

PERMESSO PER LA RICERCA DI RISORSE GEOTERMICHE
“Montalcino”

RELAZIONE TECNICO – MINERARIA
DI PROGETTO

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 2 |
| 1.1 | <i>L'AREA DEL PERMESSO DI RICERCA</i> | 2 |
| 1.2 | <i>MOTIVAZIONI DELLA RICHIESTA E CARATTERISTICHE DEL PROGETTO GEOTERMICO</i> | 3 |
| 1.3 | <i>CARATTERISTICHE DEL PROGRAMMA DI LAVORO, TEMPI E COSTI</i> | 5 |
| 1.4 | <i>COMPUTO ESTIMATIVO PER LA REMISSIONE IN PRISTINO DELLE AREE AL TERMINE DEI LAVORI</i> | 6 |
| 1.4.1 | <i>Costi delle Remissione in Pristino delle Aree</i> | 6 |
| 2 | DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ | 7 |
| 2.1 | <i>OBIETTIVI PRIMARI DELL'ESPLORAZIONE NELL'AREA IN ISTANZA</i> | 7 |
| 2.2 | <i>MODELLO GEOTERMICO DELL'AREA DEL PERMESSO DI RICERCA</i> | 7 |
| 2.3 | <i>ESPLORAZIONE DI SUPERFICIE MEDIANTE PROSPEZIONI GEOFISICHE</i> | 9 |
| 2.3.1 | <i>Programma delle Prospezioni Geofisiche</i> | 9 |
| 2.3.2 | <i>Prospezione Magnetotellurica</i> | 12 |
| 2.3.2.1 | <i>Ubicazione dei Sondaggi</i> | 13 |
| 2.3.3 | <i>Prospezione Geoelettrica</i> | 14 |
| 2.3.4 | <i>Prospezione Sismica</i> | 15 |
| 2.3.4.1 | <i>Ubicazione dei Profili</i> | 16 |
| 2.3.4.2 | <i>Descrizione delle Attività</i> | 16 |
| 2.3.5 | <i>Rilievi Termometrici</i> | 22 |
| 2.3.5.1 | <i>Ubicazione del Pozzetto</i> | 22 |
| 2.3.5.2 | <i>Descrizione delle Attività</i> | 23 |
| 2.4 | <i>STIMA DELLE INTERFERENZE</i> | 30 |
| 2.4.1 | <i>Atmosfera</i> | 30 |
| 2.4.2 | <i>Ambiente Idrico</i> | 31 |
| 2.4.3 | <i>Suolo e Sottosuolo</i> | 32 |
| 2.4.4 | <i>Vegetazione, Flora e Fauna</i> | 32 |
| 2.4.5 | <i>Rumore</i> | 32 |
| 2.4.6 | <i>Paesaggio</i> | 34 |
| 2.4.7 | <i>Vibrazioni</i> | 34 |
| 2.4.8 | <i>Traffico</i> | 34 |
| 2.4.9 | <i>Salute</i> | 34 |
| | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI | 36 |

1 INTRODUZIONE

La presente Relazione Tecnica – Mineraria di Progetto riguarda il Permesso di Ricerca di risorse geotermiche denominato “Montalcino”, ricadente nel territorio della Provincia di Grosseto e della Provincia di Siena (Regione Toscana), e contiene la descrizione delle operazioni e le caratteristiche tecniche dei lavori che si intende eseguire nell’area dell’istanza.

1.1 L’AREA DEL PERMESSO DI RICERCA

L’area del Permesso di Ricerca (di superficie pari a circa 191,3 km²) interessa il territorio provinciale di Siena, in particolare il Comune di Montalcino, e quello di Grosseto, in particolare i comuni di Arcidosso, Castel del Piano e Cinigiano, (si veda *Figura 1.1a*).

Tabella 1.1a *Territori Comunali Interessati dall’Area del Permesso di Ricerca*

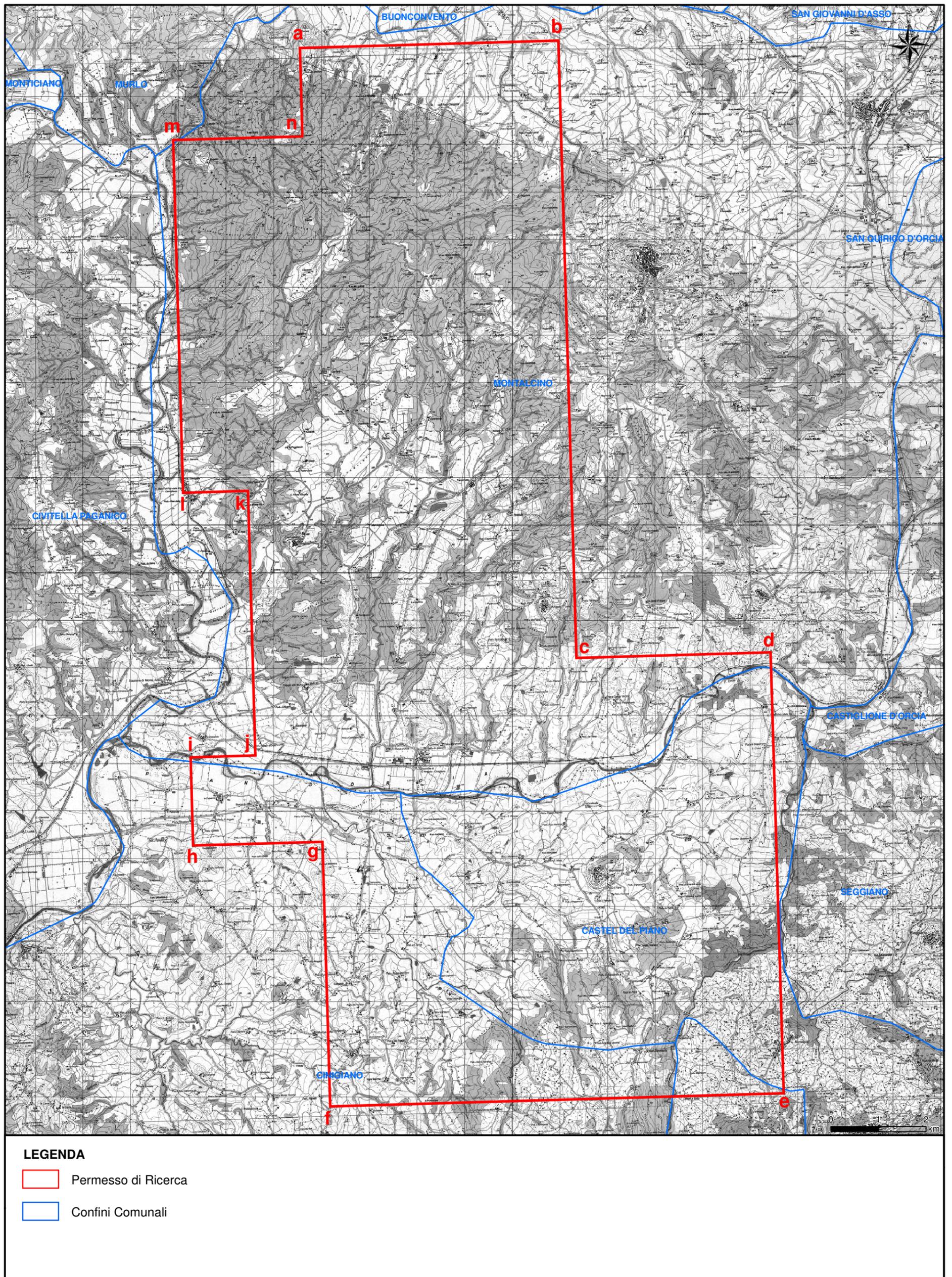
| Comune | Provincia | Superficie Interessata (km ²) | % del Permesso |
|-------------------------|-----------|---|----------------|
| Montalcino | Siena | 119,8 | 63 |
| Arcidosso | Grosseto | 2,0 | 1 |
| Castel del Piano | Grosseto | 42,9 | 22 |
| Cinigiano | Grosseto | 26,6 | 14 |

La perimetrazione dell’area del Permesso di Ricerca individuata risponde ai requisiti richiesti dall’art. 9 comma 2 del D.P.R. 27/05/1991, n.395, secondo i quali la distanza tra i vertici estremi del Permesso non deve essere superiore a quattro volte la lunghezza media dell’area, intesa come altezza del rettangolo equivalente avente per base tale distanza. In particolare la distanza massima tra i vertici risulta pari a circa 24 km, valore minore di quattro volte la lunghezza media dell’area pari a 4 x 8 km.

L’area del Permesso è posta in una zona collinare, caratterizzata da quote variabili da 100 m s.l.m., in corrispondenza delle principali pianure fluviali, fino a circa 600 m s.l.m., a nord, in prossimità di Poggio La Croce (561 m s.l.m), e a sud, in sinistra del Fiume Orcia.

La dorsale morfologica, ad andamento nord ovest – sud est, presente nella parte centro settentrionale del Permesso, risulta delimitata a sud dal corso del Fiume Orcia e, ad ovest, dal corso del fiume Ombrone: tale zona è caratterizzata da quote massime di poco superiori ai 500 m s.l.m..

Figura 1.1a Perimetrazione Area del Permesso di Ricerca



Nella parte meridionale del Permesso, in sinistra del Fiume Orcia, le quote riprendono a salire fino a raggiungere valori prossimi ai 600 m s.l.m..

Come detto, le zone con quote minori si sviluppano in corrispondenza delle principali pianure fluviali, dunque lungo il corso del Fiume Ombrone ed il corso del Fiume Orcia, e risultano generalmente prossime ai 100 m s.l.m..

L'area del Permesso di Ricerca è delimitata da una linea continua che congiunge i vertici, le cui coordinate geografiche (riferite a Monte Mario – Roma), sono riportate nella seguente *Tabella 1.1b* (riferite a Monte Mario – Roma).

Tabella 1.1b *Coordinate dei Vertici dell'Area del Permesso di Ricerca (Monte Mario – Roma)*

| Coordinate Vertici (Monte Mario – Roma) | | |
|---|-------------|------------|
| ID | Longitudine | Latitudine |
| a | 1°03'00" | 43°06'00" |
| b | 0°59'00" | 43°06'00" |
| c | 0°59'00" | 42°59'00" |
| d | 0°56'00" | 42°59'00" |
| e | 0°56'00" | 42°54'00" |
| f | 1°03'00" | 42°54'00" |
| g | 1°03'00" | 42°57'00" |
| h | 1°05'00" | 42°57'00" |
| i | 1°05'00" | 42°58'00" |
| j | 1°04'00" | 42°58'00" |
| k | 1°04'00" | 43°01'00" |
| l | 1°05'00" | 43°01'00" |
| m | 1°05'00" | 43°05'00" |
| n | 1°03'00" | 43°05'00" |

1.2

MOTIVAZIONI DELLA RICHIESTA E CARATTERISTICHE DEL PROGETTO GEOTERMICO

Il progetto nasce dalla considerazione che l'area in oggetto, alla luce dei numerosi lavori pubblicati riguardanti la geologia e la geotermia della Toscana meridionale, presenta, nella parte centrale, caratteristiche geologiche favorevoli alla coltivazione della risorsa geotermica, con temperature attese del fluido, al tetto del potenziale serbatoio geotermico, maggiori di 100°C, a partire da una profondità di 1.000 – 1.200 m dal piano campagna.

La zona in oggetto risulta infatti caratterizzata, nella parte centrale, da un'anomalia geotermica positiva (gradiente geotermico >75°C/km, flusso di calore 100-150 mW/m²), in presenza di un favorevole assetto geologico strutturale del sottosuolo, che deve tuttavia essere indagato con esplorazioni di superficie, prima della perforazione dei pozzi esplorativi.

L'eventuale risorsa geotermica, alla luce dei miglioramenti dei rendimenti recentemente ottenuti dai costruttori di impianti a fluido intermedio (Ciclo Rankine) permettono la produzione di energia elettrica con l'estrazione di calore dal fluido geotermico e la successiva reiniezione a costi accettabili.

L'idea che sottende il presente progetto è pertanto quella di identificare i siti potenzialmente adatti ad uno sfruttamento delle risorse geotermiche (fluidi geotermici utilizzabili a scopi industriali), perforare pozzi produttivi a profondità comprese tra 1.000 e 1.800 m, con l'obiettivo di reperire acqua calda con temperature di almeno 100 - 150°C, sfruttare il calore del fluido in un ciclo Rankine e reiniettare il fluido raffreddato di nuovo nel sottosuolo attraverso pozzi di reiniezione.

In questa fase non è possibile classificare la risorsa geotermica presente nell'area del Permesso, in accordo all'art. 1 del recente D. Lgs. n.22 del 11/02/2010 in quanto, ovviamente non ne sono note le caratteristiche chimico fisiche, che potranno essere individuate solo dopo le perforazioni profonde; pertanto lo schema sopra riportato deve considerarsi come l'esito più probabile, alla luce delle attuali conoscenze bibliografiche disponibili.

È per questo motivo che la presente richiesta mira ad accrescere tali conoscenze attraverso prospezioni geofisiche, prima dell'eventuale proposta di perforazione di uno o più pozzi esplorativi, i cui esiti potranno determinare, in modo più dettagliato, le caratteristiche di un eventuale progetto di sviluppo geotermico.

L'eventuale perforazione di uno o più pozzi esplorativi profondi sarà quindi oggetto di una nuova istanza di autorizzazione, predisposta anche alla luce degli esiti delle attività descritte nel presente documento.

L'area individuata interessa il territorio della Provincia di Siena, in particolare il Comune di Montalcino, e quello della Provincia di Grosseto, in particolare i Comuni di Arcidosso, Castel del Piano e Cinigiano.

