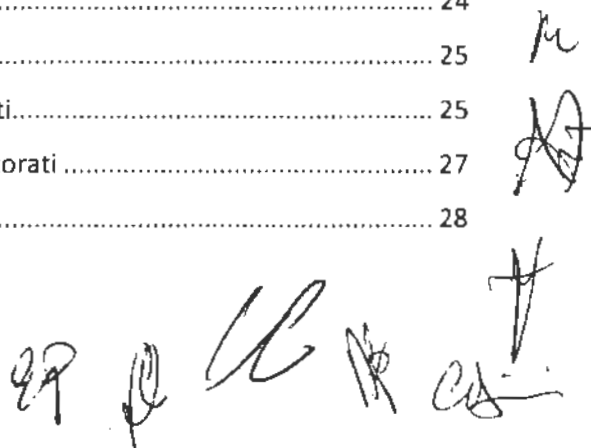
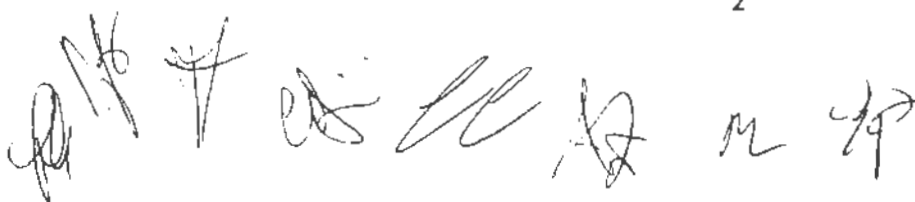


# INDIRIZZI E LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DELLA SISMICITÀ, DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO E DELLE PRESSIONI DI PORO NELL'AMBITO DELLE ATTIVITA' ANTROPICHE

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



10. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	30
GLOSSARIO.....	32
APPENDICE A .....	35
BIBLIOGRAFIA .....	37

A series of handwritten scribbles or a signature in black ink, located at the bottom left of the page. The marks are fluid and somewhat illegible, appearing to be a personal mark or signature.

## 1. INTRODUZIONE

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

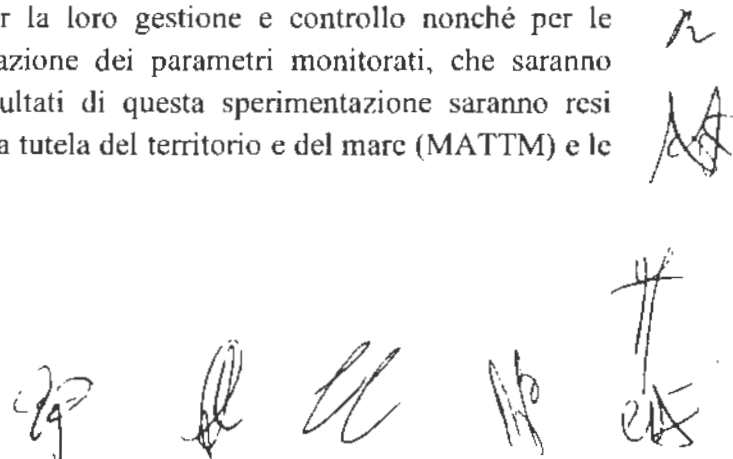
La commissione ICHESE (International Commission on Hydrocarbon Exploration and Seismicity in the Emilia Region, Appendice A) ha evidenziato l'opportunità che le attività di coltivazione di idrocarburi e di produzione di energia geotermica, sia in atto sia di nuova programmazione, siano costantemente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

Nelle raccomandazioni, la commissione ICHESE aveva già fornito una prima indicazione delle caratteristiche minime delle reti: capacità di rilevare tutti i terremoti di magnitudo almeno a partire da  $M_L$  0.5, utilizzo di metodi satellitari per la rilevazione delle deformazioni del suolo con tecnologie interferometriche - InSAR - e GNSS/GPS (d'ora in poi GPS) con una risoluzione di alcuni millimetri all'anno, misura al fondo pozzo della pressione dei fluidi con frequenza giornaliera.

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

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

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

The bottom of the page features several handwritten signatures and initials in black ink. On the right side, there are two distinct signatures, one above the other. At the bottom center, there are five individual initials or short signatures arranged horizontally. These marks appear to be official endorsements or approvals of the document.

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

I Componenti del gruppo di lavoro sono:

Ing. Gilberto Dialuce (MiSE - coordinatore),

Dott. Claudio Chiarabba (INGV – Struttura Terremoti),

Dott.ssa Daniela Di Bucci (Dipartimento della Protezione Civile),

Prof. Carlo Doglioni (Dipartimento Scienze della Terra, Università Sapienza di Roma),

Prof. Paolo Gasparini (Università di Napoli “Federico II”; Analisi e Monitoraggio del rischio ambientale - AMRA),

Ing. Riccardo Lanari (CNR – Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell’Ambiente - IREA),

Dott. Enrico Priolo (OGS – Sezione Scientifica Centro di Ricerche Sismologiche),

Prof. Aldo Zollo (Università di Napoli “Federico II” - Dipartimento di Fisica).

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

- dell'esperienza acquisita in una prima fase sperimentale su campi pilota rappresentativi delle diverse casistiche riguardanti, tra l'altro, reservoir in rocce carbonatiche che includano attività di reiniezione (attività che, in generale in Italia, già è sottoposta a monitoraggio sismico che viene gestito, nella maggioranza dei casi, dagli operatori stessi);

- di uno studio di fattibilità, comprensivo dei costi di realizzazione e di gestione a regime, per tutti i campi produttivi in cui è realizzata la reiniezione e per gli altri casi che, come si vedrà nel seguito, si suggerisce di considerare in prima istanza (cioè concessioni per l'estrazione in cui siano presenti reiniezione e concessioni per lo stoccaggio di gas naturale).

