

---

PERMESSO DI RICERCA DI RISORSE  
GEOTERMICHE “MENSANO”  
PROGETTO PRELIMINARE PER LA  
REALIZZAZIONE DI PROSPEZIONE SISMICA A  
RIFLESSIONE

---

*USO: AUTORIZZATIVO/V.I.A.*

---

<i>Rev.</i>	<i>Data</i>	<i>Oggetto</i>	<i>Autore</i>	<i>Rev./Approv.</i>
02				
01				
00	2013, Dic 17	Emissione	I..Guglielmetti	S.I.isi

**Uso aziendale:** questo documento contiene informazioni di proprietà di Magma Energy Italia S.r.l. e può essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. È vietata qualunque forma di riproduzione o divulgazione senza l'esplicito consenso di Magma Energy Italia S.r.l.

**Business Use:** This document contains information belonging solely to Magma Energy Italia S.r.l. and should only be used by the recipient, in relation to the purposes for which it was received. Any form of reproduction or disclosure without the explicit consent of Magma Energy Italia S.r.l. is prohibited.

---

## Indice

<b>1. INTRODUZIONE E FINALITÀ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. SPECIFICHE TECNICHE DELLE INDAGINI DI SISMICA A RIFLESSIONE .....</b>	<b>3</b>
2.1. Principi di Acquisizione .....	3
2.2. Caratteristiche della strumentazione di misura.....	5
2.1. Parametri tecnici di acquisizione .....	7
2.2. Personale impiegato nelle operazioni di campagna.....	7
<b>3. CRITERI DI LOCALIZZAZIONE DEI TRACCIATI SISMICI.....</b>	<b>7</b>
<b>4. PIANO DI LAVORO .....</b>	<b>8</b>
4.1. Descrizione delle attività .....	8
<b>5. UBICAZIONE DEI TRACCIATI SISMICI .....</b>	<b>9</b>
5.1. Linea MEN01 .....	11
5.2. Linea MEN02 .....	12
5.3. Linea MEN03 .....	15
5.4. Linea MEN04 .....	16
5.5. Linea MEN05 .....	18
5.6. Linea MEN06 .....	19
5.7. Linea MEN07 .....	21
<b>6. Relazione Geologica .....</b>	<b>22</b>
6.1. Successione tettono-stratigrafica .....	22
6.1.1. Unità neoautoctone.....	22
6.1.2. Unità alloctone.....	23
6.1.3. Unità autoctone .....	24
6.2. Assetto Strutturale.....	24
<b>7. Cronoprogramma .....</b>	<b>29</b>
<b>8. Computo Metrico Estimativo.....</b>	<b>29</b>

## 1. INTRODUZIONE E FINALITÀ

Il presente documento contiene documentazione progettuale relativa alle prospezioni geofisiche di Sismica a Riflessione in conformità ai programmi lavori relativi al permesso di esplorazione geotermica denominato "Mensano" di cui Magma Energy Italia (nel seguito MEI) è titolare con decreto dirigenziale del 06 giugno 2011 n. 2332.

Nel Decreto Dirigenziale a V.I.A. del 3 Novembre 2010, n. 5291 ( paragrafo 2) e successivo Decreto Dirigenziale Autorizzativo del 6 Giugno 2011, n. 2332 (paragrafo 3a), le attività di prospezione sismica a riflessione, ai fini della loro autorizzazione, dovevano essere oggetto di successiva nuova richiesta di verifica di assoggettabilità, in quanto non era per esse disponibile vera e propria documentazione progettuale.

Nel quadro dell'attività di esplorazione di superficie MEI ha terminato i rilievi geologici, prospezioni geochimiche, prospezioni gravimetriche, prospezioni magnetometriche, prospezioni magnetotelluriche ed ha in programma la realizzazione di una campagna di indagini sismiche a riflessione per un totale di circa 95km nel P.R. Mensano.

L'attività di sismica a riflessione prevista ha come obiettivi la caratterizzazione geologico-strutturale dell'area di indagine e l'identificazione di orizzonti sismici caratterizzati da forti contrasti di impedenza acustica a profondità che possono raggiungere 5-6 sec. twt (10-12km) sia all'interno delle rocce carbonatiche più superficiali del cosiddetto "primo serbatoio" sia delle rocce cristalline del complesso metamorfico che rappresentano il serbatoio profondo del sistema di Larderello-Travale.

## 2. SPECIFICHE TECNICHE DELLE INDAGINI DI SISMICA A RIFLESSIONE

La prospezione sismica a riflessione è una metodologia di indagine geofisica ampiamente applicata nell'esplorazione di risorse naturali (giacimenti di idrocarburi, depositi minerali e serbatoi geotermici) in quanto permette di rilevare con elevato grado di precisione le strutture geologiche presenti nel sottosuolo fino a profondità di alcuni chilometri.

In Toscana, la sismica a riflessione è stata applicata sin dalla metà degli anni settanta per l'identificazione di serbatoi geotermici a profondità superiori a 2000m all'interno delle formazioni metamorfico-cristalline. In tale contesto geologico è importante definire le geometrie delle strutture e le proprietà fisiche delle rocce con lo scopo principale di identificare la presenza di fluidi geotermici.

L'intero Permesso di Ricerca "Mensano" non presenta dati sismici pubblici ad esclusione di una piccola porzione nel margine sud-ovest coperto da sismica 3D acquisita da ENEL e pubblicata da Casini et al (2010). All'interno del permesso di ricerca è stata quindi programmata l'esecuzione di una campagna di sismica a riflessione per un totale di 95 km al fine di completare la conoscenza e la caratterizzazione delle strutture geologiche profonde.

La prospezione sismica richiede l'impiego di tecnologie avanzate che solo poche compagnie a livello europeo possono fornire. Di conseguenza Magma Energy Italia ha avviato una procedura di gara internazionale per l'affidamento delle attività di prospezione che includerà sia l'acquisizione sia l'elaborazione dei dati.

### 2.1. Principi di Acquisizione

La sismica a riflessione si basa sulla propagazione di onde elastiche generate da masse vibranti montate su appositi automezzi (Fig. 1) in grado di immettere nel sottosuolo onde

compressionali (onde P) a frequenza variabile e controllata. Le onde elastiche così generate vengono rilevate da centinaia di sensori (geofoni) posizionati in superficie seguendo percorsi preferibilmente rettilinei di lunghezza di qualche chilometro.



Fig. 1 - Sorgenti Vibroseis in azione e geofoni in fase di collaudo (foto Magma Energy Italia)

Il segnale sismico immesso nel sottosuolo dai camion vibranti viene registrato da geofoni, ossia da sensori capaci di rilevare le onde sismiche anche a frequenze di pochi Hertz e di convertirle in segnali elettrici, che vengono conficcati nel terreno grazie ad una punta di alcuni centimetri. I geofoni sono posti a intervalli regolari e vengono distesi sul suolo lungo stendimenti che possono raggiungere distanze anche di qualche chilometro prima e dopo i punti di vibrazione (Fig. 1). Le stese geofoniche vengono eseguite da squadre di personale che si sposta a piedi sul terreno per centinaia di metri, con i cavi in spalla e con attrezzi manuali per poter realizzare sfalci e potature. Le squadre dispongono di alcuni autoveicoli di appoggio per trasportare i cavi vicino alla zona di posa.

