

**CONCESSIONE ALFONSINE STOCCAGGIO****PROGRAMMA DI MONITORAGGIO  
DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO****(Punto 19 della richiesta MATTM del 27.6.2016)****DOCUMENTO DI RIFERIMENTO**  
0128-00-BGRV-12538**ALLEGATO Punto n.19.2**  
**Doc. a**

	A. Mantegazzi	E. Cairo	C. Coti
<b>Settembre 2017</b>			
DATA DI EMISSIONE	PREPARATO	VERIFICATO	APPROVATO

## SOMMARIO

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ANALISI CON INTERFEROMETRIA SAR.....</b>	<b>4</b>
2.1 PRINCIPI DI ACQUISIZIONE .....	4
2.2 PROGETTAZIONE DEL MONITORAGGIO.....	4
<b>3. STAZIONE CGPS.....</b>	<b>6</b>
3.1 PRINCIPI DI ACQUISIZIONE .....	6
3.2 PROGETTAZIONE DEL MONITORAGGIO.....	7
<b>4. STAZIONE CON PIEZOMETRI E ASSESTIMETRI .....</b>	<b>9</b>
4.1 PRINCIPI DI ACQUISIZIONE .....	9
4.2 PROGETTAZIONE DEL MONITORAGGIO.....	9
<b>5. RETE DI LIVELLAZIONE DI ALTA PRECISIONE .....</b>	<b>10</b>
5.1 PRINCIPI DI ACQUISIZIONE .....	10
5.2 PROGETTAZIONE DEL MONITORAGGIO.....	11
<b>6. CONCLUSIONI.....</b>	<b>12</b>

## 1. INTRODUZIONE

A seguito della presentazione da parte di Stogit di istanza di avvio della procedura di Valutazione di Impatto Ambientale relativa al progetto di sviluppo allo stoccaggio del giacimento di Alfonsine (RA), il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con comunicazione Prot. n. 0002356 del 27 giugno 2016, ha richiesto documentazione integrativa al fine di espletare la suddetta procedura.

Questa relazione tecnica intende riscontrare in particolare la richiesta formulata al Punto 19 della citata comunicazione, ossia:

*“presentare un progetto dettagliato dell'attività di monitoraggio che si intende realizzare, prevedendo l'utilizzo del metodo dell'analisi interferometrica di dati radar satellitari, opportunamente supportato sia da una stazione CGPS sia da misure di livellazione geometrica di alta precisione; per quanto riguarda queste ultime, si precisa che dovrà essere progettata una rete di livellazione, a partire dalle linee già presenti della rete regionale di monitoraggio della subsidenza, raffittendo tali linee in un'area che comprenda i centri di Alfonsine, Fusignano, Lugo e Bagnacavallo; al fine di fornire un quadro unitario dei movimenti verticali del suolo, la rete dovrà essere progettata in un'ottica di integrazione con le altre reti di monitoraggio presenti o in previsione in zona, in modo da costituire, un'unica rete di livellazione da misurarsi con identiche modalità (specifiche tecniche e tempi) e a da uno stesso punto di riferimento, presupposto stabile, in Appennino; le specifiche delle suddette reti di monitoraggio [rete relativa a concessione “San Potito e Cotignola Stoccaggio”, ecc.] potranno essere reperite presso il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e presso ARPA Direzione Tecnica; il progetto di monitoraggio della subsidenza dovrà, inoltre, contemplare la perforazione di un carotaggio continuo, la successiva messa in opera di una assestometro profondo ed uno superficiale, e di un piezometro profondo ed uno superficiale; tutta la strumentazione dovrà essere corredata da attrezzature per il monitoraggio in continuo delle variabili in questione (abbassamento del suolo e livello piezometrico delle falde); il monitoraggio dovrà iniziare con un congruo anticipo rispetto all'inizio dell'attività di stoccaggio e l'intero sistema di monitoraggio dovrà essere mantenuto in funzione per tutto il periodo di durata della concessione”.*

La presente nota illustra il programma dei monitoraggi pianificato da Stogit secondo un approccio di tipo integrato che utilizza le tecniche di seguito elencate, in ottemperanza alle indicazioni della citata comunicazione ministeriale:

- Analisi con interferometria differenziale SAR;
- Progettazione di una stazione CGPS;
- Progettazione di una stazione con piezometri e assestimetri;
- Progettazione di una rete di livellazione di alta precisione.

Tali tecniche sono descritte nel dettaglio nei seguenti capitoli.

