

TOSCOGEO

geothermal energy

Società del gruppo



GRAZIELLA
green power

magma ENERGY ITALIA

RETE GEOTERMICA TOSCANA

C/O TOSCOGEO S.R.L.

VIA ERNESTO ROSSI N° 9 - 52100, AREZZO

TEL. 0575 32641 - FAX. 0575 326464

Impianto Geotermico Pilota Castelnuovo PROGETTO DEFINITIVO



00	19/11/2015	Emissione	Sintecnica S.r.l.	Magma Energy Italia S.r.l.	Rete Geotermica Toscana
REV.	DATA	OGGETTO	PREPARATO	CONTROLLO	APPROVATO

MAGMA ENERGY ITALIA SRL
Via E. Rossi, 9 - Arezzo 52100
Tel. 0575 32641 - Fax 0575 326464
magmaenergy.it
C.F.: 0608924070

PROGETTISTA:



Dott. Ing. Luca MENINI
ORDINE INGEGNERI PROV. LIVORNO
SEZ. A Ing. Civile - Ambientale
Ing. Industrie
Ing. dell'Informazione
N° 1197

TITOLO:

RELAZIONE GEOTECNICA

NOTE:

TOSCO GEO SRL
VIA E.ROSSI N.9 - AREZZO 52100
TEL 0575 32641 - FAX 0575 326464
C.F. e P.IVA 06142590485
Capitale sociale sottoscritto e versato € 12.000,00
Società soggetta a direzione e coordinamento di
Graziella Green Power spa - via E.Rossi, 9 - Arezzo 52100
C.F. e P.IVA 02033840519

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

C	A	S	0	2	D	E	C	I	R	0	1	6
ARGOMENTO	PROGETTO	LIVELLO	AREA	TIPO	PROGRESSIVO							

FOGLIO:

1 di 15

FORMATO:

A4

Questo documento contiene informazioni di proprietà della RETE GEOTERMICA TOSCANA e può essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. È vietata qualunque forma di riproduzione o divulgazione senza l'esplicito consenso della RETE GEOTERMICA TOSCANA.

Sommario

1. INTRODUZIONE	3
2. GEOLOGIA	3
2.1 INQUADRAMENTO GENERALE	3
3. GEOTECNICA	7
3.1 PARAMETRI MECCANICI	7
3.2 PRESENZA DI FALDA	8
4. SISMICA	8
4.1 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	8
5. PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE	14

1. INTRODUZIONE

Il presente documento ha lo scopo di descrivere i principali caratteri geotecnici relativi all'area di progetto e di programmare le indagini e i rilievi di campagna necessari ad approfondire le informazioni sui luoghi necessarie per le successive fasi progettuali, nell'ambito dell'Istanza per l'avvio della procedura di valutazione di impatto ambientale ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.152/2006 e s.m.i. relativa al progetto "Impianto Geotermico Pilota Castelnuovo".

L'impianto *Geotermico Pilota Castelnuovo* è costituito da:

- **Campo pozzi**, costituito da due pozzi per la produzione dei fluidi geotermici (uno subverticale e l'altro direzionale) sino a profondità di circa 3.500 m, e di un pozzo per la reimmissione dei fluidi estratti, inclusi i gas incondensabili, all'interno delle stesse formazioni geologiche di provenienza, profondo anch'esso circa 3500 m. I tre pozzi saranno perforati da un'unica postazione.
- **Impianto geotermoelettrico**, costituito dalla rete di trasporto dei fluidi geotermici, da una centrale a ciclo binario, con potenza netta di 5MWe (come stabilito dal D.Lgs 03/03/2011 n. 28 e s.m.i.) e da una cabina elettrica di trasformazione.

Tali valutazioni preliminari consentiranno di inquadrare, in prima approssimazione, le caratteristiche meccaniche dei materiali mutuati da fonti bibliografiche, da verificare successivamente nell'ambito di una specifica campagna geognostica. Tali parametri potranno essere assunti in via del tutto preliminare ancorché cautelativa nell'ambito delle verifiche di stabilità dei pendii e nel dimensionamento di massima delle fondazioni e delle opere di sostegno previste nell'ambito dell'Intervento.

