



IschiaGeoTermia S.r.l.

Codice Fiscale e Partita IVA 07730051211 • Capitale sociale: Euro 10.000 i.v.
 Attività di Direzione e Coordinamento: ASTA S.p.A.
 Sede: Via Piffetti, 15 • 10143 Torino • Tel 011 4737401 • Fax 011 480476

**PERMESSO DI RICERCA PER RISORSE GEOTERMICHE
 FINALIZZATO ALLA SPERIMENTAZIONE DI IMPIANTI PILOTA
 DENOMINATO “FORIO”**

**[ID:3033] Risposte alle Richieste di Integrazioni
 (Sito “Serrara Fontana”)**

ALLEGATO 4: Analisi Sismica

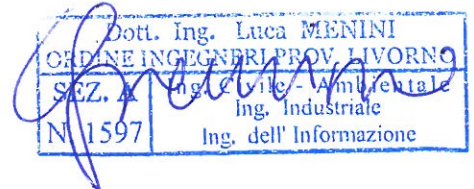
| | | | | |
|--|------------------------|---|---------------------|-------------|
| Progettazione Specialistica e Monitoraggio | | Progettazione | | |
|  INGV ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA Via Diocleziano, 328 80124 Napoli Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano | |  STEAM SISTEMI ENERGETICI AMBIENTALI Via Ponte a Piglieri, 8 I – 56122 Pisa | | |
| DATA | CODICE PROGETTO | | REVISIONE | |
| Ottobre 2016 | P16_GAV_027 | | REV.0 | |
| Progetto | Redatto da | Visto da | Approvato da | DATA |
| P16_GAV_027 | DM | LM | RC | 10/10/2016 |

R.CV.119.STM.016.001

PROGETTAZIONE SISMICA DELLE STRUTTURE DELL'IMPIANTO GEOTERMICO DI SERRARA FONTANA, ISCHIA (NA)

Cliente: STEAM

Document°: R.CV.119.STM.016.001



| | | | |
|---------------------|-------------|-------------|------------|
| REV: | 00 | 01 | 02 |
| DATE: | 01/08/2016 | 02/08/2016 | 30/08/2016 |
| DESCRIPTION: | PRELIMINARE | PRELIMINARE | EMISSIONE |
| PREP E APPR: | Nardini | Nardini | Nardini |
| VERIFICATO: | Montemaggi | Montemaggi | Montemaggi |
| VALIDATO: | Montemaggi | Menini | Menini |



Aderente a Confindustria Livorno



Sommario

| | |
|---|----------|
| 1. INTRODUZIONE | 3 |
| 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 3 |
| 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 3 |
| 4. QUESITI | 4 |
| 5. RISPOSTE | 4 |
| 5.1 DEFINIZIONE DEL TERREMOTO DI PROGETTO | 4 |
| 5.2 CRITERI ANTISISMICI DI PROGETTO | 7 |
| 5.3 TERREMOTO DI PROGETTO DURANTE LE PERFORAZIONI | 10 |
| 5.4 RISCHIO DI ROTTURA TUBAZIONI VERTICALI | 12 |
| 5.5 RISCHIO DI ROTTURA TUBAZIONI DI COLLEGAMENTO | 13 |

1. INTRODUZIONE

Il presente documento illustra alcuni chiarimenti in merito a quesiti posti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Prot. 0002096/CTVA del 09/06/2016 ID_VIP:3033 Istruttoria VIA riguardo le strutture da realizzare nell'ambito del "Progetto definitivo dell'Impianto geotermico pilota denominato "Serrara Fontana", così come definito dall'art.9 del D.Lgs. n. 28 del 03/03/2011, che la società IGT intende realizzare nel territorio comunale di Serrara Fontana (isola di Ischia in provincia di Napoli)".

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Permesso di Ricerca per Impianto Pilota Geotermico "Folio" sito di "Serrara Fontana" (NA)

- Progetto Definitivo e Programma Lavori;
- Tavola 1 (n.4 tavole): Layout Postazione SF1 - Fase di Perforazione;
- Tavola 2 (n.3 tavole): Adeguamento Stradale;
- Tavola 3: Layout Postazione SF1 - Fase di Esercizio;
- Tavola 4 (n.6 tavole): Layout e Viste Impianto ORC;
- Tavola 5: Diagramma di Flusso;
- Tavola 6: Schema Elettrico Unifilare;
- Tavola 7: Cabina di Consegna;
- Allegato 2: Relazione Geologica, Geotecnica e Idrogeologica.
- Allegato 4: Analisi sismica e Monitoraggio Microsismico
- Allegato 5: Sismicità e Subsidenza
- Istruttoria VIA ID_VIP:3033 Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Prot. 0002096/CTVA del 09/06/2016 - Impianto Pilota Geotermico "Serrara Fontana" Proponente: Ischia Geotermia s.r.l. – Richiesta di integrazioni.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008
- Circolare n.617 del 02/02/2009 Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- UNI EN 1998-1 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- UNI EN 1998-4 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 4: Silos, serbatoi e condotte.
- UNI EN 1998-5 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- ASCE 1984 Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems
- UNI EN 13480-3 Tubazioni industriali metalliche – Parte 3: progettazione e calcolo