## **2. ANALISI CON INTERFEROMETRIA SAR**

### **2.1 Principi di acquisizione**

L'interferometria differenziale SAR (Synthetic Aperture Radar) è uno strumento molto efficace per il monitoraggio ad alta precisione dei fenomeni di deformazione della superficie terrestre, basato sull'elaborazione di sequenze temporali d'immagini radar satellitari.

Il radar ad apertura sintetica è un sensore attivo, montato a bordo di satelliti, che emette radiazioni elettromagnetiche e registra la potenza del segnale riflesso dalla superficie terrestre, calcolando il tempo intercorso fra emissione e ritorno del segnale stesso. Le immagini radar satellitari vengono acquisite con una frequenza periodica legata al tempo di rivisitazione del satellite utilizzato.

Questa tecnologia di telerilevamento sfrutta le acquisizioni disponibili su una medesima area di interesse in tempi successivi, generando una mappa di deformazione del suolo ottenuta grazie all'individuazione di bersagli (PS, Permanent Scatterers) che mantengono inalterate nel tempo le proprie caratteristiche elettromagnetiche (edifici, strutture metalliche, rocce affioranti, superfici non vegetate dure). Il radar, ad ogni acquisizione, misura la distanza tra sensore e bersaglio lungo la linea di vista del satellite (LOS), pertanto le deformazioni rilevate si riferiscono alla componente degli spostamenti superficiali proiettata lungo la LOS del satellite. La stessa area può però essere vista da orbite satellitari ascendenti e discendenti, e i dati delle due geometrie possono essere combinati per il calcolo delle componenti verticale ed orizzontale del moto.

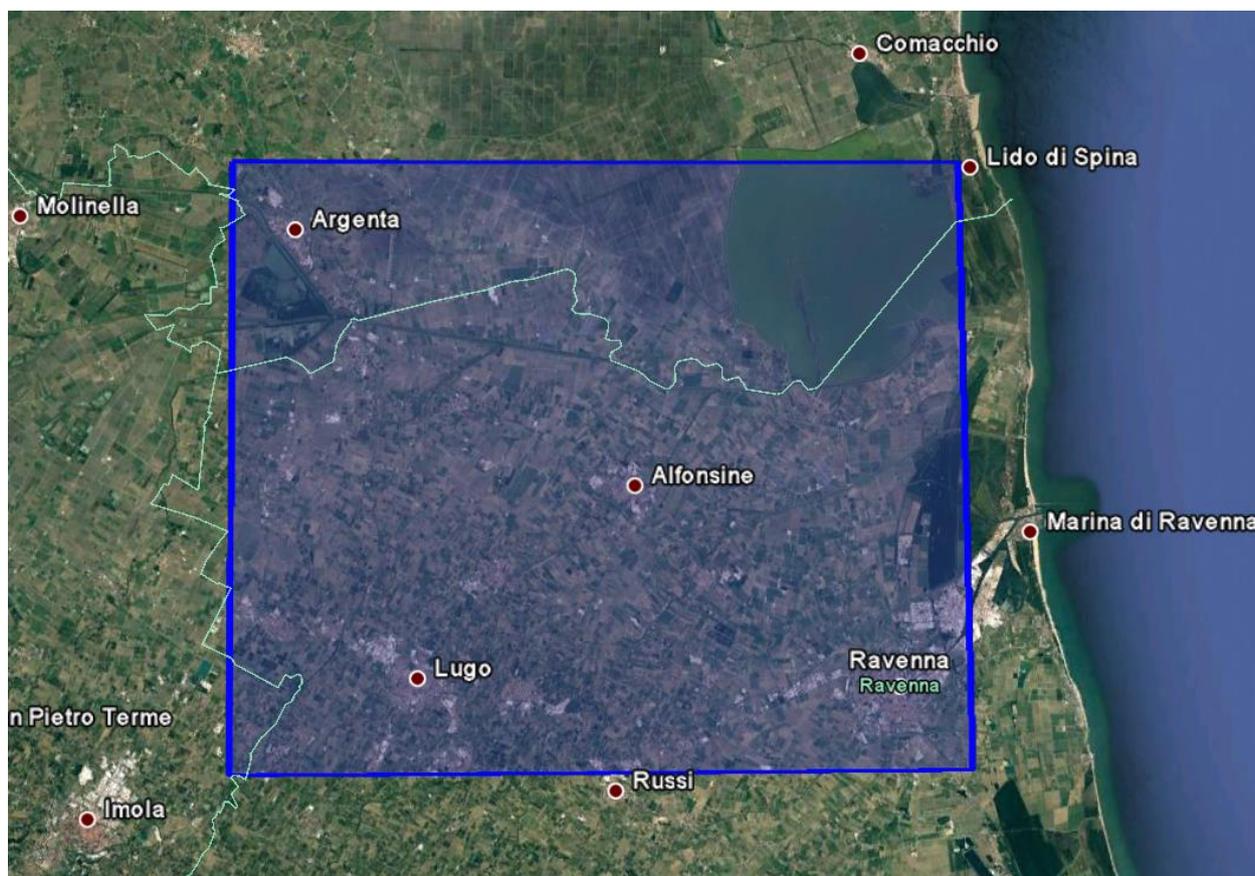
L'acquisizione di nuove immagini nel tempo consente di ottenere stime più precise di velocità e di quota dei PS, pertanto ogni aggiornamento annuale implica il reprocessing dell'intero dataset e rappresenta un'elaborazione indipendente. Avendo a disposizione sequenze di immagini sulla stessa zona e lungo la stessa orbita registrate in tempi successivi, è possibile mettere in evidenza l'evoluzione degli spostamenti nell'area con misure estremamente accurate (nell'ordine del millimetro), dalle quali è possibile ricavare stime di velocità. Per ogni singolo PS si ricavano la posizione (latitudine, longitudine, quota), il trend medio di deformazione (ovvero l'interpolazione lineare dello spostamento misurato nell'intero periodo di monitoraggio) e l'intera serie temporale di deformazione, per l'intero arco temporale in cui sono state acquisite le immagini.

