

LINEE GUIDA  
PER L'UTILIZZAZIONE DELLA RISORSA GEOTERMICA  
A MEDIA E ALTA ENTALPIA

Ottobre 2016

*Considerato il grande interesse rivolto alle fonti programmabili di energia rinnovabile, come l'energia geotermica, nella seduta del 15 aprile 2015 le Commissioni Riunite VIII (Ambiente, territorio e lavori pubblici) e X (Attività produttive, commercio e turismo), hanno approvato all'unanimità una risoluzione in materia di geotermia, che ha impegnato il Governo, tra l'altro, alla redazione delle presenti Linee Guida, a cura dei Ministeri dello sviluppo economico e dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare.*

*La Direzione Generale per le risorse minerarie e energetiche, ora Direzione Generale per la sicurezza anche ambientale delle attività minerarie e energetiche, si è a tal fine da tempo attivata per costituire un gruppo di lavoro esteso, al quale hanno partecipato, oltre agli operatori di settore, rappresentanti delle università, del mondo della ricerca scientifica e delle amministrazioni regionali principalmente interessate ai progetti di geotermia.*

*In particolare è stato coinvolto in questo lavoro il Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare, che rappresentando le esigenze di propria competenza ha fornito utili indicazioni in ordine agli aspetti ambientali.*

*Il processo di formazione di queste Linee Guida è stato piuttosto laborioso e ricco di momenti di confronto tra stakeholder. Per questo riteniamo che questo documento possieda i requisiti necessari per rivelarsi utile ed interessante per le applicazioni pratiche, in quanto costituisce una sintesi equilibrata delle esigenze operative e delle imprescindibili necessità di tutela assoluta della salute e dell'ambiente.*

*Un sincero ringraziamento a quanti vi hanno collaborato.*

*Ottobre 2016*

**TERLIZZESE**

# INDICE

*Premessa*

**1. Introduzione**

**2. Ricognizione preliminare**

**3. Esplorazione di superficie**

3.1 Studi geologici e idrogeologici, di sottosuolo e di superficie

3.2 Indagini geochemiche

3.3 Indagini geofisiche

3.4 Studio di pre-fattibilità

**4. Perforazione**

4.1 Perforazione di “slim holes” per l’esplorazione di sistemi geotermici

4.2 Perforazione dei pozzi geotermici

4.3 Fluido di perforazione

4.4 Cementazione

4.5 Verifiche dell’isolamento e dell’ integrità del casing

4.6 Misure per eliminare il rischio di potenziale contaminazione delle falde acquifere superficiali causata dal fluido utilizzato durante la perforazione

4.7 Protezione del terreno che ospita la postazione di sonda e monitoraggi

4.8 Misure di prevenzione e gestione di “blow-out” del pozzo

4.9 Consumo di acque dolci per la perforazione

4.10 Prove di produzione

**5. Studio di fattibilità**

**6. Tutela del suolo e della risorsa idrica**

- 6.1 Misure di tutela
- 6.2 Monitoraggio del suolo
- 6.3 Controllo delle deposizioni atmosferiche
- 6.4 Monitoraggio chimico-fisico delle acque superficiali e di falda e del livello dell'acquifero freatico e della sua qualità
- 6.5 Monitoraggio chimico-fisico dell'acquifero freatico
- 6.6 Monitoraggio chimico-fisico delle altre acque superficiali e di falda

**7. Qualità dell'aria**

- 7.1 Emissioni inquinanti
- 7.2 Emissioni dalle centrali geotermoelettriche a reiniezione parziale
- 7.3 Disposizioni operative
- 7.4 Piano di monitoraggio e controllo (PMC)

**8. Monitoraggio e controllo del campo geotermico, della microsismicità, della subsidenza e delle pressioni di poro**

- 8.1 Introduzione
- 8.2 Caratterizzazione geologica, strutturale e sismotettonica
- 8.3 Dominio di rilevazione
- 8.4 Caratteristiche e scopo del monitoraggio sismico
- 8.5 Caratteristiche del monitoraggio delle deformazioni del suolo
- 8.6 Caratteristiche delle misurazioni delle pressioni di poro
- 8.7 Pubblicazione dei dati di monitoraggio e divulgazione delle informazioni
- 8.8 Conclusioni e raccomandazioni sul monitoraggio

**9. Requisiti per il riconoscimento di impianto pilota sperimentale per la produzione di energia elettrica**

## ***Premessa***

La possibilità di utilizzo dell'energia geotermica assume in questi tempi un interesse particolare, trattandosi di una risorsa naturale "rinnovabile" che consente, a seconda delle sue caratteristiche, non solo di ricavare calore per riscaldamento e per molti altri usi diretti, ma anche produrre energia elettrica. Ulteriori vantaggi possono inoltre essere ottenuti in caso di produzione geotermoelettrica associata all'uso diretto del calore in cascata (produzione combinata di energia elettrica e termica). Tale interesse è oggi ulteriormente evidenziato dalle Conclusioni concordemente raggiunte nella Conferenza Mondiale sui Cambiamenti Climatici (COP 21) tenutasi a Parigi nel 2015, nelle quali si raccomanda a livello mondiale, tra l'altro, la massima possibile riduzione di utilizzo delle fonti fossili (carbone e idrocarburi) anche per la produzione di energia elettrica.

La produzione di energia geotermoelettrica nasce in Italia, a Larderello, nel 1913 ed è una realtà nota ed ormai da tempo consolidata anche nell'area di Travale e del Monte Amiata. Le centrali geotermoelettriche presenti in Toscana sono la testimonianza del progresso tecnologico che negli anni ha reso possibile realizzare impianti di potenza rilevante, tutelando la natura, l'ambiente circostante e la salute pubblica. In Toscana è presente uno dei più grandi complessi geotermici del mondo, con 37 impianti per circa 761 MW netti, che producono circa 5.8 TWh l'anno. Il "ciclo" geotermico tradizionale prevede l'utilizzo in superficie del fluido (vapore: impianti dry steam; acqua calda in pressione: impianti single flash, da cui si ottiene per flash il vapore), dal quale viene prelevata l'energia necessaria per azionare le turbine collegate ai generatori elettrici. Il vapore esausto viene raccolto allo scarico delle turbine e inviato in appositi condensatori. In questi condensatori il vapore si miscela in controcorrente con l'acqua, che viene raffreddata dall'aria ambiente in apposite torri refrigeranti, provviste di vasche di raccolta dell'acqua di condensa. Quest'ultima in parte viene utilizzata nel condensatore come sopra descritto e in parte è reiniettata nel serbatoio naturale profondo attraverso pozzi dedicati, mentre una parte rilevante del fluido viene emesso in atmosfera, miscelato con l'aria di raffreddamento delle torri refrigeranti. Tale ciclo, apparentemente complesso, consente di utilizzare al meglio l'energia termodinamica del fluido naturale, massimizzando il rendimento. In genere i gas incondensabili, estratti dal condensatore con appositi compressori azionati dalla turbina principale, sono immessi all'atmosfera dopo un apposito trattamento chimico a secco/umido, che può arrivare a ridurre per oltre il 90% il loro contenuto di H<sub>2</sub>S e Hg.

A valle dell'emanazione del D. Lgs. 22/2010, nuovi operatori hanno fatto il loro ingresso nel settore con l'acquisizione di alcuni permessi di ricerca volti a verificare la presenza e l'entità delle potenziali risorse geotermiche in determinate aree, con l'obiettivo finale di giungere alla loro coltivazione mediante impianti ad elevata sostenibilità ambientale e tecnologicamente avanzati (totale re-iniezione del fluido geotermico, assenza di emissioni in atmosfera) o dotati di impianti di abbattimento ad elevata efficienza.

In aggiunta, sono stati proposti all'Autorità competente alcune istanze di permessi di ricerca per la sperimentazione di impianti pilota, pur di modesta potenza unitaria, che si prefiggono di realizzare sistemi a re-iniezione totale dei fluidi geotermici e ad "emissioni zero", che presentino contenuti di innovazione di prodotto e/o di processo, pur garantendo la necessaria fattibilità ed affidabilità

tecnica, in relazione alle caratteristiche del fluido geotermico (pressione e temperatura in serbatoio, composizione chimica e quantità significative di gas incondensabili).

Considerato il grande interesse rivolto alle fonti di energia rinnovabile, e nella fattispecie a quelle programmabili, come l'energia geotermica, nella seduta del 15 aprile 2015 le Commissioni Riunite VIII (Ambiente, territorio e lavori pubblici) e X (Attività produttive, commercio e turismo), hanno approvato all'unanimità una risoluzione in materia di Geotermia, da cui emerge, tra l'altro, che:

- l'energia «geotermica» è una forma di energia naturale che trova origine dal calore della terra e, tra le energie rinnovabili, ha un valore aggiunto che condivide soltanto con l'idroelettrico: la continuità della produzione. Per questo motivo, i progetti più interessanti affiancano oggi la geotermia alle altre fonti rinnovabili, per le quali verrebbe a costituire un importante sostegno nei momenti di scarsa produzione. La geotermia, quindi, può essere intesa come un elemento importante per la «green economy» e un sostegno significativo per sviluppare politiche energetiche «low carbon»;
- lo sviluppo corretto della geotermia porta con sé inoltre non solo benefici ambientali, contribuendo in maniera importante alla lotta contro i cambiamenti climatici, ma offre anche importanti occasioni per la creazione di nuovi posti di lavoro;
- l'Italia, per le sue caratteristiche geodinamiche, ha risorse geotermiche importanti e poco utilizzate: secondo i dati forniti dall'Unione Geotermica Italiana (UGI), le risorse geotermiche su terraferma del territorio italiano potenzialmente estraibili da profondità fino a 5 km sono dell'ordine di 21 exajoule ( $21 \times 10^{18}$  joule, corrispondenti a circa 500 Mtep, ovvero 500 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio). I campi geotermici ad alta entalpia, per il cui sfruttamento disponiamo di una tecnologia matura, e il cui utilizzo per la produzione di energia geotermoelettrica è oggi possibile a costi competitivi con le altre fonti energetiche, si trovano nella fascia preappenninica (tra Toscana, Lazio e Campania), in Sicilia e Sardegna, così come nelle isole vulcaniche del Tirreno.

Considerata quindi l'importanza e la rilevanza strategica della geotermia, il Governo è stato impegnato, tra l'altro, a svolgere i seguenti compiti:

- ad avviare le procedure di «zonazione» del territorio italiano, per le varie tipologie di impianti geotermici, identificando le aree potenzialmente sfruttabili in coerenza anche con le previsioni degli orientamenti europei relativamente all'utilizzo della risorsa geotermica, e in linea con la strategia energetica nazionale;
- ad emanare, entro sei mesi, «linee guida» a cura dei Ministeri dello sviluppo economico e dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, che individuino nell'ambito delle aree idonee di cui al punto precedente anche i criteri generali di valutazione, finalizzati allo sfruttamento in sicurezza della risorsa, tenendo conto delle implicazioni che l'attività geotermica comporta relativamente al bilancio idrologico complessivo, al rischio di inquinamento delle falde, alla qualità dell'aria, all'induzione di micro sismicità.

Va infine ricordato che quanto espresso dalle Commissioni Parlamentari nella citata Risoluzione dell'aprile 2015 in ordine alla potenzialità della risorsa geotermica di alta e media entalpia, per produzione di energia elettrica in Italia (con i relativi dati numerici forniti da UGI - Unione Geotermica Italiana), si riferisce esclusivamente ai sistemi geotermici idrotermali (i soli finora

utilizzati ovunque), senza tener conto dei cosiddetti “sistemi geotermici non convenzionali” (fluidi ipercritici, sistemi magmatici, sistemi a rocce calde secche/EGS, sistemi sottomarini, salamoie ad alta temperatura), alcuni dei quali (EGS) in corso di sperimentazione in vari Paesi, mentre altri (sistemi magmatici e fluidi ipercritici) con attività di ricerca avviata in pochi Paesi nel mondo, quindi ancora tecnologicamente immaturi, ma con grandi quantità di energia ed entro profondità economicamente accessibili. Dai sistemi geotermici non convenzionali, diffusi anche nel nostro Paese, ci si attende, a livello mondiale, una disponibilità energetica molte volte superiore a quella dei sistemi idrotermali.

Lo sviluppo di sistemi tipo Enhanced Geothermal System (EGS) o altri non convenzionali il cui sviluppo richiede l'applicazione di tecnologie molto particolari soprattutto per quanto attiene le problematiche di controllo degli effetti ambientali, non viene preso in esame in queste Linee Guida.

### ***Inquadramento normativo***

Il D.Lgs. 31 marzo 1998, n. 112 ha delegato alle Regioni le funzioni amministrative relative al conferimento di titoli minerari per risorse geotermiche nella terraferma, lasciando allo Stato il compito di rilasciare i titoli minerari in mare, le funzioni di inventario con i relativi aggiornamenti, l'acquisizione di dati e la promozione di nuove tecnologie.

Con l'entrata in vigore del D.Lgs. 11 febbraio 2010, n. 22 (Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche, a norma dell'articolo 27, comma 28, della Legge 23 luglio 2009, n. 99), la Legge 9 dicembre 1986, n. 896 (*Disciplina della ricerca e della coltivazione delle risorse geotermiche*), che ha regolamentato a lungo la geotermia, è stata abrogata.

