



## 1. Rete Eni di monitoraggio

Il Piano di monitoraggio per il controllo dei fenomeni geodinamici derivanti dalla coltivazione del giacimento prevederà:

- l'inserimento del campo nella rete Eni di controllo altimetrico della linea di costa antistante il giacimento tramite le seguenti metodologie di rilevamento:
  - misure di livellazione geometrica in alta precisione, con una periodicità del monitoraggio di 3 anni, nel rispetto di quanto riportato a tal proposito nelle "Linee Guida" del DMMMSA: *"..La periodicità del rilievo dipende dall'entità della subsidenza misurata e dovrebbe essere comunque compresa tra 2 e 5 anni.."*;
  - rilievo satellitare GPS in continuo (CGPS) *onshore*;
  - rilievi satellitari SAR con analisi annuale delle immagini acquisite;
- installazione di CGPS sulla piattaforma con rilievo satellitare in continuo;
- relativamente ai rilievi batimetrici di dettaglio con multibeam, eni si impegna ad eseguire un secondo rilievo (considerando come riferimento "0" il rilievo batimetrico di dettaglio già eseguito su tutta l'area di "Clara Complex" nel Febbraio 2008) quando la subsidenza avrà raggiunto, da modello previsionale, un valore superiore o uguale a 10 cm per una zona sufficientemente ampia intorno alle piattaforme di produzione (circa 8 anni); cautelativamente, se le misure CGPS evidenzieranno un'evoluzione più veloce del fenomeno, si potrà anticipare (o, viceversa, ritardare se il fenomeno fosse più lento) il secondo rilievo in relazione ai valori di subsidenza "reali" registrati; nell'eventualità che le misure reali della subsidenza e le revisioni periodiche indichino un andamento del fenomeno diverso da quello previsto, si potranno eseguire rilievi successivi con cadenze da stabilire sempre sulla base delle indicazioni di velocità di subsidenza ottenute dai monitoraggi;
- acquisizione di profili statici di pressione;
- acquisizione dati (logs e prove di permeabilità) per la caratterizzazione del *reservoir* e delle coperture.

In accordo con quanto previsto nelle "Linee Guida" del DMMMSA dell'Università di Padova, sarà effettuato un *follow up* del piano di monitoraggio proposto durante la vita produttiva del giacimento, cosicché il programma originario possa essere calibrato e adattato man mano che nuove informazioni verranno raccolte durante lo sviluppo del campo.



## 2. Rete Eni di monitoraggio con il controllo altimetrico della linea di costa

Ormai da tempo Eni utilizza per il monitoraggio della subsidenza in mare e a terra, tutte le tecniche più avanzate e universalmente riconosciute come le più efficaci per lo studio del fenomeno.

In tale contesto, viene eseguito anche il rilievo della rete di monitoraggio per il controllo altimetrico della linea di costa, che costituirà il punto "zero" precedente l'inizio della coltivazione del giacimento "Elettra".

Attualmente, la rete Eni di monitoraggio della costa prevede diverse metodologie di rilevamento, di seguito illustrate.

1. Una rete di livellazione geometrica in alta precisione, copre, per l'area centro-nord, la dorsale Adriatica da Treviso a Pescara (**fig.1**), comprese le diramazioni del delta del Po, per un totale di 1412 Km. Si tratta del metodo tradizionale e normalmente più usato per controllare le variazioni altimetriche del territorio, in standard di alta precisione dal 2004, i cui dati periodicamente rilevati vengono controllati e certificati da qualificati Enti di certificazione esterni alla Società. La metodologia utilizzata da Eni, tramite i suoi contrattisti, nell'esecuzione del lavoro di livellazione al fine di raggiungere gli obiettivi di precisione e affidabilità nei dati rilevati, viene dettagliata nelle "Specifiche Tecniche per l'Esecuzione di Misure di Livellazione" (**All. 1**).