L'intero progetto si suppone pertanto articolato nelle seguenti fasi:

- acquisire il Permesso di Ricerca, denominato "Montalcino", per avviare le attività di prospezione geotermica di superficie (questa procedura);
- avvio della procedura di autorizzazione per pozzi esplorativi;
- acquisizione della successiva Concessione di coltivazione per la produzione di energia elettrica con sistemi innovativi non tradizionali e senza emissioni in atmosfera (verosimilmente gruppi binari da 1 MW, per la potenza totale necessaria).

1.3

CARATTERISTICHE DEL PROGRAMMA DI LAVORO, TEMPI E COSTI

Il Proponente intende svolgere nell'area dell'istanza di Permesso di Ricerca denominata "Montalcino" un programma esplorativo per l'individuazione e la coltivazione di un serbatoio geotermico con fluidi orientativamente di temperatura compresa tra 100 - 150°C, ipotizzabile alla profondità di circa 1.000 – 1.800 m, costituito dalle rocce prevalentemente calcaree delle Formazioni del Dominio Toscano.

La preliminare profondità e termalità del potenziale serbatoio geotermico sarà valutata attraverso tecniche di esplorazione superficiale (prospezioni magnetotellurica, geoelettrica, sismica e prospezione di gradiente geotermico); queste prospezioni permetteranno di individuare le aree più idonee per i pozzi di ricerca di fluidi geotermici.

Sulla base dei dati bibliografici geologici e geofisici del sottosuolo è stato possibile delimitare l'area del Permesso di Ricerca, tenendo conto dei vincoli paesaggistici, morfologici e logistici esistenti.

Nell'ambito del Permesso di Ricerca verrà quindi svolto un programma che si articolerà come segue:

- approfondimento delle conoscenze bibliografiche, per acquisire ulteriori dettagli riguardo la geologia, la geofisica e la geochimica dell'area;
- *fase di prospezione*, con lo scopo di migliorare le conoscenze termico – strutturali del substrato, consistente nell'esecuzione di:
 - una prospezione magnetotellurica (circa 120 sondaggi MT);
 - una prospezione geoelettrica integrativa (circa 70 SEV);
 - una prospezione sismica con l'esecuzione di due profili della lunghezza totale presunta di circa 30 km;
 - la perforazione di un pozzetti termometrico (profondità massima 400 m) per la misura del gradiente termico verticale; le attività sono meglio descritte nel successivo *Capitolo 2*;
- successivamente, ed in funzione dei risultati delle prospezioni, verrà redatto un programma di ulteriori lavori (che saranno sottoposti ad una nuova procedura autorizzativa), per la perforazione dei pozzi esplorativi nei siti più favorevoli, per l'esistenza della risorsa, e più idonei, sulla base dei vincoli ambientali e logistici.

Sulla base del *Programma Lavori*, di cui la presente relazione costituisce allegato, si ritiene di completare i lavori del Permesso di Ricerca in circa 2 anni, a partire dalla data di ottenimento del Permesso stesso.

Il *costo dei lavori* previsti, nel presente *Programma Lavori* relativo alle prospezioni sopra indicate ammonta a circa 1.300.000 euro.

Scelta dei Contrattisti

Oltre a quanto già previsto dalla legislazione vigente in materia di tutela ambientale e prevenzione degli infortuni sul lavoro, si ritiene opportuno sottolineare che, per uniformarsi ad una attenta politica ambientale e al fine di salvaguardare la propria immagine, GeSto Italia Srl indirizzerà la scelta dei fornitori di servizi verso aziende con comprovata esperienza nel settore geotermico e che abbiano dimostrato una particolare sensibilità verso le problematiche ambientali con l'introduzione di particolari tecniche e procedure. In particolare si prevede la possibilità di utilizzare le competenze delle strutture di ricerca eventualmente presenti nel territorio.

Tali procedure, alle quali tutto il personale tecnico si deve attenere, devono avere come scopo primario la riduzione al minimo dell'impatto ambientale e garantire la sicurezza sul lavoro del personale addetto entro standard riconosciuti.

1.4 COMPUTO ESTIMATIVO PER LA REMISSIONE IN PRISTINO DELLE AREE AL TERMINE DEI LAVORI

I lavori di prospezione previsti sono caratterizzati da infrastrutture di dimensioni modeste e di semplice costituzione, oltre che da limitata occupazione di suolo.

Le caratteristiche sopra esposte consentono di asserire che, al termine delle attività minerarie relative alle prospezione indicate, gli interventi necessari per il ripristino dei luoghi di lavoro saranno di entità limitata, di tipologia non complessa e consentiranno di pervenire ad un rilascio dell'area nelle condizioni originarie.

1.4.1 Costi delle Remissione in Pristino delle Aree

I costi di eventuali ripristini sono compresi in quelli indicati per le prospezioni illustrate.

2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ

2.1 OBIETTIVI PRIMARI DELL'ESPLORAZIONE NELL'AREA IN ISTANZA

Come ricordato nell'*Introduzione*, il principale obiettivo minerario che si intende perseguire per l'area del Permesso di Ricerca denominato "Montalcino", è avviare l'attività di accertamento della risorsa geotermica.

La zona risulta caratterizzata da una anomalia geotermica positiva, in presenza di un assetto geologico strutturale del sottosuolo che deve essere indagato con esplorazioni di superficie, prima della perforazione dei pozzi esplorativi.

L'attività prevista nell'ambito del Permesso di Ricerca, con lo scopo di migliorare le conoscenze indirette del substrato, prevederà quindi una fase di prospezione, consistente nell'esecuzione, nelle aree individuate, di una prospezione magnetotellurica e di una prospezione geoelettrica, che serviranno ad ubicare due profili sismici, nel modo più adeguato rispetto alle strutture profonde identificate; tali prospezioni saranno inoltre utilizzate per la migliore ubicazione di un pozzetto geotermico (per la misura del gradiente di temperatura). Questo pozzetto di studio termico del sottosuolo sarà comunque perforato nelle aree logisticamente accessibili utilizzando la viabilità principale e secondaria esistenti e libere da qualsiasi vincolo ambientale.

2.2 MODELLO GEOTERMICO DELL'AREA DEL PERMESSO DI RICERCA

La successione verticale delle unità tettonico stratigrafiche permette di confermare anche nell'area in esame il modello geotermico regionale:

- l'insieme dei sedimenti neogenici e delle Unità Liguri, prevalentemente con litologie argillose ed argillitiche, assicura una efficace copertura impermeabile al sottostante potenziale serbatoio geotermico, costituito dalle rocce delle Formazioni del Dominio Toscano, le quali possono essere presenti in modo disomogeneo e discontinuo per gli effetti della complessa tettonica subita;
- i dati di gradiente geotermico e flusso di calore relativi ai pozzetti geotermici perforati in corrispondenza ed in prossimità dell'area in esame hanno permesso di individuare una intensa anomalia geotermica, che pare avere la massima intensità tra i rilievi presenti a sud di Montalcino, in una vasta area in sinistra del Fiume Ombrone, prima della confluenza del Fiume Orcia ($> 75^{\circ}\text{C}/\text{km}$) (*Baldi et alii, 1993, 1994, 1995*). Tale anomalia geotermica, principalmente per la mancanza di ulteriori pozzetti geotermici di taratura ai suoi margini, sembra smorzarsi esternamente al Permesso di Ricerca, anche se alcune ricostruzioni termico strutturali individuino una prosecuzione della

zona indiziata anche nel basso bacino della Val d'Orcia. L'anomalia geotermica presente è contigua a quella principale del Monte Amiata presente a sud est del Permesso. Da un punto di vista regionale i limitrofi affioramenti carbonatici mesozoici delle formazioni del Dominio Toscano, di Poggio di Moscona e Batignano, dell'allineamento Stribugliano – Rocchette – Saturnia e di Poggio Zoccolino possono consentire l'infiltrazione di acque meteoriche a diverse centinaia di metri di profondità e costituire localmente disturbi all'anomalia termica superficiale ricostruita;

- i campi geotermici del Monte Amiata (Bagnore e Piancastagnaio) presentano in profondità. Quello più superficiale, ospitato nelle formazioni prevalentemente carbonatiche della Serie Toscana, a Bagnore, è caratterizzato da temperature prossime a 140°C. Un analogo serbatoio può essere ipotizzato con una possibile continuità nel sottosuolo verso nord ovest, nell'area sud orientale del Permesso, in corrispondenza dei corpi tettonici della Serie Toscana delaminata, non raffreddati dall'infiltrazione meteorica sopra descritta. Infatti, il valore di gradiente geotermico presente nell'area e la profondità presunta delle rocce calcaree del Dominio Toscano permettono di ipotizzare temperature maggiori di 100°C alla profondità di 1.000 – 1.200 m, in presenza di un potenziale serbatoio geotermico;
- le informazioni dirette della successione stratigrafica effettivamente presente nel sottosuolo dell'area in esame sono praticamente assenti. I pozzetti geotermici perforati nell'area o in prossimità di essa, profondi al massimo 150 m, hanno attraversato, in diverse condizioni di affioramento, le argille grigie del Pliocene/Miocene o le argilliti dei Flysch Liguri; alcune informazioni indirette possono essere dedotte dai citati profili sismici crostali presenti nella parte meridionale del Permesso, effettuati però per individuare strutture molto profonde (*Decandia et al., 1998, Brogi et al, 2005b*). Le interpretazioni di tali profili sismici mostrano che, al di sotto delle coltri di ricoprimento tettoniche Liguri ed a profondità di riferimento di circa 1.000-1.200 m dal p.c., si rileva la possibile presenza di rocce calcaree o anidritiche. Tali rocce calcaree, qualora presenti nelle condizioni sopra descritte, costituiscono l'obiettivo della ricerca mineraria in quanto, regionalmente, ospitano acque geotermiche che in questa zona potrebbero presentare temperature maggiori di 100°C.

Stante quanto sopra, l'attività prevista nell'ambito del Permesso di Ricerca sarà svolta nelle seguenti fasi principali:

- *fase di prospezione (questa procedura autorizzativa)*, consistente nell'esecuzione, nelle aree individuate, di una prospezione magnetotellurica, di una prospezione geoelettrica e di due linee sismiche di dettaglio, con lo scopo di migliorare le conoscenze indirette del substrato e permettere di ubicare, nelle migliori condizioni, un pozzetto geotermico per la misura del gradiente di temperatura.
- *fase di esplorazione profonda* (da attivarsi a seguito degli esiti della fase di prospezione nell'ambito di una nuova futura procedura di autorizzazione) caratterizzata dalla perforazione di due pozzi esplorativi e dalle relative prove di produzione, per accertare la presenza di fluidi geotermici, nelle rocce prevalentemente calcaree delle formazioni del Dominio Toscano.

2.3

ESPLORAZIONE DI SUPERFICIE MEDIANTE PROSPEZIONI GEOFISICHE

Nell'area in esame non sono disponibili informazioni dirette sulla successione e sugli spessori delle formazioni geologiche effettivamente presenti nel sottosuolo: in particolare, non è nota la profondità delle formazioni carbonatico-anidritiche mesozoiche del Dominio Toscano che costituiscono il potenziale serbatoio geotermico e rappresentano il principale obiettivo da raggiungere con l'esplorazione profonda.

Alcune informazioni sono contenute nella Mappa dell'Anomalia gravimetrica di Bouguer della Toscana meridionale (*Orlando, 2005*), dalla quale è possibile ipotizzare, nell'area del Permesso, profondità del serbatoio maggiori di 1.000 m (*Baldi et alii, 1994 e 1995; Orlando, 2005*).

Le prospezioni geofisiche previste hanno, quindi, lo scopo di migliorare le conoscenze del substrato e fornire informazioni più attendibili sulla profondità e l'assetto termico-strutturale delle suddette rocce serbatoio.

Le formazioni carbonatico - anidritiche del potenziale serbatoio geotermico sono in genere caratterizzate da resistività elettrica medio - alta, mentre le sovrastanti formazioni di copertura, costituite da sedimenti neogenici e terreni in facies di Flysch delle Unità Liguri, sono a matrice prevalentemente argillosa e, come tali, molto conduttive.

Le prospezioni basate sul rilievo della resistività elettrica e dei relativi contrasti sono quindi le più indicate per individuare il tetto di un substrato resistivo, associabile al potenziale serbatoio prevalentemente carbonatico, e per definire la sua possibile profondità. Tali metodi possono permettere anche di individuare le discontinuità strutturali ed eventuali anomalie di resistività potenzialmente connesse ad una circolazione di fluidi geotermici.

2.3.1

Programma delle Prospezioni Geofisiche

Le prospezioni magnetotellurica e geoelettrica possono risultare un tipo di indagine adeguato per le attività preliminari di accertamento dell'assetto strutturale profondo nell'area del Permesso di Ricerca.

I risultati di queste indagini permetteranno di ipotizzare le strutture del sottosuolo e quindi di confermare l'orientamento e la lunghezza ottimali dei profili sismici previsti nel programma dei lavori, ad integrazione delle informazioni dei profili sismici disponibili nella Val d'Orcia (CROP03) ed all'esterno del Permesso (*Decandia et al., 1998; Brogi et al., 2005b*).

Infine, sulla base della interpretazione integrata di tutte le prospezioni descritte, verrà ubicato un pozzetto geotermico (per la misura del gradiente termico

verticale), nella migliore posizione rispetto alle strutture profonde identificate, preferibilmente nella parte centrale dell'Area del Permesso richiesto.