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



## 2. MOTIVAZIONI E FINALITÀ

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

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

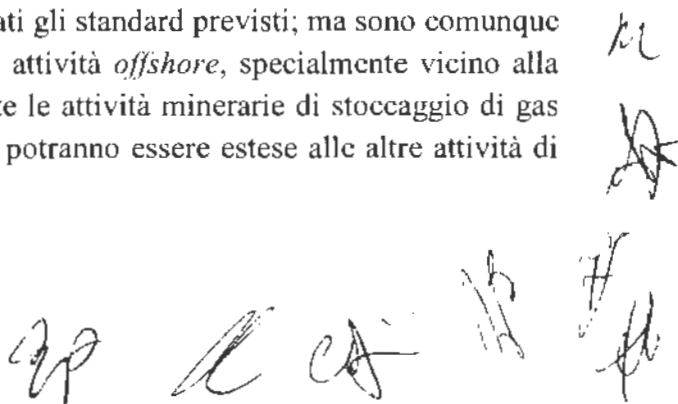
Prima che le attività antropiche in esame abbiano inizio, il monitoraggio permette di quantificare i valori di fondo, naturali e/o indotti da altre attività antropiche, dei parametri sopra menzionati. Durante tutto il periodo di esercizio, il monitoraggio permette invece di distinguere e misurare in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

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

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

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

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

Handwritten signatures and initials in black ink, located at the bottom right of the page. There are approximately six distinct marks, including what appears to be a signature 'CP' and several other initials.

Se ne raccomanda l'applicazione sperimentale prioritariamente: (i) alle attività antropiche, nuove e in corso, che prevedono la reiniezione in sottterraneo dei fluidi di strato separati dagli idrocarburi prodotti; (ii) allo stoccaggio di gas naturale in sottterraneo.

Relativamente al monitoraggio delle pressioni di poro, si suggerisce di effettuarlo a partire dalle nuove attività e, per quelle in essere, dai casi in cui i pozzi siano tecnicamente equipaggiabili con le attrezzature per effettuare tale misurazione, nonché, per le prove di interferenza, dai casi in cui siano presenti pozzi utilizzabili a tal fine nell'intorno del pozzo monitorato.

Si ritiene che le indicazioni delle presenti Linee Guida non si debbano applicare, in via generale, nei casi di produzioni marginali di gas anidro e olio a profondità minori di 2 km, in quanto le attività svolte nell'ambito di tali specifiche condizioni non risultano sufficienti a determinare variazioni significative nei parametri monitorati. Per produzioni marginali si intendono quelle in giacimenti con riserve originarie inferiori a 300 milioni di m<sup>3</sup> standard di gas o a 30 milioni di barili di olio. Per queste produzioni rimangono comunque opportuni i monitoraggi delle deformazioni del suolo.

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

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

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

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

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



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

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

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

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

### 3. TIPOLOGIE DI ATTIVITÀ TRATTATE E MODALITÀ DI APPLICAZIONE

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

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

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

### 4. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, STRUTTURALE E SISMOTETTONICA

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

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





e secondaria nella stratigrafia del pozzo e nel volume emisferico a fondo pozzo di raggio pari a 2 volte la profondità del pozzo stesso (es. tramite log di pozzo, misure geoelettriche o magnetotelluriche e proiezioni laterali delle stratigrafie);

- valutazione del grado di compattazione della serie stratigrafica e della subsidenza attesa in funzione dell'emungimento/reiniezione di fluidi dalla porosità primaria;
- simulazione, in base alle caratteristiche petro-fisiche del giacimento, della migrazione dei fluidi nell'intorno del giacimento e nel dominio interno di rilevazione (quest'ultimo concetto è definito nel Capitolo 5);
- individuazione delle eventuali faglie attive adiacenti (entro 3 km) o prossime (entro 15 km) al giacimento;
- quadro cinematico generale dell'area interessata, anche alla luce dei dati geodetici, satellitari e sismologici di cui ai capitoli successivi;
- stima delle variazioni del carico litostatico in base ai dati previsti di emungimento o reiniezione, quindi in positivo o in negativo, associate alle attività minerarie;
- valutazione del volume intorno al pozzo attraverso il quale i fluidi reiniettati sono in grado di migrare e programmazione del relativo monitoraggio. A tal fine, potrà essere utilizzato un monitoraggio geochimico con traccianti (per esempio isotopi dell'ossigeno) per verificare la permeabilità e la velocità di migrazione dei fluidi tra pozzi;
- realizzazione di un modello geomeccanico che comprenda tutte le informazioni di cui sopra, da aggiornare periodicamente in funzione delle informazioni rese progressivamente disponibili dal monitoraggio e dai dati di produzione.

Inoltre, si suggerisce che venga curata:

- l'installazione, in pozzi pilota piezometrici superficiali, di piezometri e strumenti che monitorino in continuo le variazioni della falda (profondità, temperatura, composizione chimica) per evidenziare eventuali variazioni non legate al ciclo idrologico naturale. Si raccomanda, inoltre, che almeno uno dei piezometri venga accoppiato ad un assestometro per la misura della compattazione degli strati superficiali attraverso la fuoriuscita dal terreno di una barra metallica, ancorata a fondo pozzo ad una profondità che raggiunga il limite inferiore degli acquiferi;
- l'esecuzione di rilievi geoelettrici o di magnetotellurica ripetuti relativi al volume del "dominio interno di rilevazione" (cfr. Capitolo 5) per valutare le anomalie di resistività e le loro eventuali variazioni nel tempo.

M  
A  
GR  
PCC  
CA  
1/6  
H

## 5. CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO SISMICO

### 5.1 Definizione dei volumi interessati dal monitoraggio sismico

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

- a) Per le **attività di estrazione di olio/gas da giacimento** senza reiniezione, è il volume che si estende fino alla superficie comprendendo la zona mineralizzata (giacimento), come ricostruita dallo studio geologico preliminare, e un'ulteriore fascia che si estende ai lati e sotto fino ad una distanza di **3 km** dal bordo del giacimento stesso. Qualora sia prevista **reiniezione** in livelli compresi nel giacimento, tale fascia si estende fino a **5 km** dal bordo del giacimento stesso.
- b) Per le attività di **stoccaggio**, è il volume che comprende la zona mineralizzata (giacimento usato per lo stoccaggio), come ricostruita dallo studio geologico preliminare, e un'ulteriore fascia nell'intorno del giacimento fino ad una distanza di **2-3 km**, in funzione dell'estensione del giacimento.
- c) Nel caso di **reiniezione di fluidi all'esterno del giacimento**, è il volume, che si estende fino alla superficie, definito dall'involuppo costruito tracciando sfere centrate al fondo dei pozzi di reiniezione aventi raggio pari alla profondità del pozzo e comunque non inferiore a **8 km**.

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

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

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



## 5.2 Scopo del monitoraggio sismico

1. Lo scopo del monitoraggio sismico è di rilevare, localizzare e determinare i principali parametri di sorgente della sismicità e microsismicità verificatasi nei domini di rilevazione;
2. migliorare a scala locale il livello di magnitudo di completezza delle rilevazioni nei domini di rilevazione;
3. misurare con accuratezza le accelerazioni del suolo prodotte in superficie da terremoti in prossimità dell'area di coltivazione o stoccaggio.

