



Progetto di sviluppo concessione "Colle Santo"

Piano di Monitoraggio della sismicità, movimenti
del suolo e delle pressioni di poro, conforme alle
Linee Guida MiSE 2014 e al Piano di Monitoraggio
Acea/MIT del 2010

Aprile 2022

1 Sommario

1	Sommario.....	2
2	Introduzione	3
3	Monitoraggio sismico	4
3.1	<i>Requisiti e obiettivi della rete di monitoraggio</i>	<i>4</i>
3.2	<i>Definizione dei volumi interessati dal monitoraggio sismico.</i>	<i>4</i>
3.3	<i>Rete ACEA ESTESA.....</i>	<i>6</i>
3.4	<i>Rete ACEA OTTIMIZZATA.....</i>	<i>9</i>
3.5	<i>Strumentazione.....</i>	<i>12</i>
3.6	<i>Trasmissione dati e Reportistica.....</i>	<i>13</i>
3.7	<i>Monitoraggio dinamico della diga</i>	<i>13</i>
4	Monitoraggio delle deformazioni del suolo	14
4.1	<i>Monitoraggio con stazioni GPS</i>	<i>14</i>
4.2	<i>Monitoraggio con assestimetro profondo.....</i>	<i>15</i>
4.3	<i>Monitoraggio con interferometria satellitare SAR.....</i>	<i>16</i>
4.4	<i>Monitoraggio con interferometria Ground Based SAR.....</i>	<i>17</i>
5	Monitoraggio delle pressioni di poro	19

2 Introduzione

Il presente Piano di Monitoraggio della sismicità, movimenti del suolo e delle pressioni di poro è parte integrante dell'istanza ai sensi dell'art. 20, d.lgs. n. 152/2006 presentata da CMI Energia s.r.l. in relazione al giacimento "Colle Santo", in Comune di Bomba (CH).

CMI Energia ritiene che le residue incertezze circa la depressurizzazione del giacimento, la subsidenza e gli effetti sulla sismicità dell'area possano essere risolte esclusivamente attraverso una estensiva attività di monitoraggio da effettuarsi prima e durante la produzione del giacimento.

Il Piano di Monitoraggio, conforme agli *"Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche"* (Linee Guida nel seguito), dovrà essere validato dalla Struttura Preposta al Monitoraggio, che sarà individuata dal Ministero per la Transizione Ecologica di intesa con la Regione Abruzzo nel prosieguo del procedimento di conferimento della concessione di coltivazione.

Il presente Piano di Monitoraggio LG si configura come una estensione del Piano di monitoraggio della diga di Bomba predisposto da Acea Elecrabel Produzione SpA ad Ottobre 2010, per il monitoraggio della diga a seguito dell'avvio della produzione del giacimento Colle Santo.

Il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti – Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche ha emanato a Dicembre 2010 il proprio nulla osta al rilascio della concessione di coltivazione Colle Santo, con la prescrizione di implementare il Piano di Monitoraggio Acea. Tale prescrizione è stata confermata dal parere CIRM di luglio 2011.

Il Piano di Monitoraggio, conforme alle Linee Guida e al Piano di monitoraggio della diga di Bomba, **sarà messo in esercizio sei mesi prima dell'avvio della produzione del giacimento Colle Santo**, al fine di avere una congrua lettera di bianco e la conferma dell'affidabilità del sistema.

Si allega il seguente rapporto specialistico, a cui si rimanda per dettagli ed approfondimenti

Isamgeo (2019): Concessione di coltivazione Colle Santo (CH) - Valutazione e Progettazione della rete di monitoraggio microsismico

3 Monitoraggio sismico

Si riassumono di seguito i principali elementi dei lavori condotti dalle società specialistiche Isamgeo e Dream per la predisposizione di una rete di monitoraggio sismico nell'area della concessione Colle Santo. Si rimanda alla relazione per una più approfondita descrizione delle analisi e dei metodi.

La rete di monitoraggio sismico predisposta si configura come una estensione della rete monitoraggio sismico già prevista nel piano di monitoraggio predisposto da da Acea Elecrabel Produzione SpA ad Ottobre 2010 per il monitoraggio della diga di Bomba a seguito dell'avvio della produzione del giacimento Colle Santo.

Il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti – Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche, ha emanato a Dicembre 2010 il proprio nulla osta al rilascio della concessione di coltivazione Colle Santo, con la prescrizione di implementare il Piano di Monitoraggio Acea.

3.1 Requisiti e obiettivi della rete di monitoraggio

Gli obiettivi generali di una rete di monitoraggio microsismico, seguendo le definizioni e requisiti stabiliti nelle Linee Guida MiSE, 2014.

- Nel **Dominio Interno**:
 - Rilevare eventi sismici con Magnitudo Locale compresa fra 0 ed 1
 - Localizzare gli eventi con incertezza inferiore ad alcune centinaia di metri
- Nel **Dominio Esteso**:
 - Migliorare di 1 unità la magnitudo di completezza dalla Rete Sismica Nazionale (RSN)
 - Incertezza massima di localizzazione dell'ipocentro di circa 1km

Si dovrà inoltre valutare la possibilità di integrare i dati della rete locale con quelli della Rete Sismica Nazionale.

In accordo con le Linee guida MiSE le stazioni sismiche devono essere equipaggiate con sensori multicomponenti a 1Hz e, laddove necessario, alimentate da pannelli fotovoltaici e relative batterie tampone.

L'utilizzo di una stazione a banda larga (frequenza > 20-40 sec) è raccomandata nella Linee Guida, per integrazione con la RSN. L'utilizzo di velocimetri e/o di accelerometri deve essere considerato sulla base delle situazioni locali. L'acquisizione deve essere in modalità continua ed un protocollo standard stabilito ed applicato per il recupero remoto, lo stoccaggio in sicurezza di tutti i dati registrati, l'elaborazione dei dati ed il reporting.

3.2 Definizione dei volumi interessati dal monitoraggio sismico.

Le indicazioni contenute nel capitolo 5 del Linee Guida suggeriscono che è necessario definire preventivamente i volumi interessati dal monitoraggio sismico intorno al giacimento. In particolare, si definisce un **Dominio interno di rilevazione (DI)** che rappresenta il volume intorno al giacimento all'interno del quale possono verificarsi fenomeni di sismicità indotta o di deformazione del suolo associati all'attività svolta. Esso rappresenta perciò il volume di riferimento in cui devono essere monitorati e analizzati con la

massima sensibilità i fenomeni di sismicità (Linee Guida). Il Dominio interno di rilevazione si estende dalla zona mineralizzata (giacimento), così come ricostruita dallo studio geologico preliminare, fino alla superficie terrestre e si definisce una ulteriore fascia che si estende ai lati e al di sotto del giacimento fino ad una distanza variabile in funzione della tipologia di attività antropica:

- estrazione di olio/gas – 3 km
- estrazione di olio/gas con re-iniezione di fluidi – 5 km
- stoccaggio di gas naturale – 2-3 km
- re-iniezione di fluidi all'esterno del giacimento – 8 km

Sulla base di tali indicazioni è stata pertanto selezionata per il giacimento di Colle Santo una fascia di estensione del DI pari a 3 km (estrazione di olio/gas da giacimenti senza re- iniezione di fluidi). Si definisce inoltre un **Dominio esteso di rilevazione (DE)** che rappresenta il volume circostante il dominio interno di rilevazione e che comprende una porzione maggiore di crosta terrestre, al fine di definire e contestualizzare al meglio i fenomeni monitorati. Per tutte le attività legate all'estrazione di idrocarburi si suggerisce che tale volume 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 della tipologia di attività (Linee Guida). Considerate le dimensioni del giacimento di Colle Santo si è ritenuto opportuno considerare una fascia di dimensione pari a 5 km per la definizione del Dominio esteso di rilevazione. Nel caso specifico del giacimento di Colle Santo il Dominio interno (DI) di rilevazione ha dimensioni areali pari a circa 93 km² e verticalmente si estende dalla superficie fino a 4 km di profondità, mentre il volume del Dominio esteso (DE) ha dimensioni areali pari a circa 340 km² e verticalmente si estende dalla superficie fino a 9 km di profondità.

