

COMUNE DI NOVAFELTRIA

Provincia di Rimini



MESSA IN SICUREZZA DELLA STRADA COMUNALE VIA DONEGANI IN LOCALITA' MINIERA DI PERTICARA NEL TRATTO ADICACENTE AL CROLLO DEL POZZO ALESSANDRO

COMMITTENTE

COMUNE DI NOVAFELTRIA

PROGETTO

Studio Tecnico Associato ProGEMA

Ing. Emanuele Giacobbi

A08

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE B1

A	Gennaio 2023	PROGETTO



ProGEMA
Studio Tecnico Associato
Viale A. Gramsci, 41
47865 - San Leo (RN)

Note

Archivio:

...2022\NovafeltriaPozzoAlessandro\...

E' vietata la riproduzione anche parziale, la cessione a terzi, la diffusione del presente elaborato, se non dietro nostra espressa autorizzazione scritta. Ogni violazione sarà perseguita a norma di legge.

INDICE

CAPITOLO 1 – Relazione di calcolo strutturale (B_1)

INDICE DEGLI ELABORATI

Il presente progetto strutturale esecutivo, strutturato secondo le indicazioni di cui alla D.G.R. Emilia - Romagna n. 1373 del 26 settembre 2011, è costituito dai seguenti elaborati:

Elaborato A05 – Planimetria area d'intervento.

Elaborato A06 – Sezioni trasversali.

Elaborato A07 – Esecutivi strutturali.

Elaborato A08 - Relazione di calcolo delle strutture.

Parte 1 - Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale.

Parte 2 - Relazione di calcolo strutturale.

Elaborato A09 - Relazione di calcolo delle strutture (tabulati di calcolo automatico – verifiche a lungo termine).

Elaborato A10 - Relazione di calcolo delle strutture (tabulati di calcolo automatico – verifiche a lungo termine).

Elaborato A11 - Relazione sui materiali.

Elaborato A12 - Relazione geotecnica.

Elaborato A13 - Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera.

Relazione geologica

CAPITOLO 1

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE STRUTTURE

Parte 1 - ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE

1.1. Premessa.

La presente *“Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale”*, redatta in conformità alla D.G.R. n. 1373 del 26 settembre 2001, è diretta a specificare, in maniera unitaria, chiara e sintetica gli elementi essenziali del progetto esecutivo delle strutture.

1.2. Elementi essenziali del progetto strutturale.

a) Descrizione del contesto edilizio e delle caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche del sito di intervento.

Si premette che

- nelle prime ore della mattina del giorno 19/07/2020 si è verificato il cedimento improvviso di terreno immediatamente a ridosso della viabilità pubblica (Via Donegani in località Miniera) a causa del crollo di strutture sotterranee costituenti il cosiddetto “Pozzo Alessandro” dell'ex Miniera di Zolfo di Perticara;
- Il cedimento ha provocato la formazione di un cratere di circa mq. 50 per una profondità di diversi metri;
- la strada (parzialmente interessata dal dissesto) è stata interdetta alla viabilità sia carrabile che pedonale ed è stata emessa Ordinanza Sindacale di chiusura parziale di Via Donegani.

Nel corso dell'anno 2020, con il coordinamento del Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione civile Romagna – Sede di Rimini, sono stati attuati i primi interventi di messa in sicurezza dell'area di crollo del Pozzo Alessandro mediante:

- la realizzazione di una opera di presidio costituita da una serie di pali trivellati in opera, avente la funzione di garantire un primo sostegno del fronte di frana

- e di consentire l'esecuzione dei successivi interventi in condizioni di sicurezza;
- il puntellamento delle strutture di coronamento della sommità del "Pozzo Alessandro" (elementi strutturali circolari del diametro di circa 130 cm) mediante tubolari in acciaio;
 - la bonifica della superficie in frana e la messa a nudo della formazione da attuarsi con idoneo mezzo meccanico (escavatore "a carro lungo"), posizionato a debita distanza dal cratere in frana;
 - un primo intervento di messa in sicurezza del cratere del "Pozzo Alessandro" mediante la sigillatura dell'orifizio con una struttura costituita da profili in acciaio inglobati in una soletta di conglomerato cementizio armato in opera;
 - la realizzazione di idonea recinzione atta a delimitare l'area potenzialmente instabile circostante il cratere in frana, in attesa di un intervento di definitiva messa in sicurezza del dissesto.

Con il presente progetto il comune di Novafeltria, nel limite delle risorse disponibili, ha programmato interventi finalizzati alla messa in sicurezza di Via Donegani nell'abitato di Miniera, nell'area finitima al "Pozzo Alessandro".

Il progetto strutturale è stato redatto tenendo conto delle disponibilità economiche e recependo le indicazioni degli strumenti urbanistici anche al fine di garantire le prestazioni attese e la compatibilità con le componenti tecnologiche.

In particolare L'Agenzia per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile della Regione Emilia Romagna ha autorizzato il concorso finanziario di € 150.000,00 (ex art. 10 della LR 1/2005) per la realizzazione di lavori "Intervento urgente di contenimento con rifacimento della massicciata stradale e ripristino dei sottoservizi in via Donegani adiacente al crollo del Pozzo Alessandro".

Il sito è posto nell'ambito dell'abitato di Miniera, circa alla quota di m 490, nel tratto medio - prossimale di versanti che immergono verso sud e SO, raccordati a valle col Rio Gaggio e Torrente Fanantello in destra orografica.

In particolare, l'area di intervento disposta in fregio alla strada comunale Via Donegani, corrisponde all'ubicazione di un pozzo minerario dismesso denominato Pozzo Alessandro, collassato al boccaforo che, impone, interventi di messa in sicurezza i quali, nella circostanza, sono inevitabilmente calibrati in rapporto alle risorse finanziarie disponibili.

Il progetto strutturale è stato redatto tenendo conto delle disponibilità economiche e recependo le indicazioni degli strumenti urbanistici anche al fine di garantire le prestazioni attese e la compatibilità con le componenti tecnologiche.



Vista aerea dell'area di interesse

Il territorio che comprende l'area di intervento, esprime gli effetti indotti dall'evoluzione geologica dell'Appennino settentrionale che, ha prodotto come esito saliente, il sollevamento e la progradazione in senso adriatico della catena montuosa.

Il processo orogenetico, si è sviluppato tramite due principali fasi: una dominata da tensioni compressive alle quali sono associati fronti di sovrascorrimento e faglie inverse, l'altra, successiva, controllata da una tettonica distensiva durante la quale sono intervenute faglie dirette e retroscorrimenti.

La porzione territoriale oggetto di studio, propone depositi formazionali compresi nella Successione Neogenico – Quaternaria del margine Appenninico Padano e limitatamente delle Unità Liguri.

La Successione neogenica comprende formazioni autoctone mentre le Unità liguri sono quelle coinvolte nel movimento verso nord – est assumendo posizione spiccatamente autoctona e acquisendo notevole rimaneggiamento.