I dati rilevati dovranno anche servire a costruire un catalogo di eventi sismici che possa essere utilizzato per monitorare l'evoluzione nel dominio spazio-tempo-magnitudo della sismicità nei domini di rilevazione, e per le analisi di pericolosità da sismicità indotta, anche dipendente dal tempo.

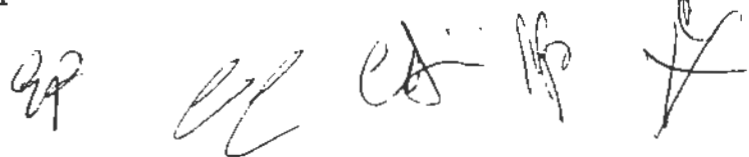
## 5.3 Caratteristiche tecniche della rete di monitoraggio sismico

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

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

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

- a) Verrà utilizzata un'interdistanza tra le stazioni indicativamente di circa 3-5 km nell'area superficiale del dominio interno di rilevazione DI che verrà aumentata progressivamente procedendo verso il bordo esterno del dominio esteso DE.
- b) Ogni stazione dovrà essere dotata di due sensori tri-assiali, uno ad elevata sensibilità (sismometro) e uno ad elevata dinamica (accelerometro). Potranno essere adottati sensori sismometrici a corto periodo ( $T \leq 1$  s), ma con periodo proprio non inferiore a  $T = 0.5$  s. Si raccomanda l'installazione di almeno un sensore a banda estesa o larga (periodo proprio  $T \geq 20-40$  s, e frequenza massima di rilevazione non inferiore a 80 Hz) presso una stazione interna alla rete dedicata.
- c) Il segnale dovrà essere acquisito in continuo, con frequenza di campionamento dei dati non inferiore a 200 Hz e a 100 Hz, rispettivamente per i sismometri e per gli accelerometri posti in superficie, e a 250 Hz per i sensori (sismometri o accelerometri) posti in pozzi profondi. Il



segnale dovrà essere trasmesso in tempo “quasi-reale” al centro di controllo presso la Struttura Preposta al Monitoraggio (d’ora in avanti SPM; cfr. Capitolo 9), ove ne sarà curata anche l’archiviazione, in modo da garantire l’integrità, la continuità e la sicurezza del dato. L’apparato di acquisizione dovrà essere dotato di un sistema di temporizzazione di precisione, basato su tecnologia GPS, per consentire la stima corretta dei tempi di arrivo delle fasi e l’integrazione con le altre reti esistenti.

- d) Si raccomanda che la stazione a banda larga integri la funzione di rilevazione sismica con quella geodetica tramite la realizzazione di una stazione permanente di precisione GPS, collocata e configurata con campionamento di acquisizione a 10 Hz. Tale stazione sarà parte integrante del sistema di monitoraggio della deformazione di cui al Capitolo 6.
- e) Per l’installazione dei sensori si dovrà prevedere l’adozione di specifici accorgimenti atti a ridurre il rumore sismico ambientale. Nel caso di elevato rumore sismico di fondo, si suggerisce l’installazione dei sensori sismometrici in profondità, in funzione della litologia e della tipologia del sensore; nel caso di suoli poco consolidati, come ad esempio quelli di pianura, si suggerisce una profondità indicativa compresa tra 100 m e 200 m.
- f) Si raccomanda di adottare strategie di gestione della rete atte a minimizzare le interruzioni nel flusso dei dati e delle elaborazioni. In particolare, dovrebbe essere garantita la copertura dei dati per almeno il 95% del tempo per ogni stazione, ed eventuali interruzioni o malfunzionamenti della singola stazione dovrebbero essere risolti in tempi brevi, in un intervallo di tempo massimo possibilmente compreso tra 7-10 giorni. A tale scopo, si raccomanda l’acquisto di strumentazione di ricambio da tenere disponibile per eventuali sostituzioni. Tale materiale dovrebbe essere disponibile in numero di circa una unità completa ogni quattro, intendendosi per unità l’insieme della strumentazione (sismologica, elettronica, elettrica, etc.) necessaria per il funzionamento della stazione.
- g) Si raccomanda che siano attivate procedure idonee a determinare le curve di risposta strumentale, che includano sia i sensori sia gli acquisitori digitali, e a stimare l’orientazione dei sismometri posti in pozzo, di prevedere la verifica periodica della risposta strumentale complessiva, nonché di provvedere a tutti gli aggiornamenti in conseguenza a modifiche/sostituzioni degli apparati.

Ove non sia possibile raggiungere le prestazioni richieste ai punti precedenti, si consiglia l’installazione di sensori sismici anche in pozzi, eventualmente profondi, in modo da ridurre il più possibile la distanza dal dominio di rilevazione (ad esempio nel caso in cui risultino disponibili pozzi che possano essere attrezzati con la strumentazione di rilevazione sismica). In questi casi si suggerisce l’adozione di stringhe di sensori a corto o cortissimo periodo, con numero di sensori per stringa non inferiore a 4 e frequenza di campionamento più elevata di quanto indicato al precedente punto c).

In linea generale, potrà essere prevista l’installazione di sistemi di monitoraggio sismico con risoluzione crescente in magnitudo-localizzazione (ad esempio aumentando la densità delle stazioni) in funzione della pericolosità attesa di sismicità indotta, valutata in funzione dei volumi iniettati.

Si rimarca quanto già espresso nel Capitolo 3, cioè che le caratteristiche tecniche delle reti microsismiche, sotto specificate, debbano essere perseguite alla luce del principio di “valorizzazione dell’esistente” e quindi prevedere, a seguito di opportuna valutazione, un eventuale adeguamento della rete già attiva per ottenere le prestazioni richieste.

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



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

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

#### 5.4 Elaborazione e analisi dei dati

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

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

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

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

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 ottenuti dalla stratigrafia e dalla rete di monitoraggio; l'adozione di eventuali metodi di localizzazione assoluta ritenuti più accurati o completi; la calibrazione dell'intera procedura (es: attraverso la riduzione dei residui di stazione), al fine di migliorare l'accuratezza complessiva del sistema. A questo livello saranno determinate sia la magnitudo locale che la magnitudo momento. Per la stima della magnitudo momento sarà necessario determinare i parametri da utilizzare per la correzione degli effetti di attenuazione anelastica.