Nelle figure seguenti vengono rappresentate le dimensioni areale e verticale dei domini DI e DE per il giacimento di Colle Santo.

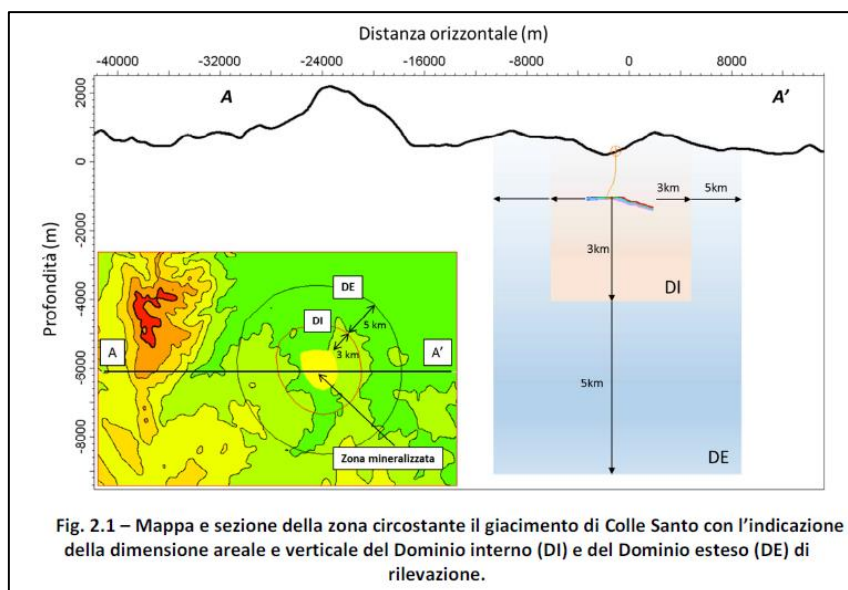


Fig. 2.1 – Mappa e sezione della zona circostante il giacimento di Colle Santo con l'indicazione della dimensione areale e verticale del Dominio interno (DI) e del Dominio esteso (DE) di rilevazione.

Figura 1 – Immagine da studio Dream (2017) Predisposizione di una rete di monitoraggio microsismico nell'area del giacimento di Colle Santo

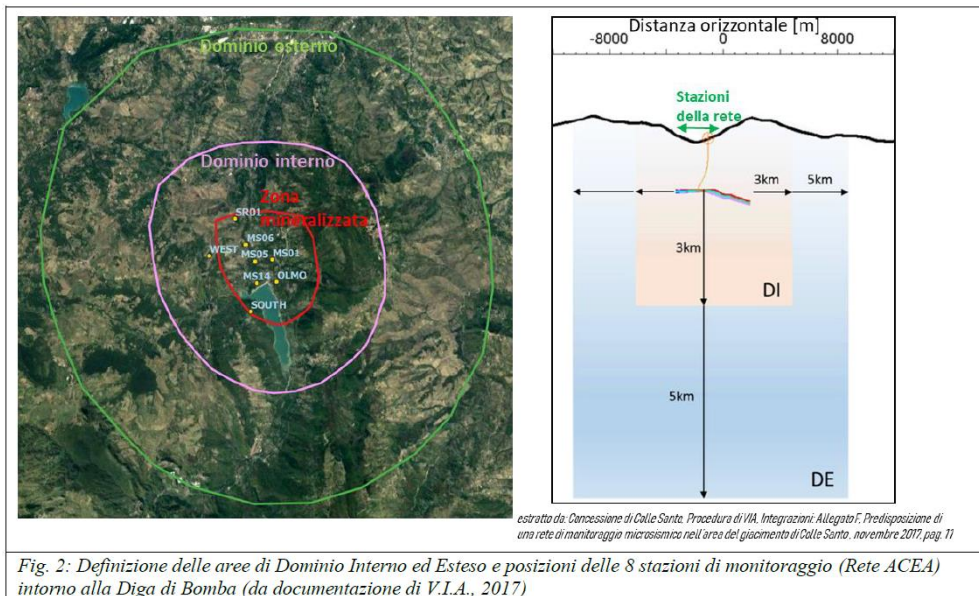


Figura 2 – Immagine da studio Isamgeo (2019) Concessione di coltivazione Colle Santo (CH) - Valutazione e Progettazione della rete di monitoraggio microsismico

3.3 Rete ACEA ESTESA.

Al fine di soddisfare i requisiti prestazionali richiesti dalle Linee Guida è risultato necessario aggiungere 3 stazioni sismiche a quelle già previste nel piano Acea (2010), ubicate in posizione azimutale tale da ottimizzare la capacità di rilevazione e localizzazione di eventi sismici nel Dominio Interno e nel Dominio Esteso.

In aggiunta alle stazioni della rete ACEA si sono aggiunte 3 stazioni (DE1, DE2, DE3), collocate con una geometria triangolare in zona esterna al perimetro del Dominio Interno.

La soluzione denominata Rete ACEA ESTESA, composta dalle 8 Stazioni ACEA con l'aggiunta di 3 Stazioni aggiuntive opportunamente posizionate, fornisce eccellenti risultati di simulazione, con soglie di detezione e localizzazione teoriche negative in prossimità della zona della Diga e con incertezze di localizzazione attese ridotte a qualche centinaio di metri nel Dominio Interno e ben inferiori al km in quello Esteso.

Si riportano di seguito alcune immagini significative contenute nello studio redatto da Isamgeo (2019) - Concessione di coltivazione Colle Santo (CH) - Valutazione e Progettazione della rete di monitoraggio microsismico - a cui si rimanda per approfondimenti.

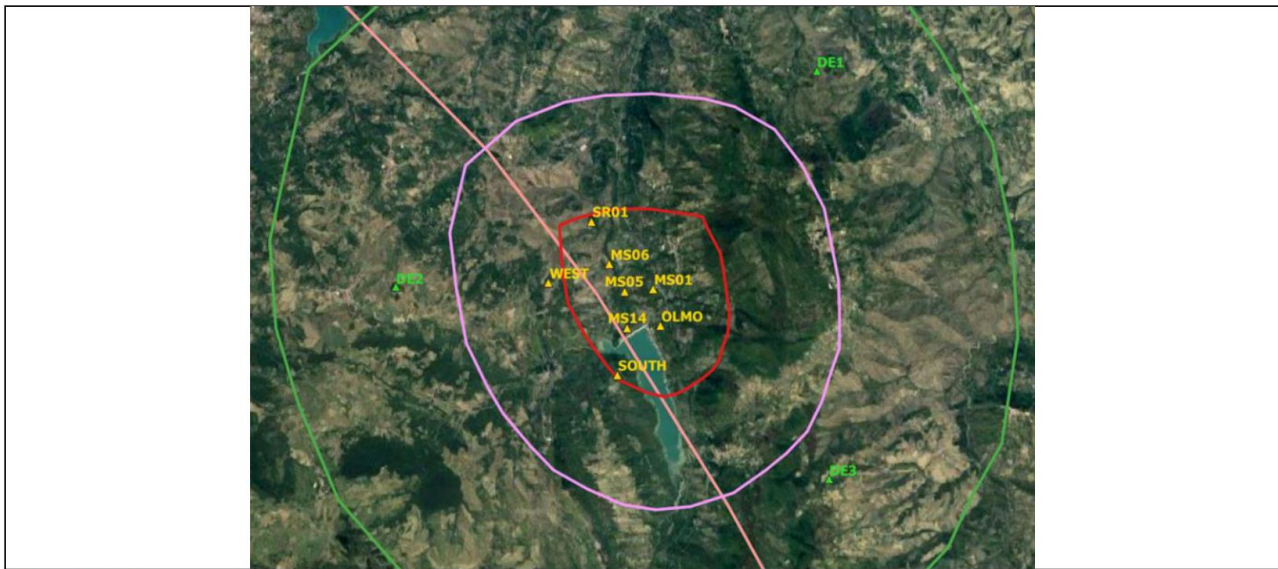


Fig. 14: Geometria di monitoraggio Rete ACEA ESTESA a 11 stazioni.