4. QUESITI

La richiesta di chiarimento pone particolare attenzione sulla risposta sismica delle strutture previste dal progetto ed in particolare:

Si richiede al Proponente:

1. di definire il terremoto di progetto, come il massimo terremoto atteso nella zona e di indicare parametri che lo caratterizzano tenendo anche conto delle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei luoghi, (il coefficiente di amplificazione topografica (ST) e di amplificazione stratigrafica (SS) dell'area) al fine di applicare il Decreto ministeriale (infrastrutture) del 14 gennaio 2008 'Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni' (G.U. n.29 del 4 febbraio 2008);

In riferimento al terremoto di progetto, il Proponente dovrà integrare o approfondire lo SIA specificando o definendo:

2. i criteri antisismici da adottare per le strutture da realizzare, nel rispetto delle norme tecniche del DM 14/01/2008;

3. un'analisi di rischio, nell'ipotesi che il "terremoto di progetto" si dovesse verificare nel corso delle operazioni di perforazione;

4. un'analisi di rischio per le tubazioni verticali dei pozzi di estrazione ed immissione del fluido geotermico, valutando il rischio di rottura, la conseguente contaminazione delle falde acquifere superficiali e dell'ambiente superficiale, inclusa la possibilità di indurre emissioni idrotermali;

5. un'analisi di rischio per le tubazioni che trasportano il fluido geotermico dai pozzi d'estrazione all'impianto ORC e da questo ai pozzi di immissione, facendo anche riferimento alle "Guidelines for the seismic design of oil and gas pipeline systems" della normativa americana.

5. RISPOSTE

5.1 DEFINIZIONE DEL TERREMOTO DI PROGETTO

In accordo con il paragrafo 3.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 la definizione del terremoto di progetto è basata sulla pericolosità sismica di base del sito di costruzione che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A secondo il

paragrafo 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{V_r} (paragrafo 3.2.1), nel periodo di riferimento V_R (paragrafo 2.4). In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Dalla relazione geologica a firma del Dott.ssa Geol. Filomena Miragliuolo si deduce che il terreno di fondazione è classificabile come appartenente alla categoria C ai sensi delle NTC dato che il parametro $V_{s,30} = 345$ m/s. La categoria topografica del terreno è stata considerata pari a T2.

La Vita nominale V_N di una struttura è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel progetto delle strutture in accordo con il punto 2.4.2 delle NTC, sarà assunta una Vita nominale pari a

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

La Classe di uso a cui sono riconducibili le strutture dell'impianto è valutata in via cautelativa come la IV "Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.", cui corrisponde un Coefficiente d'uso $C_u = 2$.

La Vita di riferimento sulla base della quale sono valutate le azioni sismiche è pari a

$$V_R = C_u V_N = 100 \text{ anni}$$

I parametri sismici da normativa riferiti al sito di Serrara Fontana (NA) risultano:

| T_r (anni) | a_g (g) | F_0 | T_c^* (s) |
|--------------|-----------|-------|-------------|
| 30 | 0.034 | 2.314 | 0.272 |
| 50 | 0.044 | 2.336 | 0.310 |
| 72 | 0.055 | 2.334 | 0.324 |
| 101 | 0.065 | 2.349 | 0.328 |
| 140 | 0.078 | 2.340 | 0.332 |
| 201 | 0.094 | 2.325 | 0.331 |
| 475 | 0.142 | 2.301 | 0.329 |
| 975 | 0.189 | 2.331 | 0.328 |
| 2475 | 0.256 | 2.455 | 0.326 |

In accordo con il paragrafo 7.1 delle NTC, le strutture in progetto devono rispettare gli Stati Limite Ultimi e di Esercizio quando soggette ad azione sismica di progetto. In particolare per la Classe di uso IV, il rispetto di tutti gli Stati Limite di Esercizio è conseguito quando siano rispettate le verifiche di sicurezza nei confronti

dello Stato Limite di Operatività (SLO) per gli elementi non strutturali e gli impianti, mentre il rispetto di tutti gli Stati Limite Ultimi è conseguito quando siano soddisfatte le verifiche di sicurezza nei confronti dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), da intendersi nel caso specifico come salvaguardia dell'ambiente.