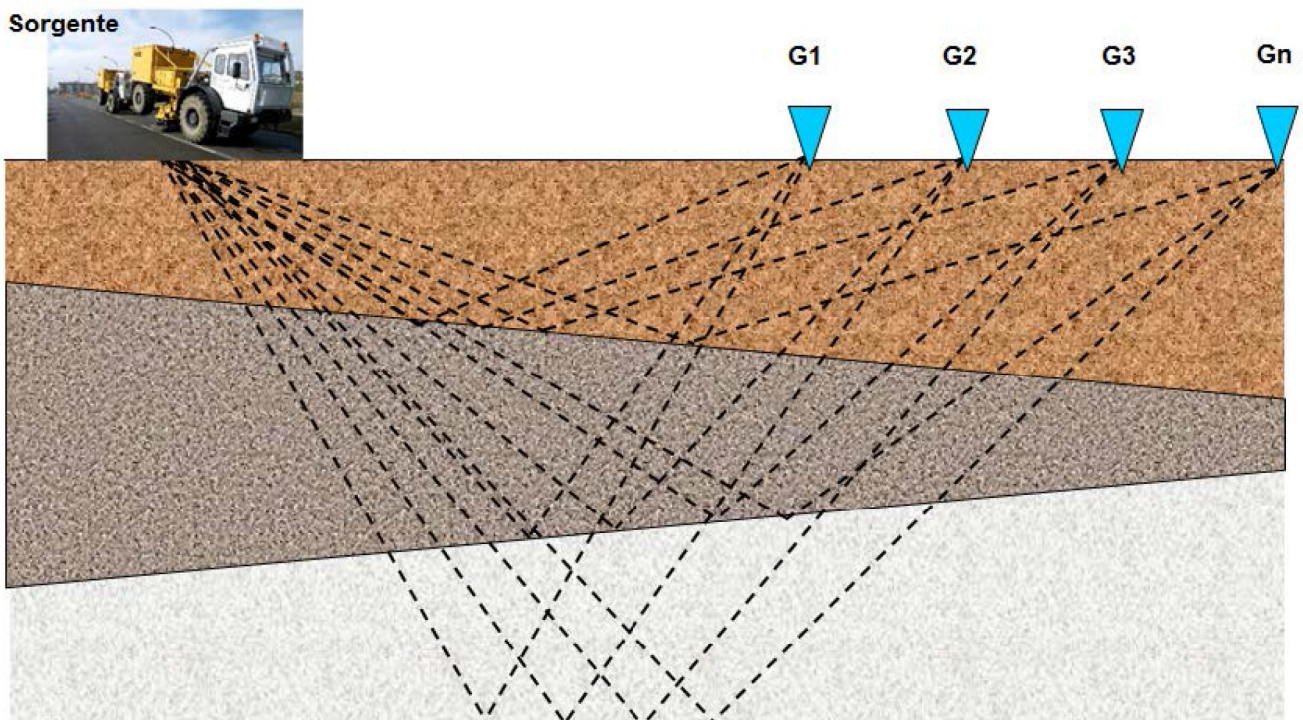


Fig. 2 - Schema semplificato di acquisizione tramite sorgente Vibroseis e stendimenti geofonici

I segnali dei geofoni ricevuti in molteplici punti in superficie collegati ad un sistema di registrazione, vengono elaborati per ottenere immagini del sottosuolo. (Fig. 3)

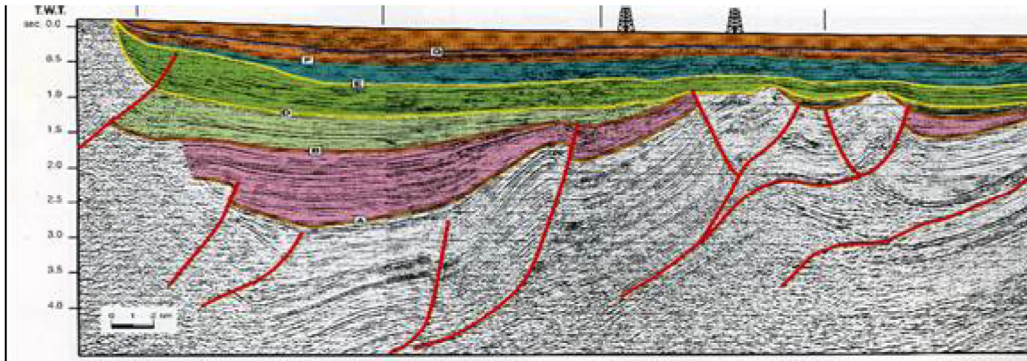


Fig. 3 - Esempio di sezione sismica 2D interpretata

## 2.2. Caratteristiche della strumentazione di misura

La strumentazione impiegata per l'esecuzione delle attività di campagna cosiste in tre tipologie:

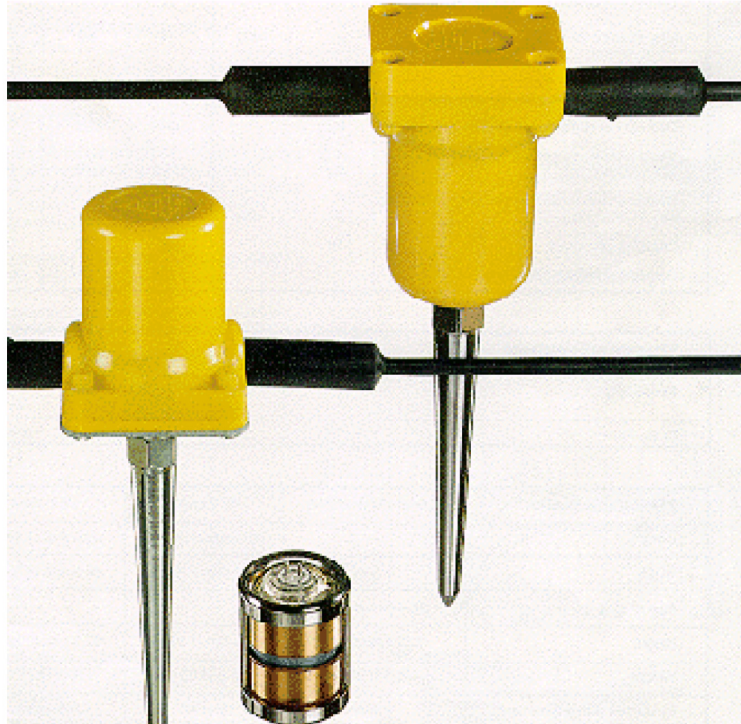
- Sistema di energizzazione
- Sistema di acquisizione
- Sistema di elaborazione dati e controllo qualità

Il sistema di energizzazione è costituito da numero variabile solitamente da 1 a 5 autoveicoli di mezzi tipo Vibroseis muniti di piastra vibrante le cui caratteristiche tecniche caratteristiche di ingombro e di capacità energizzante sono riportate in Tab. 1.

Tab. 1 - Specifiche tecniche mezzi Vibroseis

<b>Lunghezza Massima Veicolo</b>	8.50m
<b>Larghezza Massima Veicolo</b>	2.50m
<b>Altezza Massima Veicolo</b>	3.5m
<b>Peso Veicolo Massimo</b>	Fino a 22 tonnellate
<b>Velocità Massima</b>	20km/h
<b>Forza di picco massima</b>	Fino a 52.000 libbre (23.5 tonnellate)
<b>Energizzazione massima</b>	Fino all'80% della forza di picco

Il sistema di acquisizione cosiste in stendimenti di geofoni che sono dei trasduttori che convertono la velocità delle particelle in segnale elettrico che viene digitalizzato dal sistema di registrazione. I geofoni operano secondo il principio fisico per cui il moto di un conduttore attraverso un campo magnetico genera una corrente elettrico attraverso il conduttore. Un geofono è composto da una bobina mantenuta all'interno di un magnete permanente tramite una molla. Il magnete è in contatto con il suolo, in modo che quando viene raggiunto dalle vibrazioni del suolo, l'inerzia della bobina e l'effetto della molla permettono alla bobina di muoversi rispetto al magnete creando una tensione proporzionale alla velocità del movimento del suolo (Fig. 4).



*Fig. 4 - Esempio di geofono*

In fase di acquisizione il segnale immesso nel suolo dai mezzi Vibroseis viene registrato da ogni punto di ricezione che è costituito da un gruppo di geofoni (solitamente da 12 a 48) e i gruppi di geofoni vengono distesi a distanze definite in fase di progettazione della campagna (20-40 metri) in modo da fornire uno stendimento che può estendersi per diversi chilometri di distanza dai punti di vibrazione.

I segnali registrati dai geofoni vengono inviati ad un centro di controllo di campagna, di solito si tratta di un camion con funzione di laboratorio mobile (Fig. 5) attrezzato di strumentazione software e hardware sia per la gestione delle operazioni di energizzazione sia per il controllo qualità dei segnali registrati che vengono poi inviati al centro di calcolo per le fasi di processing e interpretazione.