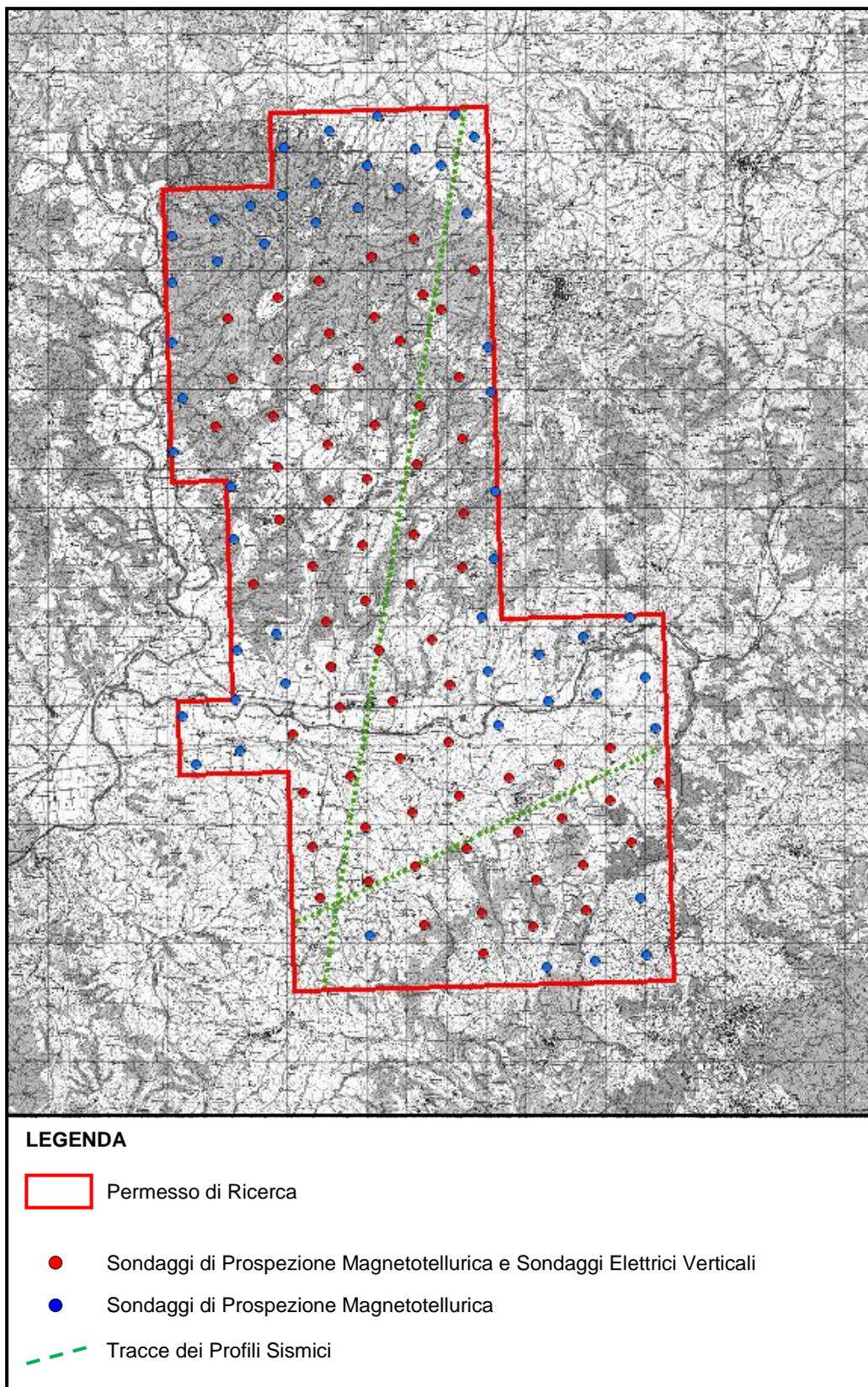
Sulla base di tutte queste attività di prospezione sarà possibile una ricostruzione del modello strutturale e termico del potenziale serbatoio geotermico sepolto.

In sintesi le operazioni di rilevamento geofisico consisteranno in:

- una prospezione magnetotellurica (circa 120 sondaggi MT);
- una prospezione geoelettrica integrativa (circa 70 SEV);
- una prospezione sismica con l'esecuzione di due profili della lunghezza totale presunta di circa 30 km;
- la perforazione di un pozzetto geotermico (profondità massima 400 m) per la misura del gradiente termico verticale.

L'ubicazione dei siti di prospezione geofisica è mostrata in *Figura 2.3.1a*.

Figura 2.3.1a *Mappa di Ubicazione Siti di Prospezione Geofisica*



2.3.2

Prospezione Magnetotellurica

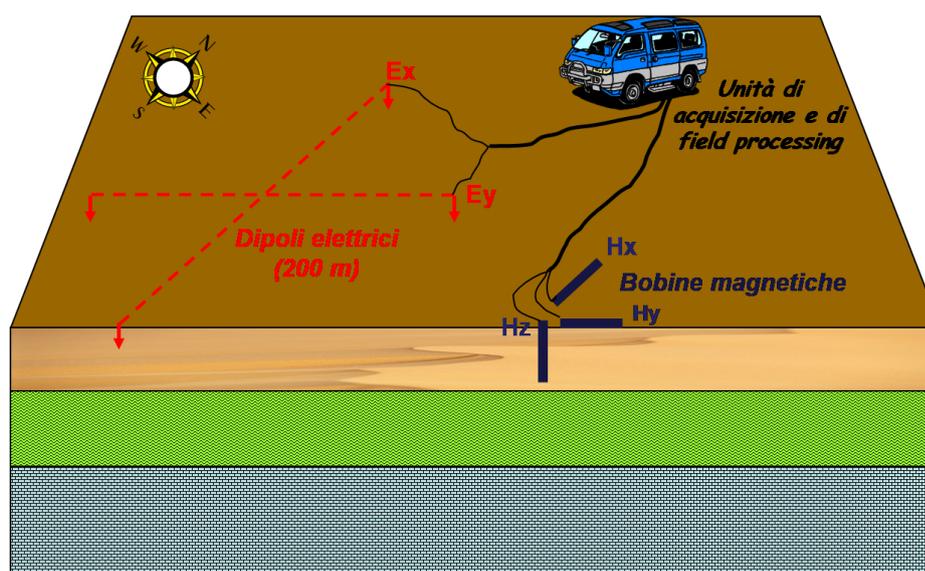
Si prevede di eseguire una prospezione Magnetotellurica (MT) a cinque componenti, consistente in circa 120 sondaggi MT distribuiti il più uniformemente possibile nell'area del Permesso di Ricerca. In particolare tali sondaggi saranno disposti a maglia tenendo in considerazione l'assetto delle strutture geologiche note, (lungo profili orientati approssimativamente in direzione NW-SE e NE-SW) distanziati circa 1 km (1,5 max) l'uno dall'altro (*Figura 2.3.1a*), compatibilmente con la distribuzione delle strade e degli accessi logisticamente possibili. I principi generali della metodologia sono sintetizzati ed illustrati nella pubblicazione di *Fiordelisi et Alii, 2000* e nella relativa bibliografia.

La Magnetotellurica è una metodologia geofisica elettromagnetica (EM) a banda larga che consente di studiare le variazioni di resistività nel sottosuolo, utilizzando un'onda EM naturale generata dalle variazioni temporali, dell'attività solare e temporalesca nella ionosfera, dal campo magnetico e dal campo elettrico terrestre (tellurico).

La profondità di penetrazione dell'onda EM è inversamente proporzionale alla sua frequenza e direttamente alla resistività delle formazioni attraversate dall'onda stessa. Pertanto, poiché le frequenze rilevate con un sondaggio MT variano generalmente nella banda 0,01 – 1.000 Hz, la profondità d'investigazione del metodo può variare da poche decine di metri fino a decine di chilometri.

In corrispondenza di ogni singolo sondaggio MT vengono rilevate le variazioni temporali delle 3 componenti (H_x , H_y , H_z) del campo magnetico, mediante bobine a induzione, e delle 2 componenti orizzontali (E_x , E_y) di quello elettrico, mediante dipoli (coppie di elettrodi) (si veda *Figura 2.3.2a*).

Figura 2.3.2a Schema di un Sondaggio MT



Le bobine sono alte circa 100 cm con diametro di una decina di cm e vengono posizionate sul terreno in direzione N-S e W-E per la misura delle componenti Hx e Hy e parzialmente interrate (per qualche decina di cm) verticalmente per la misura della componente Hz. Due dipoli elettrici, lunghi 200 m ciascuno e posizionati ortogonalmente in direzione N-S e W-E, rilevano le componenti Ex ed Ey.

Un sondaggio MT consente di determinare variazioni di resistività nel sottosuolo analizzando i rapporti delle ampiezze sia delle componenti Hx/Ey (Rxy) che di quelle Hy/Ex (Ryx). Per ogni sondaggio quindi si ottengono due curve di resistività in funzione della frequenza (o periodo) lungo due direzioni tra loro ortogonali, che forniscono utili indicazioni sulla dimensioni delle strutture investigate.

Trattandosi di un rilievo che utilizza onde EM generate naturalmente, è essenziale poter discriminare ed eliminare il rumore ambientale. Il rilievo sarà quindi eseguito in modalità “remote-reference”: si registrano cioè le risposte in almeno due siti locali simultaneamente.

Inoltre, per eliminare il rumore provocato dalla presenza di linee ferroviarie elettrificate (seppure molto lontane), il cosiddetto “train effect” che influenza le basse frequenze, contemporaneamente alla registrazione dei siti nell’area del Permesso di Ricerca ed in assoluta sincronizzazione, dovranno essere rilevate almeno le componenti Hx e Hy anche su un sito molto lontano e indisturbato da individuare al momento del rilievo.

Le curve di resistività di un sondaggio MT sono influenzate dal cosiddetto fenomeno dello “static shift”, cioè da uno spostamento della curva collegato al particolare sito, che va rimosso per ancorare la curva stessa a valori realistici delle resistività di superficie.

A tale fine, impiegando gli stessi dispositivi e siti di misura dei sondaggi MT, si dovrà estendere la registrazione a frequenze molto alte, dell’ordine di 10^4 Hz, realizzando anche un sondaggio di tipo AMT (audio magnetotellurico). Ciò garantirà la rimozione dello static shift via software, durante la fase di modellazione.

Tale rilievo non presenta elementi significativi di impatto ambientale. Tutta la strumentazione, infatti, per ogni sondaggio insiste su limitate superfici di terreno (circa 200 m²), è trasportata con automezzi leggeri che utilizzano la viabilità esistente e viene posizionata e rimossa nell’arco di 10-15 ore, centrate nella fascia notturna per ridurre l’influenza di rumore antropico.

2.3.2.1 Ubicazione dei Sondaggi

Per il progetto in questione, come già esposto, si prevede di eseguire circa 120 sondaggi MT distribuiti il più uniformemente possibile nell’area del Permesso di Ricerca.



L'ubicazione dei sondaggi è indicativa nei dintorni di quei punti illustrati in *Figura 2.3.1a*: l'ubicazione definitiva e la lunghezza temporale di acquisizione dati sarà definita, sondaggio per sondaggio, essenzialmente dai vincoli topografici e ambientali e dalla rumorosità dei siti stessi, ed anche compatibilmente con la distribuzione delle strade e degli accessi logisticamente possibili. Verranno infatti scelte postazioni facilmente accessibili, prive di vegetazione, all'esterno di aree protette e di pregio paesaggistico.

2.3.3 *Prospezione Geoelettrica*

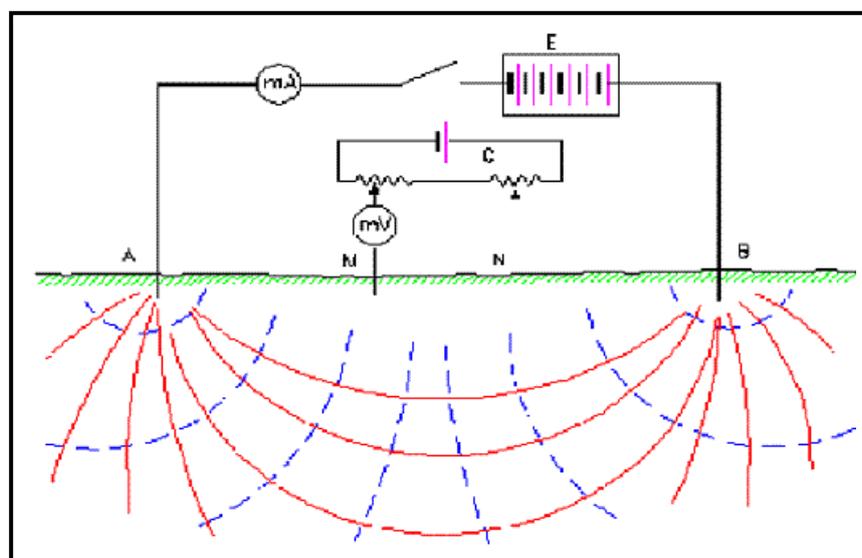
Il rilievo geoelettrico ha essenzialmente lo scopo di integrare il rilievo MT nella ricostruzione del tetto del substrato resistivo, riferibile al serbatoio geotermico, costituito dalle formazioni carbonatico - anidritiche della Serie Toscana.

Il rilievo consisterà nell'esecuzione di circa 70 Sondaggi Elettrici Verticali (SEV), con dispositivo elettrodo di tipo Schlumberger e AB_{max} generalmente non superiore a 6.000 m.

Per i livelli di corrente continua a basso amperaggio ($I_{max} \leq 5A$) utilizzati, l'uso di cavi ad alto isolamento, l'impiego di personale prevalentemente appiedato o comunque di automezzi leggeri per spostamenti lungo la viabilità esistente, il rilievo in oggetto non presenta elementi di interazione ambientale significativa.

Si ricorda che la tecnica SEV consiste in una serie di determinazioni di resistività apparente effettuate con distanza progressiva crescente tra gli elettrodi di corrente (A-B) e di potenziale (M-N), secondo il dispositivo classico a quattro elettrodi riportato nella *Figura 2.3.3a*.