Da adottarsi entro la conclusione del terzo anno di monitoraggio.

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

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

M  
 H  
 H  
 P  
 L  
 P  
 P

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

Facoltativo, ma raccomandato, senza specifica di tempo.

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

Considerate le caratteristiche tecnologiche, la densità della rete e le metodologie di analisi dei dati suggerite in queste Lince 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 in entrambi i domini di rilevazione. Per questo motivo si propone che il sistema decisionale si basi sulle determinazioni di magnitudo, locale o momento, effettuate dalla singola rete dedicata.

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


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

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

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

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

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



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, in accordo a quanto già indicato nel paragrafo precedente. Nel caso si rilevi attività sismica che si discosti dal quadro ordinario, i rapporti saranno predisposti con la tempistica indicata al Capitolo 9.

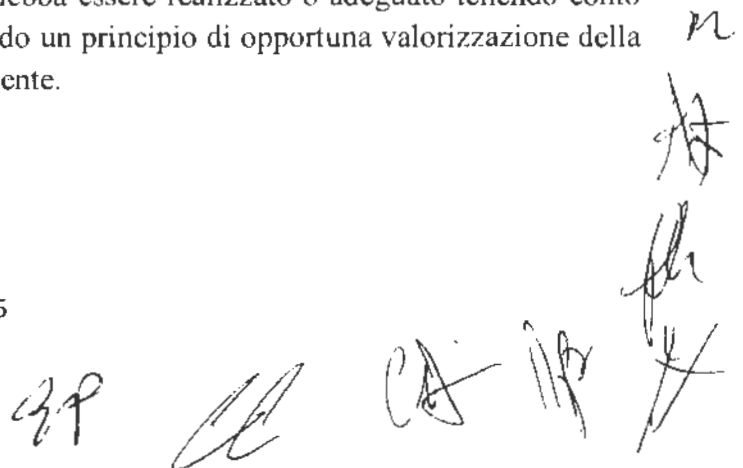
## 6. CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO

### 6.1 Generalità

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

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

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

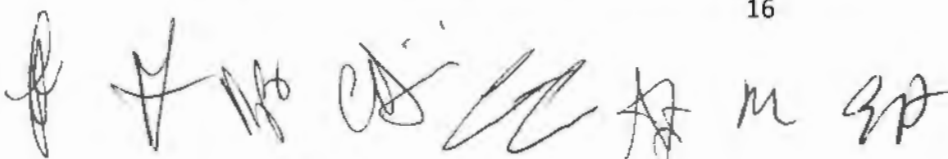
The bottom of the page contains several handwritten signatures and initials in black ink. From left to right, there are: a signature that appears to be 'CP', a signature that appears to be 'CD', a signature that appears to be 'CA', a signature that appears to be 'IP', and a signature that appears to be 'R'. There is also a small 'R' written above the 'IP' signature.



## 6.2 Caratteristiche tecniche del monitoraggio delle deformazioni del suolo

Si raccomanda che il monitoraggio riguardi la porzione superficiale dei domini di rilevazione (interno ed esteso) ed abbia le seguenti caratteristiche:

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





caratteristiche vanno adeguate o definite a valle del progetto della rete di monitoraggio delle deformazioni del suolo da parte della SPM (cfr. Capitolo 9). 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 monumentazione adatta a scopi geofisici (ad esempio UNAVCO). In particolare, si richiede che le stazioni abbiano interdistanze inferiori a 10-15 km e che una di esse sia co-locata con la stazione a banda larga della rete di monitoraggio sismico descritta nel Capitolo 5; si suggerisce, inoltre, di valutare la possibilità di installare dei clinometri biassiali in corrispondenza delle stazioni, per poter separare eventuali fenomeni di sito dal fenomeno di deformazione oggetto di studio. È infine necessario verificare l'accesso ai dati acquisiti da almeno altre 5 stazioni GPS in continuo già operanti da almeno due anni e poste a distanza inferiore a 200-300 km dal dominio interno di rilevazione.

- i dati raccolti dalle stazioni GPS vanno resi disponibili sia in formato RINEX, sia come risultato opportuno della loro elaborazione eseguita mediante l'utilizzo di software in uso presso la comunità scientifica (ad esempio software BERNESE). Per ogni stazione GPS devono essere fornite le serie temporali calcolate, su base giornaliera, per le tre componenti degli spostamenti rilevati lungo le direzioni N-S (latitudine), E-W (longitudine) e verticale, e i relativi ratei;
- la SPM (cfr. Capitolo 9) deve valutare l'opportunità di integrare le informazioni sulle deformazioni del suolo, ottenute attraverso le misure InSAR e GPS, con misure di livellazione geometrica di precisione. In tal caso la rete di livellazione, basata su una serie di capisaldi opportunamente spaziatati e posizionati (tipicamente materializzati su edifici, ponti, etc.), deve essere collegata ad una delle reti esistenti (possibilmente alla rete IGM) ed il suo utilizzo presuppone una buona conoscenza dell'estensione spaziale del campo deformativo superficiale. Le misure di livellazione vanno effettuate con una periodicità non superiore a 2-3 anni al massimo;
- i risultati complessivi delle rilevazioni delle deformazioni del suolo dovranno essere illustrati e analizzati in rapporti periodici, con cadenza indicativa da 3 a 12 mesi (consigliata 6 mesi). 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.

Handwritten signatures and initials at the bottom of the page, including "EP", "CA", and others.

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

## 7. CARATTERISTICHE DEL MONITORAGGIO DELLE PRESSIONI DI PORO

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

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

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

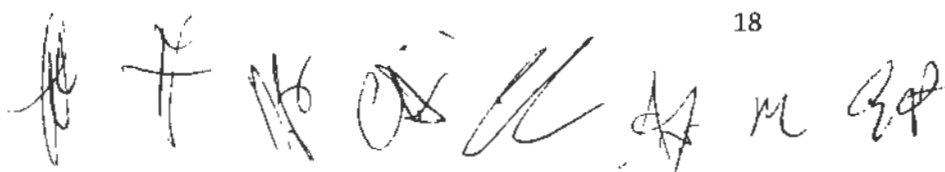
Per alcuni dei pozzi esistenti verranno utilizzati "*memory gauges*", temporaneamente posizionati al fondo pozzo per una registrazione in remoto della pressione ad intervalli predefiniti. Periodicamente verranno effettuate campagne di misurazione della pressione statica del campo.