Nella zona di Perticara, il sovrascorrimento delle Unità liguri, ha causata una soluzione di continuità della sedimentazione delle formazioni neogeniche che, pertanto, sono distinte in antecedenti e successive al sovrascorrimento. Tale condizione interessa i Ghioli di letto e la formazione delle Argille azzurre plioceniche.

Le caratteristiche morfologiche del territorio, riflettono i condizionamenti indotti dalle composizioni dei depositi formazionali, dai loro assetti strutturali e dalle discontinuità/deformazioni tettoniche. Tali presupposti, influenzano anche le dinamiche di evoluzione geomorfologica dove intervengono, oltre alla resistenza, degradabilità e rapporti litostratigrafici fra i depositi formazionali, anche l'azione perturbante delle acque correnti e sotterranee.

Il drenaggio superficiale delle acque meteoriche, si realizza con due principali dinamiche di scorrimento:

- laminazione diffusa nei tratti prossimali dei versanti e nelle aree dotate di assetti morfologici uniformemente inclinati.
- reticolo idrografico minore tributario localmente del Torrente Fanantello, improntato a pattern del drenaggio di assortite tipologie in rapporto alla permeabilità dei terreni, variabile da dendritico a sub – parallelo, entrambi erosivi.

L'attività idrogeologica, correlata alla morfologia e soprattutto alla permeabilità dei terreni, si esplica soprattutto nell'ambito della Formazione gessoso – solfifera, interessata anche da carsismo.

I depositi formazionali a prevalente composizione pelitica, dotati di bassa conducibilità idraulica, inibiscono un'apprezzabile circolazione idrica sotterranea.

b) Descrizione generale della struttura e della tipologia di intervento.

Il collasso del boccaforo di un pozzo minerario denominato Pozzo Alessandro in fregio alla Via Donegani, ha prodotto una condizione di rischio per la pubblica e privata incolumità, sollecitando interventi di ripristino della sicurezza. Il pozzo minerario, realizzato nel 1812 dal conte Giovanni Cisterni concessionario della miniera di zolfo di

Perticara, è stato chiuso in superficie tramite una soletta in cemento armato nel 1964 anno di definitiva dismissione della miniera.

Le pareti del pozzo non sono rivestite e potenzialmente soggette a locali fenomeni di crollo che, nel caso in esame, hanno provocato la destabilizzazione della soletta di chiusura richiamando al suo interno i materiali di riporto posti al tetto della roccia in posto. La mobilitazione dei terreni di riporto, ha ostruita la sezione del pozzo, prospettando tuttavia una condizione di notevole precarietà statica non escludendo incombenti prospettive di ulteriori episodi di collasso.

Il progetto d'intervento prevede il "confinamento" dell'area interessata dai dissesti mediante la realizzazione di un'opera di presidio costituita da una paratia di pali collegati in sommità da cordoli in c.c.a.; tale opera di presidio sarà accompagnata dalla regolarizzazione della superficie topografica e da opere di manutenzione della careggiata.

Il progetto strutturale contempla la realizzazione di un'opera di presidio mediante:

- la preparazione del piano di imposta delle fondazioni;
- la realizzazione di un sistema di pali trivellati che costituiscono l'opera di presidio;
- la realizzazione dei cordoli di coronamento della palificata.

Opere complementari riguardano:

- la regolarizzazione del profilo morfologico, eliminando contropendenze e ogni situazione di ristagno superficiale delle acque;
- il ripristino del piano viario.

Le opere di presidio in c.c.a. dovranno essere accompagnate dalla regolarizzazione della superficie topografica eliminando contropendenze e ogni elemento morfologico incline a favorire ristagni e infiltrazioni d'acqua nel sottosuolo.

c) Normativa tecnica e riferimenti tecnici utilizzati.

Il progetto strutturale è stato redatto in conformità alle norme di riferimento, in particolare:

- D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia" (ex Legge 05/11/1971 n. 1086, "Norme per la

disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato e a struttura metallica” e Legge 02/02/1974 n. 64, “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”);

- D.M. 17/01/2018, “Aggiornamento delle norme Tecniche per le Costruzioni”.

Altre norme e documenti tecnici integrativi.

- *Circolare n.7 del 21 gennaio 2019 del CSLLPP - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*
- EUROCODICI.

Per il manufatto in oggetto non vi sono prescrizioni particolari dettate dagli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.

d) Definizione dei parametri di progetto che concorrono alla definizione dell'azione sismica.

Ai fini dell'analisi sismica si sono assunti i seguenti parametri:

- vita nominale dell'opera: $V_n \geq 50$ anni, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo alla quale è destinata;
- classe d'uso: II (... 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 ...);
- periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_r = 50$ anni;
- categoria del suolo: C (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s);
- categoria topografica: $T_1 = 1$ (pendii con inclinazione media inferiore a 15°);
- località: Novafeltria - Miniera:

Latitudine (deg) 43,9007°;

Longitudine (deg) 12,2263°;

- accelerazione al sito: $a_g = 0,1903$ (accelerazione al suolo rigido con superficie topografica orizzontale, come definito al paragrafo 3.2 delle NTC 2018, e riferito ad un sisma con un tempo di ritorno di 475 anni).

Per il dimensionamento della struttura, in aggiunta ai carichi permanenti (strutturali e portati) è stato considerato un sovraccarico distribuito su tutto il terrapieno pari a 1000 daN/m^2 .

Nelle analisi condotte non sono stati presi in considerazione eventuali scenari di azioni eccezionali.

Si precisa che la Regione Emilia – Romagna, con delibera di Giunta Regionale n. 1661 del 2009, ha approvato:

- l'elenco di "Categorie di edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile";

- l'elenco di "Categorie di edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso".

Le opere in progetto non rientrano tra quelle elencate nel decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21/10/2003 e nella delibera di Giunta Regionale n. 1661 del 2009; ai sensi delle NTC2018, tali opere non assumono carattere strategico e non hanno rilevanza per le conseguenze di un eventuale collasso ai fini dell'attribuzione di una classe d'uso superiore alla II.

In particolare deve essere precisato che:

- la strada comunale Via Donegani è classificata di categoria F "Strade locali" ai sensi del DM 5/11/2001 n. 6792 (non è riconducibile alla declaratoria di cui alla Classe III e IV come definite dal DM 17/01/2018).

e) Descrizione dei materiali e dei prodotti per uso strutturale.

Le opere in oggetto saranno realizzate facendo uso dei seguenti materiali:

- conglomerato cementizio di classe C25/30 (Resistenza caratteristica cilindrica $f_{ck} = 25,0 \text{ N/mm}^2$ - Resistenza caratteristica cubica $R_{ck} = 30,0 \text{ N/mm}^2$) - cemento tipo 42,5 N/mm^2 con un contenuto minimo $> 280 \text{ dN/mc}$; - Inerti con diametro massimo

- D < 30 mm - Rapporto acqua cemento < 0,6 resistenza a classe d'esposizione xC2
- classe di consistenza S4;
- armature in barre ad aderenza migliorata, acciaio tipo B 450 C (resistenza caratteristica di snervamento $f_{y,nom} = 450 \text{ N/mm}^2$ - resistenza caratteristica a rottura $f_{t,nom} = 540 \text{ N/mm}^2$).

f) Illustrazione dei criteri di progettazione e modellazione.