STAZIONI RETE ACEA

Stazione	Coordinate Gauss Boaga Fuso Est (EPSG:3004)		Coordinate geografiche (WGS84)		Quota [m slm]
	Easting [m]	Northing [m]	Longitudine	Latitudine	
SR01	2465293	4654736	14.339023	42.042027	261
MS06	2465781	4653584	14.345027	42.031686	185
WEST	2464138	4653082	14.325226	42.027052	460
MS05	2466180	4652852	14.349914	42.025117	201
MS01	2466952	4652914	14.359237	42.025729	322
OLMO	2467149	4651925	14.361707	42.016832	309
MS14	2466264	4651870	14.351015	42.016278	203
SOUTH	2465985	4650605	14.347760	42.004869	448

RETE MICROSISMICA INTEGRATA – STAZIONI ADDIZIONALI

Stazione	Coordinate Gauss Boaga Fuso Est (EPSG:3004)		Coordinate geografiche (WGS84)		Quota [m slm]
	Easting [m]	Northing [m]	Longitudine	Latitudine	
DE1	2471365	4658794	14.41205	42.07897	384
DE2	2460038	4652971	14.27572	42.02575	809
DE3	2471695	4647809	14.41694	41.98006	668

Tabella 1: Coordinate ed elevazioni della Rete di monitoraggio ACEA ESTESA.

Vengono di seguito riportate le verifiche delle soglie di localizzazione, sia nello scenario a rumorosità media che a rumorosità alta, a diverse profondità

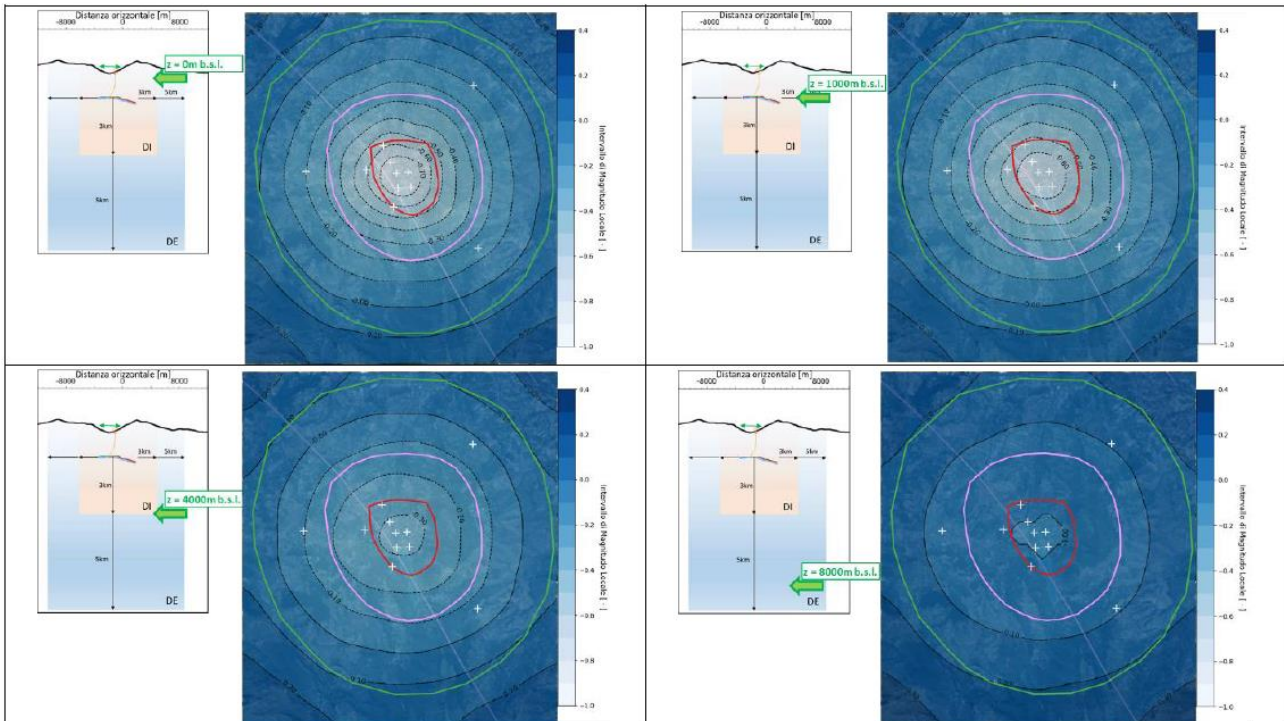


Fig. 15: Soglie teoriche di localizzazione su Rete ACEA ESTESA, per scenario di rumore "medio" a diverse profondità. Le croci bianche mostrano le posizioni della rete microsismica ACEA. Le linee tratteggiate indicano aree in cui la magnitudo minima identificabile è NEGATIVA.