I valori medi di velocità sono di tipo differenziale, ottenuti dopo aver determinato su base statistica un punto ad elevata coerenza, di coordinate note e supposto stabile (PS di riferimento), rispetto al quale sono riferite tutte le stime di movimento dei PS: le misure SAR sono pertanto sempre di tipo relativo.

### **2.2 Progettazione del monitoraggio**

Stogit eseguirà il monitoraggio con interferometria differenziale SAR sulla Concessione Alfonsine Stoccaggio, con un aggiornamento dei dati a cadenza annuale.

Il monitoraggio antecedente l'avvio dell'attività di stoccaggio verrà eseguito su un'area molto più estesa della Concessione di Stoccaggio, che arriverà a coprire parte delle Valli di Comacchio e la città di Ravenna (fig. 1), in modo da disporre di una visione d'insieme del quadro deformativo di fondo dell'intera area.



*Fig. 1 – Estensione dell'analisi SAR pianificata per Alfonsine.*

Per il monitoraggio SAR sul giacimento di Alfonsine, Stogit utilizzerà i dati acquisiti dal satellite Radarsat-2 dell'Agenzia Spaziale Canadese, che acquisisce un'immagine ogni 24 giorni, mettendo a disposizione per l'analisi circa 14-15 immagini ogni anno per ciascuna geometria di acquisizione (ascendente e discendente). Il dato relativo alle due geometrie verrà scomposto al fine di ricavare, per ciascun PS, il tasso di deformazione medio nella componente verticale ed orizzontale del moto. Data la diversa localizzazione dei bersagli radar osservabili da due diverse LOS, per poter combinare le misure sarà necessario il ricampionamento dei dati su una griglia spaziale comune di dimensioni 100 x 100 metri, regolare ed ordinata (in fig. 2 si riporta un esempio).

La sola analisi dei valori di velocità verticale media non consente di rilevare l'eventuale presenza di fenomeni di deformazione non lineari, che possono invece essere individuati analizzando le serie storiche di spostamento relative ad ogni singolo PS. Le serie storiche rappresentano l'andamento

nel tempo di un singolo punto scomposto attraverso la variazione altimetrica registrata da ogni singola immagine radar acquisita. Per monitorare lo scenario deformativo regionale di fondo ed eseguire in futuro un confronto con gli anni in cui sarà realizzato lo stoccaggio del gas, verranno analizzate le serie storiche di alcuni punti rappresentativi posti sia all'interno che all'esterno della proiezione in superficie del giacimento.

Al fine di evidenziare più facilmente la presenza di deformazioni cicliche, per ogni punto di misura individuato nelle analisi delle singole geometrie, così come per i dati scomposti, sarà analizzato anche il valore di ampiezza della stagionalità, che consente di individuare i PS che presentano un'evidente oscillazione stagionale.