Figura 2.3.3a *Schema di SEV a Dispositivo Quadri - Polare*



Una corrente continua, fornita da una serie di pile a secco o da un generatore, viene immessa (a bassa tensione) nel terreno mediante due elettrodi esterni A-B (detti di corrente). Due elettrodi centrali M-N (detti di misura) misurano la differenza di potenziale generata nel sottosuolo al passaggio di corrente tra A e B. Le misure di differenza di potenziale (ddp) e di intensità di corrente (I) sono effettuate con strumenti di precisione, dotati di azzeratore dei potenziali spontanei esistenti nel terreno.

Sulla base delle informazioni disponibili è possibile prevedere che la spaziatura massima tra gli elettrodi di corrente lungo i profili geoelettrici sia grosso modo lo stesso già indicato al §2.3.1 per le prospezioni magnetotelluriche. I sondaggi elettrici saranno disposti lungo profili orientati approssimativamente in direzione NW-SE e distanziati circa 1 km (1,5 km max) l'uno dall'altro (*Figura 2.3.1a*), compatibilmente con la distribuzione delle strade e degli accessi logisticamente possibili.

Tale rilievo non presenta elementi di impatto ambientali, pertanto l'ubicazione definitiva e la lunghezza finale di ogni stendimento elettronico sarà definita, sondaggio per sondaggio, essenzialmente dai vincoli topografici e dalla necessità di avere sulla curva elettrica almeno due punti in risalita relativi al substrato resistivo profondo.

2.3.4 ***Prospezione Sismica***

La prospezione ha per obiettivo l'individuazione di orizzonti ad elevata riflettività associabili alle suddette formazioni carbonatico-anidritiche, allo scopo di ricostruirne l'assetto strutturale e di caratterizzarne i segnali sismici corrispondenti in termini di anomalia d'ampiezza.

I rilievi sismici si basano sulla registrazione di onde elastiche generate da una sorgente di energia posta in superficie.

Le onde immesse nel terreno vengono riflesse dai diversi orizzonti geologici presenti nel sottosuolo e ritornano in superficie. La registrazione in funzione del tempo delle onde riflesse permette di determinare la geometria di tali orizzonti riflettenti nel sottosuolo. L'interpretazione successiva porterà ad una trasformazione del rilievo così effettuato in un profilo sismico relativo non più ai tempi ma alle profondità di riflessione e quindi degli orizzonti geologici.

L'attività sul terreno si diversifica in funzione del tipo di sorgente energizzante utilizzata per generare le onde elastiche:

- esplosivo, cariche di dinamite poste in un pozzetto di piccolo diametro;
- vibroseis, massa di diverse tonnellate appoggiata sul terreno e fatta vibrare;
- massa battente, massa di circa 3 tonnellate lasciata cadere sul terreno.

La scelta del metodo da applicare è dettata, oltre che da motivi di carattere logistico e vincolistico, anche da motivi di carattere tecnico, quali la profondità da investigare e il tipo delle formazioni affioranti.

Il rilievo sarà pertanto eseguito preferibilmente con l'uso del Vibroseis o dell'esplosivo, come sorgente di energia sismica, e consisterà in due profili, per una lunghezza totale di circa 30 km in massima copertura (si veda *Figura 2.3.1a*) che, alla profondità del target potenziale (1.000 – 2.000 m), sarà di almeno il 30%.

2.3.4.1 Ubicazione dei Profili

L'ubicazione definitiva dei profili sismici sarà determinata sulla base delle informazioni strutturali profonde ottenute dalle prospezioni magnetotellurica ed elettrica.

L'ubicazione dei profili di cui alla *Figura 2.3.1a* è indicativa: l'ubicazione definitiva e la lunghezza temporale di acquisizione dati sarà definita, sondaggio per sondaggio, essenzialmente dai vincoli topografici e ambientali e dalla rumorosità dei siti stessi, ed anche compatibilmente con la distribuzione delle strade e degli accessi logisticamente possibili. Verranno infatti scelte postazioni facilmente accessibili, prive di vegetazione, all'esterno di aree protette e di pregio paesaggistico.

Il metodo effettivo di energizzazione sarà definito sulla base della effettiva accessibilità, in funzione dell'esistente rete viaria rurale.

La descrizione riportata di seguito illustra la sequenza delle operazioni di campagna con l'uso dell'esplosivo come sorgente di energia, in quanto i metodi del Vibroseis o della massa battente, utilizzando solo la viabilità esistente, presentano minori difficoltà di accesso ai luoghi di lavoro.

2.3.4.2 Descrizione delle Attività

Operazioni di Campagna

In funzione della sorgente di energia utilizzata, sono prevedibili da 2 a 4 mesi per garantire il completamento di tutte le fasi dei lavori di campagna del rilievo in oggetto, che sarà così articolato:

- permitting e picchettamento topografico;
- perforazione dei pozzetti di sparo;
- stendimento delle linee di geofoni;
- acquisizione e brillamento delle cariche esplosive.

Tali fasi di attività non sono nettamente separate nel tempo, ma presentano fasce temporali di sovrapposizione.

Ovviamente, nel caso dell'uso del vibroseis o massa battente, non sono previsti i pozzetti di sparo, i brillamenti dell'esplosivo e le relative operazioni di ripristino, di seguito descritti.

Permitting e Picchettamento Topografico

Contestualmente all'attività di permitting, durante la quale sono avvisate le Autorità competenti sul territorio e contattati i proprietari dei terreni interessati dal rilievo, viene svolta anche l'attività di picchettamento topografico.

Squadre di topografi muniti di strumentazione leggera, anche GPS, segnano sul terreno, con picchetti di legno, le posizioni dei ricevitori (geofoni) e dei punti di scoppio.

Il picchettamento può richiedere l'eliminazione di un po' di sottobosco, per aprire piste di passaggio pedonale, e ripristinare la percorribilità di carrarecce già esistenti e invase, per mancata manutenzione, da vegetazione spontanea di sottobosco.

L'impatto sul territorio di questa fase è minimo, se non nullo, in quanto eseguito da personale appiedato o, comunque, con impiego di pochi automezzi leggeri (fuoristrada) che circolano solo lungo la viabilità esistente o ripristinata.

Perforazione dei Pozzetti di Sparo

Segue la fase di perforazione dei pozzetti di sparo con profondità massima prevedibile di 9 m e diametro di 10 cm. La perforazione sarà eseguita da gruppi di perforazione costituiti da una perforatrice automontata su piccoli trattori.

In base all'accessibilità del sito del pozzetto, i trattori potranno essere da 130 HP (*Figura 2.3.4.2a*), denominati L.I.A (Limitato Impatto Ambientale), o da 50 HP (*Figura 2.3.4.2b*), denominati Mini L.I.A. Sarà impiegata anche una piccola autobotte da 100 HP, con capacità di 3.000 litri, per il trasporto di acqua per la perforazione.

Figura 2.3.4.2a Gruppo di Perforazione L.I.A.**Figura 2.3.4.2b Gruppo di Perforazione Mini L.I.A.**

Grazie alle piccole dimensioni dei gruppi di perforazione e ai brevi tempi di perforazione prevedibili per piccoli pozzetti (in media 1/2 h/pozzetto) l'impatto sul territorio di tale fase operativa è trascurabile.

Inoltre, al fine di contenere al massimo l'impatto acustico e la presenza contemporanea di impianti sul territorio, si cercherà, per quanto possibile, di non eseguire più perforazioni simultaneamente nell'ambito della stessa proprietà terriera.

I pozzetti saranno perforati ad aria, acqua e/o fango bentonitico, e saranno rivestiti con tubi in PVC da 82 mm. Trattandosi di pozzetti di soli 9 metri di profondità massima, ubicati per lo più in terreni a matrice argillosa prevalente

(sedimenti pliocenici e/o Flysch) e come tali impermeabili, si esclude una possibile interferenza con falde acquifere.

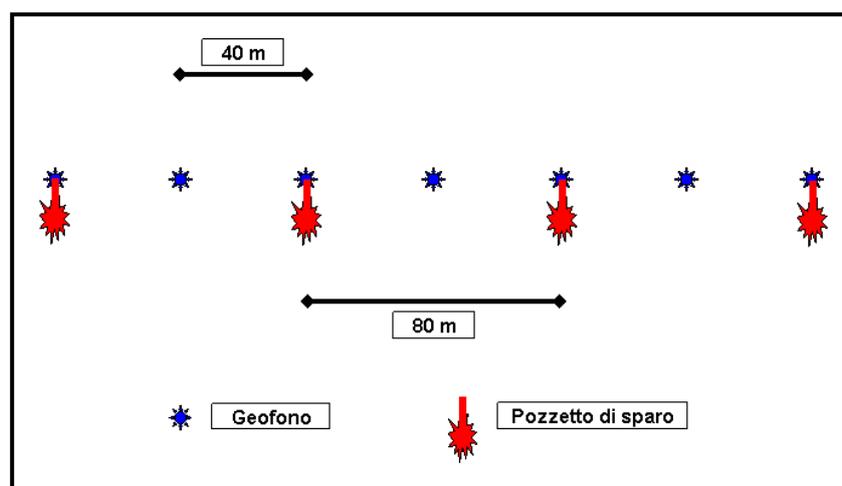
Stendimento delle Linee di Geofoni e Lay Out di Acquisizione

La fase successiva è costituita dal posizionamento sul terreno delle linee di geofoni e dal relativo collegamento delle stazioni periferiche di ascolto al sistema elettronico di registrazione. Anche per tale attività sono utilizzati fuoristrada leggeri e squadre appiedate, con impatto sul territorio assolutamente trascurabile.

Come già detto, la lunghezza complessiva dei profili sarà di circa 30 km in massima copertura che, alla profondità del target potenziale (1.000- 2.000 m) sarà di almeno il 30%.

Ciò comporta un lay-out di acquisizione costituito da geofoni distanziati 40 m l'uno dall'altro e pozzetti di sparo (o punto di energizzazione) ogni 80 m come illustrato schematicamente nella *Figura 2.3.4.2c*.

Figura 2.3.4.2c Lay-Out di Acquisizione



Acquisizione e Brillamento delle Cariche Esplosive

Segue quindi la fase di acquisizione vera e propria. Dal laboratorio mobile di registrazione il tecnico che attiva le registrazioni, dopo aver effettuato tutti i test di funzionalità della strumentazione, ordina via radio ai "fochini" di caricare i pozzetti precedentemente perforati.

Dopo l'allocazione delle cariche esplosive, si esegue il "borrhaggio" del foro. In particolare, il pozzo è colmato con sabbia, argilla o ghiaia calcarea a piccola matrice dal fondo pozzo fino a 2-3 m di profondità e con terreno di risulta del foro stesso, opportunamente pressato, fino al piano campagna. Ciò garantisce che, al momento dello scoppio, eventuali fenomeni di blow-out del materiale di costipamento siano nulli o drasticamente ridotti.

A borraggio ultimato il tecnico della registrazione avverte il personale che sta per avvenire il brillamento, al fine di mettere in sicurezza se stessi e l'area di scoppio, attiva la registrazione e dà il comando di sparo.

L'esplosivo utilizzato sarà di una tipologia inserita dal Ministero delle Attività Produttive nell'"Elenco provvisorio dei prodotti esplosivi riconosciuti idonei all'impiego in attività estrattive" alla Sezione 1a, Classe A, n°107, Codice M.I.C.A. 1Aa 2107. Non saranno impiegate micce detonanti convenzionali, ma detonatori Elettrici Sismici Antistatici che garantiscono maggiore sicurezza.

L'acquisizione sarà eseguita attivando, in successione, un numero di canali e di punti di sparo che incidono su superfici limitate di territorio fino a ricoprire l'intera lunghezza del profilo.

Considerando che, come tutte le attività di campagna, anche la fase di acquisizione sarà svolta in orario esclusivamente diurno (7:00 – 19:00) e che non si prevede la circolazione di mezzi pesanti al di fuori di strade idonee, l'impatto dell'intero lavoro è da considerare trascurabile. Ciò è tanto più vero se si considera che la rumorosità degli spari, con cariche di esplosivo di circa 1,5 kg a 9 m di profondità, è limitata sia per entità (generalmente 55 - 70 db a 20 m di distanza dal punto di sparo) sia come incidenza temporale su un sito specifico, essendo un rumore tipicamente impulsivo.

Attività di Bonifica Ambientale

Al termine delle operazioni di perforazione, scoppio e registrazione sarà eseguita la bonifica di tutto il materiale lasciato sul terreno (nastri, picchetti di legno, tubi in PVC, etc.).

I pozzetti di sparo saranno ripristinati mediante riempimento con bentonite granulare e pietrisco (per i $\frac{3}{4}$ più profondi del foro) e colmataggio superficiale con terreno di risulta.

Misure Vibrometriche Preventive

Sebbene l'area prescelta sia scarsamente abitata e non vi si incontrino ricettori particolarmente sensibili alle vibrazioni, all'inizio del rilievo, cioè a valle della prima carica fatta esplodere, verranno eseguite misure dell'intensità di vibrazione trasmessa nel terreno con apposito strumento vibro metrico.

Tale misura preventiva ha lo scopo di verificare che i valori di vibrazione agli eventuali ricettori più vicini rispettino i limiti dettati dalla normativa nazionale ed internazionale¹ e di determinare la distanza minima di sicurezza da rispettare in

¹ Per quanto riguarda il disturbo alle persone, i principali riferimenti sono costituiti dalla norma ISO 2631 / Parte 2 "Evaluation of human exposure to whole body vibration / "Continuous and shock-induced vibration in buildings

prossimità degli edifici urbani, industriali e delle varie strutture presenti nell'area di indagine, in base alla quantità di carica di esplosivo adottata.

Le misure vibrometriche vengono effettuate al suolo e i valori misurati sono riportati sul diagramma dei "valori indicativi" dalla normativa DIN 4150. Tali valori sono definiti per tipologie di strutture Industriali, Abitative e Sensibili (edifici storici, monumentali e similari).

I "valori indicativi" della velocità riportati nella normativa DIN 4150, elencati nella tabella seguente, rappresentano i valori limiti (Ampiezza vs. Frequenza) da non superare, al fine di evitare danni al manufatto stesso.

