



INTERVENTO DI RECUPERO E RIQUALIFICAZIONE DEL:  
 "PARCO COLLE DELL'INFINITO" - ANNUALITA' 2017

1° LOTTO FUNZIONALE - Lavori all'interno del parco storico del 1937  
 - Recupero dell'Orto ex-Convento S.Stefano

2° LOTTO PRESTAZIONALE

*Lavori di recupero strutturale ed architettonico del Parco Storico.*

PROGETTO ESECUTIVO OPERE STRUTTURALI

RELAZIONE GEOTECNICA

"PARCO COLLE DELL'INFINITO"

Progettisti opere architettoniche:

- Arch. Jessica Tarducci
- Ing. Stefano Romanelli
- Ing. Chiara Forconi
- Geom. Marco Magnaterra

Progettista opere strutturali:

- Ing. Marco Bravi

TAV

PROPRIETA':  
 COMUNE DI RECANATI (MC)  
**R.U.P. Arch. Maurizio Paduano**

GT

DATA:  
 LUGLIO 2017  
 SCALA:

SERIE:

ARCH



SOMMARIO

● <i>Premessa</i> .....	2
● <i>Generalità</i> .....	2
● <i>Normativa di riferimento</i> .....	3
● <i>Indagini Geotecniche</i> .....	3
● <i>Ubicazione Prove e Sondaggi</i> .....	4
● <i>Caratterizzazione Geologica e Geomorfologica</i> .....	5
● <i>Caratterizzazione Morfologica</i> .....	6
● <i>Caratterizzazione Idrogeologica</i> .....	7
● <i>Caratterizzazione Litologica</i> .....	8
● <i>Sezioni Geologiche e Geotecniche</i> .....	9
● <i>Caratterizzazione Geotecnica delle unità litotecniche</i> .....	11
● <i>Caratterizzazione del sito di costruzione e del terreno di fondazione..</i>	12
● <i>Verifiche della sicurezza e delle prestazioni</i> .....	14
● <i>Pericolosità Sismica</i> .....	16
● <i>Azioni Ambientali e naturali</i> .....	19
<u><i>Azione del sisma</i>.....</u>	<u>19</u>
<i>i. Spettro Elastico</i> .....	22
<i>ii. Spettri di progetto</i> .....	23
<i>Stato Limite di Salvaguardia della vita SLV:</i> .....	23
<i>Stato Limite di Danno SLD:</i> .....	24
<i>Stato Limite di Operatività SLO:</i> .....	25
● <i>Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi per la PARATIA:</i>	26

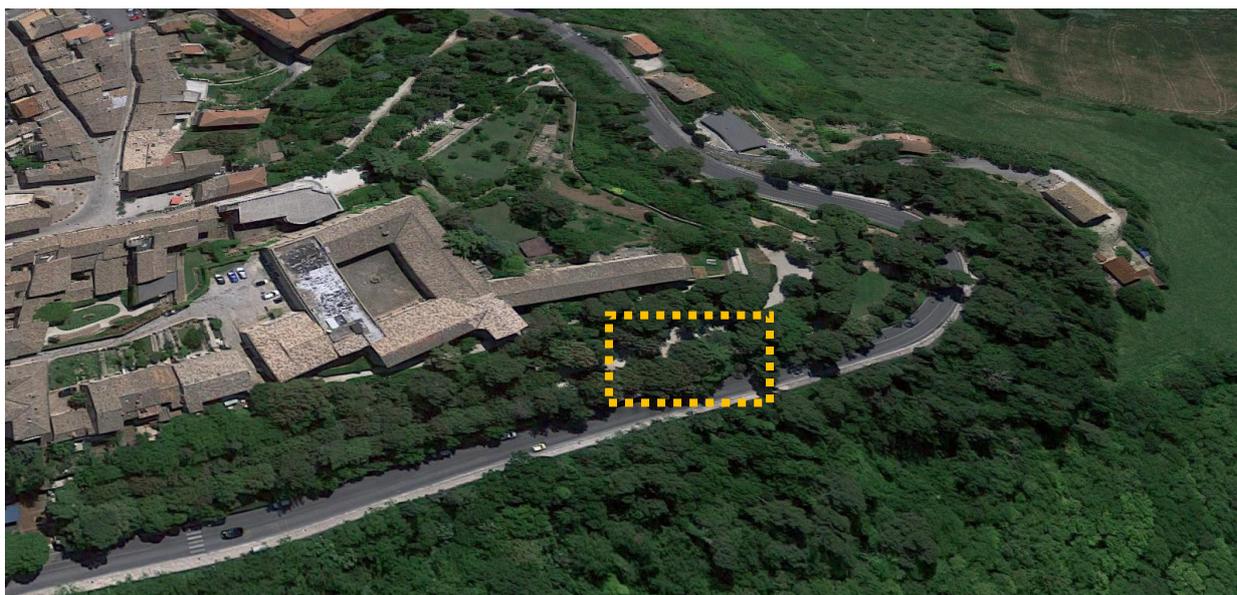
## RELAZIONE GEOTECNICA

### ● *Premessa*

Il sottoscritto Ing. Marco Bravi, iscritto all'albo professionale degli Ingegneri della Provincia di Macerata al n° A1010, con studio in Recanati (MC), in via Cesare Maliani n. 4, cap. 62019 - P. IVA. 01511710434, è stato incaricato dal Comune di Recanati, con Determina Dirigenziale n.607 del 14 luglio 2017, di redigere il progetto esecutivo delle opere strutturali previste tra i lavori del 2° Lotto prestazione (Lavori di recupero strutturale ed architettonico del Parco storico - ) nell'ambito dell'intervento di Recupero e riqualificazione del Parco "Colle dell'infinito" 1° Lotto funzionale. Annualità 2017. CUP: H22C17000000001, facente parte del Piano Strategico "Grandi Progetti Beni Culturali" Annualità 2017-2018.

### ● *Generalità*

L'intervento verrà realizzato nel Comune di Recanati (MC), presso il parco del Colle dell'Infinito, lungo la circumvallazione comunale, in via Colle dell'Infinito e Con la presente relazione si sono analizzate le caratteristiche geotecniche dell'area d'intervento.



Si è, inoltre, supportata la progettazione strutturale.

La relazione è stata redatta in ottemperanza alle Leggi vigenti in materia.