Il piano di monitoraggio per lo sviluppo del campo prevede misure di livellazione geometrica in alta precisione, con una periodicità del rilievo di 3 anni, nel rispetto di quanto riportato a tal proposito sulle "Linee Guida" del DMMMSA: "..La periodicità del rilievo dipende dall'entità della subsidenza misurata e dovrebbe essere comunque compresa tra 2 e 5 anni...".

2. Rilievo satellitare GPS in continuo (CGPS)

Il rilievo satellitare CGPS (**C**ontinuous **G**lobal **P**ositioning **S**ystem) è attualmente l'unico sistema che consente di monitorare in continuo l'andamento altimetrico nel tempo di strutture *offshore*, e, quindi, l'eventuale subsidenza del fondo mare ove tali strutture siano installate, ma è anche utilizzato *onshore*.

La tecnica CGPS utilizza i segnali di 24 satelliti NAVSTAR (Navigation Satellite with Time and Ranging) che ruotano attorno alla Terra ad altezze di circa 25.000 km, con un periodo orbitale di circa 12 h, trasmettendo continuamente su due frequenze distinte, denominate L1 e L2, sulle quali sono modulate informazioni binarie contenenti tutti i parametri per la determinazione della loro orbita.



## Distretto centro settentrionale

Tali informazioni consentono di determinare con elevata precisione le coordinate (posizione piano-altimetrica) di un punto e, di conseguenza, possono essere utilizzate per monitorare con altrettanta precisione anche i movimenti piano-altimetrici di una determinata struttura rispetto ad una rete di riferimento. Per tale motivo è ormai divenuta prassi comune in campo internazionale monitorare la subsidenza sulle installazioni offshore (es. piattaforme di produzione) con il sistema CGPS.

Nella pratica, il monitoraggio consiste nella ricezione continua dei segnali satellitari sia da parte di un ricevitore posto sulla piattaforma da monitorare, sia, contemporaneamente, da parte di una serie di ricevitori posti su alcune stazioni di riferimento di cui siano note le coordinate assolute con elevata precisione. L'elaborazione dei segnali registrati consente di determinare i movimenti relativi della piattaforma monitorata rispetto alle stazioni di riferimento, rilevandone le velocità di movimento con un'elevata accuratezza, dell'ordine  $\pm 2$  mm/anno.

La rete di monitoraggio CGPS Eni attualmente consta di 60 stazioni, di cui 47 *offshore* e 13 *onshore*, implementate a partire dal 1998.

L'esperienza fatta da Eni con le installazioni CGPS sui campi a gas dell'Adriatico, ha mostrato che per raggiungere tale precisione è, però, necessario che le misure da elaborare siano acquisite in un arco di tempo compreso fra i 12 e i 36 mesi, onde poter adeguatamente filtrare i segnali rilevati dai disturbi casuali ("rumore") che li accompagnano. Si è osservato, infatti, che per piccole velocità di subsidenza (es. qualche millimetro per anno) il rumore può essere di entità uguale o superiore a tale velocità: in queste condizioni è ovviamente necessario elaborare una serie temporale di misure sufficientemente lunga per estrarre dalla serie stessa informazioni con valore statistico significativo.

Quanto sopra è in linea con quanto riportato a tal proposito sulle "Linee Guida" del DMMMSA " *...perché l'informazione finale assuma valore statistico significativo è necessario che i rilevamenti siano effettuati per un periodo non inferiore a 12 mesi*".

L'affidabilità e la precisione della gestione della rete Eni delle stazioni di monitoraggio altimetrico effettuato mediante il metodo CGPS, sia in *onshore* che in *offshore*, sono illustrate dalla specifica tecnica di cui all'**AII. 2**, ove se ne descrivono le apparecchiature, le modalità operative e di funzionamento, di elaborazione dei dati, nonché di documentazione degli stessi.

Come per i dati di livellazioni, anche i dati CGPS vengono controllati e certificati da Istituti qualificati esterni alla Società.

Il piano di monitoraggio prevede il rilievo satellitare GPS in continuo (CGPS) *onshore*; inoltre, in *offshore*, sarà installato un CGPS sulla nuova piattaforma, con rilievo satellitare in continuo.



