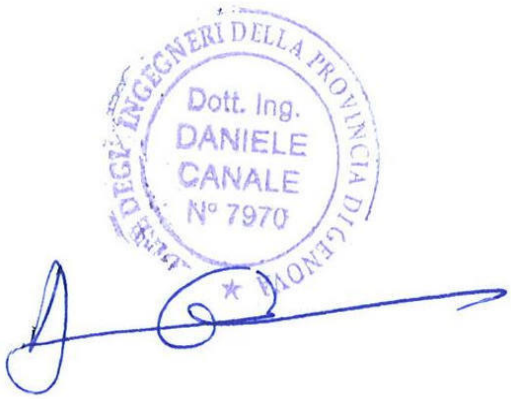
DOTT. ING. DANIELE CANALE
INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA

● Via Corsica 2/1 – 16128 – Genova ● Tel.: 0105705585 - 3402337317 ● e-mail: daniele.canale@gmail.com
● pec: daniele.canale@ingpec.eu ● P.IVA: 01375020995 ● CF: CNLDNL76L27D969X

Committente:	**Impresa RE S.r.l.** **Via alla Chiesa, 2A/1 – 16012 Busalla (GE)**
Intervento:	**Realizzazione di riempimento con terre e rocce da scavo e trattamento inerti**
Ubicazione:	**Località Camposaragna (Comune di Isola del Cantone - GE) - S.P. n 35 dei Giovi**
Oggetto della Relazione:	**ADDENDUM a Relazione geotecnica (verifica terre armate del rio a progetto)**



Genova, 17/07/2019

1 Indice della Relazione

1 Indice della Relazione 1
2 Oggetto della Relazione 2
3 Normativa di riferimento 3
4 Modalità di calcolo 3
5 Carichi di progetto e grandezze geometriche di interesse 4
5.1 Azioni gravitazionali 4
5.2 Azione sismica di progetto 4
6 Modello del sottosuolo 5
7 Verifiche di sicurezza sulle opere 6
7.1 Breve descrizione del programma 7
8 Verifica Sezione 4-4' 10
8.1 Verifica di stabilità globale 12
9 Allegato 1 14

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

2 Oggetto della Relazione

Oggetto della presente relazione è lo studio e la verifica delle opere necessarie alla realizzazione di un rilevato per il riempimento di un'area adiacente ad un versante sito in Località Camposaragna nel Comune di Isola del Cantone (GE), lungo la Strada Provinciale n. 35 dei Giovi, al fine di creare una superficie piana in cui verrà insediata una nuova attività.

In questa fase si analizza nel dettaglio la sezione di progetto 4-4' (si veda tavola n. 5 del progetto architettonico a firma dell'arch. Sara D. Zorzan ed estratto della stessa in figura 1), in cui la quota del terreno attuale verrà alzata con terreno di riporto e verrà conformato l'alveo dove scorrerà il Rio A.

Gli argini del suddetto alveo verranno realizzati tramite terre armate rinforzate con geogriglie in poliestere di diversa resistenza (vedi figura 2); verrà inoltre posta particolare attenzione alle terre direttamente interessate dal Rio A: verranno pertanto impiegare delle biostuoie antierosive in fibra naturale di cocco ed il fondo sarà realizzato mediante posa di massi calcarei.