● **Normativa di riferimento**

Decreto Ministeriale 14.01.2008

*Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni*

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

*Istruzioni per l'applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.  
Circolare 2 febbraio 2009.*

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

*Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.*

*Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007*

Eurocodice 8 (1998)

*Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture*

*Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)*

Eurocodice 7.1 (1997)

*Progettazione geotecnica – Parte I : Regole Generali . - UNI*

Eurocodice 7.2 (2002)

*Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI*

Eurocodice 7.3 (2002)

*Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito(2002). UNI*

● **Indagini Geotecniche**

Per ciò che riguarda l'aspetto geologico e la determinazione dell'andamento dei litotipi presenti nella zona d'interesse, è stata sviluppata una campagna d'indagine sviluppata in più fasi caratterizzata da:

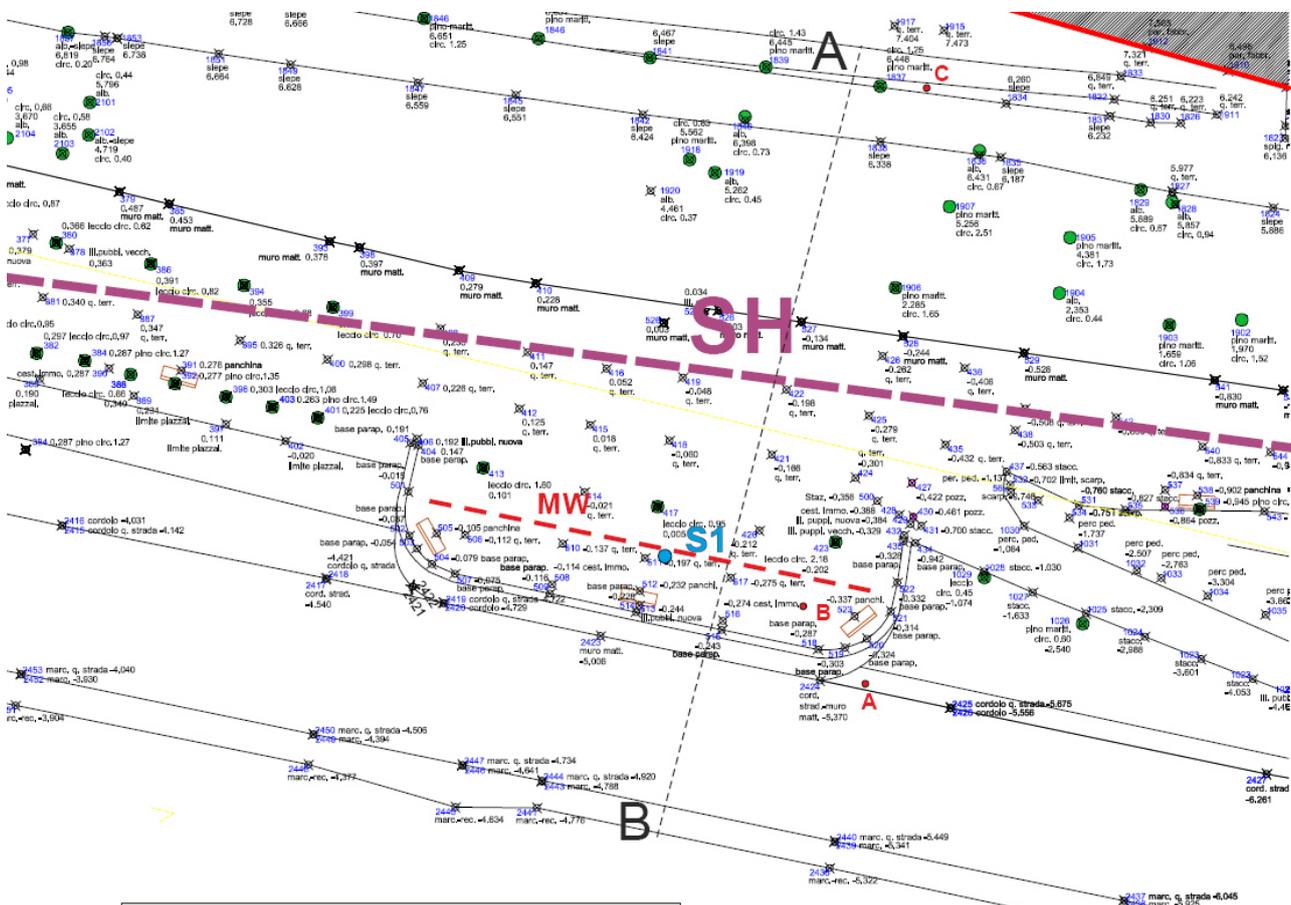
- Ricerca bibliografica iniziale consultando le Carte degli studi geologi del PRG, la Carta dei vincoli del PPAR, la carta del PAI

“ RELAZIONE GEOTECNICA ”

- Sopralluogo Preliminare
- rilevamento di superficie cartograficamente riportato in Tav. 3 eseguito in occasione dell'adeguamento del PRG al PTC 2005 (Geol. Fabio Mariani).
- Esecuzione di n. 4 Prove Penetrometriche Dinamiche continue (dpA, dpB, dpC, dpD), mediante penetrometro dinamico superpesante secondo lo standard DPSH;
- Esecuzione di n. 2 Prove Penetrometriche Statiche (cpt E e cpt1) mediante penetrometro statico da 200 KN di spinta e punta meccanica Begemann;
- Esecuzione di n. 1 prospezione MASW;
- Esecuzione di n. 1 prospezione sismica a rifrazione SH.

Si veda la relazione geologica allegata, redatta dal Dott. Geol. Andrea Paoletti.

● **Ubicazione Prove e Sondaggi**



“ RELAZIONE GEOTECNICA ”

<b>A-B</b>	Traccia sezione
<b>S1</b>	Sondaggio geognostico
<b>• B</b>	Prova Penetrometrica Dinamica DPSH
<b>MW</b> 	Prospezione sismica MASW
<b>SH</b> 	Prospezione Sismica rifrazione SH

### Ubicazione Prove Penetrometriche



### ● *Caratterizzazione Geologica e Geomorfológica*

L'area in esame è posta nella immediata adiacenza del nucleo storico dell'abitato di Recanati, lungo la parte alta del versante ovest.

Geologicamente, la zona presenta un Substrato costituito da un'alternanza stratificata di Argille Limose leggermente marnose e Sabbie in veli, livelli e/o strati subordinati.

La successione si presenta dunque arenacea nella parte sommitale del versante e pelitica nella fascia al di sotto di quota 275 metri; nella zona di passaggio si individua una fascia arenaceo-pelitica.

**“ RELAZIONE GEOTECNICA ”**

Localmente sono state rilevate giaciture discordanti con l'assetto regionale e anomale variazioni geolitologiche laterali che possono essere messe in relazione con piccole faglie di discontinuità che hanno probabilmente condizionato la morfologia della zona, creando anche dei dissesti gravitativi puntuali che presentano modeste evidenze in superficie. Situazioni che possono incrementare localmente lo stato di alterazione dei litotipi riducendone anche le caratteristiche geomeccaniche.

Infatti gli strati più superficiali si presentano piuttosto alterati e decompressi, con giacitura da irregolare ad inclinata; il grado di alterazione e fessurazione è decrescente con l'aumentare della profondità, non a caso gli strati più profondi sono più compatti, caratterizzati da argille da nocciola a grigio-azzurre, da poco alterate ad integre, stratificate con livelli o veli di; la fessurazione diminuisce ulteriormente con la profondità.