I parametri che definiscono gli spettri elastici per ogni Stato Limite considerato sono:

| STATO LIMITE | T_r (anni) | a_g (g) | F_0 | T_c^* (s) |
|--------------|--------------|-----------|-------|-------------|
| SLO | 60 | 0.049 | 2.335 | 0.317 |
| SLD | 101 | 0.065 | 2.349 | 0.328 |
| SLV | 949 | 0.187 | 2.330 | 0.328 |
| SLC | 1950 | 0.237 | 2.423 | 0.327 |

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| a_g | 0.049 | 0.065 | 0.187 | 0.237 |
| F_0 | 2.335 | 2.349 | 2.330 | 2.423 |
| T_c^* | 0.317 | 0.328 | 0.328 | 0.327 |
| S_s | 1.500 | 1.500 | 1.438 | 1.355 |
| C_c | 1.534 | 1.517 | 1.517 | 1.519 |
| S_t | 1.200 | 1.200 | 1.200 | 1.200 |
| q | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| S | 1.800 | 1.800 | 1.726 | 1.626 |
| η | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| T_b | 0.162 | 0.166 | 0.166 | 0.165 |
| T_c | 0.486 | 0.498 | 0.497 | 0.496 |
| T_d | 1.797 | 1.861 | 2.349 | 2.549 |

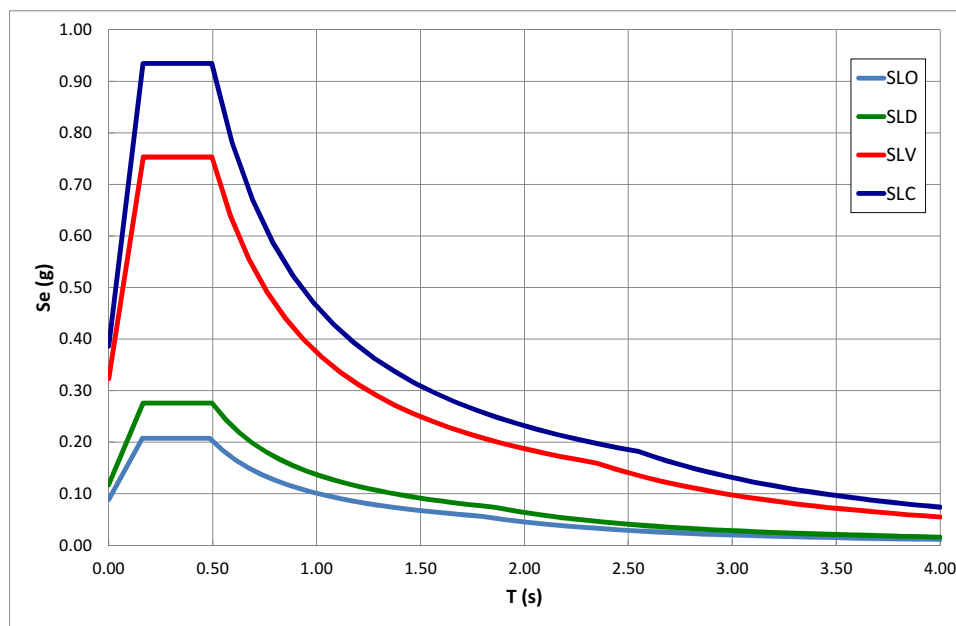


Figura 1 Spettri elastici della componente orizzontale per i vari Stati Limite.

5.2 CRITERI ANTISISMICI DI PROGETTO

Per quanto concerne i criteri di progettazione delle strutture con particolare riguardo al loro comportamento sotto azioni sismiche, nella progettazione esecutiva si farà riferimento al Capitolo 7 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 ed alla Circolare n.617 del 02/02/2009 Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Le strutture saranno dotate di rigidezza e resistenza nei confronti delle due componenti ortogonali orizzontali dell'azione sismica tenendo in conto degli effetti torsionali che il moto sismico può indurre.

A tal fine gli orizzontamenti, ove presenti, devono essere dotati di rigidezza e resistenza tali da metterli in grado di trasmettere le forze scambiate tra i diversi sistemi resistenti a sviluppo verticale. Il sistema di fondazione deve essere dotato di elevata rigidezza estensionale nel piano orizzontale e di adeguata rigidezza flessionale. Deve essere adottata un'unica tipologia di fondazione per una data struttura in elevazione, a meno che questa non consista di unità indipendenti. In particolare, nella stessa struttura deve essere evitato l'uso contestuale di fondazioni su pali o miste con fondazioni superficiali.