*Fig. 5 - Laboratorio mobile*

### 2.3. Parametri tecnici di acquisizione

Per la fase di energizzazione e acquisizione, considerando le condizioni geologiche del sottosuolo alle profondità di interesse i parametri di acquisizione definiti in fase di progettazione preliminare sono riportati in Tab. 2

*Tab. 2 – Possibili parametri di energizzazione*

<b>Lunghezza percorsi energizzazione</b>	95 km circa
<b>Tipologia di fondo stradale</b>	Asfalto, sterrato, tratturi su campi non arati
<b>Durata delle vibrazioni</b>	16±4 secondi
<b>Numero ripetizione delle vibrate per punto di vibrazione (VP)</b>	4-8 suddivise in n. 2÷4 posizioni diverse per ogni VP
<b>Distanza tra punti di vibrazione (VPI)</b>	60m
<b>Distanza tra gruppi di geofoni (RGI)</b>	20m
<b>Frequenze di vibrazione</b>	8-100Hz

### 2.4. Personale impiegato nelle operazioni di campagna

Il Personale minimo necessario per l'acquisizione sarà costituito da

- 1 Party Chief e Responsabile Sicurezza
- 1 Field Operation Manager e Controllo Qualità
- 1 Assistente del Field manager
- 1 Responsabile dell'Acquisizione
- 1 Assistente Responsabile dell'Acquisizione
- 1 Tecnico Vibroseis
- 1 Operatore di Vibratore
- Squadra per vibratori (4+2 autisti)
- 15 Addetti alla stesura dei geofoni nella porzione frontale della linea
- 10 Operatori per le operazioni nella porzione posteriore della linea

## 3. CRITERI DI LOCALIZZAZIONE DEI TRACCIATI SISMICI

La progettazione dei tracciati sismici deve rispondere sia a esigenze di carattere geologico-minerario al fine di caratterizzare la meglio le strutture geologiche profonde sia alla necessità di individuare i percorsi più favorevoli anche dal punto di vista ambientale. Di conseguenza la scelta della collocazione dei tracciati è stata effettuata secondo i seguenti criteri, che mantengono comunque la loro validità nell'ambito dell'intero progetto sismico a riflessione:

- Le energizzazioni con Vibroseis saranno realizzate prevalentemente su percorsi transitabili, ossia su viabilità ordinaria o comunque su piste, strade bianche, carrarecce o tratturi idonei al passaggio dei mezzi senza richiedere interventi di sistemazione e allargamento della sede stradale, apertura di nuovi passaggi,

realizzazione di nuovi accessi e abbattimento di vegetazione. Tutte le attività su strada sono assistite da movieri. Solo in minima parte potranno essere utilizzati tracciati campestri, analogamente ai trattori agricoli senza precludere il regolare svolgimento dell'attività agricola. Le piastre vibranti verranno munite di apposito rivestimento in gomma per assicurare nulli effetti sul pavimento stradale (Fig. 6);



Fig. 6 - Dettaglio sulla piastra vibrante con protezione in gomma per prevenire danni al suolo stradale (foto Magma Energy Italia)

- Ciascuna energizzazione sarà effettuata ad una distanza cautelativa da qualsiasi struttura costruttiva nel soprassuolo, e, in via precauzionale, da tutti i ritrovamenti e punti di interesse archeologici, sebbene si sia ampiamente dimostrato che l'effetto sulle strutture nel sottosuolo sia del tutto trascurabile. Tale distanza sarà determinata a seguito di prove vibrometriche eseguite prima dell'inizio della campagna. La Compagnia di Servizio provvederà a identificare i punti di energizzazione nel rispetto dei precedenti icriteri, nell'ambito degli itinerari riportati nelle mappe allegate al presente Studio.
- Gli stendimenti geofonici verranno sviluppati lungo tracciati il più rettilinei possibile mantenendo una distanza massima dai punti di energizzazione di 250m circa.
- Al fine di migliorare l'illuminazione del sottosuolo ai bordi del permesso di ricerca si intende estendere esclusivamente gli stendimenti geofonici al di fuori del limite amministrativo del permesso per una distanza massima di circa 4000m rispetto al punto estremo di energizzazione della linea.

## 4. PIANO DI LAVORO

### 4.1. Descrizione delle attività

La campagna di sismica a riflessione è suddivisa in 3 fasi principali:

#### i. Ricognizione sul campo, dettaglio dei percorsi e Permitting

La fase di ricognizione del campo è già stata svolta dallo staff di Magma Energy Italia al fine di definire i possibili percorsi di energizzazione e acquisizione. Tali percorsi saranno revisionati dalla compagnia di servizio incaricata dell'esecuzione del permitting e delle indagini al fine di verificarne l'effettiva accessibilità, le distanze di sicurezza rispetto a centri abitati, abitazioni sparse ed infrastrutture (ivi comprese sogenti e opere di captazione idrica) e la fattibilità esecutiva dell'acquisizione lungo i percorsi proposti.



La fase di permitting verrà svolta dal contrattista 2-3 mesi prima della campagna al fine di ottenere l'accessibilità sia alle zone pubbliche (strade, viabilità secondaria, ecc) sia private (es. campi e terreni agricoli). Durante la fase di acquisizione il contrattista provvederà, impiegando opportuno personale (2-3 persone) ad assicurare la regolare esecuzione della campagna prevenendo possibili interruzioni e inconvenienti legati a possibili reclami.

#### **ii. Acquisizione, Tracciamento e Rilievo topografico**

La fase di acquisizione in senso stretto verrà associata ad una fase di rilievo topografico per definire con precisione centimetrica, anche in quota, le posizioni dei punti di energizzazione e acquisizione. Per assicurare la massima precisione delle misure verranno utilizzati strumenti GPS e stazioni totali. Le posizioni di energizzazione dovranno tenere in considerazione le opportune distanze di sicurezza ad esempio da edifici, siti di interesse culturale e archeologico, linee elettriche, metanodotti, serbatoi d'acqua, canali di irrigazione, pozzi, linee telefoniche, rete fognaria, cimiteri. Questa fase potrà richiedere l'impiego di 2-3 persone (addetto all'acquisizione geodetica, assistente, operaio per il posizionamento preliminare di marker sul terreno – es. bandierine o picchetti) e prevederà l'esecuzione di opportuni sopralluoghi con tecnici dei Soggetti gestori.

Alla fine del rilievo topografico il contrattista fornirà al committente:

- Dati di controllo qualità
- Report dell'attività svolta giornaliera con descrizione dei punti acquisiti
- Posizioni registrate in formato X,Y,Z and Lat, Long, Elevazione in formato digitale
- Report Finale dettagliato comprendente tutte le informazioni tecniche di acquisizione ed elaborazione del dato GPS acquisito.

#### **iii. Ripristino ambientale**

La possibilità di danneggiamenti alle strutture è totalmente da escludere, grazie alle modalità di esecuzione e alle precauzioni adottate.

La possibilità di danneggiare le pavimentazioni stradali o i fondi su massicciata a sterro + parimenti inesistente. Solo in caso di punti di vibrazione su terreni soffici (es. campi fangosi) è ipotizzabile la creazione di solchi e avvallamenti. Nel caso si verificassero danni di quest'ultimo tipo conseguenti all'attività di acquisizione il contrattista provvederà, già durante le fasi di acquisizione, alle opportune azioni di ripristino restituendo allo stato iniziale dei luoghi i tracciati a seguito del passaggio dei mezzi vibranti, dopo aver rimosso il materiale in precedenza posizionato sul terreno (picchetti, geofoni, ecc).

## **5. UBICAZIONE DEI TRACCIATI SISMICI**

I tracciati di energizzazione sismica attraverseranno i comuni di Castelnuovo Val di Cecina, Radicondoli, Casole d'Elsa, Colle Val d'Elsa e Volterra. Di seguito si riporta la carta dell'ubicazione su ortofotocarta dei tracciati di energizzazione (Fig. 7)

