

**IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO
TORRE ALFINA (VT)**

Progetto Definitivo e Programma Lavori

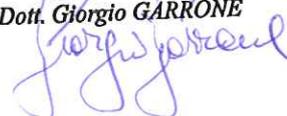
Preparato per:
ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A.

Febbraio 2015

Codice Progetto:
P13_ITW_049

Revisione: 1

ITW & LKW
Geotermia Italia S.p.A.
Il Presidente
Dott. Giorgio GARRONE



STEAM
Sistemi Energetici Ambientali
Lungarno Mediceo, 40
I - 56127 Pisa
Telefono +39 050 9711664
Fax +39 050 3136505
Email : info@steam-group.net



STEAM

ITW&LKW GEOTERMIA ITALIA SPA

**IMPIANTO PILOTA GEOTERMICO
TORRE ALFINA (VT)**

Progetto Definitivo e Programma Lavori



Prof. Franco Barberi

Project Supervisor

ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A.



Ing. ALBERTO BOTTAI
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA
N° 1291 Sezione A
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE
INDUSTRIALE, DELL'INFORMAZIONE

Ing. Alberto Bottai

Project Manager

ITW&LKW Geotermia Italia S.p.A.



Ing. RICCARDO CORSI
ORDINE INGEGNERI della Provincia di PISA
N° 869 Sezione A
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE
INDUSTRIALE

Ing. Riccardo Corsi

Project Director

STEAM Srl

INDICE

1	INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO	1
1.1	CONSIDERAZIONI SULLA SCELTA DELLA TECNOLOGIA DI ESTRAZIONE ADOTTATA	2
1.2	APPLICABILITÀ DELLA SOLUZIONE PROPOSTA	3
1.3	IL PERMESSO DI RICERCA	3
1.4	L'IMPIANTO PILOTA	4
1.5	I POZZI	5
1.6	INTERFERENZA CON L'IMPIANTO CASTEL GIORGIO	6
1.7	CARATTERE "PILOTA" DEL PROGETTO	7
2	IL CAMPO GEOTERMICO DI TORRE ALFINA	8
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
2.2	CARATTERISTICHE PRODUTTIVE DEL CAMPO GEOTERMICO	8
2.2.1	Caratteristiche Produttive dei Pozzi	12
2.2.2	Potenzialità della Risorsa Geotermica	13
2.3	CARATTERISTICHE CHIMICHE DEL FLUIDO E CAPACITÀ INCROSTANTI	14
2.3.2	Scelta del Numero e dell'Ubicazione dei Pozzi	18
2.4	PRESSIONE DI REINIEZIONE	20
2.4.1	Aspetti tecnici preliminari	20
2.4.2	Valori della Pressione di Re-Iniezione	21
3	CONDIZIONI LOCALI E COLLOCAZIONE DELL'IMPIANTO	23
3.1	CARATTERIZZAZIONE DELLE CONDIZIONI LOCALI	23
3.1.1	Climatologia	23
3.1.2	Sismicità	24
3.2	UBICAZIONE DELL'IMPIANTO E DEI POZZI PRODUTTIVI	27
3.2.1	Criteri di Scelta	27
3.2.2	Scelta Finale	28
3.2.3	Riferimenti Catastali	29
4	PROGETTO DEI POZZI	31
4.1	POZZI PRODUTTIVI	31
4.2	POZZI REINIETTIVI	38
4.3	DESCRIZIONE DELLE OPERAZIONI DI PERFORAZIONE	41
4.3.1	Caratteristiche Fisiche del Serbatoio	43
4.3.2	Caratterizzazione Produttiva dei Pozzi	44
4.3.3	Approvvigionamento Idrico	47
4.3.4	Tempi di Realizzazione dei Lavori	48
4.3.5	Caratteristiche dell'Impianto di Perforazione e della Postazione	49
4.3.6	Temporaneità delle Postazioni, Chiusura Mineraria e Ripristino Ambientale	62
4.3.7	Tecnologia di Perforazione e Prevenzione Rischi Durante la Perforazione	63
4.3.8	Uso di Risorse in Fase di Perforazione	72
4.3.9	Bilancio Scavi Riporti	74
4.3.10	Rifiuti e Residui	76

4.3.11	<i>Effluenti Liquidi</i>	78
4.3.12	<i>Emissioni Sonore</i>	78
4.3.13	<i>Ripristino Ambientale - Chiusura Mineraria dei Pozzi</i>	79
4.4	COMPLETAMENTO DEI POZZI PRODUTTIVI	80
4.4.1	<i>Sistema di dosaggio inibitore di incrostazione</i>	82
4.5	<i>INNESCO DEI POZZI PRODUTTIVI</i>	83
4.6	<i>COMPLETAMENTO POZZI REINIETTIVI</i>	84
5	LA CENTRALE DI PRODUZIONE	85
5.1	<i>CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE</i>	85
5.2	<i>DESCRIZIONE DEL PROGETTO</i>	86
5.2.1	<i>Descrizione Generale</i>	86
5.2.2	<i>Tubazioni di trasporto del fluido geotermico dai pozzi produttivi</i>	87
5.2.3	<i>Separatore liquido/vapore</i>	91
5.2.4	<i>Impianto ORC</i>	91
5.2.5	<i>Sistema di Estrazione e Reiniezione Gas Incondensabili</i>	92
5.2.6	<i>Tubazioni di Reiniezione</i>	93
5.2.7	<i>Ausiliari di Impianto</i>	95
5.2.8	<i>Opere Civili</i>	100
5.3	<i>COLLEGAMENTO ELETTRICO</i>	102
5.4	<i>PRESTAZIONI DELL'IMPIANTO PILOTA</i>	103
5.4.1	<i>Bilancio Energetico</i>	103
5.4.2	<i>Approvvigionamento Idrico</i>	104
5.4.3	<i>Consumo di Materie Prime ed Altri Materiali</i>	105
5.4.4	<i>Uso di Territorio</i>	105
5.4.5	<i>Emissioni in Atmosfera</i>	105
5.4.6	<i>Effluenti Liquidi</i>	105
5.5	<i>FASE DI COSTRUZIONE</i>	108
5.5.1	<i>Fase 1: Preparazione delle Aree e Realizzazione Fondazioni e Strutture</i>	108
5.5.2	<i>Fase 2: Tubazioni di Produzione e Reiniezione</i>	109
5.5.3	<i>Fase 3: Montaggi Meccanici ed Elettro-Strumentali</i>	109
5.5.4	<i>Fase 4: Commissioning, Messa in Servizio e Test</i>	109
5.5.5	<i>Cronoprogramma</i>	110
5.5.6	<i>Movimento Terra</i>	110
5.5.7	<i>Materiali</i>	114
5.5.8	<i>Mezzi di Cantiere</i>	115
6	INVESTIMENTI PREVISTI	116
7	REMISSIONE IN PRISTINO DELLE AREE AL TERMINE DEI LAVORI	117
7.1	<i>SMONTAGGIO E BONIFICA DEGLI IMPIANTI E DEGLI EQUIPAGGIAMENTI</i>	117
7.2	<i>DEMOLIZIONE DELLE OPERE CIVILI</i>	117
7.3	<i>CHIUSURA MINERARIA DEI POZZI PRODUTTIVI E REINIETTIVI</i>	118
7.4	<i>STIMA DEI COSTI</i>	118
8	ELENCO TAVOLE E ALLEGATI	122

1

INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

Il presente documento descrive il Progetto Definitivo dell'*Impianto geotermico pilota* denominato *Torre Alfina*, così come definito dall'art.9 del D.Lgs. n. 28 del 03/03/2011, che la società ITW&LKW Geotermia Italia spa (nel seguito ITW&LKW) intende realizzare nel territorio comunale di Acquapendente in provincia di Viterbo.

L'impianto di Torre Alfina fa parte di una richiesta di permesso di ricerca per due impianti pilota denominato Castel Giorgio -Torre Alfina che la società ITW&LKW ha presentato in data 19 luglio 2011 ai sensi del *D.Lgs. n. 28 del 03/03/2011*.

Il programma lavori associato alla richiesta di Permesso di Ricerca è stato esaminato dalla commissione per gli Idrocarburi e le Risorse Minerarie (CIRM) del Ministero dello Sviluppo Economico che ha espresso parere favorevole in data 13/03/2012.

In data 03 ottobre 2013 è stata presentata al Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare istanza di avvio della procedura per la dichiarazione di compatibilità ambientale per il primo dei due progetti, il Progetto Pilota Castel Giorgio. Questo progetto prevedeva alcune varianti rispetto a quello inizialmente presentato nell'istanza di Permesso di Ricerca, varianti rese necessarie a seguito di modifiche e integrazioni del D.Lgs. n. 28 del 03/03/2011 che hanno riguardato essenzialmente il numero di pozzi associati al progetto.

La variazione del programma lavori è stata ritenuta dal MISE in linea con la precedente richiesta e infine approvata, sentita la CIRM, in data 19/03/2014.

La procedura di VIA relativa al progetto dell'Impianto Pilota "Castel Giorgio" si è positivamente conclusa con l'emissione del relativo decreto di compatibilità in data 3 Aprile 2015.

La presente relazione si riferisce al Programma Lavori per il Progetto Torre Alfina e comprende le variazioni al programma lavori per lo stesso progetto approvato dalla CIRM in data 13/03/2012.

Si ricorda inoltre che il presente progetto è stato elaborato tenendo conto della presenza dell'impianto Pilota Castelgiorgio e ricercando soluzioni tecniche diverse da quelle utilizzate per l'impianto Castelgiorgio.

Nello specifico le principali modifiche progettuali proposte con questo progetto riguardano:

- L'identificazione di un polo reiniettivo diverso da quello originario che era previsto al polo di reiniezione CG14 di Castelgiorgio perforandovi due ulteriori pozzi devianti.

- L'identificazione di un nuovo sito per il posizionamento dell'impianto pilota nella cava dismessa denominata Le Greppe in comune di Acquapendente in luogo del posizionamento nel vecchio stabilimento della società Consorgas.
- Una nuova tecnologia di produzione e prevenzione delle incrostazioni in luogo delle pompe sommerse: i pozzi produttivi erogheranno naturalmente una miscela di liquido e gas che saranno successivamente raffreddati, mescolati e reiniettati mentre le incrostazioni saranno prevenute con l'iniezione di un inibitore di incrostazione nei pozzi produttivi;
- l'insacco della produzione dei pozzi avverrà mediante gas lift iniettando azoto in pozzo mediante un coiled tubing dedicato o mediante lo stesso tubing utilizzato per il pompaggio dell'inibitore di incrostazioni.

1.1

CONSIDERAZIONI SULLA SCELTA DELLA TECNOLOGIA DI ESTRAZIONE ADOTTATA

Il Progetto Castel Giorgio prevede di estrarre il fluido geotermico mediante pompe di profondità che mantengono il fluido geotermico lungo tutto il percorso fino ai pozzi reiniettivi ad una pressione non inferiore a quella di bolla del gas per prevenire la precipitazione dei Sali di calcio.

Nel Progetto Torre Alfina questa tecnologia di estrazione è stata sostituita con basata sulla capacità dei pozzi di auto produrre il fluido geotermico e inibendo, come sopra accennato, la formazione di incrostazioni con l'iniezione di un apposito inibitore.

L'adozione di questa tecnologia nasce da esigenze di tipo minerario connesse alla presenza della cappa di gas rappresentata nella *Figura 2.2a*, infatti buona parte dei pozzi produttivi attraverseranno la cappa, e alla conseguente necessità di completare i pozzi in modo diverso da quelli del Progetto Castel Giorgio.

La soluzione tecnologica di Torre Alfina si differenzia dalla precedente e ha diverse implicazioni:

- Si prevede di completare i pozzi con un sistema di casing e liner che permette la loro messa in produzione senza prelievo di gas dalla cappa;
- Anche se la cappa risulterà isolata e la soluzione di estrazione con pompa in profondità sarebbe ugualmente realizzabile (come a Castel Giorgio) per una maggiore sicurezza dell'esercizio dei pozzi, si è preferito adottare la soluzione di flashing perché con essa sono più semplici le operazioni di chiusura mineraria dei pozzi sia a fine vita dell'impianto, sia nel caso di una chiusura mineraria anticipata per motivi diversi;
- La soluzione di flashing, come appena detto, implica la messa in produzione dei pozzi mediante gas lift (nitrogen lift) da realizzare con un impianto di pompaggio del gas (azoto) attraverso un apposito coiled tubing inserito nei pozzi produttivi;
- Tale impianto interferisce con quello di iniezione dell'inibitore per cui è stato necessario progettare un sistema che permette entrambe le funzioni.

1.2

APPLICABILITÀ DELLA SOLUZIONE PROPOSTA

Mentre la soluzione tecnologica del Progetto Castel Giorgio è applicabile solamente ai casi di campi ad acqua ed ai casi di fluido costituito da salamoia difficilmente gestibile con inibitori.

Pertanto, nell'ambito dei campi geotermici italiani, il successo della sperimentazione del progetto pilota Torre Alfina potrà trovare un'applicazione ben più estesa della precedente. In particolare la sua sperimentazione potrà risultare utile per essere trasferita ai campi a vapore con grande beneficio ambientale grazie all'eliminazione delle emissioni legate all'esercizio delle centrali.

Non solo: anche la durata degli stessi campi geotermici risulterebbe incomparabilmente superiore a quella che caratterizza la gestione attuale, conferendo alla risorsa geotermica il carattere di fonte effettivamente rinnovabile.

1.3

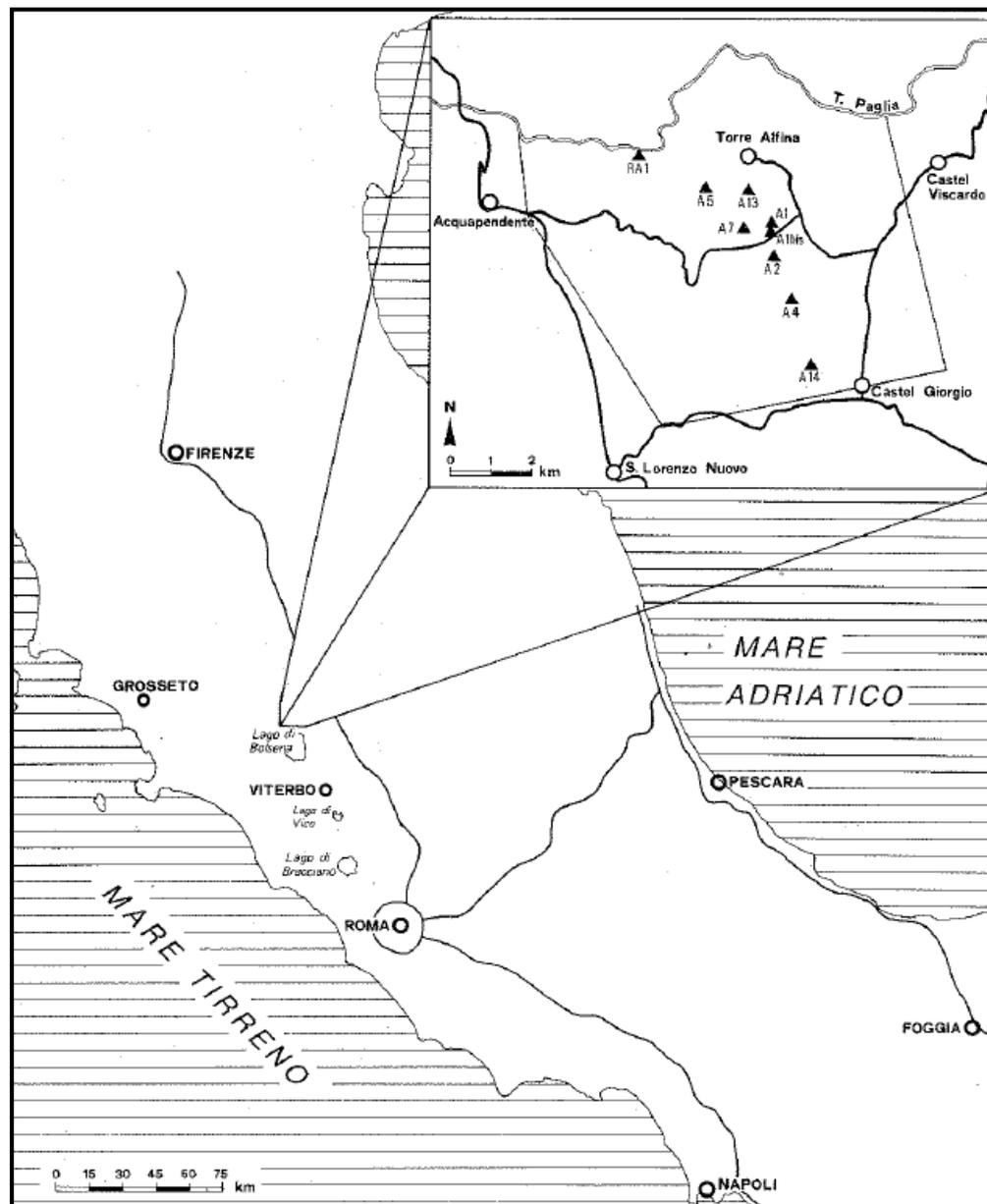
IL PERMESSO DI RICERCA

La localizzazione del progetto Torre Alfina su CTR è mostrata in *Tavola 1* e su foto aerea nella *Tavola 2*. In entrambe le tavole sono indicate anche le opere principali del progetto pilota Castel Giorgio.

Nell'insieme il Permesso di Ricerca "Castel Giorgio – Torre Alfina" interessa l'area del territorio delle regioni Lazio e Umbria già occupata dalla Concessione di Coltivazione di fluidi geotermici denominata "Torre Alfina" titolare Enel Green Power del gruppo Enel spa.

La Concessione mineraria aveva scadenza nel 2013, ma con Determinazione del Direttore del Dipartimento di competenza n.3243 del 29 dicembre 2007, pubblicata sul Bollettino Ufficiale della Regione Lazio, n.3 – Parte prima, del 21/01/2008, l'area della concessione fu ridotta da 58,63 km² a 9,84 km², ricadenti interamente nel territorio della Regione Lazio, e la Concessione mineraria per fluidi geotermici fu trasformata in Concessione mineraria per anidride carbonica ed accordata per 10 anni alla Società Enel Produzione S.p.A.

In *Figura 1.3a* si riportano l'ubicazione ed i limiti della Concessione Torre Alfina che si estendeva nel territorio dei Comuni di Acquapendente (VT), San Lorenzo Nuovo (VT), Castel Giorgio (TR) e Castel Viscardo (TR); in figura è riportata, inoltre, l'ubicazione dei primi nove pozzi geotermici perforati da Enel. Un altro pozzo molto profondo (Alfina 15, 4.826 m) è stato perforato nel 1987-1988 (*Buonasorte et al., 1991*).

Figura 1.3a Ubicazione dell'Area Geotermica di Torre Alfina


1.4

L'IMPIANTO PILOTA

In *Figura.1.4a* si riporta l'ubicazione del progetto con indicata l'estensione e l'ubicazione del Permesso di Ricerca per gli impianti pilota Castel Giorgio – Torre Alfina. Come è visibile nella figura, tutte le opere di cui sarà costituito l'impianto pilota di Torre Alfina si troveranno interamente nel territorio della Regione Lazio, comune di Acquapendente.

Il progetto prevede che l'Impianto ORC sia inserito all'interno dell'area interessata dall'estrazione di pietra lavica della cava denominata Le Greppe.

L'impianto pilota sarà costituito da:

- pozzi di produzione del fluido geotermico;

- tubazioni di trasporto del fluido;
- centrale di produzione elettrica del tipo Organic Rankine Cycle (ORC);
- pozzi di reiniezione.

La capacità produttiva degli impianti pilota è definita dall'art1 comma 3bis1 del Decreto Legislativo 11 febbraio 2010, n. 22 e s.m.i ed è pari a 40.000MWh annue immesse nel rete elettrica nazionale.

Tenuto conto delle caratteristiche del fluido e della tipologia di impianto, la portata di fluido geotermico necessaria per realizzare la produzione elettrica di cui sopra è stimata in circa 800 t/h.

Di conseguenza, tenuto conto delle caratteristiche produttive del serbatoio carbonatico, il numero di pozzi produttivi necessario è stato assunto pari a 5 mentre i pozzi destinati alla reiniezione sono in numero di 4.

1.5

I POZZI

Tre dei pozzi destinati alla produzione, tutti perforati dalla postazione denominata AP1, sono ubicati in prossimità di un'area già occupata da uno stabilimento di raccolta e trattamento dell'anidride carbonica (CO₂) ed esercito fino al 2009 dalla società Consorgas. La postazione di un quarto pozzo è ubicata a circa 500m a Sud-Est della precedente e denominata AP3.

Nell'area della cava Le Greppe si prevede di inserire anche la postazione di perforazione denominata AP2 e destinata ad accogliere un eventuale quinto pozzo adibito alla produzione del fluido geotermico.

I pozzi reiniettivi sono quattro, tutti ospitati in un'unica postazione di sonda identificata nelle *Tavola 1* e *Tavola 2* con la sigla AP4.

Nella stessa figura sono visibili anche i percorsi delle tubazioni di trasporto del fluido geotermico.

Il fluido geotermico che fluisce dai pozzi verso la centrale è allo stato bifase, costituito da acqua, vapore e gas, (in larga prevalenza CO₂).

Le tubazioni che trasportano il fluido dalla centrale ORC ai pozzi reiniettivi prevedono per il primo tratto una tubazione per la fase liquida e una distinta per la fase gassosa, quindi si miscelano i due flussi e nell'ultimo tratto si avrà un'unica tubazione (anche questa in bifase) che arriva alla postazione di reiniezione.

L'impianto descritto di seguito prevede di ricavare energia elettrica dai fluidi presenti nel serbatoio geotermico. Il fluido è sostanzialmente una soluzione di bicarbonato e cloruri di sodio e calcio (circa 6 gr/l di salinità totale) e quindi potenzialmente incrostanti e per questa ragione il progetto prevede una specifica soluzione tecnica per impedire la formazione di tali incrostazioni diversa da quella utilizzata nell'impianto Castel Giorgio.

I fluidi geotermici, una volta estratti e utilizzati nell'impianto ORC per la produzione di energia elettrica ed eventualmente per la cessione di calore per usi civili, industriali e agricoli, verranno totalmente reiniettati nelle formazioni di provenienza.

Pertanto l'impianto in oggetto si configura come "Impianto Pilota", caratterizzato da soluzioni tecnologiche innovative e da un processo di produzione che prevede totale assenza di emissioni nell'ambiente.

L'energia prodotta sarà consegnata alla rete di Enel Distribuzione mediante un collegamento in media tensione. con. elettrodotto aereo della lunghezza di circa 6 km fino alla C.P. di Acquapendente, localizzata nel Comune di Acquapendente, in Provincia di Viterbo (Lazio).

1.6 **INTERFERENZA CON L'IMPIANTO CASTEL GIORGIO**

La documentazione per l'avvio della procedura di VIA per l'impianto pilota di Castel Giorgio è stata consegnata a Ottobre 2013.

Tale impianto pilota prevede l'estrazione dell'acqua mediante pompe di sommerse in grado di mantenere in pressione l'acqua per evitare la formazione di incrostazioni.

Come descritto previamente ai paragrafi precedenti, una importante novità tecnologica introdotta con il progetto Torre Alfina, è l'estrazione del fluido geotermico mediante l'auto-produzione dei pozzi, anziché mediante pompe di profondità, e l'iniezione di micro quantità di un inibitore per prevenire la formazione delle incrostazioni da carbonato di calcio, che altrimenti impedirebbero il funzionamento dell'impianto.

Analogamente al progetto Castel Giorgio, il presente progetto è stato predisposto utilizzando i dati dei pozzi perforati negli anni '70 da Enel nell'ambito della Concessione mineraria per la coltivazione di fluidi geotermici "Torre Alfina", richiamata sopra. Al momento i vecchi pozzi dell'ENEL che avevano interessato il comune di Acquapendente risultano in prevalenza chiusi minerariamente. Solo due sono ancora attivi: uno è il pozzo Alfina 2, sito in prossimità della cava Le Greppe, l'altro è il pozzo Alfina 13, sito in prossimità del paese Torre Alfina, in precedenza adibito all'estrazione di CO₂.

Un'altra modifica introdotta nel Progetto Torre Alfina, rispetto alla sua versione originaria presentata al MISE nel 2011, è la separazione dei poli reiniettivi dei due progetti. Infatti, mentre l'impianto Castel Giorgio prevede il polo re iniettivo centrato sul cluster di pozzi CG14, l'impianto Torre Alfina prevede un polo re iniettivo centrato sul cluster di quattro pozzi denominato AP4 (vedi *Tavola 1*).

L'esercizio dell'impianto Pilota Torre Alfina così concepito *non* comporta interferenza alcuna con quello di Castel Giorgio come si deduce dai risultati della modellazione numerica del serbatoio geotermico di cui *all'Allegato 3*

Il progetto Pilota Torre Alfina pertanto non implica modifiche progettuali al progetto dell'impianto Pilota Castel Giorgio per il quale, a Ottobre 2013 è stata presentata Istanza di V.I.A. al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e attualmente in attesa di emissione del decreto di compatibilità ambientale.

I due progetti risultano pertanto completamente distinti e reciprocamente indipendenti.

Pertanto lo "stato ambientale e minerario" in cui si colloca questo secondo progetto tiene conto della presenza del primo. Le potenziali interferenze tra i due progetti in fase di cantiere riguardano principalmente il prelievo di acqua per la perforazione dei pozzi oltre ad altre (come ad esempio il rumore) che di fatto hanno un'importanza più ipotetica che reale come verrà dimostrato nello SIA dove sono analizzati gli impatti ambientali combinati dei due progetti.

1.7 **CARATTERE "PILOTA" DEL PROGETTO**

Il carattere sperimentale del progetto, per cui è stato classificato "pilota", riguarda:

- le soluzioni progettuali innovative per assicurare l'assenza di emissioni nelle condizioni specifiche di esercizio dell'impianto;
- le problematiche di cogestione della produzione elettrica e di calore per usi civili, industriali e agricoli;
- la sperimentazione del sistema di prevenzione delle incrostazioni da sali di calcio;
- la messa a punto del sistema di miscelazione dei gas incondensabili e del fluido geotermico raffreddato a valle dello sfruttamento energetico in modo da realizzare la reiniezione totale del fluido nel serbatoio;
- gli aspetti termodinamici, chimici, di durabilità dei macchinari principali e l'ottimizzazione del loro impiego;
- l'effettiva durabilità della risorsa geotermica alle condizioni di sfruttamento previste.

In sintesi, la sperimentazione riguarderà elementi di ottimizzazione dell'impiego del macchinario e del fluido geotermico nell'assoluto rispetto delle condizioni di sicurezza dell'esercizio dell'impianto verso le persone e l'ambiente a cominciare dall'assenza di emissioni.

2 IL CAMPO GEOTERMICO DI TORRE ALFINA

2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il campo geotermico di Torre Alfina è ubicato al confine fra le province di Terni e Viterbo ed è stato scoperto da ENEL nel 1973; l'area è stata oggetto di numerosi studi e interpretazioni, sintetizzati in *Allegato 1*, cui si rimanda per un completo inquadramento geologico, geofisico e geochimico. Altre informazioni di carattere geotecnico e idrogeologico della zona sono riportate in *Allegato 2*.

2.2 CARATTERISTICHE PRODUTTIVE DEL CAMPO GEOTERMICO

Ad oggi sono stati perforati n°10 pozzi di cui 5 (A4, A7, A13, A14, RA1) con ottime caratteristiche di permeabilità, 2 sterili (A2, A5) ed altri tre, inizialmente permeabili ma inutilizzabili (A1, A1 BIS, A15).

La profondità dei pozzi varia da 600 m ai 4.826 m del pozzo Alfina 15, perforato con obiettivi di studio, ma la maggior parte dei pozzi è compresa fra 600-800 m e 2.368 m del pozzo A14.

Le caratteristiche geologiche e geometriche del serbatoio sono mostrate nelle seguenti *Figure 2.2a, 2.2b e 2.2c*.

Figura 2.2a Sezione Geologica Schematica su una Traccia in Corrispondenza dei Pozzi Indicati. 1) Complesso vulcanico 2) Complesso dei depositi marini pliocenici 3) Complesso in facies ligure ed australpina interna 4) Complesso in facies toscana 5) Estensione della Cappa di gas 6) Isotherme in °C. Da Buonasorte et al 1988

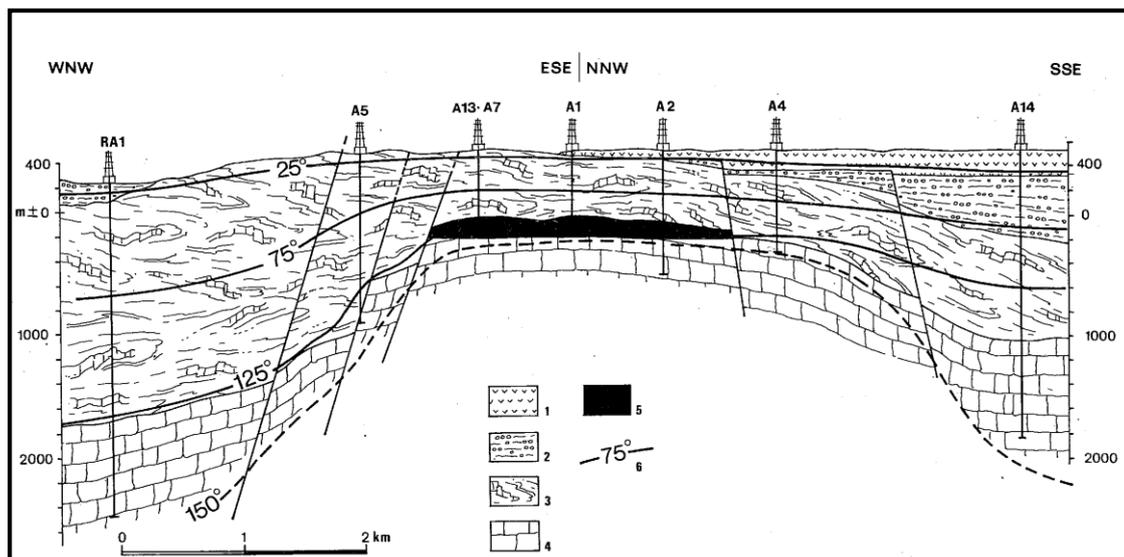


Figura 2.2b *Andamento del Tetto del Potenziale Serbatoio e di distribuzione delle isoterme. Le isobate sono Esprese in Metri sul Livello del Mare . Il Numero 3 indica l'affioramento più vicino delle rocce serbatoio e il Numero 4 indica l'estensione (indicativa) della cappa di gas (da Buonasorte et al. 1988)*

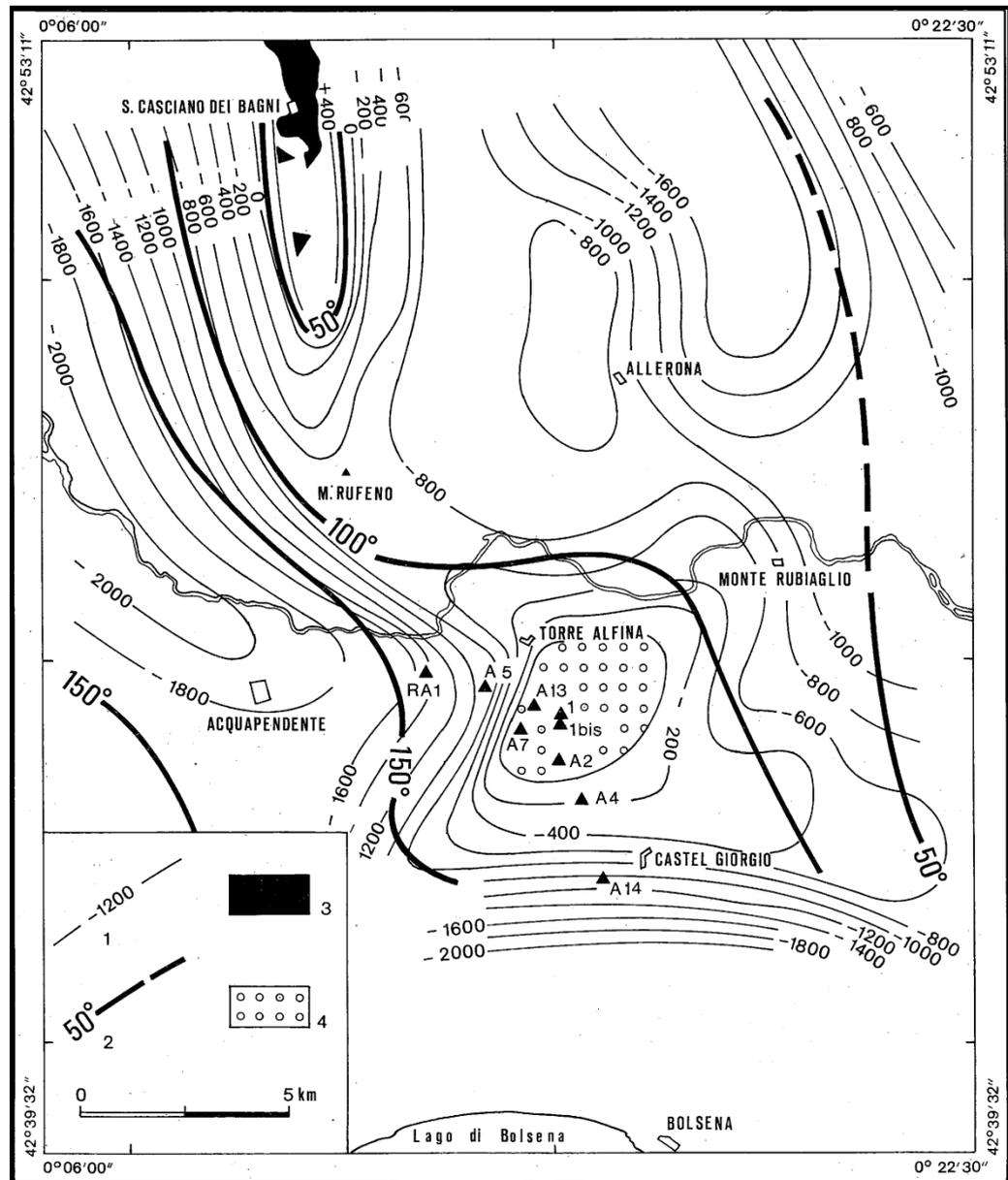
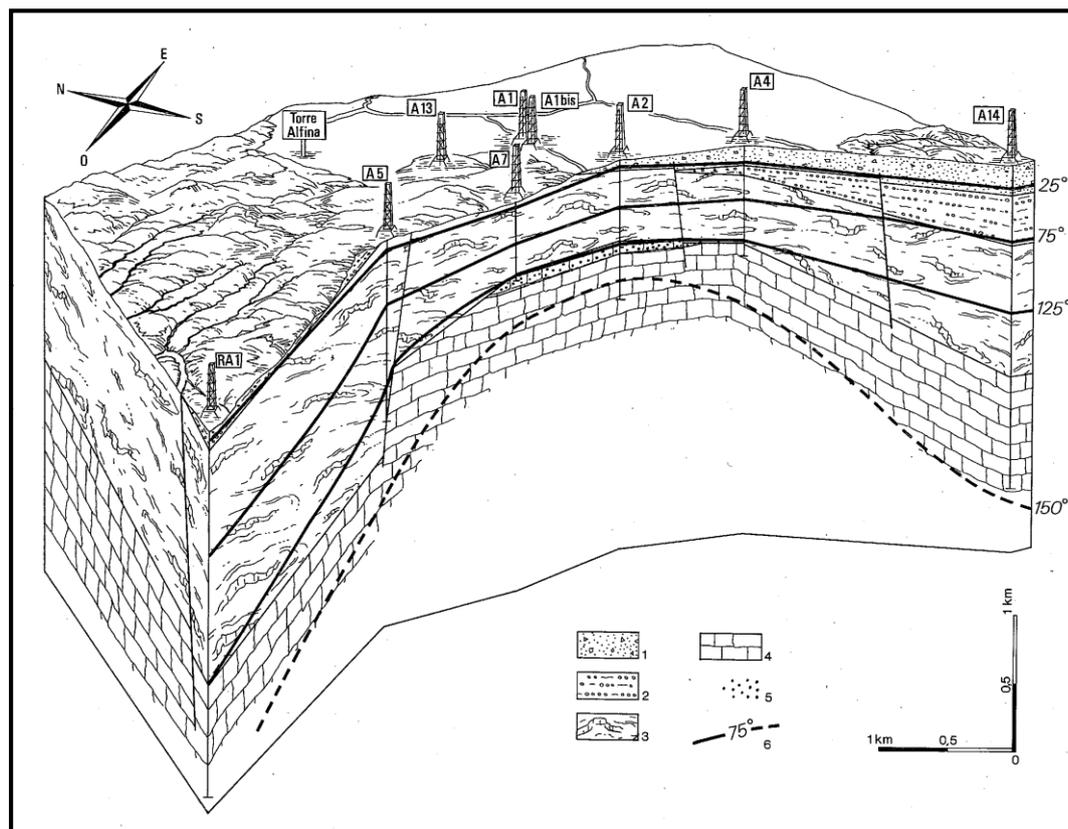


Figura 2.2c Blocco Diagramma Schematico del Campo Geotermico di Torre Alfina. Per i Simboli Vedi Figura 2.2a (da Buonasorte et al. 1988)



Il serbatoio geotermico è ospitato in un alto strutturale del complesso carbonatico sottostante la copertura flyschoidale ed è costituito da una cappa di gas dello spessore di circa 100 m alla sommità della struttura (circa 600 m dal piano campagna) al di sotto della quale si trova la fase liquida (acqua saturata di CO₂) per uno spessore imprecisato ma comunque superiore al km.

I pozzi che interessano la sommità della struttura producono quindi gas (A1, A1 bis, A13), mentre quelli ai bordi producono acqua (A4, A14, RA1) con qualche percento di CO₂ disciolta. In particolare, per quanto riguarda i pozzi situati nell'area oggetto del presente progetto, il pozzo Alfina 2 (A2), oltre che poco produttivo tanto da essere stato classificato sterile (vedi *Tabella 2.2.1a*), è tuttora privo di pressione a testa pozzo. Ciò sembra confermare che il limite Sud dell'area interessata dalla cappa di gas non comprenda la verticale passante per A2 contrariamente a come indicato nella stessa mappa di *Figura 2.2b*. Anche il pozzo A15, ubicato nella parte Sud Est, ha permesso di delimitare in tale direzione la cappa di gas.

Invece i pozzi A1, A1Bis, oltre ad altri che hanno riguardato l'esplorazione della parte a Nord Ovest del campo, hanno evidenziato una capacità produttiva molto alta (così come gli altri A4 e A14 ubicati in area Castel Giorgio, in linea con le caratteristiche di fratturazione comunemente riscontrate negli analoghi serbatoi carbonatici).

Al di fuori dell'area di interesse del progetto si incontrano anche altri pozzi perforati da Enel negli anni '70-'80 e denominati A5 e RA1.

Il pozzo A7, avendo incontrato permeabilità in corrispondenza dell'interfaccia gas-acqua, aveva prodotto gas e acqua in proporzioni variabili in dipendenza della posizione dell'interfaccia al momento dell'erogazione e della portata.

Il pozzo profondo A15, fu perforato a fine anni '80 a fini stratigrafici. Il pozzo ha raggiunto la profondità di 4.815m, incontrando il serbatoio geotermico a 1.050m circa, quindi ad una profondità nettamente superiore a quella rilevata negli altri pozzi perforati nella zona adiacente la cappa di gas, che non è stata pertanto intercettata dall'A15. Esso ha dimostrato l'esistenza di un unico serbatoio carbonatico fino almeno a fondo pozzo (4.815m).

Infine, il pozzo RA1, il più lontano dall'area del progetto (circa 5 km dal sito della Centrale ORC di Torre Alfina) ha raggiunto l'acquifero a una maggiore profondità, circa 1.930 m, a conferma della forma "a fungo" del serbatoio, come riportato nei documenti pubblicati da Enel. Il pozzo ha mostrato una limitatissima capacità produttiva spontanea.