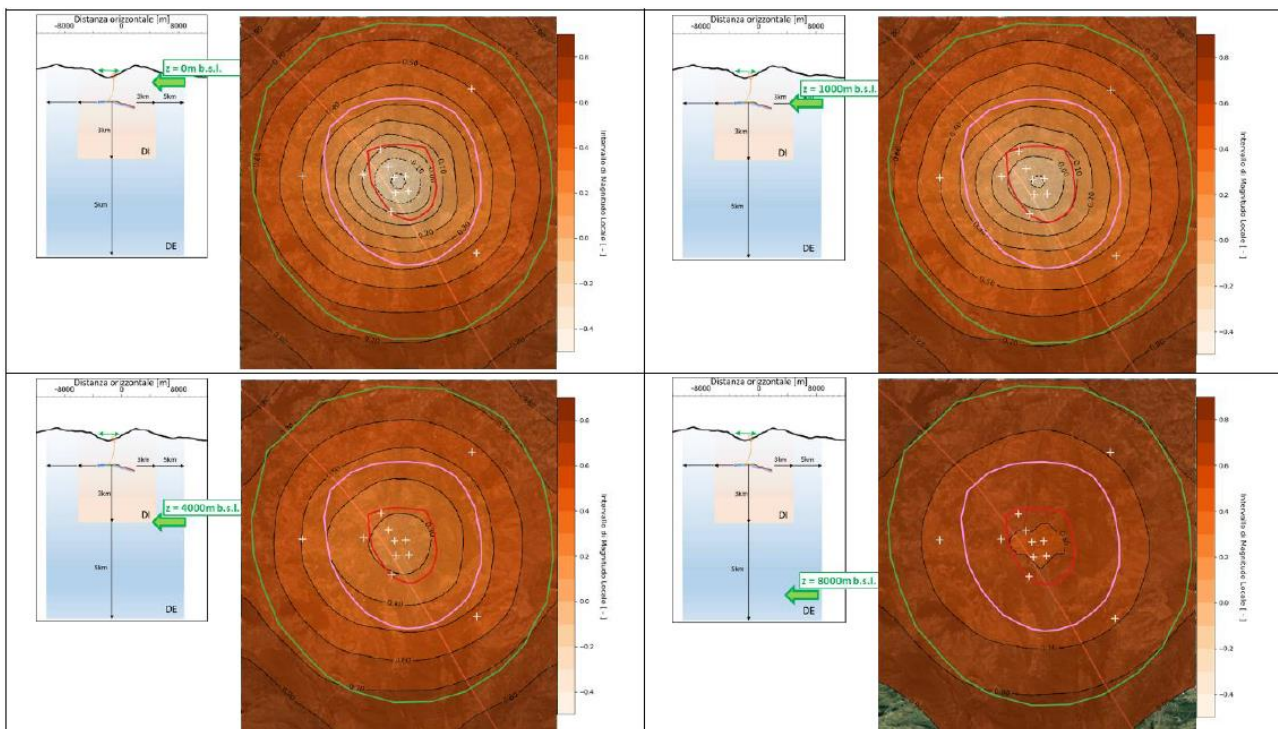


Fig. 16: Soglie teoriche di localizzazione su Rete ACEA ESTESA, per scenario di rumore “rumoroso” a diverse profondità. Le croci bianche mostrano le posizioni della rete microsismica ACEA. Le linee tratteggiate indicano aree in cui la magnitudo minima identificabile è NEGATIVA.

La performance della rete ACEA ESTESA è eccellente come soglie di localizzazione teoriche per tutte le profondità considerate e quindi all’interno dei Domini Interno ed Esteso.

Inoltre, la incertezza di localizzazione risulta grandemente diminuita, con errori attesi, per eventi posizionati a 3km di profondità, di 400-500 nel Dominio Interno e comunque inferiori al km nel Dominio Esteso, in totale coerenza con quanto suggerito nelle Linee Guida Mise.

Un’analisi addizionale per eventi localizzati a livello del mare, in corrispondenza dunque di una profondità di circa 200m dalla base dell’invaso della Diga di Bomba, evidenzia delle incertezze di rilocalizzazione orizzontale nell’ordine di 100m-200m in prossimità della Diga. Tale risultato è coerente con la spaziatura delle stazioni in superficie, che è variabile da circa 750m a 1750m circa.

3.4 Rete ACEA OTTIMIZZATA

Si è valutata l’ottimizzazione della geometria precedente, essenzialmente tramite l’esclusione di due stazioni Acea ritenute ridondanti ai fini del monitoraggio. Si è dunque riconosciuto il migliore compromesso tramite l’utilizzo di 3 stazioni microsismiche, da associare a 6 stazioni convenzionali già predefinite sulle localizzazioni dalla rete ACEA.

Si sono valutate differenti opzioni e si è mantenuta la soluzione seguente:

- Mantenimento delle tre stazioni a triangolo DE1, DE2 e DE3, che assicurano un’ottima copertura azimutale per il monitoraggio del giacimento, come verificato precedentemente.

- Mantenimento delle 4 stazioni MS01, MS05, MS14 e OLMO in prossimità della diga, per assicurare il monitoraggio in prossimità del corpo principale.
- Mantenimento delle Stazioni SR01 e SOUTH, che assicurano la copertura azimutale su direzioni non completamente coperte dalla rete di 3 stazioni a triangolo di cui sopra
- Esclusione delle stazioni MS06 e WEST, perché allineate sulle stesse direttrici azimutali di altre stazioni e quindi considerate come ridondanti

Ne risulta una rete con 9 stazioni, come illustrato in Fig. 19, che chiamiamo Rete ACEA OTTIMIZZATA.

Il risultato delle varie simulazioni sulla Rete ACEA OTTIMIZZATA è ancora una volta eccellente come soglie di localizzazione teoriche che, per lo scenario di rumore “medio”, risultano negative o prossime allo 0 per tutte le profondità considerate e all’interno dei Domini Interno ed Esteso. Per lo scenario di rumore “rumoroso”, si denotano valori pienamente congruenti con le raccomandazioni delle Linee Guida MISE, con soglie di localizzazione sul perimetro del Dominio Esteso di $ML = 0,8$, mentre nella zona della diga i valori si attestano vicino allo 0 o negativi.

I test sulle incertezze di localizzazione sono molto soddisfacenti e simili a quelli ottenuti con la Rete ESTESA, con errori attesi, per eventi posizionati a 3km di profondità, di 400-500 nel Dominio Interno e comunque ben inferiori al km nel Dominio Esteso, in totale coerenza con quanto suggerito nelle Linee Guida MISE. Un’analisi addizionale per eventi localizzati a livello del mare, in corrispondenza dunque della base dell’invaso della Diga di Bomba, evidenzia ancora delle incertezze di rilocalizzazione nell’ordine di 100m-200m in prossimità della Diga.

Qui di seguito si presenta una Tabella con le posizioni geografiche della Rete di monitoraggio ACEA OTTIMIZZATA.

STAZIONI RETE ACEA					
Stazione	Coordinate Gauss Boaga Fuso Est (EPSG:3004)		Coordinate geografiche (WGS84)		Quota [m slm]
	Easting [m]	Northing [m]	Longitudine	Latitudine	
SR01	2465293	4654736	14.339023	42.042027	261
MS05	2466180	4652852	14.349914	42.025117	201
MS01	2466952	4652914	14.359237	42.025729	322
OLMO	2467149	4651925	14.361707	42.016832	309
MS14	2466264	4651870	14.351015	42.016278	203
SOUTH	2465985	4650605	14.347760	42.004869	448

RETE MICROSISMICA INTEGRATA – STAZIONI ADDIZIONALI					
Stazione	Coordinate Gauss Boaga Fuso Est (EPSG:3004)		Coordinate geografiche (WGS84)		Quota [m slm]
	Easting [m]	Northing [m]	Longitudine	Latitudine	
DE1	2471365	4658794	14.41205	42.07897	384
DE2	2460038	4652971	14.27572	42.02575	809
DE3	2471695	4647809	14.41694	41.98006	668

Tabella 2: Coordinate ed elevazioni della Rete di monitoraggio ACEA OTTIMIZZATA.

I risultati delle varie simulazioni hanno confermato che tale Rete ACEA OTTIMIZZATA risponde pienamente alle esigenze di monitoraggio microsismico della Diga ed al tempo stesso del giacimento, fornendo risultati di modellizzazione sostanzialmente analoghi a quelli della Rete ESTESA.

Sulla base di questo studio, si suggerisce dunque di mantenere lo scenario di Rete ACEA OTTIMIZZATA come scenario geometrico di riferimento per il monitoraggio microsismico della zona in esame.

