



Provincia di Prato

Area Tecnica

SERVIZIO ASSETTO E GESTIONE DEL TERRITORIO

Via Ricasoli n.25 - Prato

OGGETTO: Intervento di consolidamento strutturale del
ponte lungo la SR325 al KM 65+900 nel
Comune di Vaiano (PO)

- *PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO* -
CODICE CUP: I97H20002390002

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Elisa Gorgai (Provincia di Prato)

IL PROGETTISTA

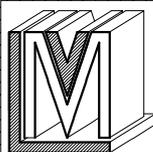
Ing. Luca Mario Vannucchi

Elaborato

RS - 01

RELAZIONE GEOLOGICA

data: Dicembre 2021



Luca Mario Vannucchi
Ingegnere

Via G. Catani n.35 - 59100 PRATO (PO)
Tel./Fax: 0574/603061 - cell.: 338/5414085
mail: lucavannucchi@hotmail.com



PROVINCIA DI PRATO

Area Tecnica

SERVIZIO ASSETTO E GESTIONE DEL TERRITORIO

Via Ricasoli n.25 - PRATO

Intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al KM 65+900
nel Comune di Vaiano (PO)

[Relazione geologico-tecnica di supporto al progetto definitivo-esecutivo](#)

Responsabile del procedimento: Ing.Elisa Gorgai (Provincia di Prato)

Progettista: Ing.Luca Mario Vannucchi

Dott.Geol.Alberto Tomei



Premessa

Questo documento costituisce la relazione geologico-tecnica di supporto al progetto definitivo-esecutivo dell'intervento di consolidamento strutturale del ponte lungo la SR325 al KM 65+900 nel Comune di Vaiano; questo manufatto è stato realizzato nel periodo del dopoguerra, intorno agli anni cinquanta, come attraversamento del fosso Rilaio che scende dal versante in destra idrografica del fiume Bisenzio



Foto aerea ripresa da Google Earth

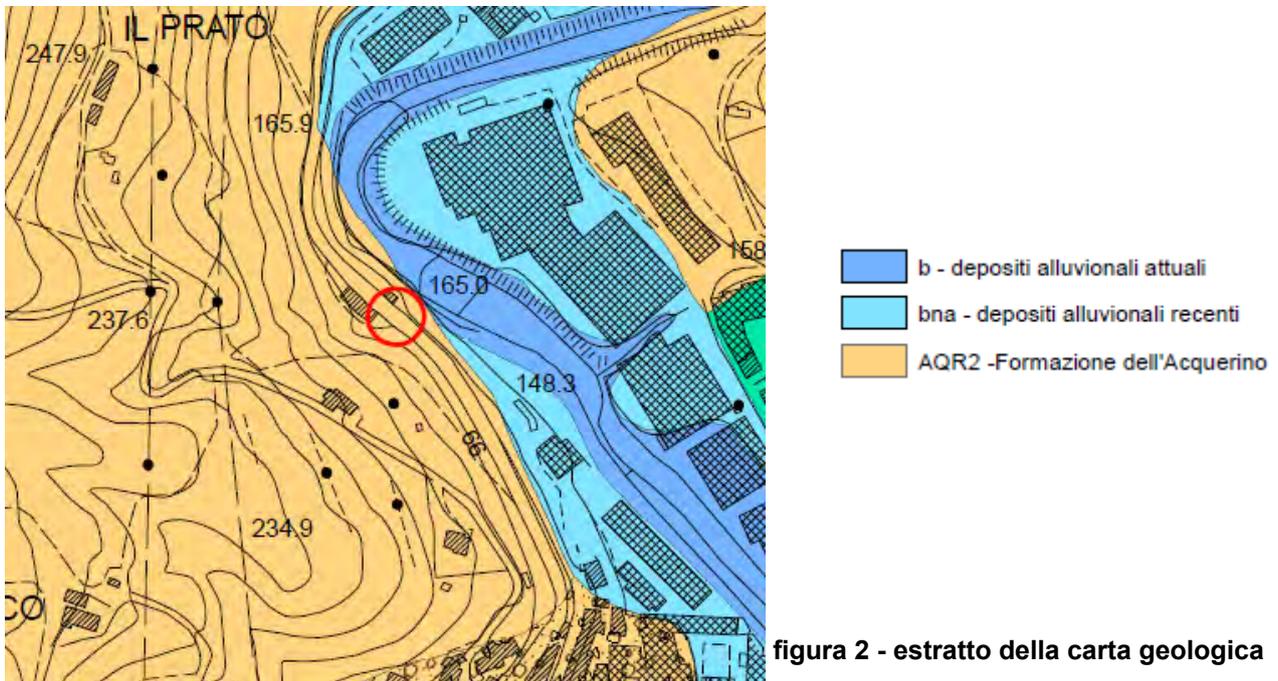
figura 1 – ubicazione dell'area di intervento scala 1:5.000