Le costruzioni soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi dissipativi, devono essere progettate in accordo con i seguenti comportamenti strutturali:

- a) comportamento strutturale non-dissipativo;
- b) comportamento strutturale dissipativo.

Nel comportamento strutturale non dissipativo gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati, indipendentemente dalla tipologia strutturale adottata, senza tener conto delle non linearità di comportamento (di materiale e geometriche) se non rilevanti.

Nel comportamento strutturale dissipativo gli effetti combinati delle azioni sismiche e delle altre azioni sono calcolati, in funzione della tipologia strutturale adottata, tenendo conto delle non linearità di comportamento (di materiale sempre, geometriche quando rilevanti e comunque sempre quando precisato). Gli elementi strutturali delle fondazioni, che devono essere dimensionati sulla base delle sollecitazioni ad essi trasmesse dalla struttura sovrastante, devono avere comportamento non dissipativo, indipendentemente dal comportamento strutturale attribuito alla struttura su di esse gravante.

Nel caso la struttura abbia comportamento strutturale dissipativo, si distinguono due livelli di Capacità Dissipativa o Classi di Duttilità (CD):

- Classe di duttilità alta (CD"A");
- Classe di duttilità bassa (CD"B")

La differenza tra le due classi risiede nella entità delle plasticizzazioni cui ci si riconduce in fase di progettazione; per ambedue le classi, onde assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili e la formazione di meccanismi instabili imprevisi, si fa ricorso ai procedimenti tipici della gerarchia delle resistenze.

La dissipazione di energia per isteresi si localizzano in zone a tal fine individuate e progettate, dette ("zone critiche") effettuando il dimensionamento degli elementi non dissipativi nel rispetto del criterio di gerarchia

delle resistenze. L'individuazione delle zone dissipative deve essere congruente con lo schema strutturale adottato. Poiché il comportamento sismico della struttura è largamente dipendente dal comportamento delle sue zone critiche, esse debbono formarsi ove previsto e mantenere, in presenza di azioni cicliche, la capacità di trasmettere le necessarie sollecitazioni e di dissipare energia. Tali fini possono ritenersi conseguiti qualora le parti non dissipative ed i collegamenti delle parti dissipative al resto della struttura possiedano, nei confronti delle zone dissipative, una sovrarresistenza sufficiente a consentire lo sviluppo in esse della plasticizzazione ciclica. La sovrarresistenza è valutata moltiplicando la resistenza nominale di calcolo delle zone dissipative per un opportuno coefficiente di sovrarresistenza γ_{Rd} , assunto pari, ove non diversamente specificato, ad 1.3 per CD"A" e ad 1.1 per CD"B".

I dettagli costruttivi delle zone critiche e delle connessioni tra queste zone e le restanti parti della struttura, nonché dei diversi elementi strutturali tra loro, devono ricevere una particolare attenzione ed essere esaurientemente specificati negli elaborati di progetto.

Strutture in elevazione

Per quanto riguarda la struttura portante dell'impianto ORC, la progettazione esecutiva prevede una struttura metallica con comportamento non dissipativo, utilizzando quindi un fattore di struttura unitario ($q=1$). A tal proposito vi sono chiari pronunciamenti del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Prima Sezione (Parere 155/2010 del 14/12/2010; Parere 53/2011 del 19/07/2011) che nel primo parere al quesito n.1 prevede:

" Secondo quanto disposto dal Cap. 7 Par. 7.2 del D.M 14/01/2008 si individuano due tipologie di comportamento strutturale nel caso di azione sismica:

(...)

Le costruzioni soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi dissipativi, devono essere progettate in accordo con i seguenti comportamenti strutturali:

- a) comportamento strutturale non-dissipativo;*
- b) comportamento strutturale dissipativo.*

Nel comportamento strutturale non dissipativo, cui ci si riferisce quando si progetta per gli stati limite di esercizio, {...}

Nel comportamento strutturale dissipativo, cui ci si riferisce quando si progetta per gli stati limite ultimi, [...].

...

Inoltre in base al Cap. 7 Par. 7.3.1. del D.M. 14/01/2008 si dispone che, nel caso di analisi lineare di strutture non dissipative, si debba adottare un fattore di struttura unitario:

(...)