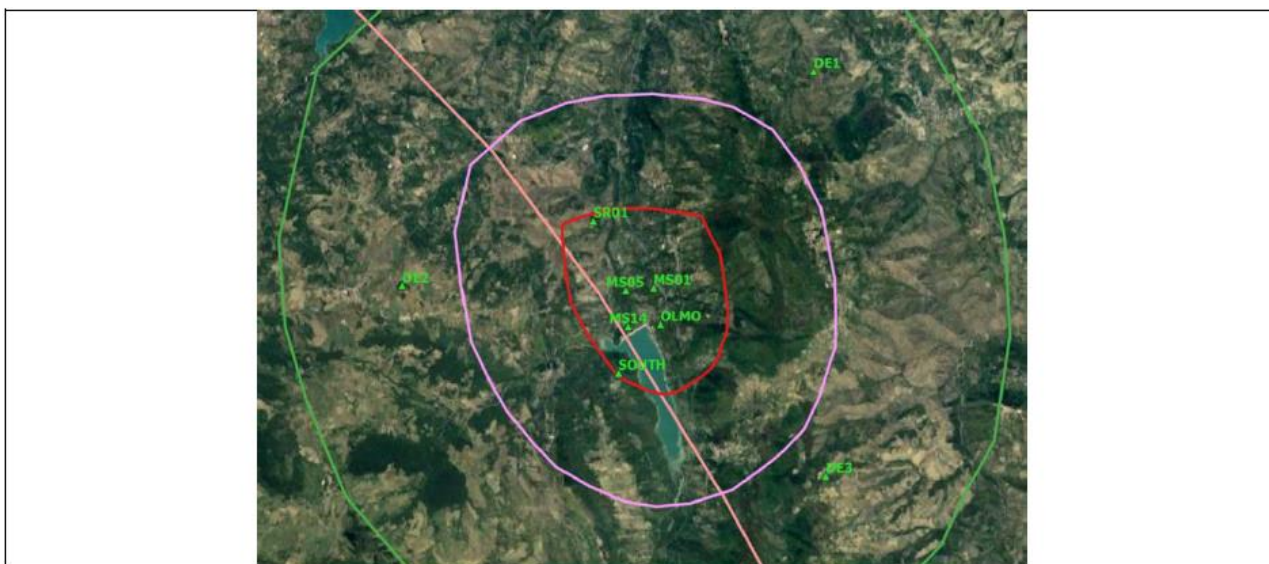


Fig. 19: Geometria di monitoraggio Rete ACEA OTTIMIZZATA a 9 stazioni.

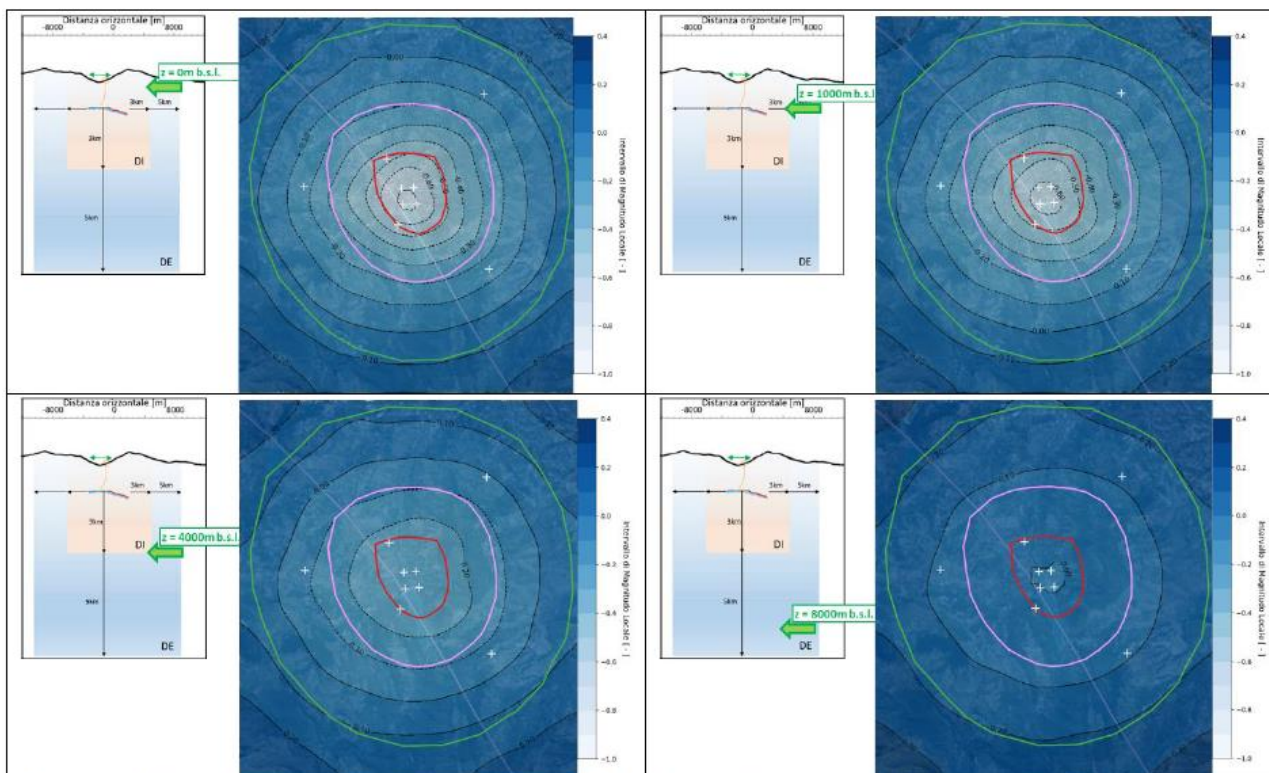


Fig. 20: Soglie teoriche di localizzazione su Rete ACEA OTTIMIZZATA, per scenario di rumore "medio" a diverse profondità. Le croci bianche mostrano le posizioni della rete microsismica ACEA. Le linee tratteggiate indicano aree in cui la magnitudo minima identificabile è NEGATIVA.

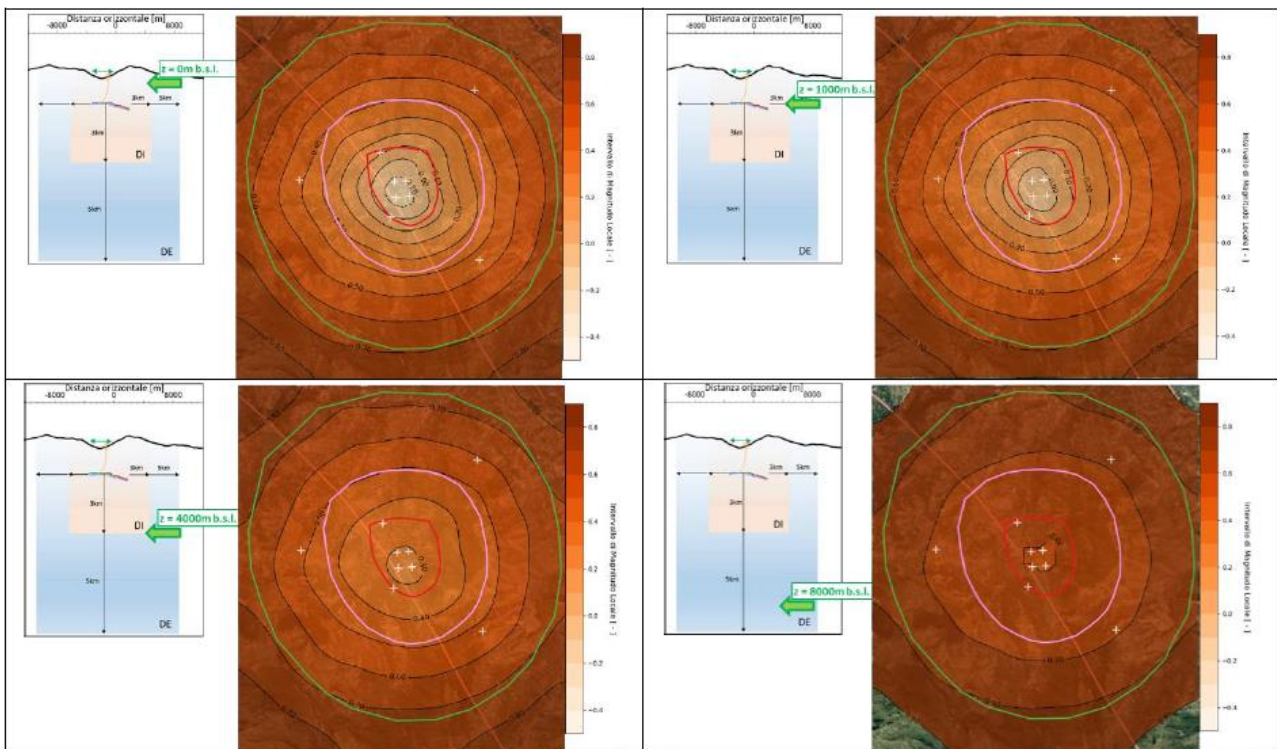


Fig. 21: Soglie teoriche di localizzazione su Rete ACEA OTTIMIZZATA, per scenario di rumore "rumoroso" a diverse profondità. Le croci bianche mostrano le posizioni della rete microsismica ACEA. Le linee tratteggiate indicano aree in cui la magnitudo minima identificabile è NEGATIVA.