Lo scopo di questo studio è quello di verificare la fattibilità geologica, idraulica e sismica del progetto proposto ai sensi delle normative vigenti oltre a caratterizzare e modellare il terreno di fondazione per fornire le necessarie indicazioni al progettista dell'intervento ai sensi del paragrafo 6.2.1 del DM.17/1/18. La caratterizzazione del terreno di fondazione è avvenuta mediante la verifica sul campo dell'assetto geologico della zona che viene indicato in bibliografia come un tratto di versante in cui affiora la formazione dell'Acquerino; in particolare il membro pelitico-arenaceo individuato con la sigla AQR2 nella carta geologica regionale. Data anche la difficoltà di accesso al luogo si è proceduto al rilevamento degli affioramenti lapidei in modo da verificare l'effettiva presenza del substrato lapideo come base di appoggio delle fondazioni del ponte per poi procedere con la valutazione dei parametri meccanici della roccia stessa utilizzando uno specifico software (*RocLab - Rocscience Inc.*) per la determinazione dei parametri di resistenza degli ammassi rocciosi basato sul criterio di rottura generalizzato di Hoek-Brown.

Tale analisi risulta adeguata anche in riferimento alle caratteristiche dell'intervento che riguarda la manutenzione e il consolidamento della muratura dell'arco e delle spalle del ponte senza interventi "strutturali" che possano determinare una variazione del rapporto terreno/struttura. Di fatto, ai fini geotecnici, si tratta della realizzazione di un cordolo in calcestruzzo armato di dimensioni 30x30 centimetri necessario per "appoggiare" su entrambi i lati del manufatto l'armatura di rinforzo della volta e delle spalle.

1. Inquadramento geologico e geomorfologico

Il tratto di versante attraversato dalla strada regionale 325 è costituito dal membro pelitico-arenaceo della Formazione dell'Acquerino (AQR2) costituito da stratificazioni di arenaria e siltiti torbiditiche in uguale percentuale.



Nel rilievo geologico effettuato per un intorno significativo del sottopasso dove si interviene, nonostante la folta vegetazione ricopra tutto il pendio si è potuto individuare due affioramenti di roccia in posto nelle vicinanze del fosso di Rilaio di cui sono stati prese le misure di strato. Gli strati arenacei si presentano di spessore variabile tra i 20 e i 50 centimetri a grana fine, ben cementata; gli strati siltitici, compatti, mostrano la caratteristica struttura fissile, in alternanza con gli strati arenacei. Nella figura 3 in fondo al testo si rappresenta il dettaglio della carta geologica in scala 1:1.000 in cui si evidenzia come le misure di strato mostrino andamenti "divergenti"; nel primo caso l'affioramento messo a nudo dalle acque del fosso Rilaio evidenzia un andamento degli strati di $310^{\circ}/40^{\circ}$ con inclinazione di 70° , quindi a franapoggio più inclinato del pendio, mentre nel secondo caso, sul lato opposto del fosso, l'immersione degli strati è a reggipoggio ($255^{\circ}/165^{\circ}$) con inclinazione di circa 5° . Evidentemente il fosso di Rilaio si è impostato su una frattura strutturale dell'ammasso roccioso.