Tabella 2.3.4.2a Valori Limite di Velocità di Vibrazione – Ampiezza vs. Frequenza (da DIN 4150)

| Classe della Struttura | Intervalli di Frequenza | | |
|---|-------------------------|----------------|----------------|
| | < 10 Hz | 10 – 50 Hz | 50 – 100 Hz |
| Edificio di tipo industriale e/o commerciale | 20 mm/sec | 20 – 40 mm/sec | 40 – 50 mm/sec |
| Edifici di tipici di abitazione e similari | 5 mm/sec | 5 – 15 mm/sec | 15 – 20 mm/sec |
| Edifici di elevata sensibilità alle vibrazioni (monumenti ed edifici storici) | 3 mm/sec | 3 – 8 mm/sec | 8 – 10 mm/sec |

Per massima cautela, essendo le basse frequenze (<10 Hz) quelle più pericolose, viene scelta come distanza minima del punto di scoppio quella che, con la massima carica di esplosivo prevista, non determini al sito delle strutture una velocità di oscillazione del terreno >2,5 mm/s. Tale valore è significativamente minore di quello previsto nella normativa DIN 4150 per le "Strutture Sensibili" (Classe 3).

Per garantire l'ottimizzazione della copertura ed il rispetto delle normative, vengono registrati diversi segnali a varie distanze dal punto di scoppio. Per ogni quantità di carica prevista (massimo fino 1,5 kg nel caso in oggetto) le misure vengono eseguite a distanze crescenti dalla sorgente, e precisamente a 50, 100, 150, 200 m. Dai valori registrati si ricavano le leggi sperimentali di decadimento dell'energia delle vibrazioni (che, correlando la velocità di vibrazione del terreno alla distanza dal punto di scoppio, consente di determinare la minima distanza utile.

(1 to 80 Hz)". La norma assume particolare rilevanza pratica poiché ad essa fanno riferimento le norme tecniche per la redazione degli Studi di Impatto Ambientale relativi alla componente ambientale "Vibrazioni", contenute nel DPCM 28/12/1988. Ad essa, seppur con alcune non trascurabili differenze, fa riferimento la norma UNI 9614 "Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo". Per i danni agli edifici si fa riferimento alla norma DIN 4150 e alla UNI 9916

2.3.5

Rilievi Termometrici

I pochi dati termometrici disponibili nell'area del Permesso di Ricerca consentono solo una stima di massima dell'anomalia termica dell'area stessa.

Tale stima, effettuata anche con l'estrapolazione di dati di pozzi geotermici e di pozzetti termometrici circostanti, rende necessario un rilievo integrativo per meglio definire e delimitare le anomalie all'interno del Permesso. Integrando tali dati con le ricostruzioni strutturali fornite dagli altri rilievi geofisici, sarà possibile quantificare l'entità della risorsa geotermica alla profondità del potenziale serbatoio.

Il rilievo consiste nella misura della temperatura e nella determinazione del gradiente termico verticale lungo l'intero profilo di pozzetti appositamente perforati. Poiché lo scopo finale è l'estrapolazione attendibile delle temperature misurate fino al tetto delle formazioni permeabili del potenziale serbatoio, è necessario che le misure vengano eseguite all'interno di terreni di copertura sostanzialmente impermeabili, quali i sedimenti pliocenici e/o le formazioni in facies di flysch.

A tale scopo è prevista la perforazione di un pozzetto per misure termometriche con profondità massima di circa 250 – 400 m; l'effettiva profondità sarà definita sulla base dei risultati delle prospezioni eseguite, ma comunque sempre inferiore a 400 m.

2.3.5.1

Ubicazione del Pozzetto

Come descritto nei precedenti paragrafi, l'ubicazione definitiva del sondaggio termometrico sarà definita al termine delle prospezioni magnetotelluriche ed elettriche, che indicheranno le zone più promettenti all'interno delle quali eseguire la perforazione di prospezione termica.

Nella scelta definitiva della postazione, che sarà comunicata agli enti competenti, in accordo alle vigenti disposizioni per l'esecuzione di perforazioni, si seguiranno i seguenti criteri:

- evitare aree naturali SIC – ZPS;
- evitare aree di pregio paesaggistico;
- utilizzare zone facilmente raggiungibili attraverso la viabilità ordinaria;
- evitare zone a distanza inferiore a 200 m da eventuali abitazioni.

2.3.5.2

Descrizione delle Attività

Perforazione

In funzione della profondità massima di perforazione prevedibile e delle caratteristiche presunte delle formazioni attraversate, il processo di perforazione prevede le seguenti azioni:

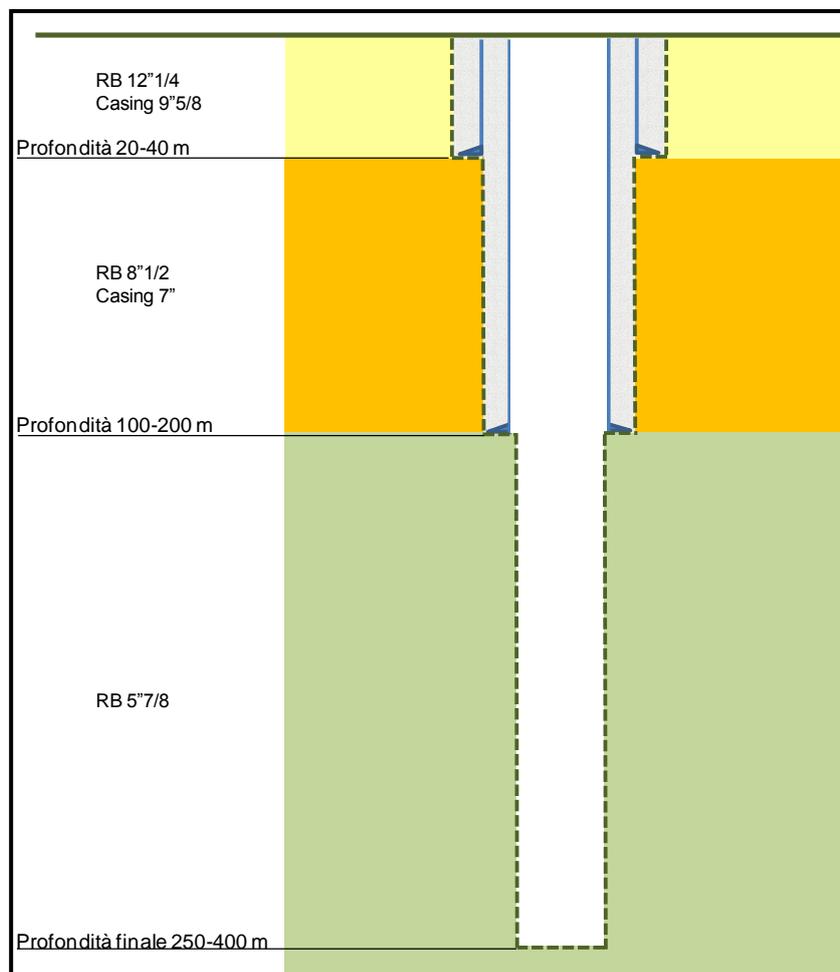
- scelta della esatta posizione della postazione di sonda;
- definizione della profondità, del programma di perforazione e del profilo tecnico;
- espletamento delle pratiche autorizzative
- preparazione della postazione e montaggio impianto;
- perforazione;
- completamento del pozzetto per l'esecuzione delle misure termiche;
- smontaggio impianto;
- ripristino territoriale dell'area della postazione.

Scelta Postazione, Definizione del Profilo Tecnico e del Programma di Perforazione

Nella scelta della postazione si terrà conto, oltre che del rispetto dei vincoli e delle normative di legge, anche delle informazioni geologiche e strutturali ottenute con le altre prospezioni geofisiche che concorreranno, inoltre, alla definizione della profondità e del profilo tecnico che, come schematicamente illustrato in *Figura 2.3.5.2a*, prevede in linea di massima:

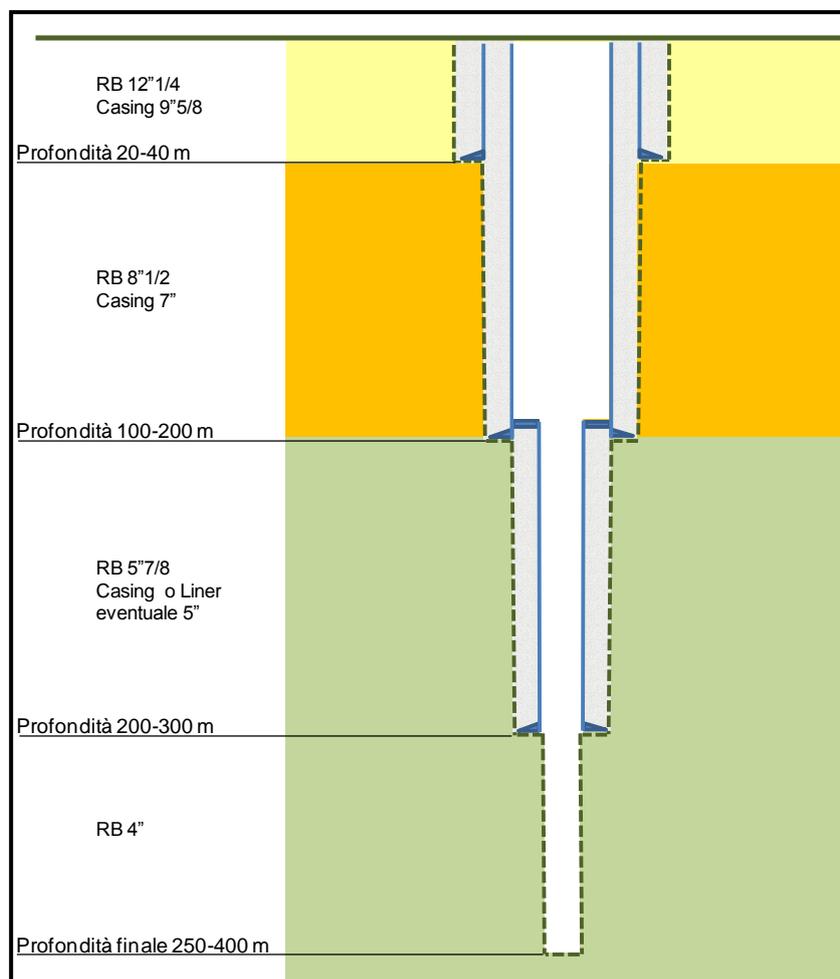
- una tubazione guida di partenza da 9"5/8, profonda poche decine di m e sporgente dal terreno per alcune decine di cm;
- un casing da 7" circa per isolare eventuali falde freatiche e per stabilizzare le pareti del pozzo nelle formazioni più superficiali;
- foro in open hole con diametro di circa 6" fino alla profondità massima.

Figura 2.3.5.2a Profilo Tecnico di Massima dei Pozzetti Termometrici (le Profondità sono puramente Indicative e Dipendenti dalla Profondità Finale)



Solo se richiesto dalla natura e stabilità dei terreni attraversati potrà essere previsto un eventuale e ulteriore casing o liner da 5" (Figura 2.3.5.2b). In questo caso il tratto finale in hopen hole del pozzetto sarà realizzato con scalpello a diametro non inferiore a 4".

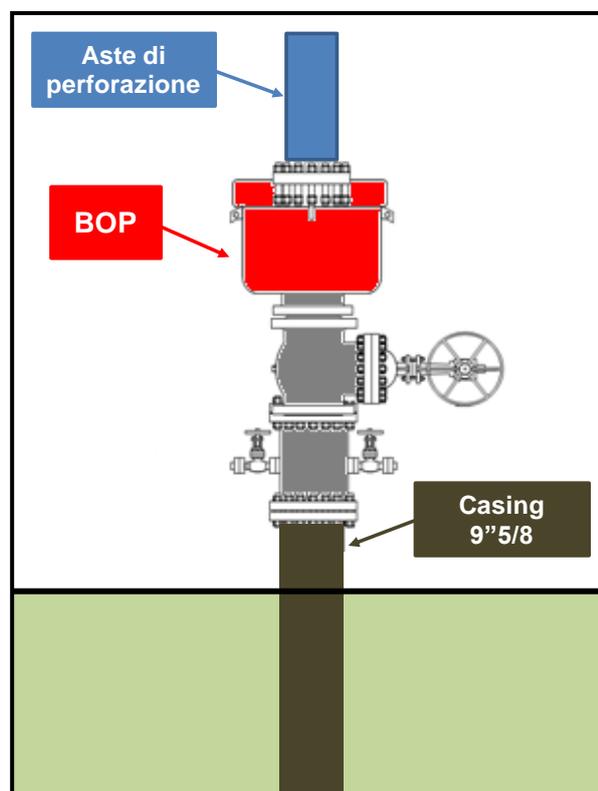
Figura 2.3.5.2b Profilo Tecnico di Massima dei Pozzetti termometrici con Open Hole Finale da 4" (le Profondità sono puramente Indicative e Dipendenti dalla Profondità Finale)



Sulla prima tubazione guida, opportunamente cementata, verrà installata una testa pozzo (*Figura 2.3.5.2c*) che comprende il dispositivo Blow Out Preventer (BOP), varie valvole laterali e altri componenti tubolari di collegamento al fluido di circolazione.

Il BOP è una valvola a comando idraulico che permette di chiudere il pozzo anche con le aste di perforazione al suo interno; rappresenta quindi un dispositivo di sicurezza nel caso si incontrino formazioni mineralizzate a gas o altro fluido di strato in pressione che, a seconda delle condizioni idrauliche del pozzo, può migrare verso l'interno del pozzo stesso. Il BOP permette di chiudere rapidamente il pozzo, in qualsiasi condizione di lavoro, e impedire la fuoriuscita accidentale dei fluidi in pressione.