Mentre gli altri pozzi presentano un livello statico di acqua a circa 200 m dal piano campagna, RA1 manteneva un livello a piano campagna. Proprio a causa della sua limitatissima capacità produttiva, il pozzo era stato oggetto di tentativi di fratturazione per aumentarne artificialmente la capacità iniettiva. L'operazione consistette in un pompaggio prolungato di acqua dalla testa pozzo a portate variabili e ad alta pressione per creare fratture nella formazione profonda del serbatoio e provocare la loro diffusione nella speranza di intercettare zone permeabili del serbatoio (si veda il rapporto "Sismicità indotta o innescata", *Allegato 6*).

Di fatto si tentò di realizzare un'operazione che oggi è comunemente classificata come Enhanced Geothermal System (EGS), cioè tendente a realizzare, per fratturazione artificiale delle rocce, un serbatoio geotermico fratturato laddove esso non esiste o quanto meno a creare un collegamento artificiale tra il pozzo e un serbatoio. L'operazione fu interrotta perché dette luogo a fenomeni di sismicità indotta che, per quanto di modesta entità, oltre ad essere rilevati dalle stazioni sismiche dell'Enel furono avvertiti in superficie dalla popolazione.

Ad ogni buon conto si ribadisce che le operazioni classificabili come EGS non fanno parte del presente progetto che ha lo scopo di coltivare il serbatoio carbonatico fratturato esistente.

Le temperature del giacimento sono abbastanza uniformi e variano fra 125°C e 150°C (*Buonasorte et al. 1988, Barelli et al., 1978*) per raggiungere i 200°C al fondo del pozzo A15. La temperatura del serbatoio nella zona centrale del campo e alle profondità interessate dal progetto è invece uniformemente prossima a 140°C per cui tale valore è stato assunto a riferimento come dato di progetto e per il dimensionamento della Centrale.

La modellazione numerica del sistema geotermico di Castel Giorgio - Torre Alfina effettuata dalla società Terra Energy, spin-off dell'Università di Pisa, è riportata in *Allegato 3*. I risultati della modellazione numerica dimostrano che, nell'arco dei trent'anni assunti come durata dell'esercizio dei due impianti, l'interferenza tra i

pozzi produttivi e reiniettivi è assolutamente compatibile con l'esercizio di entrambi gli impianti di Castel Giorgio e di Torre Alfina.

2.2.1 *Caratteristiche Produttive dei Pozzi*

Su tutti i pozzi perforati dall'Enel sono state eseguite prove di fisica del serbatoio durante e/o alla fine della perforazione per conoscere il fluido prodotto e le caratteristiche della formazione.

Oltre a queste prove eseguite con l'impianto di perforazione ancora sul posto, sono state eseguite prove di lungo termine ai pozzi A1 bis e A7.

Le prove eseguite hanno fornito informazioni sufficienti alla comprensione dei fenomeni più importanti che possono avvenire nel serbatoio geotermico di Torre Alfina nel corso dello sfruttamento ed hanno consentito di determinare le caratteristiche produttive di ogni singolo pozzo, che sono quindi riassunte nella *Tabella 2.2.1a*.

I pozzi A1 e A1bis erano stati dichiarati inutilizzabili a causa dell'alta produzione di gas. In effetti essi, per il modo in cui erano stati completati, potevano prelevare fluido direttamente dalla cappa di gas e l'eventuale produzione di acqua era necessariamente in combinazione con il gas della cappa che ne complicava enormemente le tecniche di sfruttamento.

Per inciso si sottolinea, come sarà più dettagliatamente descritto nel seguito, che il presente progetto prevede un programma di completamento dei pozzi che attraversano la cappa di gas, tale da permetterne il completo isolamento facendo sì che la loro produzione sia caratterizzata solo da acqua geotermica in maniera del tutto analoga ai pozzi del progetto Castel Giorgio.

Tabella 2.2.1a *Caratteristiche produttive dei pozzi di Torre Alfina*

Pozzo	Temperatura Fondo pozzo (°C)	Portata CO ₂ ** (t/h)	Portata liquida (t/h)
A1	130		non utilizzabile
A1 BIS			non utilizzabile
A2	130	Sterile	
A4	140	5	250
A5	140	Sterile	
A7	130	6	300
A13 *	130	6	300
A14	140	5	250
RA1	140	3	150
A15	200	Sterile	

* Il pozzo A13 ha erogato solo CO₂ nell'ambito della concessione mineraria Enel. I dati indicati in tabella per la portata di liquido si riferiscono a previsioni effettuate nell'ipotesi di completo esaurimento nella cappa di CO₂ sovrastante l'acquifero.

** E' stata stimata (Barelli et al., 1978) una ricarica di CO₂ naturale pari a circa 7 t/h.

2.2.2

Potenzialità della Risorsa Geotermica

Come mostrato precedentemente:

- il campo geotermico è contenuto nelle rocce carbonatiche permeabili per fratturazione ed è confinato superiormente da una copertura impermeabile (costituita da terreni in facies di flysch);
- nella parte centrale del campo, in corrispondenza della culminazione delle rocce carbonatiche è presente una cappa di gas (CO₂) avente una pressione di circa 45 bar ed uno spessore dell'ordine di 100 m. L'acqua contenuta nel serbatoio geotermico ha una salinità di circa 5.000 ppm ed in essa è disciolta anidride carbonica nella misura del 1,8% circa. Tale quantitativo è dell'ordine di almeno 1x10⁶ tonnellate (*Barelli et al 1978*);
- al di sotto della cappa di gas risiede un acquifero con una temperatura sostanzialmente uniforme il cui valore medio risulta 140°C.

Il calcolo della potenza termica estraibile dall'acquifero può essere effettuato stimando l'estensione del serbatoio geotermico.

Con riferimento alle precedenti *Figure 2.2a, 2.2b e 2.2c*, per effettuare una stima prudenziale si può ipotizzare che i pozzi produttori siano collegati da una frattura verticale che li attraversa.

In questa ipotesi l'estensione minima in lunghezza del serbatoio comprenderà il tratto dal pozzo RA1 al pozzo A14 per complessivi 7 km mentre in ampiezza si può assumere che sia compreso in una fascia con un'estensione compresa tra 100 e 1.000 metri centrata sui pozzi produttivi.

Dalla sezione geologica mostrata nella precedente *Figura 2.2a*, si può desumere che il serbatoio geotermico abbia una profondità di almeno 1 km. A tal proposito si vedano anche i lavori di prospezione geologica, geofisica e di fisica del serbatoio fino ad oggi effettuati (*Buonasorte et al. 1988; Barelli et al. 1978*).

Si ritiene pertanto che l'estensione del serbatoio sia idonea allo sfruttamento previsto nei due impianti Pilota di Torre Alfina e Castel Giorgio.

Per i dettagli relativi calcolo alla valutazione della potenzialità della risorsa si rimanda all'*Allegato 3* dove vengono riportate valutazioni basate su ragionevoli assunzioni relative al volume del serbatoio e alla permeabilità della formazione calcarea che lo ospita.

Il modello numerico permette una stima della durabilità minima della risorsa ed altre grandezze fisiche importanti per avere conferma della totale compatibilità ambientale dello sfruttamento.

Ovviamente tale modellazione dovrà essere affinata una volta che saranno stati acquisiti attraverso i nuovi pozzi, i dati effettivi sulle caratteristiche di permeabilità del serbatoio.

2.3

CARATTERISTICHE CHIMICHE DEL FLUIDO E CAPACITÀ INCROSTANTI

Nel corso delle erogazioni dei pozzi di Torre Alfina, si sono potuti raccogliere numerosi campioni e ricostruire la composizione tipica del fluido alle condizioni di serbatoio.

Le analisi chimiche medie dei pozzi così come riportate in *Buonasorte et al (1988)* sono riassunte nella seguente *Tabella 2.3.1.1a*. La composizione media del gas raccolto durante le prove di produzione è invece riportato nella *Tabella 2.3.1.1b*.

I dati idrogeochimici sono stati raccolti nel corso di numerose e prolungate prove di produzione che avevano permesso ad Enel di formulare anche ipotesi di sfruttamento e che hanno condotto all'ottenimento di una concessione mineraria per lo sfruttamento della risorsa geotermica denominata Torre Alfina, poi trasformata in Concessione di Coltivazione per la produzione di gas (vedi *Paragrafo 1*).

Alcuni aspetti dovranno essere definitivamente accertati nel corso di realizzazione dei nuovi pozzi mentre altri dovranno trovare conferma della loro validità. Tuttavia i margini di incertezza sono da considerarsi molto ridotti e tali da non inficiare il valore e l'affidabilità del presente progetto. Questa scelta è perfettamente in linea anche con la "Direttiva per la prima attuazione" del D.Lgs. 22/2010 emanata dal Ministero dello Sviluppo Economico in data 01/07/2011.

Restano da accertare la rispondenza tra i valori di produttività e iniettività attesi dei pozzi e quella reale ma, come in tutte le attività minerarie, le risposte potranno venire solo dall'esito delle nuove perforazioni.

Inoltre un piccolo margine di incertezza resta sul contenuto effettivo di gas disciolto nell'acqua geotermica del serbatoio, mentre per la temperatura del fluido e per la composizione chimica dell'acqua e dati raccolti in passato lasciano pochi dubbi sui loro valori effettivi.

2.3.1.1

Incrostazioni da Carbonato di Calcio

Nel corso delle prove di produzione eseguite da Enel, tutti i pozzi di Torre Alfina avevano evidenziato grossi problemi di incrostazione da carbonato di calcio.

Per i diversi metodi di trattamento delle incrostazioni si rimanda a *R. Corsi 1986, 1987*.

Tabella 2.3.1.1a Analisi Chimiche del Fluido Prodotto dai Pozzi di Torre Alfina (da Buonasorte et alii 1988)

N° camp.	DATA camp.	T °C	PH	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Petot mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	B tot mg/l	SiO ₂ tot. mg/l	H ₂ S tot. mg/l	TDS mg/l	Σcat Σ an
PP1 A1 bis	9/9/74	102	7.20	2020	144	158	20.0	n.d.	20.7	2480	1280	439	22.7	439	as.te	6690	1.017
PP2 2) A1 bis	29/11/74	116	7.70	1970	171	137	20.0	n.d.	38.7	2110	1800	374	32.2	101	as.te	5560	1.014
PP3 3) A1 bis	29/11/74	117	7.70	1940	171	131	14.0	n.d.	43.4	2100	1670	426	38.5	128	as.te	5980	1.017
PP4 A4	1/9/74	119	8.70	1800	2000	10	11.0	n.d.	25.0	2630	59	405	28.7	176	tracce	5340	0.917
PP5 A4	3/9/74	119	8.60	2030	225	8	12.0	n.d.	9.5	2950	87	427	30.5	204	as.te	6040	0.930
PP6 4) A4	3/9/74	119	8.40	2000	205	22	12.0	n.d.	19.0	2660	550	419	28.4	190	as.te	5940	1.017
PP7 A7	4/2/74	90	7.30	2160	117	147	14.0	0.87	21.4	2460	n.d.	543	21.7	96	as.te	n.d.	1.323
PP8 5) A7	11/2/76	90	7.35	2300	144	139	19.0	0.52	18.6	2640	2110	70	22.7	103	as.te	6450	1.025
PP9 5) A7	16/2/76	90	7.30	2330	153	134	16.0	0.42	12.0	2660	2090	79	23.4	106	as.te	6350	0.893
PP10 A7	5/7/75	80	6.90	2250	165	148	20.0	1.40	19.2	2700	1440	511	25.0	117	as.te	6530	1.020
PP11 A7	7.7.75	81	7.40	2250	149	71	24.0	0.20	19.0	2610	1320	505	24.8	117	as.te	6290	1.019
PP12 RA1	12/10/76	80	7.00	1840	175	240	40.0	n.d.	27.0	2160	1750	554	8.9	106	as.te	5910	0.998
PP13 RA1	19/10/74	80	7.20	2070	168	151	44.2	n.d.	28.5	2320	1760	522	22.5	129	as.te	6180	1.018
PP14 RA1	21.10/76	67	6.20	1830	168	266	96.0	n.d.	32.0	2160	1930	561	25.5	111	as.te	6080	1.023
PP15 6) RA1 7)	21/10/76	130	6.80	1940	168	225	29.0	38	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	96	n.d.	n.d.	

1) Sotto il codice del campione viene indicata la sigla del pozzo da cui esso è stato raccolto; 2) Campionamento con Kuster a 620 m dal p.c.; 3) Idem a 627 m dal p.c.; 4) Alla portata massima di circa 300 t/h; 5) Le composizioni sono ricostruite includendo nel liquido il vapore prodotto durante l'erogazione; 6) Campionamento con Kuster a 2000 m dal p.c.; 7) Determinati solo i cationi per mancanza di un adeguato volume di campione.

Tale fenomeno si origina dal fatto che la soluzione nel serbatoio è praticamente satura in ioni Ca⁺⁺ e HCO₃⁻ e in ioni CO₃⁻ essendo in equilibrio con un gas (anidride carbonica al 98%).

Quando inizia la produzione di fluido, in assenza di pompaggio, la pressione diminuisce passando da valori dell'ordine dei 45 bar presenti nel serbatoio a valori di circa 4-6 bar dell'erogazione spontanea.

Tabella 2.3.1.1b Analisi Chimiche dei Gas Prodotti dai Pozzi di Torre Alfina (da Buonasorte et alii 1988)

TABELLA F

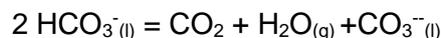
COMPOSIZIONE DEI GAS EROGATI DAI POZZI GEOTERMICI E PARAMETRI D'EROGAZIONE

CAMPIONE	DATA	COMPOSIZIONE GAS NATURALE. (% Volume)						GAS/VAP Nl /Kg	PORTATA t/h	PRESSIONE B.P. Atm	TEMP. B.P. °C
		CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂	CH ₄	H ₂ S				
G1 - A1	11/6/73	98.5	1.31	tracce	assente	0.145	tracce	ca.100%gas	200 1)	9.0	n.d.
G2 - A1 2)	5/7/73	98.6 ± 0.1	1.24 ± 0.04	tracce	assente	0.180 ± 0.020	assente	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
G3 - A1 3)	2/7/73	98.3	1.53	tracce	tracce	0.207	assente	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
G4 - A1	18/4/74	98.1	1.65	assente	assente	0.193	assente	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
G5 - A1bis 4)	20-22/5/74	98.6	1.24	tracce	tracce	0.180	tracce	100% gas	187 ± 20%	5.5	n.d.
G6 - A1bis	25/6/74	98.6	1.24	assente	assente	0.149	tracce	n.d.	304	4.5	102
G7 - A1bis	26/6/74	98.7	1.16	assente	assente	0.145	tracce	10120	272	26.2	103.5
G8 - A1bis	28/6/74	98.8	1.17	assente	assente	0.161	tracce	ca.100%gas	163	38.5	112.4
G9 - A1bis	2/7/74	98.8	1.09	assente	assente	0.139	tracce	100%gas	165	37.0	112.2
G10 - A7	1/7/75	98.8	0.961	tracce	tracce	0.161	0.088	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
G11 - A7	7/7/75	98.9	0.885	tracce	tracce	0.129	0.052	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
G12 - A7	6/2/76	98.8	0.921	assente	tracce	0.150	0.091	8000 5)	155/141 6)	32.1	106.8
G13 - A7	12/2/76	98.9	0.912	assente	tracce	0.143	0.085	4960 5)	108/154 6)	29.6	107.7
G14 - A7	18/2/76	98.9	0.887	assente	tracce	0.144	0.058	2570 5)	51/140 6)	25.6	106.0

1) Stimato; non è stato possibile eseguire misure; 2) Emanazioni gassose sul piazzale del sondaggio. Valore medio e deviazione standard di vari campioni; 3) Gas di un pozzetto spia sul piazzale del sondaggio; 4) Media dei campioni raccolti tra le date indicate; 5) Rapporto calcolato includendo il trascinato nel vapore; 6) Portate di gas e di liquido rispettivamente.

n.d.: non disponibile — B.P.: bocca-pozzo.

Tale abbassamento di pressione provoca lo spostamento sulla destra del seguente equilibrio:



e quindi l'aumento di concentrazione degli ioni CO_3^{2-} che fa superare il prodotto di solubilità della calcite provocandone la deposizione.

Una discussione più dettagliata degli equilibri chimici è riportata negli articoli già citati ed in altri sotto riportati.

Per la risoluzione del problema, sono sostanzialmente possibili due soluzioni :

1. l'utilizzo di una pompa immersa, che mantenga in tutto il circuito di sfruttamento del calore una pressione sempre maggiore della pressione alla quale l'anidride carbonica disciolta nella soluzione geotermica si libera. In questo modo sarà possibile impedire in ogni punto del circuito la deposizione di incrostazioni e la liberazione del gas fino alla reiniezione finale. Questa soluzione è stata adottata per l'impianto pilota di Castelgiorgio;
2. l'iniezione in pozzo e nelle apparecchiature di superficie di inibitore di incrostazione. Questa soluzione proposta per la prima volta da *Corsi R., Culivicchi G., Sabatelli F., (1985)* dove era descritta anche la soluzione impiantistica per l'iniezione di inibitore, ha trovato numerose applicazioni in diversi campi geotermici nel mondo e in particolare in Turchia, in Costa Rica (campo geotermico di Miravalles (*Paul Moya and Federico Nietzen*)) e in Italia nel campo geotermico di Latera dove è stata sperimentata l'efficacia di inibitori di incrostazione secondo le metodologie indicate da *Sabatelli F., Mannari M. 1995.*

Nel presente progetto si utilizzerà la metodologia dell'iniezione di inibitore secondo quanto proposto da *Sabatelli et al 1995* e da *Moya et al. (2011)*.

2.3.1.2 Incrostazioni da Silice Amorfa

Uno dei principali problemi connessi allo sfruttamento dell'energia geotermica è dato dalla possibilità di incrostazioni derivanti dalla precipitazione di silice amorfa a seguito della diminuzione di temperatura connessa allo sfruttamento (*R. Corsi 1985, 1987*). I problemi di incrostazione da silice sono soprattutto presenti in campi ad alta temperatura che contengono quantità rilevanti di silice (sono generalmente saturi in quarzo alla temperatura di serbatoio).

Poiché la cinetica di deposizione della silice amorfa è lenta, in quasi tutti i campi geotermici ad alta temperatura si tollera una leggera sovrassaturazione, in quanto la lentezza della deposizione non permette la formazione di incrostazioni rilevanti.

Nel caso particolare del campo geotermico di Torre Alfina, le basse temperature del serbatoio (circa 140°C) permettono la dissoluzione di quantità di silice piuttosto modeste: dalla *Tabella 2.3.1.1a* si può notare come le concentrazioni di silice siano sempre inferiori a 200 mg/l se si eccettua il dato del pozzo A1 bis probabilmente affetto da errore.

Tale valore di 200 mg/l deve essere confrontato con la concentrazione di saturazione ricavata dalle pubblicazioni di *Gunnarson and Arnorsson, 2000* e *Fournier and Rowe, 1973* (vedi *Tabella 2.3.1.2a*).

Come si può notare, a 70°C la concentrazione di saturazione è superiore a 200 mg/l con entrambe le correlazioni, pertanto, scegliendo tale valore come temperatura di reiniezione, non sono previsti problemi di incrostazione da silice.

Tabella 2.3.1.2a Concentrazioni di Equilibrio di Silice Amorfa in Soluzioni Acquose (Gunnarson and Arnorsson 2000 and Fournier and Rowe 1973)

Temperatura °C	Solubilità secondo Gunnarson and Arnorsson 2000 (mg/l)	Solubilità secondo Fournier & Rowe 1977 (mg/l)
40	122,8	152,9
50	146,1	180,7
60	172,0	211,3
70	200,4	244,8
80	231,5	281,3
90	265,1	320,8
100	301,2	363,3
110	339,5	408,7
120	380,0	457,0
130	422,6	508,3
140	466,9	562,4
150	512,7	619,3
160	559,9	678,9
170	608,1	741,1
180	657,0	806,0
190	706,4	873,3

2.3.2

Scelta del Numero e dell'Ubicazione dei Pozzi

Considerando le condizioni di pressione e temperatura del serbatoio (140°C uniforme per una pressione statica di circa 57 bar a 800 m di profondità e le produttività dei pozzi mostrate nel *Paragrafo 2.2.1*, il contenuto di gas in condensabili e i profili tecnici dei pozzi di cui al *paragrafo 4*, si sono calcolate le curve caratteristiche dei pozzi per diversi valori di produttività utilizzando il simulatore descritto in *Barelli et al. 1981*. Si è potuto verificare che i pozzi sono in grado di produrre naturalmente tra 150 e 250 t/h con flash in pozzo a circa 750 m di profondità.

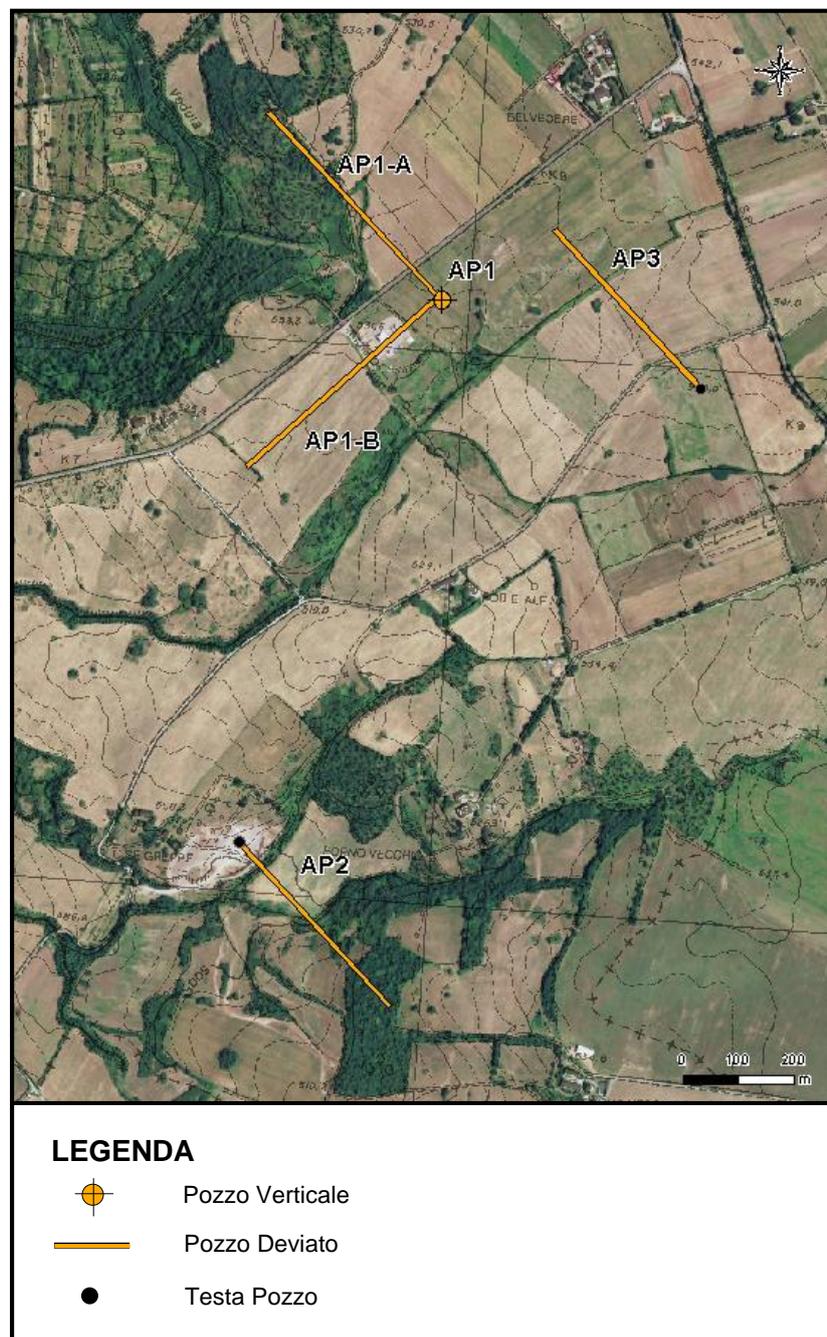
Si ritiene pertanto che, per il progetto Torre Alfina, siano necessari, prudentemente, cinque pozzi produttivi e quattro pozzi reiniettivi, per produrre circa 5 MW elettrici netti e far fronte alle eventuali richieste di calore per usi termici diretti, per una portata complessiva di circa 800 t/h.

Per lo sviluppo del progetto sono state pertanto selezionate tre aree per la perforazione di pozzi produttivi ubicate in prossimità dei vecchi pozzi Alfina 15 e Alfina 1 e un nuovo sito all'interno della cava Le Greppe e denominato AP2).

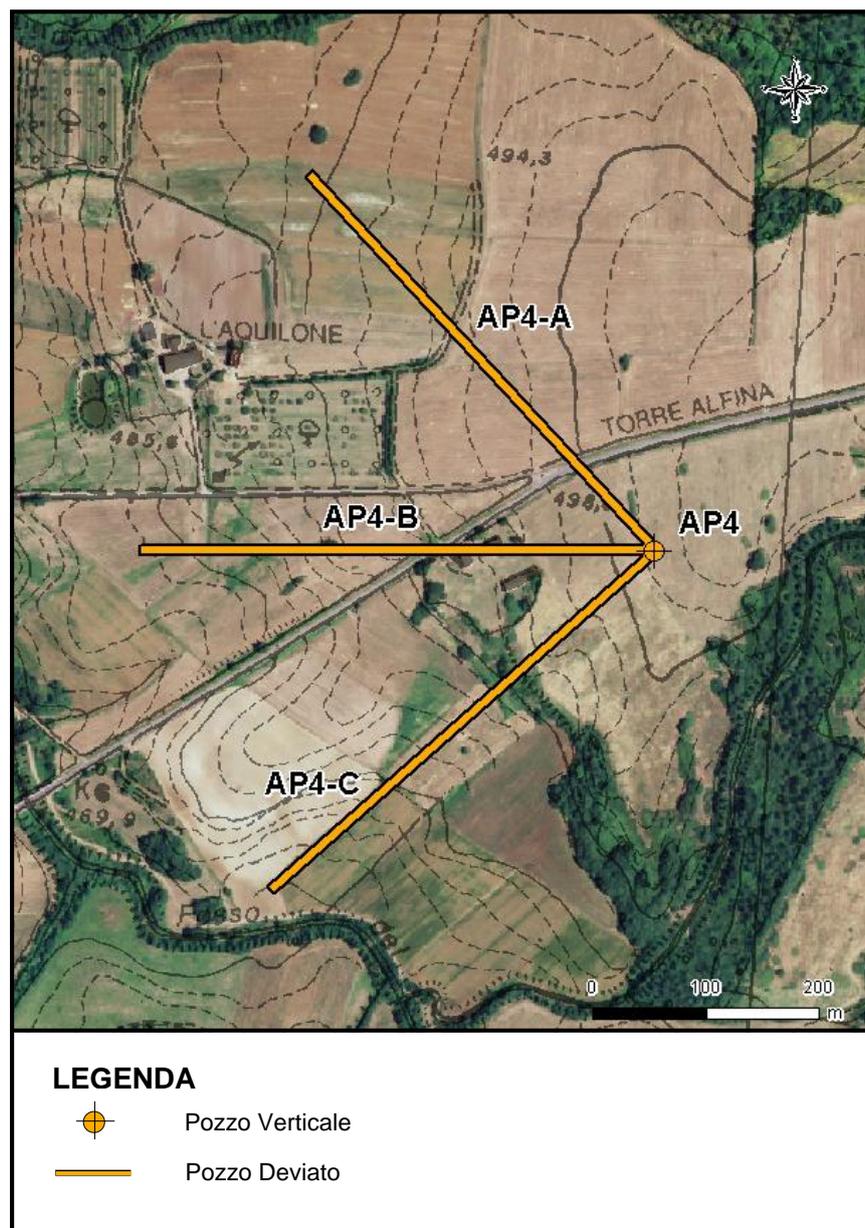
Anche se alcuni di questi pozzi non erano risultati produttivi occorre tener presente che essi erano tutti verticali mentre i nuovi perforati dagli stessi siti sono tutti deviati. La forma del serbatoio con una parte sollevata suggerisce la presenza di un probabile sistema di fratturazione e faglie che si ritiene più facilmente intercettabile con i pozzi deviati.

La *Figura 2.3.2a* riporta una foto aerea in cui sono individuati i cinque pozzi produttivi e sono indicate in pianta le relative deviazioni.

Figura 2.3.2a Localizzazione dei Pozzi Produttivi



I pozzi reiniettivi sono in numero di quattro e sono previsti tutti dalla piattaforma denominata AP4, la cui ubicazione e la rappresentazione in pianta delle deviazioni previste dei diversi pozzi è riportata nella *Figura 2.3.2b*.

Figura 2.3.2b Localizzazione dei Pozzi Reinettivi


2.4 **PRESSIONE DI REINIEZIONE**

2.4.1 **Aspetti tecnici preliminari**

La conoscenza del campo geotermico permette di individuare zone del serbatoio che hanno già dimostrato elevata permeabilità ovvero alta capacità produttiva o iniettiva.

La presenza di zone ad elevata capacità iniettiva dei pozzi viene messa in evidenza già in fase di perforazione attraverso il fenomeno della cosiddetta perdita di circolazione durante l'attraversamento del serbatoio.

Tra le zone del serbatoio caratterizzate da questo comportamento vi sono quella che ospita la cappa di gas trovata con i pozzi A1, A1Bis, A5, A7 e quella

incontrata dai pozzi A14 e A4. Questi pozzi erano stati tra l'altro provati dall'Enel negli anni '70 con produzione dal pozzo A14 e re-iniezione nel pozzo A4 (Batini et al. 1980, Buonasorte et al. 1988). In questi lavori viene messo in evidenza anche il fatto che il pozzo ha assorbito senza pressione a testa pozzo, indicazione certa di alta iniettività.

Queste informazioni sono state utilizzate anche per simulare gli effetti sul serbatoio del prelievo di fluido e della sua reiniezione. Il lavoro di simulazione è stato realizzato da Terra Energy, spin-off dell'Università di Pisa, con il software TOUGH 2 e i relativi risultati sono riportati nell'*Allegato 3* al presente Progetto.

La simulazione è stata eseguita considerando i due impianti Castel Giorgio e Torre Alfina contemporaneamente in esercizio e alla massima portata di fluido per entrambi. Essa dimostra che l'esercizio è assolutamente compatibile con una durata di 30 anni di entrambi gli impianti.

Dalla simulazione risulta che la sovra-pressione di re-iniezione nei pozzi della postazione AP 4 è di circa 6 bar.

Dal punto di vista fisico, per sovra-pressione di reiniezione si intende il maggior valore di pressione, rispetto alla condizione statica, che si deve applicare in prossimità delle fratture assorbenti affinché queste assorbano il flusso di re-iniezione. Esso rappresenta quindi la pressione "motrice" che deve essere applicata sul fluido re iniettato affinché esso penetri nella formazione del serbatoio vincendone le resistenze. Se è vero che all'aumentare della portata aumenta anche la pressione di re-iniezione, sappiamo anche con certezza dalle simulazioni fatte e dai dati sperimentali di reiniezione nei serbatoi carbonatici che tale valore si manterrà entro i limiti molto bassi indicati sopra.

Queste variazioni di pressione sono così modeste da far ritenere molto improbabile ogni effetto apprezzabile sia in termini di subsidenza nell'intorno dei pozzi produttivi (anche perché non sussistono le altre condizioni necessarie perché il fenomeno abbia luogo) che di micro sismicità nell'intorno di quelli reiniettivi. Per i dettagli si rimanda all'*Allegato 3* dove si analizzano anche gli effetti "a distanza" dal pozzo e nel tempo

2.4.2

Valori della Pressione di Re-Iniezione

Le caratteristiche iniettive del pozzo permettono di determinare univocamente per ogni valore di portata, la maggior pressione necessaria per smaltire il flusso di acqua nella formazione. La grandezza fisica attraverso la quale viene espressa la capacità iniettiva del pozzo prende il nome di iniettività.

L'iniettività è dunque un parametro rappresentativo dello stato complessivo di ciascun pozzo e, a parità di fluido, dipende dalla permeabilità della formazione attraversata non isolata dal casing e dalla lunghezza di ciascun tratto di pozzo caratterizzato da tale valore della permeabilità.

Essa viene determinata in fase di perforazione di ciascun pozzo mediante prove che prevedono iniezione di piccoli volumi di acqua rilevando nello stesso tempo come varia la pressione in corrispondenza delle fratture durante l'iniezione.

L'unità di misura comunemente adottata per l'iniettività è "tonnellate di acqua per ora per bar di aumento di pressione" alle fratture. In termini pratici, ad esempio infettività di 50 t/h.bar, indica che ad ogni due bar di aumento della pressione alle fratture il pozzo è in grado di assorbire 100 ton/ora di acqua. Ciò significa che, in questo caso, limitando la portata reiniettata nel pozzo a 200 t/h, la sovrappressione alle fratture non potrà mai superare 4 bar nei dintorni del pozzo reiniettivo.

Nel caso specifico, caratterizzato dalla presenza della cappa di gas, le prove di iniettività saranno integrate da misure di temperatura lungo l'asse del pozzo e, attraverso il grado di raffreddamento delle zone del pozzo in corrispondenza delle fratture, sarà stimata la capacità iniettiva delle stesse. Potranno anche essere eseguite prove mediante uso di un formation paker come indicato al *Paragrafo 4.3.2 "Caratterizzazione Produttiva dei Pozzi"*

2.4.2.1 Pressione di testa pozzo

Rispetto alla sovra pressione di reiniezione definita sopra, tutt'altra cosa è la pressione di testa pozzo.

Essa è funzione della densità del fluido che deve essere re iniettato (e quindi della temperatura e pressione, in particolare nel caso dei fluidi bifase) e delle perdite di carico che il flusso incontra in pozzo e in frattura.

Comunque, una volta determinato il valore della sovrappressione alle fratture associato a una determinata portata di fluido, la sovrappressione rimane inalterata anche se anche se cambiano le condizioni di testa pozzo.

Al fine di valutare la pressione di reiniezione a testa pozzo si è assunto una iniettività di 33 t/h per bar (sovrappressione di 6 bar per 200 t/h) e si è simulato il comportamento del flusso bifase verticale verso il basso utilizzando le correlazioni proposte da *Swanand M. Bhagwat Afshin, J. Ghaiar 2012* per la determinazione delle densità della miscela bifase in pozzo.

Gli esiti delle simulazioni indicano pressioni di testa pozzo, per 200 t/h di portata totale e sovrappressione alla frattura di 6 bar, variabili tra 10 e 12 bar quando si reinietta 193 t/h di liquido a 70 °C e 3,6 t/h di gas (condizione di normale esercizio) e pressione di 15-18 bar quando si reinietta circa 193 t/h di liquido e circa 7 t/h di vapore e gas a 130° (condizione di avvio).

Per completezza, si precisa che il progetto include una rilevazione in continuo del valore della temperatura del flusso di acqua e della pressione in pozzo.

3 **CONDIZIONI LOCALI E COLLOCAZIONE DELL'IMPIANTO**

3.1 **CARATTERIZZAZIONE DELLE CONDIZIONI LOCALI**

3.1.1 **Climatologia**

L'area interessata dal progetto è caratterizzata da estati calde e asciutte e da inverni relativamente miti. La tendenza alla continentalità si manifesta in particolare nelle zone montagnose e nelle conche; la topografia con continue variazioni di altitudine e orientamento, determina una grande varietà di microclimi. La dorsale appenninica costituisce una barriera alla penetrazione non solo degli influssi del mare Adriatico, ma anche delle masse d'aria fredda provenienti da nord-est. Analogamente verso il Tirreno, le colline e basse montagne presenti si frappongono alla libera circolazione di masse d'aria.

La zona in esame rientra nel più ampio quadro climatico della Regione Tirrenica che presenta un ciclo stagionale caratterizzato da un autunno interessato da perturbazioni atlantiche, che provocano abbondanti piogge ed un inverno influenzato da elevata variabilità per l'alternarsi dell'anticiclone russo-siberiano, portatore di cielo sereno con temperature piuttosto rigide, e di depressioni mediterranee, che possono dare luogo a venti sciroccali con innalzamento delle temperature e arrivo delle piogge. Una tipica situazione meteorologica che si verifica frequentemente nella seconda metà dell'inverno è legata all'arrivo di fronti freddi che penetrano dalla valle del Rodano e, attraverso il golfo di Genova, interessano direttamente con abbondanti piogge e venti di maestrale la Toscana meridionale ed il Lazio settentrionale.

La primavera si manifesta con due periodi distinti, il primo molto simile a quello invernale ed il secondo caratterizzato dall'arrivo dell'anticiclone delle Azzorre, più simile a quello estivo.

L'estate è dominata dall'anticiclone delle Azzorre con condizioni di cielo sereno e mancanza di venti dominanti ad esclusione delle brezze lungo le coste. A causa del notevole riscaldamento del suolo sono possibili formazioni di nubi cumuliformi con possibili precipitazioni a carattere temporalesco soprattutto nelle zone interne.

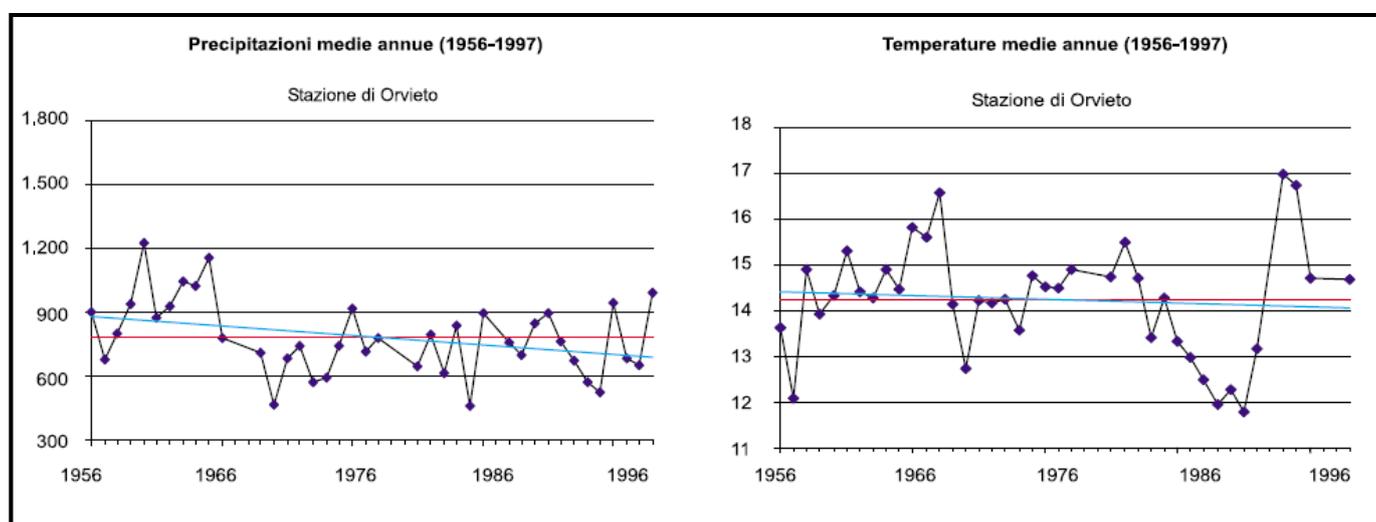
Dal punto di vista climatico e fitoclimatico il territorio presenta forti affinità con i territori limitrofi della Toscana meridionale: inoltre la zona è influenzata dalle correnti umide del Mar Tirreno, da cui deriva una generale caratterizzazione del clima in senso oceanico.

In quasi tutta la regione, la temperatura raggiunge raramente valori minimi molto bassi e al temperatura media si attesta sui 10-12 °C. Le piogge totali oscillano tra gli 800 mm ed i 1.200 mm, e si concentrano nel semestre autunno-inverno. I mesi più caldi sono luglio e agosto in cui si registra un periodo discretamente

siccitoso, mentre il mese più piovoso è novembre ed il più freddo gennaio. I mesi autunnali sono quelli in cui le precipitazioni cadono con maggior abbondanza ed intensità, mentre nel periodo primaverile risultano meno intense, ma molto frequenti. Con il procedere dell'inverno diminuisce l'abbondanza e l'intensità delle piogge, le temperature si fanno rigide ed aumenta la possibilità di manifestazioni nevose.