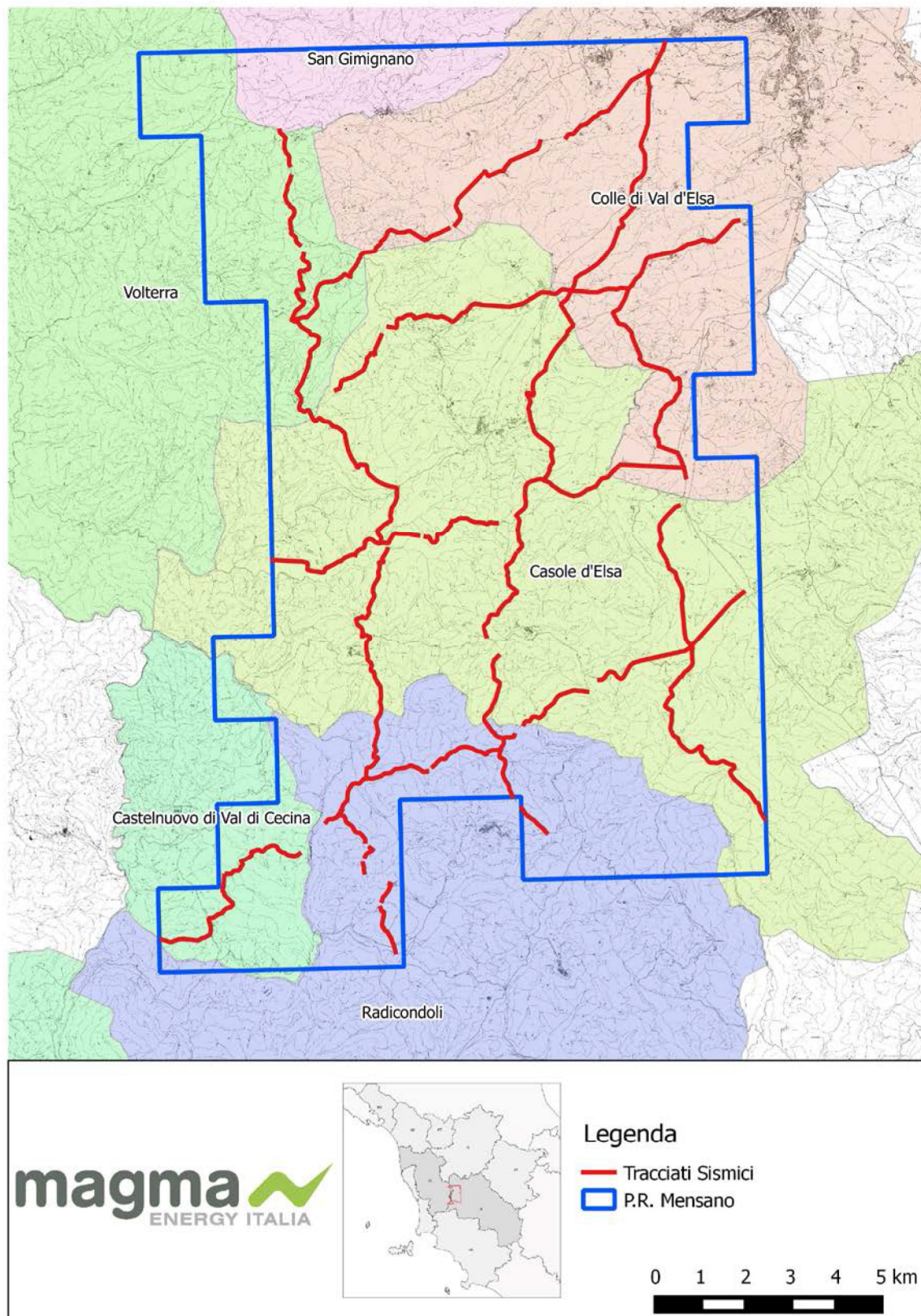
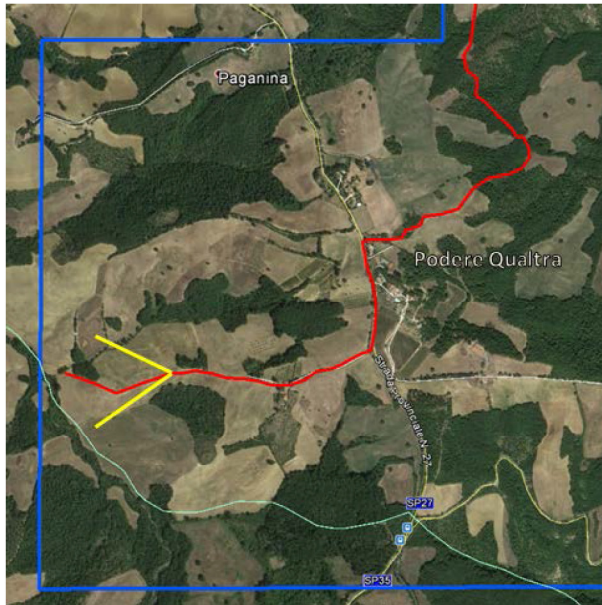


Fig. 7 - Ubicazione dei tracciati sismici nel permesso Mensano

### 5.1. Linea MEN01

La linea MEN01 da progetto si estende per circa 16km, inizia ad ovest del Podere Qualtra (Fig. 8 - A), nel Comune di Castelnuovo Val di Cecina, si sviluppa, lungo una strada sterrata in direzione ENE, passando lungo il Fosso Vetrialla (Fig. 8 - B) e fino al ricongiungimento con la Strada Provinciale delle Galleraie (Fig. 8 - C) da cui continua su strada asfaltata fino a P. Salvatellona-Caseificio della Suvera punto finale della linea (Fig. 8 - D) nel Comune di Casole d'Elsa.

A



B



C



D

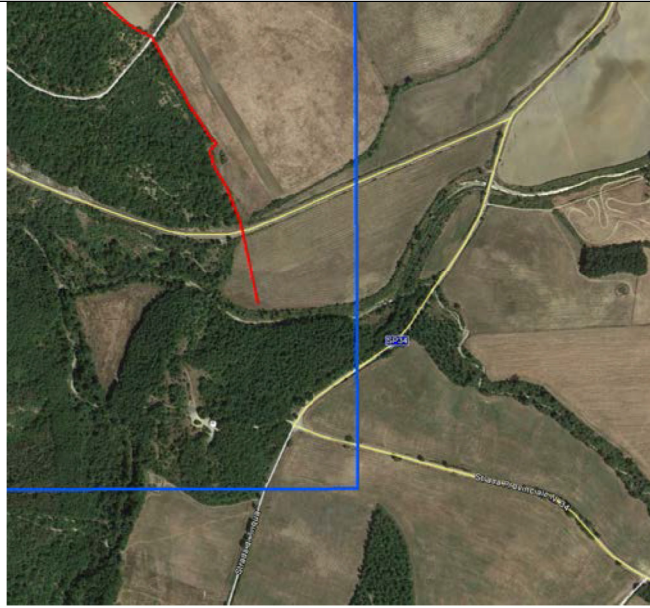


Fig. 8 - Dettagli dell'ubicazione della linea MEN01

## 5.2. Linea MEN02

La linea MEN02 da progetto si estende per circa 20km, inizia a sud nella zona bivio di Anqua tra la Strada di Anqua e la SP34 (Fig. 9 - A), nel Comune di Radicondoli, si sviluppa in direzione Nord, lungo una strada bianca verso il Fiume Cecina e in seguito, lungo la Strada do Gatteresi, verso l'abitato di Monteguidi dove si ricongiunge con la la SP29 (Fig. 9 - B). Passato l'abitato di Monteguidi il percorso seguirà la Strada Vecchia da Monteguidi a Casole d'Elsa per poi dirigersi verso la Località di Ponsano a Nord della quale i tracciati si immette nella SP52 (Fig. 9 - C) e prosegue su strada asfaltata fino alla Località Montemiccioli, all'incrocio con la SS68, punto finale della linea (Fig. 9 - D).

A



B



C



D



Fig. 9 – Dettagli dell'ubicazione della linea MEN02

### 5.3. Linea MEN03

La linea MEN03 da progetto si estende per circa 10 km, inizia nella zona del Piano delle Sellate – Piano di Panicale (Fig. 10 - A), nel Comune di Casole d'Elsa, si sviluppa, lungo una strada bianca in direzione Est fino al ricongiungimento con la SP28 (Fig. 10 - B) in Località il Poggione da cui continua su strada asfaltata al punto finale della linea all'incrocio tra la SP27 e la SS541 (Fig. 10 - C).

A



B



C



Fig. 10 – Dettagli dell'ubicazione della linea MEN03

#### 5.4. Linea MEN04

La linea MEN04 da progetto si estende per circa 19km, inizia a Sud in prossimità dell'incrocio tra la SP34 a la strada di Pennanino nel Comune di Radicondoli (Fig. 11- A). Il tracciato sismico si sviluppa in direzione Nord lungo strade bianche fino all'incrocio tra la SP29 e la SP28 (Fig. 11- B) lungo la quale si sviluppa fino all'incrocio con la SP27. Dopo un tratto di circa 1500m su strada bianca scelto per evitare di passare con i mezzi nelle vicinanze dell'abitato di Casole d'Elsa il tracciato si unisce alla SP27 fino all'incrocio con la SP74 che viene percorsa per circa 1000m fino al bivio per Rufena (Fig. 11- C), dove è stato scelto di percorrere i tratturi lungo i campi al fine di evitare il passaggio del segmento della SP27 tra la zona industriale di Cavallano e Quartaia. Questa scelta permette di evitare di arrecare disturbi al gasdotto che corre lungo questa porzione di SP27. In Località Quartaia il tracciato riprende la SP27 fino a fine tracciato poco prima di arrivare alla Località Le Grazie, (Fig. 11- D).

