa, ovvero riscontrata, una correlazione tra le variazioni dei parametri monitorati e i dati di produzione/reiniezione/stoccaggio, si attua, rispettivamente, il rientro al livello 0 di ordinarietà o UNMIG, Regione e il Concessionario, sulla base delle analisi della SPM, fanno una valutazione complessiva delle informazioni disponibili e stabiliscono se ridurre progressivamente (livello di attivazione 2) o sospendere (livello 3) le attività in corso.</p> <p>Nel caso non sia possibile verificare l'eventuale correlazione, UNMIG, Regione e il Concessionario, ciascuno per quanto di propria responsabilità e sulla base delle analisi della SPM, stabiliscono se permanere al livello 1 o passare al livello 2.</p>
2	<p>Restano validi i precedenti punti a-c). Inoltre:</p> <p>d) Il Concessionario riduce progressivamente l'attività</p> <p>e) UNMIG, Regione e il Concessionario, sulla base delle analisi della SPM, stabiliscono se sospendere (livello 3) le attività in corso.</p> <p>f) entro 10 giorni dalla riduzione SPM verifica se ci sono le condizioni per il rientro nell'ordinarietà (livello 0) o nel livello 1.</p>
3	<p>Restano validi i precedenti punti a-c). Inoltre:</p> <p>d) Il Concessionario sospende l'attività</p> <p>e) entro 10 giorni dalla sospensione SPM verifica se ci sono le condizioni per il rientro nell'ordinarietà (livello 0) o nei livelli 1 o 2.</p>

La Tabella 3 riassume, in forma sintetica ma non esaustiva, le azioni da intraprendere in relazione ai diversi Livelli di attivazione.

Civile nazionale, che attiva i propri organismi scientifici e operativi per i seguiti di competenza ai sensi della legge 225/1992.

Il Concessionario, pertanto, sentita la SPM, avvisa tempestivamente l'UNMIG e la Regione. Il MISE, ricevuta immediata comunicazione dall'UNMIG, informa il Dipartimento della Protezione Civile nazionale, che attiva i propri organismi scientifici e operativi per i seguiti di competenza ai sensi della legge 225/1992.

Tale caso rientra in quanto previsto dall'art. 5 della legge 225/1992 e successive modificazioni (imminenza di calamità naturali o connesse con l'attività dell'uomo che in ragione della loro intensità ed estensione debbono, con immediatezza d'intervento, essere fronteggiate con mezzi e poteri straordinari da impiegare durante limiti e predefiniti periodi di tempo).

tempi sopra indicati.

Fase 3 - Gestione straordinaria di variazioni nei parametri monitorati

Riguarda il caso in cui le procedure poste in essere nella Fase 2 sopra menzionata non determinino una variazione dei parametri compatibile con il rientro ad un Livello inferiore o, più in generale, il ripristino delle condizioni di fondo o l'inversione di tendenza nelle variazioni osservate entro i

9.4 Sistema sperimentale a sismoforo

In prima applicazione, si propone di sperimentare l'adozione di un sistema a sismoforo nel dominio di rilevazione per i pozzi di reiniezione.

Per le attività di reiniezione dei fluidi nel sottosuolo, il sistema a sismoforo sarà applicato ai parametri monitorati nel Dominio interno di rilevazione (DI), relativo ai pozzi di reiniezione, come definiti nel Capitolo 5.

I parametri monitorati sono quelli già elencati nel Capitolo 9.1. Come detto, la variabilità dei contesti geologici, delle profondità e delle modalità con cui le attività sono svolte, della sismicità naturale di fondo e dalla sua profondità, non consentono di stabilire in modo univoco dei valori di soglia per tutti i parametri, ma solo per alcuni di essi. In particolare, le variazioni delle deformazioni e dei relativi ratei devono essere valutate caso per caso in funzione della loro distribuzione spaziale e in riferimento al quadro deformativo di fondo.

Le soglie sono indicate per i seguenti parametri: magnitudo (Max), accelerazione di picco al suolo (PGA), e velocità di picco al suolo (PGV). Per l'attivazione del sismoforo vanno considerati i valori assunti dai parametri esclusivamente all'interno del dominio interno di rilevazione DI. La Tabella 3 riporta intervalli o valori di riferimento che possono essere adottati per la definizione delle relative soglie. Si sottolinea che quanto in tabella ha valore puramente indicativo, e che i valori di soglia devono essere definiti ed esplicitati nel DGOM caso per caso per ogni concessione, anche in funzione delle caratteristiche sismotettoniche dell'area di attività e comunque dopo il periodo di monitoraggio previsto in condizioni non perturbate (cfr. Capitolo 5.3), in cui viene rilevata la sismicità di fondo.

È opportuno che si preveda un periodo di calibrazione dei valori delle soglie sulla base dei dati via via acquisiti, in modo da evitare l'attivazione di livelli di intervento non adeguati. I valori di soglia dei parametri adottati potranno eventualmente essere reconsiderati e specificati nel DGOM alla luce dei dati raccolti nel corso delle attività stesse.

Per quanto riguarda la magnitudo, la Tabella 4 suggerisce degli intervalli che ricomprendono i valori massimi (M_{max}) da adottare per la definizione degli singoli livelli del sismoforo. I valori di PGA e PGV, descrittivi dello scuotimento sismico, sono invece univoci e sono stati desunti da quelli usati dal sistema di monitoraggio sismico nazionale dell'INGV per le mappe di scuotimento sismico (*shake maps*; Michelini et al., 2008; <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/index.html>). Tali valori servono ad attivare le opportune azioni in relazione allo scuotimento misurato in superficie, percepito e/o potenzialmente capace di provocare danni alle costruzioni. La scelta definitiva dei valori di soglia, sia per la magnitudo sia per lo scuotimento sismico, sarà effettuata dall'UNMIG e dalla Regione, sentito il Concessionario, ciascuno per quanto di propria responsabilità e sulla base delle analisi della SPM, anche tenendo conto delle condizioni di vulnerabilità e di esposizione del territorio su cui insiste l'attività.

Nel caso venga direttamente superato il terzo valore di soglia del semaforo (semaforo rosso), il Concessionario riduce le attività di produzione/reiniezione/stoccaggio in corso e dà tempestiva comunicazione formale delle azioni intraprese all'UNMIG di competenza (che ne informa a sua volta il MISE-DGRME), alla Regione e, nei casi di competenza, al Ministero per l'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali e alla Provincia. La UNMIG, la Regione e il Concessionario, ciascuno per quanto di propria responsabilità e sulla base delle analisi della SPM, possono sospendere le attività di produzione/reiniezione/stoccaggio in corso. Il MISE-DGRME informa il Dipartimento della

Protezione Civile nazionale circa le decisioni prese e le azioni in corso.

Le fasi di gestione descritte nel Capitolo 9.3 possono evidentemente integrare le indicazioni derivanti dal sistema a semaforo, associando i livelli di attivazione ai corrispondenti colori del semaforo e considerando che il superamento delle soglie del semaforo stesso determina l'adozione diretta delle azioni previste per i vari livelli nelle diverse fasi.

Si ribadisce la necessità di realizzare studi e ricerche per l'identificazione di *marker* che permettano di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente causata dalle attività antropiche, e che permettano la definizione di valori di soglia robusti in funzione delle diverse attività svolte.

Le fasi di gestione descritte nel Capitolo 9.3 possono evidentemente integrare le indicazioni derivanti dal sistema a semaforo, associando i livelli di attivazione ai corrispondenti colori del semaforo e considerando che il superamento delle soglie del semaforo stesso determina l'adozione diretta delle azioni previste per i vari livelli nelle diverse fasi.

Si ribadisce la necessità di realizzare studi e ricerche per l'identificazione di *marker* che permettano di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente causata dalle attività antropiche, e che permettano la definizione di valori di soglia robusti in funzione delle diverse attività svolte.

Si ribadisce la necessità di realizzare studi e ricerche per l'identificazione di *marker* che permettano di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente causata dalle attività antropiche, e che permettano la definizione di valori di soglia robusti in funzione delle diverse attività svolte.

Si ribadisce la necessità di realizzare studi e ricerche per l'identificazione di *marker* che permettano di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente causata dalle attività antropiche, e che permettano la definizione di valori di soglia robusti in funzione delle diverse attività svolte.

Si ribadisce la necessità di realizzare studi e ricerche per l'identificazione di *marker* che permettano di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente causata dalle attività antropiche, e che permettano la definizione di valori di soglia robusti in funzione delle diverse attività svolte.