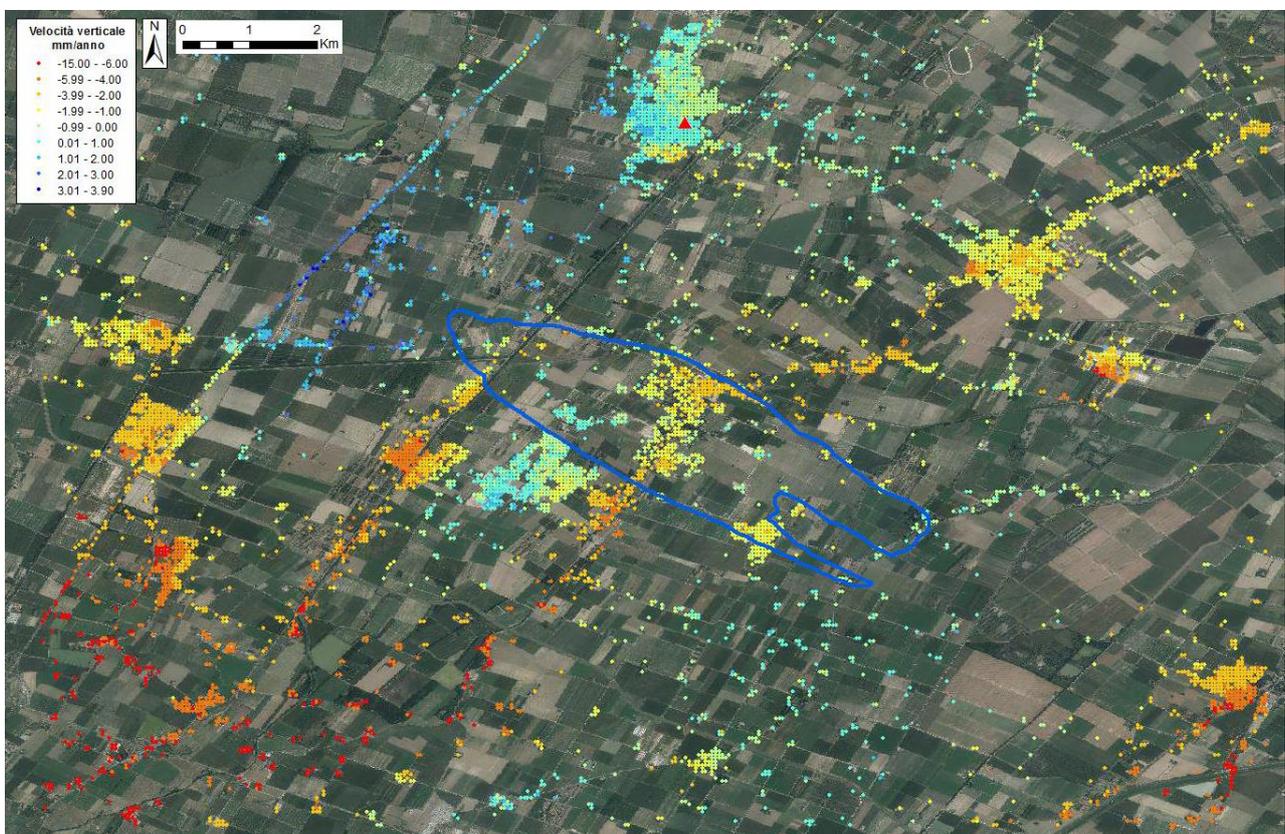


Fig. 2 – Esempio di analisi SAR eseguita da Stogit.

### 3. STAZIONE CGPS

#### 3.1 Principi di acquisizione

Il sistema CGPS (Continuous Global Positioning System) è un sistema di posizionamento globale fondato sull'emissione di segnali elettromagnetici, che permettono di ricavare informazioni relative al tempo e alle distanze tra i satelliti ed una stazione GPS ricevente. Attraverso la ricezione di tali

segnali da parte della suddetta stazione e la loro successiva interpretazione è possibile ottenere il posizionamento tridimensionale della stazione stessa in un sistema di riferimento cartesiano geocentrico in termini assoluti.

La costellazione GPS consiste di 24 satelliti che orbitano a circa 20.000 km di altezza. Il processo di misurazione della distanza dai satelliti al ricevitore GPS è basato su segnali temporali. Quando il ricevitore aggancia il segnale dai vari satelliti si genera uno scarto temporale, poiché le microonde impiegano una frazione di secondo per percorrere la distanza dal satellite al ricevitore. A partire da questo scarto temporale è possibile risalire alla distanza dal satellite. Le differenze tra i segnali provenienti dai vari satelliti sono utilizzate per calcolare l'esatta posizione del ricevitore ad ogni istante desiderato.