affioramento n.1

**affioramento n.2**

Relativamente alle condizioni geomorfologiche il versante si presenta stabile con una copertura vegetale continua supportata da un soprassuolo generato dal disfacimento delle rocce arenacee e siltitiche. Il contesto in cui si inserisce il ponte per l'attraversamento del fosso Rilaio è un contesto fortemente antropizzato in quanto l'opera stradale è stata realizzata anche con un "presidio" a monte e a valle per controllare i possibili effetti negativi dell'erosione delle acque di scorrimento superficiale sul manufatto. A monte del sottopasso sono state realizzate una serie di briglie in pietrame per creare dei salti in modo da frenare la velocità delle acque del fosso e al contempo è stato rivestito sia il fondo che le sponde dell'alveo, sempre con pietre in grossi conci. La stessa operazione è stata

fatta anche a valle dell'attraversamento stradale dove l'alveo è stato "rivestito" fino alla confluenza nel fiume Bisenzio. Nella figura 4 in fondo al testo si rappresenta lo schema delle sistemazioni idrauliche che hanno garantito nel tempo la stabilità dell'alveo, delle sponde e delle spalle del ponte.

**sistemazioni dell'alveo a monte dell'attraversamento stradale**

sistemazioni dell'alveo a valle dell'attraversamento



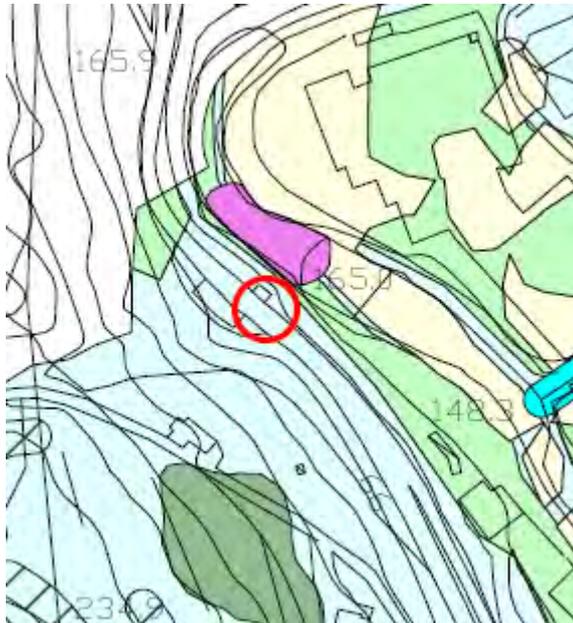
In definitiva, dai rilievi effettuati sul posto, si è potuto constatare come le opere di sistemazione in alveo risultino ancora in efficienza e non mostrino condizioni di degrado e/o di scalzamento da parte delle acque di scorrimento superficiale che potrebbero compromettere la stabilità dell'opera. Tali opere garantiscono a tutt'oggi la stabilità dell'alveo e delle pareti del fosso dove si inserisce il ponte della strada regionale 325.

2. Pericolosità e fattibilità geologica, idraulica e sismica

Il progetto proposto si configura sostanzialmente come un intervento di manutenzione finalizzato al consolidamento delle murature dell'intradosso dell'arco e delle spalle del ponte per il quale si realizza un cordolo di calcestruzzo armato alla base delle spalle per l'alloggio dei ferri di armatura di ricollegamento con lo strato di rinforzo delle spalle. Qui di seguito si verificheranno le condizioni di fattibilità dell'opera in relazione alle caratteristiche di pericolosità del contesto in cui si inserisce.