Si ribadisce la necessità di realizzare studi e ricerche per l'identificazione di *marker* che permettano di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente causata dalle attività antropiche, e che permettano la definizione di valori di soglia robusti in funzione delle diverse attività svolte.

Tabella 4 – Intervalli o valori indicativi di monitoraggio rilevati nel dominio interno di attivazione (D1) da utilizzare come riferimento per la definizione delle soglie. Sono definiti i seguenti parametri: magnitudo massima (M_{max}), accelerazione di picco al suolo (PGA) e velocità di picco al suolo (PGV).

Livello di attivazione	Semaforo	M_{max}	PGA PGV	
			(%g)	(cm/s ²)
0	Verde	$M_{max} \leq 1.5$	-	-
1	Giallo	$M_{verde} \leq M_{max} < 2.2$	0.5	0.4
2	Arancio	$M_{giallo} \leq M_{max} < 3.0$	2.4	1.9
3	Rosso	$M_{arancio} < M_{max}$	6.7	5.8

Uno dei punti intensamente analizzati è stato quello della struttura organizzativa generale, per la quale si riteneva indispensabile assegnare il compito di progettare le reti di monitoraggio, analizzare e interpretare i dati, a soggetti pubblici qualificati, separare il legame diretto tra il Concessionario e il soggetto preposto al monitoraggio in modo da garantire l'indipendenza delle valutazioni scientifiche e, infine, istituire un livello di verifica e controllo sull'attività di monitoraggio svolta. Come indicato nel Capitolo 2, si ribadisce il suggerimento di prevedere l'istituzione presso il MISE di un apposito fondo, alimentato dai Concessionari, con cui il MISE stesso possa curare direttamente l'affidamento dei monitoraggi mediante procedure pubbliche. Pertanto le indicazioni fornite nel Capitolo 9 devono essere considerate come la migliore soluzione possibile, a parere del Gruppo di Lavoro, stante l'attuale quadro normativo.

- alla mancanza di metodologie consolidate e diffuse di analisi, statistiche o fisiche, che permettano di correlare la sismicità rilevata alle attività produttive entro il tempo massimo di uno/due giorni, necessario per prendere delle decisioni.

- alle limitate conoscenze scientifiche a supporto del riconoscimento chiaro e univoco della sismicità indotta dalla cosiddetta sismicità innescata o eventualmente naturale;

- alla peculiarità del territorio italiano rispetto a quello di altri paesi; l'Italia è probabilmente uno dei pochi paesi ad avere una esposizione media/elevata ai terremoti su quasi tutto il proprio territorio;

Il Gruppo di lavoro si è trovato di fronte ad alcune notevoli difficoltà, dovute principalmente:

1. preservare il carico naturale originale, mantenendo il bilancio di fluidi estratti e reiniettati il più vicino possibile allo zero;
2. mantenere la pressione di reiniezione il più possibile vicina a quella originale naturale, comunque da valutare in base ai test di iniettività.

Uno dei temi su cui vi è stata immediata e unanime concordanza di parere è stato quello che riguarda le attività estrattive che comportano la reiniezione dei fluidi. Al fine di ridurre al minimo il potenziale impatto, per queste attività si raccomanda di:

I presenti "Indirizzi e Linee Guida" nascono dalla necessità di adeguare gli standard di sicurezza nelle attività di sottosuolo, vista che il territorio italiano è interessato da terremoti naturali. Essi costituiscono il primo documento nazionale in cui si raccolgono in modo organico e dettagliato le specifiche tecniche delle reti di monitoraggio, e gli indirizzi in merito al quadro decisionale e alle procedure attraverso le quali i risultati dei monitoraggi vengono utilizzati per effettuare azioni. Il documento contiene alcuni elementi per i quali vi è una scarsa esperienza operativa, pertanto si insiste sul fatto che le indicazioni in esso fornite debbano essere rivalutate, in base all'esperienza diretta, indicativamente a due anni dalla loro prima applicazione sperimentale in siti pilota.

10. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

- riconoscimento e caratterizzazione della sismicità indotta, innescata e naturale;
- sviluppo di metodologie rapide e applicabili per stabilire la correlazione tra i vari parametri monitorati e l'attività di coltivazione del sottosuolo;

di altre Istituzioni competenti, tra cui:

generale, si suggerisce di dare impulso ad alcune linee di ricerca specifiche da parte dei Ministeri o volta a fornire in tempi rapidi gli strumenti necessari per una loro applicazione nel semaforo. Più in italiana. Il Gruppo di Lavoro auspica che su questo tema si sviluppi una forte attività di ricerca, metodologie scientifiche consolidate, capaci di fornire risposte immediate e affidabili per la realtà un'opzione che avrà maggiore applicabilità in futuro, quando saranno maturate conoscenze e stata prevista ma, nella consapevolezza delle intrinseche difficoltà di attuazione, la si ritiene rapida una possibile correlazione tra la sismicità rilevata e le attività in corso. Questa possibilità è valutata la possibilità che le decisioni dovessero avvenire a seguito di analisi atte a stabilire in tempi soglie basate sulla magnitudo e sul moto del suolo all'interno dei domini di rilevazione. Si è solo per le attività in cui è prevista la reiniezione di fluidi nel sottosuolo. I semafori sono definiti da attività antropiche. È stata poi suggerita l'adozione, in via sperimentale, di un sistema a semaforo derivante dalle rilevazioni per l'eventuale adozione di azioni di riduzione o sospensione delle importantissimo per permettere alla SPM di disporre per tempo di un quadro scientifico conosciuto. Si noti che il Livello di attivazione 2, quello giallo, rappresenta un livello di "attenzione", rilevazione dei parametri monitorati, prevedendo anche delle modalità "di rientro" all'ordinarietà. attivazione utilizzati come standard internazionali, stabiliti in base al quadro complessivo di funzione dei risultati del monitoraggio. È stato scelto un approccio ripartito su quattro livelli di L'ultimo punto trattato è quello che riguarda gli indirizzi in merito alle decisioni da adottare in

di cartografare la sismicità e le deformazioni del suolo con l'accuratezza necessaria. precisione e sensibilità minori, il livello di osservazione nel dominio esteso di rilevazione permette che comunque può essere ulteriormente allargato, qualora lo si ritenga opportuno. Sebbene con dal volume del dominio esteso di rilevazione, di cui si dà un criterio di quantificazione minima, e ambito può essere ricondotta nella categoria della sismicità innescata, è presa debitamente in conto svolte le attività e l'eventuale occorrenza di sismicità connessa all'attività antropica, che in tale Il riconoscimento di dettaglio della sismicità naturale nel volume circostante a quello dove sono

velocità nonché, laddove i dati lo consentiranno, di tracciare l'eventuale migrazione della sismicità. tecniche raffinate per la localizzazione dei terremoti e la ricostruzione di variazioni nei modelli di monitoraggio sismico dovrà avere la massima sensibilità, in modo tale da consentire l'utilizzo di includere i fenomeni di sismicità indotta. Per il dominio interno di rilevazione, la rete di o la zona sorgente (giacimento) delle attività con un raggio limitato ma sufficientemente ampio da di stoccaggio. Il dominio interno di rilevazione del monitoraggio sismico circoscrive i punti (pozzi) esteso di rilevazione", in base alle posizioni dei pozzi e all'estensione del giacimento o del serbatoio definizione di due volumi, chiamati rispettivamente "dominio interno di rilevazione" e "dominio derivate da differenti attività produttive. Alla fine, il principio unificante è stato individuato nella necessario considerare e sintetizzare, in un impianto formale semplice e applicabile, le esperienze e di come attuare procedure decisionali efficaci. Soprattutto per il monitoraggio sismico, è stato Un altro punto affrontato è stato quello della definizione delle aree su cui effettuare il monitoraggio

- analisi del significato dei valori osservati in funzione dei parametri di produzione/reinizione/stoccaggio;
- modalità di integrazione della sismicità indotta nelle stime di pericolosità sismica di tipo *time dependent*.