Il D.Lgs. 11 febbraio 2010, n. 22, modificato dal D.Lgs. 3 marzo 2011, n. 28 e dall'articolo 28 del D.L. 18 ottobre 2012, n. 179 ha previsto che al fine di promuovere la ricerca e lo sviluppo di nuove centrali geo-termoelettriche a ridotto impatto ambientale sono considerati di interesse nazionale i fluidi geotermici a media ed alta entalpia finalizzati alla sperimentazione, su tutto il territorio nazionale, di impianti pilota con reiniezione del fluido geotermico nelle stesse formazioni di provenienza e con potenza nominale installata non superiore a 5 MW elettrici per ciascuna centrale.

L'autorità competente per il conferimento dei relativi titoli minerari è il Ministero dello sviluppo economico, di concerto con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, che acquisiscono l'intesa con la regione interessata.

Inoltre la Legge 7 agosto 2012, n. 134 di conversione del D.L. 22 giugno 2012, n. 83, ha disposto l'inserimento dell'energia geotermica tra le fonti energetiche strategiche e la Legge 9 agosto 2013, n. 98 di conversione in legge, con modificazioni, del D.L. 21 giugno 2013, n. 69, recante disposizioni urgenti per il rilancio dell'economia, ha disposto che gli impianti geotermici pilota sono di competenza statale (integrando l'art. 1 comma 3bis del D.Lgs. 11 febbraio 2010, n. 22 e il D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152).

Relativamente agli aspetti ambientali, appare utile precisare che queste Linee Guida individuano metodologie consolidate per la prevenzione e la mitigazione dei potenziali effetti sull'ambiente e

sulla salute pubblica connessi alle diverse fasi di ricerca e utilizzazione della risorsa geotermica (Capitoli 6, 7, 8) e potranno fornire valido supporto alla predisposizione dello Studio di Impatto Ambientale nell'ambito della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) del progetto, ai sensi della Parte Seconda del D. Lgs. 152/2006. Ciò non esime tuttavia il proponente dal rispetto dei requisiti per la predisposizione dello Studio di Impatto Ambientale e della ulteriore documentazione prevista per la procedura di VIA dalla vigente normativa e dal rispetto delle eventuali prescrizioni che potranno essere impartite nell'ambito del provvedimento di VIA emanato dall'Autorità competente, in caso di giudizio favorevole di compatibilità ambientale del progetto (per gli impianti pilota geotermici ex art. 1 comma 3-bis del D.Lgs. 22/2010 il provvedimento di VIA è rilasciato con decreto del Ministro dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare, di concerto con il Ministro per i beni e le attività culturali ed il turismo).

Per quanto riguarda alcune fenomenologie fisiche di interesse, come la microsismicità, la subsidenza, le pressioni di poro, si rimanda al documento “*Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche*” del 24 novembre 2014, pubblicato sul sito della DGS-UNMIG del Ministero dello sviluppo economico, opportunamente adattato al fine di renderlo applicabile alla specificità della coltivazione geotermica (cfr. successivo Capitolo 8).

### ***Campo di applicazione***

In questo documento - *Linee Guida per l'utilizzazione della geotermia a media e alta entalpia* - sono affrontate le principali problematiche del settore, delineando gli indirizzi tecnici specifici per l'utilizzo in sicurezza della risorsa geotermica a media ed alta entalpia da serbatoi idrotermali.

Queste Linee Guida si applicano sia alle attività geotermoelettriche ordinarie, di competenza delle Regioni, sia agli impianti pilota geotermici sperimentali, demandati dalla legge alla competenza dello Stato. Sono pertanto contemplati, con le dovute differenziazioni, sia gli impianti geotermoelettrici tradizionali, con re-immissione parziale dei fluidi geotermici nelle formazioni di provenienza, che gli impianti pilota sperimentali a emissioni di processo nulle e re-iniezione totale.

## **1. Introduzione**

In questo approccio alle Linee Guida, vengono affrontate in primo luogo le problematiche di maggior interesse che riguardano il processo logico finalizzato ad individuare, in una determinata area geologicamente indiziata, un possibile serbatoio di fluido geotermico industrialmente utilizzabile. Sono inoltre descritte, ancorché sinteticamente, le metodologie per l'attraversamento in sicurezza delle formazioni geologiche interposte tra la superficie di campagna e la roccia che contiene il fluido geotermico, specie in presenza di acquiferi ad uso idropotabile. Di fondamentale importanza il monitoraggio delle acque, del suolo e dell'aria, trattato anch'esso in queste linee guida, con l'obiettivo di definire una metodologia generale per l'individuazione tempestiva di eventuali indesiderate contaminazioni dell'ambiente, ai fini della tutela della salute e della natura. Il

monitoraggio sismico, della subsidenza e delle pressioni di poro, completa il quadro delle indagini che interessano le interazioni fisiche tra le attività di estrazione del fluido geotermico e l'ambiente.

Tenendo conto che queste Linee Guida si applicano sia alle centrali geotermoelettriche tradizionali che agli impianti pilota, è stata comunque prevista una articolazione unitaria del documento, esplicitando le necessarie distinzioni, ove necessario/opportuno:

1. Introduzione
2. Ricognizione preliminare;
3. Esplorazione di superficie;
4. Perforazione;
5. Studio di fattibilità;
6. Tutela del suolo e della risorsa idrica;
7. Qualità dell'aria;
8. Monitoraggio e controllo del campo geotermico, della microsismicità, della subsidenza e delle pressioni di poro;
9. Requisiti per il riconoscimento di impianto pilota sperimentale per produzione di energia elettrica.

## **2. Ricognizione preliminare**

Lo scopo della fase di ricognizione preliminare è quello di appurare se la zona di interesse possieda le condizioni e le caratteristiche geologiche idonee per la presenza di sistemi geotermici economicamente utilizzabili, prioritariamente per la produzione di energia elettrica.

Una volta accertato che la zona di interesse effettivamente possiede i requisiti per un possibile rinvenimento di risorse geotermiche utilizzabili, è necessario verificare la possibilità di ottenere i necessari permessi e, nell'ipotesi che il progetto possa essere realizzato, stabilire in che modo l'energia prodotta può essere inserita nel contesto delle infrastrutture energetiche esistenti.

Informazioni di carattere generale da raccogliere durante l'indagine preliminare riguardano:

- il mercato dell'energia elettrica, con particolare riferimento ad eventuali particolari condizioni tariffarie per l'energia elettrica prodotta da fonte geotermica;
- possibilità di utilizzo della risorsa geotermica anche per il riscaldamento di edifici (scuole, privati, ecc.) ed attività industriali/commerciali (serre, stabilimenti, ecc.) limitrofi;
- condizioni delle infrastrutture (accessibilità alla rete elettrica), principali vie di comunicazione, rete di telecomunicazioni, disponibilità di acqua, ecc.);
- legislazione vigente in materia e quadro delle istituzioni competenti;
- aspetti ambientali e accettabilità sociale;
- raccolta ed interpretazione di informazioni provenienti da indagini aeree e satellitari;
- informazioni da letteratura (studi, pubblicazioni, ricerche, ecc.), informazioni di carattere geologico e idrogeologico, segnalazioni storiche di manifestazioni geotermiche;

- acquisizione di dati da precedenti ricerche, con acquisizione di informazioni anche da eventuali pozzi perforati nell'area di interesse.

### **3. Ricerca – Esplorazione di superficie**

L'obiettivo della fase di ricerca è quello di raccogliere dati e informazioni scientifiche tali da minimizzare le incertezze che riguardano il sistema geotermico (temperatura, profondità, estensione, permeabilità, ecc.) prima di passare alla fase di perforazione, che risulta decisamente la più impegnativa dal punto di vista economico.

La ricerca in questa fase inizia con la raccolta di dati su base bibliografica e di letteratura e prosegue con l'esplorazione del suolo e del sottosuolo, utilizzando le metodologie geologiche, geochimiche e geofisiche che si ritengono necessarie per approfondire ed integrare le conoscenze disponibili relativamente alle aree interessate.

Durante questa fase gli approfondimenti di carattere ambientale a livello di caratterizzazione del cosiddetto "bianco", ovvero del livello naturale dei parametri ambientali, rappresentano utili strumenti per le analisi e le conseguenti valutazioni di impatto ambientale richieste dalla normativa vigente.

#### 3.1 Studi geologici e idrogeologici, di sottosuolo e di superficie

Al fine di disporre del quadro geologico e sismotettonico dettagliato dell'area interessata dalle attività, utile anche per la progettazione delle reti di monitoraggio, è opportuno che le Società richiedenti predispongano, ove non esistano informazioni sufficienti ricavabili da precedenti prospezioni o perforazioni, un piano di acquisizione delle informazioni geologiche utili alla costruzione di un modello geologico di serbatoio. Il piano di acquisizione delle informazioni potrà comprendere, anche alla luce degli studi geologici precedentemente effettuati, i seguenti dati e documentazioni, che nel caso di elaborati tecnici dovranno essere rese in dimensioni adeguate:

- almeno due sezioni geologiche: una perpendicolare ed una parallela alla struttura geologica che costituisce il serbatoio geotermico, in scala adeguata rispetto alle dimensioni dell'area interessata e del dominio di rilevazione (cfr. paragrafo successivo). L'area deve essere anche coperta da una carta geologica alla stessa scala delle sezioni, che contenga le sezioni stesse. Se presente, è opportuno verificare la carta di microzonazione sismica, relativa al quadro conoscitivo alla base del vigente strumento urbanistico comunale;
- eventuali rilievi geofisici per la caratterizzazione del sottosuolo fino alle profondità comprendenti il serbatoio geotermico. Essi potranno comprendere rilievi elettromagnetici, rilievi sismici a riflessione 2D, e, quando possibile, acquisizione di sismica 3D nell'area ricadente all'interno del titolo minerario;
- modello stratigrafico-strutturale 3D del dominio di rilevazione che includa gli orizzonti geologici che costituiscono l'obiettivo produttivo e le principali faglie identificate;

- simulazione, in base alle caratteristiche petrofisiche del giacimento, della migrazione dei fluidi nell'intorno del serbatoio;
- mappatura delle eventuali faglie attive adiacenti (entro 3 km) o prossime al serbatoio (entro 15 km) eseguita sulla base dei dati disponibili. Qualora tali faglie siano anche capaci (affioranti) secondo le indicazioni contenute nelle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC)”, approvate dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome nella seduta del 07/05/2015, prevedere rilievi ed indagini integrative, come previsto dalle citate Linee guida, al fine di valutarne la reale pericolosità;
- verificare l'eventuale presenza di carte geologico-strutturali già realizzate nell'area di interesse;
- stima delle variazioni di pressione (sulla base della producibilità/iniettività) in base ai dati previsti di emungimento o reiniezione, quindi in positivo o in negativo, associate alle attività minerarie di estrazione ed immissione dei fluidi;
- valutazione, mediante modelli numerici previsionali, del volume intorno al pozzo attraverso il quale i fluidi reiniettati sono in grado di migrare (volumi di serbatoio interessati dalle variazioni di pressione maggiormente significative).

### 3.2 Indagini geochimiche

Generalmente si tratta della raccolta ed analisi chimico fisiche di campioni prelevati da manifestazioni superficiali liquide e aeriformi (sorgenti termali), comprese la misure di temperatura e di portata, che potrebbero essere ricondotte alla presenza di un sistema geotermico. Le misure in campagna prevedono, di base, la determinazione dei parametri fisici, quali conducibilità e temperatura, e chimici quali il pH e l'alcalinità, incluse analisi isotopiche per lo studio del modello di circolazione delle acque. Le analisi dell'aria, nonché quelle di laboratorio di rocce, mineralizzazioni idrotermali, suoli e fluidi risalenti in superficie dal sottosuolo completano il quadro per definire le condizioni di “ante operam”, ovvero antecedenti allo sviluppo del progetto (il cosiddetto “bianco”). Dalle analisi chimiche e isotopiche dei campioni di gas e acqua si possono ricavare informazioni sul chimismo del fluido geotermico presente in profondità e sulle sue condizioni termiche e bariche. La caratterizzazione chimico-fisica può essere integrata con un campionamento secondo una maglia regolare di opportuna densità.

### 3.3 Indagini geofisiche

Solitamente si tratta di indagini indirette, con acquisizione mirate all'individuazione della struttura geologica del sottosuolo a profondità di diversi chilometri, e la definizione dei volumi di roccia interessati dalla circolazione dei fluidi (meteorici, falde acquifere e fluidi geotermici). Essi consistono nell'acquisizione dati precedentemente rilevati e nel loro riprocessamento, prospezioni e rilievi gravimetrici, magnetometrici, elettromagnetici passivi (magnetotellurici) e attivi (geoelettrici, TDEM), campagne di sismica a riflessione (2D e 3D) e talvolta anche a rifrazione, rilevazioni del

gradiente di temperatura in pozzetti appositamente predisposti e determinazione del flusso di calore, monitoraggio sismico passivo.

Tra tutte le operazioni indicate, la più impegnativa sotto il profilo economico è senza dubbio l'esecuzione di rilievi sismici a riflessione 2D e 3D, con adeguata copertura, specialmente se si tratta dei rilievi 3D.

### 3.4 Studio di pre-fattibilità

Il risultato finale dell'intera attività di ricerca è rappresentato da uno studio di pre-fattibilità, che raccoglie in un contesto organico e coordinato tutta la serie di informazioni raccolte, sia tecnico-scientifiche che di altra natura, in un modello previsionale di possibile sviluppo del progetto, che costituisce lo strumento decisionale.