2.1. Pericolosità e Fattibilità geologica

Nella carta della pericolosità geologica di supporto al Piano Strutturale l'area d'intervento ricade in classe di pericolosità G.2 in quanto le caratteristiche litologiche e morfologiche del luogo non presentano particolari problematiche, né rispetto alla consistenza del terreno né per la presenza di dinamiche geomorfologiche in atto e/o quiescenti:



Pericolosità geomorfologica media (G.2)

- Area interessata da frane non attive
- Area di potenziale instabilità dovuta alla pendenza del versante:
 - terreni argillosi con pendenze <10%
 - terreni sabbiosi con pendenze <20%
 - terreni litoidi molto fratturati con pendenze <35%
 - terreni litoidi non/poco fratturati e di buona qualità con pendenze <50%

estratto della carta della pericolosità geologica di supporto al PS

Tali condizioni sono confermate anche nella cartografia del PAI dell'Autorità di bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale:

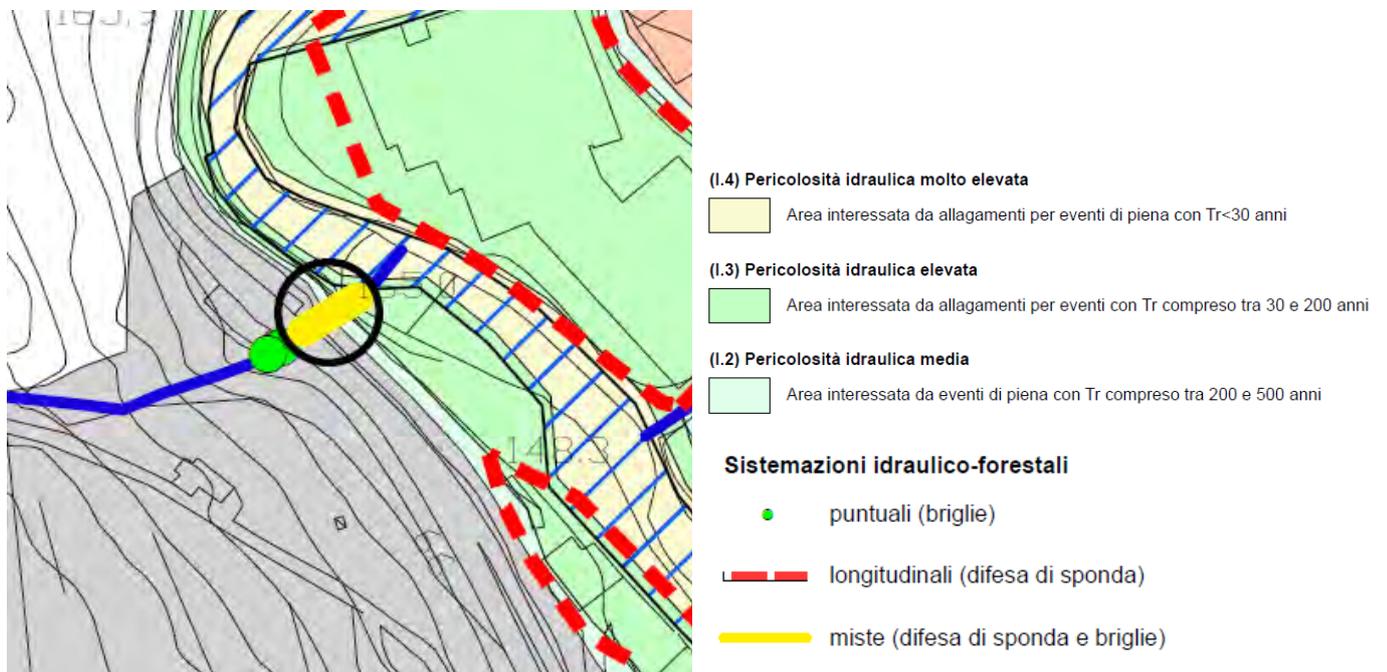


estratto della carta del PAI

Conseguentemente alla definizione della pericolosità geologica ed in relazione alle caratteristiche dell'intervento si può attribuire una fattibilità geologica con normali vincoli (Fig.2). Questa classificazione indica infatti situazioni nelle quali non si riconoscono particolari fenomeni di origine fisica ed antropica tali da richiedere particolari accorgimenti da adottare in sede di progetto esecutivo.