Roma, 24 novembre 2014

Ing. Gilberto Dialuce

Dott. Claudio Chiarabba

Dott.ssa Daniela Di Bucci

Prof. Carlo Doglioni

Prof. Paolo Gasparini

Ing. Riccardo Lanari

Dott. Enrico Priolo

Prof. Aldo Zollo

GLOSSARIO

1. **Autorità Competente:** l'individuazione di una Autorità Competente in esame deve essere introdotta da opportuna definizione legislativa. Attualmente, in mancanza di riferimenti nell'ordinamento nazionale, in materia di coltivazione del sottosuolo, per Autorità competenti si intendono, per quanto di pertinenza: l'UNMIG per la sicurezza e la vigilanza delle attività minerarie con specifico riferimento all'esplorazione e la coltivazione di idrocarburi e agli stoccaggi; il MATTM per quanto riguarda gli aspetti della valutazione di impatto ambientale; le Regioni per le autorizzazioni alla reiniezione e per le intese per il rilascio dei titoli, nonché per la competenza esclusiva nel settore delle attività geotermiche; le Province per le attività di cave e miniere per i minerali solidi.
2. **Carico litostatico:** il carico litostatico (comprendente i fluidi) in ambienti tettonici estensionali coincide con la direzione dell'asse principale del massimo tensore degli sforzi. L'aumento del carico litostatico determina una crescita dello stress differenziale che può portare all'attivazione o innescamento di faglie attive. Viceversa, il carico litostatico in ambienti compressivi è il minimo tensore di sforzo, e la sua diminuzione aumenta a sua volta lo stress differenziale, facilitando l'attivazione o l'innescamento di faglie attive. In ambienti trascorrenti il carico litostatico è il tensore intermedio degli sforzi. Pertanto tali modifiche del campo di sforzo devono essere attentamente monitorate e valutate nel volume crostale coinvolto dall'attività mineraria, al fine di non turbarne l'equilibrio.
3. **Concessionario:** il titolare di una concessione di risorse minerarie e, in particolare, di idrocarburi e di stoccaggio sotterraneo di gas naturale. Il concessionario è per la normativa italiana di recepimento comunitario (D.Lgs. 624/1996 di recepimento delle direttive 92/91/CBE e 92/104/CBE) il titolare responsabile della sicurezza delle attività, della redazione ed attuazione del piano di sicurezza e di emergenza, e del documento di sicurezza e salute coordinato depositato presso l'autorità di vigilanza, nel cui ambito devono essere disposte tutte le misure di prevenzione del rischio, di monitoraggio e di intervento in materia di sicurezza.
4. **Deformazione del suolo:** cambiamento di forma, volume e/o della posizione di una o più porzioni dello strato superficiale che ricopre la crosta terrestre.
5. **Faglia attiva:** faglia che presenta evidenze di scorrimento relativo tra due volumi di roccia/terreno avvenuto nel corso degli ultimi 40.000 anni, per cui si presume che lo scorrimento possa ancora verificarsi.
6. **Faglia sismogenica:** faglia in grado di generare terremoti. Al fine di stimare la pericolosità sismica, l'aggettivo sismogenico viene attribuito alle faglie presenti in quella parte della litosfera che si trova al di sopra della transizione fragile-ductile e che è caratterizzata da un prevalente comportamento elasto-fragile e/o elasto-frizionale delle rocce.
7. **Giacimento (reservoir):** struttura geologica con caratteristiche che hanno consentito, nel tempo, l'accumulo e la conservazione degli idrocarburi. La presenza di particolari assetti

11. *Meccanismo focale*: il meccanismo focale di un terremoto descrive la deformazione nella regione sorgente da cui sono irradiate le onde sismiche. Nel caso di un evento sismico prodotto dalla frattura lungo una superficie di faglia, il meccanismo focale fornisce l'informazione sull'orientazione nello spazio del piano di faglia e del vettore di dislocazione ed è anche conosciuto come "soluzione del piano di faglia". Per descrivere l'orientazione di tale piano in un sistema di coordinate geografiche sono necessari due angoli, l'orientazione

in cui è espresso in Nm. Questa scala di magnitudo, pur essendo calibrata sulla (magnitudo dalle onde di superficie), gode della importante proprietà che non satura al crescere della magnitudo.

La scala di magnitudo-momento è pertanto definita in termini della magnitudo che si

ottiene dal momento sismico attraverso la relazione:

10. *Magnitudo Momento (Mw)*: la magnitudo momento () è stata introdotta da Kanamori (1977) e Hanks e Kanamori (1979) per misurare la grandezza di un terremoto in termini di rilascio di energia. Si basa su di un parametro di sorgente, il momento sismico scalare (), che esprime il momento di una delle due coppie di forze che generano la dislocazione all'origine del terremoto e che risulta uguale al prodotto tra la rigidità delle rocce () nella zona sorgente, la dislocazione finale media sulla superficie di frattura (), e la dimensione dell'area di faglia ():

dove A è l'ampiezza massima del moto del suolo, corretto per la risposta strumentale, misurata in μm e Δ è la distanza in km ($\Delta < 600$ km). La magnitudo locale M_L è raramente utilizzata oggi nella sua formulazione originaria dal momento che i sismografi a torsione Wood-Anderson non sono più disponibili e perché, naturalmente, la maggior parte dei terremoti non avviene in California. Per questo motivo i coefficienti dell'equazione (1) vanno opportunamente ri-calibrati mediante specifiche analisi preliminari sui sismogrammi acquisiti nella regione d'interesse. Con l'avvento delle registrazioni digitali dei terremoti, è oggi pratica corrente calcolare la magnitudo locale dalla conversione dei sismogrammi in registrazioni simulate a un sismometro Wood-Anderson.

$$M_L = \log_{10} A - 1.67 + 2.56 \log \Delta \quad (1)$$

Anderson:
dell'ampiezza di un sismogramma registrato da un sismografo standard chiamato Wood-Richter (1935) La definizione originale della magnitudo locale è basata sulla misura *Magnitudo Locale*: la magnitudo locale (M_L) o magnitudo Richter, è stata introdotta da

8. *Interferometria SAR differenziale (DInSAR o più semplicemente InSAR)*: tecnica per la stima delle deformazioni del suolo con accuratezza dell'ordine di frazioni della lunghezza d'onda del segnale radar trasmesso nella banda delle microonde.

geologico/strutturali nel sottosuolo (trappole) ha determinato condizioni potenzialmente favorevoli all'accumulo degli idrocarburi, impediscono la migrazione, e quindi la dispersione. Una volta depletato, dopo aver valutato la capacità volumetrica totale (stock) e le caratteristiche petrolifische (porosità, permeabilità, saturazioni gas/acqua), può essere in alcuni casi essere convertito a sito di stoccaggio. Il giacimento è un sistema roccioso poroso e permeabile, strutturalmente complesso, caratterizzato da proprietà geominerarie eterogenee che influiscono sui volumi in gioco e sul movimento dei fluidi.

- (o *strike*) e la pendenza (o *dip*). La direzione di dislocazione è invece specificata mediante una di due quantità alternative che descrivono la direzione media di dislocazione (*rake* o *plunge*).
12. **Memory Gauge:** tipo di misuratore /manometro elettronico di pressione che campiona e registra la pressione a fondo pozzo, raccogliendo i dati e rendendoli adatti al download su apparecchi di acquisizione quando lo strumento montato viene ritirato in superficie. I memory gauges sono generalmente utilizzati per misurare la pressione e la temperatura a fondo pozzo in risposta alla variazione dei tassi di produzione nei test di verifica di produttività del pozzo e delle performance del reservoir.
13. **Pore pressure:** si intende la pressione dell'acqua all'interno dei pori di un mezzo saturato e si indica con la lettera (P). Quando è presente il fluido all'interno delle rocce, la forza effettiva σ_n è ridotta da una quantità equivalente alla pressione di poro, e lo stress di taglio (r) richiesto per causare scivolamento è ridotto secondo la seguente legge:
- $$(1) \tau_{crit} = \mu (\sigma_n - P)$$
- Questa riduzione nella forza effettiva sulla faglia crostale è il meccanismo essenziale della sismicità indotta. Per uno stato di stress tettonico costante, la forza effettiva sulla faglia crostale può essere ridotta al di sotto della soglia critica da un aumento della pressione di fluido contenuta all'interno delle rocce, che porta all'improvviso scivolamento e all'avvenimento di un terremoto.
14. **Sistema di acquisizione/trasmissione dei dati in tempo "quasi reale":** si intende il tipo di acquisizione e trasmissione attraverso cui il dato, una volta raccolto dallo strumento di acquisizione (stazione sismologica), è inviato immediatamente al sistema di elaborazione e archiviazione attraverso pacchetti di dati a lunghezza finita. Nel tempo quasi-reale il sistema rilascia l'informazione con una cadenza temporale non rigorosamente definita e rispettata, così come accade per i sistemi in tempo-reale. Nei sistemi a tempo quasi-reale il ritardo con cui viene rilasciata l'informazione è in genere dell'ordine di frazioni di secondo per il sistema di acquisizione e dell'ordine di decine di secondi fino a pochi minuti per il sistema di elaborazione e localizzazione ed eventuale segnalazione.
15. **Sismicità indotta:** sismicità generata da variazioni del campo di stress attribuibili ad attività antropiche (McGarr et al., 2002) o a fenomeni naturali non legati alla deformazione tettonica della crosta terrestre (es: precipitazioni atmosferiche).
16. **Sismicità innescata:** Per sismicità innescata s'intende un'attività naturale la cui enucleazione è stata anticipata da attività antropiche e in particolare dalla sismicità indotta. Le attività antropiche sono responsabili solo di una minima frazione delle variazioni del campo di stress che genera la sismicità, mentre il ruolo stress pre-esistente dovuto alla tettonica.
17. **Sismicità naturale:** sismicità prodotta da variazioni del campo di sforzo dovuto alla deformazione tettonica della crosta terrestre.
18. **Synthetic Aperture Radar (SAR):** modalità di acquisizione da parte di sistemi radar coerenti in grado di consentire la generazione, a seguito di opportuna elaborazione dei dati acquisiti, di immagini a microonde con elevate risoluzioni spaziali (metro/decina di metri).