**● Caratterizzazione Morfologica**

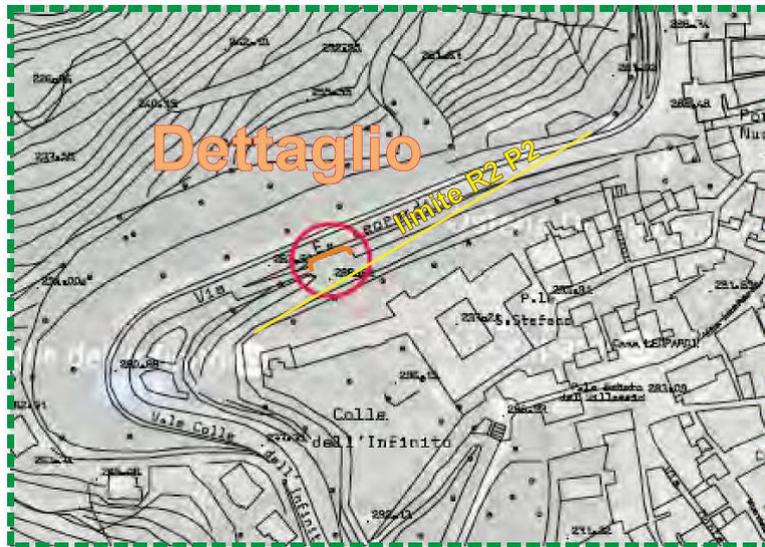
Localmente la topografia presenta una pendenza piuttosto accentuata verso NNW e il versante sottostante ha pendenza dell'ordine di 23°.

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino (P.A.I.) perimetra alle tavole RI39c e RI46d, delle quali uno stralcio è riportato di seguito, vari ambiti di versante (adv) interessati da dissesti gravitativi, a vari livelli di Pericolosità e Rischio. Il più prossimo è classificato con codice F-16-0045 a Pericolosità (P2) e Rischio Medio (R2).



## “ RELAZIONE GEOTECNICA ”

Questo include planimetricamente i dissesti sopra descritti ed il suo perimetro va a comprendere anche l'area di sedime dell'intervento in progetto.



L'area di sedime dell'intervento in progetto si ubica al limite della citata corona di frana. Non ci sono evidenze, né testimonianze né documenti storici che indicano l'esistenza di instabilità geomorfologica in corrispondenza del sedime del muro da consolidare.

I dissesti geomorfologici lungo il versante sottostante saranno oggetto di apposito progetto di mitigazione.

### ● *Caratterizzazione Idrogeologica*

Nel corso delle prove geotecniche in sito eseguite non sono state riscontrate manifestazioni idriche.

E' comunque probabile l'esistenza di una modesta falda idrica di versante a valle della Strada Prov.le, dove è stato individuato un pozzo con livello idrico a 2,5 m da piano campagna.

La permeabilità dei terreni presenti è alquanto variabile ed è condizionata dalla locale presenza della frazione sabbiosa (permeabilità primaria), ma anche dalle discontinuità strutturali e dalla fessurazione dei sedimenti (permeabilità secondaria).

In generale i terreni rinvenuti hanno nel complesso una permeabilità primaria piuttosto buona.

Comunque discontinuità strutturali presenti sopra citate influenzano significativamente la permeabilità, creando infatti delle zone di drenaggio che vanno a complicare la circolazione idrica della zona, differenziando zone anche molto vicine.

La Copertura antropica presenta una buona permeabilità, variabile in base alla natura e granulometria dei diversi materiali presenti;

Le Coltre eluvio-colluviale presentno invece permeabilità bassa per le porzioni più limoso-argillose, media per le porzioni più sabbiose;

Lo strato di Formazione arenacea presenta permeabilità elevata mentre lo strato di Formazione pelitico-arenacea variabile a seconda del grado di alterazione rinvenuto.

### ● **Caratterizzazione Litologica**

Il sondaggio S1, le prove penetrometriche Dinamiche e Statiche eseguite, hanno permesso di definire la seguente successione litostratigrafica :

#### **Coltre Antropica / Riporto:**

costituito da terreni eterogenei con inclusioni di natura varia.

Spessore strato da 1.40 a 2.80 m

#### **Formazione Arenacea Alterata:**

Sbbia fine e media di colore giallastro, localmente limosa e con elementi ghiaiosi minuti; sciolta.

Presente fino a 5,2÷6,7 metri dalla sommità del terrapieno a monte del muro.

In dpA è identificabile

fino a 2,6 m con diversi gradi di addensamento.

#### **Formazione Arenacea Poco Alterata - Inalterata:**

sabbia da media a fina ben addensata, stratificata, con livelli variamente cementati e livelletti ghiaiosi a grana fina calcarei e silicei.

Individuata fino a 12,3 m nel sondaggio S1.

#### **Formazione Pelitico-Arenacea:**

argille limose stratificate con sabbia in vari rapporti, prevale la porzione pelitica.