2.2. Pericolosità e Fattibilità idraulica

Relativamente alla pericolosità idraulica dell'area d'intervento sono state considerate sia la carta di pericolosità del Piano Strutturale sia la cartografia del PGRA vigente che in ogni caso è uno strumento sovraordinato alla normativa regionale. In entrambi i casi la zona d'intervento non rientra in areali in cui si possono verificare eventi alluvionali frequenti (trentennali) o poco frequenti (duecentennali); di fatto la pericolosità è valutata come media in quanto gli eventi che potrebbero manifestarsi hanno un tempo di ritorno superiore ai 200:



estratto della carta della pericolosità idraulica di supporto al PS

Del resto nell'ambito degli studi propedeutici alla progettazione del consolidamento del sottopasso è stato elaborato uno specifico studio idrologico-idraulico finalizzato alla verifica che l'intervento non alteri il funzionamento idraulico del ponte nell'ipotesi di accadimento di piena per evento con tempo di ritorno di 200 anni. Le verifiche effettuate in condizioni di moto permanente, per la portata di picco di ritorno duecentennale, hanno dato esito favorevole in quanto la sezione idraulica del ponte risulta ampiamente verificata per il passaggio della piena di riferimento sia allo stato attuale che di progetto.



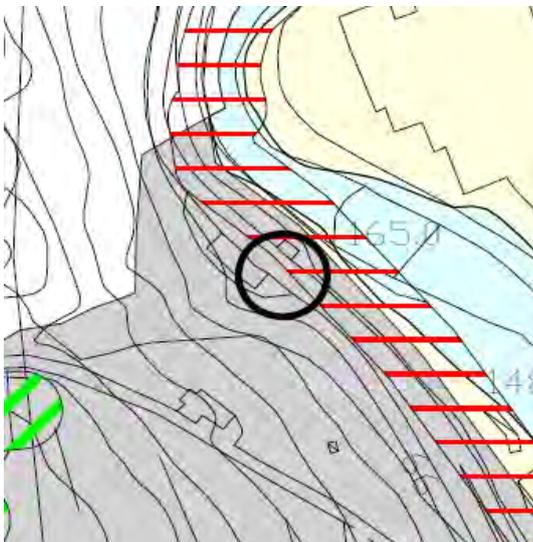
estratto della carta del PGRA



Conseguentemente alla definizione della pericolosità idraulica la relativa fattibilità è attribuita di grado Fi.2, quindi senza condizionamenti dal punto di vista delle problematiche idrauliche.

2.3. Pericolosità e Fattibilità sismica

La carta della pericolosità sismica del Piano Strutturale basata sulle ZMPSL non individua particolari problematiche nella zona di intervento:



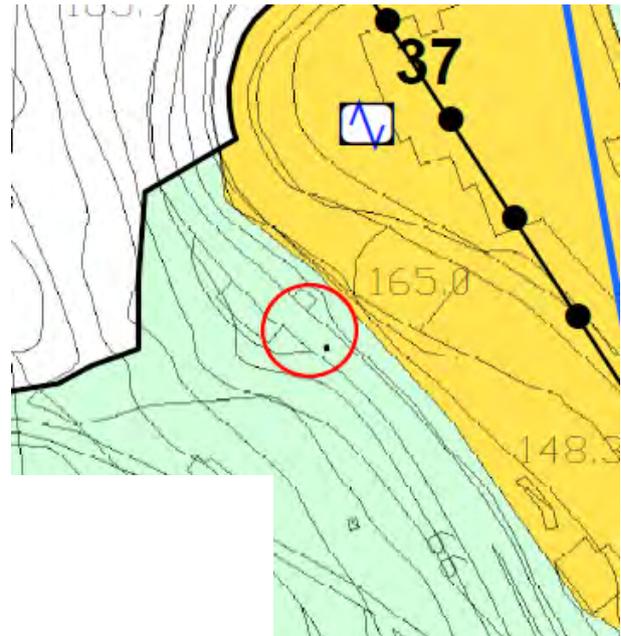
estratto della carta della pericolosità sismica del PS