Le attività di sfruttamento di idrocarburi e dell'energia geotermica, sia in atto che di nuova programmazione, devono essere accompagnate da reti di monitoraggio ad alta tecnologia finalizzate a seguire l'evoluzione nel tempo dei tre aspetti fondamentali: l'attività microsismica, le deformazioni del suolo e la pressione di poro. Queste reti dovrebbero essere messe in funzione al più presto, già quando si attende la concessione, in modo da raccogliere informazioni sulla sismicità ambientale precedente all'attività per il più lungo tempo possibile. Il monitoraggio microsismico può fornire indicazioni sulla attività delle faglie e sui meccanismi di sorgente che possono essere utili alla caratterizzazione delle zone sismogeniche.

Il monitoraggio sismico dovrebbe essere effettuato con una rete locale dedicata capace di rilevare e caratterizzare tutti i terremoti di magnitudo almeno 0,5 M_L .

Le deformazioni del suolo devono essere rilevate principalmente con metodi satellitari. Dovrebbero essere utilizzate tecnologie interferometriche (INSAR) e GPS che permettono di identificare processi di subsidenza con una risoluzione di alcuni millimetri all'anno.

Raccomandazioni rapporto ICHESE (p. 196):

APPENDICE A

22. **SPM - Struttura Preposta al Monitoraggio**: soggetto tecnico-scientifico, costituito una o più Università o Enti di ricerca di comprovate competenze in materia, eventualmente in consorzio tra loro, o anche con strutture private, competente in materia di progettazione e gestione di reti di monitoraggio, raccolta e analisi dei dati, cui vengono conferiti dall'Amministrazione competente compiti di raccolta e analisi dei dati di monitoraggio e di supporto all'Amministrazione nelle valutazioni conseguenti. La SPM può inoltre effettuare la progettazione e la realizzazione delle reti.
21. **Surface Readout (SRO)**: termine generico che indica una Lettura superficiale (Surface) tramite invio di una informazione trasformata in forma leggibile (read out). Nel caso specifico indica la lettura superficiale dei dati di fondo pozzo in superficie per mezzo di una linea elettrica.
20. **UNMIG**: Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse, della Direzione generale delle Risorse Minerali ed Energetiche (DGRME) – Ministero dello sviluppo economico – Ufficio tecnico, articolato sul territorio, con compiti di gestione tecnico-amministrativa delle attività di prospezione, ricerca, coltivazione e stoccaggio di idrocarburi, vigilanza e controllo sugli impianti, prevenzione infortuni, sicurezza e salute dei lavoratori sia in terraferma che in mare.
19. **Rilascio di sforzo (o stress-drop)**: il rilascio di sforzo è la differenza tra lo sforzo iniziale e finale lungo la superficie di faglia, dopo l'occorrenza di un episodio di frattura che da luogo ad un terremoto. Esso è un parametro fisico generalmente variabile sulla superficie di faglia, ma viene solitamente indicato e misurato il suo valore medio. Il rilascio di sforzo si distingue in *statico* (*static stress drop*), differenza tra lo sforzo iniziale ed il livello di attrito statico a frattura avvenuta, o *dinamico* (*dynamic stress drop*), differenza tra lo sforzo iniziale ed il livello di attrito dinamico durante l'evoluzione della frattura.

La pressione dei fluidi nei serbatoi e nei pori delle rocce deve essere misurata al fondo dei pozzi e nelle rocce circostanti con frequenza giornaliera.

Infine, utilizzando l'esperienza di altri casi simili nel mondo e le caratteristiche geologiche e sismotettoniche dell'area in studio, deve essere generato un sistema operativo "a semaforo", e devono essere stabilite le soglie tra i diversi livelli di allarme.

È consigliabile che tutti i dati sismici vengano continuamente analizzati con metodologie statistiche per evidenziare variazioni dagli andamenti tipici della sismicità di fondo, quali variazioni dell'intervallo di tempo tra eventi, variazioni nel valore di b della distribuzione della magnitudo, clustering spaziali o/ e temporali, comportamenti non-poissoniani. L'utilizzo di metodologie ETAS e di eventuali altre nuove metodologie va incoraggiato.

È necessario che i dati rilevanti per il conseguimento di quanto sin qui indicato e in possesso delle compagnie siano da esse messi a disposizione degli enti responsabili per il controllo.

Infine, l'implementazione di un Programma di Interazione e Comunicazione con la popolazione e gli amministratori locali ha una importanza critica perché venga acquisita fiducia nella gestione ottimale delle operazioni."

BIBLIOGRAFIA

1. Hanks, T.C. and H. Kanamori (1979). Moment magnitude scale, *Journal of Geophysical Research* 84 (B5): 2348-50).
2. H. Kanamori (1977). The energy release in great earthquakes. *J. Geophys. Res.* 82, 2981-2987).
3. International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia Region Report (2014).
4. ISPRA, Rapporto sullo stato delle conoscenze riguardo alle possibili relazioni tra attività antropiche e sismicità indotta/innescata in Italia (2014).
5. Legge 24 Febbraio 1992, n.225, Istituzione del Servizio Nazionale della Protezione Civile. (GU n.64 del 17-3-1992, Suppl. Ordinario n.53).
6. MATTM, – Commissione VIA – VAS (2013). Relazione del gruppo di lavoro per la formulazione di prescrizioni inerenti il monitoraggio micro-sismico, geodetico e termodinamico negli stocaggi di gas.
7. McGarr, A., D. Simpson, and L. Seeber (2002), 40. Case histories of induced and triggered seismicity, *International Geophysics*, 81A, 647-661. Michelini, A., Faenza, L., V., Lauciani, and L. Maligni, 2008. ShakeMap implementation in Italy. *Res. Lett.* 79, 688-697.
8. Michelini, A., Faenza, L., V., Lauciani, and L. Maligni, 2008. ShakeMap implementation in Italy. *Res. Lett.* 79, 688-697.
9. Richter, C.F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale". *Bulletin of the Seismological Society of America* 25 (1-2): 1-32).
10. Sansosti, E., Casu, F., Manzo, M., Lanari, R., 2010, Space-borne radar interferometry techniques for the generation of deformation time series: An advanced tool for Earth's surface displacement analysis, *Geophysical Research Letters*, 37, DOI: 10.1029/2010GL044379.
11. Seismic hazard due to small-magnitude, shallow-source, induced earthquakes in The Netherlands - Torild van Eck*, Femke Goutbeek, Hein Haak, Bernard Dost
Seismology Division, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) - Engineering Geology - Volume 87, 105-121, 2006.
12. TNO – 2008-U-R1071/B – Berghermeer seismicity study.
13. Zollo A. e Emolo A., *Terremoti e onde: Metodi e pratica della sismologia moderna*, 2011, Liguori ed., Napoli.

M/Bole.

ALLEGATO D
SUBSIDENZA

IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO CASTEL GIORGIO (TR)
Studio di Impatto Ambientale

GEOTERMIA ITALIA S.p.a.