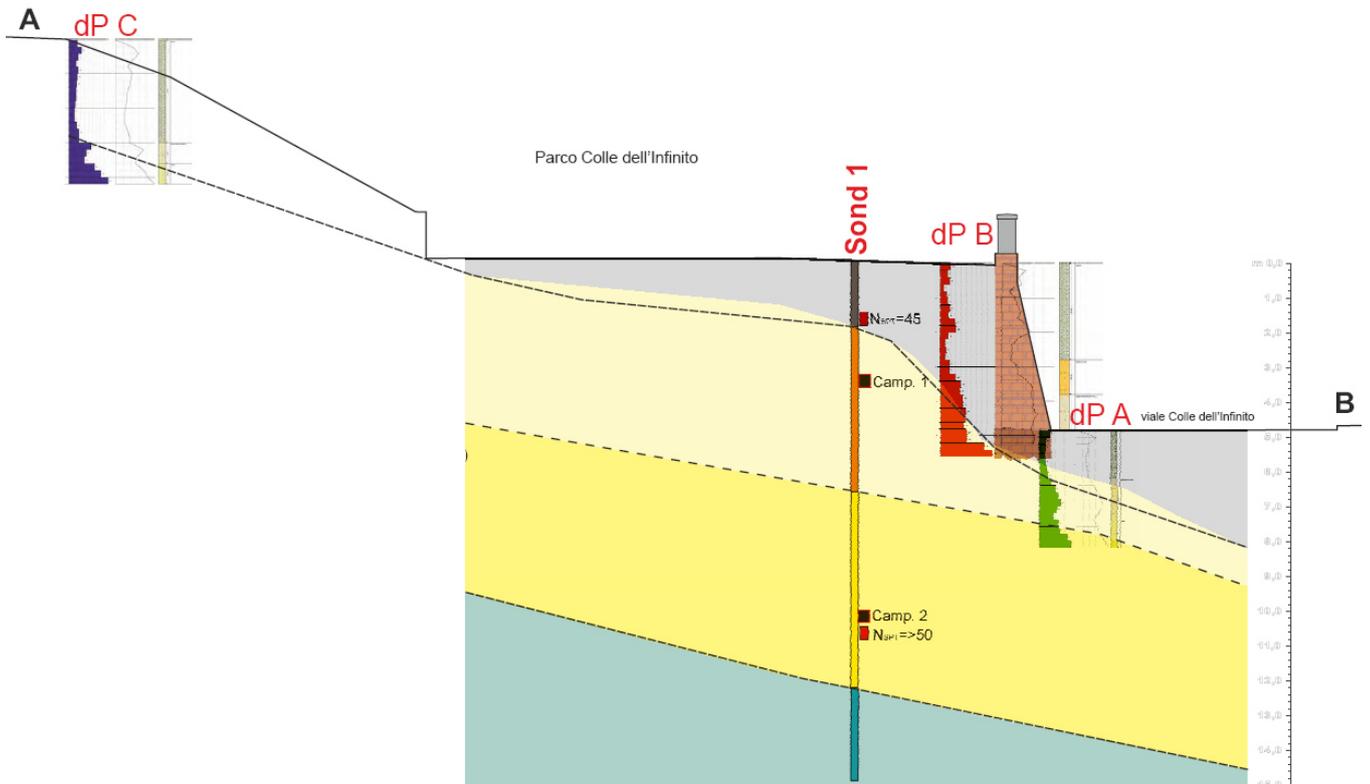
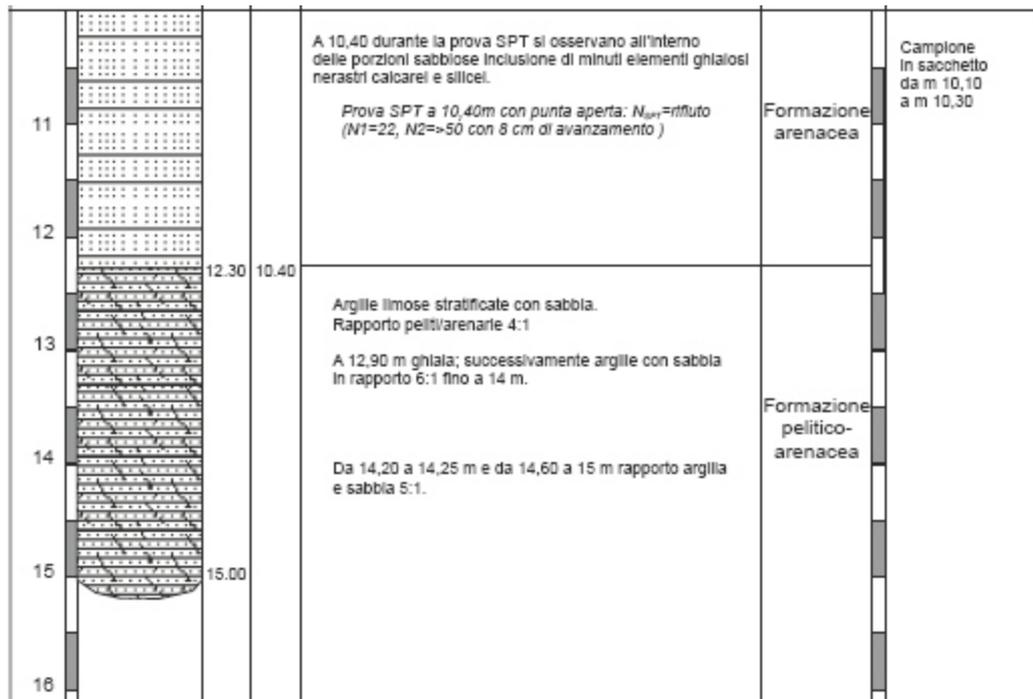
“ RELAZIONE GEOTECNICA ”

● *Sezioni Geologiche e Geotecniche*

Sondaggio S1

STRATIGRAFIA	QUOTE		LITOLOGIA	GEOLOGIA	ANNOTAZIONI
	P.c.	Parz.			
1.0	0.15	0.15	Limo sabbioso bruno scuro	Riporto	Foro rivestito fino a 1,60 m.
			Limo sabbioso bruno chiaro con frammenti di laterizi; elementi ghiaiosi di 0,5+2 cm di diametro.  Prova SPT a 1,50m con punta chiusa: $N_{60}=45$ ( $N1=10, N2=20, N3=25$ )		
2.0	1.60	1.45	Sabbia limosa ben addensata con parti pseudocoeseive di color bruno-giallastro.	Formazione arenacea	Campione in sacchetto da m 3,40 a m 3,60
	1.90	0.30	Sabbia fine e media, giallastra, limosa con minuti elementi ghiaiosi e silicei di 3+4 mm. Materiale spesso sciolto, talora intervallato da strati cementati con struttura sedimentaria piano-parallela suborizzontale.  Da m 4,50 formazione più addensata, colorazione della sabbia è beige-ocracea con inclusi elementi silicei minuti.  A 6,60 m elementi ghiaiosi di 3 cm di diametro.  Da 6,70 m diminuisce alterazione. Livelli cementati arealmente disposti in modo irregolare; si evidenziano tra 6,30+7,30 e tra 7,60+8,0 m, successivamente a 8,50, 8,90, 9,30 m.		
3.0					
4.0					
5.0					
6.0					
7.0					
8.0					
9.0					
10.0					

“ RELAZIONE GEOTECNICA ”



**“ RELAZIONE GEOTECNICA ”**

● **Caratterizzazione Geotecnica delle unità litotecniche**

Dalla Relazione Geologica, redatta dal Dott. Geol. Andrea Paoletti allegata, si assumono i parametri relativi alla geomorfologia e litostratigrafia.

**Riporto** **(litotipo “A”)**

Peso di volume	$\gamma$	$\approx$	1.85	(t/m <sup>3</sup> )
Angolo attrito interno	$\phi$	=	23° - 26°	(gradi)
Coesione drenata	$C'$	=	0	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Coesione non drenata	$C_u$	=	0.00	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Modulo di Poisson	$\nu$	=	0.40 – 0.43	

**Sabbie Variamente Limose / Sabbie Alterate** **(litotipo “B”)**

Peso di volume	$\gamma$	$\approx$	1.97 – 2.02	(t/m <sup>3</sup> )
Angolo attrito interno	$\phi$	=	26° - 31°	(gradi)
Coesione drenata	$C'$	=	0.00 – 0.02	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Coesione non drenata	$C_u$	=	0.00	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Modulo di Poisson	$\nu$	=	0.41 – 0.45	

**Sabbie Variamente Cementate / Sabbie da poco Alterate a Inalterate** **(litotipo “C”)**

Peso di volume	$\gamma$	$\approx$	2.00 – 2.05	(t/m <sup>3</sup> )
Angolo attrito interno	$\phi$	=	36° - 39°	(gradi)
Coesione drenata	$C'$	=	0.02 – 0.20	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Coesione non drenata	$C_u$	=	0.00	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Modulo di Poisson	$\nu$	=	0.41 – 0.45	

**Argille e Sabbie Stratificate / Peliti Prevalenti** **(litotipo “D”)**

Peso di volume	$\gamma$	$\approx$	2.00 – 2.05	(t/m <sup>3</sup> )
Angolo attrito interno	$\phi$	=	26° - 27°	(gradi)
Coesione drenata	$C'$	=	0.20 – 0.25	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Coesione non drenata	$C_u$	=	1.90 – 2.30	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Modulo di Poisson	$\nu$	=	0.35 – 0.40	

**“ RELAZIONE GEOTECNICA ”**

● **Caratterizzazione del sito di costruzione e del terreno di fondazione**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3.

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 (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<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 massimo pari a 3 m.
<b>B</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 30 m, 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).
<b>C</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, 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 $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

**Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.**

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

I valori dei parametri investigati fanno ricadere i terreni di sottosuolo alla **categoria “ B ”**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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 $i > 30^\circ$

Nel caso specifico, il nostro situ appartiene alla **categoria “ T2 ”**

## “ RELAZIONE GEOTECNICA ”

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.**

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (v. tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Le forme spettrali vengono definite, per ciascuna delle probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR, partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag accelerazione orizzontale massima al sito;

Fo 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.