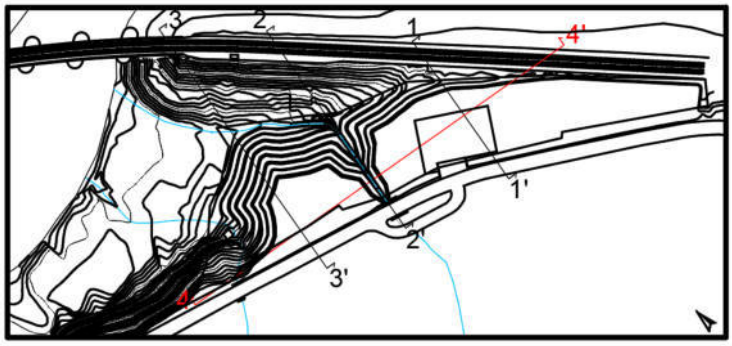


Figura 1: *Planimetria generale di progetto*

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

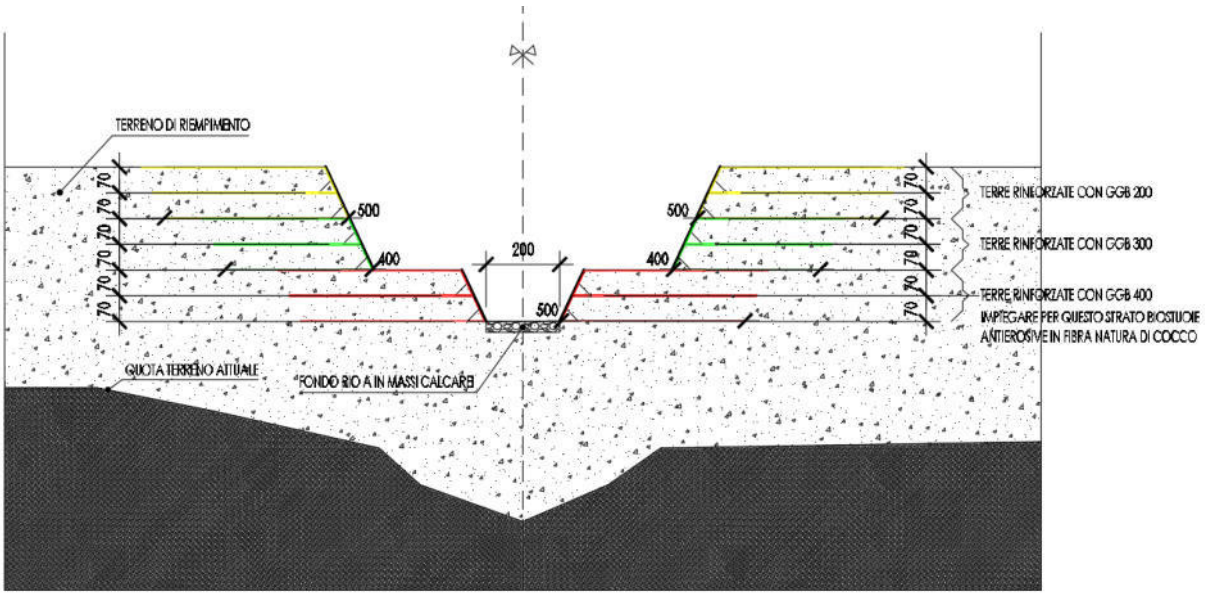


Figura 2: *Sezione trasversale 4-4'*

3 Normativa di riferimento

- D.M. 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»";
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019: "Istruzioni per l'applicazione dell' «Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"», di cui al D.M. 17 gennaio 2018 (Circolare applicativa NTC2018);
- D.G.R. 216 del 17 marzo 2017 "OPCM 3519/2016.Aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Liguria".

4 Modalità di calcolo

Gli elementi strutturali sono stati verificati con i procedimenti di calcolo previsti dalla Normativa vigente.

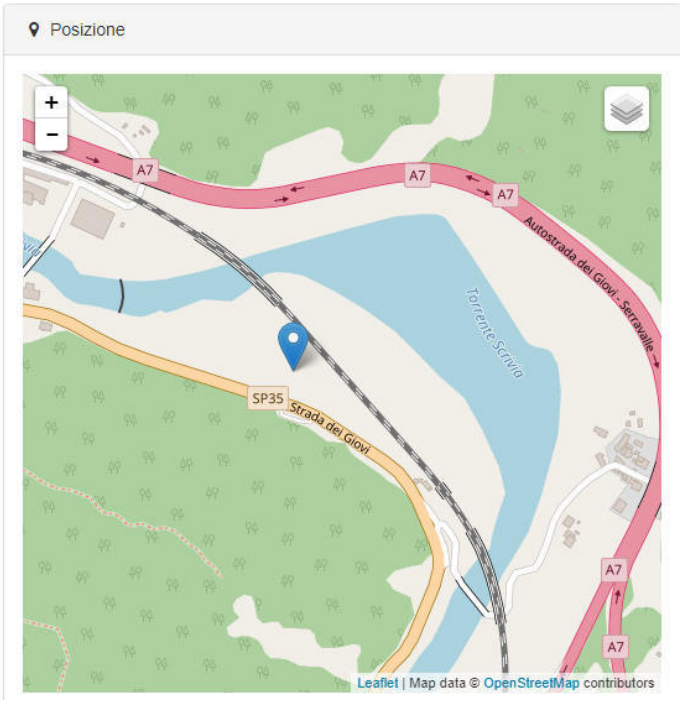
La determinazione delle caratteristiche di sollecitazione è stata effettuata con gli usuali metodi proposti dalla Scienza delle Costruzioni, sia a mano che con l'ausilio dei software agli elementi finiti *Plaxis* e le verifiche di sicurezza sono state effettuate con il metodo semiprobabilistico degli Stati Limite, in accordo con la *Normativa Italiana* vigente.