### 3. Rilievi satellitari SAR

Un'altra tecnica che si è sviluppata nel corso degli ultimi 10 anni per il monitoraggio della subsidenza riguarda l'analisi interferometrica di dati radar da satellite. Questo metodo consente oggi la mappatura dello spostamento della superficie terrestre su aree estese con elevata precisione.

Si tratta di rilievi effettuati tramite sistemi radar che elaborano immagini multi-temporali con tecniche interferometriche e studio dei diffusori permanenti, rendendo possibile ricostruire l'evoluzione temporale della subsidenza anche per periodi passati e su aree estese con precisione millimetrica.

Il *radar ad apertura sintetica* (**S**ynthetic **A**pertura **R**adar) è un sensore attivo, montato a bordo di satelliti, che emette radiazioni elettromagnetiche e registra la potenza del segnale riflesso della superficie calcolando anche il tempo intercorso fra l'emissione e il ritorno del segnale stesso.

Il rilievo SAR, viene usualmente condotto utilizzando i dati rilevati dai satelliti dell'European Space Agency ERS ed ENVISAT e, per aumentare la quantità di informazioni a disposizione, anche le immagini fornite dai satelliti canadesi RADARSAT (**fig. 2**).

La tecnica interferometrica, poiché fornisce spostamenti relativi, rappresenta la migliore soluzione per lo studio di aree *on shore* di vasta dimensione se associata a livellazioni di precisione e/o a rilievi GPS in continuo (**fig. 3**).

Si allega il Manuale d'uso della tecnica "PSInSAR" della Società TRE (**T**ele **R**ilevamento **E**uropa), un gruppo di ricerca che nasce dal Dipartimento di Elettronica e Informatica del Politecnico di Milano, della cui consulenza si serve Eni per l'acquisto e l'interpretazione delle immagini SAR (**All. 3**).

Il piano di monitoraggio SAR prevede l'analisi annuale delle immagini che vengono acquisite dal satellite Radarsat (ca. 16 per anno).



Distretto centro settentrionale

4. Misura della compattazione superficiale tramite assestimetri

Rilievi della compattazione superficiale della subsidenza vengono effettuati installando assestimetri, che misurano la compattazione degli strati superficiali attraverso la fuoriuscita dal terreno di una barra metallica ancorata a fondo pozzo. Tale strumentazione, ovviamente, può essere installata solamente in pozzetti dedicati, ubicati in terraferma.

Gli assestimetri misurano, con precisione del millimetro, la compattazione che ha luogo tra la superficie del suolo e la profondità entro la quale sono compresi gli acquiferi, soggetti normalmente ad un intenso emungimento idrico. Oltre alla misura della componente superficiale - naturale e/o antropica - della subsidenza, l'accoppiamento dell'assestimetro con uno o più piezometri permette il monitoraggio delle variazioni della quota piezometrica nei livelli acquiferi maggiormente emunti.

L'assestimetro fornisce indicazioni locali: per una visione corretta del fenomeno della subsidenza in un quadro regionale è necessario ubicare, in corrispondenza degli assestimetri, capisaldi di livellazione o sistemi di misurazione satellitare (**fig. 4**).

Si allega, al riguardo, la Specifica Tecnica dell'installazione delle ultime tre stazioni assestimetriche lungo la costa medio-adriatica: Rubicone, Fano e Falconara, che ne descrive le caratteristiche, le tecniche di funzionamento e di acquisizione dati (**All. 4**).

Pur potendo escludere ogni impatto sulla stabilità della costa derivante dalla subsidenza prevista, Eni si impegna, in ottemperanza alle prescrizioni del Decreto di Compatibilità Ambientale, a inserire il campo stesso nella propria rete di controllo altimetrico della linea costiera adriatica, nella sezione che si estende da Cervia a Giulianova. Si ricorda che il tratto di costa adriatica più prossimo al campo di Elettra è quello posto in corrispondenza della città di Ancona e dista circa 55 km dal campo stesso. La linea Cervia-Giulianova è, pertanto, più che adeguata in termini di collocazione geografica ed estensione per cogliere eventuali impatti sulla costa derivanti dalla produzione del giacimento di Elettra.