Le valutazioni numeriche sono state condotte con l'ausilio di un programma che risolve in campo elasto-plastico paratie, o singoli pali, a sbalzo e tirantate in cemento armato o acciaio comunque vincolate esternamente con comportamento non lineare del terreno.

La stratigrafia del terreno può essere costituita da un numero illimitato di strati sia a monte che a valle, anche inclinati, di cui si forniscono i parametri geotecnici che li caratterizzano. E' prevista la presenza di falde e di carichi uniformi a monte ed a valle.

I carichi agenti sulla paratia sono costituiti dalla spinta delle terre, spinta dell'acqua, spinta del sovraccarico uniforme; inoltre è possibile applicare forze e coppie concentrate sui nodi della paratia, carichi esterni variabili linearmente distribuiti lungo l'asse e su porzioni della paratia, diffusione secondo le leggi elastiche di carichi lineari, nastriformi o di fondazione posti sul terreno e spinte delle terre indotte dagli effetti sismici.

L'output grafico consiste nella visualizzazione dei diagrammi delle azioni agenti sulla paratia, come pressioni indotte dal terreno, dall'acqua, dal sisma, dai carichi diffusi dal terreno o applicati direttamente sulla paratia, dai tiranti; sono presenti inoltre i diagrammi di sollecitazione (momento, taglio e sforzo normale), deformata (spostamento e rotazione) e diagrammi di verifica strutturale (flessione, taglio, tensioni in esercizio, apertura fessure, ecc.).

Il programma BulkCAD permette il calcolo delle paratie mediante un modello computazionale riconducibile ai cosiddetti metodi "a molle", o "Subgrade reaction method" (SRM). La spinta litostatica del terreno e l'azione dei tiranti viene schematizzata con molle elastoplastiche isteretiche, denominate WALLSPRING, a comportamento variabile per fasi.

Le azioni che sono considerate indipendenti dagli spostamenti della paratia, come le spinte idrostatiche ed i carichi esterni, sono modellate con carichi concentrati nei nodi del modello.

Il sisma è considerato come azione pseudo-statica, anch'esso applicato con carichi concentrati nei nodi del modello.

Il programma BulkCAD calcola preliminarmente le spinte teoriche che agiscono esternamente alla paratia, e che verranno applicate direttamente al modello. Fanno parte di queste azioni la spinta litostatica verticale (che determina la componente orizzontale in base al coefficiente di spinta k), l'idrostatica della falda libera, le pressioni diffuse dai carichi verticali e l'incremento dinamico dovuto al sisma prodotto dal terreno e dalla falda libera.

Vengono inoltre trovate le pressioni limite, attive, passive ed a riposo (k_0) del terreno su entrambe i lati della paratia, necessarie per settare le molle elastoplastiche del modello che lo rappresentano

g) Indicazione delle principali combinazioni delle azioni in relazione agli SLU e SLE indagati. Coefficienti parziali per le azioni, coefficienti di combinazione.

Di seguito vengono esplicitate le combinazioni di carico utilizzate per le verifiche dell'opera di presidio.

Si precisa che nella Tab. 2.6.I delle NTC2018 sono riportati i valori dei coefficienti parziali γ_f da assumersi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi. Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti γ_f riportati nella colonna EQU della stessa Tabella 2.6.I. Per la progettazione di componenti strutturali che non coinvolgono azioni di tipo geotecnico, le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) si eseguono adottando i coefficienti γ_f riportati nella colonna A1 della Tabella 2.6.I.

Per la progettazione di elementi strutturali che coinvolgono azioni di tipo geotecnico (come nel caso in specie) le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) si eseguono adottando due possibili approcci progettuali, fra loro alternativi.

Nell'Approccio 1, le verifiche si conducono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (Y_f), per la resistenza dei materiali (Y_M) e, eventualmente, per la resistenza globale del sistema (Y_R). Nella Combinazione 1 dell'Approccio 1, per le azioni si impiegano i coefficienti Y_f riportati nella colonna A1 della Tabella 2.6.I. Nella Combinazione 2 dell'Approccio 1, si impiegano invece i coefficienti Y_f riportati nella colonna A2. In tutti i casi, sia nei confronti del dimensionamento strutturale, sia per quello geotecnico, si deve utilizzare la combinazione più gravosa fra le due precedenti.

Nell'Approccio 2 si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le Azioni (Y_f), per la resistenza dei materiali (Y_M) e, eventualmente, per la resistenza globale (Y_R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti Y_f riportati nella colonna A1.

I valori parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni sono stati dedotti dalla Tab. 6.2.I. delle NTC2048. I coefficienti di combinazione sono stati assunti secondo le indicazioni riportate nel Cap. 2 delle NTC2018 (paragrafo 2.5 e seguenti).

La struttura è stata verificata nelle diverse combinazioni di carico e secondo i diversi approcci secondo le indicazioni fornite dal punto 6.5.3.1.2 delle NTC 2018 distinguendo tra stati limite di equilibrio, strutturali e geotecnici.

La seguente tabella mostra i coefficienti moltiplicatori delle azioni utilizzati nelle combinazioni ed i relativi gruppi di coefficienti di sicurezza parziale, definiti nella normativa.

Descrizione: nome assegnato alla condizione elementare.
Nome breve: nome breve assegnato alla condizione elementare.
Durata: descrive la durata della condizione (necessario per strutture in legno).
Psi0: coefficiente moltiplicatore Psi0.
Psi1: coefficiente moltiplicatore Psi1.
Psi2: coefficiente moltiplicatore Psi2.
Nome: nome assegnato alla combinazione di calcolo.
Nome breve: nome breve assegnato alla combinazione di calcolo.
Tipo: famiglia di appartenenza.
Prm: coefficiente parziale applicato ai carichi permanenti.
PrmP: coefficiente parziale applicato ai carichi permanenti non strutturali.
Var: coefficiente parziale applicato ai carichi variabili.
SisH: coefficiente parziale applicato ai carichi sismici orizzontali.
SisV: coefficiente parziale applicato ai carichi sismici verticali.
Fase/gg: fase di calcolo (giorno).
Operazione: operazione di costruzione eseguita in una certa fase.
Da fase: prima fase in cui il carico è attivo.
A fase: ultima fase in cui il carico è attivo.
Lato: lato di applicazione del carico.
ValP: valore del carico permanente (pressione). [daN/cm²]
ValPP: valore del carico permanente portato (pressione). [daN/cm²]
ValV: valore del carico variabile (pressione). [daN/cm²]
Ztop: quota superiore di applicazione del carico. [cm]
Zbot: quota inferiore di applicazione del carico. [cm]