	BIBLIOGRAFIA	
1		
11	DELL'EVENTUALE SUBSIDENZA	
	ALFINA - CASTEL GIORGIO E IL MONITORAGGIO	
	IL CASO SPECIFICO DEL CAMPO GEOTERMICO DI TORRE	3
10	CERRO PRIETO, MESSICO	2.3
8	WAIRAKEI, NUOVA ZELANDA	2.2
7	THE GEYSERS, CALIFORNIA, USA	2.1
7	SUBSIDENZA IN CAMPI GEOTERMICI NEL MONDO	2
2	SUBSIDENZA NEI CAMPI GEOTERMICI TOSCANI	1
1	INTRODUZIONE	0
	INDICE	



PROGETTO P13_ITW_049

TITOLO ITW&LKW GEOTERMIA ITALIA S.p.A.:
IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO CASTEL GIORGIO (TR)
ALLEGATO D

REV. Pagina
0 1

INTRODUZIONE

0

L'estrazione di fluidi dal sottosuolo può dar luogo a fenomeni di subsidenza (abbassamento locale del suolo).
Si riporta di seguito una rassegna di questi fenomeni nei campi geotermici toscani e nei campi geotermici nel mondo e si discute il caso del campo geotermico di Torre Alfina fornendo anche informazioni sul monitoraggio programmato per controllare l'eventuale subsidenza indotta.

SUBSIDENZA NEI CAMPI GEOTERMICI TOSCANI

1

Si riporta di seguito quanto scrive in merito al problema della subsidenza l'Agenda Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Toscana (www.Arpat.toscana.it Febbraio 2013).

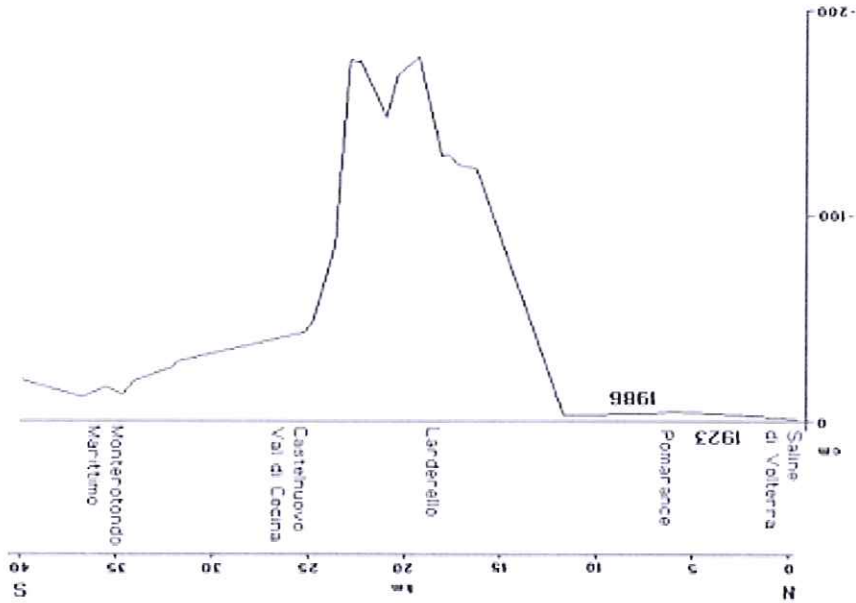
"L'estrazione di fluidi dal sottosuolo può dare luogo a fenomeni di subsidenza (ovvero di abbassamento del suolo), più o meno marcati a seconda dell'intensità degli squilibri che si sono prodotti. Così come lo sfruttamento di una falda d'acqua in eccesso rispetto alla velocità di ricarica, o l'estrazione di gas o di petrolio da un giacimento può portare ad un abbassamento del suolo, anche lo sfruttamento di risorse geotermiche può generare questo tipo di fenomeni. Di solito l'evento è più marcato nei campi a liquido dominante, dove viene prodotta molta acqua e poco vapore. La subsidenza è stata osservata sin dalla seconda metà degli anni '50 a Wairakei: in assenza quasi totale di reiniezione del fluido, si misurava un abbassamento consistente in corrispondenza della regione circostante l'area di sfruttamento. Gli studi avviati all'inizio degli anni '70 nell'area di Travale-Radicondoli hanno rilevato come tra il 1973 ed il 1991 si sia avuto un abbassamento del piano di campagna sino ad oltre 40 cm, in corrispondenza del centro della zona più produttiva (Figura 1a). Il fenomeno è stato più rapido nei primi anni di attività, divenendo poi via via meno marcato, per il raggiungimento di una condizione di deficit di massa abbastanza modesto: attraverso misure di microgravità risultava che solo il 3% dei fluidi estratti dai pozzi nel periodo 1979-91 non veniva reintegrato.

Figura 1a
Subsidenza nel Campo di Vapore di Travale-Radicondoli per il Periodo 1973 - 1991 (da Di Filippo et al., 1995)



Questa situazione di stato quasi-stazionario può essere spiegata con la possibilità di ricarica da acquiferi profondi di dimensione regionale. A Larderello rilievi accurati furono effettuati già nel 1922-23 per volontà del principe Piero Ginori Conti, ad opera dell'Istituto Geografico Militare. Solo nel 1985 è stato, tuttavia, messo in attività un moderno sistema di monitoraggio. La Figura 1b mostra un interessante confronto tra il profilo del livello del piano di campagna nel 1923 e nel 1986: in corrispondenza del centro dell'area, per qualche chilometro il suolo si è abbassato per più di un metro. Le precauzioni di oggi, consistenti nel contenimento dello sfruttamento dei campi di vapore e nella pratica della reiniezione, hanno, tuttavia ridotto il fenomeno in maniera significativa: nelle vecchie zone di sfruttamento si ha una buona stabilità, mentre in quelle di più recente attivazione il fenomeno si manifesta con velocità inferiori al centimetro per anno.

Figura 1b Subsidenza nell'Area di Larderello tra il 1923 ed il 1986 (ENEL, 1995)



Un monitoraggio della subsidenza allo scopo di verificare gli effetti della reiniezione lungo le direttrici Castellnuovo Val di Cecina-Larderello-Pomarance è stato avviato nel 1986. Dopo 7 anni di osservazione si è potuto verificare come nell'area di Larderello si fosse verificato un abbassamento di 0-2 cm, che arrivavano sino ad un massimo di 8,5 cm nelle zone marginali, di più recente sfruttamento. Larderello, grazie anche alle operazioni di reiniezione, risulta ormai abbastanza stabile, mentre a Castellnuovo Val di Cecina la subsidenza permane ancora apprezzabile (circa 1 cm/a, nel caso peggiore). Secondo Celati et al. (1991), lo sfruttamento del campo di vapore, a Larderello, avrebbe influito positivamente sulle velocità di ricarica ad opera di acque superficiali che appaiono contribuire, in maniera tutt'altro che marginale, alla ricostituzione del vapore nel serbatoio. La presenza di trizio a più di 5 km dalla zona di ricarica indica una rapida circolazione dell'acqua di ricarica ed un contatto con le rocce del serbatoio molto limitato. L'ordine di grandezza della portata di ricarica naturale, a Larderello, è di 1000 t/h".

Anche per la zona di Travale-Radicondoli alcune indagini effettuate dal 1973 hanno rilevato che quest'area è stata interessata da fenomeni di subsidenza nell'ordine di 2,5 cm all'anno tra il 1973 e il 1983, e di 2 cm negli anni successivi. Nel 1991 da osservazioni fatte nella zona centrale dell'area, è stato evidenziato un abbassamento del suolo di circa 40 cm, con fenomeni inferiori procedendo verso i margini del campo. Gli abbassamenti del terreno registrati nei campi di Larderello, e Travale-Radicondoli sono stati generalmente più accentuati nei primi periodi di coltivazione, divenendo meno marcati negli ultimi anni, fino a raggiungere una situazione quasi stazionaria in alcune zone, in particolare per la zona di Larderello. Questi eventi di arresto o quantomeno di mitigazione sono stati riscontrati dopo l'introduzione della tecnica di reiniezione dei fluidi nel sistema geotermico, operazione che avrebbe contribuito ad arrestare il processo di subsidenza, oltre a diminuire la parte gassosa del fluido, migliorandone la resa energetica e mitigando il potenziale d'inquinamento.