Tale sistema è in grado, attraverso l'utilizzo di software appropriati e con un'opportuna strategia di elaborazione, di determinare attraverso valutazioni statistiche su una popolazione robusta (almeno 36 mesi di osservazioni) variazioni plano-altimetriche di ordine sub-centimetrico, che consentono di stimare anche alcune componenti periodiche che possono influenzare il risultato finale.

### 3.2 Progettazione del monitoraggio

La stazione CGPS verrà installata all'interno dell'area del pozzo Alfonsine 15, dove sarà realizzata una stazione integrata con assestimetri e piezometri (si veda anche il cap. 4).

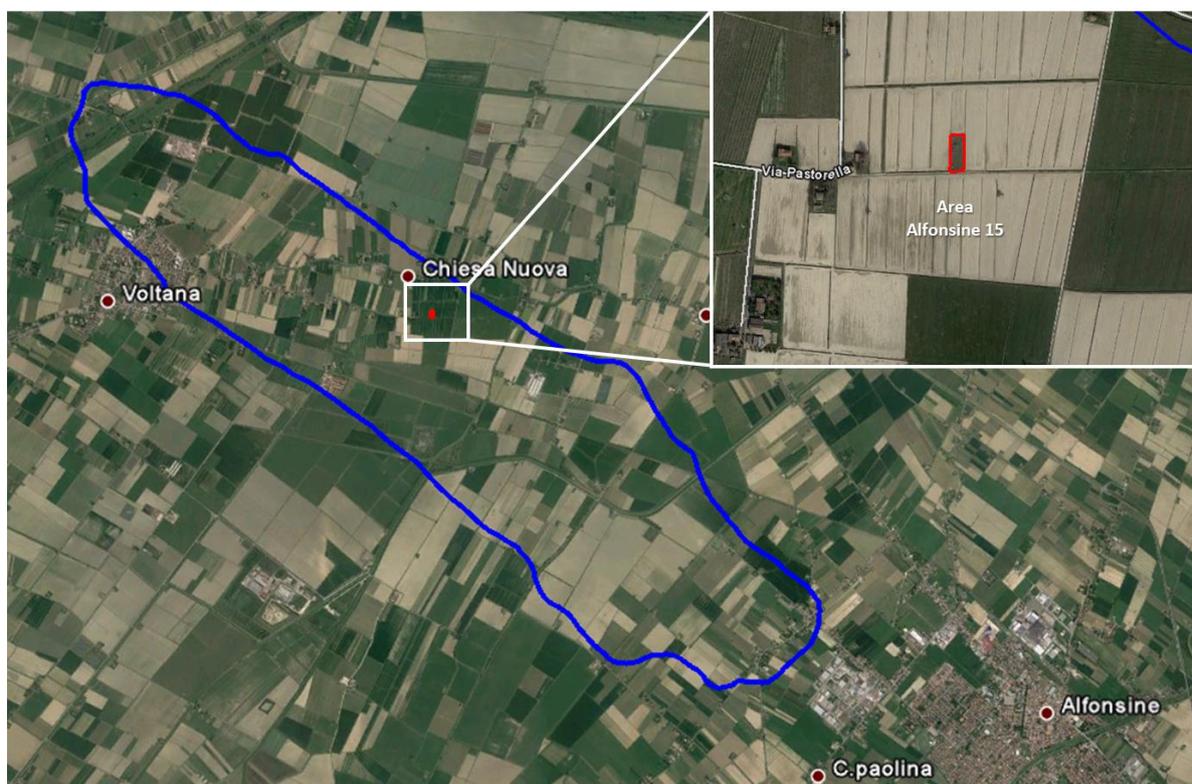


Fig. 3 – Ubicazione dell'area pozzo Alfonsine 15.

L'area è stata scelta dopo un'attenta analisi dei siti di competenza Stogit disponibili, in accordo con ARPA ed il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (SGSS) della Regione Emilia-Romagna, ed è risultata idonea grazie alla posizione centrale rispetto alla proiezione in superficie del giacimento (fig. 3).

L'antenna GPS (fig. 4), che verrà monumentata su un pilastrino con il basamento in calcestruzzo, sarà costituita dai seguenti sistemi:

- sistema di acquisizione dati GPS in continuo;
- sistema di telemetria e telecontrollo dei parametri di stazione;
- sistema di alimentazione tramite tensione primaria 220 VAC 50 Hz o pannello fotovoltaico;
- sistema di comunicazione basato su rete di telefonia mobile GSM.

L'attività di monitoraggio verrà svolta in modalità continuativa con frequenza di campionamento pari a 0,033 Hz (un'acquisizione ogni 30 secondi). La scheda di telemetria consentirà la gestione della strumentazione da remoto, la verifica dello stato operativo della stazione ed il trasferimento dei dati ad un Centro di Controllo GPS.