I dati di base per le suddette valutazioni sono stati valutati, oltre che rispetto ad esperienze condotte negli ambiti limitrofi, dai seguenti documenti di riferimento, a:

- CAS.02.DE.CI.R.015 – RELAZIONE GEOLOGICA;

- *Relazione di fattibilità geologica ai fini della valutazione di impatto ambientale per la realizzazione delle postazioni esplorative, della viabilità di accesso e della condotta di reiniezione - Permesso di ricerca di risorse geotermiche "Mensano" progettazione e valutazione di impatto ambientale di due pozzi esplorativi – Dr. Geol. Rita Nardi – novembre 2014;*

2. GEOLOGIA

2.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Per quanto riguarda i caratteri litologici e stratigrafici, viene fatto riferimento alla carta geologica della Regione Toscana, quale documento ufficialmente riconosciuto, sezione 295120, così come documentato nella CAS.02.DE.CI.R.015 – RELAZIONE GEOLOGICA (vedi figura sotto).

Nell'area di indagine si riscontrano prevalentemente terreni della successione neogenica, oltre a litotipi della successione ligure per quanto riguarda il settore più orientale della zona.

Viene riportata la descrizione delle varie litologie e formazioni esistenti a partire da quelle più recenti.

DEPOSITI DEL QUATERNARIO

Alluvioni

Sono presenti nei fondovalle di tutti i corsi d'acqua, sono costituite da sabbie, limi e ghiaie; quest'ultime sono più abbondanti nelle zone con dominanza di rocce preneogeniche o totalmente assenti in quelle dove sono presenti esclusivamente litologie neogeniche. I clasti, se presenti sono di dimensioni variabili in genere imbricati, a composizione e diametro variabili.

Coltri detritiche

Costituite da spessori talvolta consistenti di materiali eterogenei, clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa.

SUCCESSIONE NEOGENICA

Argille del Torrente Fosci (FOS)

Si tratta di argille massicce grigio piombo o grigio nocciola, spesso marnose con frequenti lenti e livelli di lignite e più raramente sottili livelli di arenarie, conglomerati minuti e marne. Gli spessori massimi si aggirano intorno ai 300 m. Poggia sopra o lateralmente e con passaggi eteropici alla Formazione del Torrente Sellate.

L'ambiente di sedimentazione è prevalentemente lacustre anche se nel tratto sommitale le associazioni micropaleontologiche testimoniano il passaggio all'ambiente lagunare-salmastro.

L'età è riferita al Turoliano inferiore (Tortoniano Sup. - Messiniano Inf.)

Formazione del Torrente Sellate (SLE)

Si tratta di areniti e siltiti poco cementate da giallo ocra a grigio e di conglomerati clastosostenuti derivanti da formazioni appartenenti alle liguridi. Lo spessore della formazione raggiunge 50 m. Nell'area di studio rappresenta la base del ciclo sedimentario del Miocene e poggia discordante sul substrato ligure. L'ambiente di sedimentazione principale è di tipo lacustre con acque poco profonde e talora poco ossigenate, a bassa energia.

UNITÀ OFIOLITIFERA DELLE ARGILLE A PALOMBINI

Formazione delle Argille a palombini (APA)

Costituisce la parte più cospicua del complesso ofiolitifera, all'interno del quale mostra, con le altre unità litostratigrafiche quasi sempre contatti tettonici. Sono generalmente sormontate da terreni neoautoctoni con contatto stratigrafico discordante. Mostrano generalmente un assetto caotico e sono costituite da argilliti, siltiti e marne di colore grigio scuro o marrone, nella parte stratigraficamente più alta prevalenti siltiti e areniti quarzo-feldspatiche. A questi litotipi si alternano livelli di tipici calcari silicei grigio piombo in strati di potenza non superiore al metro,

spesso decimetrici. Raggiunge spessori attorno ai 250 m, è interpretabile come deposito di piana abissale interessato da episodi torbidity silicoclastici. L'età è riferibile al Cretaceo inferiore.

Formazione dei Gabbro – Formazione ofiolitifera di Montecastelli (Gamma)

Gabbri con filoni di basalto interessati da metamorfismo oceanico. I gabbri si presentano con una facies dominante a grana da media a medio-grossa (gabbri "eufotidi"). Subordinatamente si hanno: facies melanocrate a grana medio-fine con relitti di olivina e facies pegmatitiche in forma di sacche o filoncelli di potenza centimetrica all'interno dei gabbri "eufotidi". Talvolta si rinvencono in filoni all'interno delle maggiori masse serpentinitiche; a loro volta, anch'essi possono contenere piccoli filoni (1-3 m di lunghezza) di basalto.