Quando si utilizza l'analisi lineare per sistemi non dissipativi, come avviene per gli stati limite di esercizio, gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati, quale che sia la modellazione per esse utilizzata, riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di struttura q unitario {§3.2.3.4}.

...

In merito al primo quesito la Sezione ritiene che sia sempre possibile, anche se generalmente non conveniente, progettare strutture non dissipative con qualunque materiale (anche non fragile), purché si adotti un fattore di struttura unitario, insieme con l'utilizzo del livello di azione corrispondente allo Stato Limite Ultimo (SLU). In tal caso non è necessario l'utilizzo di accorgimenti quali la gerarchia delle resistenze, il cui effetto può esplicarsi solo al superamento del comportamento elastico della struttura. Resta comunque inteso che si debba ottemperare alle prescrizioni contenute nel Capitolo 4 delle NTC 2008 che garantiscono un livello significativo di duttilità".

Di fatto quindi **il parere riconosce che una struttura progettata con un fattore di struttura $q=1$ e nel rispetto delle prescrizioni del Cap. 4 è comunque dotata di duttilità** anche se questa non viene tenuta esplicitamente in conto nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi.

Tubazioni Orizzontali Interrate

Il D.M. 2008 non dà informazioni specifiche in merito alle azioni sismiche da applicare alle tubature interrate; assumendo comunque di poter adottare per esse le prescrizioni fornite in merito ad opere e sistemi geotecnici (*par. 7.11.3, DM 2008*), l'accelerazione può essere valutata attraverso la seguente relazione:

$$a_{\max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

Tenuto conto dei valori di a_g , S_s e S_t riportati nelle precedenti tabelle, è possibile valutare le accelerazioni sismiche di progetto:

| | SLO | SLV |
|----------------|-------|-------|
| a_{\max} [g] | 0.089 | 0.323 |

Il progetto delle tubazioni orizzontali interrate sarà eseguito facendo riferimento alla norma EN 1998-4 Capitolo 6.

Tubazioni Verticali Interrate dei Pozzi

Le tubature interrate verticali dei pozzi, sia della postazione di produzione che di reiniezione, interagiscono con un sottosuolo di classe C.

Assumendo di poter adottare per esse le prescrizioni fornite in merito ad opere e sistemi geotecnici (*par. 7.11.3, DM 2008*), l'accelerazione può essere valutata attraverso la seguente relazione:

$$a_{\max} = S_s \cdot a_g$$

Tenuto conto dei valori di a_g e S_s riportati nelle precedenti tabelle, è possibile calcolare le accelerazioni per le tubazioni interrate, insieme allo spostamento massimo e velocità orizzontale massima del terreno (v_g), determinate in accordo al NTC (*par. 3.2.3.3*).

$$d_g = 0.025 a_g S_s S_t T_c T_d$$

$$v_g = 0.16 a_g S_s S_t T_c$$

| | SLO | SLV |
|----------------|-------|-------|
| a_{\max} [g] | 0.074 | 0.269 |
| v_g [m/s] | 0.069 | 0.252 |
| d_g [m] | 0.019 | 0.092 |

Per l'analisi sismica delle tubazioni interrate si farà riferimento alle norme EN 1998-4 (Capitolo 6), EN 1998-5 e EN 13480-3, tenendo conto delle sollecitazioni sui casing da pressione interna e esterna e da variazioni di temperatura del fluido nelle varie fasi di lavoro: montaggio, cementazione, esercizio. Saranno prese in considerazione anche le indicazioni contenute nella norma ASCE 1984.

5.3 TERREMOTO DI PROGETTO DURANTE LE PERFORAZIONI

In accordo con il Dipartimento della Protezione Civile, il Rischio sismico (R) è la misura dei danni attesi (perdite complessive in termini di vite umane, beni economici, valori culturali, volumi edilizi, etc) in un dato intervallo di tempo in una determinata area, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti). In altre parole, per rischio si intende la probabilità che venga raggiunto un prefissato livello di perdita in un certo intervallo di tempo. Tale perdita è identificata solitamente nel costo da sostenere per riportare il sistema danneggiato alle condizioni che esso aveva prima dell'evento sismico.

La valutazione in un'area dell'esistenza di condizioni di Rischio sismico è legata alla stima di tre parametri fondamentali: la Pericolosità, la Vulnerabilità e l'Esposizione.

La Pericolosità sismica (P) di un territorio è rappresentata dalla frequenza e dalla forza dei terremoti che lo interessano, ovvero dalla sua sismicità. Viene definita come la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco (pga) prefissato.