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

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

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

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



## 8. PUBBLICAZIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO E DIVULGAZIONE DELLE INFORMAZIONI

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

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

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

### 8.1 Informazioni sulla concessione

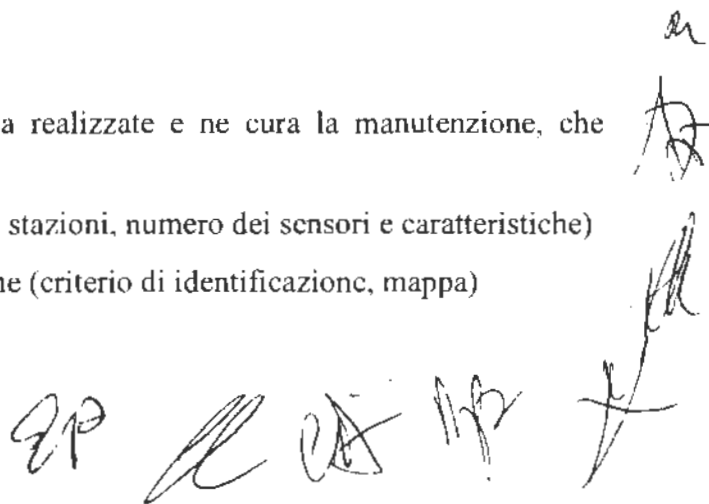
1. storia
2. caratteristiche del giacimento/sito di stoccaggio
3. descrizione sintetica del modello geomeccanico
4. dati di produzione mensili dall'inizio delle attività
5. FAQ

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

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

### 8.3 Dati generali sui monitoraggi

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

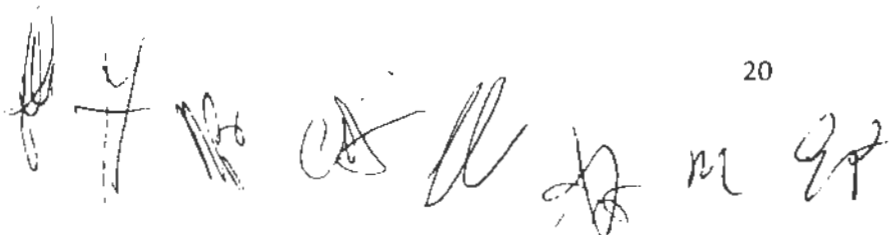
Handwritten signatures and initials in black ink, located at the bottom right of the page. There are several distinct marks, including what appears to be a signature 'EP' and other scribbles.

#### 8.4 Dati di monitoraggio sismico

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

#### 8.5 Dati di monitoraggio delle deformazioni del suolo

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



## 8.6 Dati di monitoraggio della pressione di poro

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

## 8.7 Documentazione

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

## 8.8 Formazione e accesso al sito

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

## 8.9 Link utili

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

The bottom of the page features several handwritten signatures and initials in black ink. From left to right, there is a signature that appears to be 'G.P.', followed by a cursive signature, then another signature that looks like 'C.S.', and finally a large, stylized signature on the far right that includes the letters 'M' and 'A'.

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

### 9.1 Progettazione, realizzazione e manutenzione delle reti di monitoraggio

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

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

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

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

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

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

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



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

- i limiti dei domini di rilevazione;
- i valori dei parametri per il quadro di riferimento e per le soglie del *semaforo* da adottare nell'ambito del modello decisionale specifico per ogni singola concessione (cfr. Capitoli 9.2 e 9.4);
- la procedura con cui sarà messa in atto la riduzione progressiva o la sospensione delle attività di produzione/reiniezione/stoccaggio nel caso di passaggio ai Livelli di attivazione 2 e 3, corrispondenti rispettivamente ai colori arancione e rosso;
- la procedura con cui sarà ripristinata l'attività, nel momento in cui i parametri monitorati siano tornati al di sotto dei valori corrispondenti ai Livelli di attivazione 1 e 0;
- eventuali ulteriori elementi utili all'interpretazione dei dati di monitoraggio.

Nella fase transitoria di cui al Capitolo 2, si ritiene opportuna l'istituzione, sotto il coordinamento del MiSE, di un Tavolo di Lavoro in cui i soggetti che svolgono il ruolo di SPM, insieme con rappresentanti del Ministero dell'ambiente e dei concessionari possano, con cadenza almeno semestrale:

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

## 9.2 Sistema di attivazione delle azioni da intraprendere

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

1. la variazione del numero e della frequenza degli eventi sismici, la loro magnitudo e distribuzione spaziale,
2. i valori di picco di accelerazione e di velocità del moto del suolo,
3. la variazione dei ratei di deformazione del suolo,
4. la variazione delle pressioni di poro.

I quattro livelli di intervento sono definiti nella Tabella 2.

<b>Livello di attivazione</b>	<b>Stato corrispondente</b>
0	Ordinarietà
1	Attenzione
2	Riduzione delle attività
3	Sospensione delle attività

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

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

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

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

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

### 9.3 Fasi di gestione delle attività

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



### **Fase 1 - Gestione ordinaria del monitoraggio**

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

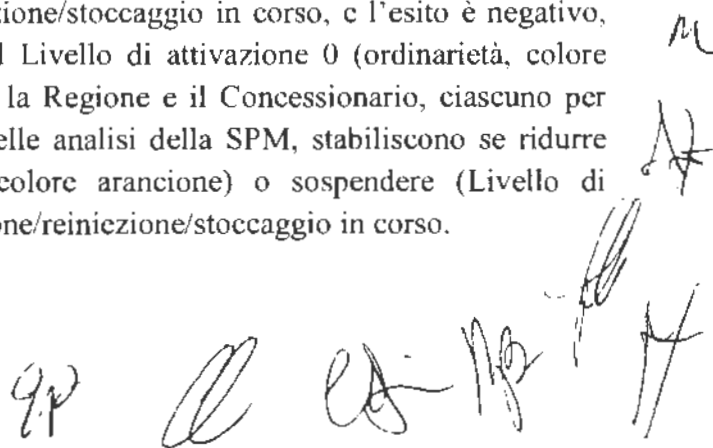
La SPM fornisce i dati acquisiti e le elaborazioni effettuate in regime ordinario al Concessionario, all'UNMIG e alla Regione in funzione delle scadenze previste ai Capitoli 5, 6 e 7, e pubblica i dati in internet come descritto nel Capitolo 8. Inoltre, rilascia all'UNMIG e alla Regione un rapporto periodico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

### **Fase 2 - Gestione ordinaria di variazioni nei parametri monitorati**

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

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

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

Handwritten signatures and initials in black ink, including 'G.P.', 'L.', 'E.A.', 'M.B.', and 'M.'.