I dati saranno trasferiti giornalmente, tramite collegamento telefonico GSM, al Centro di Controllo, che garantisce l'acquisizione, la classificazione (comprensiva di opportuno back-up incrementale) e la successiva elaborazione dei dati.

La serie storica degli spostamenti della stazione CGPS (fig. 4) sarà calcolata con precisione sub-centimetrica nelle componenti Nord, Est e Quota. Sarà così possibile caratterizzare la stazione dal punto di vista cinematico mediante la stima delle coordinate e delle velocità plano-altimetriche (con le rispettive precisioni) a partire dalle serie storiche degli spostamenti Nord, Est e Quota.

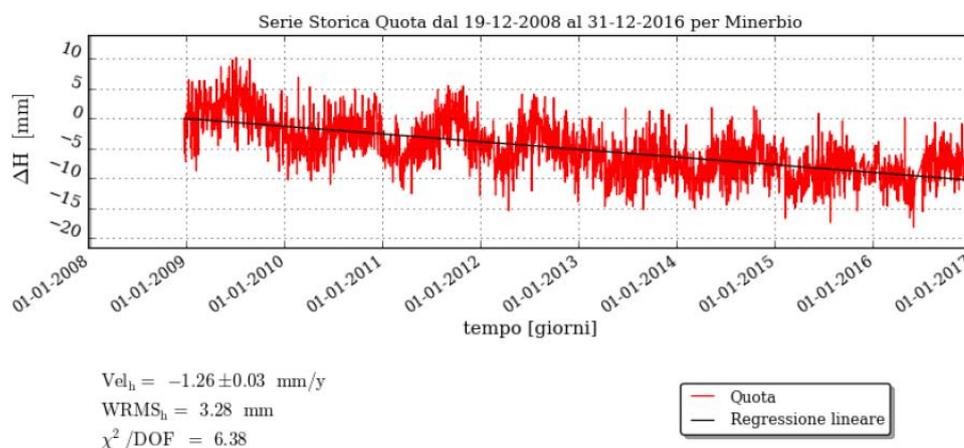


Fig. 4 – Esempio di antenna GPS installata a Minerbio e relativa serie storica degli spostamenti (quota).

#### **4. STAZIONE CON PIEZOMETRI E ASSESTIMETRI**

##### **4.1 Principi di acquisizione**

Le metodologie di indagine descritte nei capitoli precedenti consentono di ottenere dati e misure di grande precisione sulle deformazioni superficiali del suolo, senza tuttavia fornire indicazioni sulle cause che hanno generato tali fenomeni. Il ricorso integrativo a stazioni di monitoraggio con utilizzo contestuale di piezometri e di assestimetri, collocati in appositi pozzetti adiacenti, permette di acquisire utili informazioni sulle modalità con cui si verificano gli abbassamenti del suolo, seppur a livello locale. In particolare, le misurazioni consentono di individuare il contributo al tasso di subsidenza locale legato a fenomeni di compattazione degli strati superficiali, generalmente conseguente ai prelievi idrici da falde acquifere sotterranee poste a differenti profondità, caratterizzandone le dinamiche stagionali.

Il principio di funzionamento degli assestimetri si basa sull'analisi delle misurazioni riferite al punto di ancoraggio dello strumento, non soggetto a movimenti, la cui posizione è riportata in superficie da un'asta di misura rigida che non risente della compattazione degli strati superficiali, in quanto completamente svincolata dal terreno circostante mediante una tubazione esterna di protezione.

Gli strumenti consentono l'acquisizione di dati in continuo e la metodologia di indagine prevede misurazioni periodiche cadenzate sia del livello della falda acquifera (piezometro) che del tasso di abbassamento del suolo (assestimetro). L'acquisizione dei dati è preceduta da studi mirati ad individuare la localizzazione più idonea per l'installazione degli strumenti di misura.

##### **4.2 Progettazione del monitoraggio**

La stazione con piezometri e assestimetri verrà installata entro l'area del pozzo Alfonsine 15, dove sarà realizzata una stazione integrata con la strumentazione CGPS, sulla base dei criteri descritti in precedenza (si veda il cap. 3). Saranno installati due assestimetri, uno più superficiale per la misura dei movimenti verticali indotti da essiccamento e dilatazione del suolo superficiale, l'altro più profondo per la misura dei movimenti verticali indotti da prelievi idrici; ciascun assestimetro sarà accoppiato ad un piezometro. L'assestimetro profondo sarà ancorato ad una profondità di poco maggiore rispetto a quella dei pozzi più profondi presenti, ed è stato quindi indispensabile conoscere la distribuzione degli acquiferi captati nel sottosuolo della zona in esame.