Un monitoraggio della subsidenza lungo le direttrici Castelnuovo Val di Cecina-Larderello-Pomarance avviato nel 1986 e concluso nel 1993 ha rilevato un abbassamento del terreno di 0-2 cm per l'area di Larderello, con punte massime di 8,5 cm registrate nelle zone di più recente sfruttamento.

Alcuni dati storici per l'area di Larderello provenienti da una campagna di rilevamento realizzata nel 1923 a cura dell'Istituto Geografico Militare sono stati confrontati con i primi rilevamenti del sistema di monitoraggio introdotto nel 1985. La comparazione dei dati raccolti ha evidenziato come nella zona si siano verificati fenomeni di subsidenza con sprofondamenti del terreno fino oltre 1 metro su una superficie di qualche chilometro.

Questo fenomeno è comunque, indipendentemente dalla tipologia del sistema geotermico, un indicatore evidente della necessità di mantenere l'acquifero in equilibrio per evitare il depauperamento del sistema geotermico e la perdita di pressione e di portata.

La subsidenza, cioè l'abbassamento del terreno provocato dall'emungimento del fluido dal sottosuolo è un fenomeno provocato dalle attività estrattive, sia in campo petrolifero e minerario, sia come effetto di emungimenti consistenti di acqua di falda per usi civili e/o industriali. La manifestazione di fenomeni di subsidenza spesso coincide con la parte del campo geotermico, dove è maggiore lo sfruttamento, a volte, però gli abbassamenti del terreno sono evidenti anche nelle zone limitrofe all'area dei pozzi, e di solito sono maggiori nei sistemi a liquido dominante, dove sono estratti maggiori quantitativi di acqua rispetto ai sistemi a vapore dominante.

Subsidenza

Si ritiene utile riportare anche quanto scrive in merito alla subsidenza nel campo geotermico toscano di Larderello – Travale, l'associazione ambientalista Amici della Terra (2008).

un responsabile sfruttamento del sistema rappresentano, a oggi, efficaci misure per minimizzare gli effetti e contribuire alla soluzione dei problemi ambientali connessi all'utilizzo energetico della risorsa".

I fenomeni di subsidenza nel campo geotermico di Travale – Radicondoli sono stati oggetto anche di un rapporto scientifico presentato nel 2005 al World Geothermal Congress (Ciuili et al., 2005). Si riportano di seguito alcune parti del rapporto.

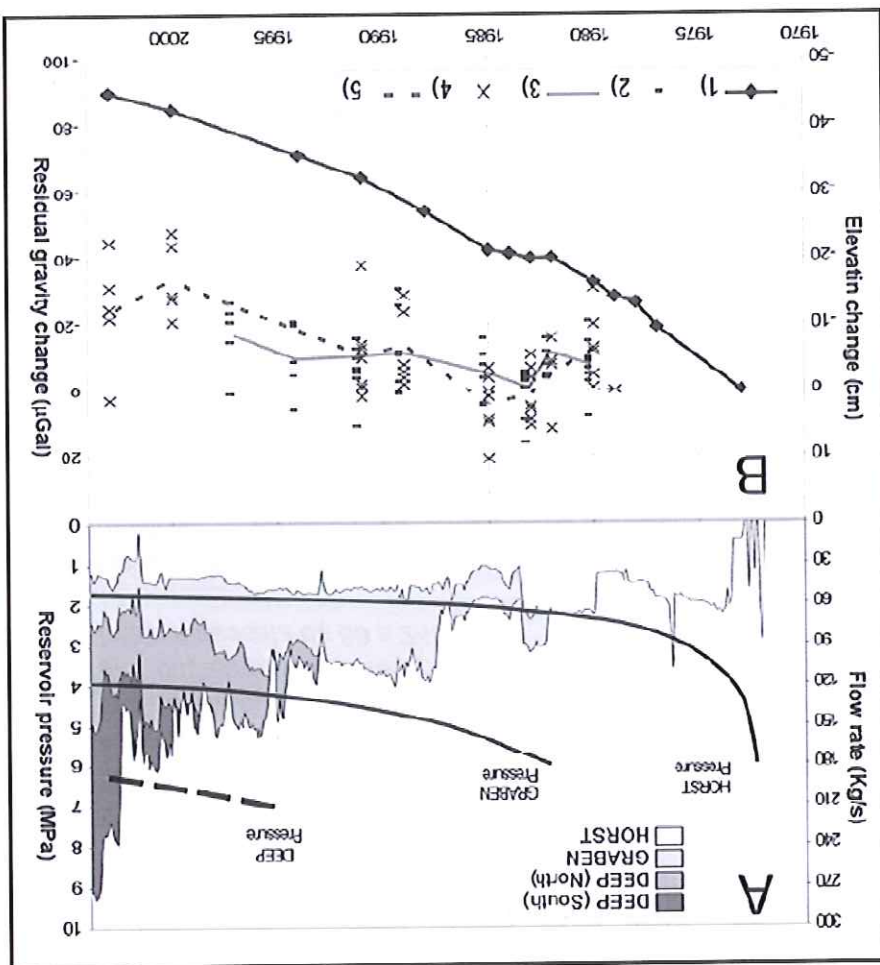
"Lo sfruttamento industriale del campo geotermico di Travale-Radicondoli è iniziato nel 1973. Nel 2003, a 30 anni di distanza, è stata misurata una subsidenza massima di 50 cm in una piccola area centrale del campo. Il tasso iniziale era di 2,3 cm/anno ed è progressivamente diminuito fino all'attuale valore di 1 cm/anno, valore molto piccolo considerato che nel frattempo la produzione totale è passata da 60 a 240 kg/s".

Nella *Figura 1c* è riportata la *Fig.5* di *Ciuili et al. (2005)*, nella quale sono mostrate le variazioni nel tempo della pressione (P) nei tre serbatoi geotermici del campo (horst, graben, profondo). Si noti come la P del serbatoio horst (il primo ad essere stato sfruttato) è scesa da 60 bar (6Mpa) nel 1973 a meno di 20 bar nel 2005, con la maggior parte del decremento avvenuto nel periodo iniziale di sfruttamento. Il decremento di P negli altri due serbatoi è minore (circa 20 bar tra 1983 e 2005 nel serbatoio "graben"; circa 9 bar tra 1997 e 2005 nel serbatoio profondo).

Si richiama l'attenzione sul fatto che la modellizzazione numerica del campo geotermico di Castel Giorgio, realizzata su nostro incarico da Terra Energy – Università di Pisa, indica una diminuzione di pressione nel serbatoio nella zona produttiva di 7-8 bar (si veda l'*Allegato 3 del Progetto Definitivo*). Da rilevare inoltre che nel campo Travale-Radicondoli non vi è stata per lungo tempo alcuna reiniezione di fluido nel serbatoio, mentre a Castel Giorgio è prevista la reiniezione totale del fluido estratto.

Figura 1c

Travale - Radicondoli A: Tasso Totale di Fluido Estratto e Variazione nel Tempo della Pressione in Ciascun Serbatoio. B: 1) Andamento Medio della Subsidenza, da 2) a 5) Variazioni di Microgravità con Varie Tecniche di Misura (da Ciulli et al., 2005)



È da rilevare che né nel rapporto ARPAT, né nella pubblicazione di Amici della Terra (2008) si trova alcun riferimento a fenomeni di subsidenza nella zona geotermica del M. Amiata. Questo lascia pensare che la subsidenza della zona sia trascurabile tanto da non aver richiamato l'attenzione degli organismi di controllo (ARPAT) o di associazioni ambientaliste.



Più recentemente *Mossop e Segall (1997)*, modellando la subsidenza di The Geysers, giungono alla conclusione che questa può essere spiegata con una deformazione poroelastica in un serbatoio con un "bulk modulus" quasi statico non superiore a 3.6×10^9 Pa.

La causa della subsidenza fu inizialmente attribuita al declino della pressione del vapore nel serbatoio (*Lofgren, 1981*). Ma alcuni studiosi (*Denlinger et al., 1981*) osservarono che la riduzione modesta della pressione del vapore fino ad allora registrata (10 bar), combinata con un alto valore del "bulk modulus" stimato dai dati sismici ($Kd = 3 \times 10^{10}$ Pa), non era consistente con la subsidenza osservata e attribuirono il fenomeno a una combinazione di deformazioni termoelastiche e poroelastiche.