Tabella condizioni elementari di carico

Descrizione	Nome breve	Durata	Psi0	Psi1	Psi2
Carichi permanenti	Perm.	Permanente			
Carichi permanenti non strutturali	Perm.P	Permanente			
Carichi variabili	Var.	Media	0.7	0.5	0.3
Carichi sismici orizzontali	Sis.h	Istantaneo			
Carichi sismici verticali	Sis.v	Istantaneo			

Tabella combinazioni caratteristiche

Nome	Nome breve	Tipo	Prm	PrmP	Var	SisH	SisV
Caratteristica G1	Chr G1	SLEr	1	0	0	0	0
Caratteristica G1G2	Chr G1G2	SLEr	1	1	0	0	0
Caratteristica G1G2Q1	Chr G1G2Q1	SLEr	1	0	1	0	0
Caratteristica G1Q1	Chr G1Q1	SLEr	1	1	1	0	0
Caratteristica G1SisP	Chr G1SisP	SLVml	1	1	0.3	1	0
Caratteristica G1SisM	Chr G1SisM	SLVml	1	1	0.3	-1	0

Tabella combinazioni per ricerca meccanismo di collasso

Nome	Nome breve	Tipo	Prm	PrmP	Var	SisH	SisV
Collasso A2M2	Coll A2M2	GEO	1	1.3	1.3	0	0

Tabella combinazioni di calcolo

Nome	Nome breve	Tipo	Prm	PrmP	Var	SisH	SisV
SLE rara	SLEr 1	SLEr	1	1	1	0	0
SLE rara	SLEr 2	SLEr	1	1	0	0	0
SLE fr	SLEf 1	SLEf	1	1	0.5	0	0
SLE fr	SLEf 2	SLEf	1	1	0	0	0
SLE qp	SLEqp 1	SLEqp	1	1	0.3	0	0
SLE qp	SLEqp 2	SLEqp	1	1	0	0	0
STR (A1+M1)	STR 1	STR	1.3	1.5	1.5	0	0
STR (A1+M1)	STR 2	STR	1.3	1.5	0	0	0
STR (A1+M1)	STR 3	STR	1.3	0	1.5	0	0
STR (A1+M1)	STR 4	STR	1.3	0	0	0	0
STR (A1+M1)	STR 5	STR	1	1.5	1.5	0	0
STR (A1+M1)	STR 6	STR	1	1.5	0	0	0
STR (A1+M1)	STR 7	STR	1	0	1.5	0	0
STR (A1+M1)	STR 8	STR	1	0	0	0	0
GEO (A2+M2)	GEO 1	GEO	1	1.3	1.3	0	0
GEO (A2+M2)	GEO 2	GEO	1	1.3	0	0	0
GEO (A2+M2)	GEO 3	GEO	1	0.8	1.3	0	0
GEO (A2+M2)	GEO 4	GEO	1	0.8	0	0	0
SLV (M1)	SLVml 1	SLVml	1	1	0.3	1	0
SLV (M1)	SLVml 2	SLVml	1	1	0.3	-1	0

Tabella fasi di calcolo

Fase/gg	Operazione
0	Scavo nullo di inializzazione del terreno (Attiva = Si; Fase = 0)
1	Scavo del terreno (Attiva = Si; Spessore complessivo = 385; Lato = Sinistra; Fase = 1)
2	Applicazione vincolo su paratia (Attiva = Si; Quota (Z) = 0; Spostamento imposto = 0; Fase = 2)
3	Applicazione carico al suolo > uniforme (Attiva = Si; Lato = Destra; Pressione permanente = 0; Pressione permanente portato = 0.03; Pressione variabile = 0.1; Fase = 3)
4	Inserimento delle spinte sismiche (Attiva = Si; Quota (Z) = 0; Ampiezza = 423.5; Fase = 4)

h) Indicazione motivata del metodo di analisi seguito.

Il calcolo della paratia è stato condotto con l'ausilio di un programma di calcolo che permette di eseguire diverse verifiche geotecniche per meccanismi locali e globali.

Tra i meccanismi locali può essere richiesta la verifica di capacità portante verticale della paratia, la verifica di capacità portante dei tiranti, la verifica al sifonamento e sollevamento del fondo scavo (con metodo semplificato) e la verifica a liquefazione del suolo.

Con analisi secondo D.M. 17/01/2018 è possibile richiedere la ricerca di un meccanismo di collasso del terreno ed eventualmente nella struttura, con relativa valutazione di un moltiplicatore al collasso dell'opera.

E' possibile richiedere anche la valutazione dei cedimenti teorici lungo i profili di terreno in adiacenza dell'opera, secondo metodi proposti da diversi autori.

Le verifiche comprendono anche la verifica di stabilità globale secondo i più comuni metodi dell'equilibrio limite. Viene effettuata la verifica a scivolamento considerando superfici di rottura circolari. Il coefficiente di sicurezza viene determinato sulla base di una maglia di centri definita dall'utente. Questi può altresì definire punti di passaggio o tangenti ai cerchi di rottura. L'analisi viene condotta con i metodi di Bishop o Fellenius mediante suddivisione del pendio in conci la cui dimensione può essere personalizzata. In output viene visualizzato tramite una opportuna colorazione l'andamento del coefficiente di sicurezza per ogni punto della maglia dei centri. La condizione più gravosa viene riportata nella relazione di calcolo con esposto in dettaglio il contributo dei vari conci.

Nel caso di paratia in cemento armato la progettazione delle armature è affidata all'operatore. Le operazioni di dimensionamento delle armature sia longitudinali che trasversali sono caratterizzate dalla possibilità di un continuo e totale controllo della situazione dell'elemento che si sta dimensionando. L'utente è in grado di disporre armature a partire da un sagomario scegliendone numero, forma e diametro ottenendo un immediato riscontro visivo della situazione di verifica.

Le varie situazioni di verifica strutturale (resistenza, tensioni, apertura delle fessure) sono riportate su diagrammi che l'operatore può interrogare ottenendo i valori numerici. In un file dxf viene poi riportato il disegno esecutivo dettagliato completo di prospetto, sezioni ed esploso delle armature.

i) Criteri di verifica agli stati limite indagati.

Per gli elementi strutturali sono state eseguite le verifiche sia per gli stati limite ultimi di salvaguardia della vita, sia per gli stati limite di esercizio.

Le verifiche sono state condotte in conformità al D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni".

I coefficienti parziali sui materiali ed i parametri di progetto utilizzati nel calcolo del manufatto in oggetto sono riportati di seguito.