Nel seguente grafico si riportano l'andamento dei dati climatici medi, rilevati nel quarantennio 1956-1997, della stazione meteorologica "Orvieto", situata a 315 m s.l.m., nel bacino del Tevere-Paglia (coordinate geografiche 42°43'N 12°09'E), che rappresenta la stazione più prossima all'area di ubicazione del progetto (circa 10 km di distanza).

Figura 3.1.1a Dati Climatici Rilevati dalla Stazione Meteorologica "Orvieto" (1956-1997)



Considerando la vicinanza della stazione di Orvieto con l'area di ubicazione del progetto e l'elevazione sul livello del mare leggermente superiore per l'area di progetto si può considerare una temperatura media annua di circa 14 °C.

La temperatura ambiente presa a riferimento per il dimensionamento dell'impianto è pari a 24,1°C (temperatura media estiva).

3.1.2

Sismicità

L'area geotermica Torre Alfina - Castel Giorgio è soggetta a una sismicità che si manifesta essenzialmente con i caratteri tipici delle aree vulcaniche e geotermiche: bassa profondità degli ipocentri e distribuzione temporale degli eventi sismici a sciami. Si ricordano gli sciami sismici del 1992 (magnitudo massima MI=3,5) del 2010, 2011, 2012 (MI max=2,4). L'evento maggiore (intensità VII) a Castel Giorgio è avvenuto nel 1957. Ad Acquapendente gli eventi principali sono quelli del 1755 (intensità VI-VII) e del 1924 (intensità VII).

Per dettagli si rimanda al rapporto “Sismicità storica e recente dell’area geotermica di Torre Alfina” predisposto da INGV per conto del Committente (Aprile 2013) (vedi *Allegato 4*).

3.1.2.1

Torre Alfina

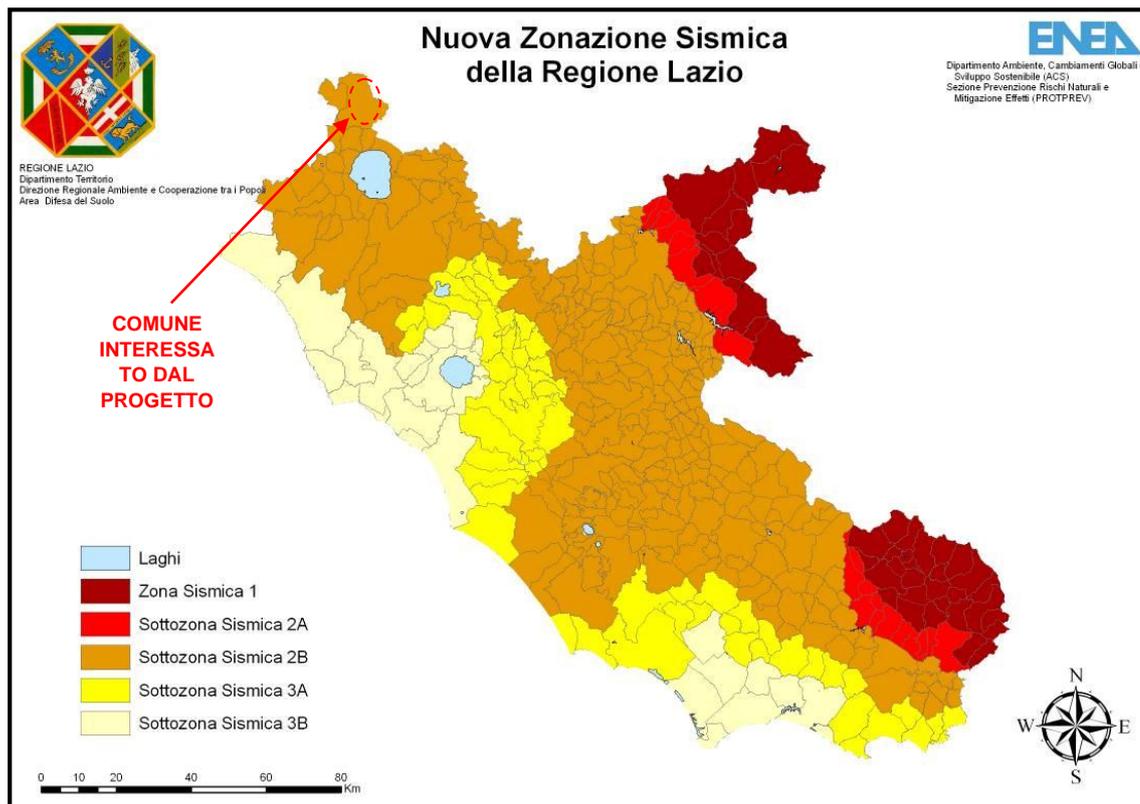
La Regione Lazio, con *DGR n. 387 del 22 Maggio 2009*, ha approvato la “Nuova Classificazione Sismica della Regione Lazio” immediatamente modificata con *DGR n. 835 del 03.11.2009*. La nuova zonazione sismica, che sostituisce la precedente DGR 766/03, è entrata in vigore il 28/06/2009.

La novità di rilievo è l’istituzione di sottozone sismiche, che consentono di poter differenziare in modo dettagliato la pericolosità sismica del territorio regionale.

Le opere del progetto ricadenti nel Lazio interessano esclusivamente il comune di Acquapendente il quale è classificato come Zona Sismica 2, sottozona 2B, le cui caratteristiche sono riportate in *Tabella 3.1.2.1a* (per la zonizzazione si veda *Figura 3.1.2.1a*).

Tabella 3.1.2.1a Suddivisione delle Sottozone Sismiche in Relazione all’Accelerazione di Picco su Terreno Rigido utilizzate per lo Scenario di Riclassificazione Sismica della Regione Lazio.

ZONA SISMICA	SOTTOZONA SISMICA	ACCELERAZIONE CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO PARI AL 10% IN 50 ANNI (a_g)
1		$0.25 \leq a_g < 0.278g$ (<i>val. Max per il Lazio</i>)
2	A	$0.20 \leq a_g < 0.25$
	B	$0.15 \leq a_g < 0.20$
3	A	$0.10 \leq a_g < 0.15$
	B	(<i>val. min.</i>) $0.062 \leq a_g < 0.10$

Figura 3.1.2.1a Classificazione Sismica Regione Lazio


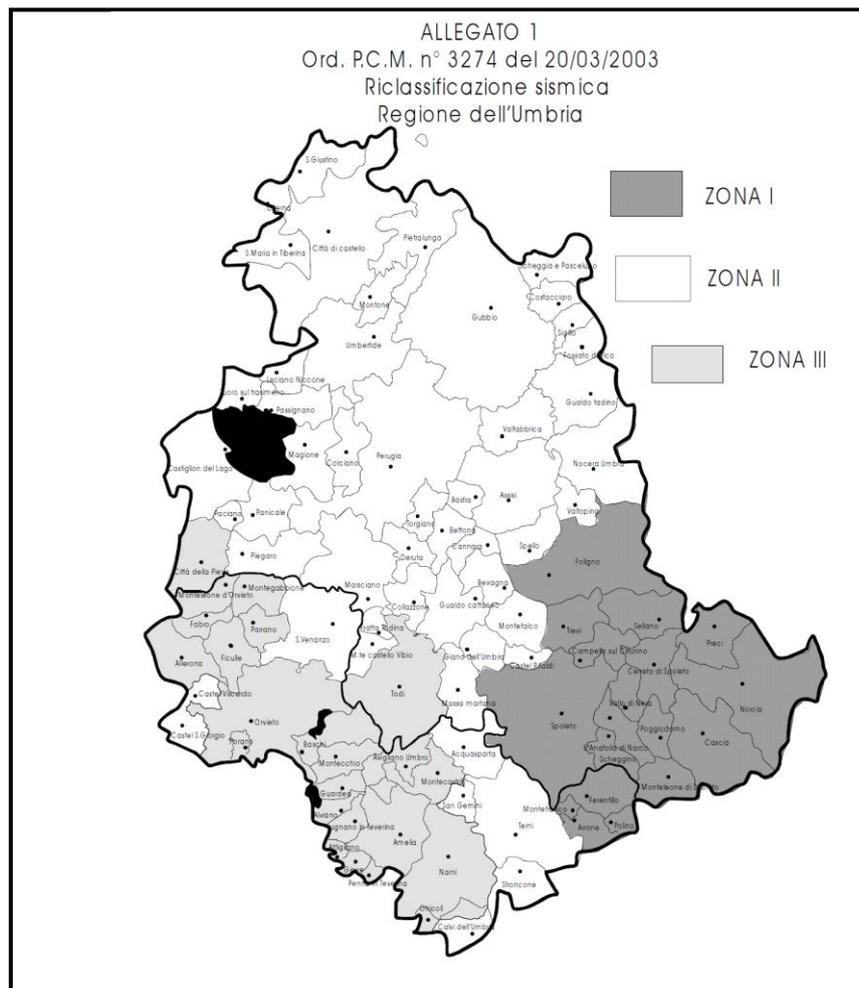
3.1.2.2

Castel Giorgio

Anche se il Progetto ricade interamente nel Lazio eventuali effetti di micro sismicità potrebbero essere risentiti anche in Umbria dato che i pozzi di reiniezione si trovano prossimi al confine regionale.

La Regione Umbria, con DGR n. 852 del 18 Giugno 2003, ha approvato la "*Riclassificazione Sismica della Regione Umbria*" redatta sulla base dei nuovi criteri per l'individuazione delle zone sismiche previsti dall' *Ordinanza n. 3274/2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri*.

Come è evidente dalla seguente *Figura 3.1.2.2a*, il Comune di Castel Giorgio rientra all'interno della Zona II, con accelerazione di picco orizzontale al suolo (a_g) compresa tra $0,15 \leq a_g < 0,25$ e probabilità che questa sia superata pari al 10% in 50 anni.

Figura 3.1.2.2a Classificazione Sismica Regione Umbria


3.1.2.3 Analisi sismica

Sulla base di quanto riportato ai paragrafi precedenti sono stati determinati i criteri per la progettazione degli impianti e delle tubazioni. Una descrizione dettagliata delle metodologie e le conseguenti analisi sismiche sono riportati in *Allegato 5*.

In *Allegato 6* è inoltre riportato un'analisi delle condizioni che potrebbero determinare sismicità indotta o innescata

3.2 UBICAZIONE DELL'IMPIANTO E DEI POZZI PRODUTTIVI

3.2.1 Criteri di Scelta

Si premette che lo sfruttamento dell'energia geotermica, per sua natura, può essere effettuato solo nei pressi del serbatoio geotermico.

Per la scelta della collocazione dell'impianto e dei pozzi, oltre alle considerazioni descritte al *Capitolo 2*, è stata svolta un'attività mirata ad identificare, nell'ambito

delle aree geologicamente più interessanti quelle che, anche da un punto di vista ambientale, presentassero i minori problemi. I criteri generali che hanno ispirato la ricerca dei siti, sono stati i seguenti:

- preferire luoghi in prossimità di strade esistenti, pur nel rispetto delle distanze minime imposte dalle norme di legge, con l'obiettivo di limitare la dimensione delle opere viarie;
- evitare di interessare colture agricole di particolare pregio;
- evitare zone che dovessero implicare l'abbattimento di piante di alto fusto o di pregio;
- preferire morfologie piane e semplici, al fine di limitare gli sbancamenti del terreno;
- evitare, nei limiti del possibile, attraversamenti di torrenti, costruzione di ponti o altre opere;
- tenersi alla massima distanza possibile da edifici¹, in particolare se abitati, o da opere comunque di apprezzabile pregio architettonico, storico o di utilità sociale.;
- tenersi alla massima distanza possibile da corsi d'acqua;
- limitare il più possibile l'impatto visivo sia della sonda, nella fase iniziale, che dell'impianto-pozzo, nella fase successiva, sia infine della Centrale. In particolare si ribadisce che la Centrale sarà ubicata entro la cava Le Greppe dove risulterà praticamente invisibile dall'esterno; anche le teste pozzo, una volta completata la perforazione, saranno scarsamente visibili dall'esterno.

Sono state escluse tutte le aree ricadenti all'interno di aree Naturali come Siti di Interesse Comunitario o Zone di Protezione Speciale (Aree SIC, ZPS), aree soggette a vincolo archeologico o aree classificate pericolose dal Piano di Assetto Idrogeologico. Inoltre sono state escluse le aree che presentavano minori gradienti geotermici.

3.2.2 **Scelta Finale**

Sulla base delle considerazioni di cui ai precedenti Paragrafi è stato definito il Layout mostrato nelle *Tavole 3, 4, 5 e 6*.

3.2.2.1 **Impianto ORC**

L'impianto ORC (cioè la centrale) è ubicato all'interno della cava sita in località Le Greppe, localizzata a circa 2,5 km a sud dell'abitato di Torre Alfina, nel territorio comunale di Acquapendente (VT).

3.2.2.2 **Pozzi Produttivi**

I pozzi produttivi necessari saranno disposti in tre postazioni (piazzole) produttive:

¹ Nel caso del pozzo AP4 non è stato possibile rispettare questo criterio nei riguardi di un rudere che pertanto verrà acquisito da ITW&LKW in accordo con il proprietario del fondo;

- la prima postazione (AP1) è strutturata per ricevere tre pozzi, ed è situata in prossimità della struttura industriale ex CONSORGAS;
- la seconda postazione (AP2) è situata all'interno della Cava Le Greppe, ed adiacente all'impianto ORC,
- la terza postazione (AP3) è situata a circa 1 km a nord-est della cava stessa.

Le postazioni AP1 e AP3 sono ubicate in area agricola, attualmente destinata a seminativo. Entrambi i siti sono prossimi, rispettivamente, alla Strada Provinciale che collega Torre Alfina e Acquapendente (SP50) e alla strada comunale che porta alla cava Le Greppe pertanto entrambi i siti sono facilmente accessibili.

Tutti i siti dei pozzi produttivi rispondono ai criteri base di sufficiente lontananza da obiettivi sensibili dal punto di vista di impatto acustico durante la perforazione.

La localizzazione dei pozzi produttivi con l'indicazione della direzione dei pozzi devianti è mostrata nella *Figura 2.3.2a*.

Nel caso attuale il profilo di tubaggio del pozzo, la tecnica di cementazione dei casing e l'organizzazione del lavoro sono stati pensati per operare nella massima sicurezza e realizzare un isolamento molto efficace e verificabile della cappa di gas.

In tal modo, i pozzi, alla fine delle operazioni di completamento della perforazione e di messa in opera del sistema dei casing, avranno pressione zero a testa pozzo e si comporteranno in modo assolutamente simile ad un comune pozzo per acqua come i vicini pozzi di Castel Giorgio. Questi ultimi, che sono stati a lungo osservati prima della chiusura mineraria avvenuta nel dicembre 2013 da parte dell'Enel, infatti presentavano pressione a testa pozzo atmosferica. .

Ciò implica che la messa in produzione dei pozzi dovrà avvenire con tecniche di air lift e impiego di coiled tubing.

Anche la tecnica di produzione del fluido geotermico sarà totalmente diversa da quella adottata nel progetto Castel Giorgio e avverrà per ebollizione del fluido in pozzo (autoproduzione) senza l'impiego di pompe immerse.

3.2.2.3 Pozzi Reiniettivi

I quattro pozzi reiniettivi previsti dal progetto sono tutti ubicati nella postazione denominata AP4.

Un pozzo re iniettivo è previsto verticale e gli altri tre devianti.

La localizzazione dei pozzi reiniettivi con l'indicazione della direzione dei pozzi devianti è mostrata nella *Figura 2.3.2b*.

3.2.3 Riferimenti Catastali

Le postazioni dei pozzi e l'impianto ORC ricadono nella regione Lazio nel comune di Acquapendente (VT).



Di seguito sono elencate le particelle catastali in cui ricadono le opere in progetto.

- *Postazione AP1;*
 - Foglio 64;
 - Mappali 20;
- *Postazione AP2;*
 - Foglio 81;
 - Mappali 2 ;
- *Postazione AP3;*
 - Foglio 64;
 - Mappali 23 ;
- *Postazione AP4;*
 - Foglio 80;
 - Mappali 111
- *Impianto ORC;*
 - Foglio 81;
 - Mappali 2,18,19,20,47,55.



4 PROGETTO DEI POZZI

4.1 POZZI PRODUTTIVI

Il progetto proposto, come detto, prevede la perforazione di n.5 pozzi di produzione (la cui localizzazione è riportata nella precedente *Figura 2.3.2a*). In particolare sono previsti:

- n.3 pozzi, identificati con la sigla AP1, AP1-A e AP 1-B, da perforare all'interno della stessa postazione denominata AP1 (uno verticale e due devianti);
- n.1 pozzo, identificato con la sigla AP2, da perforare nella postazione denominata AP2;
- n.1 pozzo, identificato con la sigla AP3 da perforare nella postazione denominata AP3.

I pozzi della postazione AP1 intercetteranno sicuramente la cappa di gas.

Il pozzo della postazione AP3 intercetta il serbatoio ad una profondità certamente superiore a quella della cappa di gas. Vi è certezza di questo dato perché la stessa postazione era stata utilizzata per il pozzo Alfina 15. Il pozzo sarà deviato e il suo orientamento è stato pensato per avere la massima probabilità di intercettare un sistema multiplo di fratture.

Le stesse considerazioni valgono anche per il pozzo AP2.

La possibilità di intercettare la cappa di gas ha costituito elemento guida per la definizione delle caratteristiche costitutive di entrambi gli impianti di perforazione che si prevede di impiegare; i sistemi di sicurezza impiantistica e la tecnologia di perforazione del foro sono stati definiti per operare sempre in condizioni di massima sicurezza.

In merito alle condizioni di sicurezza, si fa presente che da informazioni raccolte e dall'analisi dei documenti disponibili è emerso che il fenomeno di blow out che si verificò nel pozzo Alfina 1 durante la perforazione esplorativa del campo Torre Alfina da parte dell'Enel, è imputabile a cause che, con le tecnologie e la prassi organizzativa attuali, sarebbero classificabili come difetti di organizzazione e prevenzione delle emissioni non volute di fluido endogeno. In particolare la scarsa quantità di acqua a disposizione, la scarsa conoscenza della tecnica di controllo dinamico del pozzo, l'inadeguatezza del sistema di casing, per quei tempi, furono alla base del blow out. Tali limiti caratterizzavano molte realtà industriali nei primi anni '70 e furono poi rapidamente superati. Infatti, nella stessa realtà dell'Alfina, una volta ripristinate le condizioni normali di controllo del pozzo Alfina 1, le rimanenti operazioni di perforazione furono condotte senza altri problemi imputabili alle condizioni operative di cui sopra.

I pozzi verticali avranno tutti lo stesso profilo, che è stato desunto dall'esperienza delle precedenti perforazioni Enel. Pertanto, stante la vicinanza dei nuovi siti di perforazione ai precedenti, si prevede di cementare il primo casing 24"1/2 a 100 m ed un secondo casing diametro 18"5/8 a 350 m.

Con tale soluzione, che garantisce efficacemente la protezione della falda, le formazioni superficiali risultano ben coperte dal livello del fango, anche in caso di perdita di circolazione. Inoltre la tubazione del diametro di 18"5/8, essendo perfettamente in grado di operare alla massima pressione di esercizio dei pozzi, costituisce una barriera passiva assolutamente sicura anche in fase di esercizio dei pozzi.

La terza tubazione è prevista dopo aver intercettato il contatto con la formazione sede del serbatoio carbonatico ed ha lo scopo di isolare completamente le formazioni di copertura. Il diametro di questa tubazione è 13"3/8 La profondità di posa di questa terza tubazione varia da circa 600 m a oltre 1.000 m nel caso di AP3.

Una volta isolata la formazione di copertura, il progetto prevede che sia completata la perforazione penetrando il serbatoio carbonatico per un tratto sufficiente a garantire il flusso di acqua necessario per la produzione, indicativamente 210 t/h di acqua per pozzo.

Si fa presente che la concentrazione salina del fluido geotermico è circa 1/7 di quella che caratterizza ad esempio l'acqua di mare, e quindi non molto elevata in valore assoluto ma, se non controllata, tale da produrre depositi incrostanti nei pozzi e nelle strutture di superficie. In considerazione di ciò, come anticipato precedentemente, ciascun pozzo produttivo sarà equipaggiato con un dispositivo di pompaggio dell'inibitore di incrostazione che inietterà l'inibitore in soluzione acquosa nei pozzi, alla profondità necessaria, mediante un coiled tubing di 5-6 mm di diametro.

L'inibitore, generalmente un solfonato, avrà una concentrazione di qualche ppm rispetto al fluido geotermico e sarà reiniettato con esso nel serbatoio profondo dove si disperderà e sarà oggetto di decomposizione in tempi brevi.

Nella seguente tabella sono riassunte le direzioni di deviazione dei pozzi produttivi illustrate nella *Figura 2.3.2a*.

Tabella 4.1a **Direzioni delle deviazioni dei pozzi produttivi**

I.D. pozzo	Direzione di deviazione
AP1-A	Nord-Ovest
AP 1-B	Sud-Ovest
AP2	Sud-Est
AP3	Nord-Ovest

Le operazioni di deviazione (anche oltre 30°) avranno inizio alla profondità variabile da 200 a 350 m. La profondità finale dei pozzi AP1 e AP2 sarà circa 1.200 m (TVD) e 1.300 m (TMD), con scostamento rispetto alla verticale di circa 450m; la profondità finale del pozzo AP3, misurata sull'asse verticale (TVD), sarà

1.500 m (TMD) e lo scostamento dalla verticale di circa 400 m o più a fondo pozzo.

Il profilo di tubaggio dei diversi pozzi produttivi è riportato nelle seguenti figure *Figure 4.1a-d*).



Figura 4.1a Profilo di Tubaggio del Pozzo di Produzione AP1

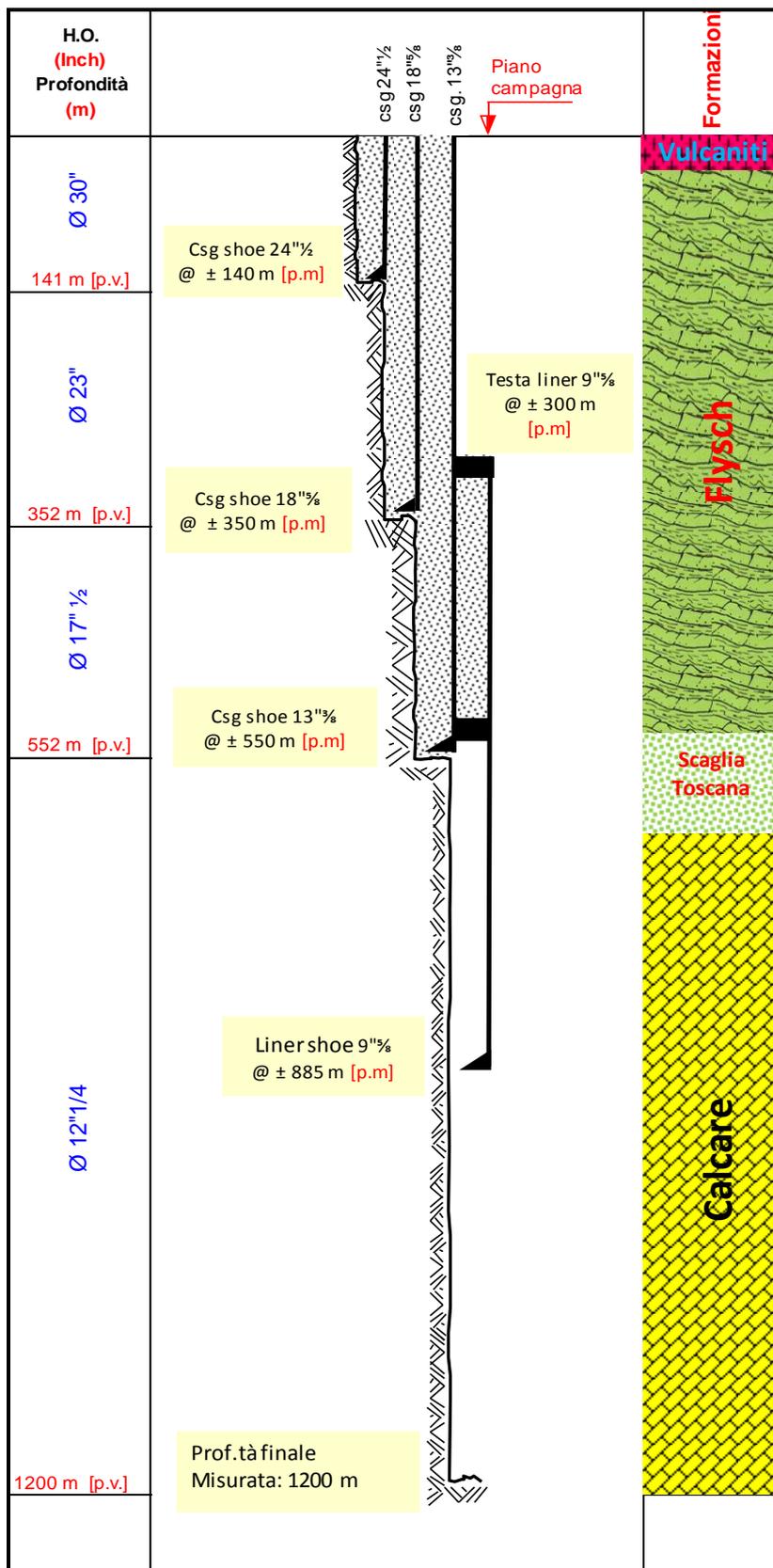


Figura 4.1b Profilo di Tubaggio dei Pozzi di Produzione AP1/A, AP1/B

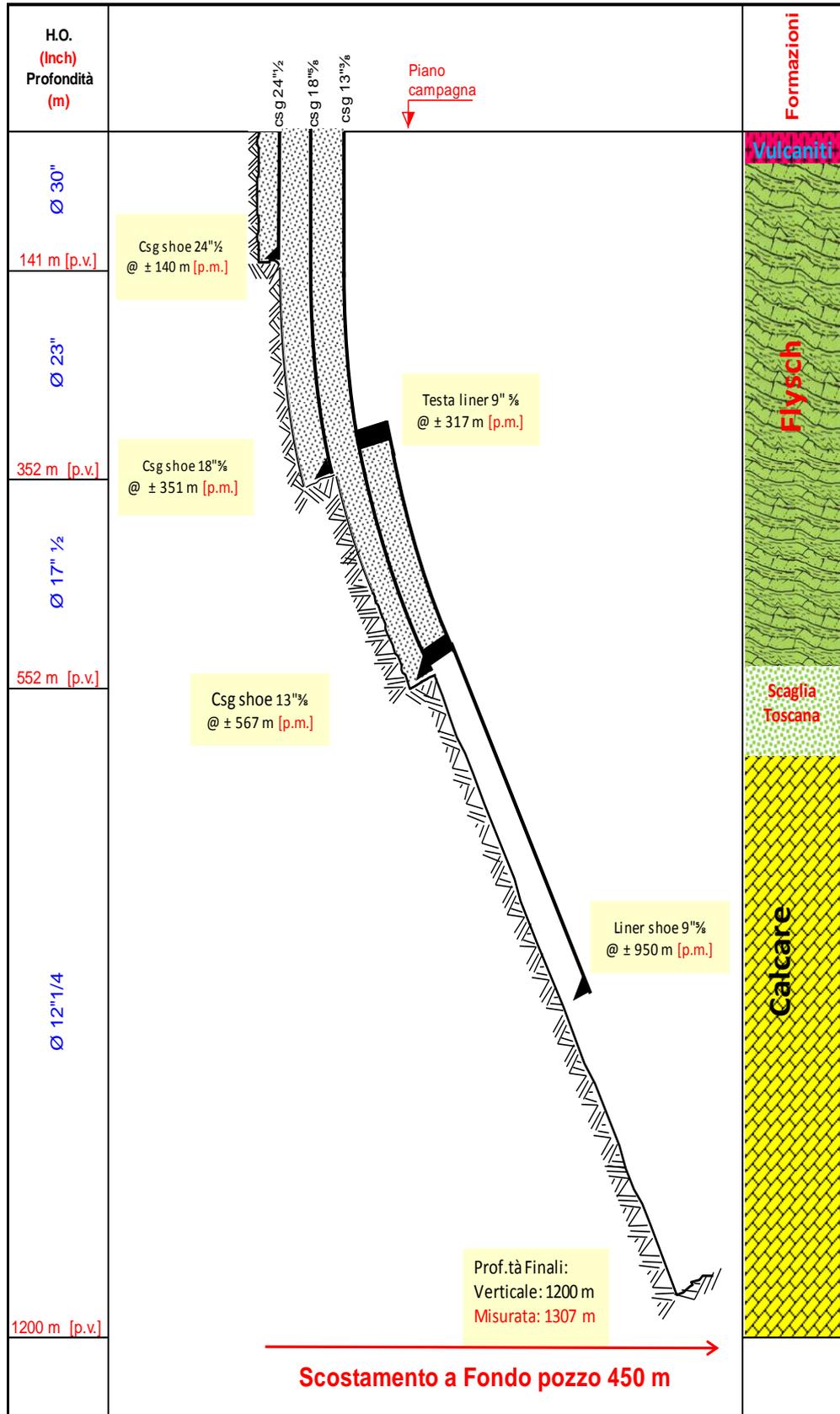


Figura 4.1c Profilo di Tubaggio del Pozzo di Produzione AP2

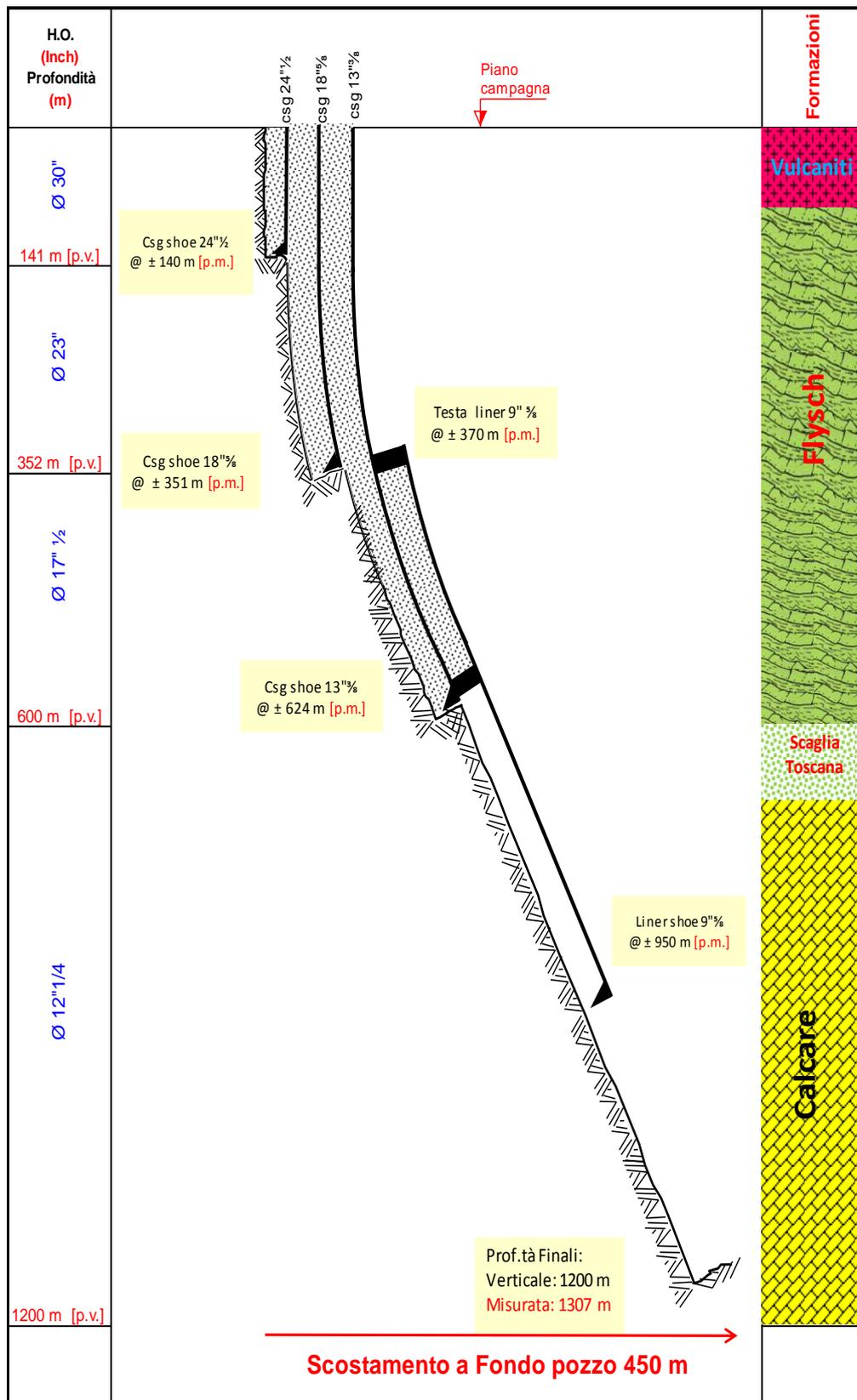
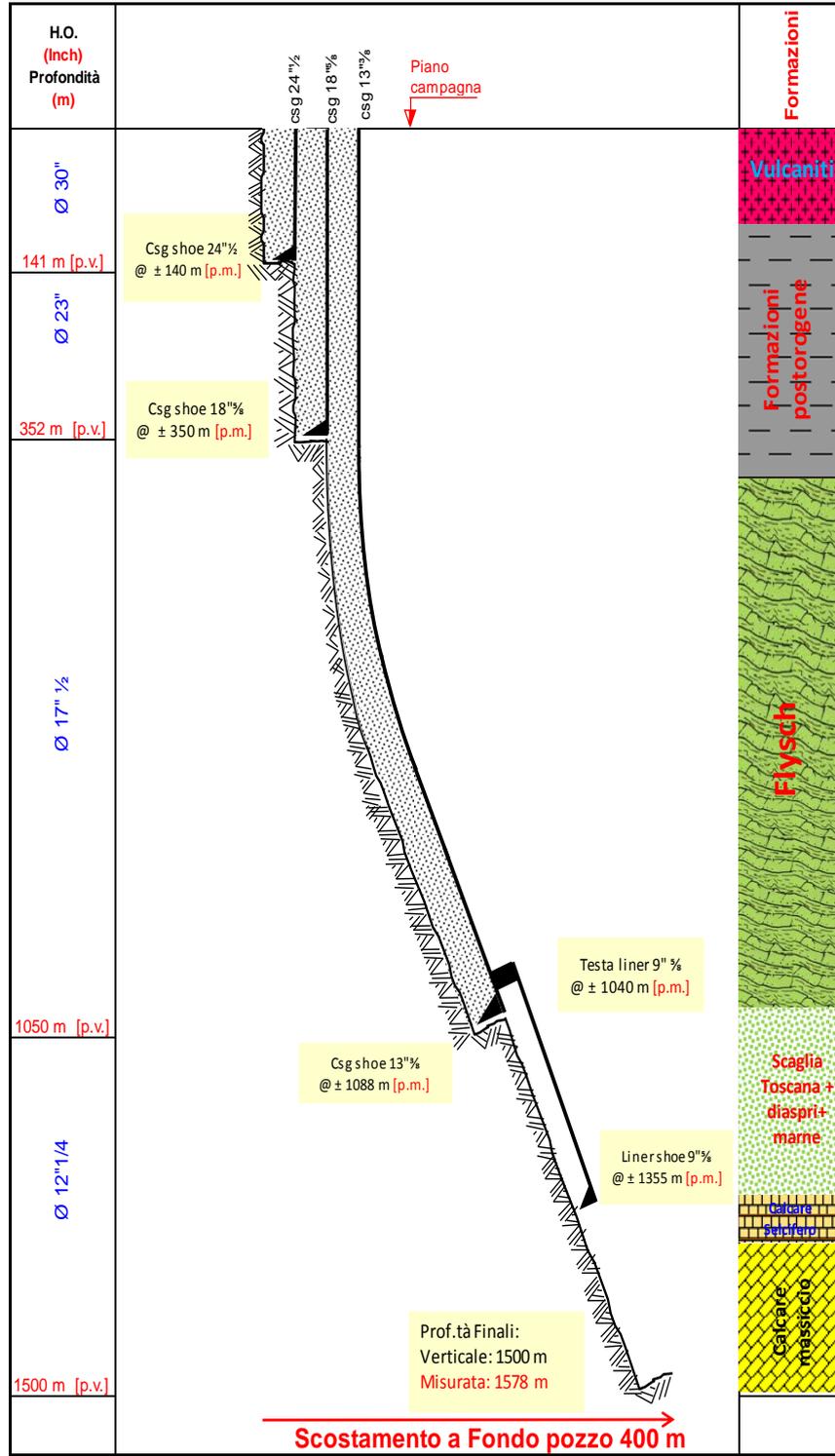


Figura 4.1d Profilo di Tubaggio del Pozzo di Produzione AP3



4.2

POZZI REINIETTIVI

Tenuto conto delle caratteristiche della formazione e dei risultati pubblicati dal precedente operatore, si prevede che siano necessari n.3 pozzi reiniettivi. Tuttavia, in via cautelativa, si prevedono n.4 pozzi tutti perforati dalla postazione AP4.

La localizzazione della postazione AP4, con rappresentata le traiettorie delle deviazioni dei pozzi è riportata nella precedente *Figura 2.3.2b*)

Anche nella perforazione dei pozzi reiniettivi potrebbe essere intercettata la cappa di gas.

La soluzione di utilizzare postazioni dedicate a più pozzi permette di ridurre al minimo l'ingombro delle opere, con indubbi vantaggi dal punto di vista ambientale, oltre che di semplificare e razionalizzare la gestione dell'intero impianto di reiniezione.

Il profilo di tubaggio dei nuovi pozzi è stato definito sulla base delle informazioni stratigrafiche pubblicate da Enel e dell'andamento delle formazioni vulcaniche che ospitano la falda acquifera superficiale.

Analogamente a quanto previsto per i pozzi produttivi si prevede

- una prima tubazione da 24"1/2 a 100m;
- una seconda da 18"5/8 da piano campagna a 300-350 m;
- una terza da 13"3/8 da piano campagna a circa 600 m;
- un liner 9"5/8 è previsto nell'eventualità che si renda necessario il suo impiego per completare l'isolamento della formazione di copertura e della prima parte della serie carbonatica.

La profondità finale del pozzo è da valutare, anche in questo caso, in relazione alla capacità iniettiva della formazione attraversata, tuttavia è attesa una profondità finale (verticale) di 1500 m, che corrisponde per i pozzi deviati a una profondità di 1650 m circa.

Nella seguente tabella sono riassunte le direzioni di deviazione dei pozzi reiniettivi illustrate nella *Figura 2.3.2b* .

Tabella 4.2a Direzioni delle deviazioni dei pozzi di reiniezione

I.D. pozzo	Direzione di deviazione
AP4-A	Nord-Ovest
AP4-B	Ovest
AP4-C	Sud-Ovest

Le operazioni di deviazione avranno inizio alla profondità di circa 350 m tuttavia il valore reale dovrà essere definito in funzione delle effettive condizioni geologiche incontrate durante la perforazione.

La profondità finale dei pozzi reiniettivi, misurata sull'asse verticale (TVD), sarà 1500 m e lo scostamento dalla verticale di circa 450m a fondo pozzo.

Il profilo di tubaggio dei pozzi di reiniezione è riportato in *Figura 4.2a* e *Figura 4.2b*.