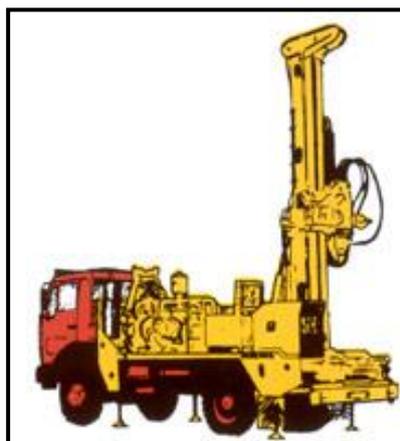
Nel caso delle perforazioni in oggetto, effettuate in terreni generalmente impermeabili con le modeste profondità da raggiungere il rischio che si verifichino tali condizioni è del tutto trascurabile.

Figura 2.3.5.2c Esempio di Testa Pozzo con BOP

Preparazione Postazione, Montaggio Impianto e Perforazione

Come impianto di perforazione sarà impiegata una sonda automontata, del tipo illustrato in *Figura 2.3.5.2d*, che consente rapidi tempi di montaggio e non richiede particolari specificità nella preparazione della postazione.

È infatti sufficiente una superficie massima di circa 200 m², il più pianeggiante possibile per evitare anche modesti sbancamenti, capace di contenere la sonda, un'area per lo stoccaggio delle aste di perforazione (o eventuale autocarro di servizio porta aste) e materiali vari, una baracca ufficio, una vasca fuori terra di pochi metri cubi per stoccaggio del fluido di circolazione. Gli altri mezzi di servizio, quali l'autocarro con compressore e/o pompa fanghi (generalmente già inseriti nella sonda automontata), l'autobotte per l'approvvigionamento dell'acqua, dei carburanti, degli oli, dei materiali vari necessari alle lavorazioni, nonché le autovetture per il trasporto personale non sono da considerarsi impiantistica fissa di cantiere.

Figura 2.3.5.2d Esempio e Schema di un Impianto di Perforazione Automontato

Appena ultimata la sistemazione della postazione ed il montaggio dell'impianto, avrà inizio la perforazione del pozzetto che, sulla base profilo tecnico definito, sarà eseguita con tecnica a rotazione (con scalpello tricono) e distruzione di nucleo, utilizzando un sistema a circolazione diretta di acqua o fango bentonitico. Ciò consentirà, durante l'intera fase di perforazione, il prelievo dei cuttings a intervalli regolari di qualche metro, per una dettagliata ricostruzione stratigrafica del pozzetto. Sono prevedibili inoltre 2-3 carotaggi, non solo a integrazione delle analisi litologico-stratigrafiche, ma anche e soprattutto per reperire campioni sui quali eseguire misure in laboratorio di conducibilità termica.

La scelta del fluido di circolazione sarà definita, di volta in volta, in base alle condizioni litologiche ed idrogeologiche delle formazioni attraversate. Comunque, si prevede l'utilizzo prevalente di acqua, specialmente nel caso, non desiderato, di perforazione di livelli con perdita parziale (PPC) o totale (PTC) di circolazione. In questo caso si procederà immediatamente all'isolamento della perdita con malta cementizia per evitare contaminazioni dei livelli permeabili.

Considerando che l'obiettivo delle perforazioni è la misura del gradiente termico indisturbato, i pozzetti saranno ubicati in aree impermeabili e che consentiranno pertanto il recupero pressoché totale dell'acqua necessaria alla perforazione, con consumi idrici trascurabili.

Nel caso si incontrassero perdite di circolazione i consumi potrebbero aumentare leggermente, fino ad un massimo di 10 m³ per pozzetti di 250 m e 15 m³ per pozzetti di 400 m; sarà cioè sufficiente un'autobotte per l'intera perforazione.

Tutte le tubazioni saranno opportunamente cementate e, a seconda del numero di tubazioni necessarie, si possono prevedere quantità massime di cemento per circa 5 m³ per il pozzetto di 400 m.

La durata della fase di perforazione dipende dalle caratteristiche geologiche del terreno, ma non supererà le 4 settimane, su due turni diurni di lavoro.

Smontaggio Impianto e Predisposizione per l'Esecuzione delle Misure Termiche

A perforazione ultimata sarà calato in pozzo, fino alla profondità massima possibile, un tubo liscio per acqua da 2", con sezioni saldate o avvitate e tappato al fondo, che sarà colmato d'acqua e all'interno del quale saranno eseguite le misure termometriche.

Si procederà quindi allo smontaggio dell'impianto senza lasciare alcuna installazione stabile nell'area dei lavori. Le uniche installazioni, comunque a carattere temporaneo, che verranno mantenute fino al termine dei rilievi termometrici sono costituite dal bocca pozzo della perforazione (tubo da 9"5/8 opportunamente flangiato e sporgente alcune decine di centimetri fuori terra) e da una piccola recinzione leggera attorno al bocca pozzo. Tali opere, delle quali si ribadisce il carattere assolutamente temporaneo e provvisorio (alcuni mesi), rimarranno in sito solo fino al termine delle operazioni di misura.

Ripristino Territoriale

Solo a misure termometriche ultimate, la recinzione e la boccapozzo saranno rimossi completamente, ripristinando l'assetto originario della superficie del terreno. Verrà, in sostanza eseguita la "chiusura mineraria" del sondaggio secondo le norme e disposizioni di polizia mineraria previste al riguardo.

Esecuzione delle Misure Termometriche

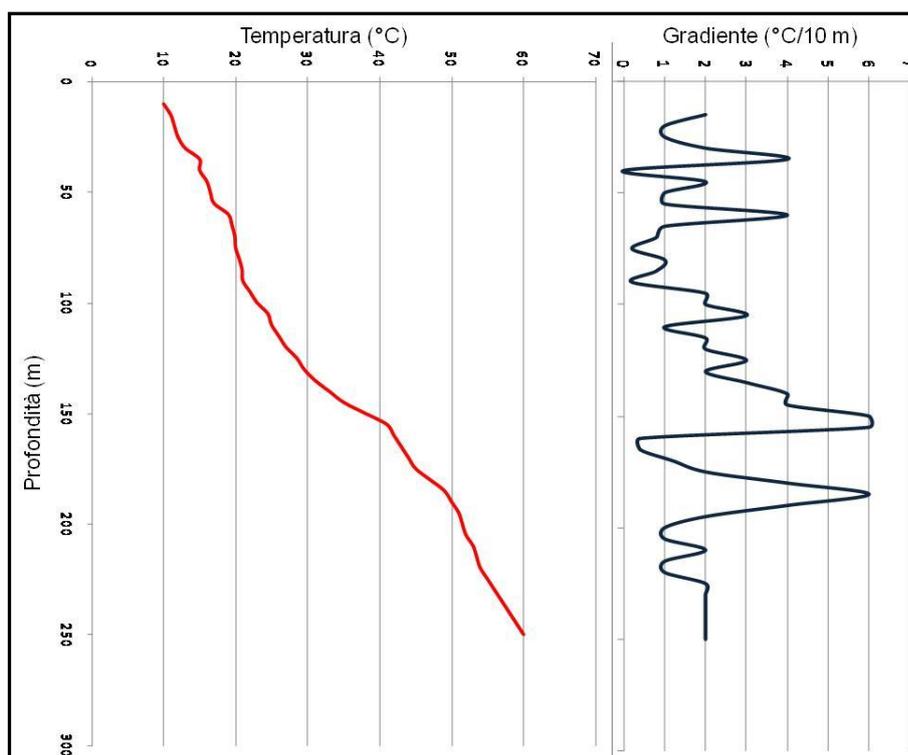
Immediatamente dopo la fine della perforazione e la sistemazione del tubo da 2" riempito d'acqua, inizieranno le misure termometriche, lungo tutto il profilo del pozzetto. Le prime misure saranno ripetute ogni 1-2 giorni per le prime due settimane e proseguiranno a intervalli settimanali o quindicinali fino alla completa stabilizzazione del profilo termico del pozzo (generalmente 2-3 mesi). Per verificare eventuali effetti stagionali, ulteriori log di temperatura potrebbero essere effettuati dopo 5-6 mesi al massimo.

Per le misure di temperatura sarà utilizzata una termoresistenza, preventivamente tarata e calibrata in laboratorio unitamente al cavo di collegamento alle apparecchiature di misura in superficie. La sonda termometrica

non causa nel pozzetto effetti di sorta né provoca rilasci di sostanze e le operazioni di salita e discesa saranno eseguite mediante avvolgitore automontato, azionato manualmente o da motore elettrico.

Come risultato finale del rilievo verranno prodotti i profili di temperatura stabilizzati e le relative variazioni del gradiente termico (*Figura 2.3.5.2e*) che consentiranno l'estrapolazione delle temperature al tetto del potenziale serbatoio geotermico.

Figura 2.3.5.2e Esempio di Profilo di Temperatura e Gradiente Geotermico



Infine, con i valori di conducibilità termica misurati in laboratorio sui campioni delle carote prelevate in fase di perforazione, sarà possibile il calcolo del flusso di calore.

Utilizzo di Risorse

In termini di utilizzo delle risorse naturali, per tecnologia prescelta e tipologia di impianti previsti, possono essere evidenziati i seguenti punti:

- la limitata estensione areale delle postazioni di perforazione (massimo 200 m²) richiederà solo un impiego minimo di frantumato per livellare le postazioni stesse o semplici e limitati spostamenti locali di terreno;
- i materiali provenienti dalle perforazioni (cuttings) sono costituiti dai detriti macinati delle rocce attraversate e portate a giorno nel corso della perforazione per eseguire analisi geologiche; a seconda della profondità massima dei pozzetti: per ogni sondaggio si possono prevedere da 10 a 20

m³ di materiale, il cui 70% circa proviene dalla separazione dalla fase liquida attraverso le attrezzature di vagliatura, mentre il rimanente fa parte dell'aliquota non separabile dal fango e lo si ritrova sotto forma di materiale decantato. In definitiva viene raccolta una fase solida, dove sono confluiti i detriti grossolani e fini, ed una liquida, costituita da acqua resa opaca dalla presenza di residui particolarmente fini. La fase solida viene conferita a discariche locali, mentre il residuo liquido viene normalmente riutilizzato per preparare altro fluido di circolazione;

- in conseguenza della tecnica di perforazione adottata (circolazione ad acqua e/o fango bentonitico) l'utilizzo di acqua per gli usi di cantiere è certamente indispensabile, anche perché è il fluido di circolazione che meglio previene potenziali inquinamenti. Comunque, grazie al massimo riutilizzo del residuo liquido, il fabbisogno d'acqua è stimabile in 10-15 m³ a pozzetto, in funzione della relativa profondità. L'approvvigionamento avverrà attraverso il trasporto di acqua industriale con autobotte (massimo uno per pozzo).

2.4 **STIMA DELLE INTERFERENZE**

In considerazione di quanto riportato nel quadro di riferimento progettuale e delle misure di mitigazione adottate, nel seguito si fornisce un quadro sintetico delle interferenze ambientali.

2.4.1 **Atmosfera**

Per tutte le prospezioni proposte, le interferenze ambientali potenziali possono essere connesse a:

- polverosità conseguente alle attività di allestimento dei pozzetti nella fase di prospezione sismica ed alle attività di posizionamento delle bobine che presuppongono scavi manuali fino a pochi decimetri nella fase di prospezione magnetotellurica;
- emissioni dei mezzi di trasporto;
- emissioni conseguenti lo scoppio;
- emissioni dei motori utilizzati per la perforazione dei pozzetti termometrici.

È possibile però ritenere che tali interferenze non siano significative in quanto del tutto assimilabili a piccoli lavori agricoli tipici delle zone oggetto dell'intervento. Per la prospezione sismica si evidenzia che le emissioni conseguenti lo scoppio saranno brevissime e ininfluenti.

A causa della bassa profondità dei pozzetti termometrici e della presumibile impermeabilità dei terreni attraversati, non si ritiene realistica la possibilità di intercettare gas geotermici (CO₂, H₂S).

L'eventuale intercettazione di gas non implicherebbe tuttavia alcuna emissione, per la presenza del dispositivo di sicurezza installato sulla testapozzo (Blow Out

Preventer), che permetterà di controllare qualsiasi eventuale emissione, evitando sia incidenti al personale di servizio ed alle attrezzature, sia la diffusione in atmosfera delle emissioni stesse.

2.4.2

Ambiente Idrico

Le attività connesse alle prospezioni magnetotellurica e geoelettrica non prevedono interferenze di alcun genere con la componente in esame.

Prospezione Sismica

L'interferenza potenziale si lega alla possibilità di interagire con la falda superficiale in fase di perforazione dei pozzetti di sparo. Si ricorda che i pozzetti saranno perforati ad aria, acqua e/o fango bentonitico, e saranno rivestiti con tubi in PVC da 82 mm. Trattandosi di pozzetti di soli 9 metri di profondità massima, ubicati in terreni a matrice argillosa prevalente (sedimenti pliocenici o Flysch) e come tali impermeabili, si esclude una possibile interferenza con falde acquifere. In caso di locali affioramenti di terreni permeabili che potrebbero ospitare localmente acquiferi superficiali, si avrà cura di mantenere le distanze di legge previste tra fori di sparo ed eventuali captazioni idriche. Si ricorda infine che i pozzetti saranno completamente ripristinati a scoppio avvenuto e che saranno presenti per poche ore.

Rilievi Termometrici

Per quanto riguarda il rilievo termometrico non si prevede alcun effetto di inquinamento o alterazione sulle acque superficiali e sotterranee.

Il pozzetto termometrico, perché sia efficace deve infatti essere ubicato in terreni totalmente impermeabili col fine di misurare il gradiente termico naturale, che potrebbe essere alterato dalla presenza di circolazione idrica. L'interferenza con la falda acquifera deve pertanto considerarsi assai improbabile.