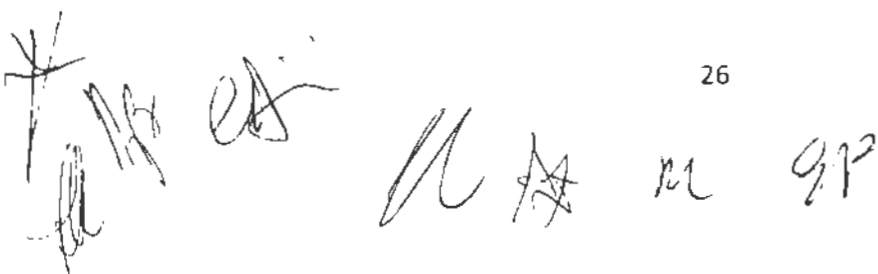
Qualora non sussistano le condizioni per effettuare in tempi utili le analisi di correlazione tra le variazioni dei parametri monitorati e le attività di coltivazione/stoccaggio in corso, l'UNMIG, la Regione e il Concessionario, sulla base delle analisi della SPM, valutano congiuntamente il quadro che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

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

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

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

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

The bottom of the page contains several handwritten signatures and initials in black ink. From left to right, there is a large signature that appears to be 'T. N. S.', followed by a smaller signature 'E.S.', and then a series of initials: 'M', 'A', 'M', and 'G.P.'.

### Fase 3 - Gestione straordinaria di variazioni nei parametri monitorati

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

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

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

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

Livello di attivazione	Azioni
	Per il quadro complessivo delle azioni da intraprendere vedere il testo - par. 9.3 -
0	La SPM fornisce i dati acquisiti e le elaborazioni effettuate in ordinario al Concessionario, all'UNMIG e alla Regione.
1	a) La SPM effettua un'analisi delle variazioni dei parametri monitorati verificandone, ove possibile, l'eventuale correlazione con i dati di produzione/reiniezione/stoccaggio b) La SPM informa immediatamente il Concessionario, l'UNMIG e la Regione c) Il Concessionario fornisce eventuali ulteriori dati sulla produzione, re-iniezione o stoccaggio d) Nel caso sia esclusa, ovvero riscontrata, una correlazione tra le variazioni dei parametri monitorati e i dati di produzione/reiniezione/stoccaggio, si attua, rispettivamente, il rientro al livello 0 di ordinarietà o UNMIG, Regione e il Concessionario, sulla base delle analisi della SPM, fanno una valutazione complessiva delle informazioni disponibili e stabiliscono se ridurre progressivamente (livello di attivazione 2) o sospendere (livello 3) le attività in corso. Nel caso non sia possibile verificare l'eventuale correlazione, UNMIG, Regione e il Concessionario, ciascuno per quanto di propria responsabilità e sulla base delle analisi della SPM, stabiliscono se permanere al livello 1 o passare al livello 2.
2	Restano validi i precedenti punti a-c). Inoltre: d) Il Concessionario riduce progressivamente l'attività e) UNMIG, Regione e il Concessionario, sulla base delle analisi della SPM, stabiliscono se sospendere (livello 3) le attività in corso. f) entro 10 giorni dalla riduzione SPM verifica se ci sono le condizioni per il rientro nell'ordinarietà (livello 0) o nel livello 1.
3	Restano validi i precedenti punti a-c). Inoltre: d) Il Concessionario sospende l'attività e) entro 10 giorni dalla sospensione SPM verifica se ci sono le condizioni per il rientro nell'ordinarietà (livello 0) o nei livelli 1 o 2.

#### 9.4 Sistema sperimentale a semaforo

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

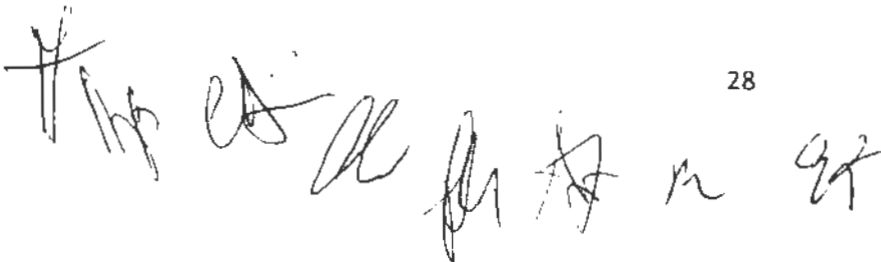
Per le attività di reiniezione dei fluidi nel sottosuolo, il sistema a semaforo sarà applicato ai parametri monitorati nel Dominio interno di rilevazione (DI), relativo ai pozzi di reiniezione, come definiti nel Capitolo 5.

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

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

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

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



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

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

Affinché si passi da un livello all'altro del semaforo è sufficiente che uno dei parametri elencati in Tabella 4 (misurato nel dominio interno di rilevazione DI) superi le soglie indicate. Tuttavia, come detto in precedenza, si può passare da un corrispondente livello di attivazione all'altro anche sulla base della valutazione complessiva delle variazioni osservate nei domini di rilevazione (es. numerosità degli eventi e aumento della loro frequenza).

In caso di impossibilità a stabilire la suddetta correlazione o di assenza di correlazione, pur perdurando valori dei parametri di monitoraggio al di sopra delle soglie, la SPM informa il Concessionario, l'UNMIG e la Regione che valuteranno la possibilità di sospendere/continuare l'attività e intraprendere misure aggiuntive per monitorare l'evoluzione del fenomeno.

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

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

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

## 10. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

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

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

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

- alla peculiarità del territorio italiano rispetto a quello di altri paesi; l’Italia è probabilmente uno dei pochi paesi ad avere una esposizione media/elevata ai terremoti su quasi tutto il proprio territorio;
- alle limitate conoscenze scientifiche a supporto del riconoscimento chiaro e univoco della sismicità indotta dalla cosiddetta sismicità innescata o eventualmente naturale;
- alla mancanza di metodologie consolidate e diffuse di analisi, statistiche o fisiche, che permettano di correlare la sismicità rilevata alle attività produttive entro il tempo massimo di uno/due giorni, necessario per prendere delle decisioni.