Il monitoraggio altimetrico della linea costiera adriatica, e quindi del tratto Cervia-Giulianova, viene effettuato da Eni utilizzando le migliori tecnologie industriali allo stato dell'arte,

**Le modalità d'impiego di tali tecnologie per il monitoraggio del tratto di costa in oggetto e i risultati ottenuti dal monitoraggio stesso sono stati descritti nel rapporto Eni "Andamento altimetrico lungo la costa adriatica da Cervia a Giulianova, desunto da dati di livellazione Eni e da rilievi satellitari radar SAR", redatto nel 2007 e ufficialmente acquisito dal Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare.**

**La principale conclusione raggiunta in tale documento è che i dati di monitoraggio sulla costa fra Cervia e Giulianova acquisiti sino al 2006 consentono di escludere ogni possibile influenza dei coni di subsidenza generati dalla coltivazione dei giacimenti offshore antistanti tale tratto di costa.**

eni S.p.A.  
divisione exploration & production



Distretto centro settentrionale

Nella **fig. 5** si trovano rappresentati i sistemi di monitoraggio dei fenomeni geodinamici installati lungo la linea di costa e sulle piattaforme offshore nel medio Adriatico.



### 3. Monitoraggio della pressione e della produzione - misure di pressione statica

L'importanza della misura delle pressioni dei fluidi di strato durante la fase produttiva, al fine di confermare i modelli predittivi di subsidenza, viene sottolineata dal documento del gennaio 2007 "Linee guida per lo studio dei fenomeni di subsidenza nell'ambito di progetti di sviluppo sostenibile di campi ad olio o gas" prodotto dal Dipartimento di Metodi e Modelli Matematici per le Scienze Applicate (DMMMSA) dell'Università di Padova: *".. La variazione di pressione indotta nelle formazioni profonde dall'estrazione di idrocarburi è un parametro di fondamentale importanza al fine di valutare la sostenibilità ambientale dello sfruttamento della risorsa naturale: in primis, consente la calibrazione del modello matematico/numerico di produzione che fornisce la forzante ai modelli di previsione della subsidenza; inoltre è indispensabile, assieme alle misure di compattazione in sito, per la caratterizzazione geomeccanica delle formazioni profonde. L'andamento temporale della pressione statica nelle formazioni produttive dovrebbe pertanto essere monitorato in modo sistematico, ..."*.

Eni esegue sistematicamente il monitoraggio della subsidenza tramite l'acquisizione di profili statici di pressione che, per ciascun campo, permettono di verificare il modello di previsione. Il profilo di pressione fornisce indicazione sui gradienti dei fluidi presenti in pozzo provenienti dai livelli eroganti e consente di calcolare la pressione statica della formazione stessa, permettendo di calibrare/validare il modello di giacimento 3D, quindi quello previsionale di subsidenza.

Secondo quanto previsto da Eni nel programma di monitoraggio del giacimento, l'acquisizione di profili statici di pressione in pozzo avverrà con frequenza annuale per i primi 2 anni. Successivamente si valuterà, in base ai risultati ottenuti dal modello previsionale di subsidenza, di diminuire la frequenza di acquisizione dei profili statici a biennale o triennale.

Sono altresì previste, durante la vita produttiva del campo, misure in continuo delle portate di gas e di acqua per avere dati complementari alla validazione dei modelli predittivi



## 4. Rilievi batimetrici

Il sistema di monitoraggio CGPS fornisce informazioni di elevata precisione che, però, sono di natura "puntuale", ovvero riferite esclusivamente al luogo in cui è installato il ricevitore.

Per tale ragione, in alcuni casi, è opportuno integrare le misure fornite dal CGPS con rilievi batimetrici in grado di ricostruire con elevato dettaglio l'andamento morfologico del fondo marino attraverso tecniche DSM (*Digital Surface Model*).