---

- ANALISI DEL TERRENO

**Dati generali**

Latitudine: 43.398579

Longitudine: 13.549911

Classe d'uso: Classe III

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T2

● **Verifiche della sicurezza e delle prestazioni**

Le verifiche della sicurezza sono condotte nei riguardi dello stato limite ultimo e dello stato limite di esercizio. Il rispetto dei vari stati limite viene considerato conseguito dalla N.T.C, nei confronti di tutti gli STATI LIMITE ULTIMI (SLU) quando siano soddisfatte le Verifiche relative al solo stato Limite di Salvaguardia (SLV); mentre la verifica nei confronti di tutti gli STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE), risulta soddisfatta, quando siano rispettate le verifiche relative al solo stato Limite di Danno (SLD).

Le verifiche della sicurezza sono condotte nei riguardi dello stato limite ultimo e dello stato limite di esercizio.

Le verifiche nei riguardi dello stato limite ultimo (SLU) previste dalla Normativa sono:

**STR** - *raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi*

*di fondazione;*

**GEO** – *raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con*

*sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura;*

Per quanto riguarda le opere di sostegno gli stati limite si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono le opere stesse.

**“ RELAZIONE GEOTECNICA ”**

---

- Paratie

*SLU di tipo geotecnico (GEO)*

- collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera;
- collasso per carico limite verticale;
- instabilità globale dell' insieme terreno-opera;
- instabilità del fondo di scavo;
- sifonamento del fondo di scavo;

*SLU di tipo strutturale (STR)*

- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Le verifiche nei riguardi degli stati limite di esercizio si riferiscono agli spostamenti dell'opera di sostegno che possono raggiungere dei valori critici che possano comprometterne la funzionabilità.

La verifica della stabilità globale dell'insieme terreno-opera deve essere effettuata secondo l'Approccio 1 [ Combinazione 2:  $A2 + M2 + R2$  ], tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche saranno eseguite seguendo almeno una delle due seguenti combinazioni:

- Combinazione 1:  $(A1+M1+R1)$
- Combinazione 2:  $(A2+M2+R1)$

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

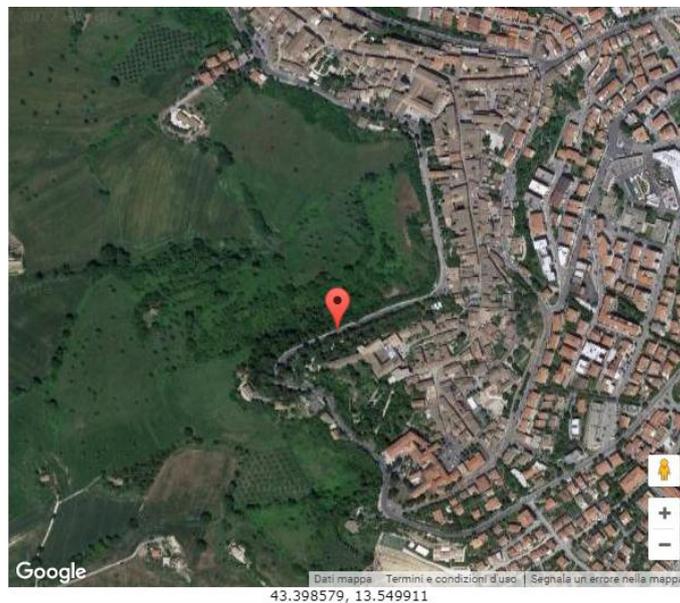
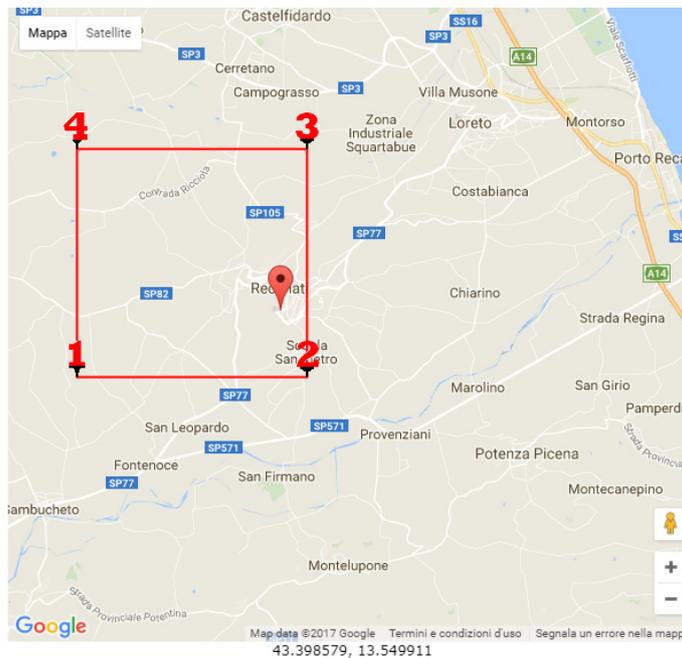
**Tabella 6.8.I** – *Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.*

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

“ RELAZIONE GEOTECNICA ”

● **Pericolosità Sismica**

Definizione della pericolosità sismica di base secondo le NTC 2008 tramite una griglia regolare che copre tutto il territorio nazionale. Nei nodi della griglia l'INGV ha calcolato l'accelerazione sismica massima attesa, sulla base di quest'ultima vengono calcolati i parametri di pericolosità sismica:



Sito 1	ID: 21867	Lat: 43,3850	Lon: 13,4900	Distanza: 5175,886
Sito 2	ID: 21868	Lat: 43,3849	Lon: 13,5588	Distanza: 1744,915
Sito 3	ID: 21646	Lat: 43,4349	Lon: 13,5588	Distanza: 3990,452
Sito 4	ID: 21645	Lat: 43,4350	Lon: 13,4900	Distanza: 6296,928

Punti della maglia di Riferimento

## " RELAZIONE GEOTECNICA "

LATITUDINE	LONGITUDINE
ED50: 43.399526	ED50: 13.550835
WGS84: 43.398579	WGS84: 13.549911
Classe del' edificio	III
Vita nominale	50 anni

Caratterizzazione Sismica del situ in questione

Categoria Sottosuolo	B
Categoria Topografica	T2
Periodo di Riferimento	75 anni
Coefficiente Cu	1.5

Parametri di pericolosità Sismica

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	45	0,060	2,504	0,282
Danno (SLD)	75	0,077	2,529	0,285
Salvaguardia vita (SLV)	712	0,212	2,507	0,309
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0,277	2,501	0,321
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1.200	1.200	1.190	1.120
Cc	1.420	1.410	1.390	1.380
St	1.200	1.200	1.200	1.200

## " RELAZIONE GEOTECNICA "

Kh	0.016	0.020	0.094	0.115
Kv	0.008	0.010	0.047	0.058
Amax	0.845	1.091	2.971	3.649
Beta	0.180	0.180	0.310	0.310

Coefficienti Sismici Muri Sostegno

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1.200	1.200	1.190	1.120
Cc	1.420	1.410	1.390	1.380
St	1.200	1.200	1.200	1.200
Kh	0.050	0.064	0.174	0.214
Kv	0.000	0.000	0.000	0.000
Amax	0.845	1.091	2.971	3.649
Beta	0.575	0.575	0.575	0.575

Coefficienti Sismici Paratie

● **Azioni Ambientali e naturali**

Azione del sisma – §3.2 D.M. 14/01/2008 ‘Norme Tecniche per le Costruzioni’

L’azione sismica di progetto è funzione della zona sismica a cui appartiene il sito a cui viene assegnata una determinata accelerazione orizzontale massima convenzionale al suolo di categoria A.