Il sistema geotermico oggetto delle valutazioni è schematicamente rappresentato attraverso un "modello concettuale", che si basa sulle informazioni e sui dati conosciuti.

Un primo modello di massima, utile per alcune considerazioni di base, viene successivamente migliorato ed affinato, man mano che il numero e la qualità delle informazioni disponibili aumentano.

Nel momento in cui si decide di proseguire con lo sviluppo progettuale, sussistono in genere ancora rilevanti profili di incertezza sul serbatoio geotermico, che devono essere risolti nella fase successiva di indagine diretta a mezzo di perforazione, opportunamente ubicata sulla base dei fattori più rilevanti riscontrati.

Nel caso in cui le informazioni acquisite non rivelino sufficienti elementi favorevoli, l'esito finale dello studio di pre-fattibilità può risultare anche negativo, sconsigliando la prosecuzione di ulteriori investimenti.

## **4. Perforazione**

Nella prima fase susseguente lo studio di pre-fattibilità, vengono perforati i cosiddetti pozzi esplorativi.

Il disegno, la posizione e la profondità dei pozzi da perforare sono stabiliti sulla base dei risultati delle indagini preliminari e della fase di ricerca, riassunti nello studio di pre-fattibilità.

Questi pozzi costituiscono la prima occasione di ottenere informazioni dirette sul serbatoio e sulle formazioni geologiche interessate, nel caso non esistano precedenti campagne di indagine. Essi sono spesso eseguiti con diametri idonei ad essere successivamente utilizzati per l'estrazione del fluido geotermico, quindi del tutto paragonabili ai pozzi di produzione.

Con la perforazione e relative prove e misure, si può ottenere tutta una serie di informazioni rilevanti, come la temperatura e le dimensioni caratteristiche del serbatoio, (ossia la profondità, la permeabilità, la produttività, ecc.). Con queste informazioni si rende possibile una prima valutazione quantitativa, ancorché provvisoria, sulla quantità di energia potenzialmente recuperabile dal sistema geotermico nella zona esplorata dai pozzi e nelle sue immediate vicinanze.

La perforazione dovrà essere sempre condotta con tutte le misure necessarie per la sicurezza del personale operante e per la tutela delle falde, e della presenza di insediamenti civili nel raggio di influenza delle attività in oggetto, durante tutte le fasi di esplorazione e sviluppo della geotermia in una determinata zona.

#### 4.1 Perforazione di “slim holes” per l’esplorazione di sistemi geotermici

In alcuni casi il grado di conoscenza del sottosuolo non consente la individuazione della posizione ottimale dei pozzi geotermici di tipo tradizionale. Conseguentemente dal punto di vista economico la presenza di taluni fattori di incertezza determina le condizioni per un rischio molto elevato, che rende auspicabile un approccio intermedio alla perforazione di pozzi di grande diametro, ottenuto mediante la realizzazione dei cosiddetti “slim holes”, che può risultare economicamente conveniente per raccogliere le informazioni sul serbatoio e sui fluidi in esso contenuti senza passare subito alla realizzazione di pozzi a grande diametro. Recentemente i progressi tecnologici hanno reso possibile la realizzazione di questa tipologia di indagine che, a fronte di un costo ragionevolmente contenuto, offre la possibilità di ottenere un numero e una tipologia di informazioni e dati interessanti, finalizzati al miglioramento sostanziale del grado di conoscenza del sistema geotermico.

“Slim holes” profondi ed anche direzionati sono sempre più utilizzati nell’esplorazione geotermica. Tra le varie tecnologie disponibili per l’esecuzione degli “slim holes”, è possibile, ad esempio, ricorrere a quella a carotaggio continuo con scalpello diamantato, dotato di un sistema per il recupero del campione. Questo sistema, distinto dai “temperature gradient holes”, destinati alla misura della trasmissione del gradiente di temperatura e al calcolo del flusso di calore conduttivo nel sottosuolo, è finalizzato anche a raggiungere il serbatoio, se ubicato entro i limiti di profondità raggiungibile con questo tipo di impianti.

I vantaggi degli “slim holes” sono in genere legati a diversi fattori: un costo minore rispetto a quello dei pozzi di grande diametro (< 30%), la rapidità di posizionamento di cantiere, la possibilità di ricostruzione della geologia del sottosuolo attraverso il recupero e l’analisi delle carote, le analisi chimiche, le misure di permeabilità, la temperatura e la pressione del serbatoio geotermico, un minore impatto ambientale, minori quantitativi di acqua per la perforazione, posizionamento della sonda più facile anche con viabilità e spazi di manovra contenuti, migliore controllo del pozzo, tempi di esecuzione del sondaggio ridotti, possibilità di effettuare prove ed analisi direttamente sui campioni di roccia, possibilità di utilizzo del foro per scopi successivi (monitoraggio delle variazioni di pressione, prove di interferenza con altri pozzi limitrofi). Essi danno quindi la possibilità di raccogliere, in certe situazioni, informazioni geologiche e sul serbatoio a minor costo rispetto ai pozzi standard di grande diametro.

Tuttavia la realizzabilità di “slim holes” deve essere correlata, tra l’altro, alla possibilità di mantenere adeguate condizioni di sicurezza durante la loro perforazione, in particolare ove esista la probabilità di intercettare sacche di gas o altri fluidi in sovrappressione.

La perforazione di “slim holes” presenta tuttavia alcuni svantaggi, come :

- l'impossibilità di utilizzare i fori per la produzione (tipicamente questi fori possono fornire 10-20 kg/s di fluido al massimo) o la reiniezione;
- maggior propensione allo sviluppo di depositi solidi o incrostazioni rispetto ai pozzi di grande diametro;
- bassa velocità di avanzamento (nel caso di carotaggio continuo);
- maggior possibilità di presa della batteria blocco delle aste di perforazione);
- limitata profondità raggiungibile, che è anche funzione della tipologia di rocce attraversate.

#### 4.2 Perforazione dei pozzi geotermici

La realizzazione di pozzi geotermici è effettuata attraverso una sequenza di fasi di perforazione articolate e coordinate.

Ognuna di queste fasi di perforazione è caratterizzata da un diametro di scalpello, che è l'utensile con cui viene effettuata l'azione di disgregazione della roccia a fondo pozzo.

Lo scalpello è collegato ad una batteria di aste di acciaio cave, di diametro minore di quello dello scalpello (aste di perforazione), che sono messe in rotazione dalla superficie per mezzo dell'impianto di perforazione. L'unione del moto di rotazione e del peso scaricato sullo scalpello produce l'avanzamento della batteria di perforazione nel sottosuolo.

Normalmente la perforazione dei pozzi viene effettuata pompando verso il basso un fluido di caratteristiche specifiche all'interno delle aste cave per tutta la lunghezza della batteria di perforazione. Il fluido (detto "di perforazione") fuoriesce dallo scalpello e risale lungo la superficie esterna delle aste (intercapedine tra il foro e le aste o tra il rivestimento del foro e le aste). Di solito si usa come fluido di perforazione una miscela additivata di acqua/bentonite, oppure semplicemente acqua.

Nel caso in cui vi sia ritorno del fluido di perforazione fino alla superficie, si sviluppa un flusso che trasporta con sé il detrito solido prodotto dalla disgregazione della roccia esercitata dall'azione dello scalpello a fondo pozzo. Il fango o l'acqua in uscita dal pozzo sono quindi recuperati e ricondotti nell'apposita sezione dell'impianto di circolazione, detta "trattamento dei solidi", nella quale subiscono un processo di separazione per stadi successivi in relazione alla granulometria del detrito. La parte liquida, una volta ristabilite le sue necessarie caratteristiche chimico-fisiche, viene riutilizzata, mentre la parte solida è depositata in un'apposita vasca di accumulo. Qualora il fango di perforazione non sia più utilizzabile, in quanto non sono più ottenibili i valori di viscosità, densità e pH richiesti per la perforazione, esso viene inviato alla vasca reflui del cantiere di perforazione. All'interno di tale vasca si ha una prima separazione per sedimentazione della parte solida fine dal liquido. E' auspicabile effettuare un ulteriore processo di separazione per mezzo di filtrazione o centrifugazione al fine di minimizzare il quantitativo in peso del refluo prodotto riutilizzando al massimo la parte liquida nel processo.

Il D. Lgs. 152/06 impone che nessuno dei fluidi e dei prodotti della perforazione siano rilasciati nell'ambiente. Al fine di ottemperare a quanto prescritto, lo smaltimento del detrito stoccato nella vasca di accumulo, che presenta caratteristiche di solido palabile, può essere caricato su autocarri cassonati, mentre lo smaltimento della parte fangosa aspirabile contenuta nella vasca del fango può

avvenire attraverso appositi camion-cisterna, che la prelevano per mezzo di pompe. I quantitativi di fluido e detrito che abbandonano la postazione sono caratterizzati e smaltiti ai termini di legge attraverso appositi formulari.

Ad intervalli di profondità prestabiliti, nell'ottica di preservare la stabilità del pozzo e di evitare il contatto tra la formazione rocciosa attraversata ed il serbatoio geotermico contenente il fluido endogeno, si procede al rivestimento del pozzo mediante la discesa di tubi di acciaio (casing) e alla successiva cementazione dell'intercapedine tra questi e la formazione, attraverso il pompaggio di malta cementizia composta da cemento ed acqua.

Il tipo di cemento utilizzato deve possedere idonei requisiti per l'utilizzo nel settore geotermico, dovendo sopportare alte temperature e garantire il mantenimento nel tempo delle caratteristiche meccaniche. La malta cementizia e l'intervento di cementazione sono opportunamente progettati in base alle temperature attese ed alle specifiche condizioni di pozzo.

L'ultima fase di perforazione, corrispondente al tratto di pozzo che attraversa le rocce obiettivo del serbatoio geotermico, al fine di permettere l'attingimento e la risalita del fluido endogeno, è invece di norma lasciata senza rivestimento. Soltanto nel caso in cui si verificano problemi di instabilità della formazione rocciosa che costituisce il serbatoio geotermico è opportuno l'utilizzo di una tubazione finestrata, tale da permettere l'ingresso del fluido impedendo l'ostruzione delle fratture produttive e preservando contemporaneamente l'agibilità del foro.

#### 4.3 Fluido di perforazione

Per quanto in geotermia siano state sperimentate con successo tecniche di perforazione ad aria (ad es. in Nuova Zelanda e Islanda), in Italia le tecniche di perforazione hanno sempre visto l'utilizzo di fluidi di perforazione a base d'acqua e fango. Nella predisposizione del fluido di perforazione (mud, fango) ci sono alcuni fattori di notevole importanza da tenere in considerazione.

*Acqua:* poiché l'acqua è il componente di base del fluido di perforazione, la sua qualità, quantità e i costi di un eventuale trattamento devono essere verificati in anticipo, con la necessaria attenzione.

*Tipologia e potenza (spessore) delle formazioni geologiche attraversate:* queste informazioni non sempre sono adeguatamente conosciute prima della perforazione. Le proprietà del fluido di perforazione devono essere predisposte per quanto possibile in ragione delle condizioni ipotizzate del foro, in considerazione delle interazioni con le formazioni geologiche che il fluido di perforazione viene ad incontrare.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella scelta del fluido di perforazione nelle fasi di attraversamento di formazioni geologiche che ospitano acquiferi idropotabili. In tal caso gli additivi utilizzati dovranno essere idonei e dovranno essere messe in atto opportune azioni al fine di preservare la falda idropotabile.

Il personale deve essere informato/formato sulle proprietà delle sostanze utilizzate, le procedure di sicurezza, le eventuali azioni in caso di emergenza e i rischi connessi a comportamenti difformi da quelli prestabiliti.

*Accessibilità del sito:* E' indispensabile assicurarsi che i mezzi di trasporto di personale, materiali, attrezzature, ecc. abbiano accesso al sito di perforazione in ogni momento e in ogni ragionevolmente prevedibile condizione climatica.

La sistemazione del cantiere ed il posizionamento delle attrezzature e dei materiali deve essere tale da ridurre al minimo le movimentazioni.

*Condizioni climatiche:* gli agenti atmosferici possono influenzare sia le prestazioni dell'impianto di circolazione del fango, che le caratteristiche chimico-fisiche del fango stesso.

*Impianto di perforazione:* le caratteristiche dell'impianto di perforazione prescelto devono essere appropriate al profilo tecnico di progetto del pozzo (diametro e profondità per ciascuna fase di perforazione), alle attrezzature da movimentare, al peso da sostenere, allo sforzo di torsione da applicare, ecc., anche in considerazione di possibili eventi negativi durante la perforazione (es. presa della batteria di aste).

*Interazione con l'ambiente:* per quanto possibile, sono da impiegare sostanze non tossiche, biodegradabili, facilmente maneggiabili. Il personale deve essere informato/formato sulle proprietà delle sostanze utilizzate, le procedure di sicurezza, le eventuali azioni in caso di emergenza e le regole comportamentali attinenti il proprio lavoro.

*Addestramento del personale:* L'esperienza, preparazione, professionalità, del personale dell'impianto di perforazione sono di fondamentale importanza per la realizzazione corretta e in sicurezza del programma di perforazione. Ciò vale, in particolare, per le fasi più critiche ai fini della sicurezza stessa, come la perforazione in perdita di circolazione delle formazioni potenzialmente contenenti sacche di gas, non rare, oltre che nella perforazione di formazioni contenenti fluido a pressione idrostatica superiore a quella normale (formazioni in sovrappressione, ovvero a pressione idrostatica maggiore di quella atmosferica in corrispondenza del piano di campagna).