Sulla base delle indicazioni fornite da ARPA e dal SGSS della Regione Emilia-Romagna in merito ai dati sui prelievi delle acque sotterranee e sulla geologia del sottosuolo della zona in questione, è stato definito il seguente programma operativo:

- perforazione di un pozzetto a distruzione di nucleo in cui verrà ubicato l'assestimetro profondo, che sarà ancorato nei terreni argillosi presenti ad una profondità di circa 230 metri dal piano campagna;

- perforazione di un pozzetto a distruzione di nucleo profondo circa 220 metri, che sarà successivamente attrezzato con il piezometro profondo, fenestrato negli intervalli grossolani presenti tra 150 e 220 metri di profondità.
- Perforazione di due pozzetti a distruzione di nucleo con profondità di 12 e 10 metri di profondità in cui saranno rispettivamente installati l'assestometro superficiale ed il piezometro superficiale, fenestrato tra 1 e 10 metri.

Le profondità precise di assestometro profondo, piezometro profondo e degli intervalli fenestrati del piezometro, saranno definite dai tecnici del SGSS successivamente alla perforazione del primo sondaggio (quello in cui verrà successivamente installato l'assestometro), che, in ogni caso, non potrà avere una profondità inferiore a 230 metri.

Su indicazione del SGSS, essendo presente nella zona oggetto di analisi un carotaggio continuo profondo oltre 150 metri realizzato nell'ambito del progetto CARG, si ritiene sufficiente che le perforazioni sopra citate vengano effettuate a distruzione di nucleo. La stratigrafia delle perforazioni verrà dedotta dall'analisi dei cuttings e dei parametri di perforazione.

## **5. RETE DI LIVELLAZIONE DI ALTA PRECISIONE**

### **5.1 Principi di acquisizione**

La livellazione è il metodo di misura topografico-geodetico tradizionale per il controllo delle variazioni altimetriche. Obiettivo della livellazione è la determinazione dei dislivelli (differenza di quota) fra più punti del terreno, identificati tramite una serie di contrassegni di riferimento denominati capisaldi, posti di norma ad una distanza reciproca di circa 1 km.

I capisaldi sono costituiti da bulloni e pomelli in acciaio, resi solidali al terreno e fissati in opere murarie che diano garanzia di stabilità e durata nel tempo; ad ogni caposaldo corrisponde una monografia di riferimento. I percorsi lungo i quali vengono posizionati i capisaldi costituiscono le linee di livellazione, disposti lungo poligoni chiusi o aperti.

Le operazioni di livellazione consentono la determinazione del dislivello fra due capisaldi contigui; è possibile così attribuire una quota, definita come la somma dei dislivelli successivi, ad ogni caposaldo, partendo da uno di essi di quota assegnata scelto come fondamentale.

Ripetendo periodicamente la campagna si determina la variazione di quota dei singoli punti nel tempo e si ottengono valori di velocità misurati in mm/anno.

La livellazione offre una buona precisione (ordine del decimo di millimetro) su aree ad estensione ridotta, ma rispetto alle misure SAR e CGPS risulta estremamente localizzata ed influenzata da fattori esterni.

## 5.2 Progettazione del monitoraggio

La progettazione della rete di livellazione altimetrica si è basata su un modello di previsione della subsidenza/uplift attesi durante il futuro esercizio allo stoccaggio del giacimento di Alfonsine.

Relativamente all'area in cui sono previste tali deformazioni, è stata effettuata una ricerca presso la Direzione Geodetica dell'Istituto Geografico Militare, la Direzione Tecnica di ARPA e del SGSS della Regione Emilia-Romagna, allo scopo di individuare i percorsi esistenti. Sono stati determinati i tratti percorribili dalle operazioni di livellazione geometrica dal mezzo in alta precisione ed è stato realizzato un progetto di rete altimetrica che integra tratti di linee esistenti con nuove linee, aventi una interdistanza media dei caposaldi pari a 1 km.

Il caposaldo di riferimento della rete è il caposaldo ARPAE 050030 (IGM147098), situato presso il municipio di Brisighella ed utilizzato anche per il monitoraggio altimetrico della Concessione San Potito e Cotignola Stoccaggio. Ad eccezione del tratto lineare di collegamento con il caposaldo di riferimento (l'unico in comune con la rete di San Potito e Cotignola), la rete è composta da poligoni chiusi a garanzia dell'affidabilità dei risultati che si otterranno dalla compensazione dei dati.