L'opera in oggetto, sita nel Comune di isola del Cantone (GE) ricade in zona 3.

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

Di seguito si riportano le coordinate del sito, in diversi sistemi di riferimento:





5 Carichi di progetto e grandezze geometriche di interesse

Nel presente capitolo è riportata l'analisi dei carichi condotta per i massimi carichi di progetto. Le azioni di progetto sono valutate in accordo con quanto prescritto dal *D.M. 17 gennaio 2018*.

5.1 Azioni gravitazionali

Non sono presenti particolari spinte a tergo della struttura, in quanto il piazzale a progetto è posto a grande distanza dalla sezione oggetto di studio. L'unica azione è pertanto dovuta alla sola spinta del terreno.

5.2 Azione sismica di progetto

I parametri sismici assunti a base del calcolo sono i seguenti:

- Vita nominale: opere ordinarie V_N=50 anni
- Classe d'uso: II – normali affollamenti Cu=1
- Periodo di riferimento: V_R=V_N x Cu = 50 anni
- Coefficiente topografico: 1 (T1)
- Categoria del suolo di fondazione: E

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto al par.3.2.2 il D.M.17 Gennaio 18 definisce cinque categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

In accordo con la relazione geologica a firma del geologo *Dott. M. Malfatti,* il terreno di fondazione è classificabile nella *categoria E con caratterizzazione topografica T1.*

Si riportano i parametri sismici impiegati, ottenuti impiegando il software GeoStru:

```
Tipo di elaborazione:     Opere di sostegno NTC 2018
Muro rigido:     0

Sito in esame.
        latitudine:       44,6630445428739
        longitudine:      8,94563699082846
        Classe:           2
        Vita nominale:    50

Siti di riferimento
        Sito 1    ID: 15808       Lat: 44,6474     Lon: 8,9233      Distanza: 2482,284
        Sito 2    ID: 15809       Lat: 44,6500     Lon: 8,9934      Distanza: 4047,915
        Sito 3    ID: 15587       Lat: 44,7000     Lon: 8,9897      Distanza: 5386,674
        Sito 4    ID: 15586       Lat: 44,6973     Lon: 8,9195      Distanza: 4333,153

Parametri sismici
        Categoria sottosuolo:     E
        Categoria topografica:    T1
        Periodo di riferimento:   50anni
        Coefficiente cu:          1

        Salvaguardia della vita (SLV):
        Probabilità di superamento:       10       %
        Tr:                               475      [anni]
        ag:                               0,094 g
        Fo:                               2,434
        Tc*:                              0,274    [s]


Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018
                SLV:

                Ss:     1,600
                Cc:     1,930
                St:     1,000
                Kh:     0,057
                Kv:     0,029
                Amax:   1,474
                Beta:   0,380
Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
```

6 Modello del sottosuolo

In questo capitolo sono riportate, in chiave geotecnica, le risultanze delle varie indagini in sito desunte dall'analisi della Relazione Geologica firma del *Dott. Geologo M. Malfatti.*

Con riferimento alle stratigrafie riscontrate in sito e riportate all'interno della Relazione Geologica si tratta di definire il Modello Geotecnico del Sottosuolo (MGS) re-

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

lativo ai terreni che costituiscono il Volume Significativo interessato dalle fondazioni dell'edificio principale.

Il primo passo da compiere è quello di scegliere un appropriato legame costitutivo dei terreni interessati; a tal proposito al fine di ottenere risultati semplici e facilmente interpretabili (ma dotati di un buon grado di precisione) si è deciso di caratterizzare i terreni e le rocce mediante un legame elasto-plastico con criterio di rottura alla Mohr-Colulomb.