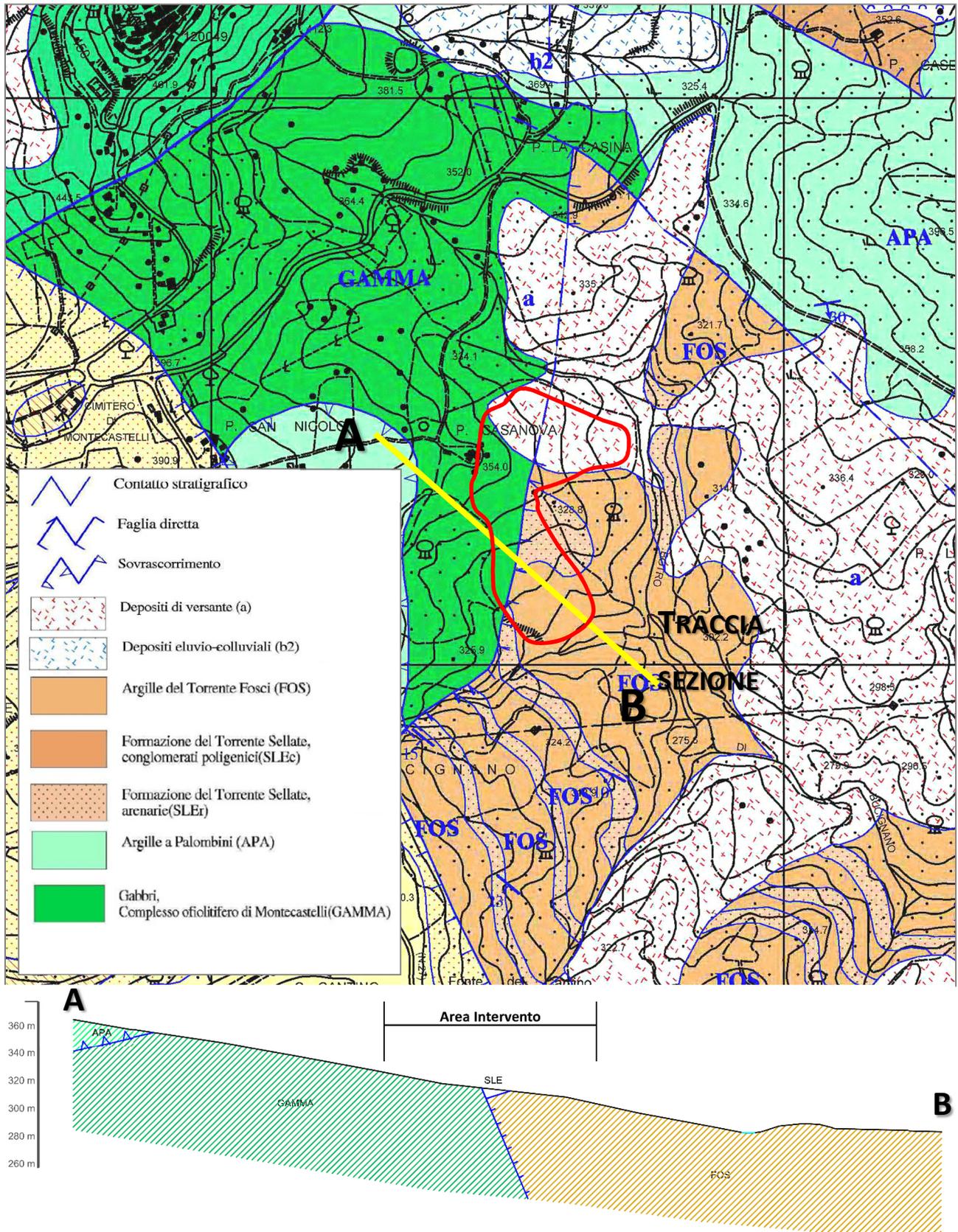


Figura 1 Estratto Carta Geologica Regione Toscana (Scala 1:10.000) e Sezione Geologica schematica (Scala Grafica)

3. GEOTECNICA

3.1 PARAMETRI MECCANICI

Sulla base dei dati bibliografici raccolti, è possibile valutare i seguenti range dei parametri geotecnici entro i quali ci si aspetta verosimilmente che ricadano i terreni che saranno oggetto di indagine.