La Vulnerabilità (V) è invece definita come la propensione di una struttura a subire danni di un determinato livello, a fronte di un evento sismico di una data intensità. Tali danni possono portare alla momentanea perdita di funzionalità o anche alla totale irrecuperabilità.

L'Esposizione (E) è riferita alla natura, alla quantità ed al valore dei beni nonché alle attività presenti sul territorio che possono essere influenzate direttamente o indirettamente dall'evento sismico (insediamenti, edifici, attività economiche-produttive, infrastrutture, densità di popolazione).

Concettualmente, il Rischio sismico si può quindi esprimere secondo la seguente relazione:

$$R = P V E$$

Per le strutture in oggetto, la valutazione dei 3 fattori che definiscono il Rischio sismico può essere condotta come indicato:

- la Pericolosità sismica di base è stata stimata ai sensi delle NTC, permettendo di definire il terremoto di progetto;
- data l'assenza di dati statistici su danni sismici occorsi a strutture analoghe a quelle in esame, la Vulnerabilità sarà stimata su base analitica integrando i criteri di verifica delle NTC con le prescrizioni di norme internazionali specifiche del settore.

In via semplificata è possibile valutare il carico dovuto al terremoto di progetto come:

Peso proprio della torre $W = 1000 \text{ kN}$

Periodo proprio della torre $T_1 = C_1 H^{3/4} = 0.085 \cdot 30^{3/4} = 1.09 \text{ s}$

Accelerazione spettrale SLV $S_d(T_1) = 0.336 \text{ g}$

Forza sismica $F_h = W S_d(T_1)/g = 336 \text{ kN}$

Per confronto, il carico dovuto al vento è valutabile in via semplificata come:

Zona 9

Velocità di riferimento del vento $v_b = 31$ m/s

Pressione cinetica di riferimento $q_b = 0.5 \rho v_b^2 = 600.6$ Pa

Classe di rugosità D; Categoria I

Pressione del vento $p_w = q_b C_e C_p C_d = 5.84$ kPa

Forza del vento $P_w = A_w p_w = 350$ kN

Risulta quindi che il carico del vento (anche senza l'applicazione del coefficiente parziale di combinazione) è superiore a quello del sisma per la struttura della torre di perforazione, quindi la progettazione della torre eseguita in riferimento all'azione del vento soddisfa i requisiti di sicurezza anche nei confronti del sisma allo SLV ed a maggior ragione nei confronti del sisma allo SLO.

E' necessario ricordare che, come specificato nella relazione del Progetto Definitivo al paragrafo 6.5 e nel Cronoprogramma dei lavori in Figura 7a, le operazioni di perforazione hanno durata limitata a circa 2 mesi per ciascuno dei 3 pozzi.. Inoltre riguardo un così limitato orizzonte temporale, è possibile fare riferimento al paragrafo 2.4.1 delle NTC in cui si specifica che "le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni". Assimilando quindi per la durata limitata le operazioni di perforazione ad una struttura in fase costruttiva, è lecito ritenere che il verificarsi del "terremoto di progetto" allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, caratterizzato da una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed un periodo di ritorno di 949 anni, abbia limitatissime probabilità di accadere.

Quindi il rischio connesso al verificarsi di un terremoto pari a quello di progetto durante le operazioni di perforazione è molto basso, data la bassa probabilità di accadimento dell'evento ed la ridottissima vulnerabilità delle strutture alle azioni sismiche.

Infine per quanto sopra riportato è possibile affermare che la condizione di carico più gravosa per la torre di perforazione è rappresentata dal carico del vento e non dal sisma.

In ogni caso analisi e verifiche più dettagliate saranno condotte in fase di progetto esecutivo.

5.4 RISCHIO DI ROTTURA TUBAZIONI VERTICALI

La progettazione sismica delle tubazioni verticali interrato sarà basata sulle prescrizioni della norma EN 1998-4 e EN 13480-3, tenendo conto del terremoto di progetto come definito al precedente paragrafo 5.1.

Il rischio di rottura delle tubazioni verticali e conseguente contaminazione delle falde acquifere per l'immissione nell'acquifero di consistenti quantità di fango oppure di fluido endogeno è stato analizzato compiutamente e sono attuati accorgimenti progettuali ed operativi per evitarlo o ridurlo fortemente.