Figura 4.2a Profilo di Tubaggio del Pozzo di Reiniezione AP4

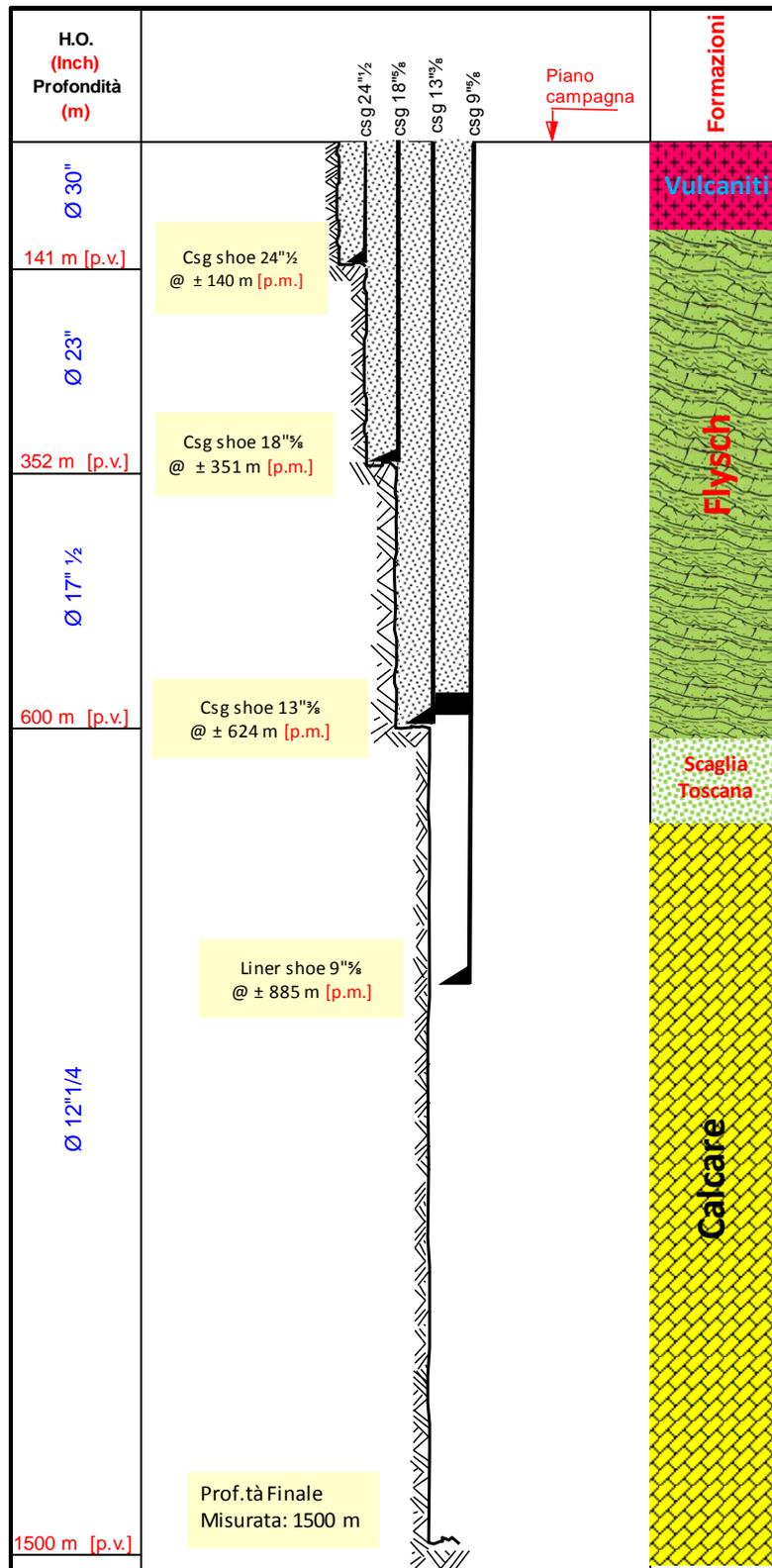
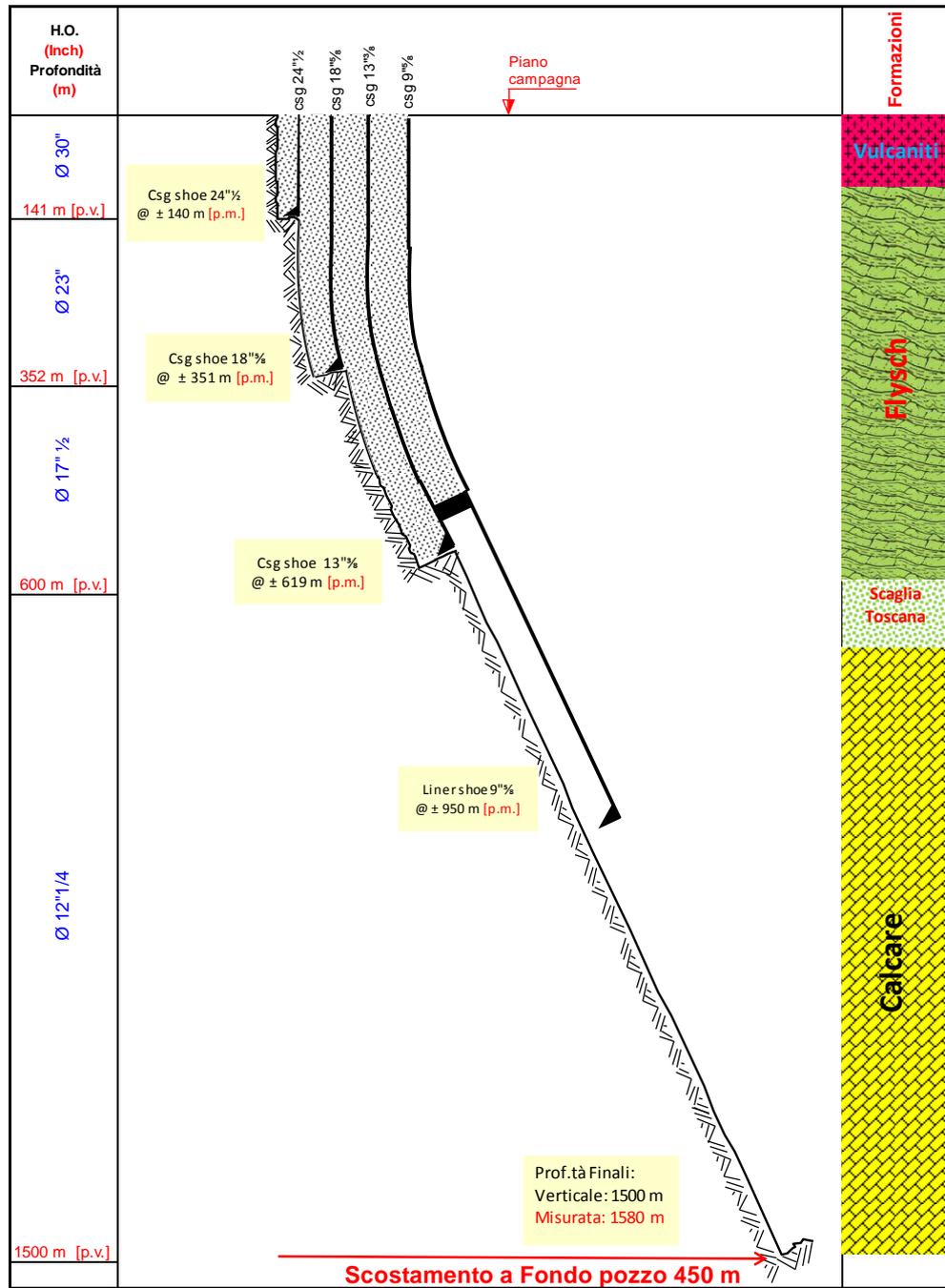


Figura 4.2b Profilo di Tubaggio dei Pozzi Reiniettivi AP4-A, AP4-B e AP4-C



4.3

DESCRIZIONE DELLE OPERAZIONI DI PERFORAZIONE

La trivellazione è realizzata mediante uno scalpello supportato da una batteria di elementi tubolari (aste) di adeguate caratteristiche meccaniche. Il sistema delle aste è messo in rotazione dall'impianto, attraverso la cosiddetta tavola rotary o attraverso un dispositivo equivalente, comunemente costituito da quel componente che in gergo è chiamato "top drive" che oltre a sostenere la batteria di aste svolge anche la stessa funzione della tavola rotary.

I detriti di roccia prodotti dallo scalpello vengono sollevati fino a giorno, per mezzo di circolazione di fango o acqua fino a che lo scalpello non intercetta una zona fratturata. In tal caso sia il fluido di perforazione sia i detriti possono essere assorbiti dalla formazione stessa dando luogo al cosiddetto fenomeno della perdita di circolazione.

Per il fango sono possibili varie formulazioni, anche queste funzione delle caratteristiche geologiche. Nella fase iniziale della perforazione verrà utilizzato il fango nella sua composizione più semplice, ovvero preparato con acqua e bentonite. Man mano che la perforazione procede si pone la necessità di isolare le formazioni attraversate, per dare stabilità alle pareti del foro costruito fino a quel momento. A tale scopo, nel foro viene collocata una tubazione (casing) come schematicamente rappresentato nei profili tecnici dei *paragrafi 4.1 e 4.2*.

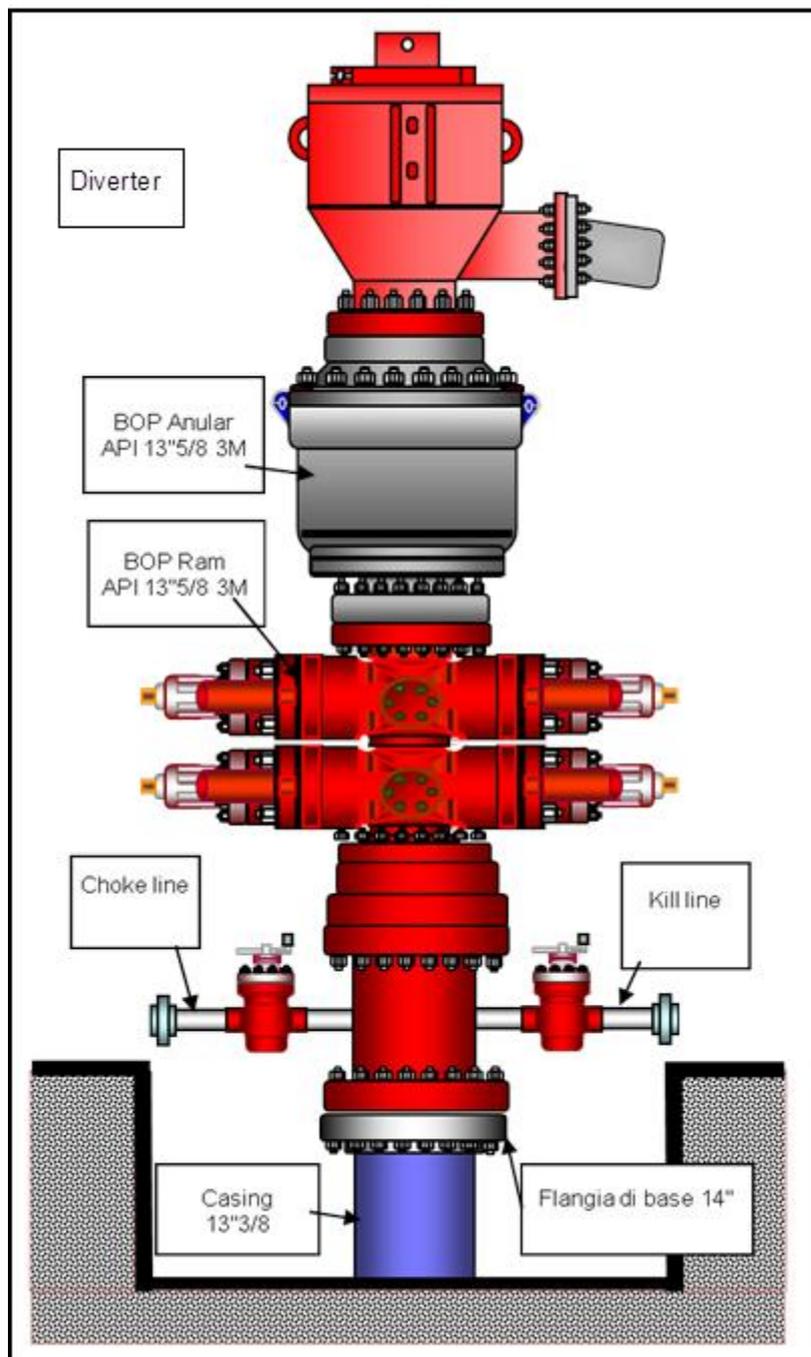
Un efficace collegamento tra formazione geologica e tubazione è realizzato mediante riempimento dell'intercapedine con malta di cemento, di caratteristiche meccaniche atte a garantire un legame sicuro tra formazioni e tubo. In gergo tale operazione prende il nome di "cementazione completa del casing"; l'attributo "completa" sta ad indicare che l'intera colonna di casing è riempita di malta cementizia cosa che non sempre viene realizzata in particolare nei completamenti dei pozzi a idrocarburi.

La tubazione in acciaio così cementata realizza un isolamento veramente efficace delle formazioni interessate ed il collegamento diretto tra il foro sottostante con la superficie.

Il tubaggio del pozzo avviene in più volte, isolando la formazione che man mano viene scoperta con l'evolvere della perforazione.

Una volta cementata la prima tubazione, sulla stessa viene installata una testa pozzo, un esempio della quale è mostrato in *Figura 4.3a*. La testa pozzo costituisce l'elemento principale per garantire la sicurezza durante la perforazione.

Figura. 4.3a Esempio di Testa Pozzo da Perforazione



La testa pozzo prevede l'installazione di uno o più dispositivi chiamati *Blow Out Preventer* (in gergo BOP, indicato in *Figura. 4.3a*), di una o più valvole laterali, collocate al di sotto dei BOP, e di altri componenti tubolari che collegano il pozzo all'impianto di pompaggio, preparazione e trattamento del fango.

Il BOP è essenzialmente una valvola a comando idraulico, azionabile a distanza, da varie posizioni del cantiere, che permette di chiudere il pozzo anche in presenza, al suo interno, delle aste di perforazione.

Il BOP è quindi un dispositivo di sicurezza, la cui utilizzazione è prevista quando sussista il rischio di incontrare formazioni contenenti gas o altro fluido di strato ad

alta pressione o comunque in condizioni fisiche tali per cui il fluido, a seconda delle condizioni idrauliche del pozzo, possa migrare dalla formazione geologica attraversata dallo scalpello verso l'interno del pozzo stesso, dando luogo al rischio di eruzioni. Il BOP permette di chiudere rapidamente il pozzo, in qualsiasi condizione di lavoro, ed impedirne l'eruzione quando questa manifesta i caratteristici sintomi premonitori. Un sintomo premonitore caratteristico è la maggiore portata di fluido in uscita dal pozzo rispetto a quella pompata attraverso le aste.

4.3.1 **Caratteristiche Fisiche del Serbatoio**

Come descritto al *Paragrafo 2.2*, il fluido geotermico che caratterizza il campo di Torre Alfina è contenuto nelle rocce carbonatiche fratturate al di sotto delle formazioni argillose di copertura. Le zone di interesse industriale per lo sviluppo del progetto Torre Alfina sono situate immediatamente a Sud della strada provinciale che va verso Acquapendente e interessano le zone dove le ricerche minerarie dell'Enel avevano dimostrato alta capacità produttiva attraverso i vecchi sondaggi A1bis, A5 e A7. In tale area il campo geotermico è parzialmente interessato dalla "cappa" di gas, individuata e delimitata come in *Figura 2.2a e b*.

La zona del campo geotermico interessata dalla "cappa" di gas posta al di sopra della tavola d'acqua è ben delimitata da un punto di vista areale. Al di fuori di tale area, i pozzi perforati a suo tempo da ENEL dimostrano che il gas non è presente allo stato libero, come avviene nella zona di cappa, ma è disciolto in acqua ed in equilibrio alla pressione di circa 45 bar e alla temperatura di circa 140°C.

Dai dati pubblicati da Enel, i pozzi programmati AP1, AP1/A, AP1/B intercetteranno la cappa di gas e saranno completati con un sistema di tubaggio e cementazione per permettere la sola estrazione dell'acqua.

La cappa non sarà invece intercettata dal pozzo AP3 mentre qualche incertezza permane per l'eventuale pozzo AP2.

E' possibile intercettare la cappa anche con i quattro pozzi reiniettivi AP4.

I pozzi che intercettano la cappa di gas saranno completati con un sistema di tubaggio e cementazione per permettere l'estrazione dell'acqua e la reiniezione in maniera indipendente dalla presenza della cappa.

Pertanto, dalla profondità di 600 m in poi, si prevede di incontrare fratture e di entrare in contatto con il fluido geotermico.

Essendo l'acqua contenuta nelle fratture a pressione inferiore a quella idrostatica corrispondente alla profondità, entrando in contatto con il serbatoio si avrà un abbassamento di livello in pozzo e perdite di fluido di perforazione dal pozzo verso la formazione stessa. In gergo tecnico queste condizioni sono definite di "perdita di circolazione".

La perforazione avverrà comunque in sicurezza mediante le normali tecniche di controllo dinamico del pozzo ormai lungamente sperimentate in situazioni simili.

4.3.2

Caratterizzazione Produttiva dei Pozzi

Le prove di produzione sono generalmente volte ad identificare l'esistenza di un possibile orizzonte produttivo in termini di:

- Natura del fluido (liquido, vapore);
- Temperatura;
- Composizione chimica;
- Pressione di serbatoio;
- Dimensioni e capacità produttive (estensioni laterali e verticali del serbatoio, trasmissività, porosità etc).

La temperatura e la pressione del fluido nel serbatoio vengono misurate durante l'avanzamento del pozzo stesso e sono parte integrante delle procedure di perforazione.

Poiché la perforazione dà sempre luogo ad una modifica temporanea dello stato termico della formazione attraversata (raffreddamento), la sua temperatura viene ricostruita, secondo tecniche teorico-pratiche, sulla base del recupero nel tempo della temperatura di fondo pozzo, che tende verso una
Essendo Torre Alfina un campo ad acqua dominante, la capacità produttiva dei pozzi può essere stimata in maniera affidabile mediante prove idrauliche (iniezione di modeste quantità di acqua), con contemporanea rilevazione della pressione idraulica in pozzo.

Tuttavia, nel caso dei pozzi che intercettano la cappa di gas, la rilevazione dell'iniettabilità può essere complicata dalla presenza del gas e potrebbe richiedere l'impiego di un "formation packer" per escludere, durante le prove, la formazione interessata dal gas. In presenza della cappa di gas, potrà essere necessario integrare le prove di iniettabilità con log di temperatura lungo l'asse del pozzo per stimare il grado di raffreddamento delle zone assorbenti e, attraverso questo, la quantità di acqua assorbita in perforazione dalle singole zone fratturate e di conseguenza la loro permeabilità.

Il test durerà non più di mezza giornata, prevedendo di iniettare almeno 3 portate diverse per 2-3 ore.

Attraverso l'elaborazione numerica delle grandezze fisiche raccolte durante l'iniezione d'acqua è possibile accertare la qualità della "interconnessione" tra le fratture delle rocce del serbatoio e il foro e quindi prevedere con sufficiente affidabilità la capacità produttiva dei pozzi.

Inoltre, sempre a causa della presenza della cappa di gas, i pozzi dell'Impianto Pilota Torre Alfina sono caratterizzati dalla struttura di completamento casing riportato nelle figure precedenti.

Con tale profilo di tubaggio, alla fine delle operazioni di perforazione i pozzi si manterranno in quiete, in modo analogo a semplici campi ad acqua come nella zona di Castel Giorgio. Tuttavia, ragioni di natura tecnica inducono a preferire l'adozione della metodologia di estrazione del fluido geotermico basata sul

flashing anziché sull'uso di pompe di profondità come previsto nel progetto dell'Impianto di Castel Giorgio.

Pertanto la produzione dei pozzi dovrà essere avviata mediante gas lift e l'avviamento della produzione attraverso un silenziatore – separatore atmosferico attraverso il quale avviene una erogazione iniziale di breve durata del fluido geotermico durante la quale l'acqua viene raccolta nell'apposita vasca mentre la fase aeriforme è scaricata in atmosfera. Tutto ciò è descritto nel seguito.

Nel presente Progetto si farà riferimento pertanto a prove di produzione a breve termine ma con erogazione di fluido.

Le prove saranno pertanto le seguenti:

- test per la determinazione di pressione e temperatura;
- breve erogazione controllata;
- test di iniezione.

4.3.2.1 **Determinazione di pressione e temperatura**

La temperatura e la pressione vengono misurate durante l'avanzamento del pozzo stesso e sono parte integrante delle procedure di perforazione. Poiché la perforazione dà sempre luogo ad una modifica temporanea dello stato termico della formazione attraversata (raffreddamento), la sua temperatura viene ricostruita, secondo tecniche teorico-pratiche, sulla base del recupero nel tempo della temperatura di fondo pozzo, che tende verso una stabilizzazione.

4.3.2.2 **Erogazione breve controllata**

Al termine della perforazione e una volta verificata la presenza di un serbatoio permeabile si intende eseguire una breve prova di erogazione, avente lo scopo di “pulire il pozzo” dai detriti e dall'acqua iniettata durante la perforazione e determinare alcune caratteristiche produttive.

Pertanto, al termine della perforazione e delle prove preliminari di verifica dell'iniettività, il pozzo verrà chiuso con le valvole di bocca pozzo e verrà lasciato per qualche ora in “riscaldamento”, al termine del quale è atteso che il pozzo rimanga a pressione atmosferica con un livello piezometrico al di sotto del piano campagna.

Sarà pertanto necessario un innesco.

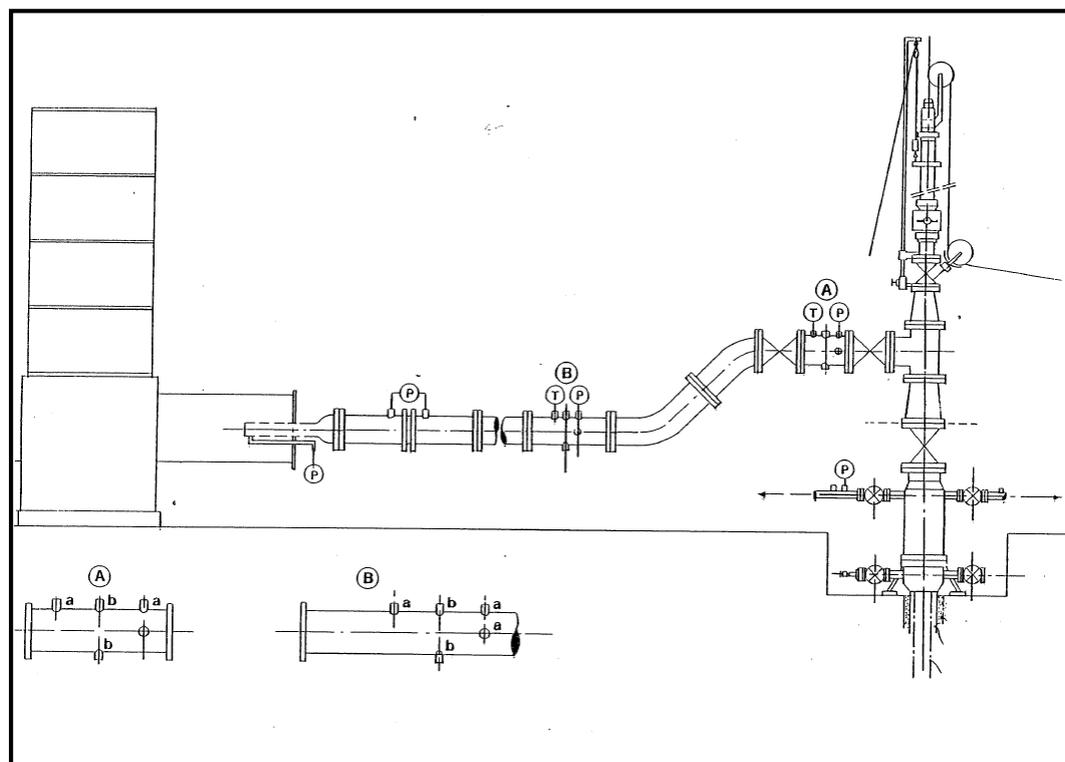
Tra i diversi metodi di innesco quello normalmente considerato più sicuro è l'innesco con gas-lift. Il metodo consiste nel pompaggio di gas inerte (azoto) al di sotto del livello dell'acqua per mezzo di un piccolo tubo calato in pozzo attraverso uno stuffing box, in modo che, il gas risalendo si espanda e trascini con sé il liquido.

L'erogazione di azoto e fluido avverrà tramite una tubazione da 10" che sarà montata nel cunicolo appositamente predisposto in ciascuna piazzola; la tubazione sarà opportunamente ancorata per assorbire le dilatazioni termiche e le spinte fluidodinamiche ed il flusso fuoriuscirà in un "separator silenzioso".

La linea di misura è schematicamente riportata nella seguente Figura 3.3.3.1a dove, non in scala, sono mostrate le misure che saranno eseguite e che sono riassunte nel seguito:

- misure di temperatura e pressione a testa pozzo;
- misura della Lip Pressure per la valutazione della portata (metodo di James);
- temperatura e livello del liquido nella vasca;
- attrezzatura per calare in pozzo la strumentazione per la misura di pressione e temperatura alla frattura in erogazione.

Figura. 4.3.2.2a Schema indicativo di installazione apparecchiatura per prove di produzione breve



Il silenziatore/separator ha lo scopo di separare la parte liquida in uscita dal pozzo e ridurre le emissioni sonore. Il dispositivo sarà del tipo a ciclone: la fase gassosa (vapore, incondensabili e aria) è espulsa dall'alto, mentre la fase liquida cade nella vasca dopo aver attraversato una cassa con stramazzo.

L'acqua contenuta nel fluido geotermico, inclusa l'acqua di perforazione, sarà separata nel ciclone silenziatore e scaricata nella vasca adiacente al piazzale e successivamente re-iniettata nel pozzo stesso.

Il test si interromperà quando le vasche delle prove di produzione saranno integralmente riempite. Considerando che le vasche hanno un volume di 1.000

m³ ciascuna, è ragionevole ritenere che le prove avranno una durata di non più di 4 -8 ore.

Nel corso dei test di erogazione è previsto il monitoraggio con strumento portatile della concentrazione di H₂S a diverse distanze dall'impianto.

4.3.2.3 Prove di iniezione

Al termine della breve prova di erogazione si potranno ripetere le prove di iniezione (o iniettività) di acqua in pozzo, in associazione alla misura di alcune grandezze fisiche, eseguite durante e dopo l'iniezione stessa utilizzando speciali strumenti di misura calati all'interno dei pozzi stessi, come dettagliatamente descritto sopra.

In questo caso l'acqua impiegata sarà quella raccolta nella vasca reflui durante le prove di erogazione, quindi senza ulteriore prelievo idrico dalla falda.

La massima quantità di acqua impiegata in questa fase è quella che si troverà nelle vasche delle prove di produzione, ovvero massimo 1.000 m³/h . Il test durerà non più di mezza giornata, prevedendo di iniettare almeno 3 portate diverse per 2-3 ore.

4.3.3 Approvvigionamento Idrico

I fabbisogni idrici in fase di perforazione sono dettagliati al *Paragrafo 4.3.8* dove è riportata l'analisi dei consumi.

I fabbisogni idrici saranno soddisfatti utilizzando gli acquiferi superficiali presenti nelle aree interessate dalle perforazioni: larga parte dell'area coinvolta dal progetto è infatti interessata dalla presenza di uno strato superficiale di vulcaniti, che ospitano un acquifero da cui viene già attinta acqua per usi civili, industriali o agricoli.

Il progetto prevede di attingere da questo acquifero l'acqua per la perforazione.

Si prevede in particolare di prelevare acqua dall'acquifero mediante pozzetti dedicati, perforati all'interno delle piazzole di perforazione come indicato nelle *Tavole 3, 4 e 5*. Dettagli sulla stratigrafia dei pozzi, sulle loro capacità produttive e sulle interferenze sull'acquifero circostante sono riportati nella Relazione Idrogeologica (*Allegato 2b*). In tale allegato viene dimostrata la compatibilità di tali prelievi idrici con gli acquiferi presenti nell'area.

L'estrazione dell'acqua da tali pozzetti è realizzata con semplici pompe sommerse, al pari dei pozzi per uso irriguo, l'acqua è inviata alla vasca raccolta acque industriali e, da lì, all'utilizzo tramite tubazioni in polietilene.

In tal modo il consumo ordinario sarà coperto dai pozzetti della postazione, mentre un eventuale surplus di consumo, che potrebbe essere necessario in alcune fasi della perforazione (fase finale della perforazione in perdita di

circolazione), potrà essere coperto attingendo dalle postazioni limitrofe che saranno pertanto collegate alle altre postazioni con tubazioni provvisorie. Le stesse connessioni potrebbero essere utilizzate se qualche pozzetto dovesse risultare non sufficientemente produttivo.

I pozzetti di approvvigionamento, come descritto nella relazione idrogeologica citata saranno collegati alle vasche raccolta acque poste nelle piazzole dei pozzi tramite tubazioni provvisorie che saranno smontate al termine della perforazione e delle prove di caratterizzazione dei pozzi e di logging.

4.3.4 *Tempi di Realizzazione dei Lavori*

I tempi indicativi per la realizzazione delle singole fasi relative ai pozzi descritte nei paragrafi precedenti sono:

- verifica preliminare delle capacità produttiva o iniettiva dei pozzi sulla base dei dati di archivio e della qualità del fluido con nuovi test in pozzo: 10gg;
- scelta dell'esatta posizione della postazione di sonda: 30gg, incluso accordi con i proprietari ed autorizzazioni locali;
- definizione del programma e del profilo di sondaggio/reperimento dei materiali, autorizzazioni minerarie: 90gg;
- preparazione della postazione di sonda: 60gg, inclusa selezione ditte e negoziazione contratto; questa attività può essere considerata in parallelo alle precedenti;
- montaggio impianto: 30gg di attesa disponibilità impianto e 15gg di montaggio effettivo;
- perforazione dei pozzi AP1, AP1/A, AP1/B e AP2: 30gg per ciascun nuovo pozzo di produzione di cui 3 gg per verifica delle capacità produttiva del pozzo e della qualità del fluido reperito; 40 gg per il pozzo AP3 di cui 3gg per verifica delle capacità produttiva del pozzo e della qualità del fluido reperito; 40giorni per ciascun nuovo pozzo di reiniezione di cui 3gg per verifica delle capacità iniettiva dei singoli pozzi e della qualità del fluido reperito;
- analisi dei dati e decisioni operative in linea con l'attività e imprevisti: 10gg;
- smontaggio e trasferimento dell'impianto ad altro sito: 15 gg; ripristino territoriale parziale od eventualmente totale dell'area della postazione di sonda, nel caso che il pozzo risultasse sterile: a tale attività si attribuisce una durata complessiva di 90gg, tuttavia essa è da considerare al di fuori del percorso critico ed incidente in misura minima sulla durata delle operazioni complessive.

La durata complessiva delle operazioni di sonda, tenuto conto che si prevede l'impiego di due tipi d'impianto (vedasi capitolo seguente), è indicativamente due anni come indicato nel cronoprogramma riportato al *paragrafo 5.5.5*.

4.3.5 *Caratteristiche dell'Impianto di Perforazione e della Postazione*

4.3.5.1 **Caratteristiche dell'Impianto di Perforazione**

L'impianto si compone di alcune parti principali: il mast, con il macchinario di sonda, il sistema di trattamento e preparazione fango, il sistema di preparazione e pompaggio del cemento, quello per la generazione di energia.

Per la perforazione dei pozzi in progetto si prevede l'impiego di due tipi di impianto:

- uno con capacità idonea a raggiungere la profondità di 1.500 m, da adibire alla perforazione dei pozzi AP1, AP1-A, AP1-B e eventualmente AP2 , tra i quali, quelli verticali hanno una profondità di progetto di 1.200 m mentre quelli deviati hanno la stessa profondità misurata in verticale e una profondità effettiva di circa 1300 metri; è molto probabile che la profondità reale massima risulti sensibilmente inferiore a tale valore;
- un secondo impianto, idoneo a raggiungere agevolmente la profondità di 1500 m, da adibire alla perforazione dei pozzi AP3 e di quelli del polo reiniettivo AP4 tra i quali, quelli verticali hanno una profondità di progetto di 1500 m mentre quelli deviati hanno la stessa profondità misurata in verticale e una profondità effettiva di quasi 1600 metri; l'impianto selezionato per queste profondità è l'HH200 che ha una potenzialità superiore a quella strettamente necessaria ma non sembrano esistere taglie intermedie.

Nella *Figura 4.3.5.1a* è riportata, a titolo di esempio, la foto di un impianto che potrebbe essere idoneo per la perforazione dei pozzi produttivi. Si tratta di un classico impianto ad azionamento diesel dei componenti.

Figura 4.3.5.1a Esempio di Impianto di Perforazione con Potenzialità 1.500 m



In *Figura 4.3.5.1b* è riportata, a titolo di esempio, una foto di un tipo di impianto moderno, molto compatto, idoneo a raggiungere agevolmente la profondità massima dei pozzi reiniettivi. Si tratta di un impianto ad azionamento idraulico dei componenti.

Figura 4.3.5.1b Esempio di Impianto di Perforazione con Potenzialità 3.000 m



Si presume che entrambi gli impianti possano essere disponibili per la perforazione dei pozzi in progetto.

Nelle seguenti *Figure 4.3.5.1c* e *4.3.5.1d* sono riportati alcuni esempi di componenti di impianto, pompe fango e generatori elettrici di cantiere.

Figura 4.3.5.1c Esempio di Pompe Fango con Motore Insonorizzato



Figura 4.3.5.1d Generatori Elettrici ad Alta Insonorizzazione



Nelle *Tavole 3, 4, 5 e 6* si riportano in forma schematica le planimetrie degli impianti di perforazione per i pozzi di produzione e reiniezione, complete dei principali componenti.

A titolo di esempio le caratteristiche di base dell'impianto di perforazione da 1.500 m sono le seguenti:

- pompe fango: almeno una da 800÷1000Hp ed una di riserva da 400÷500Hp;
- argano: potenza 400Hp e capacità di almeno 100 tonnellate;
- altezza utile sotto tavola Rotary: almeno 4 m, per permettere il montaggio delle attrezzature di sicurezza di testa pozzo;
- impiego di un BOP annular e di uno doppio tipo "ram";
- impiego di un diverter nelle fasi a maggior rischio di emissione gas dal pozzo;
- rating API di funzionalità dei BOP: API 2000 o superiore sia per i BOP che per la relativa centralina idraulica di azionamento;
- centralina idraulica di azionamento BOP munita di due sistemi indipendenti di energizzazione, ciascuno di riserva automatica dell'altro;
- volume minimo delle vasche per la preparazione e gestione del fango: 80m³;
- sistema di separazione solidi munito di vaglio multiplo e a doppia rete oltre a un desander o un desilter per la rimozione dei detriti fini;
- disegno dei componenti d'impianto rispondenti alle norme antideflagranza ATEX con riferimento alle distanze dal pozzo definite dalle norme API;
- attrezzature di sicurezza per la batteria di perforazione, come kelly safety valve e float valve.

Dal punto di vista meccanico l'impianto da 3.000 m di *Figura 4.3.5.1b* si differenzia essenzialmente dal primo per la potenza e capacità della linea di sollevamento e la potenza idraulica delle pompe, in virtù della maggiore profondità raggiungibile.

Mentre il primo è un classico impianto ad azionamento diesel di tutti i suoi componenti principali (argano, pompe), nel secondo questi componenti sono azionati idraulicamente, ottenendo una capacità di regolazione decisamente superiore. Inoltre, anche a fronte di una maggiore potenza installata, l'impianto HH200 prevede un sistema intrinseco di insonorizzazione che lo rende idoneo ad operare anche in situazioni potenzialmente critiche.

Nell'impianto da 1.500 m, essendo minore la potenza installata, questo aspetto si pone in forma meno intensa e, qualora fosse necessario procedere a insonorizzazioni, lo si può fare mediante pannelli aggiunti. Tuttavia, anche in questo caso, i componenti acusticamente più critici (pompe fango, gruppi elettrogeni) sono dotati di una efficace insonorizzazione.

Un esempio di insonorizzazione mediante pannelli fonoassorbenti aggiunti è riportata in *Figura 4.3.5.1c* mentre esempi di gruppi elettrogeni intrinsecamente insonorizzati sono riportati in *Figura 4.3.5.1d*.

Naturalmente, in funzione della disponibilità di impianti da parte dei contrattisti sul mercato dei servizi di perforazione, alcune caratteristiche tecniche potranno subire variazioni (altezza del mast, numero di vasche per il fango, caratteristiche delle pompe, ecc.).

Tuttavia lo schema generale rimane quello descritto sopra, con carattere modulare; entrambe le tipologie di impianto considerate non hanno vincolo di trasporti eccezionali per il trasferimento su strade pubbliche.

È opportuno ribadire che, analogamente alla perforazione dei pozzi ad acqua, la permanenza dell'impianto di perforazione è strettamente limitata alle operazioni di sondaggio, la cui durata è variabile con la profondità e può essere indicativamente stimata (al netto delle operazioni di moving, rig-up, rig-down) in:

- 30 giorni, in media per la perforazione dei pozzi produttivi della profondità di 1.200 m;
- 40 giorni per la perforazione dei pozzi reiniettivi della profondità "misurata" (TMD) di 1.500 m ;
- 3 giorni per le prove di caratterizzazione iniettiva/produttiva.

Sulla base di tali durate delle diverse operazioni, è stato stimato il consumo di acqua.

4.3.5.2 Criteri di Progetto delle Postazioni di Sonda

La postazione di perforazione è necessaria per il posizionamento ed il funzionamento del cantiere di perforazione. Essa richiede la predisposizione di una superficie pianeggiante atta ad ospitare l'impianto, le vasche per la preparazione del fango, le pompe del fango, altre attrezzature ausiliarie dell'impianto di perforazione, nonché le strutture necessarie per la raccolta e stoccaggio temporaneo e la mobilizzazione dei fanghi reflui.

Nella postazione devono essere ospitate anche alcune baracche, tipo container, adibite a servizi, officina ed uffici per le maestranze addette all'esercizio dell'impianto. Queste baracche sono collocate ad una certa distanza dall'area di lavoro, per favorire migliori condizioni di permanenza del personale.

Inoltre il progetto della postazione deve rispondere anche alle altre esigenze di funzionamento del cantiere, primo fra tutti il flusso dei materiali necessari alla perforazione.

La disposizione dell'impianto e l'assetto del cantiere riportata nelle *Tavole 3, 4, 5 e 6* è studiata per rispondere ai vincoli previsti dalla vigente normativa sulla protezione e sicurezza del lavoro e per operare anche in situazioni di emergenza.

Nelle figure è visibile l'intera area occupata dal macchinario e la dislocazione dei principali componenti ed attrezzature che rispondono ai limiti previsti dal DPR 128 e dal Dlgs 624/96 per la distanza tra il pozzo ed i motori diesel e tra il pozzo ed il serbatoio del gasolio.

I componenti meccanici dell'impianto, il macchinario ed i serbatoi del gasolio sono dislocati su solette in calcestruzzo armato e da esse supportati.

Per quanto riguarda l'accessibilità al sito, la modifica delle infrastrutture viarie già esistenti sarà ridotta al minimo. In effetti la dimensione dell'impianto, dei carichi

per il suo trasferimento da postazione a postazione e per il trasporto dei materiali sono tali da facilitare l'utilizzazione delle opere esistenti, a meno dei tratti necessari per consentire il rispetto delle distanze di sicurezza previste dalle norme.

Analogamente, anche se non sono previsti trasporti eccezionali sia per i materiali che per i componenti d'impianto, nei limiti del possibile si adotteranno percorsi che permettano il transito dei mezzi senza necessità di costruire o modificare le infrastrutture esistenti,.

La superficie occupata dalle postazioni è dell'ordine degli 8.000-9.000 m² sia nel caso dell'impianto da 1.500 m che di quello da 3.000 m, al netto del parcheggio e della superficie occupata eventualmente dal breve tratto di strada di collegamento della postazione alla via principale, quando non esistente.

In pratica tali valori sono talvolta superati per esigenze di rispetto dei vincoli presenti nelle zone interessate dalla realizzazione delle opere. Inoltre, nel caso specifico della postazione AP2, che è stata posizionata per motivi di opportunità ambientale, a fianco dell'area di Centrale, si sono dovute mantenere le opportune distanze di sicurezza per il montaggio dell'impianto.

Non si prevedono opere in elevazione. Quelle in calcestruzzo sono limitate all'avampozzo (o cantina), alla soletta su cui poggia il macchinario e la vasca di stoccaggio acqua per la perforazione.