Le azioni di calcolo sono quattro in funzione dello Stato Limite:

- STATI LIMITE DI ESERCIZIO:
  1. Stato limite di operatività (SLO):  $P_{Vr} = 81\%$ ;
  2. Stato limite di danno (SLD):  $P_{Vr} = 63\%$ ;
- STATI LIMITE DI ESERCIZIO:
  3. Stato limite di salvaguardia della vita (SLV):  $P_{Vr} = 10\%$ ;
  4. Stato limite di prevenzione del collasso (SLC):  $P_{Vr} = 5\%$ ;

L’azione di calcolo viene dedotta da uno spettro di risposta normalizzato che fornisce l’accelerazione da applicare alle masse  $G_k + \sum_i (\psi_{2i} Q_{ki})$  relative ai carichi gravitazionali presenti sulla struttura.

Il D.M. 14/01/2008 ‘Norme Tecniche per le Costruzioni’ fornisce le relazioni matematiche per la definizione degli spettri di risposta elastici e di progetto che variano a seconda degli Stati Limite considerati. Essi sono funzione del periodo T dell’oscillatore semplice.

Vediamo di seguito i parametri per la definizione degli spettri sismici di riferimento.

Il D.M. 14/01/2008 fornisce diverse formule per rappresentare lo spettro di risposta con una struttura del tipo:

$$S_d(T) = F(\text{terreno}) \times F(\text{smorzamento}) \times a_g$$

dove  $S_d(T)$  sta a significare che il valore dello spettro è funzione del periodo (quindi del tempo) espresso in secondi ed è dato dal prodotto di 3 diversi fattori:

- Il fattore intensità del sisma, rappresentato da  $a_g$  (accelerazione al suolo); quanto maggiore è l’accelerazione al suolo, tanto maggiore è il valore di  $S_d(T)$  e, quindi, delle forze inerziali che nascono.

## “ RELAZIONE GEOTECNICA ”

- Il fattore che dipende dalla stratificazione del terreno di fondazione (S).
- Il fattore di smorzamento  $\xi$ ; ogni struttura ha caratteristiche intrinseche in base alle quali il movimento oscillatorio iniziale viene contrastato da uno smorzamento il cui effetto è quello di diminuire sia la durata che l'intensità degli spostamenti.

Gli spettri fondamentali definiti dal D.M. 14/01/2008 sono i seguenti:

**Spettro di risposta elastico:** tale spettro può essere inteso come lo spettro che bisognerebbe considerare se si volesse mantenere la struttura in campo elastico. I suoi valori sono infatti i più alti, a riflettere il fatto che se si volesse dimensionare la struttura in campo elastico bisognerebbe considerare valori elevati delle forze esterne.

**Spettro di risposta allo SLU:** tale spettro è quello che bisogna considerare per verificare la struttura e differisce dal precedente per l'introduzione di un concetto importante e innovativo sintetizzato dal fattore di struttura  $q$ .

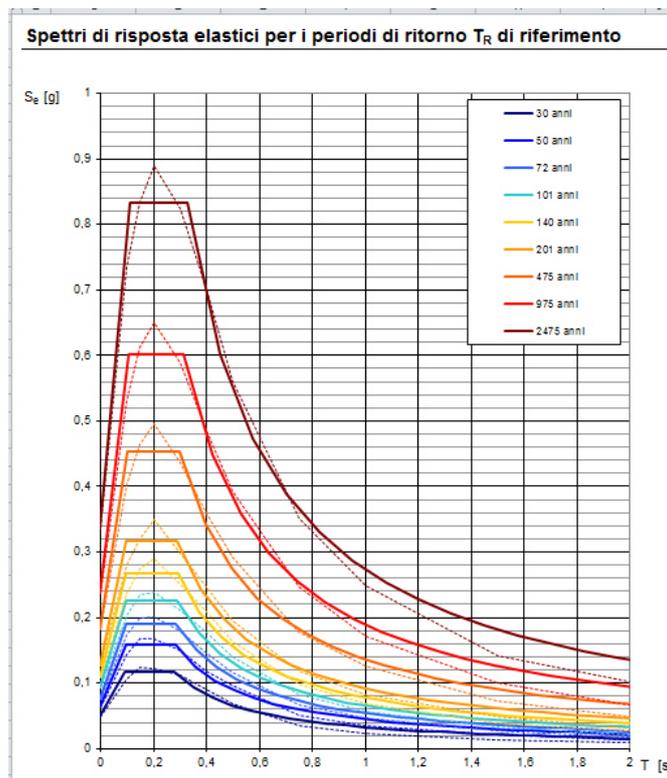
**Spettro di risposta allo SLD:** tale spettro è ottenuto semplicemente da quello elastico dividendo ogni ordinata per il valore 2,5.

Gli spettri sono costituiti da 4 tratti, ognuno dei quali ha un'espressione matematica diversa. Questi tratti sono delimitati dai valori del periodo  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  che sono funzione del terreno, o meglio, della categoria del suolo. Una volta determinato il periodo di oscillazione  $T$  della struttura e individuato in che range ricade, si ha la relazione che permette di ricavare la sollecitazione  $S_d(T)$ . Caratteristica principale di tutti gli spettri è che per valori alti del periodo si hanno valori bassi delle forze in gioco, cioè una struttura molto deformabile è soggetta a forze inerziali minori rispetto a una struttura rigida.

### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0,049	2,398	0,281
50	0,063	2,537	0,282
72	0,075	2,542	0,284
101	0,093	2,430	0,291
140	0,109	2,445	0,292
201	0,128	2,479	0,291
475	0,183	2,482	0,300
975	0,238	2,530	0,316
2475	0,337	2,471	0,327

“ RELAZIONE GEOTECNICA ”



Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento.

I valori di  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  e  $S$  da assumere, salvo più accurate determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per la categoria del suolo di fondazione scelta sono riassunte in seguito.

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$\begin{array}{l|l}
 0 \leq T < T_B & S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_a(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{array}$$

Il primo periodo fondamentale di vibrazione viene determinato con la relazione:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{0.005 \cdot H}{a_g \cdot S}}$

dove:

- $H$  è l'altezza totale dell'edificio espressa in metri,
- $a_g$  è il parametro legato alla categoria di zona sismica,
- $S$  è il parametro legato alla categoria del suolo di fondazione.

“ RELAZIONE GEOTECNICA ”

**i. Spettro Elastico**

Lo spettro elastico, essendo  $T_C < T < T_D$ , è definito dall'espressione:

$$S_d(T_1) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_c}{T}$$

dove  $\eta$  è il fattore che tiene conto di un coefficiente di smorzamento  $\xi$  ( $\eta=1$  per  $\xi=5$ ).

**FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE**

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_n$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_u$   info

---

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO -  $P_{VR} = 81\%$   info  
 SLD -  $P_{VR} = 63\%$   info

Stati limite ultimi - SLU { SLV -  $P_{VR} = 10\%$   info  
 SLC -  $P_{VR} = 5\%$   info

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

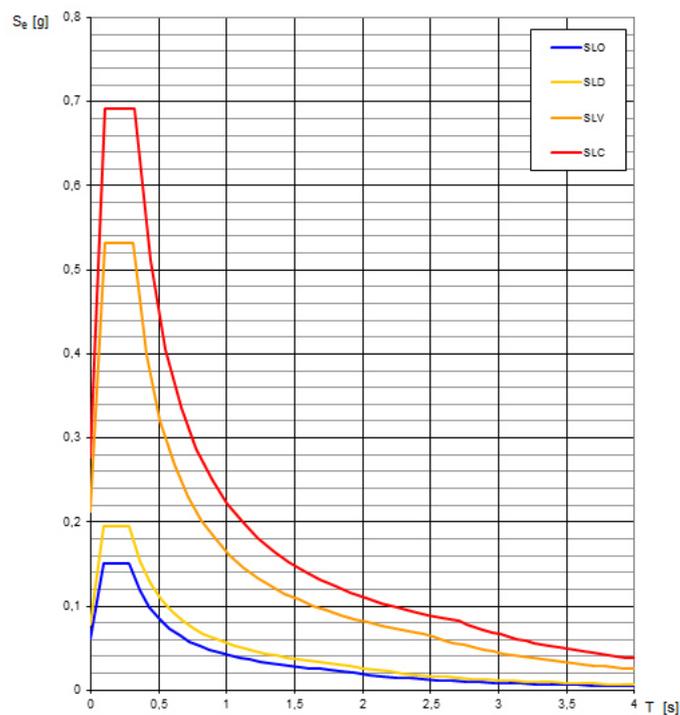
LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

**Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite**



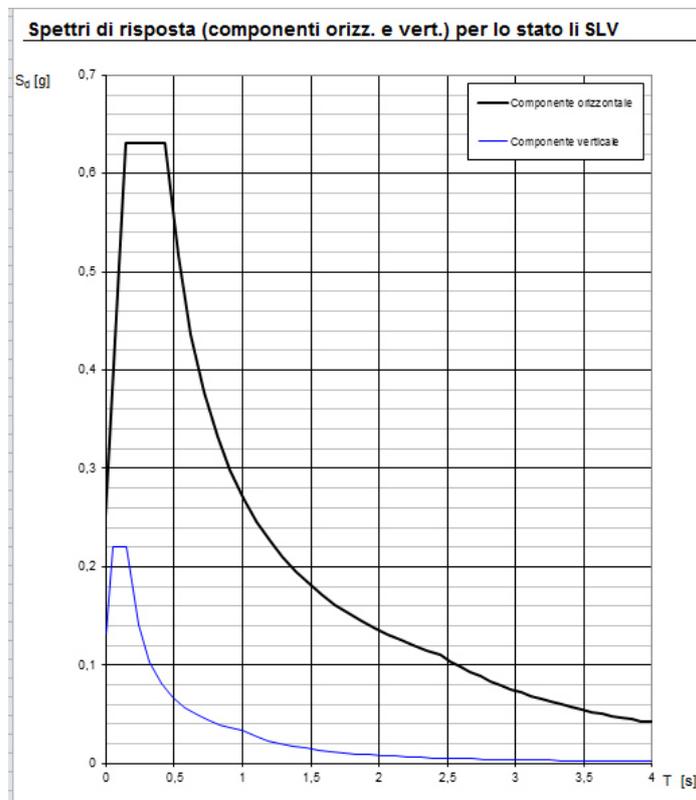
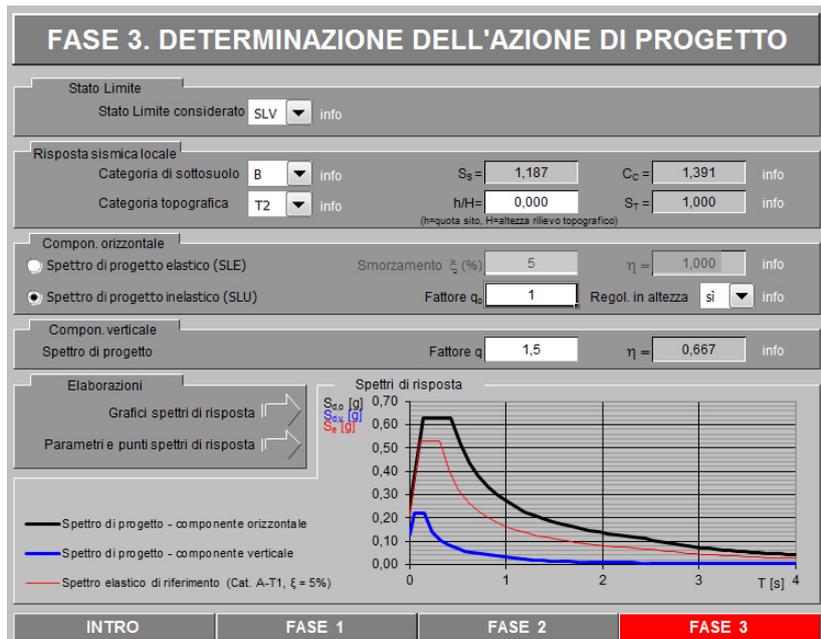
Spettri di risposta elastici per i diversi stati limite.

“ RELAZIONE GEOTECNICA ”

ii. Spettri di progetto

Stato Limite di Salvaguardia della vita SLV:

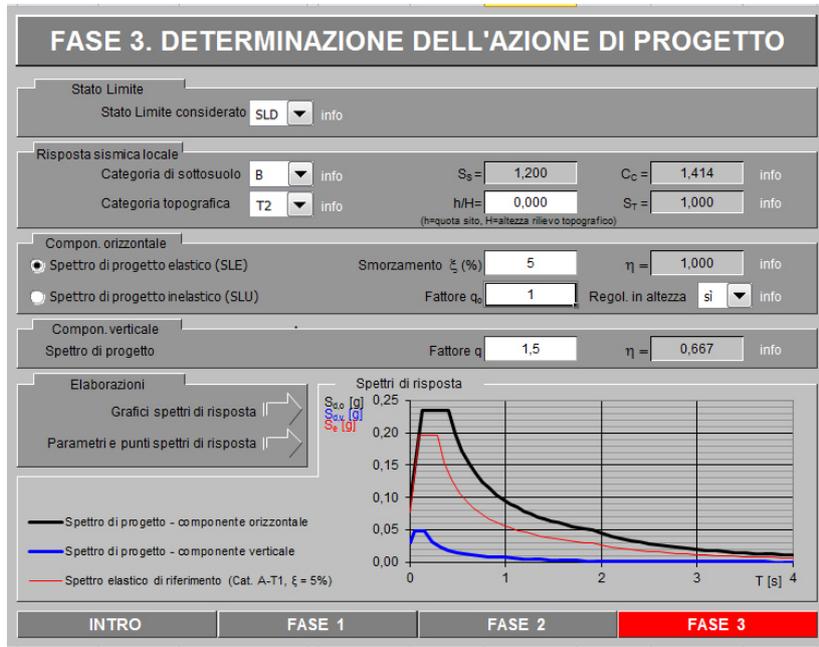
$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_c}{T} \cdot \frac{1}{q}$$