Litologia	Parametri caratteristici				
	γ	c'	ϕ'	c_u	E
	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]
Unità - S - Suoli vegetali e coltri di alterazione superficiali. Spessori variabili tra 0-1m.	18,5-19,5	0	17-21	40-60	6-8
Unità A - ArA - Argille della successione neogenica o dell'unità a palombini con blocchi e lenti ofioliti. Formazione argillitico-marnosa con livelli arenitici e calcarei. Formazione caotica ed alterata fino al limite della resistenza residua. Spessori variabili tra 1-5m.	19,0-20,0	0-10	18-23	50-90	8-12
Unità B - ArCm - Argille a palombini con blocchi e lenti ofioliti. Formazione argillitico-marnosa con livelli arenitici e calcarei. Formazione maggiormente compatta e dal basso livello di alterazione. Spessori variabili tra 10-35m.	19,0-20,0	5-25	19-26	120-180	10-25

Tabella 1: Parametri geotecnici

Vengono inoltre forniti come riferimento i parametri meccanici associabili verosimilmente ai materiali artificiali previsti per la realizzazione degli interventi di movimento terra e preparazione delle aree.

Materiali artificiali					
Rilevato - R - Ricostituito - Riperto costituito da materiali provenienti da scavi opportunamente miscelato con materiali di cava selezionati e vagliati - gruppi A1-A2-A3 secondo CNR - UNI 10006/1963 compattati a strati ad umidificazione controllata fino ad ottenere valori di densità in sito pari almeno al 95% di quella di laboratorio Proctor Modificata secondo norme ASSHTO.	19,5-20,5	5	27	120	20-25
Gabbioni - Strutture scatolari in rete metallica a doppia torsione zincata maglia 8x10 spessore filo 2.7mm minimo intasate con pezzame grossolano selezionato e vagliato all'uopo.	19,0-19,5	20	45	-	-

Tabella 2: Parametri geotecnici materiali artificiali

3.2 PRESENZA DI FALDA

Seppur non si individuano acquiferi veri e propri, si riscontra la presenza di fenomeni di circolazione idrica superficiale localizzati all'interno dei livelli più alterati e disomogenei, caratterizzati da maggiore permeabilità macrostrutturale o per fratturazione. Tale circolazione interessa verosimilmente gli strati più superficiali con soggiacenze a carattere stagionale stimabili nell'ordine di qualche metro da piano campagna. Allo stato attuale, sulla base di dati disponibili, non è possibile caratterizzare in modo appropriato tali fenomeni. Un'accurata valutazione potrà essere effettuata rispetto ai dati relativi alle indagini geognostiche e monitoraggio geotecnico propedeutiche alla progettazione esecutiva.

4. SISMICA

4.1 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

La valutazione dell'azione sismica di riferimento è stata valutata rispetto ai dettami delle NTC 08, rispetto a specifiche assunzioni in termini di parametri di input per la valutazione dell'azione sismica così come evidenziati nelle successive tabelle.

La vita nominale di un'opera strutturale V_N 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. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella tabella a seguire:

Tipi di costruzione		V_N [anni]
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Tabella 3: Vita nominale dell'opera

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la

cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe 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.

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 2.0 = 100 \text{anni}$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso:

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_u	0.7	1.0	1.5	2.0

Tabella 4: Classi d'uso dell'opera

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. 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 (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR.

Ai fini della normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella:

Stati limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 5: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{S,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore minimo pari a 3m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana

	fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 3600 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250\text{kPa}$ nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70\text{kPa}$ nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20m, posti nel substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Tabella 6: Categoria di suolo

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20\text{kPa}$), che includono uno strato di almeno 8m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 7: Categorie aggiuntive di suolo

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

Categoria	Descrizione
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 8: Categorie topografiche

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} . Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo

fondamentale minore o uguale a 4,0 s; per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta.

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

nelle quali T e S_E sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale; S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:

$$S = S_S \cdot S_T$$

essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T il coefficiente di amplificazione topografica;

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0.55$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

T_C^* è definito al § 6.2 e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:

$$T_B = T_C/3$$

T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$$

In mancanza di tali determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico S_s , il coefficiente topografico S_T e il coefficiente C_c che modifica il valore del periodo T_c .

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_c^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella tabella a seguire, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$

Tabella 9: Espressioni di S_s e C_c

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella a seguire, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Tabella 10: Valori massimi del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_T

Rispetto alle suddette ipotesi è possibile valutare i seguenti parametri spettrali.