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



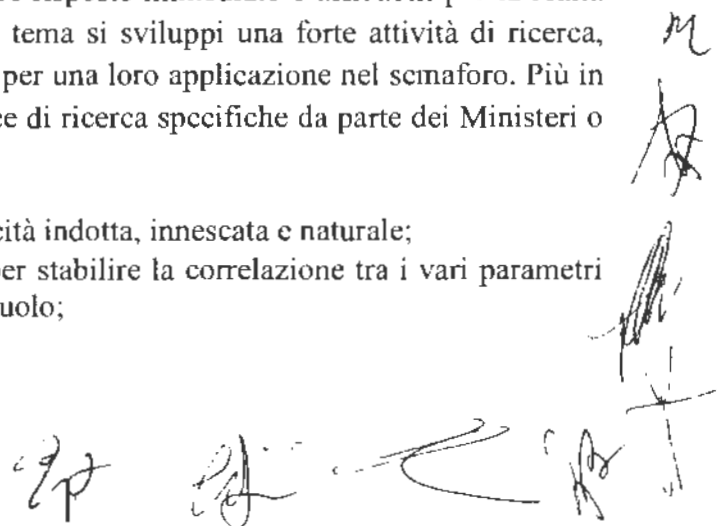


Un altro punto affrontato è stato quello della definizione delle aree su cui effettuare il monitoraggio e di come attuare procedure decisionali efficaci. Soprattutto per il monitoraggio sismico, è stato necessario considerare e sintetizzare, in un impianto formale semplice e applicabile, le esperienze derivate da differenti attività produttive. Alla fine, il principio unificante è stato individuato nella definizione di due volumi, chiamati rispettivamente “domino interno di rilevazione” e “domino esteso di rilevazione”, in base alle posizioni dei pozzi e all’estensione del giacimento o del serbatoio di stoccaggio. Il domino interno di rilevazione del monitoraggio sismico circoscrive i punti (pozzi) o la zona sorgente (giacimento) delle attività con un raggio limitato ma sufficientemente ampio da includere i fenomeni di sismicità indotta. Per il dominio interno 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.

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

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

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



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

Roma, 24 novembre 2014

Ing. Gilberto Dialuce

Dott. Claudio Chiarabba

Dott.ssa Daniela Di Bucci

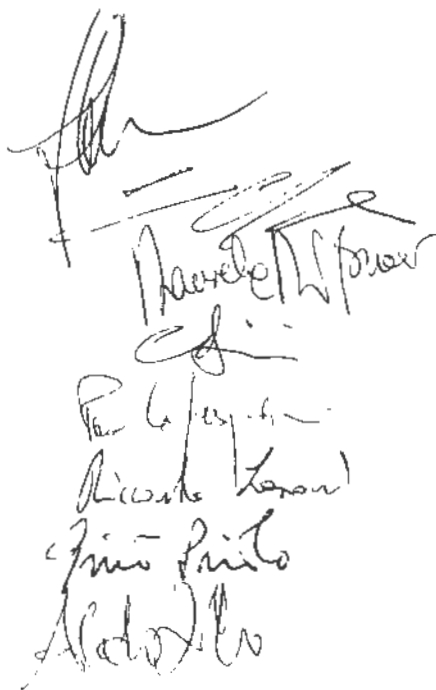
Prof. Carlo Doglioni

Prof. Paolo Gasparini

Ing. Riccardo Lanari

Dott. Enrico Priolo

Prof. Aldo Zollo



Handwritten signatures corresponding to the list of names on the left. From top to bottom, the signatures are: a stylized signature for Gilberto Dialuce; a signature for Claudio Chiarabba; a signature for Daniela Di Bucci; a signature for Carlo Doglioni; a signature for Paolo Gasparini; a signature for Riccardo Lanari; a signature for Enrico Priolo; and a signature for Aldo Zollo.



## GLOSSARIO

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

GP                        

eterogenee che influiscono sui volumi in gioco e sul movimento dei fluidi.

8. **Interferometria SAR differenziale (DInSAR o più semplicemente InSAR):** tecnica per la stima delle deformazioni del suolo con accuratezza dell'ordine di frazioni della lunghezza d'onda del segnale radar trasmesso nella banda delle microonde.
9. **Magnitudo Locale:** la magnitudo locale ( $M_L$ ) o magnitudo Richter, è stata introdotta da Richter (1935). La definizione originale della magnitudo locale è basata sulla misura dell'ampiezza di un sismogramma registrato da un sismografo standard chiamato Wood-Anderson:

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

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

10. **Magnitudo Momento ( $M_w$ ):** la magnitudo momento ( $M_w$ ) è stata introdotta da Kanamori (1977) e Hanks e Kanamori (1979) per misurare la grandezza di un terremoto in termini di rilascio di energia. Si basa su di un parametro di sorgente, il momento sismico scalare ( $M_0$ ), che esprime il momento di una delle due coppie di forze che generano la dislocazione all'origine del terremoto e che risulta uguale al prodotto tra la rigidità delle rocce ( $\mu$ ) nella zona sorgente, la dislocazione finale media sulla superficie di frattura ( $D$ ), e la dimensione dell'area di faglia ( $\Sigma$ ):

$$M_0 = \mu D \Sigma$$

La scala di magnitudo-momento è pertanto definita in termini della magnitudo  $M_w$  che si ottiene dal momento sismico attraverso la relazione:

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 6.1$$

in cui  $M_0$  è espresso in Nm. Questa scala di magnitudo, pur essendo calibrata sulla  $M_S$  (magnitudo dalle onde di superficie), gode della importante proprietà che non satura al crescere della magnitudo.

11. **Meccanismo focale:** il meccanismo focale di un terremoto descrive la deformazione nella regione sorgente da cui sono irradiate le onde sismiche. Nel caso di un evento sismico prodotto dalla frattura lungo una superficie di faglia, il meccanismo focale fornisce l'informazione sull'orientazione nello spazio del piano di faglia e del vettore di dislocazione ed è anche conosciuto come "soluzione del piano di faglia". Per descrivere l'orientazione di tale piano in un sistema di coordinate geografiche sono necessari due angoli, l'orientazione (o *strike*) e la pendenza (o *dip*). La direzione di dislocazione è invece specificata mediante una di due quantità alternative che descrivono la direzione media di dislocazione (*rake* o *plunge*).
12. **Memory Gauge:** tipo di misuratore /manometro elettronico di pressione che campiona e registra la pressione a fondo pozzo, raccogliendo i dati e rendendoli adatti al download su

apparecchi di acquisizione quando lo strumento montato viene ritirato in superficie. I memory gauges sono generalmente utilizzati per misurare la pressione e la temperatura a fondo pozzo in risposta alla variazione dei tassi di produzione nei test di verifica di produttività del pozzo e delle performance del reservoir.