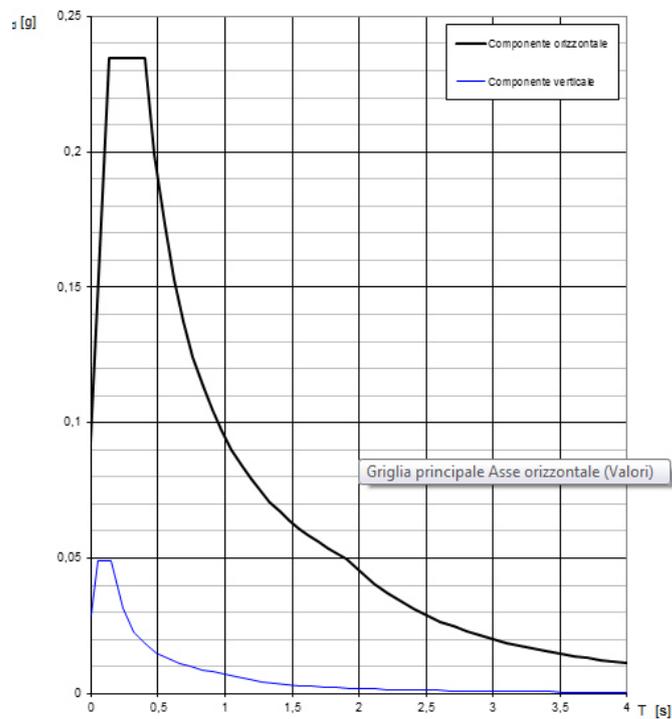
“ RELAZIONE GEOTECNICA ”

**Stato Limite di Danno SLD:**

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \frac{T_c}{T} \cdot \frac{1}{2.5}$$



**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato li SLD**



“ RELAZIONE GEOTECNICA ”

Stato Limite di Operatività SLO:

**FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO**

Stato Limite  
Stato Limite considerato **SLO** info

Risposta sismica locale  
Categoria di sottosuolo **B** info  $S_B = 1,200$   $C_c = 1,417$  info  
Categoria topografica **T2** info  $h/H = 0,000$   $S_T = 1,000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale  
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%) **5**  $\eta = 1,000$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_0$  **1** Regol. in altezza **sì** info

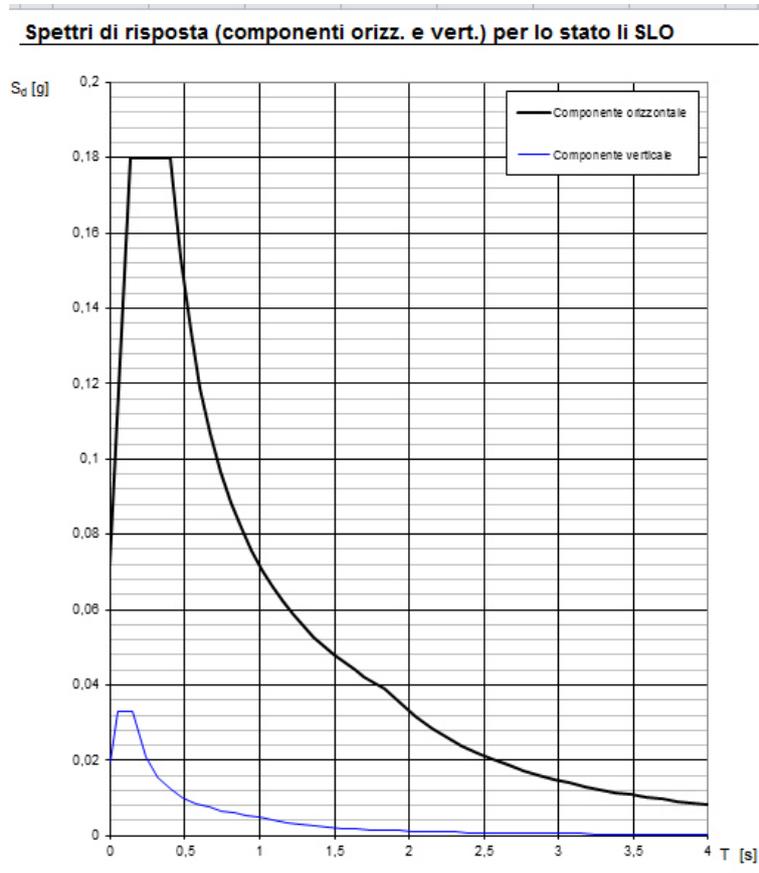
Compon. verticale  
Spettro di progetto Fattore  $q$  **1,5**  $\eta = 0,667$  info

Elaborazioni  
Grafici spettri di risposta  
Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

— Spettro di progetto - componente orizzontale  
— Spettro di progetto - componente verticale  
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**



● **Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi per la PARATIA:**

Per quanto riguarda l'interazione suolo-struttura i pali sono stati considerati come aste monodimensionali che interagiscono col terreno sia in direzione dell'asse longitudinale che nella direzione trasversale.

Il comportamento del terreno è può essere considerato elastico lineare o non lineare (in realtà il terreno è caratterizzato da una sensibile non linearità anche per bassi valori dei carichi sia longitudinali che trasversali).

Si è scelto pertanto di semplificare il calcolo dei pali schematizzandoli, ai fini del calcolo dell'intera struttura, con rigidezze lineari o non lineari di tipo statico applicabili a qualsiasi nodo K appartenente al piano di fondazione come indicato nella figura precedente. La rigidezza orizzontale da applicare al nodo K si ottiene, nel caso di terreno stratificato come quello indicato in figura, discretizzando il palo in conci ed applicando alle loro estremità delle molle che traducono la reazione elastica del terreno sulla base di un coefficiente di Winkler che può essere costante o linearmente variabile all'interno del singolo strato.

La rigidezza orizzontale come detto è stata considerata variabile con la profondità ma costante all'interno dello stesso strato secondo il seguente schema:

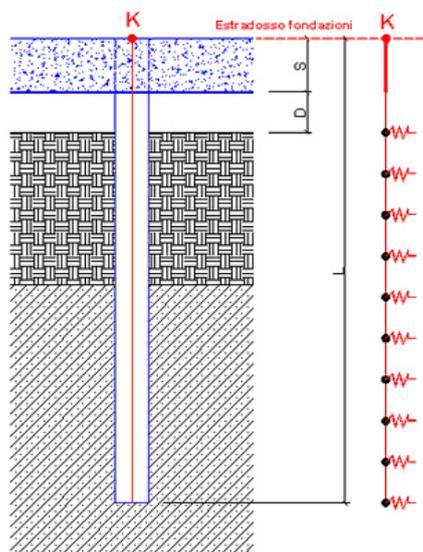


Figura - Palo come trave alla Winkler