Azione sismica di progetto				
V_N	=	50	anni	
CU	=	IV		classe d'uso
C_U	=	2,0		coefficiente uso
S_L	=	SLV		stato limite
C_S	=	C		categoria di sottosuolo
C_T	=	T2		categoria topografica
LAT	=	43,256357	°	latitudine
LONG	=	10,965300	°	longitudine
a_g	=	0,174	g	accelerazione orizzontale massima attesa al sito
F_0	=	2,517		valore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
T_c^*	=	0,280	s	periodo di inizio del tratto a velocità costante
C_c	=	1,598		coefficiente modificativo del periodo T_c
S_s	=	1,438		coefficiente di amplificazione stratigrafica
S_T	=	1,200		coefficiente di amplificazione topografica
S	=	1,726		coefficiente di amplificazione
a_{max}	=	0,300	g	accelerazione di picco

Tabella 11: Azione sismica di progetto

5. PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

In questa fase, può essere valutato un programma di indagini geognostiche di massima che sarà particolarizzato in ambito di progettazione esecutiva rispetto alla configurazione finale delle opere di progetto. Tali indagini dovranno necessariamente essere estese rispetto al volume significativo interagente con le opere, e finalizzato alla messa a punto di un modello litostratigrafico e geotecnico sufficientemente dettagliato.

Il programma di indagine dovrà essere basato su carotaggi continui con prelievo di campioni indisturbati e prove di laboratorio geotecnico, su penetrometrie, su piezometrie, su inclinometrie e su indagini sismiche per la determinazione della V_{s30} / categoria di suolo.

Carotaggi continui con prelievo di campioni e prove SPT

I carotaggi dovranno essere spinti fino ad una profondità compresa tra 20 e 30 m dal p.c. e permetteranno sia di ricostruire la stratigrafia di dettaglio basata sull'osservazione diretta del terreno, sia di prelevare campioni indisturbati; su detti campioni verranno eseguite le prove di laboratorio necessarie a determinare i parametri geotecnici d'interesse a una interpretazione del sottosuolo di tipo "quantitativo".

Per avere dati più omogenei, sulla verticale di indagine potranno essere previste prove SPT in foro, compatibilmente sia con le litologie riscontrate dal rilievo di dettaglio che con le litologie riscontrate durante la perforazione.

Prove penetrometriche CPT o DPSH

In prossimità dei punti dove verranno realizzati i carotaggi continui e prima della loro esecuzione, sarà utile eseguire prove penetrometrie che, oltre a fornire lungo tutta la verticale alcuni importanti parametri geotecnici dei terreni attraversati (da correlare e tarare con le successive prove di laboratorio), consentono di avere un quadro di riferimento stratigrafico che agevola la scelta definitiva dei siti dove effettuare i carotaggi.

Allestimento fori di carotaggio con tubazione inclinometrica

Dato l'alto valore economico delle opere da realizzare, è fondamentale verificare la presenza o meno di fenomeni di instabilità mediante l'esecuzione di un monitoraggio inclinometrico; tale monitoraggio permette infatti di rilevare spostamenti incipienti, anche minimi, le cui evidenze non sarebbero osservabili dal rilievo geomorfologico di campagna.

Allestimento fori di carotaggio con piezometri

L'installazione dei piezometri è necessaria per la ricostruzione dei livelli d'acqua nel terreno. La presenza di acqua influenza infatti in modo determinante il progetto delle opere e, data la natura dei terreni presenti rappresenta, assieme alla morfologia dei luoghi, il principale fattore di predisposizione al dissesto.

Prove di laboratorio

Sui campioni indisturbati, prelevati dai carotaggi, dovranno essere eseguite le prove di laboratorio per determinare i parametri geotecnici dei terreni.

In base alla natura dei litotipi presenti in bibliografia si indicano le prove minime necessarie ad una corretta parametrizzazione:

- Analisi granulometrica completa;
- Determinazione dei parametri fisici e dei limiti di Atterberg;
- Prove di taglio diretto o triassiali necessarie alla determinazione dei parametri di resistenza drenata, c' e φ' , per le verifiche di lungo termine;
- Prove triassiali UU o ad espansione laterale libera ELL necessarie alla determinazione del parametro di resistenza non drenata, c_u , per le verifiche a breve termine;
- Prove edometriche finalizzate alla valutazione dei parametri di compressibilità dei terreni e dei cedimenti attesi.

Indagine sismica

Dovranno essere condotte specifiche indagini sismiche, dirette o indirette, necessarie alla determinazione della categoria di sottosuolo, in ottemperanza a quanto previsto dal D.P.G.R. n. 36/R del 09/07/2009 "Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e costruzioni in zone soggette a rischio sismico", nonché relative Norme Tecniche per le Costruzioni. Le prove da eseguire potranno consistere in stendimenti sismici tipo MASW accoppiati a prove Down-Hole nei fori di sondaggio.