Ovviamente, per i terreni granulari, la resistenza è conferita esclusivamente dall'angolo di taglio, φ', ed è definita dalla seguente relazione:

$$\tau = \sigma' tg\varphi'$$

mentre, per i terreni coesivi, occorre separare le condizioni drenate da quelle non drenate; pertanto in condizioni drenate la resistenza è definita dalla seguente relazione:

$$\tau = c' + \sigma' tg\varphi'$$

a lungo termine (tensioni efficaci), dove i simboli utilizzati indicano:

τ la resistenza a taglio del terreno;

σ' la tensione efficace agente;

φ' l'angolo di taglio del terreno;

c' la coesione drenata del terreno.

In riferimento alla relazione geologica si riportano di seguito i parametri geotecnici del suolo di progetto.

STRATO	Condizione	γ_{dry}	γ_{wet}	$k_x=k_y$	E[kN/mq]	ν	C_{ref} [kN/mq]	ϕ'	tgϕ'	k_0
Deposito / Terreno di Fondazione (F)	M1	19	20	0.864	30000	0.34	2	29	0.55	0.52
	M2	19	20	0.864	30000	0.37	1.6	24	0.44	0.59
Riempimento Rilevato (R)	M1	18	19	0.864	40000	0.33	3	30	0.58	0.50
	M2	18	19	0.864	40000	0.37	2.4	25	0.46	0.58
Substrato (S)	M1	22	22	0.0864	200000	0.33	20	30	0.58	0.50
	M2	22	22	0.0864	200000	0.37	16	25	0.46	0.58

7 Verifiche di sicurezza sulle opere

Si riportano di seguito i risultati dello studio di stabilità globale. Per la geometria della sezione a progetto si faccia riferimento all'elaborato grafico costituente l'Allegato 1.

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

La verifica di stabilità è eseguita mediante l'utilizzo del codice di calcolo agli Elementi Finiti PLAXIS 2D 2018.

7.1 Breve descrizione del programma

Il programma consente di sviluppare tutta la sezione significativa, compresi sia il piano di campagna (P.C.) di monte che di valle, impostando la stratigrafia, la morfologia del P.C., la presenza di opere antropiche quali, ad es. fabbricati, fondazioni etc., l'eventuale falda idrica ed altro ancora. Plaxis è un programma agli elementi finiti specificatamente compilato per le analisi di deformazione e di stabilità, necessarie nei progetti d'ingegneria geotecnica.

Un corretto progetto geotecnico richiede l'utilizzo di modelli costitutivi avanzati per una corretta simulazione del comportamento non lineare o dipendente dal tempo, che rappresenta una caratteristica peculiare del comportamento del terreno anche a bassi livelli tensionali. È inoltre fondamentale tenere in debita considerazione anche il comportamento chiaramente multifase del terreno.

Tutto ciò, congiuntamente alla geometria del problema di volta in volta analizzato, consente una piena modellazione dell'interazione terreno-struttura e la risoluzione di numerosi aspetti geotecnici, anche complessi, d'importanza fondamentale nel campo dell'ingegneria geotecnica.

Input della geometria

La geometria del modello, sia essa il piano di campagna, gli strati del terreno, la superficie piezometrica, le fasi di costruzione o di scavo, etc., è inserita mediante un cad interno allo scopo di ottenere un modello geometrico il più fedele possibile alla realtà fisica studiata. Una volta terminata l'immissione della geometria, il programma permette di definire in maniera interamente automatica e controllata la mesh di calcolo.

Generazione della mesh

La generazione della mesh avviene in maniera automatica; la geometria della mesh è di tipo triangolare, non strutturata, con varie possibilità di aumentarne il grado di finezza (aumentando, quindi, la precisione ma anche i tempi di calcolo). Il generatore di mesh utilizzato è un'evoluzione della procedura Triangolare sviluppata da Sepra (Ingenieusbureau Sepra, Park Nabij 3, 2267 AX Leidschendam (NL)).

Elementi terreno

Gli elementi individuati all'interno della geometria della mesh possono essere distinti in due classi: normali o avanzati.

Questi ultimi sono specificatamente progettati per la ricerca di una più fine distribuzione delle tensioni, all'interno del terreno, nonché per una più precisa analisi di previsione dei carichi di collasso (in alcuni specifici problemi).