Nell'eventualità che si incontri la falda si deve ricordare che il fluido di perforazione previsto è acqua e, solo molto episodicamente, fango bentonitico e che, come descritto al *Paragrafo 2.3.5.2*, l'eventuale attraversamento di una falda avverrà previo suo isolamento con malta cementizia e che quindi anche in questo caso non si prevede alcuna interazione significativa con la falda.

Da un punto di vista ambientale è opportuno ricordare che la bentonite è un prodotto assolutamente innocuo, essendo un materiale di origine minerale, ottenuto trattando termicamente la montmorillonite (un tipo di argilla presente in natura), che viene poi macinata per ottenere il grado di finezza della particelle più appropriato e trattata termicamente per facilitare una rapida idratazione in fase di preparazione del fango. È un prodotto atossico e compatibile con l'ambiente che trova varie altre forme di impiego al di fuori della perforazione, come nell'industria vinicola, alimentare in generale e nella cosmesi.

2.4.3 *Suolo e Sottosuolo*

In considerazione di quanto descritto nel quadro di riferimento progettuale si può ritenere che le uniche interferenze prevedibili su questa componente siano legate all'occupazione di suolo.

Prospezioni Magnetotellurica, Geoelettrica e Sismica

L'occupazione di suolo sarà temporanea (e limitata a pochi giorni nel caso delle prospezioni magnetotellurica e geoelettrica) e l'area completamente ripristinata a valle delle attività.

Rilievo Termometrico

Per quanto riguarda il rilievo termometrico, i lavori previsti per la perforazione comportano un'occupazione di suolo temporanea (massimo 200 m²) che, a seconda della profondità del pozzetto, può variare fino ad un massimo di 20 e 30 giorni. L'impianto che verrà usato è comunque del tipo automontato con aste al seguito, per cui non sono previste opere stabili, né precarie, e i tempi di approntamento e smobilitazione del cantiere saranno estremamente ridotti.

La postazione per il rilievo termometrico sarà scelta in un'area quanto più pianeggiante possibile e saranno impiegati impianti di perforazione del tipo autolivellante: ciò eviterà di effettuare movimentazioni di terra, sbancamenti o riporti di terreno; al massimo saranno eseguite semplici operazioni di ripiano per il posizionamento dell'impianto di perforazione.

2.4.4 *Vegetazione, Flora e Fauna*

In questa fase non sono previsti impatti, se si eccettua la potenziale eliminazione di modeste zone di sottobosco in prossimità delle strade e delle carrarecce. Eventuali interferenze connesse all'inquinamento acustico, per le quali potrebbero risultare coinvolte alcune specie faunistiche, sono trattate nella componente rumore.

L'attuale utilizzo dei suoli non sarà alterato in alcun modo dalle attività previste dal Permesso di Ricerca.

2.4.5 *Rumore*

Prospezioni Magnetotellurica, Geoelettrica e Sismica

La fase di acquisizione sarà svolta in orario diurno (7:00 – 19:00) per le prospezioni sismiche e notturno per le magnetotelluriche, per ridurre l'influenza di rumore antropico.

Per quanto riguarda la circolazione di mezzi per il trasporto delle apparecchiature si prevede che sia limitata alla viabilità esistente, ritenuta idonea per il traffico di mezzi di piccola taglia.

L'impatto dell'intero lavoro è quindi da considerarsi trascurabile, in quanto del tutto assimilabile a quello prodotto dai lavori agricoli tipici delle zone oggetto dell'intervento.

Si ricorda infatti che, per le attività di prospezione magnetotellurica, il posizionamento delle bobine sarà comunque eseguito di giorno, mentre nella notte saranno acquisiti i dati.

La prospezione sismica con pozzetti comporta la necessità di uno scoppio per pozzetto. Considerando che, come tutte le attività di campagna, questa fase di lavoro sarà svolta in orario esclusivamente diurno (7:00 – 19:00) e che non si prevede la circolazione di mezzi pesanti al di fuori di strade idonee, l'impatto dell'intero lavoro è da considerare trascurabile. Ciò è tanto più vero se si considera, come discusso nel precedente capitolo, che la rumorosità degli spari, con cariche di esplosivo di circa 1,5 kg a 9 m di profondità, è limitata sia per entità (generalmente 55 - 70 dB(A) a 20 m di distanza dal punto di sparo, come risulta da misurazioni di controllo eseguite nel corso di campagne analoghe) sia come incidenza temporale su un sito specifico, essendo un rumore tipicamente di durata limitata (solo pochi secondi).

Considerando la quasi assenza di abitazioni nelle zone di interesse anche questa attività avrà un impatto limitato.

Rilievo Termometrico

Come descritto precedentemente la perforazione del pozzetto termometrico viene eseguita con impianti automontati di modesto ingombro e alimentati da motori posti sul pianale di un camion.

La potenza sonora di questo tipo di impianto di perforazione è del tutto analoga a quella di un autocarro in manovra e quindi pari a circa 105-107 dB(A).

L'impianto può quindi essere schematizzato come una sorgente sonora puntuale della potenza massima di 107 dB(A).

Ne consegue che già ad una distanza di 200 m il livello sonoro derivante dall'esercizio dell'impianto di perforazione sarà inferiore a 50 dB(A)².

² La propagazione di rumore in campo libero ed in assenza di ostacoli su suolo agricolo può essere stimata con la seguente espressione:

$$L_p = L_{WA} - 20 \log d - 11$$

Considerando che la perforazione avverrà esclusivamente nel periodo diurno, in aree agricole ed a distanza da ricettori maggiore di 200 m e per un periodo di tempo limitato, se ne deduce la sua non significatività.

Infatti la maggioranza del territorio del Permesso ricade in Classe III, in accordo alle sue caratteristiche agricole, pertanto con limite diurno di 60 dB(A).

2.4.6 *Paesaggio*

Per la componente paesaggio non si prevedono impatti significativi, in quanto le attività saranno tutte temporanee con durata massima di 4 -5 settimane per il pozzetto termometrico e le aree interessate dall'indagine saranno completamente ripristinate.

2.4.7 *Vibrazioni*

L'area del Permesso di Ricerca risulta poco abitata.

La linea sismica sarà scelta in modo da stare a distanze di sicurezza da eventuali abitazioni, pertanto nessuna vibrazione significativa raggiungerà gli eventuali ricettori presenti.

2.4.8 *Traffico*

Dato il carattere temporaneo delle operazioni e la scarsità di mezzi impiegati non si prevedono interferenze sul livello di servizio delle strade di accesso ai siti di interesse: l'impatto è paragonabile al transito di macchine agricole.

I mezzi utilizzati sono in sagoma stradale e non necessitano di alcun intervento di realizzazione di nuove piste o strade di accesso per raggiungere le postazioni dei pozzetti per il rilievo termometrico. Le postazioni verranno ubicate in aree già servite dalla viabilità esistente.

2.4.9 *Salute*

Le attività lavorative previste per lo svolgimento delle prospezioni geofisiche non comportano rischi specifici derivati dalla tecnologia e dalle sostanze impiegate.

Rischi di incidenti a persone e cose sono, per natura e livello, assolutamente simili a quelli di qualsiasi cantiere dove si eseguono lavori con impiego di macchinari di tipo elettromeccanico.

Dove: L_w è la potenza sonora, d la distanza della sorgente-ricettore, L_p il livello sonoro al ricettore; se $L_w=107$ dB(A) e $d=200$ m, risulta $L_p=50$ dB(A)

Nel caso dei rilievi termometrici la tecnologia impiegata è comunque ampiamente collaudata e per le caratteristiche dell'impianto è richiesta la presenza di operatori specializzati e con lunga esperienza. Il cantiere sarà adeguato alle norme di sicurezza previste dalla normativa vigente e dotato del relativo piano di sicurezza.



Riferimenti Bibliografici

Autori Vari, (1971) - "La Toscana Meridionale. Fondamenti Geologico – Minerari per una Prospettiva di Valorizzazione delle Risorse Naturali" - Rend. Soc. Ital. Min. e Petr., v. XXVII - Fascicolo Speciale

Accaino .F, Tinivella U., Rossi G., Nicolich R., (2005a) - Imaging of CROP18 Deep Seismic Crustal Data – Boll. Soc. Geol. It. Spec. 3, pp.195-204

Accaino F., Tinivella U., Rossi G., Nicolich R., (2005b) - Geofluid Evidence from Analysis of Deep Crustal Seismic Data (Southern Tuscany, Italy) – J. Volc. Geoth. Res 148, pp. 60–80

Accaino F., Nicolich R., Tinivella U., (2006) - Highlighting the Crustal Structures of Southern Tuscany: the Contribution of the CROP18 Project – Boll. Geof. Teor. Appl. 47, pp.425–446

Arisi Rota .F, Brondi A., Dessau G., Franzini M., Monte Amiata Spa Stab. Minerario del Siele, Stea B., Vighi .L., (1971) - I Giacimenti Minerari della Toscana Meridionale – Rend. Soc. It. Miner. e Petr. 27, pp.357–544

Baldi P., Buonasorte G., Cameli G.M., Ceccarelli A., Ridolfi A., Grassi S., Squarci P., Taffi L., (1988) - Tuscany - Latium Geothermal Province in "Atlas of "Geothermal Resources" in the European Community, Austria and Switzerland - Publication n. EUR 11026 of the Commission of the European Communities

Baldi P., Bellani S., Ceccarelli A., Fiordelisi A., Rocchi G., Squarci P., Taffi L. (1995) - "Geothermal Anomalies and Structural Features of Southern Tuscany (Italy)" - Proceedings World Geothermal Congress, Firenze, 18-31 Maggio 1995

Baldi P., Buonasorte G., Ceccarelli A., Ridolfi A., D'offizi S., D'amore F., Grassi S., Squarci P., Taffi L., Boni C., Bono P., Di Filippo M., Martelli M.C., Lombardi M.C. & Toro B., (1982) - Contributo alla Conoscenza delle Potenzialità Geotermiche della Toscana e del Lazio - Consiglio Nazionale delle Ricerche, PFE RF15

Baldi P., Bellani S., Ceccarelli A., Fiordelisi A., Squarci P., Taffi L. - "Nuovi Dati Geotermici nell'Area ad ovest del Monte Amiata" – Atti del 12° Convegno Annuale del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra solida, Roma, 24-26 Novembre, 1993

Baldi P., Bellani S., Ceccarelli A., Fiordelisi A., Squarci P., Taffi L., (1994) - "Correlazioni tra le Anomalie Termiche ed altri Elementi Geofisici e Strutturali della Toscana Meridionale" – Studi Geologici Camerti, 1994, Vol. speciale 1, pp. 139-149

Baldi P., Bellani S., Ceccarelli A., Fiordelisi A., Rocchi G., Squarci P, Taffi L., (1995) - Geothermal Anomalies and Structural Features of Southern Tuscany - World Geothermal Congress Proceedings Florence, pp. 1287–1291

Baldi P., Bellani S., Buonasorte G., Fiordelisi A., and Manzella A., (1998) - Geothermal Exploration in Tuscany (Italy) for High Temperature Resources - World Renewable Energy Congress V (Florence, Italy), Part IV, pp.2733-2736

Baldi P., Bertini G., Cameli G. M., Decandia F.A., Dini I., Lazzarotto A., Liotta D. (1994) – La Tettonica Distensiva Post Collisionale nell'Area Geotemica di Larderello (Toscana Meridionale) - Studi Geologici Camerti, Volume Speciale 1994/1183-193

Batini F., Bertini G., Gianelli G., Nicolich R., Pandeli E., Puxeddu M., (1986) - Deep structure of the Geothermal Region of the Monte Amiata Volcano (Tuscany, Italy) – Mem. Soc. Geol. It. 35, pp.755–759

Batini F., Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D., Pandeli E., (2003) - Geological Features of Larderello–Travale and Mt Amiata Geothermal Areas (Southern Tuscany Italy) - Episodes 26, pp. 239–244

Bellani S., Gherardi F., (2009) – Thermal Modeling of an Area West of the Mt. Amiata Geothermal Field, Italy - GRC, Transactions, Vol. 33

Benvenuti M., Papini M., Rook L., (2001) - Mammal Biochronology UBSU and Paleoenvironment Evolution in a Post-Collisional Basin: Evidence from the Late Miocene Baccinello–Cinigiano Basin in Southern Tuscany, Italy – Boll. Soc. Geol. It. 120, pp. 97–118

Bernabini M., Bertini G., Cameli G.M., Dini I., Orlando L., (1995) - Gravity Interpretation of the Mt Amiata Geothermal Area (Central Italy) - Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence, Italy, pp. 859–862

Bertini G., Cappetti G., Dini I., Lovari F., (1995) - Deep Drilling Results and Updating of Geothermal Knowledge of the Monte Amiata area Proceedings of the World Geothermal Congress 1995, Florence, Italy, pp. 1283–1286

Bertini G., Buonasorte G., Cappetti G., Dini I., Ridolfi A., Stefani G., (2002) - Tuscan Geothermal Fields. In "Atlas of "Geothermal Resources in Europe" - Publication N. Eur 17811 of The European Commission L – 2985. S. Hurter and R. Haenel Editors, Luxemburg

Bettelli G., Bonazzi U., Fazzini P., Fontana D. & Gasperi G., (1990) - Carta Geologica del Bacino del Fiume Albegna, S.El.Ca. Firenze

Boncianni F., Callegari I., Conti P., Cornamusini G., Carmignani L., (2005) - Neogene Post-Collisional Evolution of the Internal Northern Apennines: Insights from the Upper Fiora and Albegna Valleys (Mt Amiata Geothermal Area Southern Tuscany) – Boll. Soc. Geol. It. Spec 3, pp. 103–118

Bonini M., Boccaletti M., Moratti G., Sani F., (2001) - Neogene Crustal Shortening and Basin Evolution in Tuscany (Northern Apennines) - Ofioliti 26, pp.275–286