13. **Pore pressure:** si intende la pressione dell'acqua all'interno dei pori di un mezzo saturato e si indica con la lettera (P). Quando è presente il fluido all'interno delle rocce, la forza effettiva  $\sigma_n$  è ridotta da una quantità equivalente alla pressione di poro, e lo stress di taglio ( $\tau$ ) richiesto per causare scivolamento è ridotto secondo la seguente legge:

$$(1) \tau_{crit} = \mu (\sigma_n - P)$$

Questa riduzione nella forza effettiva sulla faglia crostale è il meccanismo essenziale della sismicità indotta. Per uno stato di stress tettonico costante, la forza effettiva sulla faglia crostale può essere ridotta al di sotto della soglia critica da un aumento della pressione di fluido contenuta all'interno delle rocce, che porta all'improvviso scivolamento e all'avvenimento di un terremoto.

14. **Sistema di acquisizione/trasmissione dei dati in tempo "quasi reale":** si intende il tipo di acquisizione e trasmissione attraverso cui il dato, una volta raccolto dallo strumento di acquisizione (stazione sismologica), è inviato immediatamente al sistema di elaborazione e archiviazione attraverso pacchetti di dati a lunghezza finita. Nel tempo quasi-reale il sistema rilascia l'informazione con una cadenza temporale non rigorosamente definita e rispettata, così come accade per i sistemi in tempo-reale. Nei sistemi a tempo quasi-reale il ritardo con cui viene rilasciata l'informazione è in genere dell'ordine di frazioni di secondo per il sistema di acquisizione e dell'ordine di decine di secondi fino a pochi minuti per il sistema di elaborazione e localizzazione ed eventuale segnalazione.
15. **Sismicità indotta:** sismicità generata da variazioni del campo di stress attribuibili ad attività antropiche (McGarr et al., 2002) o a fenomeni naturali non legati alla deformazione tettonica della crosta terrestre (es: precipitazioni atmosferiche).
16. **Sismicità innescata:** Per sismicità innescata s'intende un'attività naturale la cui nucleazione è stata anticipata da attività antropiche e in particolare dalla sismicità indotta. Le attività antropiche sono responsabili solo di una minima frazione delle variazioni del campo di stress che genera la sismicità, mentre il ruolo principale è svolto dal campo di stress pre-esistente dovuto alla tettonica.
17. **Sismicità naturale:** sismicità prodotta da variazioni del campo di sforzo dovuto alla deformazione tettonica della crosta terrestre.
18. **Synthetic Aperture Radar (SAR):** modalità di acquisizione da parte di sistemi radar coerenti in grado di consentire la generazione, a seguito di opportuna elaborazione dei dati acquisiti, di immagini a microonde con elevate risoluzioni spaziali (metro/decina di metri).
19. **Rilascio di sforzo (o stress-drop):** il rilascio di sforzo è la differenza tra lo sforzo iniziale e finale lungo la superficie di faglia, dopo l'occorrenza di un episodio di frattura che dà luogo ad un terremoto. Esso è un parametro fisico generalmente variabile sulla superficie di faglia, ma viene solitamente indicato e misurato il suo valore medio. Il rilascio di sforzo si distingue in *statico (static stress drop)*, differenza tra lo sforzo iniziale ed il livello di attrito

M  
A

statico a frattura avvenuta, o *dinamico (dynamic stress drop)*, differenza tra lo sforzo iniziale ed il livello di attrito dinamico durante l'evoluzione della frattura.

20. **UNMIG:** Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse, della Direzione generale delle Risorse Minerarie ed Energetiche (DGRME) – Ministero dello sviluppo economico – Ufficio tecnico, articolato sul territorio, con compiti di gestione tecnico-amministrativa delle attività di prospezione, ricerca, coltivazione e stoccaggio di idrocarburi, vigilanza e controllo sugli impianti, prevenzione infortuni, sicurezza e salute dei lavoratori sia in terraferma che in mare.
21. **Surface Readout (SRO):** termine generico che indica una Lettura superficiale (Surface) tramite invio di una informazione trasformata in forma leggibile (read out). Nel caso specifico indica la lettura superficiale dei dati di fondo pozzo in superficie per mezzo di una linea elettrica.
22. **SPM - Struttura Preposta al Monitoraggio:** soggetto tecnico-scientifico, costituito una o più Università o Enti di ricerca di comprovate competenze in materia, eventualmente in consorzio tra loro, o anche con strutture private, competente in materia di progettazione e gestione di reti di monitoraggio, raccolta e analisi dei dati, cui vengono conferiti dall'Amministrazione competente compiti di raccolta e analisi dei dati di monitoraggio e di supporto all'Amministrazione nelle valutazioni conseguenti. La SPM può inoltre effettuare la progettazione e la realizzazione delle reti.

## APPENDICE A

### Raccomandazioni rapporto ICHESE (p. 196):

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

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

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

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

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

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

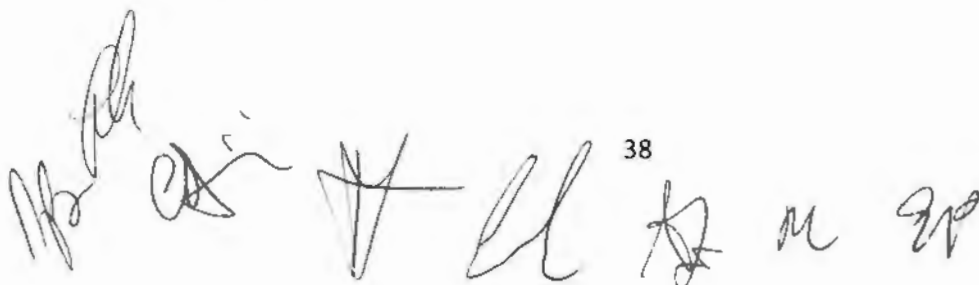
*È necessario che i dati rilevanti per il conseguimento di quanto sin qui indicato e in possesso delle compagnie siano da esse messi a disposizione degli enti responsabili per il controllo.*

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

*Handwritten signatures and initials at the bottom of the page, including a large 'm' in the upper right corner.*

## BIBLIOGRAFIA

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

 38