Pericolosità sismica elevata (S.3)

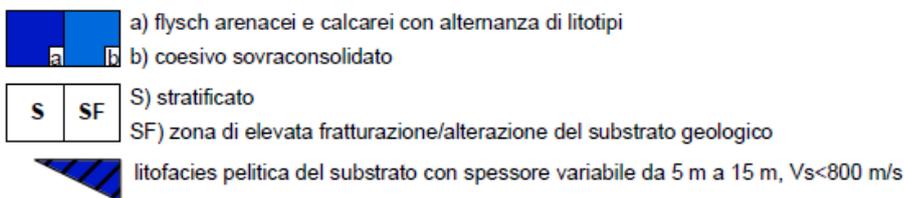
-  Zona di bordo della valle e/o aree di raccordo con il versante
-  Zona con presenza di depositi alluvionali granulari e/o sciolti

-  Zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse

Anche la carta delle MOPS dello studio di MS di livello 1 di cui è dotato il Comune di Vaiano individua una microzona con substrato lapideo affiorante (Z2001)



Informazioni sul substrato



Conseguentemente alla definizione della pericolosità sismica la relativa fattibilità è attribuita di grado Fs.2, quindi con normali vincoli, come negli altri due casi.

3. Caratterizzazione del terreno di fondazione

In relazione alle caratteristiche dell'intervento e al contesto geologico e geomorfologico in cui si inserisce per la ricostruzione del modello geologico, geotecnico e sismico del terreno si è proceduto a un rilevamento geologico e geomorfologico per accertare sia la presenza del substrato lapideo come substrato di fondazione per il ponte sul quale si interviene sia la stabilità del versante e dell'insieme terreno/struttura.

L'intervento di consolidamento dell'arcata e delle spalle del sottopasso prevede la realizzazione di un cordolo in calcestruzzo armato da realizzare a fianco delle murature esistenti, su entrambi i lati in modo da sostenere le armature di rinforzo.

In questa sede, visto il contesto geologico si valutano i parametri meccanici della roccia utilizzando uno specifico software (*RocLab - Rocscience Inc.*) per la determinazione dei parametri di resistenza degli ammassi rocciosi basato sul criterio di rottura generalizzato di Hoek-Brown.

Per la valutazione delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso si fa riferimento al modello empirico di Hoek & Brown, espresso dalla formula: $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} [m_b (\sigma_3/\sigma_{ci}) + s]^a$ dove σ_1 e σ_3 sono gli sforzi effettivi massimo e minimo, σ_{ci} è la resistenza della roccia intatta alla compressione uniassiale, m_b , s , a sono parametri correlati alle condizioni geomeccaniche dell'ammasso. m_b , è collegato al grado di interbloccaggio delle particelle esistenti; s è in relazione al grado di fratturazione nel campione di roccia; a è 0,5 per $GSI > 25$.

La resistenza della roccia intatta alla compressione uniassiale (σ_{ci}) si misura con prove di laboratorio su provini di roccia integra o si stima in base a tabelle empiriche basate sulla litologia e sulle osservazioni di campagna.