A





B



C



D



Fig. 11 – Dettagli dell'ubicazione della linea MEN04

### 5.5. Linea MEN05

La linea MEN05 si estende in direzione Ovest-Est per circa 10km, inizia nella zona del Podere Cambruna (Fig. 12 - A), nel Comune di Casole d'Elsa. Il tracciato si sviluppa, lungo una strada bianca in direzione Est fino all'incrocio con al SP27 (Fig. 12 - B) che viene attraversata per seguire una strada bianca fino all'abitato di Cavallano. In Località il Piano il tracciato si immette per meno di 1km sulla SP27 per poi proseguire lungo i tratturi fino al ricongiungimento con la SP74 (Fig. 12 - C) che viene percorsa fino al punto finale della linea in Località Mensanello (Fig. 12 - D).

A



B



C



D

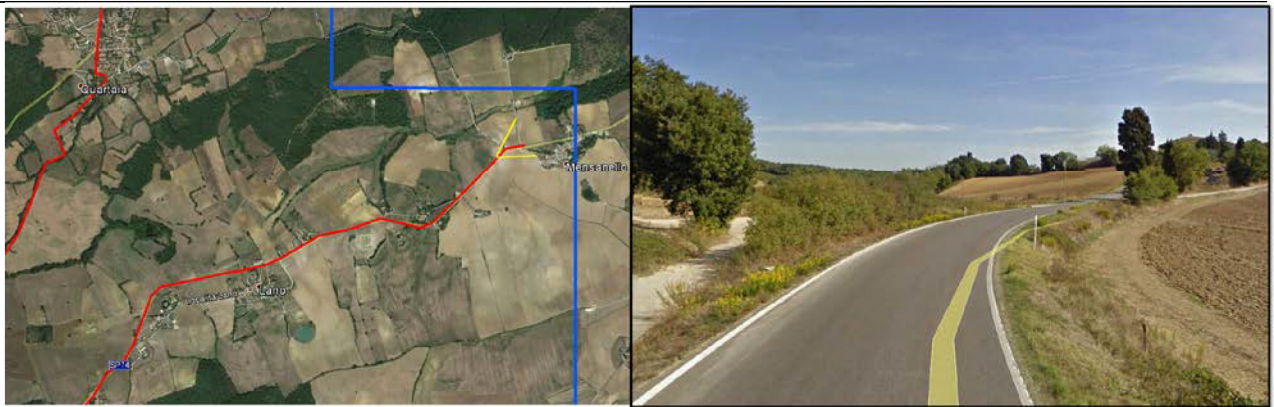
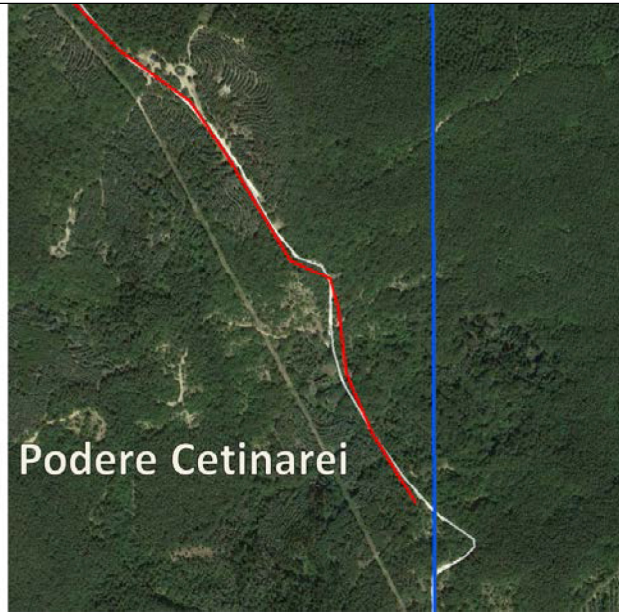


Fig. 12 – Dettagli dell'ubicazione della linea MEN05

## 5.6. Linea MEN06

La linea MEN06 da progetto si estende per circa 12km, inizia a Sud in prossimità del Podere Cetinarei (Fig. 13 - A) e prosegue su strada bianca verso Nord, attraversa la Strada Provinciale delle Galleraie e sempre su strada bianca giunge alla Località Molino d'Elsa dove viene imboccata la SS541 (Fig. 13 - B). Circa 400m dopo l'incrocio tra la SP541 e la SP27 il tracciato imbecca una strada bianca che prosegue fino alla Località Paurano dove la linea sismica svolta verso sinistra per percorrere per circa 1000m i trattuti nei campi fino alle vicinanze del Podere Porciglia. Qui il tracciato prosegue verso Nord in direzione del P.gio di Caio e, all'incrocio con la SP74, prosegue per circa 500m fino alla Località Le Corti, punto di fine linea (Fig. 13 - C).

A



B



C

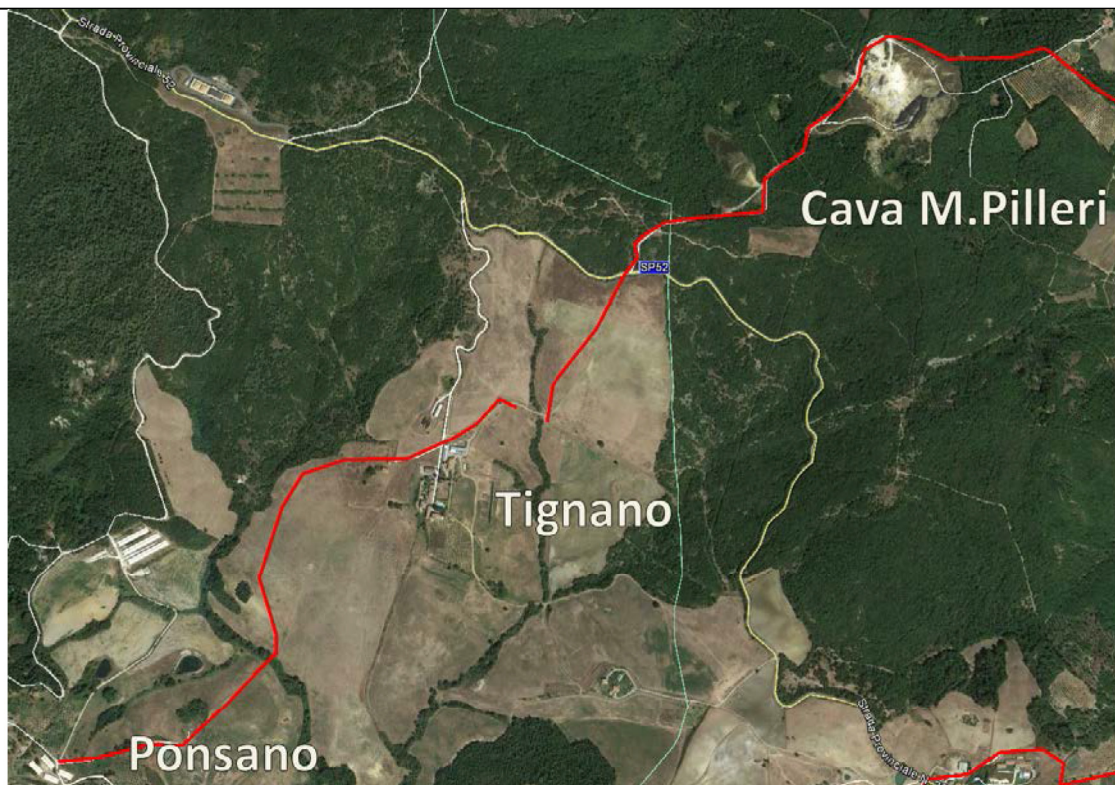


Fig. 13 - Dettagli dell'ubicazione della linea MEN06

### 5.7. Linea MEN07

La linea MEN07 si estende per circa 10km, inizia nella zona di Ponsano (Fig. 14 - A), e svilupposi lungo una strada bianca in direzione ENE attraversa la tenuta di Tignano, la zona della cava di M. Pilleri, costeggia su strada asfaltata le Località di Buliciano e Badia a Coneo fino all'intersezione con la SP27, punto terminale del tracciato (Fig. 14 - B).