#### 4.4 Cementazione

Il programma di cementazione dovrà tener conto delle condizioni idrostatiche dei fluidi presenti in pozzo, prima, durante e dopo la cementazione, nonché del tipo di fluido (geotermico o no) presente nelle formazioni geologiche.

Di norma il casing è cementato direttamente in posto, a mezzo di una miscela acqua/cemento di caratteristiche appropriate e rigorosamente controllate. La quantità di miscela da impiegare è dosata con la massima precisione raggiungibile, onde evitare una incompleta cementazione, oppure una fuoriuscita a giorno della miscela, oppure ancora un residuo di miscela all'interno del casing. Ciò comporta la necessità di una accurata conoscenza del volume esistente tra le pareti del foro e la superficie esterna del casing.

La colonna di casing è equipaggiata al fondo con una scarpa ed un collare in cui sono alloggiati due valvole di non ritorno. Il casing, immediatamente dopo essere disceso in pozzo e collocato nella posizione appropriata, viene cementato in genere dal fondo fino al piano campagna.

Vi sono diverse tecniche di cementazione, la più usata è quella a singolo stadio e doppio tappo (plug), detta "cementazione Perkins". La malta cementizia, confezionata in superficie, viene pompata direttamente all'interno del casing dopo aver inserito tra il fango e la malta un 1° tappo separatore (munito di diaframma tarato).

Una volta completato il pompaggio di tutta la malta, si inserisce nel casing un 2° tappo (detto di spiazzamento) che può scorrere verso il basso lungo il casing. Al di sopra del 2° tappo viene pompato nel casing un fluido di spiazzamento (acqua o fango) in pressione, che determina la spinta sul 2° tappo e la conseguente apertura del diaframma tarato del 1° tappo, permettendo così alla malta la fuoriuscita dal casing e la risalita verso l'alto lungo l'intercapedine foro-casing.

Le due valvole di non ritorno, presenti nella scarpa e nel collare, consentono di trattenere la malta nell'intercapedine foro-casing. La malta risale quindi verso l'alto e va ad occupare tutto lo spazio compreso tra le pareti del foro e la superficie esterna del casing (intercapedine) di norma fino a raggiungere il piano campagna.

La cementazione sarà terminata sia quando la malta raggiunge la superficie del piano campagna e quando vi sarà il contatto tra il 1° ed il 2° tappo (trattenuti sul collare di fondo), rilevato con un picco di pressione sulla pompa del fluido di spiazzamento.

La cementazione del casing è effettuata per tutta la sua lunghezza, fino alla superficie, per tre esigenze primarie:

- necessità di raggiungere una adeguata resistenza meccanica dell'insieme, che può essere sottoposto a sollecitazioni termiche notevoli a seguito di arresti (e riprese) del flusso di produzione;
- necessità di isolare le formazioni di copertura dalla presenza di fluido di perforazione e del fluido endogeno;
- protezione del mantello esterno del casing dalla corrosione.

La malta cementizia deve avvolgere l'intero perimetro esterno del casing, dalla base alla superficie del piano di campagna. Per ottenere queste condizioni, è necessario adottare specifiche precauzioni, come una buona preparazione del foro, il controllo delle caratteristiche del fango di perforazione, la centratura del casing nel foro, ecc.. Inoltre, per garantire la necessaria resistenza meccanica e la protezione dalla corrosione, il cemento deve possedere buone qualità di aderenza al corpo del casing e di impermeabilità.

Altra caratteristica importante è il peso specifico del cemento, che può risultare determinante in caso di perdita del fluido di circolazione. In tali condizioni può essere utile impiegare una malta cementizia di tipo "leggero". Con una malta normale potrebbe infatti risultare difficile ottenere la risalita a giorno (a piano campagna) del cemento lungo l'intercapedine foro-casing.

Il programma di cementazione dovrà tener conto delle condizioni idrostatiche presenti in pozzo prima, durante e dopo la cementazione, nonché del tipo di fluido (geotermico o no) presente nelle formazioni geologiche.

Particolare attenzione dovrà essere posta per prevenire la formazione di irregolarità/discontinuità nella colonna cementizia: l'eventuale presenza, anche residuale, di discontinuità nella malta cementata condiziona fino a pregiudicare la messa in produzione del pozzo. Qualora il progetto preveda la cementazione parziale di un casing, dovranno essere accuratamente valutati gli effetti di allungamento durante il riscaldamento ed i transitori termici, inclusi gli effetti sulla testa-pozzo e sulle estremità delle tubazioni. La verifica delle sollecitazioni nell'acciaio del casing, in particolare per effetto delle deformazioni impedito durante le fasi di riscaldamento, dovranno essere

attentamente valutate anche come conseguenza della scelta della malta, della sua densità e delle sue caratteristiche meccaniche finali.

Il collaudo della tubazione cementata ha importanza ai fini di ridurre il rischio di perdita di fluido dai pozzi per difetto di cementazione, in particolare nei casi di attraversamento di acquiferi idropotabili. Le tecnologie di controllo della continuità dell'intercapedine cementata sono rese disponibili attraverso i servizi offerti dalle compagnie specializzate presenti sul mercato, servizi che tuttavia presentano alcuni limiti tecnici. E' quindi necessario integrare tali controlli con un'analisi accurata delle modalità con cui è avvenuta la cementazione analizzando con cura particolare le condizioni idrostatiche di posa della malta per accertare le condizioni necessarie per il completo riempimento delle intercapedini cementate.

La scelta degli acciai con cui fabbricare i casing, come pure i liner e le reti di trasporto, deve essere opportunamente valutata in sede di progetto per assicurarne la compatibilità con i fluidi geotermici che si prevede di reperire.

Le soluzioni possono essere varie e vanno dalla scelta di materiali metallurgicamente idonei all'introduzione di un adeguato sovrappiù di spessore delle tubazioni che permettano di operare in sicurezza durante la vita impiantistica programmata.

Di conseguenza devono essere previsti controlli periodici e monitoraggi in esercizio in tutti i punti ritenuti strutturalmente esposti al fenomeno corrosivo. Per le reti di trasporto in particolare si dovrà porre attenzione al controllo dei componenti strutturali che, cedendo, potrebbero dar luogo a forti cessioni di energia.

Anche l'affidabilità strutturale dei componenti deve essere adeguatamente verificata prima del loro impiego lungo tutto il percorso degli stessi dallo stabilimento di fabbricazione al trasporto fino all'immagazzinamento pre-impiego in cantiere.

#### 4.5 Verifiche dell'isolamento e dell'integrità del casing

L'isolamento delle formazioni geologiche attraversate, in particolare di quelle che ospitano acquiferi, deve avvenire con un casing o un sistema di casing ben cementato che garantiscano il totale isolamento delle falde.

Il controllo dell'efficacia dell'isolamento potrà avvenire, a seconda delle situazioni, con controlli della completezza della cementazione dell'intercapedine interessata oltre che verificando il completo attraversamento della formazione geologica, la sua significativa copertura grazie al posizionamento delle scarpe dei casing utilizzati ed eventualmente anche con il controllo dello stato di riempimento delle intercapedini cementate mediante tecniche tipo Cement Bond Log.

Al fine di verificare la qualità dell'isolamento tra il casing e la formazione attraversata, e quindi al fine di acquisire certezza dell'impossibilità che il fluido geotermico possa entrare in contatto con le eventuali falde acquifere (artesiane, freatiche e superficiali) attraverso lo spazio anulare alle spalle del casing di produzione, al termine della cementazione e successiva presa del cemento devono essere effettuate specifiche misure in pozzo atte a verificare la riuscita della cementazione.

Qualora l'esito di questi log non fornisca sufficienti garanzie circa il completo isolamento del fluido endogeno con le falde acquifere, si dovrà procedere con la discesa in pozzo di una nuova tubazione di diametro inferiore, con la cementazione della stessa e la ripetizione delle misure sopra descritte.

Inoltre, al termine della perforazione del pozzo, per verificare lo stato di conservazione del casing di produzione del pozzo, di norma viene effettuato un log specifico tipo “Multifinger Caliper”, che consente di determinare lo spessore minimo della tubazione lungo il pozzo e permette di individuare eventuali possibili danneggiamenti, eventualmente provocati dalla rotazione delle aste di perforazione all’interno del casing, talvolta accentuati in determinate direttrici.

A parte la necessità di controlli adeguati durante le fasi di completamento della perforazione, qualora si verifichi il caso dovranno essere adottati i necessari rimedi per il ripristino di condizioni strutturalmente adeguate.

#### 4.6 Misure per eliminare il rischio di potenziale contaminazione delle falde acquifere superficiali causata dal fluido utilizzato durante la perforazione

La prima fase della perforazione, che interessa le zone più superficiali del sottosuolo, è caratterizzata dalla realizzazione di un pozzo di grande diametro (di norma tra 20” e 30”, 50 – 80 cm) spinto fino al disotto della profondità entro la quale è possibile l’intercettazione di falde acquifere superficiali.

In questo tratto la perforazione è eseguita con molta cautela, utilizzando un fango pienamente compatibile con l’ambiente, composto esclusivamente da bentonite, acqua di caratteristiche controllate (es. meteorica, di fiume, ecc.) ed eventuali additivi, quali ad esempio la CMC (carbossi-metil-cellulosa), comunque non inquinanti. Al termine di questa fase e prima di procedere con lo scavo, il pozzo deve essere isolato dal terreno circostante introducendo nel foro una tubazione in acciaio (casing), che viene cementata come descritto nel precedente paragrafo 4.4. Una volta cementata la tubazione, si realizza un isolamento idraulico tra il pozzo ed il terreno circostante, impedendo qualsiasi contaminazione del terreno e delle eventuali falde acquifere superficiali, per effetto dei fluidi che circoleranno nel tubo. Solo dopo aver eseguito questa prima cementazione si potrà proseguire con lo scavo del pozzo ed avvicinarsi al serbatoio geotermico.

Nella perforazione all’interno del serbatoio geotermico può essere valutata la possibilità di utilizzo di acqua di origine geotermica proveniente dalla condensazione del fluido di processo delle centrali geotermoelettriche esistenti, allo scopo di minimizzare l’emungimento di acqua chiara da corpi idrici superficiali. Qualora sia necessario per mantenere le necessarie caratteristiche reologiche, il fluido di perforazione può essere condizionato con additivi chimici per il mantenimento della viscosità e del pH.

Nel caso in cui siano intercettate zone permeabili assorbenti, si procede senza l’impiego di fango bentonitico ed utilizzando semplicemente acqua, eventualmente additivata con oli vegetali per ridurre gli attriti della batteria di perforazione sulla parete del foro e soda per il controllo del pH, fino al termine della perforazione.

Si sottolinea inoltre che al termine della perforazione, in conseguenza delle successive discese di Casing di diametro decrescente all’interno del pozzo e della cementazione delle intercapedini, le formazioni di superficie risulteranno essere maggiormente protette in quanto opportunamente isolate dall’interno del pozzo di norma con almeno 2 o 3 tubazioni concentriche.

#### 4.7 Protezione del terreno che ospita la postazione di sonda e monitoraggi

Secondo quanto previsto dal D. Lgs 152/06, durante l'esercizio dell'attività le postazioni di perforazione devono garantire che le acque di origine meteorica che ricadono all'interno del perimetro del piazzale siano trattenute, evitando qualsiasi rilascio verso l'esterno. Per questo motivo l'entrata in contatto con i corpi idrici superficiali deve essere impedita per mezzo della presenza di opportune solette in cemento e zone drenanti, collegate tramite un sistema di canalizzazioni alle vasche di raccolta.

In particolare le acque provenienti dalle zone in cui può avvenire il contatto con agenti inquinanti, quali cemento, fango, additivi chimici e sversamenti di oli lubrificanti, devono essere convogliate e raccolte in una vasca di volume adeguato alle esigenze di continuità della perforazione e destinata allo scopo.

Stessa destinazione devono avere anche le acque derivanti dalla zona circostante la testa pozzo, la quale deve essere inserita all'interno di una cantina in cemento. La restante parte delle acque meteoriche, che ricade nelle altre zone inghiaiate della postazione, deve essere raccolta da un opportuno drenaggio di bordo piazzale, che la indirizza all'interno di un'apposita vasca.

La regimazione dei fluidi è resa efficiente attraverso la presenza di pozzetti di scolo, dislocati in luoghi caratterizzati dalla necessaria pendenza, collegati tra loro per mezzo di canalette.

La presenza di un fosso di guardia posizionato nella parte di monte del piazzale di perforazione consente di allontanare dall'area del cantiere l'acqua che deriverebbe per gravità dalla zona collinare. Ciò consente di limitare considerevolmente la quantità di fluido da gestire durante il periodo di svolgimento dell'attività mineraria.

Nel caso in cui, durante la fase di scavo e costruzione della postazione, siano intercettate acque di falda, potenzialmente soggette a contaminazione ad opera delle sostanze utilizzate durante la perforazione, deve essere previsto che queste siano indirizzate verso uno specifico punto di raccolta, dal quale saranno successivamente riprese per il loro utilizzo o inviate all'esterno previa autorizzazione specifica.