I parametri della precedente formula si ricavano da alcune relazioni con delle costanti dipendenti dal tipo di roccia e dalle rispettive condizioni. La costante m varia con la litologia. Il Geological Strength Index (GSI) consente la riduzione della resistenza dell'ammasso roccioso nelle diverse



condizioni. D è un fattore che dipende dal grado di disturbo determinato dalle modalità di scavo e può variare tra 0 (danneggiamento della roccia nullo) a 1 (elevato disturbo dell'ammasso).

Con il software RocLab si può valutare:

- La resistenza alla compressione uniassiale (σ_{ci}) = 50 MPa in quanto si considera un'arenaria stratificata con intercalazioni di siltiti (Formazione dell'Acquerino)
- Le condizioni superficiali delle discontinuità:
Valore dell'indice di resistenza geologica (GSI) = 40
- Valore del coefficiente relativo alla roccia intatta (costante del materiale m_i) = 15
- Il valore del coefficiente di disturbo (D) = 0,7

Applicando i suddetti parametri, definiti in base all'esame degli affioramenti rocciosi e riferiti alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, si ottengono i seguenti valori (vedi report in Appendice):

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0,555$, $s = 0.0002$, $a = 0.511$.

CONDIZIONI: versante alto 100 m, $\sigma_{3max} = 1.9748$ Mpa, $\gamma = 0.026$ MN/m³,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c = 0.475$ MPa, $\phi = 36.23^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = -0.015$ MPa (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.586$ MPa (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 4.710$ MPa (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_m = 2.584$ Mpa (modulo di deformazione).

In definitiva le caratteristiche geomeccaniche del substrato di fondazione possono essere così riassunti:

- peso di volume $\gamma = 0.026$ MN/m³
- coesione $c = 0.475$ MPa
- angolo di attrito $\phi = 36^\circ$
- modulo di deformazione $E_m = 2.500$ Mpa

4. Definizione dell'azione sismica

4.1. Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

Per definire l'azione sismica di progetto è necessario valutare la risposta sismica locale e, nel contesto precedentemente descritto, questa analisi può essere condotta mediante il metodo che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento così come espresse nelle Tabelle 3.2.II delle NTC 2018:

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>



Nel caso di studio la categoria di sottosuolo da considerare è la "A"

Per quanto riguarda la situazione geomorfologica, in condizioni topografiche riconducibili a geometrie semplici, si fa riferimento alla seguente tabella 3.2.III delle NTC:

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 $i > 30^\circ$

Pertanto la categoria da considerare è la T2; di conseguenza gli effetti delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche del sito contribuiscono a modificare la forma spettrale attraverso i coefficienti S_s , S_t e C_c così definiti:

Tabella 3.2.IV

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 3.2.V

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

4.2. Valutazione dell'azione sismica

Per azione si definisce una qualunque causa che induce stati limite in una struttura, tra queste azioni vi sono quelle sismiche. Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito.

Una volta acquisiti tutti gli elementi sull'area di studio è possibile calcolare i parametri di sito dell'azione sismica relativamente alla tipologia d'intervento. Per fare questo si è utilizzato un programma di calcolo distribuito dalla Società Geostru, software house di geologia e geingegneria; si tratta di un codice di calcolo che determina i parametri sismici di un qualunque sito partendo dalle sue coordinate. Successivamente alle coordinate devono essere impostati la classe dell'edificio, la vita nominale, la categoria di sottosuolo e quella topografica che nel nostro caso sono i seguenti: vita nominale 75 anni - Classe III - coefficiente d'uso $C_u = 1,5$



Terminato l'input il programma fornisce i coefficienti sismici per i vari stati limite. Di seguito si riporta il report delle elaborazioni con i valori calcolati in funzione dei vari stati limite.