A



B



Fig. 14 – Dettagli dell'ubicazione della linea MEN07

## 6. Relazione Geologica

Da un punto di vista geologico, il P.R. Mensano presenta una estrema varietà di rocce affioranti afferenti alla copertura Neogenica Mio-Pliocenica, alle Unità Liguri, ai carbonati Triassici della Falda Toscana e alle Unità del Verrucano. Il P.R. Mensano risulta essere attraversato da due bacini neogenici orientati NW-SE: Il bacino di Anqua, nel settore Sud-Ovest del Permesso e il Bacino di Volterra-Radicondoli nel settore centrale. Questi due bacini separano due pilastri strutturali nella zona del Poggio-Scapernata-Montecastelli Pisano dove affiorano le rocce afferenti alle Unità Liguri del Complesso Ofiolitifero delle Argille a Palombini e dell'Unità di Monteverdi e nella zona Nord-Est dove un alto strutturale porta in affioramento le rocce anidritiche Triassiche della Falda Toscana nel settore più settentrionale e dell'Unità Ofiolitifera nel settore Centrale.

### 6.1. Successione tettono-stratigrafica

Le formazioni geologiche presenti nel permesso Mensano debbono essere classificate all'interno delle loro rispettive unità tettoniche, che dall'alto verso il basso di una sequenza ideale possono essere suddivise in tre principali complessi:

- *Unità neoautoctone*, comprendenti i sedimenti post-orogenici di età Mio-Pliocenica e i sedimenti recenti;
- *Unità alloctone*, comprendenti le varie formazioni liguri, sub-liguri e toscane, con età variabili dal Trias al Paleocene, sovrascorse sul substrato e accavallatesi l'una all'altra durante l'orogenesi appenninica, ivi incluso il cosiddetto "complesso a scaglie";
- *Unità autoctone*, comprendenti le rocce metamorfiche Paleozoiche, considerate come il Complesso originario della pila tettonica.

Le informazioni geologiche di seguito esposte sono sintetizzate nella carta geologica in Fig. 12, realizzata grazie alla collaborazione tra Magma Energy Italia ed il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Siena, che ha permesso di mettere in luce elementi strutturali mai riconosciuti in precedenza.

#### 6.1.1. Unità neoautoctone

Sono rappresentate da sedimenti neogenici, costituiti prevalentemente da livelli argillosi, nonché da conglomerati, calcari detritico-organogeni e sabbie più o meno argillose. Tali

formazioni poggiano in discordanza sul substrato pre-neogenico. Si tratta di sedimenti continentali, di transizione e marini attribuiti al Miocene Superiore – Pliocene Medio. I depositi del Miocene si sono depositati in depressioni strutturali che affiorano nella parte centrale e sud-occidentale del permesso.

#### 6.1.2. Unità alloctone

Il substrato pre-neogenico affiorante nell'area di interesse è costituito esclusivamente dalle Unità Liguri ed in particolare, dall'alto verso il basso verso l'alto dalle Unità Ofolitifere (Unità Ofolitifera Superiore ed Unità Ofolitifera Inferiore) e dall'Unità di Monteverdi Marittimo (c.d. Flysch ad elmintoidi; Lazzarotto, 1967<sup>1</sup>; Lazzarotto, Mazzanti, 1978<sup>2</sup> - Fig. 12).

La successione dell'Unità Ofolitifera è caratterizzata, a partire dal basso, da Ofoliti (peridotiti, gabbri e serpentiniti) di età compresa tra il Giurassico medio ed il Giurassico superiore. Questa formazione affiora su una buona parte del permesso ad esclusione del bordo meridionale ed orientale. In oltre in profondità le Ofoliti sono state attraversate per uno spessore di circa 700 m nel pozzo S.Dalmazio 3. Si tratta di rocce magmatiche appartenenti al Complesso oceanico del Dominio Ligure che si trovano inglobate come scaglie tettoniche o come olistrostromi nei litotipi argillitici, siltitici e marnosi della *Formazione delle Argille a Palombini*. Quest'ultima formazione raggiunge spessori intorno a 250 metri, si trova al tetto delle ofoliti ed è riferita al Cretaceo inferiore. Essa costituisce il substrato della successione neogenica nella gran parte dell'area in studio e laddove non poggia sulle ofoliti, poggia sui litotipi della Unità di Monteverdi Marittimo-Lanciaia (es. Pozzo Montecastelli 1). Al di sopra di questa unità è presente una successione torbiditico-pelagica nota come *Formazione di Lanciaia*, riferita al Paleocene.

Il flysch di Monteverdi Marittimo affiora esclusivamente al di fuori del settore sud-orientale ed è rappresentato da una successione di età cretaco-paleocenica costituita da calcari marnosi, calcari, marne e siltiti micacee a cui si intercalano livelli arenacei. Lo spessore massimo di questa formazione è valutabile in almeno 700 metri.

Le Unità Liguri di Monteverdi sono state perforate nell'area di interesse per uno spessore compreso tra 360 m (pozzo S.Dalmazio 1) e 650 m (pozzo Montecastelli 1). Esse giacciono direttamente sulla successione basale della Falda Toscana, rappresentata dalla successione evaporitica delle *Anidriti di Burano* di età riferita al Carnico-Norico (Trias medio p.p. superiore) e caratterizzata da una intensa deformazione e brecciatura. Tale formazione rappresenta il "primo serbatoio" del sistema geotermico di Larderello-Travale ed è costituita da banchi di anidriti, parzialmente o totalmente gessificate, cui si alternano strati di dolomie grigio-scuere e brecce ad elementi di dolomia in cemento gessoso-anidritico. Questi litotipi, se esposti ad agenti esogeni, per processi di dissoluzione degli elementi carbonatico-solfatici, sono trasformate in una roccia carbonatica per lo più brecciata e con tipica struttura a cellette, detta Calcare Cavernoso. Lo spessore della successione evaporitica di Burano attraversata nei sondaggi è molto variabile (da pochi metri ad un centinaio di metri), in quanto questo orizzonte è stato interessato da molteplici eventi tettonici.

I dati di sondaggi profondi che hanno raggiunto il Complesso metamorfico nella zona della Centrale Sesta, quali i Sesta\_6, indicano, inoltre, che la successione evaporitica di Burano è spesso coinvolta nel *Complesso a Scaglie Tettoniche*. Con questo termine viene inteso un cospicuo spessore formato dall'alternanza di corpi di forma lenticolare e dimensioni assai variabili, appartenenti alle Filladi del Carbonifero-Permiano, al Gruppo del Verrucano

<sup>1</sup> Lazzarotto, A., (1967). *Geologia della zona compresa fra l'alta Valle del Fiume Cornia ed il Torrente Pavone (Prov. di Pisa e Grosseto)*. Mem. Soc. Geol. Ital. 6, 151- 197.

<sup>2</sup> Lazzarotto, A. & Mazzanti, R. (1978). *Geologia dell'alta Val di Cecina*. Boll. Soc. Geol. Ital. 95, 1365- 1487.

(Trias inferiore e medio) ed alla Formazione delle Anidriti di Burano (Trias superiore); questo complesso lito-tettonico non affiora ed è riconosciuto solo nei sondaggi geotermici.

### 6.1.3. Unità autoctone

Al di sotto del Complesso a Scaglie giacciono le formazioni del *Complesso delle Filladi* e del *Complesso dei Micascisti* appartenenti all'Unità di Monticiano-Roccastrada. Queste formazioni costituiscono il Complesso autoctono della regione e rappresentano il serbatoio geotermico obbiettivo di perforazione.

Il complesso delle Filladi, che può raggiungere uno spessore di oltre 1000 metri, è composto da formazioni triassico-paleozoiche. Cuttings di sondaggi profondi eseguiti nell'area di Travale-Radicondoli hanno mostrato una variegata composizione litologica di tale complesso, sintetizzabile in 4 associazioni litologiche-petrografiche (Elter&Pandeli, 1994<sup>3</sup>): i) Breccie ad elementi dolomitici immersi in un legante anidritico. Talvolta sono presenti filladi sericitiche grigie e grigio-verdi; ii) Alternanza di litotipi carbonatici, filladici e anidritici; iii) Filladi, filladi quarzose e metarenarie grafitose; iv) Filladi quarzose, metarenarie/metagrovacche cloritiche, sporadicamente intercalate a livelli carbonatici, grafitosi, ricristallizzati.

Il complesso dei Micascisti è costituito da micascisti albitico-granatiferi, di colore grigio verde e grigio bruno, con associate lenti di quarziti grigie e, raramente, anfiboliti. Nell'area di Larderello-Travale sono stati effettuati sondaggi che hanno attraversato questo Complesso per uno spessore variabile tra 500 e 1000m.