Preferenze sismiche di normativa

Azioni sismiche secondo la normativa: D.M. 17-01-18 (N.T.C.)
Località: Rimini, Novafeltria, Miniera; Altitudine s.l.m. 490,38 m
Coordinate geografiche: Latitudine ED50 43,9007° (43° 54' 3"); Longitudine ED50 12,2263° (12° 13' 35")

Vita nominale (P.2.4.1): 50 anni
Classe d'uso (P.2.4.2): II
Periodo di riferimento considerato: 50 anni
Probabilità di superamento per lo SLD: 63,00%
Accelerazione max al suolo per lo SLD: 0.079
Fattore di amplificazione spettrale F_0 per lo SLD: 2.432
Probabilità di superamento per lo SLV: 10,00%
Accelerazione max al suolo per lo SLV: 0.19
Fattore di amplificazione spettrale per lo SLV: 2.431
Categoria del suolo (Tab.3.2.II): Suolo_C
Amplificazione stratigrafica S_s allo SLD (Tab.3.2.IV): 1.5
Amplificazione stratigrafica S_s allo SLV (Tab.3.2.IV): 1.42
Amplificazione topografica S_t (Tab.3.2.V): 1
Coefficiente di deformabilità alfa (Fig.7.11.2): 0.78
Coefficiente di spostamento beta (Fig.7.11.3): 0.53
Coefficiente di riduzione al sito β_{S} (Tab.7.11.I): 0.24
Coeff. sismico orizzontale SLV per struttura: 0.113
Coeff. sismico orizzontale SLV per valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio passivo: 0.145
Coeff. sismico verticale SLV per struttura: 0
Coeff. sismico orizzontale SLV per pendio: 0.065
Coeff. sismico verticale SLV per pendio: 0
Posizione della risultante: Metà dell'altezza
Tratto di applicazione del sisma: sulla parte a sbalzo

Preferenze per il calcolo delle sezioni in c.a.

Norma per la verifica strutturale: Stati limite D.M.17-01-2018
Verifica a taglio condotta con inclinazione variabile del traliccio di Moersh
Coefficiente F_i per viscosità del cls: 2
Tolleranza di posa armature: 1
Riduzione tau in cattiva aderenza: 0.7

Preferenze per il solutore ad elementi finiti

Metodo di risoluzione solutore: Tangente
Lunghezza massima di discretizzazione: 20
Numero massimo di iterazioni: 50
Tolleranza solutore: 0.0001

Preferenze geotecniche generali

Metodo di calcolo delle spinte terra: MononobeOkabe
Condizione di spinta considerata nel calcolo: LungoTermine
Ampiezza bulbo a destra (solo per calcolo rigidezze secondo bulbo tensioni): 100
Ampiezza bulbo a sinistra (solo per calcolo rigidezze secondo bulbo tensioni): 100

Preferenze per la verifica di stabilità globale

Metodo di calcolo stabilità globale: Bishop
Coeff. di sicurezza limite per stabilità globale: 1.3
Passo massimo dei conci: 100
Resistenza al taglio della paratia (solo per stabilità globale): 5

Preferenze per le verifiche di stabilità locali

Metodo di calcolo portanza verticale: Vesic

j) Rappresentazione dei principali risultati di calcolo del modello rappresentativo della struttura nello stato di fatto e nel progetto.

Nei tabulati di calcolo sono riportati gli schemi grafici rappresentativi:

- delle spinte agenti sull'opera di sostegno;
- delle sollecitazioni dell'opera di sostegno nelle diverse combinazioni;
- delle deformazioni dell'opera di sostegno nelle diverse combinazioni;
- delle principali verifiche strutturali.

Il progetto strutturale consente di progettare un'opera di sostegno nel rispetto dei livelli di sicurezza previsti dal D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni".

k) Caratteristiche e affidabilità del codice di calcolo.

BulCAD è un programma di calcolo strutturale dedicato al progetto e verifica di paratie in cemento armato, acciaio e legno. Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti fornito col pacchetto. Viene consentita l'introduzione della geometria, dei carichi e degli elementi accessori, quali cordoli e tiranti; il solutore ad elementi finiti ricava spostamenti e sollecitazioni sugli elementi per le combinazioni di carico e le fasi costruttive previste. A soluzione avvenuta viene condotta la verifica di resistenza strutturale e le verifiche geotecniche di stabilità locale e globale, producendo i grafici ed i tabulati di output. In presenza di filtrazione da falde acquifere si possono ottenere le verifiche idrauliche di sifonamento e sollevamento del fondo scavo.

L'analisi e il calcolo della paratia viene condotto con un metodo cosiddetto 'a molle' (SRM o Subgrade Reaction Method), utilizzando un proprio solutore agli elementi finiti fornito col pacchetto. La paratia viene schematizzata in un certo numero di aste connesse da nodi, confinate in un letto di molle elastoplastiche, precaricate dalla spinta del terreno; le altre azioni sono messe in conto applicando delle forze esterne nei nodi del modello. Tali molle possono essere attivate e disattivate, permettendo di eseguire un calcolo per fasi; il calcolo eseguito per fasi permette quindi di tenere conto della reale sequenza costruttiva dell'opera. L'analisi delle azioni di calcolo e le successive verifiche sono condotte conformemente alla normativa impostata; l'analisi è stata condotta secondo il D.M. 17/01/2018 NTC.

Le combinazioni di calcolo vengono create conformemente al D.M. 17-01-18, che per le paratie richiede l'approccio DA1 (completo); è possibile creare e modificare sia le combinazioni che le fasi di calcolo.

Le verifiche degli elementi in c.a. possono essere condotte agli stati limite in accordo al D.M. 17/01/2018 o al D.M. 14/01/2008 o secondo Eurocodice 2. Le sezioni di paratia sono verificate in stato limite ultimo per flessione retta e taglio, in esercizio per limitazione delle tensioni e delle fessure. Le varie situazioni di verifica (tensioni, resistenza, apertura delle fessure) sono riportate su diagrammi che l'operatore può

interrogare ottenendo i valori numerici o la verifica puntuale dettagliata. In un file dxf viene poi riportato il disegno esecutivo dettagliato completo di prospetto, sezioni e distinta delle armature.

Le verifiche delle membrature in acciaio possono essere condotte secondo D.M. 17/01/2018 o D.M. 14/01/2008 o Eurocodice 3. Sono previste verifiche di resistenza e, ad eccezione dei micropali tubolari, di instabilità (buckling). Queste ultime possono interessare superelementi cioè membrature composte di più aste.

Vengono condotte verifiche geotecniche di stabilità locale, in particolare la rotazione rigida attorno ad un punto, il collasso per carico limite verticale e lo sfilamento degli ancoraggi dal terreno. Il solutore segnala inoltre labilità o spostamenti elevati per traslazione o rotazione; può inoltre ricercare iterativamente un meccanismo di collasso dell'opera. Per gli strati in cui sono presenti dati di prove penetrometriche standard (SPT) è possibile valutare un fattore di sicurezza a liquefazione del terreno. Le verifiche comprendono anche la verifica di stabilità globale, valutata considerando superfici di scivolamento circolari. L'analisi viene condotta con i metodi di Bishop o Fellenius, mediante suddivisione del pendio in conci. Il coefficiente di sicurezza viene determinato sulla base di una maglia di centri definita dall'utente. In presenza di falda acquifera con carico idraulico diverso tra i due lati dell'opera si possono eseguire verifiche idrauliche di sifonamento e sollevamento del fondo scavo, se pertinente anche a breve termine. Il gradiente di filtrazione viene stimato con un metodo monodimensionale semplificato.