I depositi del gasolio hanno un proprio contenitore, nel caso dell'impianto con potenzialità 1.500 m, mentre nel caso dell'impianto con potenzialità 3.000 m si prevede una piccola vasca in calcestruzzo le cui funzioni sono descritte di seguito.

La cantina sarà costituita da uno scavo a forma di parallelepipedo, della profondità di circa 3 m, larghezza di circa 2,5 m. La sua lunghezza invece varia in base al numero dei pozzi per cui è progettata e va da 12 m per le postazioni AP2 e AP3 a 20 m per la postazione AP1 e AP4.

Il fondo della cantina e le pareti sono normalmente realizzate in calcestruzzo per garantirne la stabilità, tenendo conto dei mezzi che possono circolare in prossimità dell'avampozzo stesso. La zona sarà consolidata con ghiaia, in modo da renderla idonea a sopportare il transito dei mezzi per il trasporto e lo scarico dei tubi, dei containers ed il montaggio dello stesso impianto di perforazione che è collocato su un articolato.

Invece, nella parte circostante l'avampozzo, destinata ad accogliere l'impianto e gli ausiliari, è riportata una soletta in calcestruzzo armato di spessore idoneo a sopportare il carico dell'impianto.

Al fine di limitare al massimo sia il prelievo di risorse naturali che l'impatto dei mezzi per il trasporto e la costruzione dell'opera, si prevede l'adozione dei seguenti criteri costruttivi:

- riutilizzare in loco il terreno rimosso per lo sbancamento, la costruzione dell'avampozzo e della vasca reflui, ridistribuendolo sulla superficie della postazione per operazioni di livellamento, evitando o limitando al massimo ogni trasferimento di terreno da o ad altro sito;
- compattazione del terreno sull'intera area della postazione mediante rullatura, per un tempo sufficiente ad ottenere la massima compressibilità dello stesso;
- ricoprimento della superficie con inerti di pezzatura grossolana, dimensione fino a 4-5 cm, per uno spessore variabile da 20 a 30 cm; nei limiti del possibile si utilizzerà materiale frantumato da recupero (calcestruzzo, laterizi, ecc.);
- compattazione della superficie coperta da inerti di pezzatura grossolana;
- costruzione di una soletta di 15 cm di spessore in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata di maglia 20 cm e tondi di diametro 10 mm, nella zona interessata dall'impianto di perforazione vero e proprio;
- definitiva copertura dell'area circostante la soletta con inerti di pezzatura più fine della precedente, inferiore a 15 mm; anche tale materiale sarà di preferenza prelevato da centro di trattamento inerti di recupero.

La scelta di privilegiare l'impiego di inerti da recupero è certamente favorevole ad un minore impatto ambientale.

4.3.5.3 Aspetti Funzionali della Postazione di Sonda

4.3.5.4 Postazione: Viabilità

La postazione produttiva AP2 è raggiungibile tramite una strada bianca esistente che collega la Strada Provinciale 50 con la Cava Le Greppe.

La postazione di produzione AP1 sarà raggiungibile da una strada bianca esistente collegata alla Strada Provinciale 47: sarà necessario realizzare soltanto un tratto di strada di circa 50 m per il collegamento dell'accesso all'area pozzo alla strada esistente. Il tipico della sezione della strada è riportato nella *Tavola 3*.

Analogamente, per l'accesso alle postazioni AP3 e AP4, sarà necessario realizzare soltanto un breve tratto di strada di circa 50 m per il collegamento tra la Strada Provinciale 50 e l'area pozzo. Il tipico della sezione della strada è riportato rispettivamente nelle *Tavole 5 e 6*.

4.3.5.5 Postazione: Opere Accessorie

Per quanto concerne l'approvvigionamento dell'acqua per uso perforazione, esso, come riportato al precedente *Paragrafo 4.3.3* avverrà direttamente in cantiere tramite i pozzetti di prelievo dalla falda posizionati come mostrato nelle *Tavole 3, 4, 5 e 6*. Le tubazioni di collegamento tra pozzetti e vasche saranno del diametro di 4", collocate sulla superficie del terreno e consentiranno il collegamento anche con le postazioni vicine.

La tubazione avrà carattere temporaneo e resterà in esercizio durante la perforazione dei pozzi e successivamente sarà smantellata.

La fornitura di acqua per uso sanitario è una tipica fornitura di un cantiere mobile di piccole dimensioni e pertanto avverrà in funzione delle necessità mediante autobotte di piccola capacità.

Non si prevede, durante la perforazione, alcuna linea di alimentazione elettrica in quanto il cantiere è reso autonomo mediante gruppi diesel elettrici, peraltro di tipo silenzioso.

Illuminazione

Fase di Cantiere

Per quanto riguarda l'illuminazione notturna durante la fase di preparazione delle aree di cantiere si prevede di realizzare un sistema di punti luce distribuiti sul perimetro delle aree al fine di rendere visibili e più sicure le aree da eventuali intrusioni dall'esterno. Tutte le luci installate risponderanno alle prescrizioni dettate in materia dalla normativa vigente.

Durante la fase di perforazione il sistema di illuminazione sarà costituito da 5 torri faro posizionate lungo il confine delle piazzole e in corrispondenza delle zone di lavoro verranno utilizzati proiettori antideflagranti da 400 W e 150 W, plafoniere antideflagranti a risparmio energetico da 23 W, plafoniere antideflagranti 2X36 W neon da utilizzare sia in condizioni operative normali che di emergenza.

Il cantiere sarà presente per un periodo di tempo limitato e conseguentemente anche la relativa illuminazione.

Per quanto detto non si ritiene necessario la messa in opera di particolari schermi per le emissioni luminose indotte durante la fase di cantiere né, tantomeno, la predisposizione di misure di mitigazione.

Fase di esercizio

Durante la fase di esercizio nelle postazioni dei pozzi è prevista l'installazione di apparecchi illuminanti testapalo, con tecnologia a LED, tipo AEC LED-IN o equivalente, di forma ovoidale, installati su pali conici a sezione circolare, di altezza fuori terra pari a 3 m, inclinazione armatura 0° (superficie emissiva parallela alla superficie stradale).

I pali saranno ricavati da trafilatura in acciaio Fe420B UNI EN 10219, zincati a caldo per immersione, in conformità alla Norma UNI EN 40/4 parte 4[^] - punto 4.1, spessore 3 mm, dotati di asola ingresso cavi e asola con morsetti a filo, con morsetto di terra interno.

Gli apparecchi illuminanti avranno:

- ottica asimmetrica stradale, priva di lenti in materiale plastico esposte;
- rilevamento fotometrico conforme alle norme UNI EN 13032-1 e IES LM 79-08;
- classificazione secondo la norma CEI EN 62471:2009-2 "sicurezza fotobiologica delle lampade e sistemi di lampade": categoria EXEMPT GROUP con certificazione di ente terzo;

- modulo ottico base composto da 9 riflettori, uno per ciascun led, atto ad ottimizzare il flusso luminoso;
- LED ad alta efficienza 130 lm/W - 350mA - Tamb=25°C, resa cromatica >65, temperatura di colore 3950K;
- grado di protezione vano cablaggio e ottiche: IP66, classe d'isolamento II;
- marcatura CE;
- Norme di riferimento: EN 60598-1, EN 60598-1-2-3, EN 62471, EN 55015, EN 61547 , EN 61000-3-2, EN 61000-3-3.

Al fine di minimizzare la dispersione del flusso luminoso, l'ottica sarà ad emissione fotometrica "cut-off", conforme alla normativa UNI EN 13201.

Gli apparecchi permetteranno anche l'ottimizzazione dei consumi energetici, in quanto saranno dotati di sistema di regolazione del flusso luminoso tramite onde convogliate.

L'apparecchio sarà corredato di "test report" tecnici e di compatibilità elettromagnetica (EMC).

In ciascuna postazione è prevista l'installazione di n.2 apparecchi illuminanti testapalo a 45 led (5 moduli da 9 led), flusso luminoso iniziale 7.600 lm, potenza complessiva 99W.

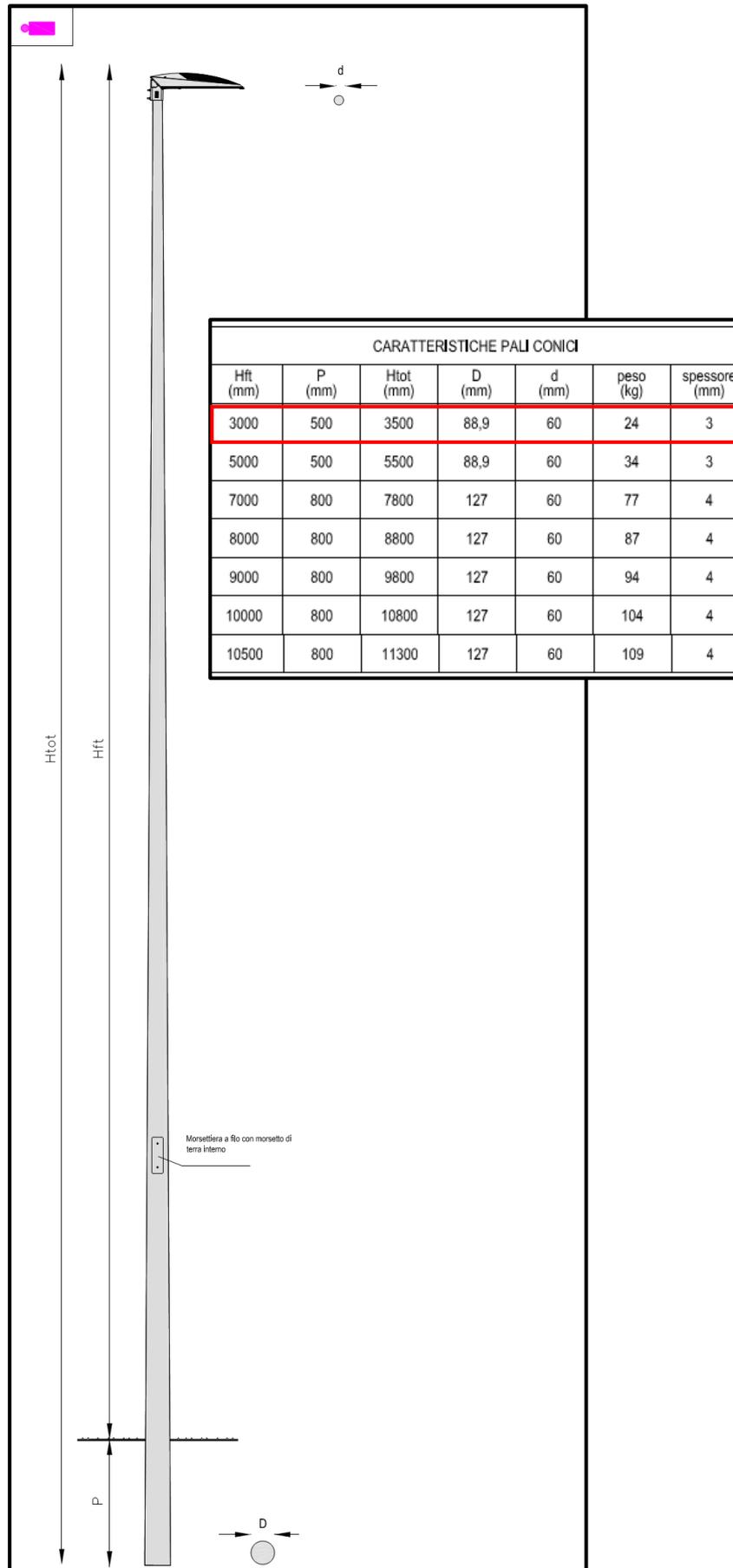
In dette piazzole un apparecchio illuminante sarà posizionato in prossimità del cancello d'ingresso e un apparecchio in prossimità dell'impianto di dosaggio dell'inibitore nei pozzi.

Nelle *Tavole 7* si riporta l'ubicazione degli apparecchi illuminanti nelle postazioni.

In condizioni di normale esercizio il sistema di illuminazione delle postazioni sarà spento. Esso sarà dotato di dispositivi di accensione manuale ed attivato dal personale addetto soltanto in caso di interventi straordinari che si potrebbero rendere necessari durante il periodo notturno.

Nella *Figura 4.3.5.5a* si riporta il dettaglio e le dimensioni dell'apparecchio che verrà installato.

Figura 4.3.5.5a Dettaglio Apparecchio Illuminante tipo AEC LED IN 3m

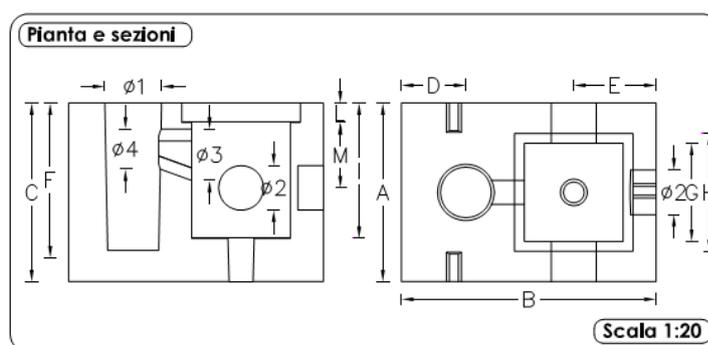


Nella figura seguente si riportano i particolari ed i dati tecnici dei plinti di fondazione con pozzetto in cls per gli apparecchi illuminanti tipo AEC LED IN ed Hft pari a 3000 mm.

Saranno utilizzati plinti prefabbricati gettati in opera. Le dimensioni dei plinti saranno le seguenti: Lxlp 850x600x600 mm (dimensioni esterne) per pali Hft uguale a 3000 mm, peso 582 kg.

I plinti saranno provvisti di pozzetto ispezionabile con fori laterali per l'innesto dei cavidotti e di foro sulla base, oltre al foro passacavi; sul plinto è inoltre previsto il foro per l'inghisaggio del palo. I chiusini e i lapidini saranno in ghisa con scritta "Illuminazione", di Classe B125 / B250 / B400, in funzione della zona d'installazione.

Figura 4.3.5.5b Plinto per Apparecchio Illuminante Hft=3000 mm



CODICE	DIMENSIONI ESTERNE [mm]						DIMENSIONI POZZETTO [mm]						DIMENSIONI FORI [mm]				PESO kg. CAD.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	
PP 060	600	850	600	215	265	500	330	405	420	65	230	90	190	150	170	130	
													170		80	80	

Non sono previsti sistemi di illuminazione esterni alle piazzole.

4.3.5.6 Postazione: Accorgimenti di Protezione del Terreno

Il progetto della postazione deve tener conto delle esigenze di funzionalità dell'impianto, della ripartizione dei carichi sul terreno e delle esigenze di protezione del terreno da agenti inquinanti, quali olio e gasolio, di cui si fa uso nell'esercizio dell'impianto di perforazione.

A tale scopo tutte le attrezzature dell'impianto considerate "a rischio" stillicidio sono dislocate sulla soletta in calcestruzzo descritta precedentemente che, per sua natura, è impermeabile e progettata in modo tale che i liquidi da essa raccolti finiscano, per gravità, verso una vasca acque di prima pioggia ricavata come parte separata della vasca reflui (vedi Tavole 3, 4, 5 e 6 riportanti il lay out delle postazioni di sonda).

Le acque meteoriche di prima pioggia (AMPP) sono quelle corrispondenti, per ogni evento meteorico distinto (ovvero che si verifica a distanza di almeno 48 ore dall'evento precedente), ad una precipitazione di 5 millimetri uniformemente distribuita sull'intera superficie scolante servita dalla rete di drenaggio. La

determinazione delle superfici scolanti è stata effettuata sulla base delle planimetrie riportate nelle tavole sopra citate.

In base alla suddetta definizione di acque di prima pioggia, nella seguente tabella è riportata la quantificazione del volume massimo di tali acque

Tabella 4.3.5.6a Volumi delle acque di prima pioggia (AMPP)

Zona	Superficie (m ²)	Volume max (m ³)
Area impianto di perforazione	1300-1700	8,5
Area deposito gasolio ed oli lubrificanti	120	0,6
Area rifornimento gasolio	30	0,15

Per porsi in condizioni di sicurezza si è prevista una vasca di capacità di almeno 15 m³ idonea a contenere il volume sopra determinato.

In considerazione della propria estensione, la zona che genera il maggior quantitativo di acque meteoriche da trattare è la soletta destinata ad ospitare l'impianto di perforazione.

Come detto, le acque, grazie all'opportuna pendenza della soletta e alle previste canalette, vengono raccolte nella vasca di prima pioggia da cui essa verrà prelevata da auto spurgo per essere inviata all'opportuno trattamento. L'acqua di seconda pioggia, invece bypasserà tale vasca e sarà raccolta dalla canaletta perimetrale della postazione.

Un'altra zona potenzialmente critica è costituita dal deposito di gasolio. Il deposito è costituito da elementi modulari, di solito tre, ciascuno indipendente e munito di un proprio "vassoio" di raccolta. In caso di rottura del serbatoio, il vassoio è perfettamente in grado di ricevere e contenere il massimo volume di gasolio in esso contenuto.

La zona del deposito gasolio è munita di pozzetto di disoleazione che si trova a fianco dell'area stessa di stoccaggio del gasolio.

Il disoleatore provvede alla rimozione dalle acque delle sostanze fangose ed oleose mediante l'impiego di una singola cisterna. Così equipaggiata la cisterna opera due processi: "sedimentazione" e "separazione". Il primo è preposto alla separazione ed accumulo dei solidi sedimentabili (fango, limo, sabbia, ecc.), mentre il secondo provvede alla separazione ed accumulo delle sospensioni oleose (oli, idrocarburi, ecc.). Il disoleatore dispone di una valvola a galleggiante per la chiusura automatica in caso di eccesso di olio all'interno del separatore. Il disoleatore previsto è di classe 1 (separatore coalescente secondo la definizione della tabella 1 della UNI EN 858-1) e dispone di un filtro a coalescenza rigenerabile innestato alla condotta di uscita dal separatore.

Il disoleatore opera come segue. Le acque da trattare si immettono nel disoleatore dove i solidi sedimentabili si depositano sul fondo mentre l'acqua

decantata e le sostanze leggere risalgono in superficie. L'acqua chiarificata sottostante attraversa il filtro a coalescenza e si immette nella condotta di scarico. Durante l'attraversamento del filtro le micro particelle oleose sfuggite al galleggiamento e trascinate dall'acqua coalescono, formando sospensioni più consistenti che si separano risalendo in superficie.

Le acque chiarificate verranno inviate alla vasca acqua industriale insieme alle acque di seconda pioggia raccolte dalla canaletta perimetrale alla postazione e collegata alla vasca acqua .

Analoga considerazione vale per i fusti di lubrificanti temporaneamente stoccati in cantiere. Anch'essi sono dislocati in un contenitore stagno, di adeguato volume, per contenere ogni possibile perdita di olio lubrificante ed altri prodotti di analoga pericolosità, eventualmente necessari all'esercizio dell'impianto.

4.3.6 *Temporaneità delle Postazioni, Chiusura Mineraria e Ripristino Ambientale*

La postazione di sonda è, a tutti gli effetti, un'opera temporanea strettamente legata all'attività di perforazione, a conclusione della quale la superficie diviene oggetto di ripristino territoriale totale o parziale, a seconda dell'esito del sondaggio.

Nei casi di esito negativo del sondaggio, non sussistendo motivi per mantenere in essere l'opera costruita, il pozzo viene chiuso con appositi tappi di cemento, in modo da ripristinare il completo isolamento della formazioni.

L'operazione di chiusura del pozzo è detta "chiusura mineraria" ed, alla fine, sia l'avampozzo in calcestruzzo che la parte terminale superiore del pozzo vengono smantellati fino a circa 2 m di profondità ed i materiali risultanti, ghiaia e calcestruzzo, conferiti a discarica autorizzata od a centri di riutilizzo di inerti.

Anche ogni componente metallico della testa pozzo (flange, valvole, strumenti) è oggetto di recupero per successive utilizzazioni, mentre l'area circostante, precedentemente inghiaata, sarà oggetto di ripristino con l'eliminazione di ogni altra infrastruttura. Lo strato di ghiaia superficiale sarà raccolto e destinato ad altri usi.

Il riporto di altro terreno vegetale non è di solito necessario, salvo in quantità minime, grazie alla tecnica di progetto della postazione che permette il completo impiego del materiale originariamente presente.

Talvolta può risultare conveniente, per il proprietario del terreno, mantenere l'opera, al fine di utilizzarla nell'ambito della propria attività, generalmente di tipo agricolo.

Anche le amministrazioni locali, per analoghi interessi d'utilizzazione, possono richiederne il mantenimento. In tali casi il mantenimento in essere, normalmente accordato dal Committente, è strettamente legato all'ottenimento delle autorizzazioni urbanistiche concesse dall'Ente locale.

Quando invece il sondaggio ha esito positivo il ripristino territoriale non interessa l'avampozzo che pertanto viene mantenuto. Intorno ad esso viene collocata una protezione di rete metallica di adeguata altezza e robustezza, per impedire l'accesso di personale estraneo alle strutture del pozzo affioranti (tubo e valvole).

In tal caso, anche la restante superficie della postazione rimane destinata all'esercizio del pozzo, per permettere misure e controlli all'interno dello stesso e le operazioni di manutenzione del pozzo che si rendessero necessarie anche con impiego di impianto di perforazione.

4.3.7 *Tecnologia di Perforazione e Prevenzione Rischi Durante la Perforazione*

4.3.7.1 **Il Fango di Perforazione**

Il fluido di perforazione utilizzato più diffusamente nella perforazione dei pozzi è il cosiddetto fango, che è costituito da una miscela di acqua, bentonite e, quando necessario, alcuni additivi.

Nel caso in esame l'impiego di additivi non è previsto nella prima fase di perforazione. L'impiego di questi diventa necessario allorquando la temperatura della formazione supera 60-70°C, provocando effetti negativi sulla stabilità reologica del fango stesso. Pertanto dalla profondità di 300 m, ovvero dopo aver posizionato e cementato completamente il primo e il secondo casing in acciaio, non si esclude l'impiego di additivi, pur in bassissime percentuali.

La bentonite dunque è il costituente base del fango. Si tratta di un materiale di origine minerale ottenuto trattando termicamente la montmorillonite (un tipo di argilla), 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.

Da un punto di vista ambientale è opportuno ricordare che la bentonite è un prodotto assolutamente innocuo. Infatti essa trova varie altre forme di impiego al di fuori della perforazione. Significativi da questo punto di vista sono gli impieghi della bentonite nell'industria vinicola, alimentare in generale e nella cosmesi. È quindi un prodotto atossico e compatibile con l'ambiente.

Per quanto riguarda l'altro componente del fango, l'acqua, è sufficiente considerare che si tratterà di acqua proveniente da pozzi che attingono alla falda delle vulcaniti, quindi proveniente dallo stesso ambiente con il quale potrebbe entrare in contatto.

4.3.7.2 **Condizioni di Sicurezza durante la Perforazione**

Come descritto ai precedenti paragrafi ci si attende di trovare il fluido geotermico ad una pressione inferiore alla idrostatica corrispondente alla quota del serbatoio.

Le condizioni geologiche di tutta l'area interessata dalle perforazioni è abbondantemente conosciuta grazie alle precedenti esperienze di perforazione, quindi si può escludere che, nella formazione di copertura, sia presente gas o

altro fluido in sovrappressione rispetto al fango, e quindi critico dal punto di vista del controllo del pozzo in perforazione.

Tuttavia, l'installazione di due Blow Out Preventer (BOP), peraltro prevista dalle norme di legge in vigore, permette la gestione in sicurezza del pozzo grazie alla possibilità di prevenire possibili blow-out.

La disponibilità di acqua per la preparazione dei fluidi di perforazione o per la sua utilizzazione diretta come fluido di perforazione del serbatoio, costituirà elemento di sicurezza per condurre la perforazione in modo sicuro.

In *Figura 4.3.7a* sono mostrate le attrezzature di sicurezza che saranno installate durante la perforazione (singoli BOP, sia tipo "annular" che di tipo "ram").

Figura 4.3.7a Esempi di BOP "Ram" (a Sinistra) e "Annular" (a Destra)



La testa pozzo si completa con almeno una valvola laterale, installata sotto al BOP ed alla eventuale valvola maestra, a sua volta collegata ad una tubazione che permette di pompare fluido in pozzo per controllare la pressione in caso di necessità o gestire nella maniera voluta eventuali emissioni di fluido dal pozzo stesso.

Un'altra scelta a favore della sicurezza riguarda il sistema di rilevazione del gas e la professionalità del personale addetto, descritti di seguito.

Sistema di Rivelazione dei Gas Endogeni

L'impianto di perforazione sarà dotato di un sistema di rilevazione del gas, con relativo allarme a seconda della concentrazione rilevata nell'atmosfera in alcune

zone caratteristiche di lavoro.. Si tratta di un'apparecchiatura tipica nella perforazione profonda dei campi a idrocarburi e geotermici.

Il sistema di rilevazione gas è basato sulla dislocazione di un certo numero di sensori che rilevano la concentrazione dei gas più comunemente incontrati nelle formazioni geologiche, CO₂, H₂S e CH₄ (ed in genere CHn). Tra questi gas quelli più temuti nelle perforazioni profonde sono H₂S e CH₄. Di solito il metano è accompagnato da altri idrocarburi (da ciò l'adozione della simbologia gergale CHn) che, dal punto di vista della rilevazione, danno luogo allo stesso segnale oltre che essere equipollenti dal punto di vista del rischio incendio.

Il sistema è progettato affinché, qualora si raggiunga, anche in uno solo dei punti critici dove sono localizzati i sensori, un determinato valore di soglia della concentrazione di uno dei gas suddetti, entri in funzione un dispositivo di allarme ottico ed acustico, con indicatori anch'essi ubicati in punti strategici della postazione, in modo che il personale di sonda sia tempestivamente avvertito della presenza di gas e possa attivarsi per le operazioni del caso.

Valori Critici e di Allarme per la Concentrazione dei Gas

Il livello di allarme prefissato, in termini di concentrazione dei gas rilevata nell'atmosfera in prossimità delle zone ritenute più critiche, è ben lungi dall'essere pericoloso per le persone.

Normalmente si adottano i valori limite di concentrazione indicati dalle norme API e adottate diffusamente a livello internazionale dalle compagnie petrolifere cioè 10 ppm (parti per milione in volume) per l'idrogeno solforato e 5.000 ppm per l'anidride carbonica, ovvero i gas che con maggior frequenza si incontrano in perforazione.

Inoltre il sistema di allarme è tarato per attivarsi con una concentrazione di metano (o CHn) pari al solo 15% del Limite Inferiore di Esplosività in aria, il cosiddetto L.I.E., che è generalmente ritenuto pari al 5%.

La logica su cui si basa il sistema di sicurezza, sia nei riguardi dell'eruzione spontanea (blowout) che del rischio incendio, è di rilevare tempestivamente, e trattare come stati di allarme, quei sintomi che possono essere cautelativamente considerati *premonitori* di una situazione potenzialmente evolutiva verso livelli di una certa criticità.

Infine saranno presenti almeno due indicatori di direzione del vento (maniche a vento) che permetteranno al personale operante di conoscere, in ogni momento, in quale direzione recarsi in caso di emergenza nell'eventualità di una fuoriuscita incontrollata di gas, o in caso di raggiungimento di situazioni critiche per concentrazione di gas superiore ai valori minimi di soglia prestabiliti.

Accorgimenti di sicurezza della perforazione della cappa di gas

Innanzitutto occorre considerare che il gas contenuto nella cappa di gas si trova a pressione inferiore a quella idrostatica corrispondente per profondità, in gergo

la situazione viene chiamata “under pressure”. Ciò implica che in perforazione, quando lo scalpello incontra la prima frattura nel serbatoio, si manifesta un assorbimento del fluido di perforazione. In condizioni statiche il livello di acqua o fango in pozzo tende a stabilizzarsi alla profondità di circa 170m dal piano campagna.

Durante la perforazione, per effetto del pompaggio di acqua attraverso le aste, quindi in condizioni che possiamo definire dinamiche, il livello di acqua o fango in pozzo si mantiene invece più vicino al piano campagna e sarà tanto più prossimo a quello statico quanto più alta sarà la permeabilità della formazione del serbatoio attraversata. In tali condizioni idrauliche, è facile effettuare il controllo del pozzo mediante iniezione costante di acqua attraverso l’intercapedine tra aste di perforazione e casing.

La passata esperienza delle perforazioni Enel insegna che è sufficiente una piccola iniezione di acqua (o fango, ovviamente) attraverso l’intercapedine per tenere sotto controllo il pozzo. Approfondimenti teorici tra l’altro permettono di determinare in base all’area della sezione di pozzo interessata dalla circolazione del fluido di perforazione, qual è il valore limite della portata da iniettare attraverso l’intercapedine per mantenere in frattura il gas.

Per questa ragione il progetto prevede di attingere acqua dalla falda attraverso i pozzetti di prelievo dedicati, uno in ciascuna postazione di sonda, con interconnessione tra i pozzetti delle altre postazioni limitrofe, per avere la garanzia della disponibilità di acqua.

Durante le ricerche minerarie dell’Enel negli anni ’70 si manifestò un blow out. Dai dati disponibili in letteratura e anche da testimonianze raccolte, il blow out sembra riconducibile sia alla scarsità di acqua a disposizione che non permetteva di esercitare il controllo dinamico del pozzo, sia all’inadeguatezza del completamento del pozzo con casing. A seguito delle due esperienze però la tecnica di perforazione fu evidentemente adeguata alle esigenze di sicurezza e in effetti furono perforati numerosi altri pozzi, anche interessanti la zona della cappa di gas, senza avere inconvenienti di quel tipo. Uno di questi, l’Alfina 13, è tuttora attivo ed è stato utilizzato per anni per l’estrazione della CO₂ dalla cappa di gas senza inconvenienti.

Professionalità Richiesta al Personale di Sonda

Il personale addetto all’esercizio diretto dell’impianto di perforazione, in ottemperanza al dettato del D.Lgs. n.624/96 è sottoposto, ogni 2 anni, a corsi di aggiornamento sulle tecniche operative di controllo delle eruzioni. Tali corsi sono tenuti o presso scuole qualificate dall’International Well Control Forum (IWCF) oppure svolti all’interno delle aziende da personale qualificato, o riconosciuto tale dallo stesso IWCF, e si concludono con una procedura di esame atta a verificare e documentare il livello di apprendimento e preparazione dei singoli partecipanti.

La partecipazione a tali corsi e il superamento dell’esame finale sono certificati da un attestato di adeguata preparazione professionale sia teorica che pratica in tema di “controllo eruzione” dei pozzi.

La qualità del funzionamento dei BOP, le apparecchiature di comando connesse, il sistema di monitoraggio e allarme gas, come previsto dalla buona pratica della perforazione, vengono periodicamente provati nella loro funzionalità durante tutta l'attività di perforazione, simulando con esercitazioni specifiche l'effettuazioni di interventi in emergenza.

Il controllo del corretto funzionamento dei BOP, così come di tutti i componenti più importanti dell'impianto, avvengono sulla scorta di un piano di controllo preventivamente definito a norma del D.Lgs. n.624/96, art. 31.

Pertanto, qualora si verificassero le condizioni per un'eruzione spontanea del pozzo, le misure di sicurezza presenti, tanto di natura impiantistica che organizzativa, offrirebbero una garanzia a livello degli standard internazionalmente riconosciuti e utilizzati per la perforazione di pozzi profondi.

Protezione Antincendio

Le norme in vigore che regolano l'attività di perforazione e prove di produzione dei pozzi (essenzialmente il già citato D.Lgs. n.624/96) prevedono specifiche disposizioni di corredo dell'impianto ai fini di protezione contro gli incendi, dalla dislocazione e numero degli estintori alla scelta delle caratteristiche tecniche dei componenti dell'impianto stesso. Analogamente, sono previste specifiche condizioni di capacità del personale di sonda con apposite figure "formate" per la gestione di situazioni critiche dal punto di vista incendio.

La dislocazione di componenti d'impianto dal pozzo (motori diesel e serbatoi gasolio) è soggetta a precise indicazioni di legge (DPR 128/59 e D.Lgs. n.624/96) che stabiliscono i limiti minimi della distanza di tali componenti dal pozzo, proprio con la funzione di protezione contro il rischio incendio. In tale contesto di sicurezza si inserisce anche la scelta di utilizzare i sensori di allarme gas endogeno con valori massimi di rilevazione CHn prestabiliti in funzione di questo obiettivo.

Tecniche di Tubaggio per la Protezione delle Falde Idriche

Le falde idriche sono racchiuse nelle formazioni geologiche superficiali, che nella situazione specifica, possono indicativamente considerarsi localizzate entro i primi 200 m.

In generale, durante la perforazione dei sondaggi, il rischio di contaminazione delle falde può avvenire attraverso l'immissione nell'acquifero di consistenti quantità di fango oppure di fluido endogeno; nel seguito viene analizzato in maniera compiuta tale rischio, descrivendo gli accorgimenti progettuali e operativi adottati per evitarlo.

Il profilo di tubaggio adottato per i pozzi geotermici (si veda le figure ai *paragrafi 4.1 e 4.2*) permette un completo isolamento delle falde attraversate, in ordine le falde sospese (caratterizzate da alte concentrazioni di ioni Al, in particolare) e quelle profonde utilizzate per i prelievi di progetto.

Nell'Allegato 2b (*“Relazione Idrogeologica”*) si propone anche un profilo di realizzazione dei pozzetti di prelievo idrico e una programmazione della cementazione del casing idonea per pervenire ad un efficace isolamento delle falde presenti nella formazione geologica di superficie nella quale si distinguono le cosiddette falde sospese, non utilizzabili né a fini idropotabili né per l'acqua della perforazione, da quelle profonde, utilizzate a tale scopo. Ciò in accordo ad un'esperienza costruttiva oramai largamente applicata con successo in tale tipo di attività in grado di isolare in modo sicuro le diverse falde.

Protezione delle falde acquifere da immissione di fango

Come già esposto, la perforazione del tratto superficiale del pozzo viene condotta con le stesse tecniche di perforazione dei pozzi per la ricerca di acqua, pertanto il rischio di inquinamento delle falde in pratica non sussiste.

Infatti il programma di preparazione dei fanghi da impiegare per la perforazione delle formazioni superficiali prevede di usare bentonite, carbossi-metil-cellulosa (CMC) e bicarbonato di sodio.

La *bentonite* è un minerale costituito da montmorillonite, cioè un tipo di argilla che, per le sue caratteristiche fisico chimiche, è adattissimo ad essere impiegato nella preparazione del fango cosiddetto a base acqua per la sua capacità di idratarsi.

Una volta miscelata con acqua nella proporzione di 50-60 kg per metro cubo di fango, la bentonite assorbe l'acqua “fissandola” in massima parte, indicativamente nella misura del 98%. Il fango che si forma diventa idoneo a entrare in contatto con le argille delle formazioni geologiche evitandone il possibile collasso per perdita di resistenza meccanica a causa dell'assorbimento di acqua.

Nelle formazioni debolmente permeabili, il fango, a contatto con le pareti del foro, forma un pannello (cake), che oltre a consolidare meccanicamente il foro stesso, impedisce la penetrazione del fango in parete.

Dal punto di vista tossicologico la bentonite non ha effetti, tanto che viene usata come additivo alimentare (ad esempio come schiarente nei vini), nella cosmesi e in medicina.

La *Carbossi-Metil-Cellulosa*, in sigla CMC, si usa come additivo del fango bentonitico nel caso sia necessario elevarne la viscosità per migliorare la sua capacità di trasportare i detriti dal fondo pozzo alla superficie, per contribuire alla riduzione della percentuale di acqua libera e per migliorare le caratteristiche meccaniche e impermeabilizzanti del pannello che si forma sulle pareti interne del foro.

La CMC è ottenuta dalla cellulosa, che è il principale polisaccaride e costituente del legno e delle strutture vegetali in genere. Ha sigla E466, è diffusa come additivo alimentare “addensante” (in realtà il termine corretto per indicarne le caratteristiche fisiche sarebbe “viscosizzante” o gelificante) ed è usato largamente anche nella preparazione dei dolci.

La dose richiesta di CMC è generalmente 1÷2 kg di CMC per tonnellata di fango.

Il *Bicarbonato di sodio* è un additivo il cui uso potrebbe essere richiesto, in particolare, nella perforazione del cemento residuo rimasto in pozzo dopo aver cementato la prima tubazione oppure eventuali tappi; il bicarbonato di sodio ha la funzione di stabilizzare il pH del fango.

Anch'esso è un prodotto atossico, usato in larga misura negli alimenti, ingeribile anche allo stato tal quale in soluzione acquosa.

Le schede di sicurezza dei tre prodotti sono riportate in *Allegato O* dello SIA. In esse sono descritte le caratteristiche chimiche base dei tre prodotti e i loro effetti sull'organismo e sull'ambiente.

Analoghi criteri di preparazione del fango saranno adottati in fase di perforazione dei pozzetti per il prelievo idrico. Pertanto il rischio di produrre qualsiasi forma di inquinamento delle falde durante la perforazione è risolto alla radice.

In coerenza con questa impostazione, anche l'acqua utilizzata per la preparazione del fango sarà quella attinta dalla falda di base attraverso i pozzetti dedicati (uno in ciascuna postazione di sonda), ovvero la stessa falda di base che, con tale progetto di preparazione del fango, si intende proteggere.

Una volta isolate le formazioni permeabili sedi di falda acquifera superficiale mediante i primi due casing completamente cementati, il problema del rischio di contaminazione delle falde è risolto alla radice.

L'impiego di altri additivi per la preparazione del fango è previsto nella perforazione delle formazioni oltre 350-400m, dove è attesa una temperatura sensibilmente superiore a quella delle formazioni che ospitano gli acquiferi superiori che però sono ormai completamente isolati attraverso il casing 24" 1/2 e il casing 18" 5/8, entrambi completamente cementati e in grado di costituire una barriera passiva di totale efficacia.

In tali condizioni si prevede l'impiego di lignosulfonati e cromo lignine per limitare la percentuale di acqua libera e mantenere la viscosità ad un livello accettabile per il trasporto dei detriti e eventualmente carbonato di calcio o soda caustica per avere un efficace controllo del pH.

Nelle condizioni di temperatura previste, per ciascuno dei prodotti suddetti, la quantità generalmente usata va da 1 a 3 kg per tonnellata di fango.

La perforazione del serbatoio geotermico, dove è prevista la perdita di circolazione del fluido di perforazione, avverrà prevalentemente con acqua limitando l'uso del fango a specifiche attività di ripulitura del fondo dai detriti. In alternativa, con lo stesso obiettivo, potranno essere impiegati anche "cuscini" di acqua e CMC.

Le schede di sicurezza della bentonite, del CMC, del bicarbonato di sodio e degli altri prodotti necessari alla preparazione del fango sono riportate in *Allegato O* dello SIA.

Protezione delle falde acquifere da Immissione di fluido endogeno

La seconda forma di possibile contaminazione, cioè la immissione di fluido endogeno nelle formazioni sede di acquifero, potrebbe manifestarsi solo se il fluido proveniente dalle formazioni interessate e presente in pozzo durante la produzione potesse entrare in contatto con le falde acquifere.

Tale rischio è eliminato intervenendo a livello di progetto del profilo di tubaggio del pozzo e prevedendo:

- un sistema multiplo di tubazioni concentriche;
- l'impiego di tubi assolutamente integri dal punto di vista della presenza di difetti meccanici o metallurgici: ciò è ottenuto realizzando un piano dei controlli di rispondenza generale del prodotto alle specifiche di progetto al più alto livello impiegato per tale tipologia di prodotto industriale;
- un montaggio delle tubazioni realizzato assemblando i singoli tubi sotto il controllo di una compagnia diversa da quella che gestisce l'impianto di perforazione ed esegue il montaggio. La prima compagnia controlla l'attività dell'esecutore dal punto di vista della garanzia della qualità del lavoro. In particolare la compagnia di controllo, oltre a impiegare macchine assolutamente idonee a offrire le migliori condizioni di serraggio dei singoli tubi, registra anche i parametri fondamentali di avvitatura (coppia, numero di giri, tempo di avvitatura) e per ciascuna filettatura certifica il rispetto delle condizioni di montaggio fornendo registrazioni su carta e su supporto magnetico;
- individuando la profondità ottimale della scarpa delle stesse tubazioni per evitare difficoltà in fase di cementazione;
- progettando cementazioni delle tubazioni attraverso le condizioni di centratura delle tubazioni, regolarità dell'intercapedine, condizioni di flusso, controllo del tempo di presa della malta in modo da creare condizioni finali di cementazione eccellenti.