La superficie della postazione in corrispondenza della quale sono svolte le operazioni di rifornimento del gasolio deve essere realizzata in modo da garantire un efficiente drenaggio e raccolta dell'acqua meteorica, che potrebbe inquinare le falde superficiali attraverso il trasporto di tracce di combustibile. Il fluido così raccolto, unitamente a quello originatosi all'interno dell'area di stoccaggio degli oli minerali o altre sostanze, prima di essere immesso nella vasca dell'acqua deve subire un'operazione di separazione e ritenzione all'interno di un apposito pozzetto disoleatore, periodicamente monitorato da personale di cantiere e svuotato attraverso un servizio di autospurgo.

Tutte le aree previste a protezione del terreno dovranno poter operare mantenendo la loro efficacia anche in presenza di pioggia nel rispetto delle norme di legge e dalle direttive previste dalle regioni. In presenza di acquiferi superficiali, potranno essere previste anche forme di monitoraggio dell'acquifero. Allo scopo potrà essere prevista la costruzione di pozzetti da utilizzare per i prelievi dei campioni di acqua e la loro analisi.

#### 4.8 Misure di prevenzione e gestione di “blow-out” del pozzo

Durante la perforazione è necessario evitare l'insorgere di “blow-out” cioè la fuoriuscita incontrollata di fluidi di strato (acqua, gas, fluidi endogeni) dalla testa pozzo, entrati in foro da una delle formazioni perforate. . I “blow-out” sono eventi estremamente rari, ma molto deleteri e

potenzialmente impattanti per il personale, l'ambiente, l'impianto di perforazione e hanno ripercussioni negative sull'opinione pubblica, e devono quindi essere accuratamente evitati.

Le potenziali conseguenze ambientali sono:

- dispersione di materiali solidi sul suolo e fuoriuscita di liquido;
- inquinamento sul suolo e contaminazione delle falde acquifere superficiali;
- emissioni diffuse del gas emesso in aria, anche con effetti odorigeni;
- emissioni acustiche.

L'impianto di perforazione, il cantiere e il lavoro devono essere organizzati per prevenire ogni forma di fuoriuscita incontrollata di fluido dal pozzo.

Ciò si realizza:

- con utilizzo delle attrezzature di sicurezza e controllo previste (BOP, choke manifold, ecc.),
- con procedure di sicurezza previste dalla manualistica tecnica nazionale e internazionale, al fine di contenere i fluidi di strato all'interno del pozzo e permettere di riportare il pozzo sotto il controllo idraulico primario;
- seguendo il piano di emergenza di cantiere per far fronte ad avvenute eruzioni di fluidi di strato (piano redatto in fase progettuale/autorizzativa);
- indicando modalità di intervento, mezzi da coinvolgere, servizi e personale da utilizzare.

Inoltre, tutto il personale di sonda deve essere specificamente addestrato al riconoscimento dell'insorgere di possibili problemi e alle misure da adottare per ogni specifico caso.

La condizione di "blow-out" può essere provocata sia da cause naturali, quali la presenza di sovrappressioni nel sottosuolo, sia da manovre errate.

In particolare, sia i componenti della direzione di cantiere, che i capoturno di tutte le linee di perforazione devono essere in possesso di un certificato di idoneità rilasciato da un organismo competente, come l'International Well Control Forum (IWCF), con validità biennale. Inoltre tutto il suddetto personale dovrà essere opportunamente formato alla gestione delle situazioni minerarie attese che potranno anche discostarsi da quelle tradizionali illustrate nei corsi IWCF, in particolare nel caso siano previste condizioni under pressure associate a presenza di gas.

Al verificarsi sull'impianto delle condizioni indicatrici dell'insorgenza del pericolo connesso alla fuoriuscita incontrollata di fluido dal pozzo, deve essere previsto che il personale di cantiere metta in atto immediatamente le procedure previste dal manuale IWCF, al fine di evitare che la sovrappressione rilevata dagli strumenti determini la condizione di "blow-out".

Il direttore responsabile in caso di avvenuta eruzione ne deve dare immediata comunicazione all'Autorità di protezione civile e all'Autorità di vigilanza.

Il Documento di Salute e Sicurezza Coordinato (DSSC) dovrà prevedere, tra le altre cose, anche l'analisi e la prevenzione di questo rischio specifico.

#### 4.9 Consumo di acque dolci per la perforazione

L'attività di perforazione, come descritto precedentemente, prevede il consumo di un certo quantitativo di acque dolci, le quali vengono utilizzate durante le fasi di realizzazione del pozzo (circolazione con ritorno, confezionamento della malta per la cementazione dei casing, perdita di circolazione nella roccia-serbatoio). Tali acque possono essere sia di origine meteorica, raccolte direttamente sulla postazione all'interno della vasca acqua oppure in altre vasche dislocate sul territorio, sia attinte da corpi idrici superficiali e acquedotti autorizzati e, se necessario, anche da acquiferi sub superficiali (pozzetti di emungimento aventi profondità massime di qualche centinaia di metri). Si rende necessario ridurre l'utilizzo di dette acque al minimo indispensabile.

#### 4.10 Prove di produzione

Al fine di determinare le caratteristiche produttive dei pozzi profondi, vengono eseguite specifiche prove di produzione. Le prove sono condotte mediante una opportuna strumentazione di superficie che permetterà la misura del flusso di massa estraibile nelle diverse configurazioni di bocca pozzo. Durante le prove di produzione, è inevitabile effettuare una temporanea e controllata erogazione in atmosfera del fluido geotermico in fase aeriforme, mentre l'eventuale frazione liquida verrà appositamente stoccata in vasche. La durata dell'erogazione dovrà essere sufficiente a garantire, in un primo momento, lo spurgo tecnico del pozzo nonché, durante le prove di produzione, a permettere una adeguata caratterizzazione del fluido di serbatoio. Le operazioni dovranno svolgersi nel pieno rispetto delle norme tecniche e di sicurezza vigenti. A questo scopo, si suggerisce che, durante l'erogazione, venga implementato un adeguato piano di controllo dell'Autorità preposta alla tutela dell'ambiente, nonché dell'organismo di Vigilanza mineraria.

Durante la prova di produzione è necessario porre sotto monitoraggio l'ambiente circostante per rilevare l'entità della concentrazione di emissioni che pur limitatamente al periodo di erogazione, interesseranno le aree circostanti i pozzi.

### **5. Studio di fattibilità**

I risultati dei primi pozzi esplorativi di cui al capitolo precedente, e quelli dei diversi studi e prospezioni di dettaglio (geologici, geofisici e geochimici), delle analisi di laboratorio e degli eventuali "slim holes" prima descritti, ottenuti durante la fase esplorativa, concludono le ricerche necessarie per caratterizzare la zona di interesse, per giungere al relativo modello tridimensionale di campo geotermico e quantificarne i parametri: profondità, spessore, estensione e volumetria del serbatoio, temperatura, permeabilità e porosità delle rocce serbatoio, tipo e caratteristiche chimico-fisiche dei fluidi in esse contenuti. Ciò permette di valutare il potenziale energetico della zona di studio in termini di risorse in posto e di riserve estraibili, farne il bilancio previsionale di massa e di energia, e di delineare infine il Progetto di Sviluppo del campo, con la relativa tipologia di impianti di utilizzazione, dotati delle tecnologie necessarie per produrre energia elettrica e/o per possibili usi diretti del calore geotermico a valle (co-produzione in parallelo o a cascata), ed il rispettivo piano di investimenti.

Dal punto di vista autorizzativo, al fine dell'ottenimento del titolo concessorio e abilitativo per la costruzione e per l'esercizio dell'impianto, il piano di cui sopra dovrà essere sottoposto alla procedura di valutazione dell'impatto ambientale (VIA) che comprenderà la produzione di uno Studio di Impatto Ambientale con le misure di prevenzione o mitigazione previste per eventuali effetti indesiderati, di uno studio sulla accettabilità sociale, e di un'analisi volta alla quantificazione delle "esternalità" (costi e benefici "esterni") del Progetto di sviluppo previsto.

Qualora il Progetto di sviluppo del campo possenga i requisiti di "impianto pilota", indicati al Capitolo 9, esso rientra nella categorie di progetti di cui all'Allegato II alla Parte Seconda del D. Lgs. 152/2006 (punto 7-quater) Impianti geotermici pilota di cui all'articolo 1, comma 3-bis, del decreto legislativo 11 febbraio 2010, n. 22, e successive modificazioni) ed è pertanto assoggettato a procedura di Valutazione di Impatto Ambientale in sede statale; per l'espletamento di tale procedura il proponente dovrà predisporre la documentazione richiesta ai sensi degli artt. 22-26 del D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.<sup>1</sup> Tale piano dovrà essere accompagnato dal documento di valutazione dell'impatto ambientale (VIA) con le misure di prevenzione o mitigazione previste per eventuali effetti indesiderati.

L'ottenimento del titolo minerario del campo (o del settore di campo incluso nell'area del permesso di ricerca) dipende quindi dalla positiva conclusione tecnico-economica, ambientale e di accettabilità sociale del Progetto proposto a seguito dello Studio di fattibilità in parola.

Tale procedura, rappresenta un endo-procedimento, a carattere obbligatorio e vincolante ai fini del rilascio del permesso di ricerca da parte del MISE, di concerto con il MATTM e d'intesa con la Regione.<sup>2</sup> Interessata.

## **6. Tutela del suolo e della risorsa idrica**

### 6.1 Misure di tutela

In generale sono state già descritte le misure di tutela a protezione delle falde durante la perforazione, che prevedono l'esecuzione di un adeguato isolamento delle formazioni attraversate tramite tubaggio (discesa e installazione dei casing) e relativa cementazione delle tubazioni mediante cementazione eseguita a regola d'arte. In tal modo, si realizza una adeguata barriera idraulica tra il pozzo e le formazioni soprastanti, che possono essere sedi di acquiferi, anche ad uso idropotabile.

I monitoraggi del suolo, delle acque di falda e delle acque superficiali (sorgenti e corsi d'acqua) con i relativi elementi distintivi, rappresentano un efficace sistema di controllo di eventuali insorgenze di anomalie, per verificarne i potenziali effetti ambientali e, eventualmente, i possibili legami di causa-effetto da correlare alle limitrofe attività, derivanti dalle diverse fasi dell'attività di ricerca e sfruttamento della risorsa geotermica.

---

1 Per indicazioni operative sugli adempimenti amministrativi e tecnici a carico del proponente si rimanda al sito web VIA-VAS : <http://www.va.minambiente.it/it-IT/ps/Comunicazione/IndicazioniOperativeVIA>

2 <http://unmig.mise.gov.it/unmig/norme/circ090715.htm>

Le indicazioni metodologiche ed operative di seguito riportate potranno efficacemente integrare il Progetto di Monitoraggio Ambientale delle componenti “suolo-sottosuolo” e “ambiente idrico” che il proponente dovrà predisporre, nell’ambito dello Studio di Impatto Ambientale, secondo le “*Linee Guida per la predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere soggette a procedure di VIA (D.Lgs.152/2006 e s.m.i.; D.Lgs.163/2006 e s.m.i.)*”<sup>3</sup>.

## 6.2 Monitoraggio del suolo (da applicarsi a tutti gli impianti)

Le ricadute sul terreno sono in genere presenti anche negli impianti che prevedono “*emissioni nulle*”, in quanto tale condizione è relativa alle sole fasi di esercizio, mentre in altre condizioni è possibile che l’assenza di emissioni non sia garantita.

Il controllo dei terreni è finalizzato alla determinazione della presenza di arsenico (As), antimonio (Sb), mercurio (Hg), boro (B). Questa lista di elementi può essere modificata o integrata in base alle caratteristiche dell’area geotermica di riferimento. Vengono raccolti campioni di terreno a diverse distanze dall’area dell’impianto (tipicamente 100, 250 e 500 m), in almeno una direzione, ovvero quella più esposta alle ricadute, secondo quanto emerge dai risultati degli studi diffusionali, che devono essere comunque effettuati anche per previsioni di ricadute non continuative.

Le coordinate dei punti di prelievo sono registrate da un sistema GPS portatile.

Dovrà inoltre essere individuato un ulteriore punto di prelievo che possa essere considerato indicativo di una condizione di “bianco” rispetto all’attività dell’impianto. Anche questo punto sarà geo-referenziato mediante GPS portatile.

In ogni punto di campionamento devono essere analizzati due diversi campioni di terreno: uno superficiale, ossia tra 0 e 5 cm, e l’altro alla profondità di 40 - 45 cm.

La periodicità dovrà essere di un campionamento prima della costruzione ed un secondo campionamento a distanza di tre anni dall’entrata in esercizio dell’impianto produttivo.

Sulla base dei risultati ottenuti nella prima campagna di monitoraggio sarà verificata ed eventualmente confermata la necessità di prosecuzione del monitoraggio da parte dell’Autorità di controllo competente.

## 6.3 Controllo delle deposizioni atmosferiche (da applicarsi a tutti gli impianti)

Per le stesse ragioni di cui al punto precedente, questo controllo è applicato anche negli impianti che prevedono “*emissioni nulle*”.

La produzione di energia geotermica non è basata su processi di combustione e pertanto non vengono emessi direttamente NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> e particolato solido primario. Alcuni elementi inquinanti possono invece essere presenti nel particolato secondario e nel drift (aerosol emesso dalle torri di raffreddamento degli impianti a re-immissione parziale). Il controllo per la valutazione dell’inquinamento dovuto alle deposizioni di gocce e particolato solido di norma consiste nell’installazione di almeno un deposimetro a distanza di 500 m dall’impianto, nella direzione più esposta alle ricadute, secondo quanto emerge dai risultati degli studi diffusionali che devono essere comunque effettuati anche per previsioni di ricadute non continuative.