Il codice di calcolo utilizzato è prodotto dalla Concrete S.r.L. con sede a Padova in Via della Pieve, 19 (tel. +39 049 8754720 - www.concrete.it – info@concrete.it); il codice di calcolo in possesso dello studio tecnico associato ProGEMA (Ingg. Giacobbi e Maltoni) è dotato di regolare licenza n. 3206032.

Il programma è stato testato in maniera approfondita e conseguentemente validato.

I) Caratterizzazione geotecnica – fondazioni.

I fattori che influenzano l'interazione tra terreno e manufatto oggetto di studio, sono stati individuati mediante indagini atte a valutare la stabilità e l'idoneità del sito; in particolare, si fa riferimento alla relazione geologica con indicazioni geotecniche a firma del Dott. Geol. Fabio Fabbri datata gennaio 2023.

Il sito è posto nell'ambito dell'abitato di Miniera, circa alla quota di m 490, nel tratto medio - prossimale di versanti che immergono verso sud e SO, raccordati a valle col Rio Gaggio e Torrente Fanantello in destra orografica.

Informazioni sui caratteri litostratigrafici dei terreni insediati nell'area di progetto, si sono acquisite tramite la realizzazione di n. 2 sondaggi a rotazione con carotaggio continuo.

In corrispondenza di S1 si è eseguita indagine geofisica sismica a stazione singola (HVSR).

I caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici e stratigrafici dell'area in esame sono graficamente riprodotti nella figura sottostante.

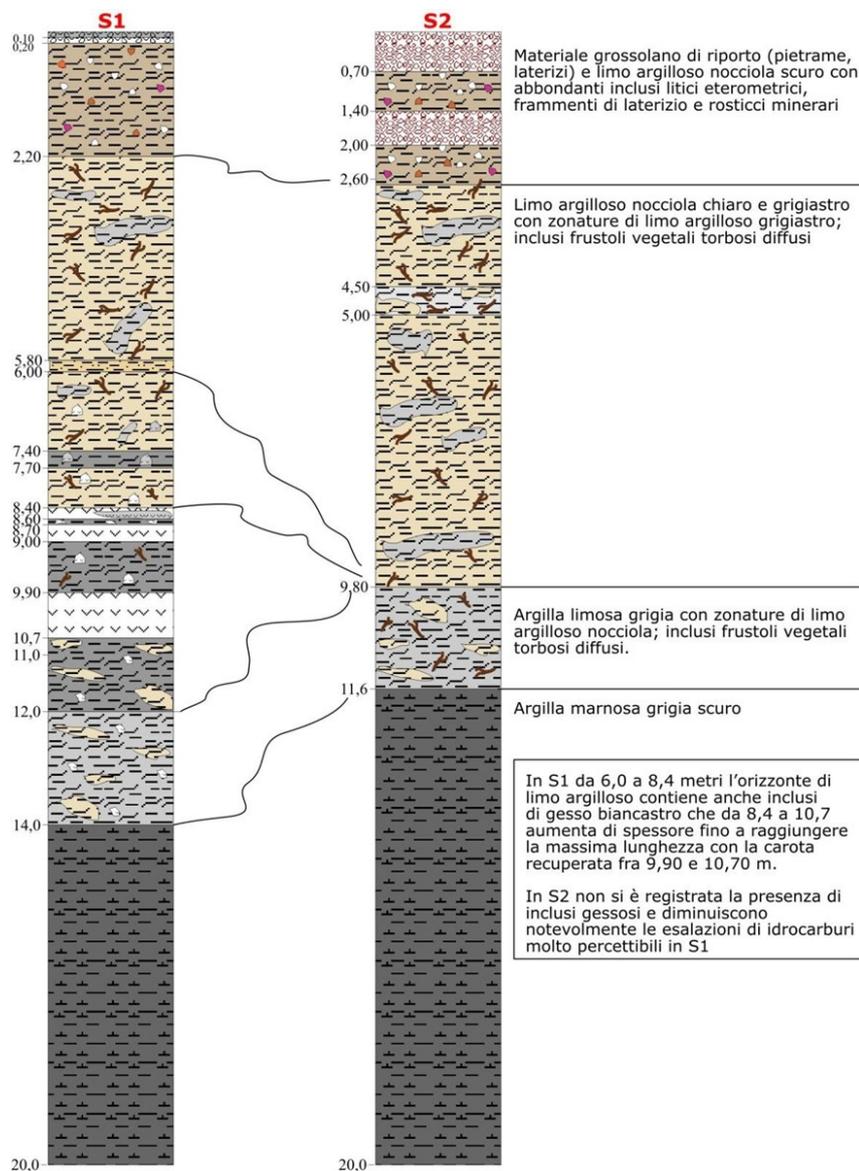


Fig. III3 - Stratigrafia litologica

Nell'ambito dell'area di progetto, non sussistono presupposti e condizioni di vulnerabilità dei terreni nei confronti della liquefazione per la composizione prevalentemente pelitica del substrato formazionale e l'assenza di falda; in ragione di queste condizioni locali e quanto indicato al capitolo §7.11.3.4.2 delle NTC, è esentata la verifica.

La zona che include l'area di progetto, non è compresa nella perimetrazione relativa al R.D.L. 3267/23 e successive norme statali e regionali inerenti al vincolo idrogeologico. Inoltre, non è interessata da perimetrazioni di pericolosità geologica da parte del PAI e del PTCP.

Rispetto ai vincoli territoriali prima citati, l'attuazione del progetto è compatibile poiché finalizzato a ripristinare locali condizioni di stabilità a difesa di una struttura viaria pubblica e di edifici privati adiacenti all'area di intervento

Le condizioni litostratigrafiche dei terreni insediati nell'area di intervento, evidenziano la presenza del substrato formazionale di elevata consistenza a profondità di m 14,0 in S1 e m 11,6 in S2. Superiormente, la roccia in posto rappresentata dai Ghioli di letto in facies pelitica, si dimostra alterata e di bassa consistenza. La stratigrafia si chiude al tetto con materiali eterogenei di riporto.

La caratterizzazione geotecnica dei depositi insediati nell'area di intervento, si è risolta tramite le seguenti determinazioni:

- analisi e prove di laboratorio reperite su un campione indisturbato prelevato alla profondità di 1,50÷2,00 metri.
- calcolo dei parametri geotecnici in termini di sforzi totali dalle relazioni che intercorrono con la resistenza opposta dai terreni alla penetrazione dinamica SPT.