Inoltre occorre considerare anche il fatto che la pressione che sollecita le tubazioni durante la fase di esercizio dei pozzi è molto inferiore alle condizioni di pericolo di rottura delle tubazioni stesse. Rispetto alla prima versione del programma lavori, l'introduzione di due casing completamente cementati permette di isolare l'intero sistema di falde idriche superficiali, riducendo questo rischio a livelli veramente insignificanti.

È evidente che una volta costituito un sistema multiplo di tubazioni così curate nella fase di montaggio dal punto di vista meccanico, cementate in maniera completa ed ottimale dal punto di vista della qualità, della omogeneità e resistenza meccanica della malta, tale sistema finisce per costituire una barriera primaria assolutamente ridondante nei riguardi della sicurezza dell'isolamento delle formazioni esterne alle tubazioni, che si traduce in un elevatissimo grado di protezione delle falde in esse contenute.

4.3.7.3

Problematiche di Igiene ed Aspetti di Organizzazione del Lavoro*Alloggi del Personale*

Gli alloggi per il personale operativo sono costituiti da containers attrezzati ad uso ufficio.

Il personale si alterna secondo i turni contrattualmente previsti ed il cambio delle squadre avviene direttamente sul cantiere. Pertanto gli alloggi non sono destinati a essere utilizzati né come refettorio vero e proprio, né come dormitori.

Gli impianti per il condizionamento ambientale interno ai containers uso ufficio saranno periodicamente controllati secondo le norme e mantenuti al fine di prevenire rischi connessi con il cosiddetto "Morbo del Legionario".

Rifiuti e Fattori Connessi

I rifiuti solidi urbani, in particolare eventuali scarti alimentari, ancorché di modestissima entità, saranno collocati in appositi contenitori stagni e giornalmente trasferiti in quelli appositamente previsti dal Comune o dall'Azienda preposta al servizio di raccolta e smaltimento degli stessi.

Non è previsto immagazzinamento in cantiere di alimenti o prodotti per alimenti.

Inoltre gli uffici di cantiere sono disegnati e costruiti per avere idonea protezione contro l'ingresso della fauna murina e, stante la breve durata dei lavori, non si prevede, di solito, l'esecuzione di opere di preventivo contenimento della stessa. Tuttavia, se la durata delle attività dovesse prolungarsi oltre il previsto, o se se ne verificassero le esigenze, si provvederà a richiedere servizio specifico attraverso compagnie specializzate.

Analoghe precauzioni saranno adottate nel caso di sbancamenti di terreno superficiale durante la fase di costruzione della postazione di sonda.

Acque Stagnanti

Non si prevede di disporre vasche con acqua stagnante, se non per il periodo ristretto delle operazioni di perforazione. Al fine di prevenire focolai di artropodi si provvederà ad effettuare trattamenti chimici preventivi.

Servizi Igienici di Cantiere

Si prevede un servizio completo da parte di una compagnia esterna per la fornitura dei servizi stessi e per la loro completa gestione.

Linee Elettriche e Telefoniche

Le norme di polizia mineraria in vigore impongono di mantenere una distanza minima dalle linee elettriche e telefoniche, ai fini della sicurezza, pari all'altezza massima della torre di perforazione e, nel caso di distanza (misurata in pianta) tra

le linee e il pozzo inferiore a 50 m, la norma impone una specifica autorizzazione del Prefetto (art. 60 DPR 128/59).

Nel caso in esame si ritiene che sia possibile rispettare il limite di 50 m da qualunque linea elettrica o telefonica o altra opera di uso pubblico.

Tale distanza è largamente cautelativa anche dal punto di vista del rispetto del DPCM del 8 Luglio 2003.

4.3.8 *Uso di Risorse in Fase di Perforazione*

4.3.8.1 **Acqua Industriale**

L'attività di perforazione richiede la disponibilità di acqua per la preparazione dei fanghi e delle malte, in quantità correlabile al volume dei singoli pozzi, alla durata dei lavori di perforazione ed alle caratteristiche geologiche delle formazioni attraversate.

Nella stima del consumo di risorse si deve tener conto della diversa tipologia di formazioni attraversate, distinguendo, in particolare, le fasi di perforazione della copertura, durante la quale si impiega fango bentonitico. In tale fase, il consumo di fango è prevalentemente dovuto agli assorbimenti che si verificano nell'attraversamento delle vulcaniti, mentre è decisamente limitato nelle formazioni a prevalenza argillosa.

La perforazione del serbatoio comporta un maggior consumo idrico in conseguenza della minor pressione del fluido di strato, rispetto alla idrostatica equivalente per profondità, che implica il fenomeno della perforazione cosiddetta in *perdita di circolazione*.

Tale consumo di acqua sarà soddisfatto prelevando temporaneamente acqua dai pozzetti realizzati allo scopo, come descritto al *Paragrafo 4.3.3*.

In considerazione della possibile variabilità dei tratti di pozzo che potrebbero essere perforati in perdita di circolazione, e la necessità di non interrompere i lavori in caso di carenza idrica, il progetto dei pozzetti di prelievo di cui all'*Allegato 2b*, è stato eseguito considerando le seguenti forniture idriche, sulle quali è stato anche calibrato lo studio di compatibilità con l'acquifero:

- pozzi produttivi del cluster AP1 e del pozzo AP2: portata di punta 70 m³/h per 10 gg, nel restante periodo 10 m³/h (durata totale attesa del prelievo per ciascun pozzo: 30 gg);
- pozzi produttivi del cluster AP3: portata di punta 50 m³/h per 10 gg, nel restante periodo 10 m³/h (durata totale attesa del prelievo per il pozzo: 40 gg);
- pozzi reiniettivi del cluster AP4: portata di punta 50 m³/h per 10 gg, nel restante periodo 10 m³/h (durata totale attesa di prelievo per ciascun pozzo 40 gg).

4.3.8.2 Energia, Gasolio e Lubrificanti

L'energia necessaria all'esercizio dell'impianto e di tutti i servizi di cantiere viene prodotta in loco mediante i gruppi di generazione dell'impianto stesso. I carburanti per l'alimentazione dei motori e dei gruppi elettrogeni vengono approvvigionati tramite autocisterne che attingono presso fornitori autorizzati.

L'impiego di energia elettrica, al di fuori della perforazione propriamente detta, è limitata all'alimentazione della pompa sommersa durante le prove di emungimento di acqua dai pozzetti di prelievo idrico per l'alimentazione del cantiere di perforazione e pertanto non è previsto azionamento elettrico per le principali utenze dell'impianto di perforazione

Pozzi delle postazioni AP1 e AP2

Il consumo massimo di gasolio di un cantiere durante la perforazione è di circa 1.000 kg/giorno, per un fabbisogno complessivo a pozzo, con riferimento alla profondità di un pozzo di profondità 1.200 metri, stimabile in 16.000 kg/pozzo ovvero una media di 500 kg/giorno.

Il consumo di lubrificanti del macchinario dell'impianto di perforazione è stimabile in 700 kg a pozzo.

Pozzi delle postazioni AP3 e AP4

Per ciascuno di essi si prevede che i consumi superino del 70% i valori relativi ad AP1 e AP2.

4.3.8.3 Altre Materie Prime

I consumi dei prodotti per la preparazione del fango e delle malte possono essere influenzati dalle condizioni geologiche incontrate, tuttavia nel caso specifico, queste sono abbastanza ben conosciute grazie alle precedenti perforazioni di Enel quindi le stime seguenti hanno un margine di incertezza abbastanza ridotto.

Per il calcolo delle quantità dei materiali necessari per l'alimentazione del cantiere (in prevalenza inerti, cemento, bentonite, acciaio, gasolio) si fa riferimento in via cautelativa alla profondità di progetto dei pozzi più profondi (AP3, AP4) che è stata stabilita in 1500m di profondità verticale. Sulla base del profilo dei pozzi, della stratigrafia conosciuta e dell'esperienza, si possono stimare i seguenti consumi medi per ogni singolo pozzo profondo, sia produttivo che reiniettivo:

- bentonite: 50 t per pozzo;
- cemento per le malte: 130 t per pozzo;
- acqua per la perforazione, circa 20.000 m³ a pozzo;
- gasolio per l'alimentazione dei macchinari di sonda, circa 25.000 kg in media per pozzo;
- acciaio: il consumo di acciaio è relativo principalmente ai tubi (casing), mentre altri utilizzi danno un contributo assai poco significativo. Il fabbisogno

di casing ammonta a circa 120 t mentre altri consumi sono per scalpelli, testa pozzo e lamiere per lavori di carpenteria vari. Si stima pertanto un totale di 130 t di acciaio per pozzo.

Calcestruzzo e inerti per la postazione di sonda

Di seguito viene riportato, per ciascuna postazione, il volume di calcestruzzo necessario per la realizzazione della soletta ed il volume di inerti:

- Postazione AP1
 - Calcestruzzo: m³ 580
 - Inerti: m³ 1.600

- Postazione AP2
 - Calcestruzzo: m³ 480
 - Inerti: m³ 1.400

- Postazione AP3
 - Calcestruzzo: m³ 580
 - Inerti: m³ 1.800

- Postazione AP4
 - Calcestruzzo: m³ 730
 - Inerti: m³ 2.200

Nel successivo *Paragrafo 4.3.9* è riportato inoltre il bilancio scavi riporti dove, per ciascuna postazione, viene dettagliata la quantità di inerti che sarà prelevata dalle cave di prestito esistenti in zona, tra cui l'impianto Cava Pizzuti di Castel Viscardo.

4.3.9 *Bilancio Scavi Riporti*

Nella tabella seguente si riportano, per ciascun pozzo, le volumetrie indicative degli scavi preceduti dal segno “-” (meno) e dei riporti col segno “+” (più).

Tabella 4.3.9a Bilancio Scavi Riporti

Rif	Operazione	Volume (m ³)	Note
Postazione AP1			
A	Sbancamenti e scavi a sezione obbligata	- 2700	
B	Riutilizzo per rilevati piazzale, rinterrati e sistemazioni interne	+2500	
A+B	<i>Terreno residuo</i>	-200	
C	Riporto inerti per ossatura piazzale+strada+parcheeggio auto	+1600	
Postazione AP2			
A	Sbancamenti e scavi a sezione obbligata	-8166	
B	Riutilizzo per rilevati piazzale, rinterrati e sistemazioni interne	+8565	
A+B	<i>Terreno mancante</i>	+399	Di questo volume 358 m ³ verranno presi dall'eccedenza dei lavori di livellamento dell'adiacente area ORC e i restanti 41 m ³ verranno reperiti da cava di prestito.
C	Riporto inerti per ossatura piazzale+strada+parcheeggio auto	+1400	
Postazione AP3			
A	Sbancamenti e scavi a sezione obbligata	-2400	
B	Riutilizzo per rilevati piazzale, rinterrati e sistemazioni interne	+2300	
A+B	<i>Terreno residuo</i>	-100	
C	Riporto inerti per ossatura piazzale+strada+parcheeggio auto	+1800	
Postazione AP4			
A	Sbancamenti e scavi a sezione obbligata	-6400	
B	Riutilizzo per rilevati piazzale, rinterrati e sistemazioni interne	+6200	
A+B	<i>Terreno residuo</i>	-200	
C	Riporto inerti per ossatura piazzale+strada+parcheeggio auto	+2200	
Quantità Totali			
-	Totale Sbancamenti e scavi a sezione obbligata	-19666	-
-	Totale Riutilizzo per rilevati piazzale, rinterrati e sistemazioni interne	+19565	-
-	Totale Terreno residuo	-500	Per il terreno residuo si procederà a caratterizzazione e a predisposizione del piano di utilizzo in accordo al D.M.161/2012
-	Totale Riporto inerti per ossatura piazzale, strada e parcheggio auto	+7000	Da cava di prestito

4.3.10 *Rifiuti e Residui*

4.3.10.1 **Detriti e fango esausto**

Il detrito prodotto dalla frantumazione della roccia, dovuto all'azione dello scalpello, ha una dimensione variabile da qualche millimetro fino a valori dell'ordine di qualche micron.

La quantità attesa di residui di detriti e fango prodotta per singolo pozzo produttivo è stimabile in 630 t.

Di questi, circa il 70% risulterà proveniente dalla separazione dalla fase liquida attraverso le attrezzature di vagliatura, mentre il rimanente fa parte dell'aliquota non separabile dal fango, pertanto lo si ritrova sotto forma di materiale decantato in apposite vasche.

Tale quantità è relativa prevalentemente alla parte superficiale del pozzo, ovvero dal piano campagna fino alla profondità di circa 800m (in media). Oltre tali profondità si esclude la produzione di detriti, dal momento che sarà prevalente la perdita di circolazione.

La quantità di fango che contribuisce a tale voce è limitata a soli 80 m³ a pozzo.

Per la miscela di fango, acqua e detriti di varia pezzatura prodotti dalla perforazione si prevede un ciclo di smaltimento attraverso apposito centro di trattamento autorizzato in accordo alle leggi in vigore. Si prevede di affidare allo stesso centro anche il prelievo dei prodotti dal cantiere con modalità stabilite di volta in volta e la cui frequenza di prelievo, dipenderà dalla produzione nel tempo del detrito stesso.

Il centro prescelto provvederà quindi a prelevare i prodotti e trasferirli al luogo di trattamento con mezzi specializzati e autorizzati in accordo alle leggi in vigore. La caratterizzazione chimica iniziale del materiale prodotto, anche se costituito in prevalenza da detriti, bentonite e cemento, viene fatta in un laboratorio specializzato, anch'esso necessariamente tra quelli autorizzati, ma che potrà essere distinto dal laboratorio di cui il centro è eventualmente dotato. Inoltre i residui saranno inoltre classificati in accordo al codice CER (Dlgs 152/06).

Il processo cui sarà sottoposta la miscela di fango e detrito, una volta portata presso il centro di trattamento, prevede la separazione della fase solida da quella liquida, attraverso un filtropressa o altro sistema analogo.

Alla fine del ciclo si ottengono due fasi ben distinte fisicamente: una solida dove sono confluiti i detriti grossolani, quelli fini e la bentonite rimasta intrappolata, l'altra liquida costituita da acqua resa opaca dalla presenza di residui particolarmente fini di bentonite in sospensione.

La fase solida viene sottoposta ad analisi della composizione per verificarne la possibilità di riutilizzo, o il tipo di discarica cui conferirla. Stante la ridotta quantità di residuo solido per pozzo, di solito quest'ultima è la destinazione finale.

Il residuo liquido è conferito al fornitore di un servizio di trattamento, che opera mediante impianti mobili o fissi, al fine di chiarificare la fase liquida, introducendo in soluzione dei prodotti (solfato di alluminio o cloruro ferrico) che favoriscono la coagulazione, flocculazione e precipitazione dei solidi molto fini, e facilitano l'assorbimento degli ioni residui.

L'acqua così depurata può essere destinata al riutilizzo dopo aver ottenuto le autorizzazioni previste. Questa attività sarà interamente svolta mediante servizio esterno da uno specifico fornitore autorizzato dalle autorità provinciali (comunque secondo le norme di legge in vigore) al servizio di raccolta, trasporto e trattamento presso un suo centro specializzato.

4.3.10.2 Liquido Residuo da Prove di Produzione

Come descritto al *paragrafo 4.3.2*, il liquido geotermico che si troverà nelle vasche al termine delle brevi prove di produzione sarà integralmente re iniettato nel pozzo durante i test di iniezione.

4.3.10.3 Acqua Residua da Prove di Produzione Pozzetti

Le prove di caratterizzazione dei pozzetti per il prelievo dell'acqua destinata alla perforazione (si veda l'*Allegato 2b*) implicano la produzione di certi quantitativi di acqua di falda. L'acqua così prodotta sarà smaltita nei corpi idrici superficiali previo accertamento della composizione chimica e l'ottenimento delle autorizzazioni di legge, oppure conservata per utilizzarla per la preparazione del fango.

4.3.10.4 Rifiuti da Attività di Cantiere

Durante la perforazione è presente sul cantiere un sistema di raccolta differenziata dei rifiuti prodotti, che vengono successivamente smaltiti secondo le disposizioni vigenti in materia. Particolare attenzione viene posta alla raccolta delle tipologie di materiale riciclabile (olio esausto, rottami ferrosi, etc.).

In accordo alla normativa vigente, anche i rifiuti prodotti nella perforazione dei pozzi sono classificabili nelle seguenti tre tipologie:

- urbani;
- speciali non pericolosi;
- speciali pericolosi.

Le quantità di rifiuti da smaltire, con riferimento all'attività di perforazione di un pozzo, sono stimabili come riportato nella seguente *Tabella 4.3.10.4a*.

Tabella 4.3.10.4a Quantitativi Medi Rifiuti da Smaltire con Riferimento all'Attività di Perforazione di Ciascun Pozzo

Tipologia Rifiuto	Quantità in kg
Materiali filtranti, stracci e indumenti contaminati da olio	200
Materiale per imballaggi	700
Gomma e gomma-metallo	1.700
Legname	600
Oli esausti utilizzati nei motori	250

4.3.11 Effluenti Liquidi

Durante le attività di perforazione sono previsti tre tipi di effluenti liquidi:

- le acque di pioggia;
- gli scarichi dei servizi sanitari.

Nel periodo di perforazione le acque di pioggia sono regimate come descritto al paragrafo 4.3.5 e come rappresentato nelle *Tavole 3, 4, 5, 6*). Dato l'inserimento della postazione AP2 e dell'impianto ORC nella cava "Le Greppe", verrà realizzato un fosso di guardia sul lato ovest dell'area di intervento per il drenaggio delle acque meteoriche che scorrono dalla scarpata verso la postazione. Tale fosso avrà, infatti, la funzione di intercettare le acque meteoriche e di deviarle verso una vasca esistente di prima pioggia. Tale fosso è rappresentato nella *Tavola 4 (1di3)*.

Data la breve durata delle attività di sonda il cantiere non è dotato di strutture importanti ai fini igienici. Le acque nere provenienti dai servizi fondamentali saranno smaltite da compagnie specializzate, che provvederanno alla pulizia dei servizi ed al prelievo dei liquami. La quantità massima di acque nere prodotte, prevalentemente di provenienza dai servizi igienici, sono stimabili nella situazione specifica in 40 m³ a pozzo che saranno interamente smaltiti con autobotte.

Pertanto non si prevedono scarichi idrici nei corsi d'acqua, salvo le acque di seconda pioggia. Inoltre durante la perforazione saranno attuate le tecniche di prevenzione per la protezione delle falde idriche descritte e l'impermeabilizzazione dei bacini che assicurino l'isolamento ottimale.

4.3.12 Emissioni Sonore

Per ogni impianto di perforazione le principali sorgenti di emissione sonora sono le seguenti:

- due gruppi elettrogeni alimentati con motore diesel;
- due motopompe del fango;
- due vibrovagli alimentati con motore elettrico;
- due compressori;
- un gruppo elettrogeno di servizio alimentato con motore diesel;
- l'argano alimentato da motore diesel o idraulico utilizzato per la movimentazione delle aste e posto sul piano sonda;

- tavola rotary azionata attraverso il compound dell'argano e posta sul piano sonda.

Nella seguente *Tabella 4.3.12a* sono riportati i valori di potenza sonora delle sorgenti sopra descritte ottenute dalle specifiche tecniche di acquisto delle diverse apparecchiature, in base alle indicazioni dei progettisti ed in funzione delle misurazioni eseguite presso altri impianti simili.

Si è in particolare considerato che:

- il gruppo elettrogeno sia stato insonorizzato inserendolo all'interno di un cabinato fonoassorbente, dotato di silenziatori sia per l'aria di raffreddamento in ingresso e in uscita che di marmitta per i gas di scarico;
- ogni vibrovaglio sia stato insonorizzato;
- ogni pompa triplex sia stata insonorizzata inserendola all'interno di un cabinato fonoassorbente;
- ogni compressore sia stato insonorizzato inserendolo all'interno di un cabinato fonoassorbente.

Tabella 4.3.12a Potenza Sonora delle Principali Sorgenti dell'Impianto di Perforazione

Rif.	Descrizione Sorgente	Num Sorgente	Tipo Sorgenti	Potenza Sorgente dB(A)	Ore esercizio
S4-C	Gruppo elettrogeno	2	Puntiforme	95	24 h/g
S5-C	Vibrovaglio	2	Puntiforme	93	24 h/g
S6-C	Piano Sonda	1	Puntiforme	98	24 h/g
S7-C	Pompa Triplex	2	Puntiforme	93	24 h/g
S8-C	Compressore	2	Puntiforme	96	24 h/g

La caratterizzazione acustica delle sorgenti relative alla perforazione dei pozzi (S4-S8) deriva dalle indicazioni del fornitore dell'impianto di perforazione HH-200MM.

4.3.13

Ripristino Ambientale - Chiusura Mineraria dei Pozzi

In caso di esito negativo della perforazione, o comunque qualora il pozzo risulti inutilizzabile per uno degli obiettivi per cui era stato perforato, si procederà alla chiusura mineraria del pozzo.

Scopo della chiusura mineraria è ripristinare l'isolamento delle formazioni attraversate dal sondaggio e permettere la rimozione anche delle strutture di superficie (valvole di testa pozzo, opere in calcestruzzo), senza pregiudicare l'efficacia dell'isolamento dei fluidi endogeni rispetto alla superficie.

La realizzazione della chiusura mineraria avviene mediante riempimento del foro, almeno a tratti, con malta di cemento di opportuna composizione.

È buona norma, ai fini della sicurezza, disporre uno dei tappi di cemento nell'intorno delle "scarpe" dei casing e liner. In alcuni casi potrebbe anche essere

necessario impiegare speciali attrezzature (packer), atte a garantire, con maggiore efficacia rispetto al solo cemento, l'isolamento dei fluidi contenuti negli strati sottostanti.

In generale ed a seconda delle condizioni effettive del pozzo, può essere necessario anche l'impiego dell'impianto di perforazione per realizzare l'intervento di chiusura mineraria. Nel caso dei pozzi del campo di Torre Alfina la chiusura mineraria potrebbe essere realizzata senza impianto di perforazione.

Al termine della chiusura mineraria si procederà al ripristino delle condizioni originali, asportando le opere in cemento e lasciando l'area nelle stesse condizioni di origine. Anche la tubazione per l'alimentazione di acqua al cantiere verrà completamente rimossa. Lo stesso dicasi per le eventuali relative opere accessorie che siano state costruite.

In caso di successo il pozzo sarà utilizzato per la produzione di energia ed in loco sarà mantenuta la postazione, pur in forma ridotta e con una visibilità minima, grazie ai criteri adottati per l'inserimento.

La sola opera destinata a rimanere in loco è la testa pozzo, caratterizzata da un ingombro irrilevante, sia in termini volumetrici che per elevazione e visibilità.

Si tratta infatti di teste pozzo che sono completamente alloggiare in un incavo (cantina) e non sono praticamente visibili dall'esterno (si veda la *Figura 4.4a*). Il dispositivo di sostegno del piccolo tubing per l'iniezione in profondità dell'inibitore è di fatto l'unica piccola struttura che fuoriesce dal piano campagna di circa 2,5 metri.

Nella *Figura 4.3.2.2a* è riportato lo schema dei sostegni dei tubing di iniezione dell'inibitore.

Per la testa pozzo si prevede una recinzione costituita da una rete di altezza 1,50 m e munita di cancello per impedire l'accesso alla struttura da tutti i lati. Si prevede un'analogia "gabbia" metallica per ciascun dispositivo d'iniezione e dosaggio dell'inibitore sito a qualche metro dal pozzo, cui lo stesso è dedicato.

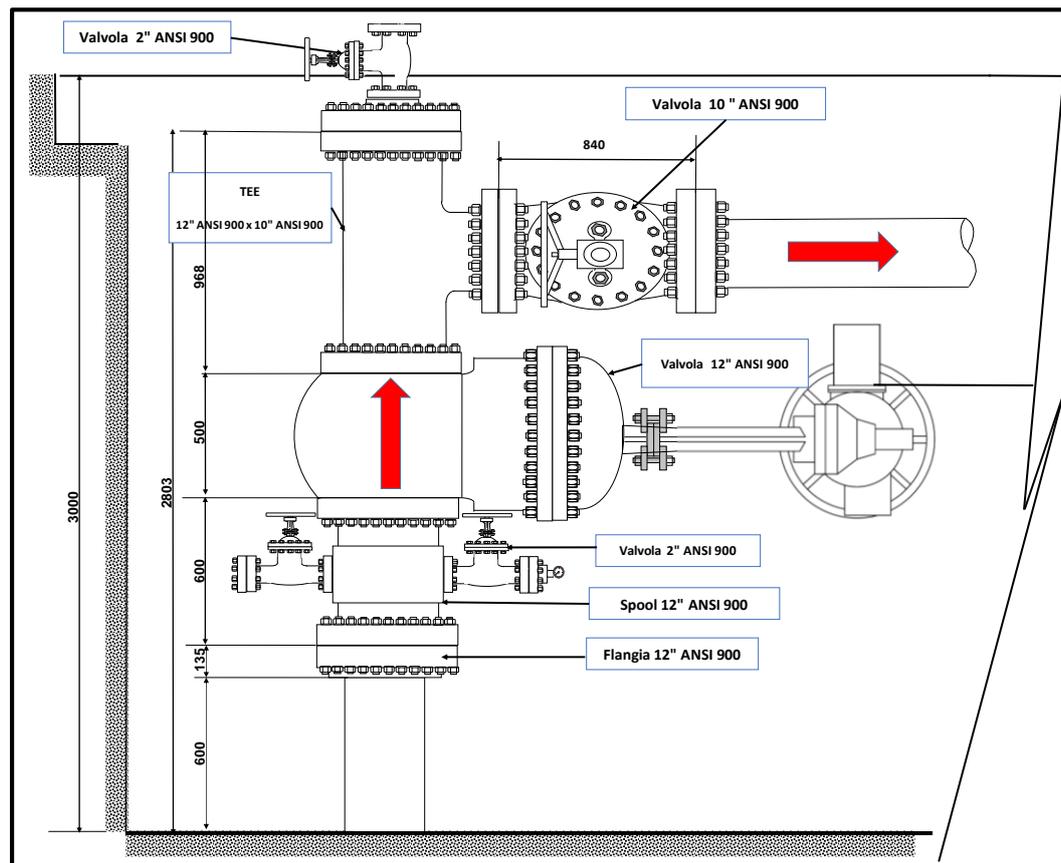
4.4

COMPLETAMENTO DEI POZZI PRODUTTIVI

Il progetto Torre Alfina prevede che la produzione avvenga direttamente attraverso il sistema dei casing con flash in pozzo.

Nella *Figura 4.4a* è riportato l'assetto della testa pozzo in fase di esercizio.

Figura 4.4a Assetto della testa pozzo in fase di produzione



Il completamento dei pozzi produttivi prevede l'impiego di un inibitore di incrostazione di carbonato di calcio che sarà iniettato attraverso uno stuffing box montato sopra la valvola da 2" in accordo a quanto descritto nel successivo paragrafo.

I prodotti inibenti sono di natura diversa e, come descritto al *paragrafo 2.1.1* e nella bibliografia citata, agiscono secondo meccanismi che impediscono l'accrescimento dei cristalli di carbonato di calcio. I più utilizzati in geotermia sono miscele di fosfonati o polifosfonati e poliacrilati che miscelati in concentrazione di pochi ppm sul fluido geotermico totale impediscono la formazione di carbonato sulle strutture (si stima che una concentrazione di 5 ppm dovrebbe essere adeguata a prevenire la formazioni di incrostazioni in tutto il circuito di sfruttamento).

Questa operazione avviene calando in pozzo al di sotto del livello a cui si forma la prima bolla di gas (punto di flash), un tubo in materiale resistente alla corrosione del diametro di circa 5mm, attraverso il quale viene pompato l'inibitore. La profondità a cui si verifica il punto di flash è stata stimata in circa 750 m dal piano campagna mediante il simulatore descritto in *Barelli et al. (1982)*.

Il layout delle postazioni dei pozzi produttivi in fase di esercizio è riportato nelle *Tavole 7 (1 di 4, 2 di 4 e 3 di 4)*. In tali tavole è rappresentato in pianta, in prossimità dei pozzi, il sistema di dosaggio dell'inibitore.

4.4.1

Sistema di dosaggio inibitore di incrostazione

Come detto precedentemente, all'interno di ogni postazione di produzione sarà installato un impianto per il dosaggio e l'iniezione in pozzo dell'inibitore di incrostazione da carbonato di calcio. Ciascun pozzo sarà dotato di un piccolo impianto di dosaggio e iniezione dedicato.

Tale impianto è costituito da:

- recipiente per lo stoccaggio dell'inibitore
- serbatoio per lo stoccaggio dell'acqua di diluizione
- miscelatore per il dosaggio della miscela inibitore-acqua in pozzo
- Argano e pulegge per l'iniezione dell'inibitore in pozzo per mezzo di una stuffing box e di una tubazione metallica flessibile

Il funzionamento del sistema è di seguito descritto.

L'inibitore viene tenuto in agitazione facendo ricircolare con una pompa centrifuga una determinata portata di prodotto e dosato nel miscelatore agendo sullo sfioro del suddetto ricircolo.

L'acqua viene inviata con un'apposita pompa elettrica (2-3 kW di potenza) dosatrice al miscelatore dove acqua e inibitore vengono miscelati con un apposito agitatore. Dal miscelatore la soluzione viene inviata alle teste pozzo con pompe dosatrici e viene iniettata in pozzo tramite una tubazione metallica flessibile da 5 mm (in Incoloy 800 o altro materiale adeguato a resistere alla corrosione esercitata dal prodotto) e che termina con una particolare testa di iniezione.

Per sicurezza nei riguardi delle sollecitazioni indotte dal flusso del fluido geotermico, il tubing da 5mm sarà protetto lungo il pozzo da un tubo guaina da circa 25-30mm di diametro. Il tubo guaina sarà utilizzato anche per l'iniezione dell'azoto in fase di innesco del pozzo.

In prossimità di ciascun pozzo viene installato un argano che consente, tramite pulegge e un sistema di tenuta (stuffing box), di calare la tubazione in pozzo fino alla profondità necessaria, prevista a circa 750 – 800 metri dal piano campagna.

Il sistema descritto sarà dotato di tutte le valvole, filtri e strumenti in modo da consentirne la gestione e il controllo. Sono installate anche pompe in stand by in modo da garantire il funzionamento in continuo anche in caso di guasto di una pompa in esercizio.

Lo schema di flusso dell'impianto descritto è riportato alla *Tavola 9 (3 di 3)* e la disposizione delle apparecchiature in pianta è rappresentata nella *Tavola 7 (1 di 4, 2 di 4 e 3 di 4)*

La corretta gestione del sistema prevede che, periodicamente, si eseguano analisi sul fluido prodotto dalle quali si può verificare l'efficacia dell'inibitore per evitare la formazione di incrostazioni ed eventualmente modificare il dosaggio dell'inibitore stesso. Il monitoraggio sarà particolarmente curato nella fase iniziale di messa a punto dell'impianto.

Sul piazzale è inoltre prevista l'installazione di un quadro elettrico per l'alimentazione del motore della pompa dosatrice, dei comandi elettroidraulici delle valvole di testa pozzo e dei trasmettitori di portata, temperatura e pressione del fluido geotermico e della soluzione dell'inibitore.

In funzione della disponibilità sul mercato dei materiali necessari per costruire l'impianto di dosaggio, l'impiego del tubing di 5mm potrà essere sostituito da un tubing di diametro maggiore, circa 5/8 di pollice, anch'esso in materiale idoneo ad operare in presenza dell'inibitore. In tal caso il tubing potrà operare senza guaina di protezione ed essere usato direttamente anche per il pompaggio dell'azoto in fase di gas lift.

4.5

INNESCO DEI POZZI PRODUTTIVI

Come descritto precedentemente, il completamento dei casing dei pozzi è realizzato per permettere l'isolamento della cappa di gas. Il pozzo assume così lo stesso comportamento dei pozzi geotermici dell'area di Castel Giorgio, come il vecchio pozzo Alfina 4, che era privo di pressione a testa pozzo: i pozzi alla fine della perforazione saranno in perfetto equilibrio idrostatico con un livello di acqua a circa 170 -200 metri dal piano campagna.

Per l'avvio della produzione è previsto l'impiego della tecnica di gas lifting, che consiste nell'iniettare, mediante un tubing, azoto (o aria) a circa 400 m di profondità a determinati valori di portata. Il gas che fuoriesce dal tubing gorgoglia nella colonna liquida presente in pozzo provocando una riduzione della densità media. Il livello della colonna d'acqua sale fino a raggiungere il piano campagna determinando la condizione di innesco incipiente. A questo punto, continuando il pompaggio di gas, il pozzo può iniziare a produrre spontaneamente.

Il gas per l'operazione di gas lifting sarà azoto perché facilmente reperibile anche in bombole, non inquinante e facilmente gestibile come portata e pressione nel circuito. L'intera operazione è realizzata da compagnie di servizio che mettono a disposizione materiali, attrezzature (pompe, recipienti, coiled tubing) e personale specializzato. Si tratta di un'operazione di routine e sicura.

Come descritto sopra il coiled tubing per l'iniezione dell'azoto potrà essere lo stesso tubing di diametro 5/8" da impiegare per l'iniezione dell'inibitore di incrostazione oppure, se per l'inibitore sarà impiegato un tubing di diametro 5mm protetto da un tubo guaina da circa 1,5", l'azoto sarà pompato attraverso il tubo guaina.

Il fluido geotermico erogato a seguito dell'operazione di gas lifting, a seguito della prima prova di erogazione, è inviato inizialmente nell'impianto di separazione dove avviene la separazione tra fase liquida, che viene raccolta nell'apposita vasca visibile nelle *Tavole 7 (1di4, 2di4, 3di4, 4di4)*. La fase aeriforme è scaricata nell'atmosfera. Questa operazione, della durata di pochissime ore, permette una prima ripulitura dei detriti di roccia trascinati dal flusso di acqua e una conferma delle capacità produttive dei pozzi.

L'operazione si rende necessaria perché in questa fase (iniziale) di caratterizzazione dei pozzi l'impianto ORC non è installato. In seguito, eventuali altre aperture dei pozzi produttivi potranno essere eseguite inviando il fluido geotermico direttamente nelle tubazioni di trasporto del fluido verso la centrale dove la separazione tra gas e acqua potrà essere realizzata grazie alle installazioni di centrale attraverso le quali attivare anche la reiniezione del fluido totale.

4.6 **COMPLETAMENTO POZZI REINIETTIVI**

Al termine delle perforazioni e dopo l'esecuzione delle prove di caratterizzazione i pozzi reiniettivi saranno pronti per ricevere ciascuno circa 200 t/h di fluido a circa 70 °C di temperatura proveniente dall'impianto ORC descritto al successivo *Capitolo 5*.

In accordo alle prove di produzione eseguite sui pozzi da Enel negli anni 70 e descritte in *Buonasorte et al 1988* e *Barelli, Celati, Manetti 1976*, i pozzi reiniettivi hanno capacità di assorbimento elevate che possono valutarsi tra 100 e 400 t/(hbar). Tuttavia per porsi in condizioni di sicurezza e in accordo a quanto descritto in *Allegato 3* ("Modello numerico del sistema geotermico di Torre Alfina - Castel Giorgio") si è assunto un innalzamento del livello dalle condizioni statiche di circa 60 m .

Tale modesto innalzamento del livello e quindi della pressione nel serbatoio geotermico, ben inferiore alla pressione idrostatica corrispondente per profondità, consente di escludere che si possano verificare fenomeni di disturbo di qualsiasi tipo nel serbatoio.

La planimetria del piazzale dei pozzi di reiniezione è riportata nelle *Tavole 7 (4 di 4)*.

5 LA CENTRALE DI PRODUZIONE

5.1 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

La progettazione della centrale di produzione è stata condotta assumendo che il serbatoio geotermico sia in grado di mantenere la produzione di elevate quantità di fluido geotermico senza apprezzabile degrado nelle caratteristiche termiche e di produzione del fluido, come confermato dalla simulazione numerica di cui all'*Allegato 3*.

La soluzione adottata per garantire l'assenza di emissioni di fluido in atmosfera prevede l'installazione di una centrale a fluido binario in cui si effettua l'estrazione della corrente dei gas incondensabili che si sono sviluppati, la loro ricomprensione e quindi la miscelazione di essi con la corrente liquida raffreddata per poter effettuare la reiniezione totale del fluido geotermico nel sottosuolo.

Il carattere dimostrativo dell'impianto limita la potenza massima dell'impianto a 5 MW elettrici netti.

L'impianto pilota viene quindi progettato impostando le seguenti specifiche:

- Potenza netta media immessa in rete nell'arco dell'anno: 5 MWe (per complessivi 40.000 MWhe);
- Entalpia del fluido geotermico in ingresso all'impianto: 585 kJ/kg (corrispondente; a una temperatura del fluido nel serbatoio geotermico di: 140°C);
- Temperatura del fluido geotermico a testa pozzo: 134°C;
- Iniezione di inibitori in pozzo al di sotto del livello di flashing per la prevenzione delle incrostazioni da carbonato di calcio;
- Reiniezione totale fluido geotermico;
- Predisposizione dell'impianto alla cessione di calore a eventuali utenze future lo scambio di calore potrà avvenire sia alla temperatura di reiniezione sia alla temperatura più alta, pre-raffreddamento per la produzione elettrica a seconda della tipologia di richiesta termica;
- Assenza di emissioni in atmosfera;
- Utilizzo di condensatore ad aria;
- I materiali delle tubazioni a contatto col fluido geotermico saranno in acciaio al carbonio con adeguato sovrappessore di corrosione;
- Non verranno impiegate leghe contenenti rame per i materiali dell'impianto ORC a contatto con il fluido geotermico.

Dal momento che la solubilità del carbonato di calcio, che costituisce l'elemento di maggiore preoccupazione ai fini della capacità incrostanti del fluido geotermico, aumenta con il diminuire della temperatura e che la concentrazione di silice è tale da non provocare incrostazioni fino a temperature dell'ordine di 50

°C, è stato deciso di spingere il recupero di calore dal fluido geotermico fino a temperature di circa 65-70 °C.

La portata del fluido geotermico per una produzione di energia elettrica di 40.0000 MWhe annui sarà di circa 800 t/h.

Il progetto è stato eseguito sulla base delle informazioni disponibili dai test eseguiti negli anni 70 da Enel e quindi soggette a modeste modifiche a valle della realizzazione dei nuovi pozzi. Tuttavia la progettazione ha inteso descrivere la soluzione più “impattante”. In altre parole l’impianto è stato dimensionato con la maggior occupazione di suolo e con le maggiori dimensioni ipotizzabili. Eventuali piccole modifiche che si dovessero rendere necessarie nella progettazione esecutiva saranno migliorative ai fini dell’impatto ambientale.

5.2 **DESCRIZIONE DEL PROGETTO**

5.2.1 **Descrizione Generale**

L’impianto pilota geotermico di Torre Alfina sarà costituito dai seguenti componenti principali:

- n.5 pozzi di produzione di fluido geotermico (bifase);
- un sistema (uno per ciascuna postazione produttiva) di dosaggio e iniezione inibitore di incrostazione in pozzo;
- un sistema di tubazioni di convogliamento che consentirà di condurre il fluido geotermico dai pozzi produttivi fino all’impianto ORC;
- un’apparecchiatura per la separazione della fase liquida da quella aeriforme;
- l’impianto ORC (di seguito descritto), che consentirà la produzione di energia elettrica attraverso il recupero di calore dal fluido geotermico;
- una sezione di ricompressione del gas per il successivo miscelamento di questo con la corrente liquida in uscita dall’impianto ORC;
- un sistema di tubazioni di convogliamento del fluido geotermico raffreddato (in uscita dall’impianto ORC) ai pozzi di reiniezione;
- n.4 pozzi di reiniezione del fluido geotermico tutti ubicati nella stessa piazzola;
- la possibilità di “stacco” per il prelievo dell’acqua calda, sia a monte che a valle dell’impianto ORC per alimentazione di eventuali utenze termiche;
- la Linea elettrica di media tensione (20kV) per il collegamento alla Rete Elettrica Nazionale;
- la linea elettrica a bassa tensione per l’alimentazione delle utenze presenti in prossimità di tutti i pozzi, quali gli impianti di iniezione dell’inibitore, l’impianto di illuminazione, le pompe sommerse per l’estrazione dell’acqua dai pozzetti idrici, la strumentazione di testa pozzo, la trasmissione dei dati, ecc...