3.5 Strumentazione

In via del tutto preliminare è stato possibile suggerire un'implementazione tecnica della rete di monitoraggio suggerita, nella configurazione ACEA OTTIMIZZATA:

- Per le stazioni DE1, DE2 e DE3, situate su un pattern triangolare poco al di fuori del perimetro del Dominio Interno, si suggeriscono Velocimetri Triassiali corto periodo 1 Hz.
- Sulla stazione MS01 (o MS05, da valutare in seguito durante uno studio di fattibilità operativa di dettaglio), situata a Nord della Diga, Velocimetro Triassiale corto periodo 1 Hz, sensore Banda Larga + Accelerometro Triassiale
- Per le Stazioni SR01, MS05 (o MS01, vedi sopra), OLMO, MS14 e SOUTH, Velocimetri a corto periodo 4,5Hz.

Si ribadisce che, ai fini della progettazione finale della rete di rilevamento, sarà necessario uno studio di fattibilità operativo di dettaglio, in cui siano previsti sopralluoghi e misure del rumore ambientale locale (o rumore sismico di fondo). Tale studio dovrà valutare le soluzioni operative locali in termini di accessi, infrastrutture, copertura rete telefonia mobile per la trasmissione dei dati ed anche la necessità di installazione di uno o più sensori in pozzetti di profondità adeguata, in funzione dei livelli di rumore effettivamente presenti.

Tale valutazione dettagliata, associata all'analisi della strumentazione, in tutte le sue componenti (non solo i sensori sismici ma anche gli elementi di supporto, come l'alimentazione e la trasmissione dei dati, per esempio) garantirà la migliore scelta nelle posizioni finali, la scelta ottimale della sensoristica e l'ottimizzazione di altri importanti dettagli operativi per un'installazione pienamente soddisfacente, in termini di rapporto costi / benefici.

La strumentazione verrà installata in aree recintate aventi dimensione indicativa di 3,00 x 3,00 metri. La recinzione è prevista in rete metallica, con altezza 2 metri fissata su cordolo in cemento munita di cancelletto pedonale laterale.

3.6 Trasmissione dati e Reportistica

I dati sismici saranno memorizzati presso ogni stazione, e trasmessi in tempo reale per essere archiviati presso server scelto dall'azienda e presso server individuato dalla Struttura Preposta al Monitoraggio, per successiva elaborazione.

Al termine di ogni anno solare è prevista la redazione di un rapporto di sintesi illustrativo delle condizioni di funzionalità del sistema di rilevazione e di tabelle relative ai fenomeni sismici rilevati nella zona. Tale rapporto verrà trasmesso con cadenza annuale alle Amministrazioni interessate.

La Struttura Preposta al Monitoraggio potrà definire altre modalità di gestione dati e di reportistica.

3.7 Monitoraggio dinamico della diga

L'installazione della rete di monitoraggio sismico offre la possibilità di realizzare il monitoraggio dinamico della struttura della diga, sia relativamente al suo comportamento in caso di terremoti, sia in generale per quanto riguarda la stabilità e valutazione della condizione generale della struttura. Il monitoraggio dinamico valuta la risposta delle strutture a forzanti esterne, tipicamente sorgenti di vibrazione attive o passive. In questa offerta si considera di effettuare un monitoraggio di tipo passivo, in cui cioè non si usano sorgenti attive per energizzare le strutture, ma si sfrutta il rumore ambientale già esistente. In linea generale, per questo tipo di analisi è opportuno installare almeno un sensore al piede della diga, per valutare il segnale "in input" alla struttura, e un sensore sul coronamento. In aggiunta, per avere una analisi più di dettaglio, si può considerare l'aggiunta di uno o due sensori nel corpo della diga, ove possibile (per es. all'interno di tunnel) oppure sulla superficie esterna a diverse altezze. Inoltre, può essere opportuno installare un sensore sulla spalla della diga ed uno sulla roccia nei fianchi della valle. Il confronto tra la il segnale misurato su roccia rispetto ad uno al piede della diga fornisce utili indicazioni sugli effetti di sito dovuti all'eventuale presenza di sedimenti alluvionali sciolti, con caratteristiche geotecniche scarse.

La letteratura relativa al monitoraggio strutturale dinamico (Structural Health Monitoring, SHM) è abbondante, e diverse sono anche le pubblicazioni relative alle dighe.

Si possono ipotizzare più tipologie di analisi da effettuare sulle serie temporali di dati da registrare, in funzione del grado di dettaglio richiesto. Si tratta in ogni caso di analisi nel dominio di frequenza, quali l'analisi modale, l'analisi del damping, l'analisi dei rapporti spettrali. Queste tipologie di analisi, ripetute nel tempo ad intervalli regolari, consentono di identificare eventuali processi di "invecchiamento" (aging) delle

strutture, eventualmente anche effettuando un confronto con modelli numerici dinamici delle strutture. Per quanto riguarda l'analisi in relazioni ad eventuali sismi locali, il confronto tra il sismogramma al piede della diga, ai lati della valle e quelli sul corpo della diga consente di valutare come la struttura risponde alle sollecitazioni e dunque comprendere eventuali rischi associati.

La rete prevista da Acea sarà pertanto incrementata con almeno una stazione di monitoraggio sul corpo della diga (coronamento) per poter effettuare anche il monitoraggio dinamico. Questo può essere utile sia in fase iniziale (per definire la baseline) sia durante la messa in produzione del giacimento per valutare ogni effetto sulla struttura.

4 Monitoraggio delle deformazioni del suolo

Il monitoraggio delle deformazioni del suolo verrà effettuato in osservanza al Piano di Monitoraggio redatto da Acea (Ottobre 2010) ed approvato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti – Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche ed elettriche, a Dicembre 2010.

Successivamente il Comitato per gli Idrocarburi e la Risorse Minerarie (CIRM) nella sua riunione di Luglio 2011, nel rilasciare il proprio parere favorevole al conferimento della concessione di coltivazione Colle Santo, ha richiesto alcune implementazioni al Piano di Monitoraggio, richiedendo in aggiunta l'implementazione di analisi interferometriche SAR e l'installazione di assestimetri profondi, secondo uno schema da concordare.

La società ha quindi depositato a Maggio 2012 una proposta di piano di monitoraggio con interferometria SAR, approvato dallo stesso MIT nel 2012 come integrazione al Piano di Monitoraggio di Dic. 2010.

4.1 Monitoraggio con stazioni GPS

La società, durante il lungo procedimento autorizzativo, ha già installato nell'area attorno al giacimento Colle Santo n. 10 stazioni GPS (MS01..MS09, RS01). La progettazione e cura di tale rete è stata effettuata dalla soc. Geocomp (USA). Le stazioni hanno registrato dati di movimento del suolo, in condizioni non perturbate da alcuna attività estrattiva, dal 2007 al 2013. Alcune stazioni sono state vandalizzate dopo i primi anni di misura, rendendole non più operative.