Nel periodo 1973-1977 fu misurata una subsidenza massima di 19,2 cm con un tasso medio di 4,8 cm/anno, centrata sull'area di principale estrazione di vapore. Nel periodo 1977-1996 la subsidenza massima è stata di 90 cm, con un massimo di 4,7 cm/anno (*Mossop e Segall, 1997*) (Figura 2.1a).

Il campo geotermico di The Geysers in California è il maggior produttore di elettricità al mondo. Al suo massimo, a metà degli anni '80, venivano prodotti circa 2 GW di energia, attraverso l'estrazione di grandi quantità di vapore. La produzione elettrica è poi diminuita perché la pressione del vapore nel serbatoio è scesa dagli iniziali 35 bar fino a 12 bar nel 1988.

2	SUBSIDENZA IN CAMPI GEOTERMICI NEL MONDO	2.1	THE GEYSERS, CALIFORNIA, USA
---	---	-----	-------------------------------------

2.2

WAIRAKEI, NUOVA ZELANDA

Il campo geotermico di Wairakei è quello dove si è verificata una subsidenza di gran lunga superiore a quella osservata non solo negli altri campi geotermici del mondo, ma anche nell'estrazione dal sottosuolo di acqua, petrolio o gas (*Allis, 2000*). Esso rappresenta pertanto un caso molto particolare, non estrapolabile ad altre situazioni.

La centrale elettrica di Wairakei è entrata in esercizio nel 1958. La potenza installata ha raggiunto un massimo di 192 MWe negli anni '60 ed era di circa 165 MWe nel 2005. La reiniezione di fluido è cominciata solo nel 1996 e vengono reiniettate circa 30.000 t/giorno a fronte di 140.000 t/giorno di fluido (vapore ed acqua bollente) estratto da pozzi profondi 500 - 1000 m. La produzione ha causato una diminuzione della pressione del fluido nel serbatoio di circa 25 bar, prevalentemente negli anni '60 e '70 (*Figura 2.2a*).

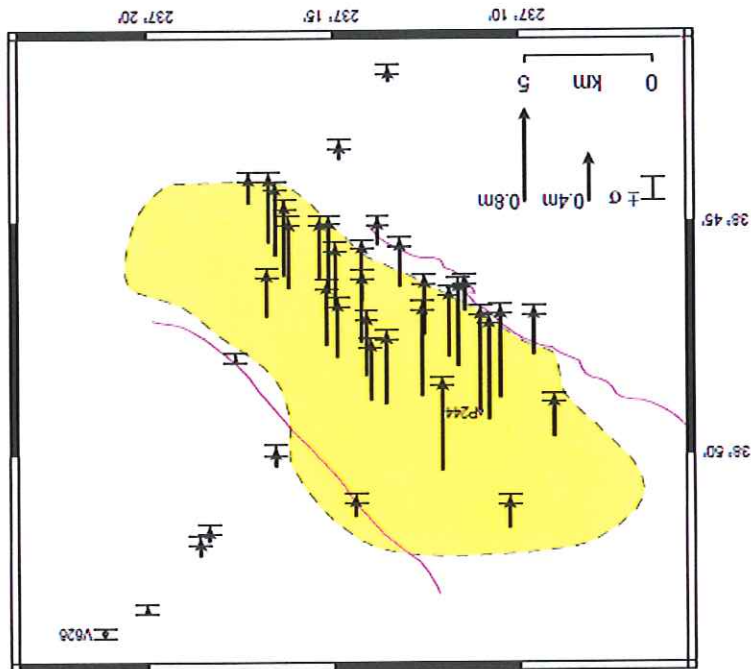
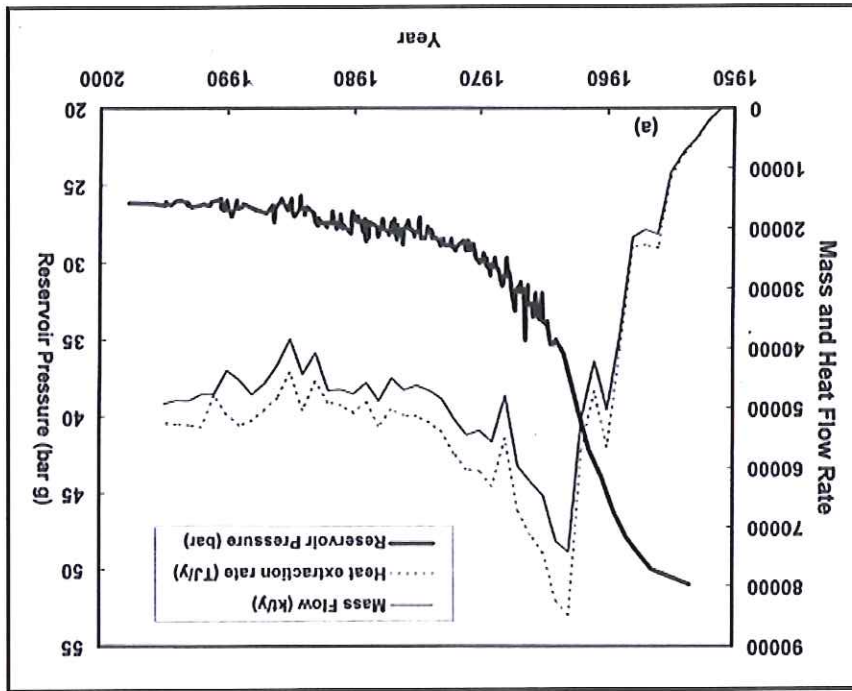


Figura 2.1a Subsidenza a The Geysers nel 1977-1986 (da Mossop e Segall, 1997)

La causa della subsidenza è attribuita alla compattezza di un livello lacustre di argilla consolidata ad alta porosità e bassa permeabilità situato a 100-200 m di profondità, causata dal lento drenaggio dell'acqua in esso contenuta dovuto alla diminuzione di pressione nel serbatoio geotermico sottostante (Allis, 2000). La piccola estensione laterale della depressione viene spiegata con la scarsa compattezza originaria del livello lacustre a causa della sua deposizione al di sopra della zona di emergenza di sorgenti termali (Allis, 2000). Questa descrizione testimonia dell'eccezionalità delle condizioni naturali di Wairakei. In particolare nel campo geotermico di Torre Allina- Castel Giorgio, a causa della presenza di un'efficace copertura di terreni impermeabili sopra il serbatoio, non esistono manifestazioni termali in superficie, a parte quella piccola a sud di Torre Allina. Si ricorda che un pozzo (Affina 13), ubicato non lontano da questa manifestazione, è stato utilizzato a lungo per l'estrazione di anidride carbonica, senza che sia stato osservato alcun fenomeno di subsidenza.

I fenomeni di subsidenza hanno cominciato ad essere osservati pochi anni dopo l'inizio della produzione. Il massimo di subsidenza si registra in corrispondenza di una depressione avente un diametro di circa 1 km situata a nord del campo dei pozzi e ubicata in prossimità di una zona di manifestazioni termali naturali. Al centro della depressione la subsidenza totale era di 15 m nel 2001 con un tasso che era di quasi 500 mm/anno alla fine degli anni '70 ed è poi diminuito a circa 100 mm/anno (White et al., 2005; Allis, 2000).



Variazione nel Tempo della Massa Totale e del Flusso di Calore Estratto a Wairakei dai Pozzi Produttivi e della Pressione del Serbatoio a - 152 m slm (da Allis, 2000)

Figura 2.2a

Il campo geotermico ad acqua dominante di Cerro Prieto ha cominciato a produrre energia elettrica nel 1973 (75 MWe) e dal 2011 ha una capacità installata di 720 MWe che ne fa il secondo più grande generatore di energia geotermoelettrica del mondo, dopo The Geysers.

Vengono sfruttati due serbatoi principali a profondità variabile da 1.500 a 3.000 m e con temperature da 260 a 350 °C.

Nel periodo 1994-1997 il tasso medio di estrazione del fluido è stato di $1,05 \times 10^5$ m³/giorno, solo il 18 % del quale è stato reiniettato a profondità di 500-2.600 m (Sarychikhina et al., 2011). In realtà nel 2010 la quantità di fluido estratto è stata di 115×10^6 tonnellate, mentre quella di fluido reiniettato è stata di solo 6×10^6 tonnellate (5,2%) (Lippmann et al., 2010).