---

3 <http://www.va.minambiente.it/it-IT/ps/DatiEStrumenti/SpecificheTecnicheELineeGuida>

Un ulteriore deposimetro potrà essere installato in corrispondenza di un sito individuato come “indisturbato”, per i necessari raffronti dei dati.

Gli inquinanti monitorati dovranno essere definiti in base alle caratteristiche dell’area geotermica di riferimento e di norma almeno: mercurio (Hg), arsenico (As), antimonio (Sb), boro (B) e ammoniaca (NH<sub>3</sub>).

Per il prelievo e le analisi dovrà essere utilizzato il metodo del rapporto ISTISAN 06/43 “*Metodi per la determinazione di arsenico, cadmio, nichel e idrocarburi policiclici aromatici nelle deposizioni atmosferiche*” di Manichini et al. ISTISAN, o altro metodo equivalente riconosciuto.

Il monitoraggio dovrà avvenire con un campionamento cumulato delle deposizioni della durata di 20 giorni prima della costruzione dell’impianto e un campionamento a 5 anni dall’entrata in esercizio dello stesso. Sulla base dei risultati ottenuti nella prima campagna di monitoraggio sarà verificata ed eventualmente confermata la necessità di prosecuzione del monitoraggio da parte dell’Autorità di controllo competente.

#### 6.4 Monitoraggio chimico-fisico delle acque superficiali e di falda e del livello dell’acquifero freatico e della sua qualità

L’Autorità competente potrà scegliere e approvare alcuni punti d’acqua da monitorare cercando di far coincidere, ove possibile, i punti d’acqua campionati in studi precedenti al fine di evitare inutili dispersioni di informazioni e in modo da avere le basi per un confronto con i dati degli studi stessi.

##### *Acquiferi freatici*

Nel caso le acque di falda si riferiscano a un acquifero freatico e qualora ritenuto necessario dall’Autorità competente, potrebbe essere opportuno realizzare uno o più piezometri, che, laddove non già presenti, permettano di espletare un monitoraggio della risorsa idrica superficiale presente. In particolare i piezometri dovranno essere almeno dotati di sensore di pressione ad immersione, che rilevi anche la temperatura. Il piano di monitoraggio dovrà contenere il controllo sistematico del livello della falda freatica,

#### 6.5 Monitoraggio chimico-fisico dell’acquifero freatico

In aggiunta al monitoraggio del livello, l’Autorità competente potrà anche richiedere, qualora ritenuto necessario, un monitoraggio chimico – fisico dell’acquifero superficiale. A questo scopo, dai piezometri dovranno poter essere estratti opportuni campioni, da prelevare secondo le modalità previste dagli organi di controllo.

La cadenza del campionamento sarà stabilita dall’Autorità competente. Si consiglia un campionamento almeno trimestrale, per il primo anno dalla costruzione della centrale.

Il profilo analitico previsto dovrà essere articolato sulla base di controlli della concentrazione di alcune sostanze “traccianti” di una eventuale contaminazione. Le sostanze traccianti possono essere quelle caratteristiche dei fluidi geotermici tipo le seguenti: Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, F, Br, NH<sub>3</sub>, B, As, Sb, Hg, Li, Rb, Sr, Cs, Se, Ti, SiO<sub>2</sub>, oltre a un campionamento iniziale degli isotopi stabili dell’acqua <sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H. Inoltre anche i rilievi di pH, temperatura, salinità generale sono utili ai fini del monitoraggio.

I campionamenti sono da prevedere prima dell'inizio di qualsiasi attività e da ripetere successivamente con periodicità da stabilire, in funzione dei casi (mensile nelle fasi iniziali di esercizio, poi trimestrale o semestrale o annuale). I protocolli di comunicazione delle informazioni saranno concordati con l'Autorità di controllo.

Le acque, prelevate durante le temporanee operazioni di spurgo finalizzate al campionamento, assimilabili alle idropotabili (stesso acquifero delle sorgenti), potranno essere considerate come acque di restituzione ed essere quindi re immesse nello stesso acquifero di origine, senza necessità di impiego di cisterne per la raccolta e lo smaltimento.

## 6.6 Monitoraggio chimico-fisico delle altre acque superficiali e di falda

In alternativa al monitoraggio chimico-fisico dell'acquifero freatico, potranno essere scelti e approvati dall'Autorità competente alcuni punti d'acqua da monitorare cercando di farli coincidere, ove possibile, con i punti d'acqua campionati in studi precedenti, al fine di poter evitare inutili dispersioni di informazioni e di avere le basi per un confronto con i dati degli studi stessi.

### *Punti di Acque di Falda (PAF)*

I punti d'acqua da prelevare dovranno essere selezionati in base alle loro caratteristiche idrogeologiche: portata e localizzazione rispetto ai principali lineamenti strutturali ed alle aree di produzione geotermica. Il campionamento delle sorgenti captate a scopo idropotabile sarà concordato con il relativo gestore.

Il profilo analitico previsto potrà essere articolato sulla base di controlli della concentrazione di alcune sostanze "traccianti" di una eventuale contaminazione. Le sostanze traccianti possono essere quelle caratteristiche dei fluidi geotermici tipo le seguenti: B, As, Hg, oltre a un campionamento iniziale degli isotopi  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ . Inoltre anche i rilievi di pH, temperatura, salinità generale sono utili ai fini del monitoraggio.

I campionamenti sono da prevedere prima dell'inizio di qualsiasi attività e da ripetere successivamente con periodicità da stabilire, in funzione dei casi (mensile nelle fasi iniziali di esercizio, poi trimestrale o semestrale o annuale). I protocolli di comunicazione delle informazioni saranno concordati con l'Autorità di controllo.

### *Punti di Acque Superficiali (PAS)*

Il campionamento delle acque fluviali dovrà essere effettuato lungo le principali aste che drenano l'area di riferimento dell'impianto geotermico e dovrà essere comunque condiviso con l'Autorità competente.

Il profilo analitico dovrà essere definito in base alle caratteristiche dell'area geotermica di riferimento di norma almeno As, B, Hg, Sb,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_4$ .

La cadenza del campionamento sarà stabilita dall'Autorità competente. Si consiglia un campionamento almeno semestrale, per i parametri sopra indicati, perdurante il primo anno dalla costruzione della centrale.

## **7. Qualità dell'aria**

### 7.1 Emissioni inquinanti

Le emissioni inquinanti dalle centrali geotermoelettriche tradizionali, che non prevedono la re-immissione integrale dei gas nel serbatoio, sono dovute alla presenza dei contaminanti nei fluidi geotermici, che in massima parte si ritrovano nei gas incondensabili.

Il principale composto monitorato per le aree geotermiche è l'H<sub>2</sub>S (acido solfidrico o idrogeno solforato). È una sostanza che ad alte concentrazioni è estremamente tossica poichè è irritante e asfissiante. L'azione irritante, che si esplica a concentrazioni superiori ai 15.000 µg/m<sup>3</sup> ha come bersaglio le mucose, soprattutto gli occhi; a concentrazioni di 715-750.000 µg/m<sup>3</sup>, per inalazione, può causare la morte anche in 5 minuti (WHO 1981, Canadian Centre for Occupational Health and Safety 2001). L'effetto sulle piante non è acuto, ma cronico per la sottrazione di microelementi essenziali per il funzionamento dei sistemi enzimatici. Nei confronti dei materiali mostra una discreta aggressività per i metalli, provocandone un rapido deterioramento.

Altri inquinanti monitorati nelle attuali zone geotermiche di produzione sono:

- Hg (mercurio);
- As (arsenico);
- B (boro);
- Sb (antimonio);
- NH<sub>3</sub> (ammoniaca).

In talune aree è significativa anche l'emissione di NH<sub>3</sub> (ammoniaca) che si libera dalla refrigerazione delle condense.

Per gli impianti raffreddati con torri ad umido, il "drift" è costituito dalle gocce di condensazione del vapore (condense geotermiche) trascinate dal flusso d'aria nelle torri.

L'acqua contiene le sostanze tipiche dei fluidi geotermici (principalmente B (boro), NH<sub>3</sub> (ammoniaca) piccole quantità di As (arsenico), Hg (mercurio), Sb (antimonio)); i quantitativi emessi sono comunque piccoli.

La ricaduta del "drift" interessa le aree limitrofe alle centrali e ha una minima influenza sulla qualità dell'aria. La quantità di "drift" dipende dal tipo di torri di raffreddamento e dal tipo di separatori di gocce presenti (sono ora disponibili separatori ad alta efficienza).

Per gli impianti a totale re-iniezione del fluido geotermico ed assenza di emissioni di processo in atmosfera, a regime non sono previsti effetti ambientali della coltivazione geotermica sulla componente atmosfera.

#### *Limiti di riferimento per l'Idrogeno solforato e per il Mercurio*

Parametro	Concentrazione	Riferimento individuato
Idrogeno solforato (H <sub>2</sub> S)	150 µg/m <sup>3</sup>	WHO-OMS (Guidelines ed. 2000) – media 24 ore
	100 µg/m <sup>3</sup>	WHO-IPCS - >1-14 giorni (valore medio sul periodo)
	20 µg/m <sup>3</sup>	WHO-IPCS - fino a 90 giorni (valore medio sul periodo)

Mercurio (Hg)	200 ng/m <sup>3</sup>	MRLs Minimal Risk level - Livelli guida significativi per la salute elaborati dalla Agenzia governativa USA ATSDR, in analogia ai valori soglia EPA, per effetti non cancerogeni delle sostanze chimiche nell'ambiente ad uso della stessa ATSDR per valutare i siti contaminati – media annuale
---------------	-----------------------	--

*Nota: In Regione Toscana devono essere altresì rispettati i valori fissati nella Deliberazione della Giunta Regionale, 22 marzo 2010, n. 344 recante approvazione dei “Criteri direttivi per il contenimento delle emissioni in atmosfera delle centrali geotermoelettriche”, che stabiliscono valori di riferimento per le immissioni, oltreché per l’idrogeno solforato e per il mercurio, riportati nella tabella di cui sopra, anche di quelle di arsenico (As), boro (B), ammoniaca (NH<sub>3</sub>) e antimonio (Sb), riportati nella tabella 2.2 dei suddetti “Criteri Direttivi”.*

### 7.2 Emissioni dalle centrali geotermoelettriche a reiniezione parziale

Le emissioni dalle centrali geotermoelettriche a re-iniezione parziale sono dovute alla presenza dei contaminanti nei fluidi geotermici, che in massima parte si ritrovano nei gas incondensabili (ad esempio H<sub>2</sub>S, talvolta Hg, NH<sub>3</sub>).

L'acqua contiene le sostanze tipiche dei fluidi geotermici (principalmente B, NH<sub>3</sub> – piccole quantità di As, Hg, Sb); i quantitativi emessi sono minimi e comunque molto inferiori alle soglie di pericolosità.

### 7.3 Disposizioni operative

Per tutti gli impianti geotermici che prevedono il rilascio anche minimo di fluidi geotermici in atmosfera, in fase autorizzativa è necessario predisporre un modello preliminare degli effetti emissivi indotti dal nuovo impianto, con analisi dettagliata delle emissioni previste per ciascun inquinante, corredata da adeguato modello diffusionale meteo-climatico con produzione dei report cartografici per ogni singolo inquinante e per le varie situazioni di funzionamento/blocco dell’impianto e dei sistemi di abbattimento. A tale scopo all’operatore potrà essere richiesta l’installazione di Stazioni meteo-climatiche da ubicarsi e strumentarsi in accordo con l’Autorità di controllo.

Deve essere prevista inoltre l’installazione di sistemi di abbattimento per i maggiori inquinanti, utilizzando le migliori tecnologie disponibili applicabili.

Il monitoraggio della qualità dell’aria dovrà essere realizzato attraverso l’installazione, ove non già presenti, di un adeguato numero di centraline di rilevamento fisse, ubicate secondo dei criteri logici di copertura del territorio e, in particolare, delle maggiori aree popolate. Le centraline dovranno essere adeguatamente strumentate ed i dati, almeno per il parametro maggiormente rappresentativo per la geotermia (H<sub>2</sub>S - idrogeno solforato) dovranno essere resi disponibili secondo modalità e tempistiche da definire con l’Autorità di controllo.

La stessa Autorità potrà stabilire le eventuali misure di controllo da adottare anche nel caso di impianti a totale re-iniezione ed assenza di emissioni in atmosfera.

#### 7.4 Piano di monitoraggio e controllo (PMC)

Per gli impianti geotermici che prevedono il rilascio anche minimo di fluidi geotermici in atmosfera, il piano di monitoraggio dovrà necessariamente prevedere stazioni di monitoraggio in continuo per la specie idrogeno solforato ( $H_2S$ ) e campagne di misura anche con stazione mobile, per i parametri caratteristici dell'area geotermica di riferimento, di norma almeno Hg As, B, Sb,  $NH_3$ . Può essere prevista anche la misurazione del Radon (Rn).

##### *Idrogeno solforato ( $H_2S$ )*

Per il monitoraggio dell' $H_2S$  il sistema di rilevamento dovrà essere conforme a quanto stabilito dal D. Lgs. 155/2010 e sarà sottoposto a controllo della Regione competente per territorio, che si avvale dell'organismo tecnico preposto al controllo relativamente alle modalità di gestione delle stazioni di misura e di raccolta, trattamento e validazione dei dati, che dovranno essere stabilite con un successivo protocollo.