Il Piano di monitoraggio Acea (2010) prevede tale rete GPS venga integrata con n.7 nuove stazioni, da ubicarsi sul coronamento della diga, a valle della diga e sulle sponde (CS01, CS04, CS 06, CS 09, CS 12, CS 14, CS OLMO). Il Piano prevede inoltre che le fondazioni delle 9 stazioni esistenti vengano opportunamente approfondite.

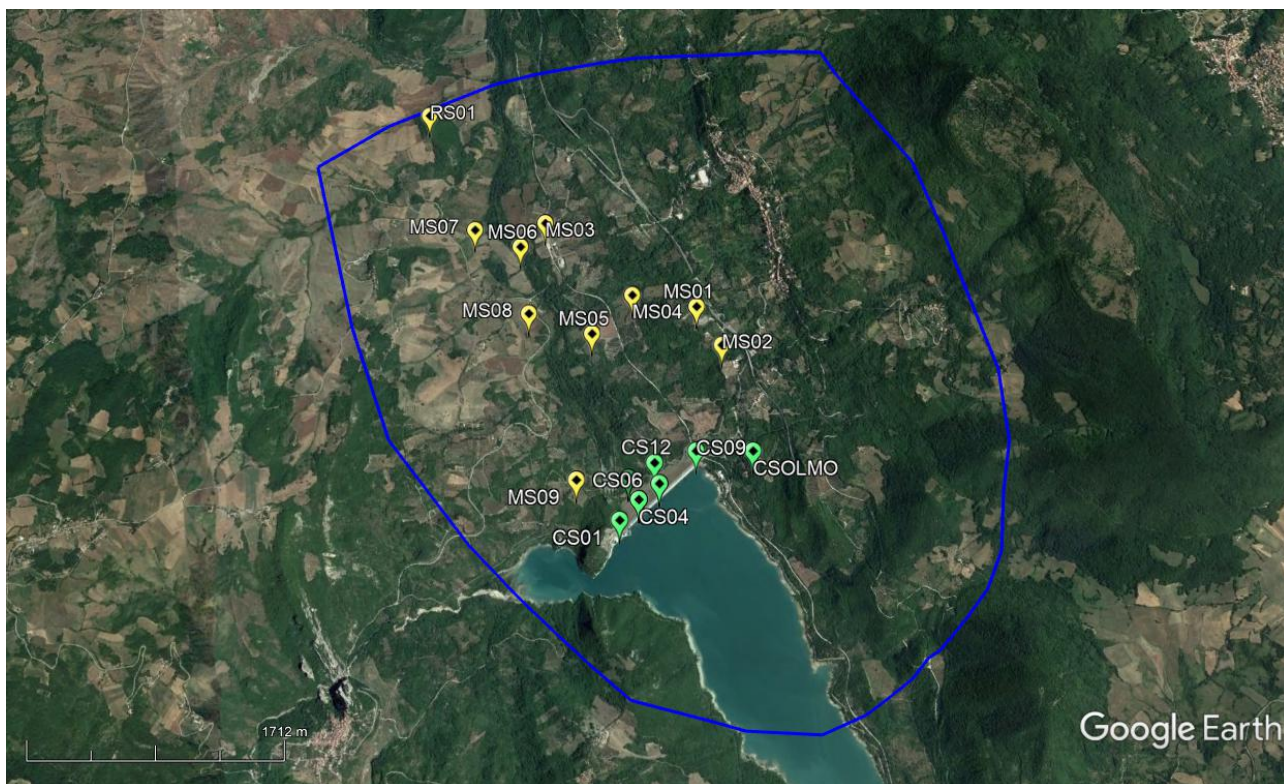


Figura 3 Ubicazione delle 9 stazioni GPS esistenti (in giallo) e delle ulteriori 7 stazioni GPS da installare

4.2 Monitoraggio con assestometro profondo

Al fine di poter valutare con maggiore attendibilità la eventuale subsidenza provocata nel tempo dalla produzione di gas dal giacimento Colle Santo, sarà installato un assestometro profondo in area pozzi.

L'assestometro sarà installato ad una profondità tale da non risentire della variazione di pressione degli acquiferi superficiali, indicativamente alla profondità di circa 150m, o delle variazioni stagionali di umidità del terreno superficiale e del connesso rigonfiamento / sgonfiamento.

La campagna di monitoraggio con stazioni GPS nel periodo 2007-2013 ha evidenziato che stagionalmente si assiste ad una escursione dei valori di quota assoluta fino a circa 50mm.

Le misure assestometriche profonde saranno quindi utilizzate per epurare i valori di movimento della superficie dai contributi non collegati con l'attività mineraria.

4.3 Monitoraggio con interferometria satellitare SAR

L'obiettivo dell'attività di monitoraggio è quello di effettuare un'analisi di subsidenza in tutta l'area interessata dalle attività estrattive mediante l'uso della tecnologia SAR da satellite, con estensione pari ad almeno il Dominio Esteso di rilevazione.

Verranno effettuate due tipologie di analisi:

Analisi storica da satellite (Historical Analysis)

Il servizio (denominato Historical Analysis) prevede un'analisi delle evoluzioni di eventuali fenomeni di subsidenza tipici di quella zona ed indipendenti dalle estrazioni di gas. Per questo studio si userebbero solo immagini acquisite dal sensore SAR a bordo del satellite Sentinel-1 dell'Agenzia Spaziale Europea che acquisisce dati in banda C.

Il satellite Sentinel-1 ha iniziato le acquisizioni di dati sull'area oggetto del presente monitoraggio a partire dal 7 Ottobre 2014.

La possibilità di usare immagini Sentinel-1 nell'analisi storica permetterebbe di capire quanto limitante è per l'analisi PS la presenza di vegetazione nell'area monitorata. Quindi una tale analisi fornirebbe utili indicazioni sulla opportunità di proporre l'uso dell'interferometria SAR da satellite per l'analisi delle deformazioni del terreno durante le operazioni di estrazione del gas.

I prodotti Sentinel-1 disponibili sull'area di interesse sono acquisiti lungo le orbite discendenti 22 e 124 e l'orbita ascendente 44.

La precisione nella misura degli spostamenti utilizzando i dati Sentinel-1 è pari a una frazione del centimetro, a seconda del valore della coerenza interferometrica.

Qualora lo studio storico mettesse in evidenza l'efficacia dell'utilizzo anche dei dati satellitari per il monitoraggio dell'intera area, si valuterà la possibilità di utilizzare i sensori satellitari in banda X (COSMO-SkyMed dell'Agenzia Spaziale Italiana e TerraSAR-X dell'Agenzia Spaziale Tedesca), come complemento alle misure fornite da Sentinel-1 che acquisendo in banda C ha una precisione nella misura degli spostamenti inferiore a quella che potrebbero fornire sensori operanti in banda X.

Lo stack minimo, cioè il numero minimo di prodotti SAR satellitari cui applicare l'analisi affinché si ottengano le precisioni su citate è pari a 20 immagini, acquisite lungo la stessa orbita, corrispondente a un arco temporale di circa quattro mesi, essendo il tempo di rivisitazione del satellite Sentinel-1 sull'area oggetto del monitoraggio di sei giorni.

Analisi futura da satellite (Regular Monitoring)

Il servizio (denominato Regular Monitoring) prevede l'elaborazione dei dati SAR di una delle missioni succitate che potrà essere organizzata nel seguente modo ipotizzando che il servizio dovrà essere erogato su un periodo di N anni:

- analisi di subsidenza relativa al primo anno ($i=1$) di servizio;
- dall' i -esimo anno successivo al primo fino all' N -esimo anno di servizio ($i=2... N$) analisi dell'anno i -esimo e raffronto dei risultati rispetto a quelli ottenuti negli anni precedenti ($j=1... i-1$).