Il campo geotermico si trova in una zona tettonica attiva, un bacino in espansione interessato da una subsidenza naturale stimata a 0,50 cm/anno, che rappresenta però solo il 4-5 % della subsidenza totale osservata (massimo di circa 12 cm/anno al centro della zona di estrazione del fluido) (Glowacka et al., 2005, Sarychikhina et al., 2011). Tutti gli autori citati attribuiscono la subsidenza ad un "forte" abbassamento della pressione del fluido nel serbatoio causata dalla sua estrazione, ma nelle pubblicazioni non si sono trovati valori numerici specifici di questo decremento di pressione.

È da osservare che le caratteristiche litologiche delle rocce che costituiscono il campo geotermico di Cerro Prieto sono molto diverse da quelle del campo geotermico di Torre Alfilina-Castel Giorgio.

Il campo di Cerro Prieto si trova infatti in un bacino riempito da una potente serie sedimentaria con più di 2 km di sedimenti non consolidati e livelli sedimentari argillificati al di sotto di essi. Il fluido geotermico viene estratto da scisti sedimentari idrotermalizzati e fratturati, isolati dai sedimenti non consolidati dal livello di argillificati che costituiscono la copertura (Glowacka et al., 2005).



Il campo geotermico di Torre Alfinà - Castel Giorgio differisce notevolmente, sotto il profilo geologico e delle caratteristiche meccaniche dalle rocce del serbatoio e di copertura dei campi prima descritti degli USA, Nuova Zelanda e Messico. È più simile al campo toscano di Larderello (serbatoio in rocce carbonatiche, copertura di terreni flyshoidi), ma rispetto a questo possiede certamente, oltre ad una più bassa temperatura del fluido (140°C contro oltre 200°C), una copertura impermeabile più efficace e continua come dimostra anche la sostanziale assenza di manifestazioni termali in superficie, a parte la piccola manifestazione presso Torre Alfinà, mentre la zona di Larderello era nota prima dello sfruttamento per le sue emissioni naturali di vapore dette "soffioni". Un'altra sostanziale differenza è data dal fatto che in tutti i casi citati, solo una piccola frazione del fluido estratto viene reiniettato nel sottosuolo (operazione peraltro iniziata assai tardivamente) mentre nel progetto Torre Alfinà - Castel Giorgio è prevista la reiniezione totale del fluido estratto.

Un'altra sostanziale differenza è nella diminuzione della pressione del fluido nel serbatoio causata dall'estrazione dello stesso. Abbiamo infatti visto dalla rassegna precedente che, nei casi citati, risultano le seguenti diminuzioni della pressione del serbatoio:

Tabella 3a Diminuzione della Pressione del Serbatoio

Luogo	ΔP (bar)
Travale-Radicondoli	40 (serbatoio superficiale) 20 (serbatoio intermedio) 9 (serbatoio profondo)
The Geysers	23
Wairakei	25
Cerro Prieto	Alta, valore non precisato

Dalla modellazione numerica del serbatoio di Castel Giorgio, riportata nell'Allegato 3 del Progetto Definitivo, assumendo la quantità massima di fluido estratto e reiniettato (assunto cautelativamente 1.050 t/ora), l'aumento di pressione che si verifica nei pozzi reiniettori è stimato in 8÷9 bar, mentre, per i pozzi produttori, si registra una riduzione stimata a 7÷8 bar. Tale variazione di pressione è ovviamente positiva nella zona di reiniezione e negativa in quella di produzione. Quest'ultima è quella che teoricamente potrebbe causare effetti di subsidenza.

Tuttavia il valore è talmente modesto e soprattutto limitato in termini di estensione areale nell'intorno dei pozzi da far ritenere trascurabile ogni effetto di cedimento del terreno.



Le caratteristiche geologiche del serbatoio fratturato sono tali per cui sarà sufficiente realizzare un modesto aumento di lunghezza del tratto del pozzo aperto per produrre un aumento di iniettività e conseguentemente ridurre il valore assoluto della variazione di pressione necessaria a sostenere il flusso del fluido geotermico con il beneficio di ridurre ancora di più ogni eventuale effetto di subsidenza, ammesso che sia percepibile.

In ogni caso è previsto il monitoraggio degli eventuali movimenti del terreno come di seguito precisato.

Il controllo degli eventuali movimenti del terreno (subsidenza) che dovessero insorgere in conseguenza della gestione operativa del campo geotermico verrà eseguito usando il metodo conosciuto come DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) (Gabriel et al., 1989; Burgmann et al., 2000) che viene utilizzato con successo per il monitoraggio dei movimenti del terreno in molte aree vulcaniche e geotermiche (es. Sarychikhina et al., 2011). Secondo questo metodo copie di immagini satellitari, scattate dal satellite su un'area definita e a una distanza temporale scelta dall'operatore, vengono processate in modo da ottenere mappe della deformazione superficiale nell'area di interesse con un'accuratezza dell'ordine di centimetri. Dal momento che i sistemi satellitari esistenti hanno cicli di ripetizione delle immagini (passaggio del satellite) sulla stessa area piuttosto corti (inferiori al mese), il metodo DInSAR ha la capacità di determinare efficacemente le variazioni nel tempo di movimenti del terreno. Nel caso specifico del progetto Castel Giorgio – Torre Alina, verrà selezionata un'immagine satellitare di riferimento al tempo zero, cioè prima dell'inizio delle operazioni industriali e verranno analizzati gli eventuali movimenti del terreno dal confronto con immagini prese ad un anno di distanza. Questo tempo potrà essere accorciato in caso di necessità, ove dovesse rivelarsi l'insorgenza di movimenti apprezzabili.

Il monitoraggio verrà eseguito da personale scientifico specializzato dell'INGV nell'ambito della convenzione con il Proponente. I risultati verranno trasmessi all'ARPA Umbria e agli Enti o Uffici pubblici che ne faranno richiesta.



PROGETTO P13_ITW_049

ITW&LKW GEOTERMIA ITALIA S.P.A.:
IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO CASTEL GIORGIO (TR)
ALLEGATO D

TITOLO
REV. 0
Pagina 12

BIBLIOGRAFIA

- Agenzia Regionale per la Protezione dell'ambiente Regione Toscana: www.Arpat.toscana.it (Febbraio 2013).
- Allis R. G. (2000). "Review of subsidence at Wairakei field, New Zealand". *Geothermics* 29, 455-478.
- Amici della Terra, Firenze – Onlus (2008). "La risorsa geotermica per usi elettrici in Italia: Energia, Ambiente e Accettabilità sociale".
- Bürgmann, R., Rosen, P.A. and Fielding, E.J., (2000). "Synthetic aperture radar interferometry to 5 measure Earth's surface topography and its deformation". *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1), 169-209.
- Ciulli B., Dini I., Palmieri F., Rossi A. (2005). "Interpreting Ground Deformation and Microgravity Changes in The Travale-Radicondoli Geothermal Field (Italy). *Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 24-29 April*.
- Denlinger R.P., W.P. Isherwood, and R.L. Kovach. (1981). "Geodetic analysis of reservoir depletion at The Geysers steam field in northern California". *Journal of Geophysical Research*, 86, 6091-6096.
- Gabriel, A., Goldstein, R. and Zebker, H., (1989). "Mapping small elevation changes over large 23 areas: Differential radar interferometry". *Journal of Geophysical Research*, 94(B7), 9183-24 9191.
- Glowska E., Sarychikhina O., Nava F. A. (2005). "Subsidence and Stress Change in the Cerro Prieto Geothermal Field, B. C., Mexico". *Pure Appl. Geophys.* 162, 2095-2110.
- Lippmann M. J., Truesdell A. H., Rodriguez M.H., Pérez A. (2004). "Response of Cerro Prieto II and III (Mexico) to exploitation" *Geothermics*, 33, 229-256.
- Lotgren B.E. (1981). Monitoring crustal deformation in the geysers-clear lake region. In *Research in The Geysers-Clear Lake geothermal area, northern California*. Geological survey professional paper 1141, United States Government printing office.
- Mossop A., Segall P. (1997). "Subsidence at The Geysers geothermal field, N. California from a comparison of GPS and leveling surveys". *Geophys. Res. Lett.*, 24, 14, 1839-1842.
- Sarychikhina O., Glowacka E., Mellors R., Vidal F. S. (2011). "Land subsidence in the Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California, Mexico, from 1994 to 2005. An integrated analysis of DInSAR, leveling and geological data". *J. Volcan. Geoth. Res.* 204, 76-90.
- White P. J., Lawless J.V., Terzaghi S., Okada W. (2005). "Advances in Subsidence Modelling of Exploited Geothermal Fields". *Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005*.