Al di sotto di queste due Unità giace l'*Unità degli Gneiss*, raggiunta da pozzi profondi nella zona di Sesta (pozzi Sesta6bis e Sesta6bisA) ad una profondità di circa 3600-3800 m. Questa Unità risulta formata da orto- e para- gneiss leucocratici e livelli anfibolitici.

## 6.2. Assetto Strutturale

La zona di Mensano riflette l'evoluzione tettono-sedimentaria neogenico-quadernaria nota in tutta la Toscana meridionale che si è sviluppata attraverso:

- una segmentazione laterale delle Unità Liguri, della Falda Toscana e del Gruppo del Verrucano con diretta sovrapposizione, in tutta l'area, delle Unità Liguri sulla Formazione anidritica di Burano/Calcere cavernoso e la locale laminazione tettonica del Gruppo del Verrucano;
- sviluppo di sistemi di faglie dirette che hanno dislocato tutte le precedenti strutture, così come i depositi delle coltri sedimentarie mio-plioceniche.

Queste strutture hanno direzione principale NO-SE e mostrano giaciture con inclinazioni prevalenti verso NE. La loro attività ha permesso lo sviluppo di nuove depressioni strutturali, in parte sovrapposte al Bacino di Radicondoli, in corrispondenza delle quali si sono depositati i sedimenti marini del Pliocene; a queste strutture si accompagnano le coeve dislocazioni transtensive a orientazione antiappenninica.

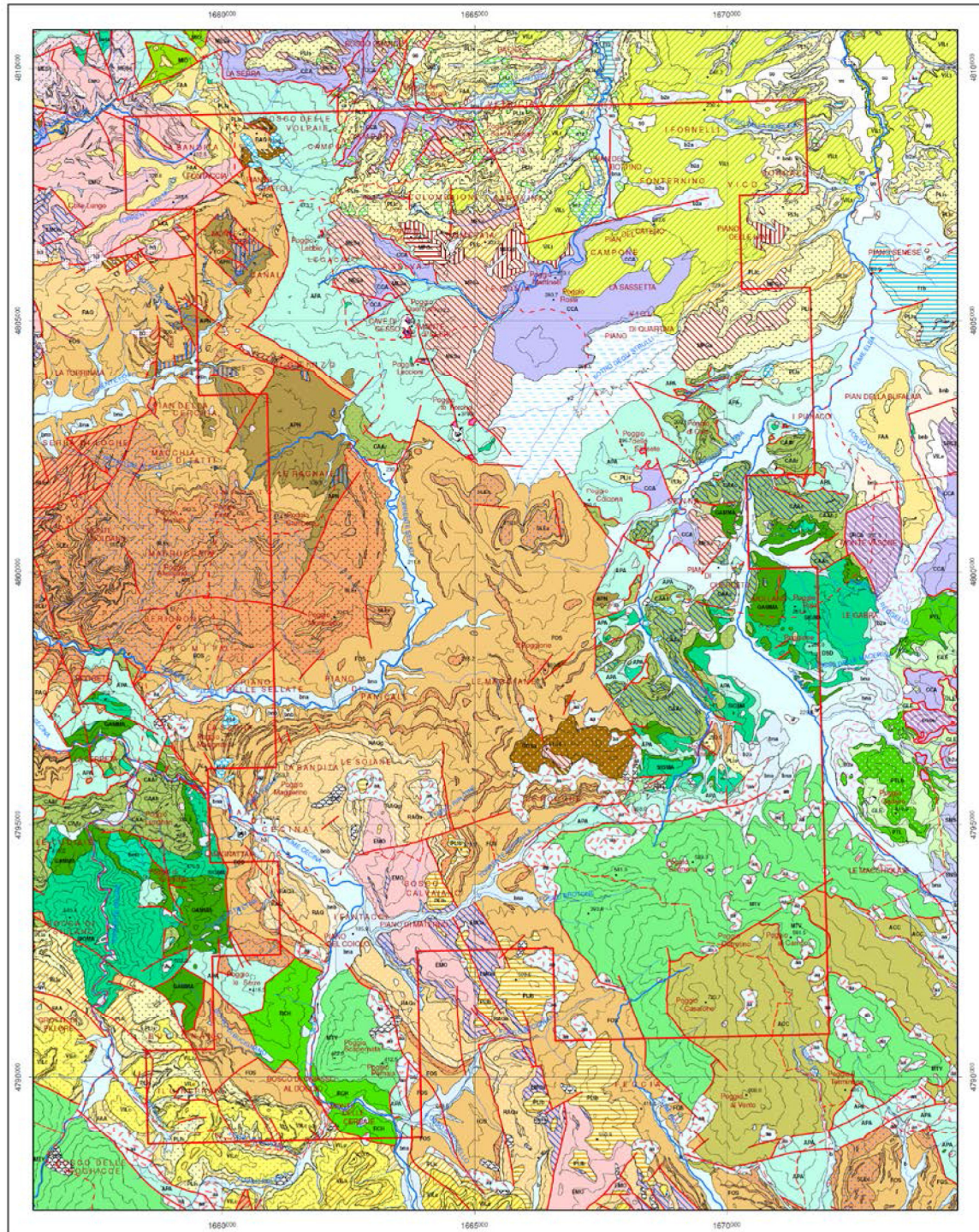
Le principali strutture orientate SO-NE predominano nella zona compresa fra Montecastelli e Campiglia (abitato a O di Colle Val d'Elsa). Si tratta di zone di deformazione a prevalente rigetto orizzontale, che interrompono (o meno spesso sono interrotte da) faglie a prevalente componente diretta e in direzione NO-SE.

Considerando il periodo di attività (Pliocene-Attuale) e i rapporti di reciproca intersezione, si deduce che faglie dirette e trascorrenti sono riferibili a un comune evento deformativo, e

<sup>3</sup> Elter F.M., Pandeli E., (1991). *Structural features of the metamorphic Paleozoic-Triassic sequence in deep geothermal drillings of the Mt Amiata area (SE Tuscany, Italy)*. Boll. Soc. Geol. It., 110, 511-522.



che le strutture antiappenniniche sono zone di trasferimento associate alle strutture dirette. Entrambi i sistemi dislocano tutte le strutture precedenti, in particolare lungo le zone in cui le fasi distensive mioceniche hanno portato al progressivo smembramento dei corpi tettonici più competenti del substrato, quali il Gruppo del Verrucano e/o la Successione Metamorfica Toscana affiorante nella Montagnola Senese.