Nella relazione allegata è presente il dettaglio della rete con l'indicazione dei tratti di linea esistenti e quelli da istituire, le relative lunghezze ed il numero di caposaldi, da ricognire per le linee esistenti o da monumentare per quelle nuove durante lo scouting preliminare.

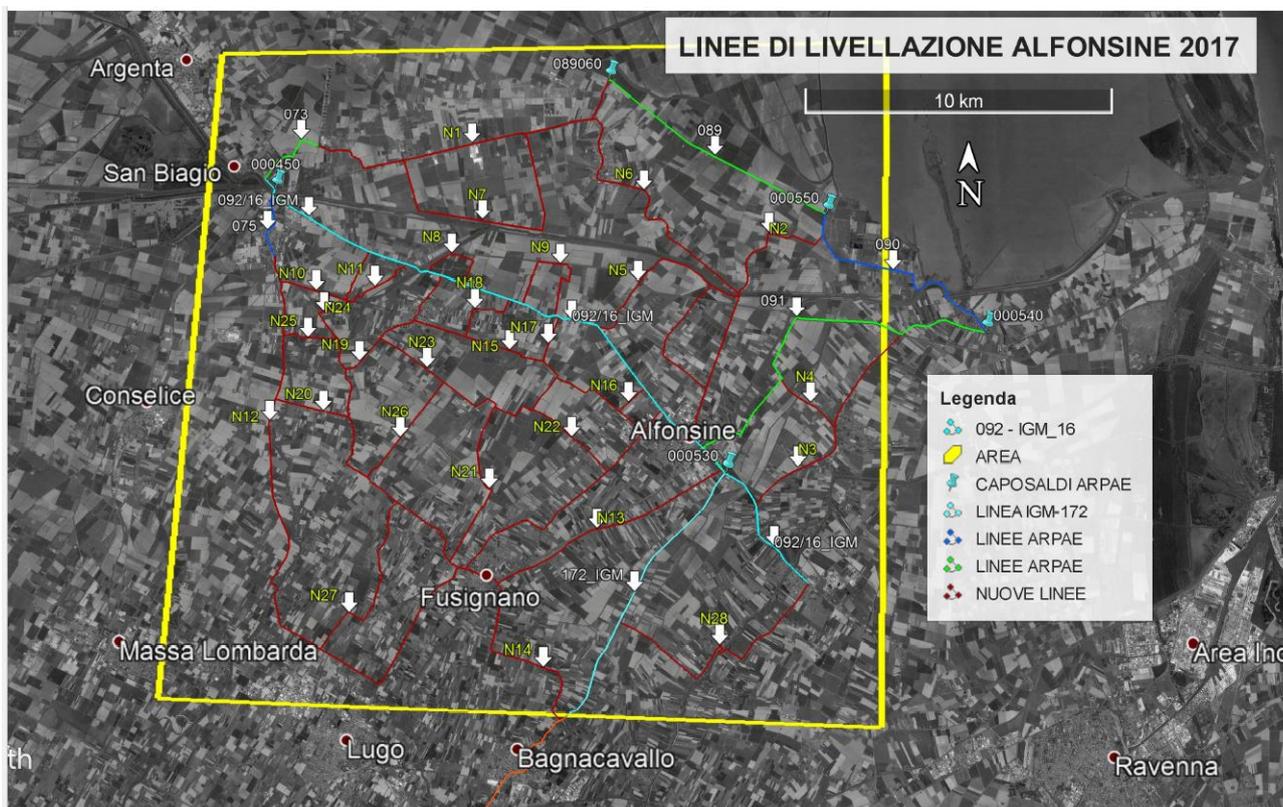


Fig. 5 – Configurazione della rete di livellazione di Alfonsine.



## 6. CONCLUSIONI

In conclusione, le attività di monitoraggio pianificate da Stogit nella Concessione di Alfonsine, in ottemperanza alle indicazioni della citata comunicazione ministeriale e sulla base delle indicazioni fornite da ARPA e dal SGSS della Regione Emilia-Romagna, prevedono:

- un'analisi con interferometria differenziale SAR con aggiornamento dei dati a cadenza annuale su un'area di estensione maggiore rispetto alla Concessione di Stoccaggio;
- la realizzazione, entro l'area del pozzo Alfonsine 15, di una stazione di monitoraggio integrata in cui sarà installata la strumentazione CGPS ed in cui saranno perforati quattro fori che saranno attrezzati con piezometri e assestimetri;
- l'esecuzione di misure di livellazione geometrica dal mezzo in standard di alta precisione entro l'area di interesse.