La identificazione delle diverse unità litostratigrafiche tiene conto di quanto emerso dalle indagini geognostiche, ed è basata sui caratteri geologici e geomorfologici dell'area in cui è inserito il sito in esame, considerando la natura dei materiali, della loro genesi e/o della loro storia deposizionale, nonché dei processi in cui sono stati coinvolti, in particolare, per l'area di immediato interesse, di seguito è graficamente schematizzata la stratigrafia geotecnica dei terreni.

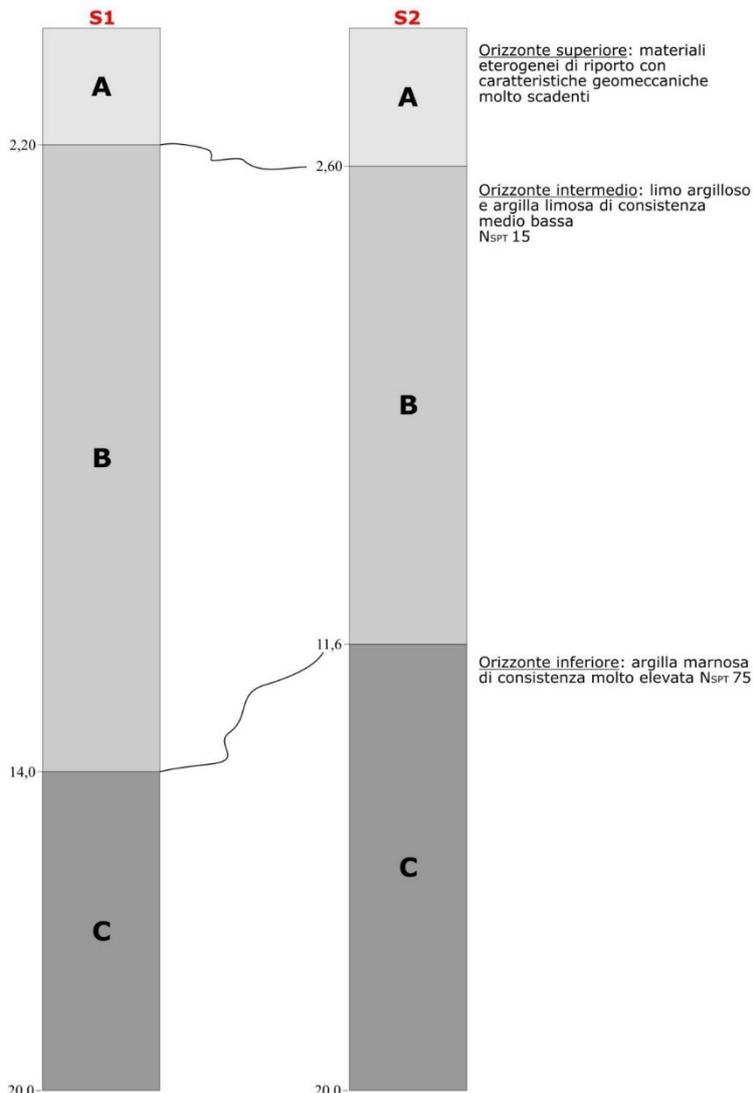


Fig. III8 - Stratigrafia geotecnica

Per definire il modello geotecnico, in accordo con la normativa di riferimento, i parametri geotecnici sono stati determinati con l'introduzione (nei diversi approcci) dei coefficienti parziali (CP) indicati dalla tabella 6.2.II alle NTC 2018.

	M1	M1	M1	M1
	γ	$\tan \varnothing'$	C'	C_u
CP	1	1	1	1
	M2	M2	M2	M2
CP	1	1,25	1,25	1,4

I valori di progetto risultanti dall'applicazione dei coefficienti parziali secondo l'approccio 2 sono, cautelativamente, i seguenti.

Significato dei simboli utilizzati:

Dsc: descrizione del suolo.

Thk: spessore dello strato. [cm]

StrType: tipo di strato (Piano, Inclinato o Generico).

SloType: metodo di valutazione dell'inclinazione di progetto per strati generici.

IncL: inclinazione di progetto dello strato sull'orizzontale, lato sinistro, positiva se antioraria. [deg]

IncR: inclinazione di progetto dello strato sull'orizzontale, lato destro, positiva se antioraria. [deg]

StfMt: metodo per la valutazione della rigidità dello strato.

Afct: fattore A della formulazione binomia della rigidità ($k=A+B^n$).

Bfct: fattore B della formulazione binomia della rigidità ($k=A+B^n$).

Nfct: fattore n della formulazione binomia della rigidità ($k=A+B^n$).

Fi: angolo di attrito interno. [deg]

Dlt: angolo di attrito delta all'interfaccia paratia/soilo. [deg]

Cse: coesione efficace. [daN/cm²]

Cu: coesione non drenata. [daN/cm²]

Ads: adesione della coesione all'interfaccia paratia/soilo.

Gmn: peso specifico naturale del terreno in sito. [daN/cm³]

Gms: peso specifico saturo del terreno in sito. [daN/cm³]

K0: coefficiente di spinta a riposo.

Es: modulo elastico del terreno. [daN/cm²]

Ps: modulo di Poisson del terreno.

RQD: rock Quality Degree per terreni rocciosi (0 negli altri casi).

khor: permeabilità orizzontale. [cm/s]

kvrt: permeabilità verticale. [cm/s]

Terreni presenti in sito

Dsc	Fi	Dlt	Cse	Cu	Ads	Gmn	Gms	K0	Es	Ps	RQD	khor	kvrt
Orizzonte A	25	17	0	0	1	0.002	0.0022	0.58	40	0.3	0	0.1	0.01
Orizzonte B	27	18	0.05	0.5	1	0.002	0.0022	0.55	60	0.3	0	0.1	0.01
Orizzonte C	23	16	0.1	1	1	0.0022	0.0024	0.61	300	0.3	0	0.1	0.01

La velocità media delle onde di taglio $V_{s,30}$, in relazione alla tipologia e importanza dell'opera (come indicato nella relazione geologica), è stata determinata in maniera diretta tramite un'indagine geofisica sismica a stazione singola (HVSR). La prova geofisica ha permesso di ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali V_s da cui ricavare il parametro $V_{s,30}$ che è risultato pari a 258 m/sec.

Per la definizione dell'azione sismica, a seguito di specifica indagine, è stata utilizzata la categoria di sottosuolo C (Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori della velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s).

Le condizioni topografiche locali sono configurate da un assetto morfologico assimilabile a quello di pendii con inclinazione media inferiore a 15°; è stata accreditata l'assimilazione alla categoria T_1 (Tab. 3.2III delle NTC2018).

Le azioni agenti sull'opera di presidio sono ricondotte al terreno tramite un sistema di pali trivellati (diametro di 80 cm) aventi lunghezza pari a 18 m (dalla quota

di sbancamento) e collegati, in sommità, da un reticolo di cordoli in c.c.a. in grado di contrastare gli spostamenti relativi.