##### *Radon (Rn)*

Per la specie Radon (Rn) potrà essere prevista una misurazione in continuo o discontinua a seconda della valutazione dell'organismo competente per l'area oggetto di indagine.

##### *Mercurio (Hg)*

Per la specie mercurio (Hg) saranno programmate delle campagne di monitoraggio (con stazione fissa o mobile). Saranno da effettuare campagne estive/invernali della durata di 20 giorni. I risultati ottenuti dovranno essere valutati, congiuntamente con l'organismo di controllo, per definire eventuali modifiche al monitoraggio.

##### *Arsenico (As), Boro (B), Antimonio (Sb) e Ammoniaca ( $NH_3$ )*

Il monitoraggio di arsenico (As), Boro (B) e Antimonio (Sb) dovrà essere effettuato misurando il contenuto di questi elementi nella frazione  $PM_{10}$  tramite autocampionatori sequenziali.

Per l'ammoniaca ( $NH_3$ ) potranno essere utilizzati campionatori passivi.

Le campagne di prelievo saranno condotte in periodo invernale ed estivo, avranno la durata di 20 giorni.

I risultati ottenuti verranno valutati, congiuntamente con l'Autorità di controllo, per definire eventuali modifiche al monitoraggio.

*[NOTA: Il campionatore passivo è un dispositivo in grado di catturare gli inquinanti presenti nell'aria senza far uso di aspirazione forzata, sfruttando il solo processo fisico della diffusione molecolare degli inquinanti.*

*All'interno del campionatore è presente una sostanza, cioè un adsorbente specifico per ogni inquinante, in grado di reagire con la sostanza da monitorare. Il prodotto che si forma in seguito alla reazione si accumula nel dispositivo, e la successiva analisi in laboratorio permette di determinare quantitativamente l'inquinante accumulato.]*

## 8. Monitoraggio e controllo del campo geotermico, della microsismicità, della subsidenza e delle pressioni di poro

### 8.1 Introduzione

Considerato che nell'ambito del documento prodotto in data 24 novembre 2014, pubblicato sul sito della DGS-UNMIG del Ministero dello Sviluppo Economico, *“Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche”* si dichiarava come le conclusioni del Gruppo di Lavoro potessero essere adottate, con gli opportuni adattamenti, anche nel caso di geotermia tradizionale, geotermia a ciclo chiuso nonché geotermia stimolata da EGS (quest'ultima attualmente non realizzata in Italia), si ritiene opportuno richiamare in questa sede gli indirizzi e le linee guida che si ritengono direttamente applicabili per il caso in esame.

Le presenti Linee Guida hanno l'obiettivo di definire in questo Capitolo, specificatamente per la geotermia, gli standard iniziali di osservazione degli effetti delle attività antropiche a seguito di operazioni di reiniezione di fluidi nel sottosuolo e, in particolare, di stabilire le procedure e i protocolli di monitoraggio, e l'analisi dell'evoluzione spazio-temporale di alcuni parametri descrittivi della sismicità, della deformazione del suolo e della pressione di poro. Tali standard dovranno comunque essere aggiornati e perfezionati mediante una fase sperimentale su casi pilota rappresentativi di diverse casistiche, prima di una loro applicazione generalizzata.

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 rilevare e analizzare 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 di coltivazione geotermica, anche con l'obiettivo di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente attribuibile alle attività antropiche. Il monitoraggio deve consentire di seguire l'evoluzione spazio-tempo-magnitudo della sismicità al fine, ove occorra, di rimodulare o eventualmente di sospendere le attività stesse.

Mediante il monitoraggio delle deformazioni del suolo (subsidenza) 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 le misurazioni delle pressioni di poro si intende monitorare la pressione statica a fondo pozzo (più precisamente nella zona permeabile del serbatoio) allo scopo di aggiornare e verificare il modello del sottosuolo interessato dalle attività antropiche e valutare l'evoluzione delle pressioni.

Le indicazioni metodologiche ed operative di seguito riportate potranno efficacemente integrare il Progetto di Monitoraggio Ambientale della componente “suolo-sottosuolo” che il proponente dovrà

predisporre, nell'ambito dello Studio di Impatto Ambientale, secondo le “Linee Guida per la predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere soggette a procedure di VIA (D.Lgs.152/2006 e s.m.i.; D.Lgs.163/2006 e s.m.i.)”<sup>4</sup>.

Sono esclusi dai monitoraggi gli impianti geotermici a bassa entalpia (con temperature minori di 90°C), noti anche come “sonde geotermiche” o “impianti di geoscambio”, di interesse locale, contenuti entro una profondità di 250 metri dal piano campagna, a condizione che non vi siano scambi di fluidi col sottosuolo, né vengono introdotti additivi di alcun genere.

## 8.2 Caratterizzazione geologica, strutturale e sismo tettonica

Si rimanda a quanto già indicato nel paragrafo 3.1 (Studi geologici e idrogeologici, di sottosuolo e di superficie), sottolineando l'importanza di un adeguato approfondimento in merito alla presenza di faglie nell'area di interesse.

## 8.3 Dominio di rilevazione

Per le attività di re-iniezione di fluidi geotermici si definisce *Dominio di rilevazione* il volume all'interno del quale si ritiene che possano potenzialmente verificarsi fenomeni di sismicità indotta o di deformazione del suolo associati all'attività svolta.

Per volume perturbato si intende il volume del serbatoio geotermico su cui si riflettono le attività di coltivazione in termini di volumi prodotti/reiniettati, delle pressioni e temperature in gioco, delle caratteristiche di permeabilità e fratturazione del serbatoio.

Per la definizione del *Dominio di rilevazione* si individuano due diversi casi:

1) qualora siano disponibili i dettagli del volume perturbato ottenibili dal modello geomeccanico di serbatoio realizzato per ciascun sito, considerata anche l'estrema variabilità delle caratteristiche geologiche dello stesso, si ritiene come Dominio Interno di rilevazione per gli impianti pilota un volume che si estende fino alla superficie, coincidente con il volume perturbato (come definito dallo studio geologico preliminare) ampliato di un'ulteriore fascia che si estende ai lati e sotto fino ad una distanza di 5 km dal bordo dello stesso (fino a un massimo di 8 km di profondità).

2) nel caso in cui, titolare non abbia fornito informazioni per la definizione dell'estensione del volume perturbato, si ritiene come Dominio Interno di rilevazione un volume che si estende per 2 km intorno al pozzo stesso (valore convenzionale e cautelativo), ampliato di un'ulteriore fascia di 5 km da tale volume, sia lateralmente che in profondità, che tenga conto dell'incertezza generale sul volume perturbato. Entrambi i valori dovranno essere calcolati da fondo pozzo. Il Dominio Interno di rilevazione, in quest'ultimo caso, sarà costituito dall'involuppo di tutti i volumi dei pozzi del campo e si intende esteso fino alla superficie.

---

<sup>4</sup> <http://www.va.minambiente.it/it-IT/ps/DatiEStrumenti/SpecificheTecnicheELineeGuida>

In entrambi i casi, sempre in via cautelativa, si ritiene comunque che l'area interessata dal monitoraggio debba corrispondere quanto meno all'estensione del Permesso.

I valori assunti saranno sottoposti a revisione sulla base delle risultanze dei monitoraggi e delle misure che saranno realizzate dopo due anni di attività o per studi che nel frattempo si renderanno disponibili.

Nell'ipotesi che il sito considerato sia già oggetto di attenzione per la concomitante presenza di altri rischi rilevanti, non potrà essere applicata la definizione del volume sopra proposta, ma sarà necessario procedere ad un'analisi specifica del sito per definire in modo più accurato una risposta appropriata rispetto a tutti e due i quesiti posti.

Inoltre, considerato che un aumento del flusso di volatili in superficie può fornire indicazioni sulla eventuale pressurizzazione del sistema profondo e in associazione con il monitoraggio sismico può fornire un migliore controllo dell'evoluzione del sistema fluido-dinamico durante lo sfruttamento del sistema, si suggerisce di adottare nel Dominio Interno di rilevazione, così come definito in precedenza, misure di monitoraggio della fase fluida in superficie. Il sito deve prevedere un'analisi delle emissioni gassose naturali nel Dominio Interno di almeno 12 mesi pre-impianto, in modo da poter valutare eventuali variazioni indotte dalle attività di coltivazione geotermica, le cui emissioni devono ovviamente rientrare nei limiti di legge.

#### 8.4 Caratteristiche e scopo del monitoraggio sismico

Lo scopo del monitoraggio sismico è:

1. rilevare, localizzare e determinare i principali parametri di sorgente della sismicità e microsismicità verificatasi nel dominio di rilevazione;
2. migliorare a scala locale il livello di magnitudo di completezza degli eventi sismici rilevati all'interno del dominio di rilevazione;
3. misurare con accuratezza le velocità di oscillazione e le accelerazioni del suolo prodotte in superficie da terremoti in prossimità dell'area di coltivazione e re-iniezione.

I dati rilevati dovranno anche servire a costruire un catalogo di eventi sismici che possa essere utilizzato per valutare l'evoluzione nel dominio spazio-tempo-magnitudo della sismicità nel dominio di rilevazione, e analizzare la pericolosità dell'eventuale sismicità indotta, anche in relazione al tempo.

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

1. nel dominio di rilevazione, rilevare e localizzare i terremoti a partire da magnitudo locale ML compresa tra 0 e 1 ( $0 \leq ML \leq 1$ ) e con errori nella localizzazione dell'ipocentro non superiori ad poche centinaia di metri;

2. determinare l'accelerazione e la velocità del moto del suolo provocata da eventuali terremoti presso i punti di misurazione;
3. 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 mediante la stipula di opportuni accordi tra il Concessionario, l'Amministrazione competente ed i soggetti gestori delle reti di monitoraggio esistenti.

Nel seguito vengono enunciate alcune caratteristiche che le reti devono soddisfare:

- a) Ogni stazione dovrà essere dotata di un sensore triassiale ad elevata sensibilità (sismometro), mentre per la successiva fase di reiniezione e coltivazione, sarà valutata l'eventuale necessità di integrare una stazione con un sensore triassiale ad elevata dinamica (accelerometro). Potranno essere adottati sensori sismometrici a corto periodo ( $T \leq 1$  s). Si prescrive inoltre 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;
- b) 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. Per la sola fase di coltivazione, il segnale dovrà essere trasmesso in tempo "quasi-reale" al centro di controllo. 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;
- c) Per l'installazione dei sensori si dovrà prevedere l'adozione di specifici accorgimenti atti a ridurre il rumore sismico ambientale;
- d) 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, ecc.) necessaria per il funzionamento della singola stazione di rilevamento;
- e) Si raccomanda che siano attivate procedure idonee a determinare le curve di risposta strumentale, che includano sia i sensori sia gli acquisitori digitali, di prevedere la verifica periodica della risposta strumentale complessiva, nonché di provvedere a tutti gli aggiornamenti in conseguenza a modifiche/sostituzioni degli apparati.

Per quanto riguarda i tempi di esercizio del monitoraggio, si raccomandano le seguenti modalità:

1. il monitoraggio sismico dovrà partire almeno un anno prima dell'inizio dell'attività di coltivazione o reiniezione, 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 prevista, e protrarsi per almeno un anno dopo la conclusione delle attività.

Per quanto riguarda l'elaborazione e l'analisi dei dati, dovranno essere implementate procedure in grado di soddisfare gli obiettivi del monitoraggio sismico specificati in precedenza. 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.

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

- Configurazione 0 : da adottarsi contestualmente all'avvio del sistema di monitoraggio sismico - deve allinearsi alle procedure di localizzazione assoluta ipocentrale 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 e della magnitudo dell'evento più accurati tramite calibrazione delle leggi di attenuazione di ampiezza e dei termini di correzione di sito;
- Configurazione 1 : deve prevedere: un modello di velocità 1D ad hoc per il dominio di rilevazione, supportato da studi specifici e coerente con i dati stratigrafici disponibili e con le analisi di velocità eseguite con i dati del 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;
- Configurazione 2: in fase di coltivazione, particolari procedure di elaborazione dei dati (ad es. metodi basati sulla coerenza delle forme d'onda registrate) potranno essere eventualmente valutate ed adottate sulla base delle caratteristiche dei sismogrammi rilevati; è opportuno che i risultati del monitoraggio sismico vengano, in questa fase, confrontati con i dati di produzione, al fine di valutare eventuali correlazioni, da inserire nei report periodici, di seguito descritti.

I risultati delle rilevazioni verranno forniti, all'Amministrazione competente e agli Enti eventualmente individuati dalla stessa, almeno nella forma di catalogo parametrico degli eventi localizzati, per ognuna 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 magnitudo locale/momento, rispetto alle reti nazionali/regionali, per eventi che accadano nel dominio di rilevazione.

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

- a) sistema di riconoscimento automatico in modalità di tempo “quasi reale” per la verifica dei valori dei parametri selezionati. L’eventuale occorrenza di attività sismica che si discosti dal quadro ordinario dovrà essere segnalata e analizzata con tempestività;
- b) sistema di riconoscimento e revisione dei dati off-line per le analisi di dettaglio. Il quadro della sismicità nel dominio di rilevazione dovrà essere aggiornato facendo riferimento a un intervallo di tempo corrente (finestra temporale mobile) di alcuni giorni (1 – 2).