Eni ha acquisito un'ottima esperienza nell'esecuzione di rilievi batimetrici per le aree circostanti i campi a gas dell'Adriatico, ottenendo valori restituiti di profondità del fondo mare con una precisione di  $\pm 5$  cm ca. Pertanto Eni ha pianificato, per un efficace monitoraggio della subsidenza del campo, l'esecuzione dei rilievi batimetrici di dettaglio con multibeam a date diverse per seguire l'evoluzione temporale del fenomeno.

Alla luce del complessivo programma di monitoraggio definito per il giacimento, rispetto al documento sopra citato, sono state opportunamente calibrate le modalità e le frequenze dei rilievi batimetrici previsti:

**1. 1° rilievo base:** già eseguito nel febbraio 2008, su tutta l'area interessata un rilievo batimetrico di dettaglio al tempo "zero", ovvero prima dell'inizio della produzione del campo, per avere una ricostruzione iniziale della morfologia del fondale marino e soprattutto per avere il riferimento al tempo "zero" per i rilievi successivi all'entrata in produzione della piattaforma;

**2. 2° rilievo:** da confrontarsi con il precedente, quando la subsidenza avrà raggiunto un valore superiore o uguale a 10 cm per una zona sufficientemente ampia intorno alle piattaforme di produzione. Il valore di 10 cm consegue dalla necessità di misurare abbassamenti del fondale che siano di entità sicuramente superiore alla precisione della misura batimetria (ca.  $\pm 5$  cm) Per stabilire orientativamente a quale data acquisire questo secondo rilievo sono state esaminate le previsioni di subsidenza riportate nel SIA. Dato che l'area racchiusa dalla linea dei 10 cm di subsidenza prevista dopo circa 8 anni dall'inizio della produzione, sembra essere sufficientemente ampia, si può ipotizzare di eseguire il secondo rilievo non prima di tale data. Il periodo esatto verrà definito in base ai valori di subsidenza reali registrati ed ottenuti in continuo dai CGPS sulle piattaforme e dal monitoraggio in continuo della pressione. Se i dati CGPS mostreranno che il fenomeno della subsidenza evolve secondo la previsione iniziale si potrà procedere come indicato al punto precedente (dopo circa 8 anni); se, al contrario, le misure CGPS evidenzieranno un'evoluzione più veloce del fenomeno, si potrà anticipare (o, viceversa, ritardare se il fenomeno fosse più lento) il secondo rilievo in relazione ai valori di subsidenza "reali" registrati;





**Distretto centro settentrionale**

**3. rilievi successivi:** nell'eventualità che le misure reali della subsidenza e le revisioni periodiche indichino un andamento del fenomeno diverso da quello previsto, si potranno eseguire rilievi successivi con cadenze da stabilire sempre sulla base delle indicazioni di velocità di subsidenza ottenute dai monitoraggi;

**4. revisione e taratura periodica:** i rilievi batimetrici, le misure dei CGPS installati nelle piattaforme e le misure di pressione in pozzo saranno, inoltre, utilizzati, ad integrazione dei dati sul comportamento produttivo del campo, per la revisione e la taratura periodica dei modelli matematici utilizzati per le previsioni di subsidenza.



## 5. Interferenza con campi limitrofi

Per il "Progetto Elettra" tutti i campi che hanno un'interferenza idraulica e/o geomeccanica con il campo "Elettra" sono stati considerati nello studio allegato al S.I.A., anche se la componente di subsidenza dovuta alla coltivazione del campo "Elettra", date le piccole dimensioni del stesso, è da ritenersi non significativa a quelli circostanti al giacimento Clara Complex. Questo è stato confermato dalla valutazione nell'ambito dello stesso documento allegato allo S.I.A. sopra citato "Campi di Clara Complex, Calipso ed Elettra -Modello Elasto-Plastico di Subsidenza – Management Summary" di Agosto 2010, relativo ad un insieme di campi (Clara Nord, Clara Est, Calpurnia, Calipso ed Elettra), quindi ad *un'area vasta* ed effettuato con lo scopo di valutare quantitativamente la subsidenza indotta dalla coltivazione dei giacimenti.