Individuazione del sito in esame

Coordinate ED 50 (°)		Coordinate WGS84 (°)	
latitudine:	43,974988	latitudine:	43.974034
longitudine:	11,124131	longitudine:	11.123142

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 19168	Lat: 43,9598	Lon: 11,0594	Distanza: 5447,147
Sito 2	ID: 19169	Lat: 43,9612	Lon: 11,1288	Distanza: 1580,954
Sito 3	ID: 18947	Lat: 44,0112	Lon: 11,1269	Distanza: 4028,194
Sito 4	ID: 18946	Lat: 44,0098	Lon: 11,0574	Distanza: 6588,836

Tipologia di opera

Classe:	3	Vita nominale Vn:	75
---------	---	-------------------	----

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A; Categoria topografica: T2; Periodo di riferimento: 112,5 anni;
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	68	[anni]
ag:	0,084	g
Fo:	2,435	
Tc*:	0,268	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	113	[anni]
ag:	0,104	g
Fo:	2,418	
Tc*:	0,273	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	1068	[anni]
ag:	0,238	g
Fo:	2,402	
Tc*:	0,293	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	2193	[anni]
ag:	0,298	g
Fo:	2,405	
Tc*:	0,313	[s]

Coefficienti Sismici

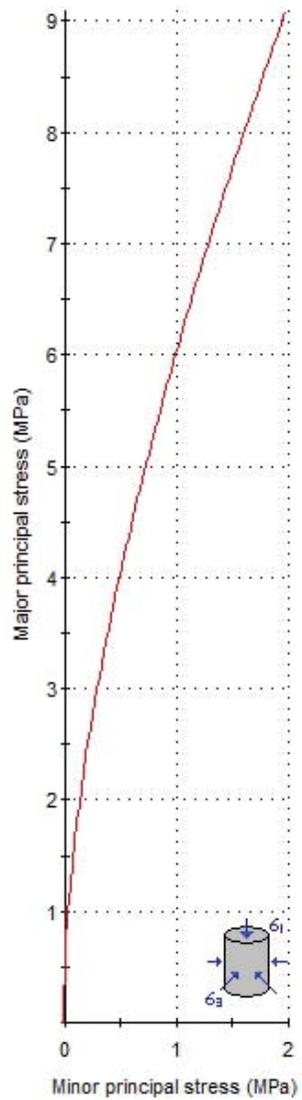
	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,000	1,000	1,000	1,000
Cc	1,000	1,000	1,000	1,000
St	1,200	1,200	1,200	1,200
Kh	0,020	0,034	0,086	0,107
Kv	0,010	0,017	0,043	0,054
Amax	0,984	1,229	2,803	3,506
Beta	0,200	0,270	0,200	0,300



Appendice 1

Report elaborazione RocLab

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 50 MPa

GSI = 40 m_i = 15 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.555 s = 0.0002 a = 0.511

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.475 MPa friction angle = 36.23 deg

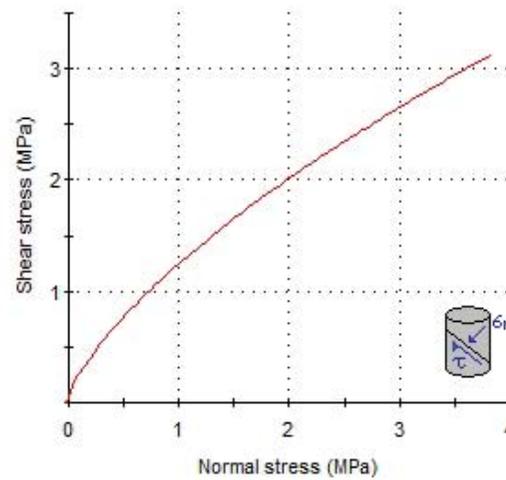
Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.015 MPa

uniaxial compressive strength = 0.586 MPa

global strength = 4.710 MPa

modulus of deformation = 2584.63 MPa



Firmato da:

VANNUCCHI LUCA MARIO

codice fiscale VNNLMR78T15G999R

num.serie: 72305832756773981138366410680024421190

emesso da: ArubaPEC S.p.A. NG CA 3

valido dal 18/09/2020 al 19/09/2023