La localizzazione delle opere in progetto è riportata su CTR nella *Tavola 1* e su foto aerea nella *Tavola 2*. Lo schema generale dell’Impianto Pilota è riportato nella *Tavola 9 (1 di 3)*.

L'impianto ORC è così denominato perché consente la produzione di energia elettrica attraverso l'impiego di un ciclo termodinamico Rankine con fluido organico (da cui *ORC – Organic Rankine Cycle*).

Questo tipo di impianti, grazie a recenti miglioramenti nelle tecnologie e nei rendimenti che sono stati ottenuti dai produttori, offre interessanti opportunità di impiego per la valorizzazione energetica di fluidi geotermici a media e bassa entalpia.

Tali impianti sono anche detti impianti “a fluido intermedio” o a “ciclo binario” proprio per il fatto che coinvolgono due tipologie di fluido:

- il fluido geotermico caldo dal quale viene recuperato calore e che nel presente progetto viene successivamente reiniettato;
- il fluido organico che compie un ciclo chiuso di tipo Rankine e che quindi:
 - evapora grazie al calore che viene recuperato dal fluido geotermico;
 - viene espanso in una turbina per la produzione di energia elettrica;
 - viene condensato per poter essere di nuovo impiegato per la produzione di vapore.

Come accennato precedentemente l'impianto sarà predisposto per cedere calore ad eventuali utenze future: a tal fine sul collettore del fluido geotermico caldo ($T=134\text{ °C}$) e su quello freddo ($T=70\text{ °C}$) saranno installati dispositivi di prelievo del fluido ai quali potranno essere attaccate le tubazioni di distribuzione.

Nei seguenti paragrafi verrà fornita una descrizione delle diverse sezioni di cui è costituito l'impianto.

Per la descrizione dei pozzi e degli impianti per il dosaggio e iniezione inibitore si rimanda al § 4.

5.2.2 *Tubazioni di trasporto del fluido geotermico dai pozzi produttivi*

Il fluido geotermico viene trasportato in flusso bifase dai pozzi di produzione alla “Cava le Greppe” dove è installato l'impianto ORC.

5.2.2.1 **Tracciato delle Tubazioni di Produzione**

Nelle *Tavole 1 e 2* è indicato il tracciato delle tubazioni di invio del fluido geotermico dai pozzi alla centrale ORC.

I tracciati delle tubazioni in oggetto sono stati definiti applicando i seguenti criteri generali:

- possibilità di ripristinare le aree occupate, riportandole alle condizioni morfologiche e di uso del suolo preesistenti all'intervento, minimizzando l'impatto ambientale;
- riduzione al minimo delle aree occupate dalle infrastrutture;
- rispetto delle fasce di rispetto preesistenti relative a infrastrutture già presenti sul territorio quali linee e reti gas, reti acqua, fognature, linee elettriche;

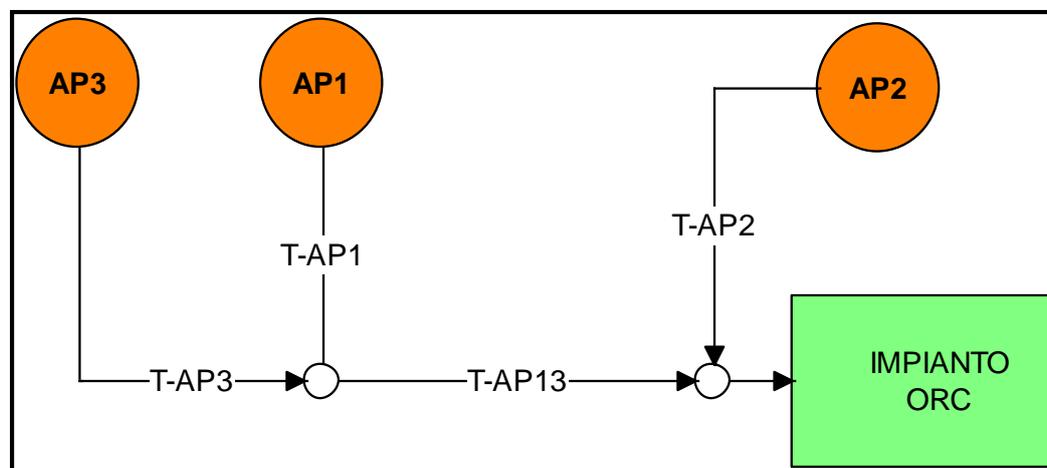
- garanzia per il personale preposto all'esercizio e alla manutenzione della condotta e degli impianti dell'accesso all'infrastruttura in sicurezza.

Dalla postazione di produzione AP1 la tubazione attraversa, interrata, per circa 450 m un'area agricola prima in direzione Est e quindi in direzione Sud fino a giungere in corrispondenza di una strada comunale asfaltata. In tale punto la tubazione si riunisce a quella in arrivo dalla Postazione AP3. Anche tale tubazione viene posata interrata in area agricola e corre parallelamente alla suddetta strada comunale. Come detto, in questo punto le due condotte si riuniscono in una sola e questa prosegue, ancora interrata e in area agricola, seguendo il percorso della strada comunale per circa 400m fino ad una curva della strada in corrispondenza della quale la condotta prosegue a dritto (in direzione Sud-Ovest) fino a raggiungere, dopo circa 400 m, la "Cava le Greppe" dove entra nell'area dell'impianto ORC. In tale area, nei pressi del separatore, alla tubazione suddetta si conetterà la tubazione proveniente dalla postazione AP2, adiacente all'area di Centrale, come si vede dalla *Tavola 1*.

5.2.2.2 Caratteristiche delle Tubazioni

Al fine di descrivere le caratteristiche di progetto dei diversi tratti delle tubazioni sopra tracciate, si consideri la rappresentazione schematica riportata in *Figura 5.2.2.a*.

Figura 5.2.2.a Rappresentazione Schematica delle Tubazioni Produttive



Con riferimento alla precedente figura, la lunghezza, i diametri e le caratteristiche del fluido nelle tubazioni, nelle condizioni di progetto, sono riportate nella *Tabella 5.2.2.a*.

Tabella 5.2.2.2a Caratteristiche Principali delle Tubazioni nelle Condizioni di Progetto

ID	L	DN	Flusso	Portata	P in	P fin	T in	T fin
	m	mm		t/h	bar	bar	°C	°C
T-AP1	482	500	Bifase	480	4.8	4.32	134	133
T-AP2	140	300	Bifase	160	4.8	4.5	134	133.5
T-AP3	435	350	Bifase	160	4.8	4.65	134	132.8
T-AP13	800	600	Bifase	670	4.32	4.2	133	132

Il progetto delle tubazioni interrato utilizzate come acquedotti, prevede la protezione nei riguardi di tutte le forme di indebolimento strutturale delle tubazioni rispetto al loro assetto progettuale e di montaggio.

In primo luogo è previsto il completo isolamento termico per evitare sia la dispersione di calore che il contatto diretto dell'acciaio con il terreno.

Sulla base delle caratteristiche specifiche e in larga misura note del fluido, le tubazioni avranno un sovrasspessore di corrosione di 6 mm (0,2 mm/anno per 30 anni di vita utile) ovvero verrà abbondantemente maggiorato lo spessore rispetto a quello che deriverà dal progetto meccanico.

Anche se sono da escludere rapidi fenomeni di corrosione grazie agli accorgimenti di cui sopra, con tale sovra-spessore si vuole garantire comunque una vita utile della struttura di decenni, cioè per un tempo assolutamente idoneo per permettere all'operatore di porre in essere gli eventuali interventi manutentivi, compresa la sostituzione di parti delle tubazioni e altro che si rendesse necessario per risolvere anche situazioni inattese.

Il criterio di progetto adottato è dunque indirizzato anche alla "gestione degli imprevisti", quindi è, a maggior ragione, da ritenersi cautelativo.

Le tubazioni, essendo coibentate, sono isolate da correnti di corrosione: verranno installati giunti dielettrici all'inizio e alla fine di ciascuna tubazione per evitare la trasmissione di eventuali correnti galvaniche da parte dei pozzi/impianto ORC.

Le tubazioni saranno dotate di sistema di controllo perdite che ne permetterà la rilevazione e l'invio di un segnale di allarme al centro di controllo per il successivo intervento di ripristino.

Tale sistema monitorerà il grado di umidità dell'isolamento in modo da poter intervenire prima che si verifichi la fuoriuscita del fluido localizzando la zona interessata dalla presenza di acqua.

Il sistema di allarme previsto è costituito da due fili di rame, di cui uno nudo e l'altro stagnato, annegati nella schiuma di poliuretano ad una distanza costante dal tubo di servizio in acciaio, non superiori al 10% della distanza nominale tubo-filo.

Il sistema è completato da centraline di controllo ed allarme e da tutti gli accessori necessari che individueranno sia eventuali punti di umidità nella schiuma isolante, sia rotture o corto circuiti nei conduttori di allarme.

La centralina fornirà direttamente la misura della distanza dal guasto senza bisogno di interventi di specialisti e di misurazioni in campo.

Per una trattazione più approfondita del sistema di monitoraggio dell'integrità e dello spessore delle tubazioni di rimanda al Capitolo 5 dello SIA.

I tipici delle sezioni di scavo per la posa delle condotte sono riportati nella *Tavola 11 "Tipici sezioni di scavo per posa condotte"*.

Il terreno scavato sarà depositato a meno di un metro dal ciglio dello scavo per la posa in opera della condotta che sarà installata opportunamente pretensionata.

Il terreno proveniente dagli scavi eseguiti nelle aree agricole sarà successivamente utilizzato per il rinterro. Per il terreno residuo si procederà a caratterizzazione e a predisposizione di piano di utilizzo in accordo a D.M.161/2012. Come si può vedere dalla *Tavola 11*, il rinterro degli scavi per la posa delle tubazioni è costituito da un primo strato di sabbia (fino a 100 mm al di sopra della generatrice superiore del rivestimento esterno del tubo) e da un secondo strato costituito dal terreno di riporto suddetto.

Nello stesso scavo delle tubazioni che trasportano il fluido geotermico saranno stese due tubazioni in materiale plastico per il passaggio di cavi di controllo che collegano le apparecchiature dei pozzi al sistema di controllo dell'impianto ORC e i cavi in bassa tensione per l'alimentazione delle valvole dei pozzi.

5.2.2.3 Gestione delle Tubazioni

Le tubazioni saranno poste in opera pretensionate per la compensazione delle dilatazioni termiche. Le temperature di esercizio permettono infatti questa tecnica che consentirà di non realizzare le curve di compensazione e di limitare pertanto l'ingombro delle tubazioni evitando i pozzetti di espansione.

Nei punti più alti e più bassi del tracciato saranno installate delle valvole accessibili che saranno utilizzate sia per il riempimento della tubazione e il successivo pretensionamento che per lo svuotamento della tubazione nei periodi di fermata.

Nel corso delle operazioni di manutenzione infatti le tubazioni, dopo il raffreddamento e la conseguente solubilizzazione dei gas, saranno svuotate con pompe mobili che caricheranno autobotti che scaricheranno il fluido nelle vasche di raccolta poste sulle piazzole di perforazione e successivamente re iniettato.

5.2.3

Separatore liquido/vapore

Come detto, le due tubazioni di produzione (operanti in regime di flusso bifase), una che convoglia il fluido in arrivo dalle postazioni AP1 e AP3 e una che trasporta il fluido prodotto nella postazione AP2, all'interno dell'area dell'Impianto ORC, si riuniscono subito a monte del separatore della fase vapore (contenente i gas in condensabili) da quella liquida. Il fluido in ingresso al separatore sarà a circa 130°C e alla pressione di 4 bar a.

Infatti, in prossimità degli scambiatori di calore dell'Impianto ORC, verrà installato un separatore tipo "Webre" che consente la separazione delle due fasi. Tale apparecchiatura è costituita da un vessel cilindrico in cui il fluido bifase entra tangenzialmente in modo da operare come un ciclone. La fase liquida, impattando sulle pareti del separatore, si raccoglie sul fondo dello stesso e viene estratto da un bocchello realizzato di lato nella parte bassa. Il vapore risale e viene convogliato, fluendo dall'alto verso il basso, in una tubazione realizzata al centro del separatore e viene quindi estratto dal fondo dello stesso.

L'apparecchiatura sarà caratterizzata da una parte superiore, dedicata alla separazione gas liquido, di sezione minore, e da una parte inferiore (sotto al bocchello di ingresso della miscela bifase) con un diametro maggiore in modo da avere un volume che possa garantire un sufficiente tempo di permanenza alla fase liquida.

5.2.4

Impianto ORC

Il lay-out dell'impianto ORC è riportato nella *Tavola 8 (1 di 5)*, nella quale è possibile riconoscere le principali apparecchiature che costituiscono il ciclo ORC:

- N°2 evaporatori a fascio tubiero (fluido organico - acqua);
- N°2 preriscaldatori fluido organico - acqua;
- N°2 turbo-espansori comprensivi di generatore elettrico;
- Condensatore raffreddato ad aria;
- Sistema di riempimento circuito del fluido organico comprensivo di serbatoio di stoccaggio.

Nell'impianto sono inoltre presenti:

- Lo skid antincendio;
- Un cabinato ospitante il sistema di controllo, il trasformatore e i quadri elettrici;
- La cabina di interfaccia con il gestore della rete ENEL;
- I servizi igienici (WC Chimico);
- La vasca di prima pioggia.

I due turbo espansori e il generatore elettrico saranno alloggiati all'interno di un cabinato insonorizzato; analogamente ciascuna pompa alimento sarà dotata di una struttura dedicata per l'insonorizzazione.

Nella *Tavola 8 (2 di 5)* si riporta anche una vista in elevazione dell'impianto ORC.

5.2.4.1 Funzionamento del Ciclo ORC

Il diagramma di flusso dell'Impianto ORC è riportato nella *Tavola 9 (2 di 3)*.

Come si vede dal suddetto diagramma, all'uscita del separatore il fluido geotermico viene alimentato agli scambiatori di calore dell'impianto ORC. La fase liquida viene inviata (in serie) a due evaporatori e successivamente va ad alimentare in parallelo due preriscaldatori attraverso i quali cede il proprio calore sensibile (raffreddandosi fino a 70°C) al fluido organico di lavoro. La fase vapore, invece, viene alimentata ad uno dei due evaporatori da cui usciranno le condense che saranno riunite all'acqua raffreddata in uscita dai preriscaldatori e i gas incondensabili sarà estratti e convogliati alla sezione di compressione. Il fluido organico, viceversa, dopo essersi riscaldato nei preriscaldatori, completa il suo passaggio in fase vapore all'interno degli evaporatori.

Il vapore del fluido organico in uscita dagli evaporatori viene quindi fatto espandere all'interno di un Turbo-Espansore (uno per ogni evaporatore) producendo energia meccanica, che viene convertita in energia elettrica dal generatore (unico, in comune per entrambi i turbo espansori).

Il fluido espanso in uscita dalla turbina viene fatto condensare in un condensatore aria-fluido organico, chiudendo il ciclo termodinamico. Una volta condensato, il fluido viene nuovamente ri-alimentato al sistema di preriscaldamento-evaporazione iniziando un nuovo ciclo di processo.

La scelta del fluido organico è legata alle "performance termodinamiche" dell'impianto e al suo costo. I diversi fornitori di questa tipologia di impianti, per queste temperature, suggeriscono o idrocarburi leggeri (butano e isobutano, pentano, isopentano) o refrigeranti sintetici HFC (idrocarburi fluorurati) comunemente usati nei cicli frigoriferi.

Per il presente progetto si è ipotizzato l'utilizzo di isopentano la cui scheda di sicurezza è riportata in *Allegato 8*. L'impiego di fluidi diversi, che potrebbe essere conseguente ad una procedura di gara per l'assegnazione della fornitura, non modifica tuttavia in modo sostanziale la caratterizzazione del progetto.

L'isopentano normalmente contenuto nell'impianto ORC (hold up tubazioni, condensatore, apparecchiature) sarà inviato, in caso di manutenzione e arresto impianto, ad un serbatoio di stoccaggio a doppio contenimento e interrato, in modo da ridurre il rischio di incendio, e polmonato con azoto per mantenere l'atmosfera inerte.

5.2.5 *Sistema di Estrazione e Reiniezione Gas Incondensabili*

I gas incondensabili in uscita dall'evaporatore del ciclo ORC verranno estratti e compressi fino alla pressione di 12 bara, che consente una parziale solubilizzazione dei gas stessi nel flusso del fluido geotermico raffreddato in

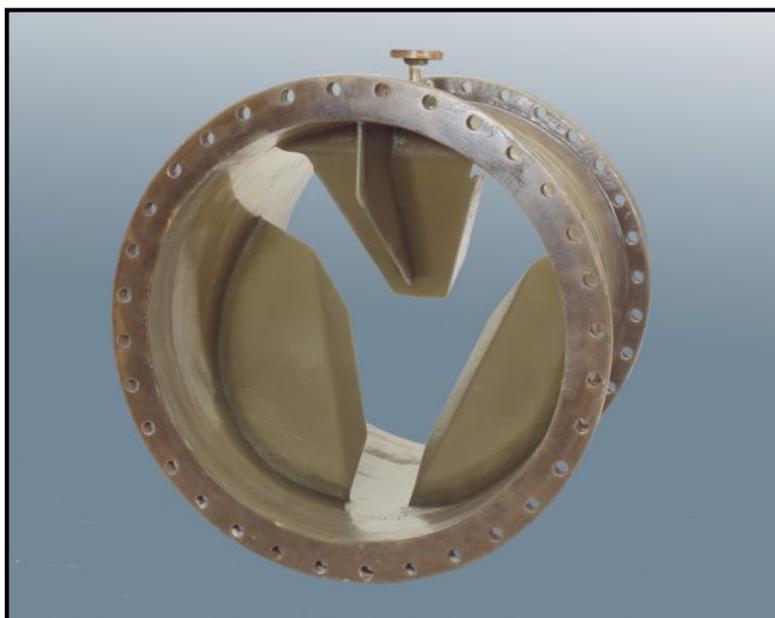
uscita dal ciclo ORC. Il compressore sarà dotato di raffreddamento intermedio e finale in modo da garantire l'uscita del gas compresso a circa 70 °C.

La miscelazione delle due fasi (gassosa e liquida) avviene in linea, installando un miscelatore statico sulla tubazione del fluido geotermico liquido e in cui il gas viene alimentato tramite un iniettore all'interno della corrente liquida.

Tale miscelazione avviene a circa 600 m a nord dell'Impianto ORC, in prossimità dell'incrocio tra la SP n.50 e una strada sterrata, nel punto in cui la tubazione reiniettiva raggiunge la sua maggiore elevazione e a valle del quale il tracciato va in discesa. Infatti, per motivi fluidodinamici è opportuno che il flusso bifase che si instaura a valle di tale miscelazione né vada in salita né debba affrontare cambi di pendenza.

Nella *Figura 5.2.5.a* viene presentato un esempio di miscelatore statico che può essere impiegato per il servizio descritto.

Figura 5.2.5a Esempio di miscelatore statico per la miscelazione del fluido geotermico con i gas incondensabili



5.2.6 Tubazioni di Reiniezione

Il fluido geotermico, una volta raffreddatosi in seguito allo scambio termico con il fluido organico dell'impianto ORC, viene totalmente reimpresso nel serbatoio geotermico dai pozzi reiniettivi.

5.2.6.1 Tracciato delle Tubazioni re iniettive

Nelle *Tavole 1 e 2* è indicato il tracciato delle tubazioni di trasporto del fluido geotermico dalla "Cava le Greppe" alla postazione di reiniezione AP4.

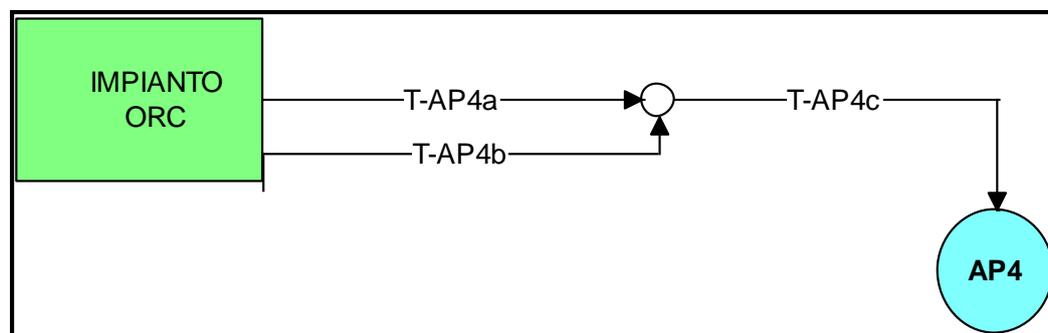
Il tracciato è stato definito sulla base degli stessi principi seguiti per il tracciato delle condotte di produzione.

Per quanto riguarda la reiniezione del fluido dopo lo sfruttamento, dall'impianto ORC escono due tubazioni, una per il trasporto del fluido geotermico raffreddato (tratto T-AP4a nello schema di *Figura 5.2.6.2a*) e una per il convogliamento dei gas incondensabili estratti e compressi (tratto T-AP4b nello schema di *Figura 5.2.6.2a*). Tali tubazioni corrono interrate e parallele per circa 700 m, e attraversano prima un campo a nord della "Cava le Greppe", quindi corrono a fianco di una strada sterrata fino ad arrivare a congiungersi con la Strada Provinciale n.50. All'altezza di tale incrocio si effettua il miscelamento dei due fluidi e la tubazione (tratto T-AP4c nello schema di *Figura 5.2.6.2a*), diventata quindi unica, prosegue verso la postazione di reiniezione. Il tracciato, sempre interrato, corre in area agricola, a fianco della suddetta SP n.50, in direzione Ovest fino ad arrivare in corrispondenza della postazione AP4 dove effettua una curva a 90° in modo da connettersi ai pozzi di reiniezione.

5.2.6.2 Caratteristiche delle Tubazioni

Al fine di descrivere le caratteristiche delle tubazioni di reiniezione, si consideri la rappresentazione schematica riportata in *Figura 5.2.6.2a*.

Figura 5.2.6.2a Rappresentazione Schematica delle Tubazioni di Reiniezione



Con riferimento alla precedente figura, la lunghezza, i diametri e le caratteristiche del fluido nelle tubazioni, nelle condizioni di progetto, sono riportate nella *Tabella 5.2.6.2a*.

Tabella 5.2.6.2a Caratteristiche Principali delle Tubazioni Reiniettive nelle Condizioni di Progetto

ID	L	DN	Flusso	Portata	P in	P fin	T in	T fin
	m	mm		t/h	bar	bar	°C	°C
T-AP4a	700	400	Mono.Liq.	783.8.8	15.6	12	70	69.5
T-AP4b	700	150	Mono.Gass.	16.2	13.5	12	70	69.2
T-AP4c	630	400	Bifase	800	12	10.9	70	68.8

Le caratteristiche, la gestione e il monitoraggio delle condotte di reiniezione sono del tutto analoghi a quelli previsti e descritti in precedenza (vedi *paragrafo 5.2.2.2*) per le tubazioni di produzione.

5.2.7 *Ausiliari di Impianto*

5.2.7.1 Sistemi di Controllo

Il sistema di automazione, basato su logica a PLC, consentirà di controllare e gestire tutto l'impianto sperimentale ORC, la rete di produzione di acqua calda dai pozzi e il sistema di reiniezione. Il sistema di controllo sarà installato all'interno di un cabinato indicato nel layout di *Tavola 8 (1 di 5)*.

Sarà possibile comandare in remoto e gestire, mediante apposite pagine grafiche tutto l'impianto sperimentale.

Su tutte le tubazioni di ammissione del fluido geotermico all'impianto ORC e sulla tubazione di reiniezione sarà installato un sistema di controllo perdite descritto nel precedente *Paragrafo 5.2.2*. che ne permetterà la rilevazione e l'invio di un segnale di allarme al centro di controllo per il successivo intervento di ripristino.

5.2.7.2 Controllo Microsismico

Come dettagliato in *Allegato 6*, estrazione e reiniezione di fluidi nei campi geotermici di tutto il mondo non hanno prodotto eventi sismici rilevanti. In ogni caso, a fini cautelativi e per verificare eventuali correlazioni tra attività microsismica e reiniezione il Proponente ha promosso l'installazione di una rete per il controllo dell'attività sismica dell'area di Torre Alfina - Castel Giorgio (si veda *Allegato 1* dello SIA). Le prime cinque stazioni sono già state installate dall'INGV in base ad una convenzione con il Proponente.

Tale strumentazione sarà in grado di definire le coordinate degli eventi microsismici, la profondità degli ipocentri e la loro magnitudo e di individuare tempestivamente eventuali anomalie nella normale attività sismica dell'area le cui caratteristiche sono descritte nell'*Allegato 4*.

Il Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) ha appena reso noti gli indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche, comprese quelle geotermiche, preposti da uno specifico Gruppo di Lavoro. Il documento propone anche la sperimentazione di un sistema "a semaforo" basato sui valori di magnitudo e di accelerazione di picco al suolo, rilevati dalla rete sismica.

Nello sviluppo dei progetti degli Impianti Pilota Geotermici Castel Giorgio e Torre Alfina il Proponente adeguerà la propria rete di monitoraggio alle linee guida del MISE.

5.2.7.3 Controllo della Corrosione

Il fluido geotermico in pressione presenta caratteristiche corrosive per l'acciaio al carbonio, in quanto ha pH acido e discreta concentrazione di cloruri.

Da dati sperimentali su numerosi campi geotermici aventi fluidi di composizione simile a quella del campo geotermico di Torre Alfina si è potuto valutare in circa 0,2 mm/anno la corrosione massima sull'acciaio al carbonio costituente le tubazioni. Al fine di evitare danneggiamenti delle tubazioni, si è pertanto previsto un sovrassessore di corrosione di 6 mm, calcolato per un periodo di funzionamento di 30 anni.

Inoltre la coibentazione e i giunti dielettrici rendono le tubazioni completamente isolate da correnti vaganti che potrebbero indurre fenomeni corrosivi dall'esterno.

Al fine di verificare l'andamento della corrosione e prevenire sul nascere eventuali perdite sono stati previsti i seguenti controlli:

- controlli non distruttivi spessimetrici con tecnologia a ultrasuoni su tutta la circonferenza delle tubazioni tra i pozzi e l'inizio del percorso interrato e in alcuni altri dislocati lungo il percorso di ciascuna tubazione tra i pozzi e la centrale e tra questa e i pozzi di reiniezione ogni 6 mesi;
- controllo con "pig" intelligenti su tutto il sistema di tubazioni ad ogni fermata programmata (all'incirca ogni 2 anni).

Mentre il sistema di controllo delle perdite descritto precedentemente permette di rilevare e localizzare istantaneamente eventuali perdite anche minime di acqua dalle tubazioni, il controllo periodico dello spessore ne assicura l'integrità strutturale nel tempo.

La stessa metodologia di controllo è applicata anche per la verifica nel tempo del casing di produzione dei pozzi verificandone lo stato nella parte terminale in prossimità della testa pozzo.

5.2.7.4 Impianto Antincendio

L'impianto è dotato di dispositivi antincendio automatici, approvati dai Vigili del Fuoco.

Nello specifico sarà prevista la realizzazione di sistema antincendio che prevede una rete antincendio e l'installazione di idranti UNI 70 con relativa cassetta corredo, in accordo alla Normativa UNI10779.

In caso d'incendio, la portata all'idrante sarà garantita dal sistema di pompaggio e distribuzione acqua antincendio che verrà realizzato e in mancanza di energia elettrica dall'intervento automatico di una diesel-pompa.

L'acqua per il sistema antincendio sarà stoccata in serbatoio dedicato che verrà installato in impianto.

5.2.7.5 Cabina Elettrica di Consegna

Le cabina elettrica svolge la funzione di edificio tecnico adibito a locali per la posa dei quadri e delle apparecchiature di consegna e misura.

Essa verrà realizzata con struttura prefabbricata con vasca di fondazione.

La cabina elettrica di consegna, situata lungo il lato ovest dell'impianto, presso il cancello di ingresso, contiene:

- 1 vano ENEL (accessibile dall'esterno della recinzione, dalla viabilità di accesso al sito);
- 1 vano misure (accessibile dall'esterno della recinzione, dalla viabilità di accesso al sito);
- 1 vano utente (accessibile, come tutti i locali della cabina di trasformazione, solo dall'interno della recinzione).

Essa sarà costituita da un edificio dalla superficie complessiva di circa 21 mq (8.6 x 2.5 metri) per una cubatura complessiva di circa 48,5 m³. Come detto, l'accesso al locale ENEL ed al locale misure della cabina elettrica di consegna avviene dall'esterno del lotto, mentre l'accesso al solo vano utente avviene dall'interno dell'impianto ORC.

L'edificio suddetto sarà dotato di impianto elettrico realizzato a norma della Legge 37/08 e suo regolamento di attuazione.

Il lay out della cabina di consegna è riportato alla *Tavola 13*.

5.2.7.6 Sistema di Illuminazione

L'impianto ORC è posizionato in area agricola all'interno di una cava. La zona di installazione della centrale ORC non è dotata di illuminazione, pertanto si dovrà prevedere il necessario sistema di illuminazione.

Sul perimetro dell'area dell'impianto ORC è prevista l'installazione di apparecchi illuminanti testapalo, con tecnologia a LED, tipo AEC LED-IN o equivalente, di forma ovoidale, installati su pali conici a sezione circolare, di altezza fuori terra pari a 8 m, inclinazione armatura 0° (superficie emissiva parallela alla superficie stradale).

I pali saranno ricavati da trafilatura in acciaio Fe420B UNI EN 10219, zincati a caldo per immersione, in conformità alla Norma UNI EN 40/4 parte 4[^] - punto 4.1, spessore 4mm, dotati di asola ingresso cavi e asola con morsetti a filo, con morsetto di terra interno.

Gli apparecchi illuminanti avranno:

- ottica asimmetrica stradale, priva di lenti in materiale plastico esposte;
- rilevamento fotometrico conforme alle norme UNI EN 13032-1 e IES LM 79-08;

- classificazione secondo la norma CEI EN 62471:2009-2 “sicurezza fotobiologica delle lampade e sistemi di lampade”: categoria EXEMPT GROUP con certificazione di ente terzo;
- modulo ottico base composto da 9 riflettori, uno per ciascun led, atto ad ottimizzare il flusso luminoso;
- LED ad alta efficienza 130 lm/W - 350mA - Tamb=25°C, resa cromatica >65, temperatura di colore 3950K;
- grado di protezione vano cablaggio e ottiche: IP66, classe d’isolamento II;
- marcatura CE;
- Norme di riferimento: EN 60598-1, EN 60598-1-2-3, EN 62471, EN 55015, EN 61547 , EN 61000-3-2, EN 61000-3-3.

Al fine di minimizzare la dispersione del flusso luminoso, l’ottica sarà ad emissione fotometrica “cut-off”, conforme alla normativa UNI EN 13201.

Gli apparecchi permetteranno anche l’ottimizzazione dei consumi energetici, in quanto saranno dotati di sistema di regolazione del flusso luminoso tramite onde convogliate.

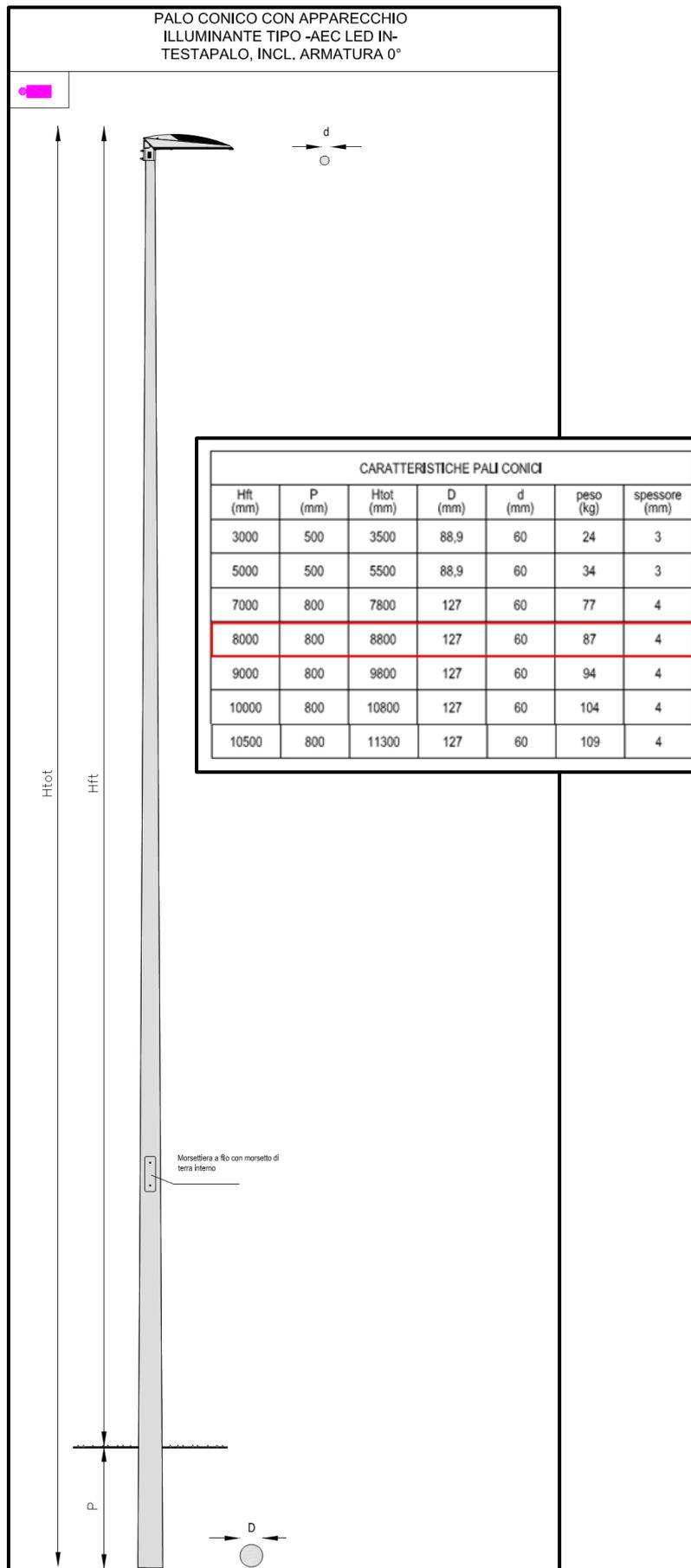
L’apparecchio sarà corredato di “test report” tecnici e di compatibilità elettromagnetica (EMC).

Sull’impianto ORC è prevista l’installazione di n.10 apparecchi illuminanti testapalo a 54 led (6 moduli da 9 led), flusso luminoso iniziale 8.950 lm, potenza complessiva 118W.

Nella *Tavola 8 (1di5)* è riportata l’ubicazione degli apparecchi illuminanti testapalo tipo AEC LED IN all’interno dell’area dell’impianto ORC.

Nella *Figura 5.2.7.6a* si riportano i dettagli dell’apparecchio illuminante tipo AEC LED IN 8m. Nel riquadro in rosso si riportano le caratteristiche dimensionali degli apparecchi illuminanti che verranno installati nell’area dell’impianto ORC.

Figura 5.2.7.6a Dettaglio Apparecchio Illuminante tipo AEC LED IN 8m

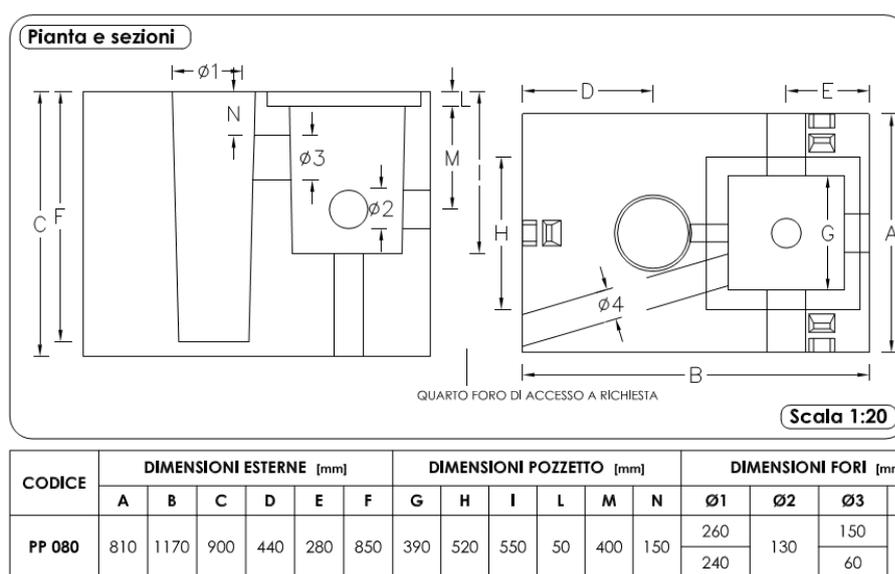


Nella *Figura 5.2.7.6b* si riportano i particolari ed i dati tecnici dei plinti di fondazione con pozzetto in cls per gli apparecchi illuminanti tipo AEC LED IN ed Hft compresa tra 5000 mm e 9000 mm.

Saranno utilizzati plinti prefabbricati gettati in opera. Le dimensioni dei plinti saranno le seguenti: Lxlp 1.170x810x900mm (dimensioni esterne) per pali Hft compresa tra 5000 mm e 9000 mm, peso 1.725 kg.

I plinti saranno provvisti di pozzetto ispezionabile con fori laterali per l'innesto dei cavidotti e di foro sulla base, oltre al foro passacavi; sul plinto è inoltre previsto il foro per l'inghisaggio del palo. I chiusini e i lapidini saranno in ghisa con scritta "Illuminazione", di Classe B125 / B250 / B400, in funzione della zona d'installazione.

Figura 5.2.7.6b Plinto per Apparecchio Illuminante Hft=5000-9000 mm



5.2.8

Opere Civili

Di seguito vengono elencate tutte le voci che costituiscono le Opere Civili:

- Preparazione dell'area di cantiere;
- Movimenti terra in generale;
- Fondazioni Turbo-Espansori e Generatore elettrico;
- Fondazioni Evaporatori e Preriscaldatori;
- Fondazioni Condensatore ad Aria;
- Opere Civili per Cavidotti interrati;
- Rete interrata per la raccolta delle acque meteoriche;
- Sistemazione delle aree interne;
- Recinzione;
- Realizzazione degli scavi per la posa in opera delle tubazioni.

Per dettagli si rimanda all'*Allegato 2* in cui sono riportate rispettivamente la Relazione Idrogeologica, Geotecnica e all'*Allegato 5* dove è riportata l'analisi sismica per le costruzioni previste per il Progetto Torre Alfina.

5.2.8.1 Interventi di Preparazione dell'Area

La preparazione delle aree destinate ad accogliere le nuove installazioni prevede lo scotico del terreno vegetale, il livellamento e la compattazione dell'area da utilizzare e la recinzione dell'area per l'apertura del nuovo cantiere.