Il profilo di tubaggio adottato per i pozzi geotermici permette un completo isolamento di eventuali falde sospese (escluse dalla relazione geologica nei primi 15 m) e di quelle profonde. Inoltre 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 è evitato. Dopo aver isolato le formazioni mediamente permeabili, sedi di potenziali falde acquifere superficiali mediante i primi due casing completamente cementati, il rischio di contaminazione delle falde non sussiste ulteriormente. La possibile contaminazione da 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 con l'adozione di un sistema multiplo di tubazioni concentriche (con impiego di tubo integri controllati mediante piano di controlli al più alto livello), il montaggio delle tubazioni realizzato con assemblaggio dei singoli tubi sotto il controllo della Direzione Lavori (che verifica e controlla le condizioni di serraggio dei singoli tubi), l'individuazione della profondità ottimale della scarpa delle stesse tubazioni per evitare difficoltà in fase di cementazione e la realizzazione ottimale delle cementazioni dei tubi con controllo della centratura, regolarità dell'intercapedine, condizioni di flusso, tempo di presa della malta. Bisogna inoltre sottolineare che la pressione delle tubazioni in esercizio è molto inferiore alle condizioni di pericolo di rottura delle stesse.

Il sistema multiplo di tubazioni così realizzate costituisce una barriera primaria 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. L'adozione di due casing completamente cementati per isolare l'intero sistema di falde idriche superficiali, realizza una protezione del sistema degli acquiferi di altissima sicurezza. Queste modalità permettono di evitare qualsiasi interazione con le acque sotterranee anche in fase di produzione.

5.5 RISCHIO DI ROTTURA TUBAZIONI DI COLLEGAMENTO

Le tubazioni di collegamento che trasportano il fluido geotermico dai pozzi di estrazione all'impianto ORC e dal questo ai pozzi di immissione saranno progettate per sopportare le sollecitazioni indotte dalle azioni di progetto ed in particolar modo quella sismica (terremoto di progetto al paragrafo 5.1) in accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni, facendo riferimento anche alla norma ASCE 1984 ed alla norma EN 1998-4 (Capitolo 5).

In particolare nella progettazione sismica delle tubazioni di collegamento saranno prese in considerazione tipologie di rischio diretto ed indiretto come gli spostamenti indotti dall'inerzia delle tubazioni a causa del moto sismico applicato alle strutture di supporto, spostamenti differenziali dei supporti delle tubazioni che a loro volta possono essere causati da deformazioni permanenti del terreno (per supporti direttamente ancorati a terra) oppure dalla risposta sismica di una sottostruttura (per supporti collocati su altre strutture).

Le eventuali capacità dissipative per tubazioni fuori terra dovrebbero essere limitate alle strutture di supporto per proteggere la linea di collegamento ed il fluido trasportato ed evitare la formazione di zone plastiche nelle tubazioni. La progettazione delle strutture di supporto dovrà tener conto degli effetti sismici amplificati in funzione del fattore di struttura adottato per il progetto sismico delle tubazioni.

In accordo con la norma ASCE 1984 è possibile considerare soddisfatte le verifiche di instabilità della parete della tubazione quando l'eventuale deformazione longitudinale di compressione ε risulti inferiore al valore critico ε_{cr} definito come:

$$\varepsilon_{cr} = 0.35 t_n / (D_0 - t_n)$$

Nei tratti rettilinei la massima deformazione assiale e massima curvatura prodotta dal sisma possono essere valutate come:

$$\varepsilon_g = -v_g / (\alpha_e c)$$

$$\chi_g = -a_g / (\alpha_k c)^2$$

essendo v_g la velocità del terreno, α_e un coefficiente di amplificazione della velocità di propagazione dell'onda sismica, c è la velocità apparente di propagazione dell'onda sismica, a_g l'accelerazione sismica. Nella Tabella seguente sono riportati i valori desunti da ASCE 1984.

| Tipo Onda | Massima deformazione | Fattori |
|-----------|--------------------------------|------------------|
| S | $\varepsilon_g = -v_g / (2 c)$ | $\alpha_e = 2.0$ |
| | $\chi_g = -a_g / c^2$ | $\alpha_k = 1.0$ |
| P | $\varepsilon_g = -v_g / c$ | $\alpha_e = 1.0$ |
| | $\chi_g = -a_g / (2.6 c^2)$ | $\alpha_k = 1.6$ |
| R | $\varepsilon_g = -v_g / c$ | $\alpha_e = 1.0$ |
| | $\chi_g = -a_g / c^2$ | $\alpha_k = 1.0$ |