Le precisioni raggiungibili con la banda X sono superiori. La tabella seguente sintetizza le precisioni ottenibili con i sensori succitati:

SENSORE	BANDA DI FREQUENZA	TEMPO DI RIVISITAZIONE	ORDINE DI PRECISIONE
COSMO-SkyMed	X	16 giorni	mm
TerraSAR-X	X	11 giorni	mm
Sentinel-1	C	6 giorni	frazione cm

I dati verranno elaborati secondo le tecniche maggiormente diffuse quali: Interferometric (InSAR), Differential Interferometric (DInSAR), Permanent Scatterers (PS).

4.4 Monitoraggio con interferometria Ground Based SAR

L'utilizzo del radar basato a terra, denominato anche GB-SAR, è ideale per il monitoraggio degli spostamenti su una scala spaziale più limitata quale il corpo e la spalla della diga in terra presente nell'area da monitorare.

A tal fine si realizzeranno tre postazioni permanenti in cui utilizzare un interferometro radar da terra della serie IBIS-L commercializzato dalla società IDS Sistemi per l'Ingegneria SpA, dotato di certificazione di conformità, riportato nella figura seguente, o similare.



Il radar in configurazione IBIS-L è formato dai seguenti componenti:

- Data Logger; Modulo di alimentazione; Accessori;
- Scanner lineare con motore passo-passo ed alloggiamento testata radar;
- Sensore radar munito di set di sei differenti tipologie di antenna da scegliere in base alla richiesta di guadagno, di estensione e distanza dell'area da monitorare e della risoluzione spaziale necessaria;
- Software di acquisizione dati radar; elaborazione e trasferimento dei dati;

Il sensore radar deve lavorare nella banda di frequenza compresa tra 17.1 e 17.3 GHz al fine di essere classificato all'interno della classe degli SRD (Short Range Device) per applicazioni di radio-determinazione in modo che sia consentito il libero utilizzo senza causare interferenze ad altri servizi operanti nella stessa banda. Il sensore possiede le seguenti caratteristiche:

- frequenza della portante: 17.2 GHz e banda di frequenza: 200 MHz;
- modulazione radar: SFCW (Stepped Frequency Continuous Wave);
- tipologia apparato: SRD (Short Range Device);
- accuratezza delle misure: 0.1 mm (lungo la LOS – Line of Sight);
- stabilità di fase in temperatura: 10 ppm; stabilità di fase rispetto all'invecchiamento: 3 ppm/anno;
- rumore di fase: -90dBc/Hz tra 10 e 100 KHz di offset dalla frequenza trasmessa;
- frequenza di campionamento (in modalità dinamica): fino a 200 Hz.

Il sensore in queste condizioni è in grado di acquisire la singola immagine ogni 5 minuti. Il sistema è robusto e resistente a pioggia (min. grado di protezione richiesto IP54) per essere installato all'aperto ed è in grado di resistere ad un range di temperature comprese tra -15°C e +50°C. Il sistema IBIS-L è uno dotato di certificazione di conformità e rispetta le norme vigenti in termini di interferenze elettromagnetiche nei confronti di altri servizi attivi nella stessa banda di frequenze e di compatibilità elettromagnetica:

- Marcatura CE del sistema in accordo con Decisione Europea 2009/381.
- Classificazione dell'apparato nella classe SRD (Short Range Device) per applicazioni nelle frequenze comprese tra 17.1 GHz e 17.3 GHz in modo che sia consentito il libero utilizzo senza causare interferenze ad altri servizi operanti nella stessa banda (v. Decisione Europea 2009/381, CEPT REC 7003 Annex 6, standard GBSAR).

Nei pressi della diga sono state individuate tre possibili postazioni per l'installazione del radar basato a terra.

Una postazione è stata selezionata per monitorare non solo il corpo della diga ma anche la spalla adiacente al monte Tutoglio. Le altre due postazioni monitoreranno il corpo della diga.

La precisione delle misure di spostamento effettuate con un GB-SAR dipendono, come nel caso dei sensori SAR satellitari, dalla lunghezza d'onda di funzionamento del sensore. Uno dei vantaggi del GB-SAR è che potendo funzionare in banda Ku, cioè una lunghezza d'onda di 18 mm, la precisione delle misure è pari ad una frazione del millimetro.

Il servizio di **Permanent Monitoring** prevede due attività:

Prima installazione: servizio di progettazione, costruzione e messa in esercizio delle 3 stazioni fisse di controllo. Il servizio per la prima installazione comprende la costruzione fisica delle stazioni e la loro messa in servizio, nonché una campagna di monitoraggio nelle 3 postazioni di durata una settimana

ciascuna, al fine di fissare lo "zero" nell'analisi; sarà possibile anche fornire elementi utili per la valutazione della precisione sub-millimetrica della misura di spostamento effettuata dal sistema radar basato a terra. Questo avverrà grazie all'utilizzo di un corner reflector montato su un modulo con vite micrometrica. Esso sarà installato sul corpo di diga, avrà dimensioni pari a circa 30x30x30cm e verrà rimosso alla fine della campagna di monitoraggio.

Servizio successivo: servizio a regime che prevede l'utilizzo dell'interferometro a rotazione sulle 3 stazioni permanenti con frequenza periodica (es. 1 mese) che sarà concordata con l'utente finale. In tale servizio è inclusa anche l'assistenza e la manutenzione delle 3 stazioni permanenti.

Il sito di misura verrà inoltre attrezzato con:

- un sistema webcam,
- una stazione metereologica professionale

Il sistema webcam avrà come finalità l'osservazione in tempo reale sia del sistema radar sia della diga. I valori acquisiti dalla stazione metereologica, invece, saranno usati sia per l'elaborazione dei dati radar sia per l'interpretazione delle mappe di spostamento. Essa sarà dotata dei seguenti sensori:

- sensore di temperatura e di umidità,
- sensore di pressione barometrica,
- anemometro,
- pluviometro,

nonché di un'unità per la comunicazione in modalità wireless per l'invio in tempo reale dei valori misurati dai sensori. L'output del sistema di misura sarà costituito dalle mappe di spostamento della diga. Tali mappe avranno una precisione pari a una frazione del millimetro e saranno aggiornate in tempo reale ogni 30 minuti.

5 Monitoraggio delle pressioni di poro

Come indicato dallo studio Dream (2016), il confronto tra le pressioni statiche a fondo pozzo stimate con il modello fluido-dinamico e i valori misurati nei pozzi produttori permetterà di confermare i risultati delle simulazioni in termini di distribuzione spaziale ed evoluzione temporale delle pressioni interstiziali nel volume di interesse.

Il monitoraggio delle pressioni consisterà in:

- Monitoraggio in continuo a testa pozzo della pressione statica di giacimento attraverso il pozzo Monte Pallano 1dir, che rimarrà aperto ed in comunicazione con il giacimento ma non in erogazione;
- Monitoraggio in continuo a testa pozzo della pressione dinamica di giacimento (durante l'erogazione) in corrispondenza del pozzo Monte Pallano 2dir;

- Monitoraggio semestrale del ripristino della pressione statica di giacimento a seguito della sospensione della produzione, attraverso i pozzi Monte Pallano 1dir e 2dir.

Sulla base dei tempi di risalita delle pressioni evidenziati durante le prove di produzione dei pozzi Monte Pallano 1dir e Monte Pallano 2dir, si ritiene che un tempo di chiusura di almeno 24 ore sia sufficiente per avere delle misure di pressione stabilizzate e rappresentative della pressione media di giacimento.