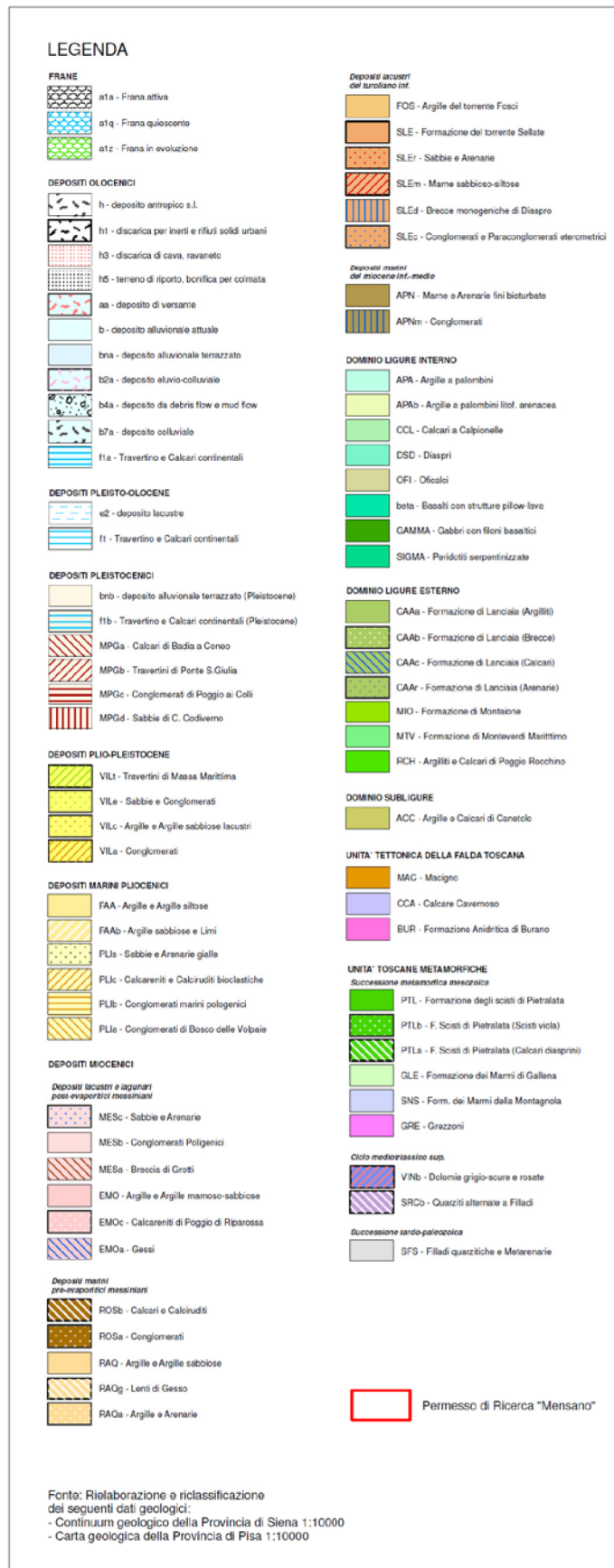


Fig. 15 – Carta Geologica dell'area interessata dal permesso "Mensano" e zone limitrofe (mappa originale di Magma Energy Italia, inedita).

Le linee sismiche da progetto attraverseranno le seguenti formazioni:

- **Successione neogenico-quadernaria**

Al di sotto dei sedimenti alluvionali e degli accumuli detritici di versante si riconoscono le seguenti unità stratigrafico-deposizionali.

- Formazione di Chiusdino: E' costituita da livelli lentiformi di conglomerati e ciottoli poligenici di forma arrotondata, con diametro compreso fra 2 e 15 cm. All'interno del conglomerato si intercalano lenti di sabbie argillose. La della Formazione di Chiusdino poggia discordante sulle unità sottostanti e il suo spessore è nell'ordine dei 25-30 metri. L'età è riferita al Villafranchiano inferiore.
- Formazione di San Dalmazio: Comprende due membri tra loro eteropici: il Calcere di Pomarance e le Sabbie di Casetta. Questa formazione poggia con contatto discordante e trasgressivo sulle Argille Azzurre, rappresentando quindi i sedimenti del secondo ciclo marino del Pliocene. Il Calcere di Pomarance è costituito da calcari detritico-organogeni ben cementati e di colore giallastro-ocraceo, alla cui base spesso si rinviene un livello conglomeratico costituito da elementi arenacei e calcarei. Le Sabbie di Casetta sono invece calcarifere con una frazione pelitica abbondante, di colore giallo scuro-marrone e con numerosi macrofossili. Lo spessore osservato dell'intera formazione è nell'ordine di 200 metri. L'età è riferita al Piacenziano (Pliocene medio).
- Argille Azzurre: Si tratta di argille siltose e marnose di colore grigio-bluastro con intercalazioni di sabbie, una successione interpretata come testimone del primo ciclo marino del Pliocene. Lo spessore massimo osservato nell'area di studio è di circa 60 metri. L'età è riferita allo Zancleano-Piacenziano (Pliocene inferiore.-medio).
- Argille e Gessi del Fiume Era Morta: Nell'area di studio la litofacies dominante è argilloso-sabbiosa. Si tratta di argille grigio-nocciola, argille sabbiose e siltiti marnose di colore da grigio nocciola a giallo oca. Sono presenti frustoli carboniosi e lenti e livelli di ciottoli (dal diametro intorno al centimetro) di natura prevalentemente calcarea, immersi in matrice arenaceo-sabbiosa. Poggia in continuità di sedimentazione sulle Argille del Torrente Sellate e costituisce la base su cui si depositarono le Argille Azzurre del Pliocene inferiore. Lo spessore massimo raggiunto da questa formazione, nell'area di studio, è intorno a qualche decina di metri. L'età delle argille e gessi del Fiume Era Morta è riferita al Turoliano superiore (Messiniano superiore).
- Argille del Torrente Fosci: Si tratta di argille di colore grigio piombo e grigio nocciola, siltose, con sottili intercalazioni di calcari marnosi e di piccoli livelli di lignite. Lo spessore massimo osservato è nell'ordine dei 300 metri. Poggia al di sopra Formazione del Torrente Sellate, ma può anche essere laterale ad essa con passaggi eteropici. L'età è riferita al Turoliano inferiore (Tortoniano superiore- Messiniano inferiore).
- Formazione del Torrente Sellate: Areniti e siltiti poco cementate di colore da giallo oca a grigio e conglomerati clasto-sostenuti derivanti da formazioni appartenenti alle Liguridi. Lo spessore della formazione, nell'area in esame

può raggiungere i 50 metri. Nella regione considerata questa formazione rappresenta la base del ciclo sedimentario del Miocene e poggia discordante sul substrato costituito dalle Liguridi. L'età è riferita al Turoliano inferiore (Tortoniano superiore- Messiniano inferiore).

- **Unità ofiolitifera delle Argille a Palombini**

Si tratta di una unità tettono-stratigrafica appartenente al Dominio Ligure interno. Essa costituisce il substrato della successione neogenica nella gran parte dell'area in studio e poggia sui litotipi della Unità di Monteverdi Marittimo-Lanciaia.

- Formazione delle Argille a palombini: Argilliti, siltiti e marne di colore grigio scuro o marrone, nella parte stratigraficamente più alta prevalenti siltiti ed areniti quarzo-feldspatiche. A questi litotipi si alternano livelli di tipici calcari silicei grigio piombo in strati di potenza variabile da pochi decimetri fino al metro. La formazione raggiunge spessori intorno a 250 metri ed è riferita al Cretaceo inferiore.
- Gabbri, Basalti e Serpentiniti: Si tratta di rocce magmatiche appartenenti al basamento oceanico del Dominio Ligure ed attribuite al Giurassico. Queste rocce si trovano inglobate nei litotipi della Formazione delle Argille a palombini come scaglie tettoniche o come olistrostromi.

- **Unità di Monteverdi Marittimo-Lanciaia**

È costituita dalla Formazione di Monteverdi Marittimo e da quella delle Argilliti e Calcari di Poggio Rocchino.

- Formazione di Monteverdi Marittimo: Alternanze assai variabili di calcareniti, arenarie calcarifere e marne, in generale la componente marnosa è la più cospicua; lo spessore massimo di questa formazione è valutabile in almeno 400 metri. Essa è attribuita all'intervallo Cretaceo superiore-Paleocene inferiore.
- Argilliti e Calcari di Poggio Rocchino: Si tratta di argilliti varicolori manganesifere e, subordinatamente, di calcari marnosi, marne e calcareniti. Raggiunge lo spessore di 300 metri ed è attribuita all'Albiano-Cenomaniano.

## 7. Cronoprogramma

Le attività previste per l'esecuzione della campagna di sismica a riflessione nel P.R. Mensano copriranno un arco temporale complessivo di 4 mesi. La fase di permitting inizierà due mesi prima dell'arrivo del personale e delle attrezzature per la fase di acquisizione e proseguirà durante tutta l'acquisizione al fine di assicurare la corretta esecuzione delle operazioni di campagna senza interruzioni. La fase di acquisizione durerà circa un mese e verrà seguita dalla fase di Ripristino ambientale la dove necessario. Il cronoprogramma delle attività di campagna previste è riportato in Tab. 3

*Tab. 3 – Cronoprogramma per la campagna di sismica a riflessione nel P.R. MENSANO*

<b>Sismica a Riflessione P.R. MENSANO</b>	Mese 1	Mese 2	Mese 3	Mese 4
Permitting				
Picchettamento Topografico				
Acquisizione				
Ripristino ambientale				

## 8. Computo Metrico Estimativo

Il computo metrico estimativo delle attività di campagna previste è riportato in Tab. 4

*Tab. 4 – Computo metrico estimativo per la campagna di sismica a riflessione nel P.R. MENSANO*

<b>Attività</b>	<b>Quantità</b>	<b>U.M.</b>	<b>Prezzo unit.</b>	<b>Costo</b>
Trasporto Attrezzature e Personale	1	a corpo	50000	€ 50 000
Permitting	95	km	600	€ 57 000
Picchettamento Topografico	95	km	2000	€ 190 000
Acquisizione	95	km	6000	€ 570 000
Ripristino Ambientale	1	a corpo	10000	€ 10 000
<b>TOTALE</b>				<b>€ 877 000</b>