Le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di taglio S ($\alpha_e = 2.0$; $\alpha_k = 1.0$), incidenti con angolo θ rispetto all'asse della condotta valgono:

$$\sigma_{\varepsilon_{SISMA}}^S = \pm E (v_g / c) \sin\theta \cos\theta$$

$$\sigma_{\chi}^S_{SISMA} = \pm E D a_g / (2 c^2) \cos^3 \theta$$

che assumono valori massimi rispettivamente per $\theta = 45^\circ$ e $\theta = 0^\circ$:

$$\sigma_{\varepsilon}^S_{SISMA} = \pm E (v_g / c)$$

$$\sigma_{\chi}^S_{SISMA} = \pm E D a_g / (2 c^2)$$

Le tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di compressione P ($\alpha_e = 1.0$; $\alpha_k = 1.6$), incidenti con angolo θ rispetto all'asse della condotta valgono:

$$\sigma_{\varepsilon}^P_{SISMA} = \pm E (v_g / c) \cos^2 \theta$$

$$\sigma_{\chi}^P_{SISMA} = \pm E D a_g / (2 c^2) \sin \theta \cos^2 \theta$$

che assumono valori massimi rispettivamente per $\theta = 0^\circ$ e $\theta = 35^\circ 16'$:

$$\sigma_{\varepsilon}^P_{SISMA} = \pm E (v_g / c)$$

$$\sigma_{\chi}^P_{SISMA} = \pm 0.385 E D a_g / (2 c^2)$$

In maniera analoga le massime tensioni assiali e di flessione indotte dalle onde di Rayleigh R ($\alpha_e = 1.0$; $\alpha_k = 1.0$) valgono:

$$\sigma_{\varepsilon}^R_{SISMA} = \pm E (v_g / c)$$

$$\sigma_{\chi}^R_{SISMA} = \pm E D a_g / (2 c^2)$$

Combinando le tensioni secondo il metodo SRSS (Square Route of Square Sum)

$$\sigma_{\varepsilon}^S_{SISMA} = (\sigma_{\varepsilon}^S_{SISMA}{}^2 + \sigma_{\varepsilon}^P_{SISMA}{}^2 + \sigma_{\varepsilon}^R_{SISMA}{}^2)^{0.5}$$

$$\sigma_{\chi}^S_{SISMA} = (\sigma_{\chi}^S_{SISMA}{}^2 + \sigma_{\chi}^P_{SISMA}{}^2 + \sigma_{\chi}^R_{SISMA}{}^2)^{0.5}$$

e sommando questi contributi, la massima tensione dovuta all'evento sismico risulta:

$$\sigma_{SISMA} = \sigma_{\varepsilon}^S_{SISMA} + \sigma_{\chi}^S_{SISMA}$$

Nei tratti curvilinei per la valutazione dello stato tensionale indotto dal terremoto è necessario tener conto dell'interazione tubo-terreno. In accordo con ASCE 1984 si assume che la direzione dell'onda sismica sia parallela ad uno dei tratti rettilinei della curva e si indica con L' la lunghezza di scorrimento della tubazione nel terreno su cui agisce l'attrito:

$$L' = (4 A_p E \lambda) / (3 k_0) \{ [1 + 3 \varepsilon_{\max} k_0 / (2 t_u \lambda)]^{0.5} - 1 \}$$

$$t_u = [\pi D \gamma_t H (1 + k_0) \tan \delta] / 2 + W_p \tan \delta$$

dove

$$\lambda = [k_0 / (4 E I)]^{0.25} \quad I = [D^4 - (D - 2 t)^4] / 64 \quad \varepsilon_{\max} = v / c$$

Per la tubazione in acciaio lo spostamento sulla curva dovuto allo scorrimento vale:

$$\Delta = [\varepsilon_{\max} L' - (t_u L'^2)/(2 A_p E)]/[1 + (k_0 L')/(2 \lambda A_p E) + (2 \lambda L' l)/(\pi A_p r_0)]$$

La forza assiale sul tratto rettilineo longitudinale vale:

$$s = \Delta [k_0/(2\lambda) + (2 \lambda^2 K^* E l)/(r_0 \pi)] \quad \text{con } K^* = 1 - 9/[10 + 12 (t r_0/R^2)^2]$$

Il momento flettente sulla curva vale:

$$M = \Delta (2 \lambda K^*)/(r_0 \pi)$$

Il fattore di intensificazione dello stress vale

$$K_1 = 2/(3 K^*) \{3.6/[5 + 6 (t r_0/R^2)^2]\}^{-0.5}$$

Quindi la tensione assiale sulla curva dovuta alla forza s vale:

$$\sigma_{\text{SISMA}}^S = s/A_p$$

mentre la tensione dovuta al momento flettente M sulla curva vale:

$$\sigma_{\text{SISMA}}^M = K_1 M D/(2 l)$$

Cecina, 30 agosto 2016

Sintecnica S.r.l.