Borsi S., Ferrara G., Tongiorgi E., (1967) – Determinazione con il Metodo K/Ar della Età delle Rocce Magmatiche della Toscana - Boll. Soc. Geol. It., 86, pp. 403-410

Bossio A., Costantini A., Foresi L., Mazzei R., Monteforti B., Radi L., Salvatorini C.F., Sandrelli F., (1994) - Carta Geologica del Medio Ombrone (Siena–Grosseto), Selca 1994, Firenze

*Bossio A., Costantini A., Lazzarotto A., Liotta D., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G.F., Sandrelli F., (1993) - Rassegna delle Conoscenze sulla Stratigrafia del Neautoctono Toscano – *Mem. Soc. Geol. It.* 49, pp.17–98*

*Brogi A., (2003) - Contributi all'Interpretazione del Profilo Sismico Crostale CROP18: Studi Strutturali di Superficie e Correlazione con i Dati di Sondaggio e di Sismica a Riflessione del Campo Geotermico del Monte Amiata (Toscana Meridionale) PhD thesis, *Dipartimento di Scienze della Terra University of Siena*, p. 315*

*Brogi A., (2004a) - Assetto Geologico del Nucleo di Falda Toscana affiorante nel Settore Occidentale del Monte Amiata (Appennino Settentrionale): Strutture pre- e Sin-Collisionali Relitte Preservate durante lo Sviluppo della Tettonica Distensiva Post-Collisionale – *Boll. Soc. Geol. It.* 123, pp.443–461*

*Brogi A., (2004b) - Seismic Reflection and Borehole Logs as Tools for Tectonic and Stratigraphic Investigations: New Geological Data for the Tuscan Nappe exposed in the Northeastern Monte Amiata (Northern Apennines Italy) – *Boll. Soc. Geol. It.* 123, pp.189–199*

*Brogi A., (2004c) - Miocene Low-Angle Normal Detachments and Upper Crust Megaboudinage in the Mt Amiata Geothermal Area (Northern Apennines Italy) - *Geodinamica Acta* 17, pp.375–387*

*Brogi A., (2004d) - Miocene Extension in the Inner Northern Apennines: the Tuscan Nappe Megaboudins in the Mt Amiata Geothermal Area and their Influence on Neogene Sedimentation – *Boll. Soc. Geol. It.* 123, pp.513–529*

*Brogi A., (2005) - Contractional Structures as Relicts of the Northern Apennines Collisional Stage Recorded in the Tuscan Nappe of the Mt Amiata Geothermal Area (Italy) - *Boll Soc Geol It Sepc* 4, pp.53-65*

*Brogi A., (2006a) - Neogene Extension in the Northern Apennines (Italy): Insights from the Southern Part of the Mt Amiata Geothermal Area - *Geodinamica Acta* 19, pp.33–50*

*Brogi A., (2006b) - Evolution, Formation Mechanism and Kinematics of a Contractional Shallow Shear Zone within Sedimentary Rocks of the Northern Apennines (Italy) – *Ecol. Geol. Helv.* 99, pp.29–47*

*Brogi A., (2008) - The Structure of the Mt. Amiata Volcano-Geothermal Area (Northern Apennines, Italy): Neogene-Quaternary Compression Versus Extension. – *Int. J. Sci.(Geol Rundsch)* 2008, doi 10.1007/s00531- 007-0191 – I*

*Brogi A., Lazzarotto A., (2002) - Deformazioni Sin-Collisionali nella Falda Toscana a Sud-Ovest del Monte Amiata (Toscana Meridionale): il sovrascorrimento di Monte Aquilaia – *Boll. Soc. Geol. It.* 121, pp.299–312*

Brogi A., Liotta D., (2006) - Understanding the Crustal Structures of Southern Tuscany: the Contribution of the CROP18 Project - *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* 47, pp.401–424

Brogi A., Liotta D., (2008) - Highly Extended Terrains, Lateral Segmentation of the Substratum, and Basin Development: the Middle - Late Miocene Radicondoli Basin - *Tectonics*, vol. 27, TC5002, doi 10.1029/2007TC002188, 2008

Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D., Ranalli G., CROP18 Working Group (2005a) - Crustal Structures in the Geothermal Areas of Southern Tuscany (Italy): Insights from the CROP18 Deep Seismic Reflection Lines - *J Volc Geoth Res* 148, pp.60–80

Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D., CROP18 Working Group (2005b) - Structural Features of Southern Tuscany and Geological Interpretation of the CROP18 Seismic Reflection Survey (Italy) – *Boll. Soc. Geol. It. Spec. 3*, pp. 213–236

Brogi A., Lazzarotto A., Liotta D. (eds) (2005d) - Results of the CROP18 Project – *Boll. Soc. Geol. It. 3*, p. 239

Calamai A., Cataldi R., Squarci P., Taffi L., (1970) - Geology Geophysics and hydrogeology of the Monte Amiata Geothermal Field - *Geothermics* 1, pp.1–9

Carmignani L., Decandia F. A., Lazzarotto A., Liotta D., Meccheri M., (1994) - Tertiary Extension Tectonics in Tuscany (Northern Apennines, Italy) - *Tectonophysics*, pp. 238, 295-315

Costantini A., Decandia F.A., Lazzarotto A., Sandrelli F., (1988) – L'unità di Monticiano Roccastrada fra la Montagnola Senese e il Monte Leoni (Toscana Meridionale) - *Atti Tic. Sc. Terra*, 31 (1987/1988), pp.382-420.

Dallmeyer R.D., Decandia F.A., Elter F.M., Lazzarotto A., Liotta D., (1995) - Il Sollevamento della Crosta nel Quadro della Tettonica Post-Collisionale dell'Appennino Settentrionale: Nuovi Dati dall'Area di Larderello (Toscana Meridionale) – *Stud. Geol. Camert. Spec.* 1995/1, pp.337–347

Carmignani L., Lazzarotto A., (2004) - Carta Geologica della Toscana, *Direzione Generale delle Politiche Territoriali ed Ambientali, Servizio Geologico – Regione Toscana*

Decandia F.A., Lazzarotto A., Liotta D., (1993) - La “Serie Ridotta” nel Quadro dell'Evoluzione Geologica della Toscana Meridionale – *Mem. Soc. Geol. It.* 49, pp.181–190

Delmaier R.D., Liotta D., (1998) - Extension, Uplift of Rocks and Cooling Ages in Thinned Crustal Province: the Larderello Geothermal Area (Inner Northern Apennines, Italy) - *Geol. Mag.* 135, (2), pp.193-202

Damiani A.V., Gandin A., Pannuzi L. - “Il Bacino dell'Ombrone - Orcia nel Quadro dell'Evoluzione Paleogeografica e Tettonica della Toscana Meridionale” - *Memorie della Società Geologica Italiana*, 1980

Decandia F.A., Lazzarotto A., Liotta D., Cernobori L., Nicolich R., (1998) - The Crop03 Traverse: Insights on Post-Collisional Evolution of Northern Apennines - Mem Soc Geol It 52, pp.427–439

Decandia F.A., Lazzarotto A., Liotta D., (2001) - Structural Features of Southern Tuscany Italy - Ofioliti 26, pp.287–300

Della Vedova B., Bellani S., Pellis G., Squarci P., (2001) - Deep temperatures and Surface Heat Flow Distribution In: Vai G.B., Martini I.P. (eds) Anatomy of an Orogen the Apennines and Adjacent Mediterranean Basins - Kluwer, Dordrecht

Dessau G., De Stefanis A., (1969) - Studio Geologico-Minerario della Zona Mercurifera di Cerreto Piano (Scansano, Provincia di Grosseto) - Mem.Soc.Geol.It.,8 (3). Vol.21, pp. 281-287

Dessau G., (1971) - I Giacimenti dell'Area di Scansano in "La Toscana Meridionale" - Rend. Soc. Ital. Min. e Petr., v. XXVII - Fascicolo Speciale

Enel, Eni, CNR, Enea (1988) – (Buonasorte G. Coautore) - "Indagine d'insieme sul Territorio Nazionale" in Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali - Rapporto Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, Legge 9.12.1986 n. 896

Carobbi G., Rodolico F., (1976) - I Minerali della Toscana - Acc. Tosc. di Sc. e Lettere - "La Colombaria" Leo Olschki Editore

Finetti I.R., (2006) - Basic Regional Crustal Setting and Superimposed Local Pluton-Intrusion Related Tectonics in the Larderello-Monte Amiata Geothermal Province, from integrated CROP Seismic Data - Boll Soc Geol It 125, pp.117–146

Finetti I.R., Boccaletti M., Bonini M., Del Ben A., Geletti R., Pipan M., Sani F., (2001) - Crustal Section based on CROP Seismic Data across the North Tyrrhenian–Northern Apennines–Adriatic Sea - Tectonophysics 343, pp.135–163

Fiordelisi A., Manzella A., Buonasorte G., Larsen J.C., Mackie R.L., (2000) - Mt Methodology in the Detection of Deep Waterdominated Geothermal Systems - Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28–June 10, 2000

Gianelli G., Manzella A., Puxeddu M., (1997) - Crustal Models of the Geothermal Areas of Southern Tuscany - Tectonophysics 281, pp.221–239

Gianelli G., Puxeddu M., Batini F., Bertini G., Dini I., Pandeli E., Nicolich R., (1988) - Geological Model of a Young Volcanoplutonic System: the Geothermal Region of Monte Amiata (Tuscany Italy) - Geothermics 17, pp.719–734

Landi B., Tanini F., Sani F., Carobbi S., (1995) - Evoluzione Geologico Strutturale del Bacino di Cinigiano–Baccinello (Toscana Meridionale) – Stud. Geol. Camert. Spec. 1995/1, pp.475–488

Lazzarotto A. - "Elementi di Geologia" - La Storia Naturale della Toscana Meridionale, Giusti F. Pizzi Editore Edizione fuori commercio, riservata Monte dei Paschi di Siena, 1993

Lazzarotto A., Liotta D., (1994) - Studi Preliminari all'Acquisizione Dati del Profilo CROP18 - *Studi Geologici Camerti Volume Speciale*, pp. 233

Liotta D., (1994) - Structural Features of the Radicofani Basin along the Piancastagnaio (Mt Amiata) - S. Casciano dei Bagni (Mt Cetona) Cross Section – *Mem. Soc. Geol. It.* 48, pp.401–408

Liotta D., Ranalli G. (1999) - Correlation between Seismic Reflectivity and Rheology in Extended Lithosphere: Southern Tuscany inner Northern Apennines Italy - *Tectonophysics* 315, pp.109–122

Losacco U., (1960) - Ricerche Geologiche nella Toscana Meridionale III - Stratigrafia e Tettonica del Poggio Zoccolino (Monte Amiata) - *Boll Soc Geol It* 78, pp.107–134

Marinelli G., Barberi F., Cioni R., (1993) - Sollevamenti neogenici ed intrusioni acide della Toscana e del Lazio settentrionale – *Mem. Soc. Geol. It.* 49, pp.279–288

Meccheri M., Moretti A., Volterrani S., (1985) – La Struttura del Verrucano dei Monti Leoni (Grosseto: Cenni Litostratigrafici e Storia de formativa. In: Evoluzione Stratigrafica, Tettonica e Magmatica, del Paleozoico Italiano (Note brevi e riassunti) - *IGCP Project 5 Siena* (109-110).

Nirta G., Pandeli E., Principi G., Bertini G., Cipriani N., (2005) - The Ligurian Units of Southern Tuscany – *Boll. Soc. Geol. It. Spec.* 3, pp.29– 54

Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:100.000 Foglio n.128 "Grosseto" (1969)

Orlando L., Bernabini M., Cameli G.M., Dini I., Bertini G., (1994) - Interpretazione Preliminare del Minimo Gravimetrico del Monte Amiata – *Stud. Geol. Camert. Spec.* 1, pp.175–182

Orlando L., (2005) – Interpretation of Tuscany Gravity Data - *Boll. Soc. Geol., Volume Speciale, Result of the CROP 18 Project*

Pandeli E., Bertini G., Castellucci P., Morelli M., Monechi S., (2005) - The Ligurian Subligurian and Tuscan Units of the Monte Amiata Geothermal Region (South-Eastern Tuscany): New Stratigraphic and Tectonic Data – *Boll. Soc. Geol. It. Spec.* 3, pp.55–71

Pasquare G., Chiesa S., Vezzosi L., Zanchi A., (1983) - *Evoluzione Paleogeografica e Strutturale di parte della Toscana Meridionale a partire dal Miocene Superiore* – *Mem. Soc. Geol. It.* 25, pp.145–157

Serri G., Innocenti F., Manetti P., Tonarini S., Ferrara G., (1991) - Il Magmatismo Neogenico—Quaternario dell'Area Tosco-Laziale Umbra: Implicazioni sui Modelli

di Evoluzione Geodinamica dell'Appennino Settentrionale – *Stud. Geol. Camert. Spec. 1*, pp.429– 463

Tinivella U., Accaino F., Rossi G., Nicolich R., (2005) - Petrophysical Analysis of CROP18 Crustal Seismic Data – Boll. Soc. Geol. It. Spec. 3, pp.205–211

Van Bergen M.J., (1985) - Common Trace Elements Characteristics of Crustal and Mantle derived K-Rich Magmas at Mt Amiata (Central Italy) – Chem. Geol. 48, pp.125–135

Van Bergen M.J., Barton M.C., (1984) - Complex Interaction of Aluminous Metasedimentary Xenoliths and Siliceous Magma: an Example from Mt Amiata (Central Italy) - Contrib Mineral Petrol 86, pp.347–384

Zanchi A., Tozzi M., (1987) - Evoluzione Paleogeografica e Strutturale recente del Bacino del Fiume Albegna (Toscana Meridionale) - Geologica Romana V XXVI, Roma