Le soluzioni fondali consentono l'ancoraggio della struttura a terreni che, per le loro caratteristiche geomeccaniche di addensamento e consolidazione, sono in grado di assorbire le azioni trasmesse.

Nei tabulati di calcolo sono riportate le verifiche di portata e di resistenza dei pali trivellati. Da quanto emerge dal calcolo automatico della struttura, i carichi indotti sui pali risultano inferiori a quelli limite.

Le opere di presidio in c.c.a. dovranno essere accompagnate da un efficace sistema di regimazione delle acque superficiali e dalla regolarizzazione della superficie topografica eliminando contropendenze e ogni elemento morfologico incline a favorire ristagni e infiltrazioni d'acqua nel sottosuolo.

La validità delle ipotesi fatte in sede di progetto, in relazione alle caratteristiche del terreno e delle fondazioni del manufatto, dovrà essere controllata durante l'esecuzione dell'opera.

Parte 2 - RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

2.1. Premessa.

Il progetto d'intervento prevede il "confinamento" dell'area interessata dai dissesti mediante la realizzazione di un'opera di presidio costituita da una paratia di pali collegati in sommità da cordoli in c.c.a.; tale opera di presidio sarà accompagnata dalla regolarizzazione della superficie topografica e da opere di manutenzione della careggiata.

Il progetto strutturale è stato redatto in conformità al progetto architettonico, recependo le indicazioni degli strumenti urbanistici anche al fine di garantire le prestazioni attese e la compatibilità con le componenti tecnologiche.

La progettazione, oltre che sull'esame degli strumenti urbanistici, si è basata su un'attenta analisi del sito, su quanto indicato negli strumenti di pianificazione urbanistica e sui risultati dell'analisi geologica allegata alla pratica sismica.

2.2. Descrizione generale dell'opera e criteri generali di progettazione, analisi e verifica.

Il progetto strutturale contempla la realizzazione di un'opera di presidio mediante:

- la preparazione del piano di imposta delle fondazioni;
- la realizzazione di un sistema di pali trivellati che costituiscono l'opera di presidio;
- la realizzazione dei cordoli di coronamento della palificata.

Opere complementari riguardano:

- la regolarizzazione del profilo morfologico, eliminando contropendenze e ogni situazione di ristagno superficiale delle acque;
- il ripristino del piano viario.

Si precisa che il calcolo strutturale del manufatto è stato eseguito secondo i criteri della Scienza delle Costruzioni; le verifiche degli elementi strutturali sono state condotte mediante il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

2.3 Quadro di riferimento normativo adottato.

Si rimanda al punto c) dell'illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale.

2.4. Azioni di progetto sulla costruzione.

I carichi e i sovraccarichi fanno riferimento al D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" ed alle relative istruzioni.

CARICO DA NEVE

$H_{max} \approx 490$ m s.l.m.

Zona I - Mediterranea

$q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_e \times C_t$

$$q_{sk} = 1,35 \cdot \left[1 + \left(\frac{a_s}{602} \right)^2 \right] \frac{kN}{m^2} = 2,24 \frac{kN}{m^2}$$

Condizioni di carico per coperture a due falde con $\alpha_1, \alpha_2 \leq 30^\circ$: $\mu_1(\alpha) = 0,8$

$C_e = 1$ (Tab. 3.4.I – NTC2018) – coefficiente di esposizione

$C_t = 1$ – coefficiente termico

$q_s \approx 180$ daN/m²

SOVRACARICHI MOBILI

Nel dimensionamento dell'opera di sostegno si è tenuto conto della presenza dei veicoli in transito sulla strada comunale ai sensi di quanto prescritto dalle NTC 2018 (punto 6.5.2.1).

Le norme di riferimento (D.M. 17 gennaio 2018 e relativa Circolare) non forniscono indicazioni specifiche circa i sovraccarichi da utilizzare per il dimensionamento di opere di sostegno poste ai margini delle strade; in ogni caso, indicazioni circa i carichi da utilizzare per il dimensionamento dell'opera sono state dedotte con un approccio conservativo dal Cap. 3 delle NTC2018 (Azioni sulle costruzioni) e dal Cap. 5 (Costruzione di ponti).

La strada comunale Via Donegani è classificata di categoria F “Strade locali” ai sensi del DM 5/11/2001 n. 6792 (non è riconducibile alla declaratoria di cui alla Classe III e IV come definite dal DM 17/01/2018).

La Tab. 3.1.II delle NTC2018 indica per le aree trafficate o soggette a parcheggio (veicoli di peso a pieno carico compresi tra 30 KN e 160KN) un sovraccarico di 5 KN/mq.; tale carico tiene già conto degli effetti dinamici ordinari come specificato nel capito 3.1.4 delle NTC 2018 (nel caso specifico di transito di veicoli sulla pavimentazione stradale “relativamente flessibile” non sono ipotizzabili rilevanti amplificazioni dinamiche della risposta delle strutture di sostegno).

Il transito dei mezzi di maggiori dimensioni sulla strada è stato tenuto in debito conto facendo riferimento (cautelativamente) ai carichi previsti per i ponti stradali (Cap. 5.1.3.3.5 delle NTC 2018); in particolare, nelle analisi numeriche è stato considerato un sovraccarico distribuito in corrispondenza della sede stradale e avente peso pari 1000 daN/m² (tale carico, a favore di sicurezza, è molto maggiore di quelli ipotizzabili durante la vita dell’opera progettata).

2.7.7. Principali risultati.

I principali schemi grafici rappresentativi dei modelli numerici adottati e dei carichi inerenti agli elementi strutturali sono riportati nelle relazioni di calcolo in allegato.

2.8. Controlli effettuati sull’analisi e giudizio motivato di accettabilità dei risultati delle elaborazioni.

Preliminarmente alla verifica dei modelli strutturali, sono stati predimensionati i principali elementi strutturali con metodo sbrigativo (secondo i criteri della scienza delle costruzioni e della geotecnica); in particolare sono state verificate manualmente le spinte indotte sul muro di sostegno con formule speditive tipiche della geotecnica.

La comparazione tra sollecitazioni desunte dai semplici calcoli manuali di predimensionamento sono state comparate (con esito positivo) con le sollecitazioni dedotte dal codice di calcolo.

Per le verifiche di sicurezza sono stati adottati i criteri contemplati dal metodo semiprobabilistico agli stati limite. In particolare sono stati soddisfatti i requisiti per la

sicurezza allo stato limite ultimo (anche sotto l'azione sismica) e agli stati limite di esercizio (esaminando anche le deformazioni relative).

L'analisi numerica (accompagnata da approfondite verifiche manuali) è stata condotta mediante il programma BullCAD, prodotto dalla Concrete S.r.L. di Padova.

I dati considerati e le valutazioni condotte in fase di predimensionamento della struttura sono stati confrontati con i risultati derivanti dal modello numerico; i valori paragonabili delle due analisi confermano la correttezza dei risultati ottenuti (sia in termini di stati tensionali che deformativi).