I risultati complessivi delle rilevazioni dovranno essere illustrati e analizzati in rapporti periodici, con cadenza indicativa consigliata di 6 mesi., da fornire all'Amministrazione competente e agli Enti eventualmente individuati dalla stessa.

Detti rapporti dovranno descrivere, per 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/rumore 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.

### 8.5 Caratteristiche del monitoraggio delle deformazioni del suolo

Le attività di estrazione e di re-iniezione di fluidi nel sottosuolo possono indurre fenomeni di deformazione superficiale. 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, ove possibile, 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). Nella fase di coltivazione, queste misure vanno perciò opportunamente integrate con quelle fornite da una rete di stazioni GPS in continuo, oppure da una

rete di capisaldi collegati alla Rete Geodetica Nazionale, che consentono di ottenere informazioni sulle tre componenti degli spostamenti rilevati in corrispondenza delle stazioni riceventi.

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) e della loro distribuzione spaziale nell'area analizzata, evidenziando eventuali variazioni rispetto allo scenario deformativo di background.

Si raccomanda che il monitoraggio riguardi una adeguata porzione superficiale del dominio di rilevazione, corrispondente all'area sovrastante il serbatoio geotermico, 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 almeno negli ultimi 2-3 anni con accuratezze dell'ordine dei millimetri (per le misure InSAR in LOS) e di qualche mm/anno per le stime dei ratei 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 Telerilevamento Ambientale o alle iniziative effettuate dalle singole regioni;
- il monitoraggio dei fenomeni deformativi del suolo deve essere aggiornato mediante successive misure InSAR con la seguente cadenza indicativa:
  - 1 elaborazione durante i primi 3 anni di coltivazione;
  - 1 elaborazione ogni 3 ÷ 5 anni dopo il terzo anno, con cadenza da definire in base all'entità delle deformazioni rilevate.

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, caratterizzati da una politica di acquisizione "on-demand"; in tal caso, in aggiunta alle 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. 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);

- 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, costituita da almeno 3 stazioni. Le informazioni ottenute grazie a tale rete locale GPS, opportunamente inquadrata nel sistema di riferimento internazionale (attualmente ITRF2008), devono permettere di:
  - rendere le misure InSAR indipendenti dalla “zona di riferimento” scelta per la loro analisi e rappresentazione,
  - rilevare (e correggere) eventuali artefatti che possono essere presenti nelle misure InSAR;
  - effettuare eventuali modellazioni 3D del campo di deformazione relativo al dominio di rilevazione.

Pertanto, si raccomanda che la rete locale GPS preveda la presenza di stazioni permanenti di precisione (di tipo geodetico), distribuite opportunamente in funzione dell'estensione e delle caratteristiche dell'area da monitorare ed installate con una adeguata documentazione adatta a scopi geofisici (ad esempio UNAVCO).

- i risultati complessivi delle rilevazioni delle deformazioni del suolo dovranno essere illustrati e analizzati in rapporti periodici. Tali rapporti dovranno, per il periodo analizzato:
  - descrivere lo stato di funzionamento del sistema di monitoraggio,
  - fornire informazioni sia sull'andamento temporale delle deformazioni del suolo, sia sulla loro distribuzione spaziale,
  - evidenziare eventuali variazioni rispetto allo scenario deformativo di background.

Questa tecnica, funzionale su aree senza particolari coperture vegetative, risulta di difficile applicazione se si considerano nel loro insieme aree di elevata estensione e con coperture vegetali assai estese, pur in presenza di un significativo numero di stazioni GPS a terra. In tal caso è possibile sostituire la tecnica InSAR, con una appropriata rete GNSS di tipo semipermanente, che permette la definizione dei movimenti del suolo, senza avere influenza negativa dall'estensione dell'area e della copertura vegetativa.

## 8.6 Caratteristiche delle misurazioni delle pressioni di poro

Il valore della pressione statica nel dominio di rilevazione può costituire un utile elemento per l'aggiornamento e la verifica dei modelli del serbatoio nonché per una buona gestione del campo geotermico.

Pertanto, per i pozzi di re-iniezione si provvede, durante le fermate programmate dell'impianto di produzione di energia, al rilevamento della pressione statica a fondo pozzo.

Con periodicità almeno annuale dovranno quindi essere prodotti rapporti di andamento delle pressioni misurate o stimate (anche avvalendosi dell'applicazione di modelli).

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

## 8.7 Pubblicazione dei dati di monitoraggio e divulgazione delle informazioni

Con lo scopo di garantire l'efficacia e la trasparenza delle attività svolte, si prevede la realizzazione, sul sito internet del Ministero dello sviluppo economico – DGS-UNMIG, 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.

L'informazione al pubblico attraverso il sito internet del Ministero dello Sviluppo Economico – DGS-UNMIG sul monitoraggio della microsismicità, della subsidenza e delle pressioni di poro di ciascun impianto pilota geotermico, assolverà altresì agli obblighi previsti dalla vigente normativa nazionale in materia di VIA (D. Lgs. 152/2006, art. 28), relativa all'obbligo di informazione via web delle modalità di svolgimento del monitoraggio, dei risultati e delle eventuali misure correttive che potranno essere adottate dall'Autorità competente in caso di effetti negativi imprevisti

I dati del serbatoio e del monitoraggio saranno forniti dal Concessionario, (concordando tali attività con l'Amministrazione competente), il quale potrà inoltre realizzare materiale divulgativo, anche in formato cartaceo, e organizzare incontri con la popolazione per illustrare le attività industriali, le risultanze delle attività di controllo della sismicità indotta e della deformazione del suolo ottenute attraverso il monitoraggio.

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

### I. Informazioni sulla concessione

1. Storia
2. caratteristiche principali del serbatoio
3. descrizione sintetica del modello di serbatoio
4. FAQ

### II. 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 variazioni di pressione di poro; tecniche di misurazione e di valutazione tramite modelli

### III. 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 di rilevazione (criterio di identificazione, mappa)

#### IV. 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
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, ecc.)
  - b) informazioni aggiornate sulle stazioni (in funzione o temporaneamente non operanti)
  - c) lista completa degli eventi sismici localizzati dall'entrata in esercizio della rete o dall'applicazione di queste Linee Guida
  - d) eventuali dati relativi alle forme d'onda in continuo (con formati sismologici standard), completi delle informazioni necessarie per effettuare la correzione strumentale potranno, a discrezione dell'operatore, essere resi disponibili ad Istituti e Centri di ricerca che ne facciano richiesta per particolari studi e approfondimenti;

#### V. 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) pubblicazione dei dati pregressi disponibili

VI. Dati di monitoraggio delle pressioni di poro

.....

VII. 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

VIII. 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

IX. Link utili

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

8.8 Conclusioni e raccomandazioni sul monitoraggio

Il presente Capitolo delle Linee Guida ha l'obiettivo di descrivere le specifiche tecniche delle reti di monitoraggio che si ritengono necessarie per la raccolta delle informazioni e dei dati inerenti al comportamento del serbatoio, sulla base dei quali potrà essere necessario implementare adeguate azioni di gestione del campo geotermico.

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 individuati successivamente dal MISE.

In generale, al fine di ridurre al minimo il potenziale impatto, per le attività estrattive che comportano la re-iniezione dei fluidi si raccomanda di:

1. re-iniettare il fluido disponibile a valle del ciclo di produzione e compatibilmente con la soluzione impiantistica adottata, nelle stesse formazioni di provenienza o comunque al di sotto di falde utilizzabili a scopo civile e industriale, secondo quanto già affermato dalla legislazione vigente;
2. prevedere una distribuzione della portata di re-iniezione idonea a garantire il minor disturbo possibile al serbatoio, comunque da valutare in base ai test di iniettività.

Uno dei punti affrontati è stato quello della definizione delle aree su cui effettuare il monitoraggio. Soprattutto per il monitoraggio sismico, è stato necessario considerare e sintetizzare, in un impianto formale semplice e applicabile, le esperienze derivate da differenti attività produttive. Alla fine, il principio unificante è stato individuato nella definizione di un volume di rilevazione il quale, nell'ambito del monitoraggio sismico, circoscrive i punti (pozzi) o la zona sorgente (serbatoio) delle attività con un raggio limitato ma sufficientemente ampio da includere i fenomeni di sismicità eventualmente indotta dalle attività di coltivazione nell'ambito del dominio di rilevazione. Per il dominio di rilevazione, la rete di monitoraggio sismico dovrà avere la massima sensibilità, in modo tale da consentire l'utilizzo di tecniche raffinate per la localizzazione dei terremoti e la ricostruzione di variazioni nei modelli di velocità nonché, laddove i dati lo consentiranno, di tracciare l'eventuale migrazione della sismicità.

Per quanto concerne il tema delle decisioni operative e della gestione dei parametri di produzione da adottare in funzione dei risultati del monitoraggio si ritiene tuttavia necessaria una più profonda maturazione delle conoscenze e delle metodologie scientifiche su alcuni impianti pilota.

Ciò sarà attuabile solo a valle di una adeguata applicazione delle presenti linee guida per l'installazione delle reti di monitoraggio su alcuni siti pilota, al fine di definire un'opportuna procedura di gestione e controllo delle attività di coltivazione sulla base di adeguati livelli di attivazione (eventuale applicazione di sistemi sperimentali a semaforo), avendo quale riferimento quanto preliminarmente proposto nel documento *“Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche”* del 24 novembre 2014.

## 9. Requisiti per il riconoscimento di impianto geotermico pilota sperimentale

Ai fini del riconoscimento di un impianto geotermico pilota, appare opportuno richiamare i contenuti dell'art. 1 comma 3-bis del D. Lgs. 11 febbraio 2010, n. 22:

*“3-bis. Al fine di promuovere la ricerca e lo sviluppo di nuove centrali geotermoelettriche a ridotto impatto ambientale di cui all'articolo 9 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387, sono altresì di interesse nazionale i fluidi geotermici a media ed alta entalpia finalizzati alla sperimentazione, su tutto il territorio nazionale, di impianti pilota con reiniezione del fluido geotermico nelle stesse formazioni di provenienza, e comunque con emissioni di processo nulle, con potenza nominale installata non superiore a 5 MW per ciascuna centrale, per un impegno complessivo autorizzabile non superiore ai 50 MW; per ogni proponente non possono in ogni caso essere autorizzati più di tre impianti, ciascuno di potenza nominale non superiore a 5 MW. Gli impianti geotermici pilota sono di competenza statale.*

*3-bis.1. Agli impianti pilota di cui al comma 3-bis, che per il migliore sfruttamento ai fini sperimentali del fluido geotermico necessitano di una maggiore potenza nominale installata al fine di mantenere il fluido geotermico allo stato liquido, il limite di 5 MW e' determinato in funzione dell'energia immessa nel sistema elettrico, che non può in nessun caso essere superiore a 40.000 MWh elettrici annui.”.*

Sulla base di tale disposto normativo, i requisiti degli impianti pilota geotermici sono:

- 9.1) utilizzo di fluido geotermico a media o alta entalpia per la produzione di energia elettrica;
- 9.2) potenza nominale installata non superiore a 5 MW elettrici, al netto degli autoconsumi;
- 9.3) totale re-immissione nelle formazioni di provenienza del fluido geotermico utilizzato, ivi comprese le sostanze incondensabili;
- 9.4) presenza di sostanze incondensabili in quantità significativa (min 1% in peso) nel fluido geotermico. Ciò in quanto l'utilizzazione di fluidi geotermici (con reiniezione totale) in assenza o in presenza di quantità inferiori all'1% in peso non possiede caratteristiche idonee per poter essere considerata come condizione sperimentale, stante l'esistenza di altri impianti geotermici in condizioni similari (incondensabili < 1% in peso), già da tempo in esercizio commerciale;
- 9.5) emissioni di processo nulle:
  - 9.5.a) Assumono rilevanza in sede di valutazione:
    - il programma e le caratteristiche tecnologiche del progetto di impianto pilota, avente l'obiettivo di evitare emissioni di processo nell'ambiente, con particolare riguardo a quelle in atmosfera di gas incondensabili, durante il normale esercizio dell'impianto (in particolare sono da valutare le soluzioni adottate ed il relativo grado di affidabilità sia in termini di innovazione di prodotto che di processo, sia per l'intero sistema che per porzioni di esso, nonché la fattibilità e l'affidabilità tecnica in relazione alle caratteristiche del fluido geotermico in termini di P e T in serbatoio, composizione chimica e

concentrazione di gas, valutazione del piano dei monitoraggi per la fase di sperimentazione);

- utilizzo di tecnologie sperimentali, non commerciali, con soluzioni di prodotto o processo innovative, per evitare le emissioni durante il normale processo produttivo;

9.6) adeguata conoscenza del sottosuolo e del bacino geotermico:

9.6.a) conoscenza da parte della società richiedente delle strutture geologiche e degli acquiferi superficiali e profondi e delle potenzialità della risorsa geotermica (in particolare sono da valutare la tipologia e il grado di accuratezza delle suddette conoscenze geoscientifiche: specifica letteratura, acquisizione dati da titoli minerari pregressi con esplorazione profonda attraverso sondaggi, acquisizione dati da precedenti prospezioni geologiche, geochimiche, idrogeodinamiche e geofisiche);

9.6.b) modelling del serbatoio geotermico e geochimica dei fluidi (in particolare sono da valutare la conoscenza del gradiente geotermico, correlazioni logs pozzi, bilancio idrogeologico, caratteristiche chimiche delle acque, depositi e incrostazioni, caratteristiche chimiche dei gas, prospezioni del flusso di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S).