5.2.8.2 Fondazioni

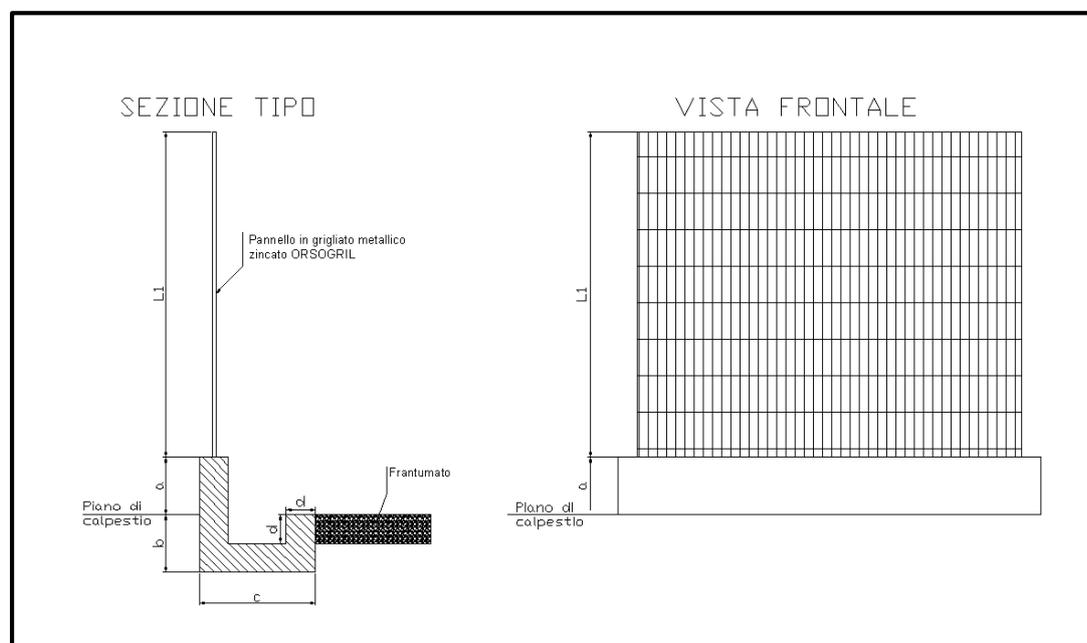
Si prevede di realizzare l'impianto ORC su fondazioni dirette del tipo a platea. I basamenti saranno previsti in conglomerato cementizio armato gettato in opera, con nervature di irrigidimento.

Le caratteristiche delle strutture di fondazione saranno comunque conformi a quanto previsto dai relativi calcoli, redatti secondo quanto previsto nel Decreto Ministeriale del 14/01/2008. "Norme tecniche per le costruzioni" che recepisce e codifica univocamente quanto contenuto nelle precedenti disposizioni normative (dalla Legge n°1086/71 del 05/11/1971 all'Ordinanza n°3274 del 20/03/2003 e successiva n°3316 contenente modifiche ed integrazioni).

5.2.8.3 Recinzioni e Viabilità di Accesso

La recinzione, scelta sulla base di modelli standard, avrà la funzione, oltre che di barriera, di individuazione del perimetro esatto dell'impianto.

Figura 5.2.7.3a Schema della Recinzione



Essa sarà realizzata con rete tipo "orsogrill", ed avrà un'altezza fuori terra di circa 2 m.

Come già anticipato, per accedere all'impianto è stato previsto sul lato ovest un accesso tramite cancello di 6 m di tipo scorrevole e automatizzato, in modo da permettere agevolmente l'ingresso di mezzi pesanti. Il cancello sarà movimentabile anche manualmente tramite apposita chiave, in caso di emergenza. Il cancello sarà munito di ruote e realizzato con la posa di colonnine laterali in c.a, adiacenti alle quali verrà eretto un piccolo muro di rinforzo. Le fondazioni del cancello, sotto le colonne e i muri di rinforzo laterali, saranno costituite, per ognuno dei due lati, da un basamento in calcestruzzo di 90 cm di profondità avente una pianta di dimensioni 350x100 cm.

L'accesso all'impianto avverrà tramite una strada bianca collegata alla strada Provinciale 50.

5.2.8.4 Sistemazione Aree Interne

La sistemazione delle aree interne, ad eccezione di quelle direttamente interessate dagli impianti o pavimentate, sarà realizzata in terra battuta ricoperta da ghiaia.

5.2.8.5 Posa in Opera Tubazioni

La posa in opera delle tubazioni avverrà secondo le modalità indicate al § 5.2.2.2.

5.3 COLLEGAMENTO ELETTRICO

Il collegamento tra la cabina elettrica e la rete di Enel Distribuzione avverrà attraverso un elettrodotto aereo a 20 kV della lunghezza di circa 6 km fino alla Cabina Primaria di Acquapendente.

Nella *Tavola 12* è riportato lo schema unifilare delle connessioni.

Come visibile dallo schema elettrico unifilare, l'Impianto Pilota potrà funzionare in isola: gli ausiliari di impianto (compressore gas, pompa di trasferimento alla reiniezione, pompa alimento, motori dei ventilatori.) potranno essere alimentati dalla rete elettrica ed, in caso di malfunzionamento della rete, direttamente dall'impianto ORC.

Il collegamento elettrico tra i pozzi produttivi e re-iniettivi e la cabina di connessione alla rete elettrica, per l'alimentazione degli impianti di iniezione inibitore e le valvole elettriche, avverrà in bassa tensione attraverso cavidotti che correranno a fianco delle tubazioni.

Il tracciato, della lunghezza di circa 6 km, ha origine dalla cabina di consegna ubicata all'interno del confine dell'area occupata dall'Impianto ORC, e si sviluppa in direzione ovest fino al punto elettrodotto alla C.P. di Acquapendente come mostrato in *Allegato 7* cui si rimanda per la descrizione del progetto.

5.4 *PRESTAZIONI DELL'IMPIANTO PILOTA*

5.4.1 *Bilancio Energetico*

Il bilancio energetico dell'impianto ORC è riportato in *Tabella 5.4.1a* dove sono stati considerati, con voci distinte, i consumi degli ausiliari dell'impianto ORC, e le altre utenze elettriche relative all'impianto di trattamento, separazione e reiniezione del fluido geoermico. E' inoltre indicato il calore residuo eventualmente disponibile per teleriscaldamento.

Tabella 5.4.1a Bilanci di Energia per l'Impianto ORC

Parametri	UdM	Valore
Potenza termica da fluido geotermico ⁽¹⁾	MW	55.81
Potenza elettrica lorda al generatore impianto ORC	MW	6.6
<i>Rendimento elettrico lordo</i>	%	11.83
Potenza elettrica ausiliari impianto ORC (pompa circolazione fluido organico e sistema di raffreddamento condensatore)	MW	0.7
Potenza estrattore gas e pompa reiniezione	MW	1.1
Potenza elettrica netta	MW	4.8
<i>Rendimento elettrico netto</i>	%	8.60
<i>Potenza termica disponibile per teleriscaldamento⁽²⁾</i>	MW	41.86

⁽¹⁾ Calcolata tra la temperatura in ingresso e la temperatura di 70 °C

⁽²⁾ Calcolata tra la temperatura di 70°C a valle scambiatore e 25 °C

5.4.2 Approvvigionamento Idrico

Il fluido geotermico, che costituisce in effetti la vera e propria materia prima dell'impianto, viene approvvigionato dai pozzi produttivi come descritto ai precedenti paragrafi. La portata di fluido geotermico approvvigionata per il funzionamento dell'impianto è di circa 800 t/h. La stessa portata di fluido, a seguito del recupero di calore che avviene nell'impianto ORC, viene re iniettata, nel serbatoio geotermico da cui è stata prelevata, attraverso appositi pozzi di reiniezione.

Dal bilancio sul serbatoio geotermico si evidenzia quindi che la realizzazione dell'impianto non consuma acqua geotermica, bensì ne consente il recupero di calore per la produzione di energia elettrica.

Per il funzionamento dell'impianto sperimentale ORC non sono necessari prelievi apprezzabili di acqua industriale e potabile. La necessità di impiego di acqua industriale e potabile sarà infatti da ricondursi alle seguenti attività:

- acqua industriale o potabile:
 - per il saltuario lavaggio di apparecchiature di impianto;
 - per l'accumulo di acqua nel serbatoio del sistema antincendio;
 - per la diluizione dell'inibitore di incrostazione.
- acqua potabile per servizi igienici.

Il maggior contributo è dato dall'acqua necessaria per la diluizione dell'inibitore ed è pari a 0,4 m³ giorno per le postazioni AP2 e AP3 e a 1,2 m³/giorno per la postazione AP1.

L'approvvigionamento dell'acqua per tali scopi avverrà mediante emungimento dagli stessi pozzetti che verranno realizzati a fianco alle postazioni per l'approvvigionamento idrico in fase di perforazione.

5.4.3 *Consumo di Materie Prime ed Altri Materiali*

Come descritto nel precedente paragrafo, la principale materia prima necessaria per il funzionamento dell'impianto ORC è il fluido geotermico; a seguito del recupero di calore, esso viene completamente reiniettato nel serbatoio geotermico da cui è stata prelevato.

Per la conduzione dell'impianto ORC sarà necessaria una periodica sostituzione dell'olio lubrificante (circa 1 t/anno) utilizzato per il turbo-espansore e le altre parti in movimento dell'impianto. L'olio esausto sarà conferito ad una ditta specializzata che lo recupererà/smaltirà ai sensi della normativa vigente.

La quantità di isopentano necessaria per reintegrare il circuito è pari a circa 1 kg/giorno ovvero circa 365 kg/anno.

E' inoltre previsto l'utilizzo di una concentrazione di circa 5 ppm di inibitore di incrostazione per un consumo totale annuo di circa 35 t/anno.

5.4.4 *Uso di Territorio*

La superficie interessata dall'impianto ORC sarà di circa 7.150 m².

Al termine della perforazione le piazzole di ciascun pozzo rimarranno recintate, le vasche verranno mantenute e messe in sicurezza con una rete antintrusione.

Di seguito si riporta la superficie recintata di ciascun pozzo:

- Postazione Produttiva AP1: 8503 m²;
- Postazione Produttiva AP2: 7939 m²;
- Postazione Produttiva AP3: 8190 m²;
- Polo di Reiniezione AP4: 9206 m².

5.4.5 *Emissioni in Atmosfera*

L'impianto pilota non produrrà, in condizioni di normale esercizio, nessuna emissione convogliata in atmosfera.

5.4.6 *Effluenti Liquidi*

L'impianto non produce effluenti liquidi di processo.

Sotto le aree occupate dalle apparecchiature principali dell'impianto ORC sarà predisposta una rete di raccolta di acqua meteoriche inviate ad un sistema di trattamento che separa le acque di prima pioggia (acque corrispondenti, per ogni evento meteorico, ad una precipitazione di 5 millimetri uniformemente distribuita sull'intera superficie scolante servita dalla rete di drenaggio) da quelle di seconda pioggia e le accumula in una vasca interrata (dimensioni 5m x 2,5m x 2,5m), detta "vasca di prima pioggia", capace di contenere tutta la quantità di acque

meteoriche di dilavamento (circa 13 m³) risultante dai primi 5 mm di pioggia caduta sulla superficie scolante di pertinenza dell'impianto (circa 2.450 m²).

In questa vasca le acque subiscono un trattamento di decantazione per la separazione dei solidi sospesi. In abbinamento alla vasca di prima pioggia, verrà installato un disoleatore, munito di filtro a coalescenza, dimensionato secondo la norma UNI EN 858 parte 1 e 2.

Inoltre, come detto al *paragrafo 4.3.11* è prevista la realizzazione di un fosso di guardia che fiancheggia all'esterno la recinzione lato est per deviare le acque di pioggia provenienti dalla scarpata della cava verso l'area d'impianto e avviarle alla vasca di prima pioggia esistente a servizio della cava che verrà mantenuta.

Le acque di prima pioggia trattate e le acque di seconda pioggia saranno inviate al fosso di guardia e, successivamente, alla vasca di prima pioggia esistente (che verrà mantenuta) a servizio della cava.

Nella *Tavola 10* si riporta la planimetria dell'impianto ORC con la rete di raccolta acque meteoriche.

Nel caso si rendesse necessario svuotare le tubazioni di connessione pozzi-impianto ORC per manutenzione, il fluido geotermico, come descritto precedentemente, sarà aspirato mediante autobotti dai dreni installati nei punti delle tubazioni che si trovano alle quote più basse, stoccato nelle vasche di acqua sui pozzi produttivi e reiniettato.

5.4.6.1 Rumore

Fase di cantiere

Le sorgenti (con l'indicazione delle relative potenze sonore) che si possono riferire alla fase di cantiere per la costruzione dell'impianto ORC sono riportate nella seguente tabella:

Tabella 5.4.6a Potenza Sonora delle Principali Sorgenti in Fase di Cantiere

Num	Descrizione Sorgente	Tipo Sorgenti	Potenza Sorgente dB(A)
S9-C	Escavatore	Puntiforme	107
S10-C	Pala gommata	Puntiforme	105
S11-C	Gru a torre	Puntiforme	98
S12-C	Gruppo elettrogeno	Puntiforme	97
S13-C	Betoniera	Puntiforme	105

La caratterizzazione acustica delle sorgenti relative ai mezzi e macchinari per le costruzioni edili (S9-S13) sono riconducibili ai limiti massimi imposti dalla normativa di riferimento "concernente l'emissione acustica ambientale delle macchine ed attrezzature destinate a funzionare all'aperto" Direttiva 2000/14/CE modificata con provvedimento europeo 2005/88/CE. I limiti massimi permettono

di poter considerare lo scenario peggiore identificabile in cantiere considerando anche la contemporaneità dell'uso di tutti i macchinari. Tale contemporaneità è da intendersi come scenario teorico peggiore, difficilmente riscontrabile nella realtà del futuro cantiere.

Fase di esercizio

Le principali sorgenti di emissione sonora dell'impianto ORC sono le seguenti:

- Condensatore del vapore;
- Gruppo di generazione (Turbine e generatore);
- Pompe di alimento del fluido organico.

Le velocità nelle tubazioni di trasferimento sono dell'ordine di 1,5 m/s e pertanto non in grado di produrre emissioni sonore percepibili. Altrettanto modeste saranno le emissioni sonore delle cabine elettriche sui pozzi di produzione e reiniezione.

Nella *Tabella 5.4.6b* è indicata la potenza sonora delle principali sorgenti presenti nella Centrale per la produzione di energia elettrica.

Tabella 5.4.6.b Principali Sorgenti Sonore dell'Impianto ORC per la Produzione di Energia Elettrica

Rif. Sorgente	Descrizione	Potenza dBA
S1	Condensatore (n.36 ventilatori)	86 ⁽¹⁾
S2	Gruppo Turbine-Generatore	85
S3	Pompe alimentazione fluido (n.2)	90 ⁽²⁾
⁽¹⁾ Il valore è riferito ad un unico ventilatore. ⁽²⁾ Il valore di potenza è riferito alla singola pompa.		

Nel seguito si riportano i valori di calcolo per la valutazione previsionale delle potenze sonore emesse dalle suddette sorgenti:

- S1 – i condensatori del vapore sono collocati ad un'altezza di circa 10 metri dal suolo sulla struttura metallica dell'impianto. Ai fini di un calcolo previsionale che consideri l'aspetto più gravoso del rumore prodotto, sono state considerate n.36 sorgenti puntiformi. La caratterizzazione acustica della sorgente deriva dalle indicazioni del costruttore "ORMAT": per ogni unità nel modello si è assunto un Livello Sonoro Equivalente (ad 1 metro) pari a 75 dB(A). Il valore di potenza sonora emessa (LW) pari a 86 dB(A) è stato calcolato tramite il software previsionale IMMI;
- S2 – le due pompe di alimentazione del fluido sono state considerate come sorgenti di tipo puntiforme posizionate a circa 1 metro da terra. La caratterizzazione acustica della sorgente deriva dalle indicazioni del costruttore "ORMAT": si è assunto un Livello Sonoro Equivalente (ad 1 metro) pari a 95 dB(A). Il valore di potenza sonora emessa (LW) pari a 90 dB(A) è stato calcolato tramite il software previsionale IMMI prendendo in

considerazione l'installazione di una struttura di isolamento acustico sull'attrezzatura, in grado di garantire un abbattimento pari a un massimo di 15 dB(A);

- S3 – il gruppo turbina è stato considerato come una sorgente di tipo puntiforme valutata a 1 metro da terra. La caratterizzazione acustica della sorgente deriva dalle indicazioni del costruttore "ORMAT": si è assunto un Livello Sonoro Equivalente (ad 1 metro) pari a 90 dB(A). Il valore di potenza sonora emessa (LW) pari a 85 dB(A) è stato calcolato tramite il software previsionale IMMI prendendo in considerazione l'installazione di una struttura di isolamento acustico sull'attrezzatura, in grado di garantire un abbattimento pari a un massimo di 15 dB(A).

Le rimanenti sorgenti sonore fanno parte delle attività già presenti in sito e vengono computate all'interno del rumore "residuo" dell'area inteso come situazione di esercizio.

5.4.6.2 Rifiuti

Le tipologie di rifiuti a cui darà luogo l'impianto sono le seguenti:

- olii lubrificanti esausti;
- rifiuti derivanti dalla normale attività di pulizia.

Tali rifiuti saranno smaltiti a norma di legge dalle aziende che effettueranno la manutenzione.

5.5 FASE DI COSTRUZIONE

Le principali fasi per la costruzione dell'impianto in progetto, non considerando la fase di progettazione e costruzione in officina dell'impianto ORC della durata di circa 16 mesi, sono le seguenti:

- Fase 1: preparazione delle aree, realizzazione fondazioni e strutture: *durata circa 2 mesi e mezzo;*
- Fase 2: posa in opera tubazioni: *durata circa 5 mesi;*
- Fase 3: installazione e montaggio delle parti meccaniche ed elettro-strumentali: *durata circa 7 mesi;*
- Fase 4: commissioning, messa in servizio e test: *durata circa 4 mesi.*

Il numero di addetti previsti in cantiere per ciascuna fase di lavoro varierà tra le 20 e le 60 presenze giornaliere.

Il dettaglio delle attività previste per ciascuna fase è riportato di seguito.

5.5.1 Fase 1: Preparazione delle Aree e Realizzazione Fondazioni e Strutture

Le attività previste sono di seguito elencate:

- Recinzione e preparazione dell'area di cantiere;

- Scavi e sbancamenti;
- Realizzazione fondazioni condensatore ad aria, turbina e generatore, scambiatori di calore e separatore gas liquido,
- Realizzazione fondazioni cabinato con quadro comandi;
- Realizzazione fondazioni cabina consegna energia elettrica;
- Realizzazioni reti interrato raccolta acque meteoriche;
- Riempimenti e compattazioni.

Considerando la modesta incidenza delle opere civili i movimenti terra saranno ridotti al minimo e il terreno scavato sarà in parte impiegato per la risistemazione dell'area di sito mentre l'eccedenza sarà inviata a idonei centri di recupero/smaltimento..

5.5.2 Fase 2: Tubazioni di Produzione e Reiniezione

Le tubazioni di collegamento tra pozzi ed impianto ORC verranno realizzate in acciaio, saranno preisolate e saranno interrate con l'applicazione delle modalità di posa standard, che prevedono la seguente sequenza di attività:

- esecuzione della pista di lavoro;
- sfilamento dei tubi lungo la pista;
- saldatura dei tubi;
- controlli non distruttivi sulle saldature;
- rivestimento dei giunti di saldatura;
- posa della condotta;
- pretensionamento;
- copertura dei tubi con sabbia esente da pietre fino a 100 mm al di sopra della generatrice superiore del rivestimento esterno del tubo;
- compattatura sabbia;
- rinterro;
- ripristino condizioni ambientali precedenti la realizzazione dell'opera.

5.5.3 Fase 3: Montaggi Meccanici ed Elettro-Strumentali

Le attività previste sono di seguito elencate:

- Montaggi meccanici ed elettro-strumentali dell'impianto a ciclo binario e degli ausiliari: scambiatori di calore, condensatore ad aria, tubazioni e pompe di ricircolo fluido organico, turbo-espansori e generatore energia elettrica;
- Montaggi meccanici ed elettro-strumentali del separatore gas/liquido;
- Montaggi meccanici ed elettro-strumentali scambiatore predisposto per il teleriscaldamento;
- Montaggio della cabina di consegna dell'energia elettrica;
- Montaggio della cabina con il quadro di controllo dell'impianto.

5.5.4 Fase 4: Commissioning, Messa in Servizio e Test

Le attività previste per questa fase sono di seguito elencate:



- Commissioning e avviamento dell'impianto dosaggio inibitore;
- Commissioning e avviamento separatore;
- Commissioning e avviamento impianto ORC;
- Commissioning e avviamento impianti elettrici e montanti di macchina;
- Commissioning e avviamento impianti strumentali e DCS;
- Prove di avviamento e test funzionali;
- Prove di performance.

5.5.5 Cronoprogramma

Si prevede di realizzare l'intero progetto in circa 27 mesi a partire dalla data di ottenimento di tutte le autorizzazioni in accordo al cronoprogramma riportato in *Figura 5.5.5a*.

5.5.6 Movimento Terra

Come dettagliato nel seguito, sia per l'impianto ORC che per le tubazioni, il terreno scavato verrà riutilizzato in loco, per i rinterri e le sistemazioni interne all'area di cantiere.

Per quanto riguarda la parte eccedente, come riportato nel Piano di Utilizzo (costituente l'*Allegato E* allo SIA) predisposto ai sensi del D.M. 161/2012, essa sarà conferita in idonei centri di smaltimento/recupero.

5.5.6.1

Impianto ORC

Gli scavi saranno eseguiti secondo gli elaborati di progetto esecutivo e della relazione geologica e geotecnica esecutiva, nonché secondo le particolari prescrizioni che saranno date all'atto esecutivo.

Nella esecuzione degli scavi in genere si procederà in modo da impedire scoscendimenti e franamenti. Gli scavi saranno opportunamente puntellati e dotati di robuste armature. Ove necessario saranno eseguite armature continue a "cassa chiusa".

Le volumetrie indicative degli scavi e dei riporti sono riportati nella seguente *Tabella 5.5.6.1a*.

Tabella 5.5.6.1a Bilancio Scavi Riporti

Scavi	Volume (m ³)	Note
Materiale da Scavo di scotico	2.789	Scavo dei primi 30 cm di terreno vegetale dell'area di impianto
Materiale da Scavo di sbancamento	3.162	Tale scavo è necessario per il livellamento al piano di progetto dell'area
Scavi a sezione obbligata	1.820	Per la realizzazione delle fondazioni delle strutture e delle apparecchiature d'impianto.
Rinterri per livellamento area	2.804	Effettuato con il terreno degli scavi di sbancamento
Rinterri per il riempimento scavi fondazioni	1.292	Effettuato con terreno proveniente da scavi a sezione obbligata
Terreno residuo	1.085	358 m ³ servirà al livellamento della postazione AP2 (area adiacente) e 727 m ³ verranno inviati a centri di smaltimento/recupero.
Inerti per ossatura area di impianto	1.377	Spessore ossatura 0,3 m.

Il terreno residuo e quello vegetale proveniente dallo scotico dei primi 30 cm dell'area d'impianto, secondo quanto riportato nel Piano di Utilizzo (*Allegato E* dello SIA), saranno conferiti come rifiuto (a smaltimento/recupero) in apposito centro specializzato.

5.5.6.2

Tubazioni

Le operazioni di scavo verranno condotte in modo tale da mantenere inalterate le condizioni pedologiche delle aree interessate, ripristinando di fatto la situazione stratigrafica ante-operam. In particolare si procederà ad accantonare in cumuli distinti i diversi materiali di risulta dello scavo.

La sequenza delle operazioni viene riportata nel seguito:

- Asportazione dello strato superficiale di 30 cm, costituente il terreno vegetale e formazione di un primo cumulo;
- Scavo della trincea fino alla profondità richiesta, in base al diametro della condotta e accantonamento del materiale di risulta in un cumulo distinto dal precedente;
- Posa di uno strato di 10 cm sabbia esente pietre;

- Posa della tubazione e dei cavidotti (per il passaggio dei cavi di potenza e di segnale);
- Ricopertura con sabbia esente pietre delle condotte, fino a 10 cm sopra l'estradosso della tubazione del fluido geotermico;
- Riempimento con il terreno di risulta estratto alla profondità corrispondente o comunque della stessa tipologia (in accordo alla stratigrafia del terreno interessato);
- Ricopertura fino a piano campagna degli ultimi 30 cm della trincea impiegando i corrispondenti 30 cm derivati dallo scotico dello strato vegetale precedentemente accantonato.

I livelli di permeabilità post operam saranno mantenuti equivalenti a quelli persistenti ai lavori sia grazie al ripristino della stratigrafia ante operam che mediante il costipamento del terreno ogni 30-40 cm di terreno posato per il reinterro. In tal modo si ottiene un'uniforme compattazione dei vari livelli di terreno reinterrato e si evita che si verifichino delle canalizzazioni preferenziali in senso verticale o orizzontale

Inoltre, successivamente alle fasi di reinterro della condotta, si procederà alla riprofilatura dell'area interessata dai lavori e alla riconfigurazione delle pendenze pre-esistenti, ricostituendo la morfologia originaria del terreno in modo da riattivare le linee di deflusso idrico eventualmente presenti.

Come già detto, il progetto prevede che i terreni movimentati durante le attività di scavo vengano reimpiegati per i rinterrati e le riprofilature del sito all'interno delle aree di cantiere. Il terreno in eccesso, secondo quanto riportato nel Piano di Utilizzo (*Allegato E* dello SIA), sarà conferito in idonei centri di smaltimento/recupero.

L'area di cantiere corrisponde ad una fascia di ampiezza circa 5 m lungo il tracciato delle tubazioni stesse: tale estensione è legata alle modalità di posa delle tubazioni stesse che avverrà impiegando un mezzo pesante posto in affiancamento alla trincea, progredendo lungo il tracciato delle tubazioni (l'ampiezza del cantiere è pertanto definita dall'ampiezza della trincea e dall'ingombro dei mezzi pesanti).

In ogni caso gli scavi saranno eseguiti secondo gli elaborati di progetto esecutivo e della relazione geologica e geotecnica esecutiva, nonché secondo le particolari prescrizioni che saranno date all'atto esecutivo.

Il terreno proveniente dagli scavi in corrispondenza degli attraversamenti stradali sarà interamente conferito a impianti di smaltimento/recupero: i rinterrati verranno eseguiti utilizzando materiale arido di cava reperito da fornitori locali per conferire allo scavo la consistenza necessaria a sopportare il carico stradale. Alla fine dei lavori il manto stradale sarà completamente ripristinato. Questa stessa gestione delle terre di scavo sarà adottata per un tratto di circa 70 metri relativo al tratto T-AP4 in corrispondenza dell'attraversamento di un fosso. Infatti, per tale tratto, la tubazione non corre in area agricola ma sotto l'asse di una strada sterrata pertanto il materiale scavato non sarà riutilizzato ma inviato a centri di smaltimento/recupero.

Le volumetrie indicative degli scavi e dei riporti per la posa delle tubazioni sono riportati nella seguente Tabella (per i tratti delle tubazioni ci si riferisca alla *Tavola 11* e alla *Figura 5.2.4a*).

Tabella 5.5.6.2a Bilancio Scavi Riporti

Tratto	Scavi	Volume (m ³)	Note
<i>T-AP1</i>			
	Materiale da Scavo	1236	
	Sabbia di riempimento	296	
	Rinterro	749	Effettuato con materiale risultante dagli scavi
	Terreno residuo	512	
<i>T-AP2</i>			
	Materiale da Scavo	265	
	Sabbia di riempimento	61	
	Rinterro	176	Effettuato con materiale risultante dagli scavi
	Terreno residuo	80	
<i>T-AP3</i>			
	Materiale da Scavo	848	
	Sabbia di riempimento	196	
	Rinterro	560	Effettuato con materiale risultante dagli scavi
	Terreno residuo	266	
<i>T-AP13</i>			
	Materiale da Scavo	2304	
	Sabbia di riempimento	558	
	Rinterro	1344	Effettuato con materiale risultante dagli scavi
	Terreno residuo	1048	
<i>T-AP4a / T-AP4b (tratto in area agricola)</i>			
	Materiale da Scavo	1815	
	Sabbia di riempimento	453	
	Rinterro	1198	Effettuato con materiale risultante dagli scavi
	Terreno residuo	645	
<i>T-AP4as / T-AP4bs (tratto su strada sterrata)</i>			
	Materiale da Scavo	166	
	Sabbia di riempimento	54	
	Materiale arido da cava	92	
	Materiale residuo a smaltimento	166	
<i>T-AP4c</i>			
	Materiale da Scavo	1447	
	Sabbia di riempimento	342	
	Rinterro	908	Effettuato con materiale risultante dagli scavi
	Terreno residuo	543	

5.5.7 **Materiali**

I materiali utilizzati in cantiere per la realizzazione delle opere saranno prelevati da cave e centrali di betonaggio ubicate nelle vicinanze, e soprattutto per le seconde, ad una distanza non superiore ai 30/40 minuti di viaggio.

Tale prescrizione risulta fondamentale al fine di non fornire un prodotto ammalorato dal lungo trasporto soprattutto durante i periodi estivi.

Il consumo di acqua sarà minimo in quanto il calcestruzzo sarà trasportato sul luogo di utilizzo già pronto per l'uso. L'acqua necessaria sarà esclusivamente quella utilizzata per la bagnatura delle aree di cantiere. Tale acqua verrà approvvigionata dall'acquedotto locale.

Tutti gli altri materiali edili saranno forniti in funzione dei contratti di fornitura stipulati con le imprese realizzatrici.

5.5.8 ***Mezzi di Cantiere***

La realizzazione del nuovo impianto richiederà l'utilizzo di macchine di trasporto ed operatrici, che verranno impiegate nel periodo dei lavori di costruzione in maniera diversificata secondo le effettive necessità. In particolare, verranno utilizzate le seguenti macchine:

- autocarri;
- autobetoniere;
- escavatori;
- pale meccaniche;
- attrezzature specifiche in dotazione alle imprese esecutrici quali carrelli elevatori, piega ferri, saldatrici, flessibili, seghe circolari, martelli demolitori, ecc.

6

INVESTIMENTI PREVISTI

Il costo complessivo del progetto al netto dell'IVA è 35.800.000 così ripartito:

Tabella 6a Costi dell'Investimento

Voci di Costo	Euro
<i>Costo dei Lavori</i>	
Contratto EPC per Realizzazione 3 Postazioni di sonda e 5 pozzi di Produzione (perforazione e prove di produzione)	10.100.000
Contratto EPC per Realizzazione 1 Postazioni di sonda e 4 pozzi di Reiniezione (perforazione e prove)	8.900.000
Contratto EPC per Impianto Produzione Energia Elettrica incluso Tubazioni Interrate e Elettrodotto di Collegamento	15.500.000
<i>Spese generali</i>	
Costi di Sviluppo (SIA, Progettazione Definitiva, Consulenze, ecc.)	530.000
Direzione Lavori e coordinamento della sicurezza	500.000
Controlli e rilievi (aria, acqua, rumore, microsismica)	270.000
TOTALE	35.800.000

7 REMISSIONE IN PRISTINO DELLE AREE AL TERMINE DEI LAVORI

Alla fine della sua vita tecnica, stimabile in oltre 25 anni, si procederà alla dimissione dell'impianto ORC e delle opere connesse, per la quale si prevedono le seguenti fasi:

1. smontaggio e bonifica degli impianti e degli equipaggiamenti;
2. demolizione delle opere civili e delle tubazioni;
3. chiusura mineraria dei pozzi produttivi e reiniettivi.

7.1 SMONTAGGIO E BONIFICA DEGLI IMPIANTI E DEGLI EQUIPAGGIAMENTI

Questa prima fase comprenderà tutte le attività necessarie per mettere a piè d'opera le componenti d'impianto e assicurarne la bonifica dagli agenti in grado di determinare qualsiasi rischio.

L'operazione, condotta da ditte specializzate, consisterà nella ripulitura delle parti di impianto venute a contatto con agenti inquinanti e nello smaltimento a norma di legge dei rifiuti raccolti. Gli impianti e gli equipaggiamenti bonificati saranno quindi lasciati aperti nel sito per l'ispezione da parte delle autorità pubbliche competenti.

Gli oli lubrificanti utilizzati negli impianti della Centrale saranno recuperati e inviati al Consorzio Smaltimento Olii Esausti. Altri materiali di consumo verranno restituiti ai rispettivi fornitori.

Il fluido organico utilizzato come fluido di lavoro sarà riutilizzato o altrimenti avviato al recupero.

7.2 DEMOLIZIONE DELLE OPERE CIVILI

In base alla normativa vigente al momento attuale, una volta ottenuta dalle autorità competenti la dichiarazione di avvenuta bonifica di impianti ed equipaggiamenti e parere sanitario favorevole, sarà possibile presentare all'autorità comunale specifico Piano di Demolizione.

Ottenutane l'approvazione, si procederà allo smontaggio delle strutture metalliche e alla demolizione delle opere civili in calcestruzzo.

Le operazioni, condotte da ditte specializzate, consisteranno nello smontaggio delle strutture metalliche, nella loro riduzione a membrature di dimensioni idonee al trasporto e nella demolizione meccanica delle opere in calcestruzzo armato (opere in elevazione e fondazioni) con l'utilizzo di apposite macchine operatrici.

Le fondazioni saranno demolite e tutti i residui di demolizione saranno suddivisi per tipologia e destinati al riutilizzo secondo necessità e possibilità.

Le parti metalliche, compresi gli impianti e gli equipaggiamenti bonificati, saranno riutilizzate come rottami ferrosi e ceduti a fonderie. Le parti in calcestruzzo saranno invece cedute a ditte specializzate che procederanno alla loro macinazione per separare il ferro di armatura dal calcestruzzo sminuzzato.

Il ferro di armatura sarà quindi recuperato come le parti metalliche, mentre il macinato di calcestruzzo potrà essere utilizzato come materiale inerte da costruzione, per esempio per sottofondi stradali, o, se non richiesto, avviato in discarica di tipo 2A.

Concluse le operazioni di demolizione e di allontanamento dei residui, l'area sarà completamente ripulita e predisposta per gli eventuali utilizzi previsti.

7.3

CHIUSURA MINERARIA DEI POZZI PRODUTTIVI E REINIETTIVI

Scopo della chiusura mineraria è di ripristinare l'isolamento delle formazioni attraversate dal sondaggio, e permettere la rimozione delle strutture di superficie (valvole di testa pozzo) senza pregiudicare l'efficacia dell'isolamento dei fluidi endogeni rispetto alla superficie.

La realizzazione della chiusura mineraria avviene mediante riempimento del foro, almeno a tratti, con malta di cemento di opportuna composizione.

È buona norma ai fini della sicurezza disporre uno dei tappi di cemento nell'intorno delle "scarpe" dei casing e liner. In alcuni casi è necessario inserire anche speciali attrezzature (packer), atte a garantire con maggiore efficacia rispetto al solo cemento l'isolamento dei fluidi contenuti negli strati sottostanti.

Nel caso dei pozzi in esame, dovendo procedere ad operazioni di chiusura mineraria, non si prevede l'utilizzazione di particolari attrezzature stante la semplicità e la non pericolosità del campo anche in accordo ad una lunga esperienza di realizzazione di chiusure minerarie .

Al termine della chiusura mineraria si procederà al ripristino delle condizioni originali asportando le opere in cemento e lasciando l'area nelle stesse condizioni di origine.

7.4

STIMA DEI COSTI

I costi previsti per le diverse fasi sopra descritte sono riportati nella seguente *Tabella 7.4a*

Voci di Costo	Euro
Scavo, Bonifica, Smontaggio delle tubazioni con recupero dell'acciaio e smaltimento coibente	500.000
Smontaggio e bonifica Impianto ORC, demolizione opere civili smaltimento rifiuti, recupero acciaio, rame e fluido organico	250.000
Chiusura mineraria dei 9 pozzi	550.000
Demolizione opere civili di piazzola, smaltimento inerti, rimessa in pristino delle postazioni	200.000
TOTALE	1.500.000

Bibliografia

A. Barelli, R. Celati, G. Manetti; 1977 Gas-water interface rise during early exploitation tests in Alfina geothermal field (Northern Latium, Italy). Geothermics, 6 pp. 199–208.

Barelli A, Corsi R., Del Pizzo G., Scali C. 1982 A two –phase Flow Model for Geothermal Wells in the Presence of non-condensable Gas. Geothermics, Vol 11, N° 3, pp.175-191

Batini F., Cameli G.M., Carabelli E. & Fiordelisi A. (1980) – Seismic Monitoring in Italian Geothermal Areas : Il Seismic Activity in the Geothermal Fields During Exploration. Second DOE-Enel Workshop for cooperative research in Geothermal Energy, Berkeley (California).

Buonasorte G., Cataldi R., Ceccarelli A., Costantini A., D’Offizzi S., Lazzarotto A., Ridolfi A., Baldi P., Barelli A., Bertini G., Bertrami R., Calamai A., Cameli G., Corsi R., Dacquino C., Fiordelisi A., Ghezzi A. & Lovari F., (1988) – Ricerca ed esplorazione nell’area geotermica di Torre Alfina (Lazio Umbria). Boll. Soc. Geol. It. 107, 265-337.

Cappetti, G., D’Olimpio P., Sabatelli F., Tarquini, B. (1995). Inhibition of Antimony Sulphide Scale by Chemical Additives: Laboratory and Field Test Results. World Geothermal Congress, Florence, Italy, May 18-31, 1995. 2503-2507.

Cappetti G., Romagnoli P., Sabatelli F., (2010). Geothermal Power Generation in Italy 2005-2009 Update Report. Proceeding World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia 25-29 Aprile 2010;

Corsi R., Culivicchi G., Sabatelli F., (1985). Laboratory and field testing of calcium carbonate scale inhibitors. Symposium on Geothermal Energy, Haway. 1985.

Corsi R., (1986). Scaling and Corrosion in geothermal equipment: problems and preventive measurements. Geothermics, 15/5.

Corsi R., (1987). Engineering aspects of CaCO₃ and SiO₂ scaling. NATO course on “Geothermal Reservoir Engineering”, Antalya, Turkey, July 1987.

Fournier R.O., (1973). The solubility of amorphous silica in water at high temperature and high pressures. American Mineralogist, vol 62, pp. 1052-1056, 1973;

Gunnarson, S.Arnosson. (July 2000) Amorphous silica solubilità and Thermodynamic Properties of H₄SiO₄ in the range of 0-350°at Psat. Geochimica et Cosmochimica Acta Vol 64,13..

Michels D. E., (1981), CO₂ and Carbonate Chemistry Applied to Geothermal Engineering, Geothermal Reservoir Engineering Management Program, Earth and Science Division, Lawrence Berkley Laboratory, Report LBL-11509, pp 27



Moya P. and Nietzen . (2011). "Performance of calcium carbonate inhibition and neutralization systems for production wells at the Miravalles geothermal field". Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plants", organized by UNU-GTP and LaGeo, in Santa Tecla, El Salvador, January 16-22, 2011.

Swanand M.Bhagwat, Afshin J. Ghaiar (2012), Similarities and differences in the flow patterns and void fraction in vertical upward and down ward two phase flow Experimental Thermal and Fluid Science 39 2012 213-227



ELENCO TAVOLE E ALLEGATI**TAVOLE**

- **Tavola 1:** Planimetria dell’Impianto Pilota Geotermico su CTR;
- **Tavola 2:** Planimetria dell’Impianto Pilota Geotermico su Foto Area;
- **Tavola 3 (n.3 tavole):** Layout Pozzo AP1 - Fase di Perforazione;
- **Tavola 4 (n.3 tavole):** Layout Pozzo AP2 - Fase di Perforazione;
- **Tavola 5 (n.3 tavole):** Layout Pozzo AP3 - Fase di Perforazione;
- **Tavola 6 (n.3 tavole):** Layout Pozzo AP4 - Fase di Perforazione;
- **Tavola 7 (n.4 tavole):** Layout Pozzi - Fase di Esercizio;
- **Tavola 8 (n.5 tavole):** Layout, Elevazione e Sezioni Impianto ORC;
- **Tavola 9 (n.3 tavole):** Diagrammi di Flusso;
- **Tavola 10:** Rete di Raccolta Acque Meteoriche;
- **Tavola 11:** Tipici Sezioni di Scavo per Posa Condotte;
- **Tavola 12:** Schema Elettrico Unifilare;
- **Tavola 13:** Cabina di Consegna;

ALLEGATI

- **Allegato 1:** Relazione Geologica e Modello Geotermico;
- **Allegato 2:** Relazione Geologica, Geotecnica e Idrogeologica;
- **Allegato 3:** Modellazione numerica del sistema geotermico di “Torre Alfina-Castel Giorgio”;
- **Allegato 4:** Sismicità Storica e recente dell’area geotermica di Torre Alfina;
- **Allegato 5:** Analisi sismica;
- **Allegato 6:** Sismicità indotta o innescata;
- **Allegato 7** Progetto Elettrodotto;
- **Allegato 8** Scheda di Sicurezza Isopentano.