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

In ausilio all'elemento triangolare standard a 6 nodi, con precisione quadratica, è quindi affiancato l'elemento triangolare avanzato a 15 nodi con precisione cubica, particolarmente indicato per i problemi assialsimmetrici.

Elemento beam

Allo scopo di simulare le strutture di sostegno del terreno, gli archi delle gallerie ed altre categorie di strutture soggette a flessione, è stato sviluppato l'elemento "beam" definito dalle seguenti caratteristiche:

- rigidezza flessionale;

- rigidezza assiale;

- momento plastico.

Questi elementi sono spesso accoppiati all'elemento "interfaccia" per una miglior simulazione dell'interazione struttura-terreno.

Elemento interfaccia

Questo elemento permette di simulare il contatto fra struttura e terreno (fondazioni, pali, paratie, tiranti, etc.) oppure per simulare le discontinuità presenti all'interno di un ammasso roccioso.

Possono essere definite le stesse caratteristiche di resistenza del terreno, oppure, in alternativa, è possibile definirne di specifiche.

Elemento tirante

Questo elemento è identificato da una molla elastoplastica il cui comportamento è definito mediante:

- una rigidezza assiale [kN];

- un interasse [m];

- una forza di tesatura (se l'elemento è pretensionato) [kN/m].

Come si nota questo elemento consente di simulare, indifferentemente, tiranti attivi o passivi.

Elemento geotessile

Come dice il nome questo elemento è specificatamente progettato per la simulazione del comportamento di tutta quella famiglia di elementi che interagiscono direttamente con il terreno, aumentandone le sue caratteristiche di resistenza; nella simulazione dei tiranti, definiti al paragrafo precedente, esso è utilizzato per la simulazione del tratto di fondazione del tirante stesso (bulbo).

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

Tale elemento è identificato nel caso specifico del bulbo di un tirante da una rigidezza assiale [kN/m].

Modello costitutivo alla "Mohr-Coulomb"

Questo modello costitutivo del terreno è robusto e semplice ed è quello più comunemente utilizzato nelle applicazioni pratiche.

Questo modello permette di cogliere anche alcuni, ma non tutti, degli aspetti del comportamento non lineare del terreno e può essere efficacemente utilizzato nell'analisi preliminare a collasso utilizzando l'approccio "phi-c reduction" per il calcolo del fattore di sicurezza globale della struttura modellata in corrispondenza di una qualunque fase (provvisionale o definitiva).

Pressione idraulica in regime stazionario

La generazione della pressione idraulica nel terreno, in regime stazionario (ad esempio la condizione Ko), può essere eseguita mediante due approcci diversi: mediante un'analisi di flusso in condizioni bidimensionali o direttamente dall'immissione della superficie piezometrica, nei casi più semplici.

Costruzione a step

Con Plaxis è possibile, in fase di calcolo, simulare tutte le fasi di costruzione della struttura in progetto, attivando l'opzione "Staged Construcion"; in questa maniera, disattivando ed attivando volta per volta elementi di terreno o di strutture in esso definite, è possibile cogliere anche le fasi di lavoro per ottenere l'opera finita.

Calcolo del Fattore di Sicurezza

Il calcolo del fattore di sicurezza del progetto è un elemento d'importanza fondamentale; il fattore di sicurezza è definito come il rapporto fra il carico di collasso ed il carico di lavoro (nel caso delle fondazioni) oppure come il rapporto fra la resistenza a taglio disponibile e le tensioni tangenziali mobilitate.

In estrema sintesi, la ricerca del Grado di Sicurezza dell'opera nel suo complesso è condotta mediante una procedura iterativa, denominata c-phi reduction, la quale riduce passo passo i valori delle resistenze del terreno (coesione ed angolo di taglio) arrestandosi nell'istante di nascita di una situazione di collasso (o per raggiungimento del criterio di rottura negli elementi terreno o per raggiungimento delle condizioni di rottura in qualche elemento strutturale – pali, tiranti etc. –).

Ovviamente il punto di partenza dell'analisi iterativa coincide con l'ultima fase studiata. Il Grado di Sicurezza è definito dalla seguente espressione:

$$\mathrm{GS} = \frac{\tau_{\mathrm{iniziale}}}{\tau_{\mathrm{collasso}}}$$

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

ossia dal rapporto fra la resistenza del terreno all'inizio dell'analisi e dalla stessa al momento del collasso.

Risultati

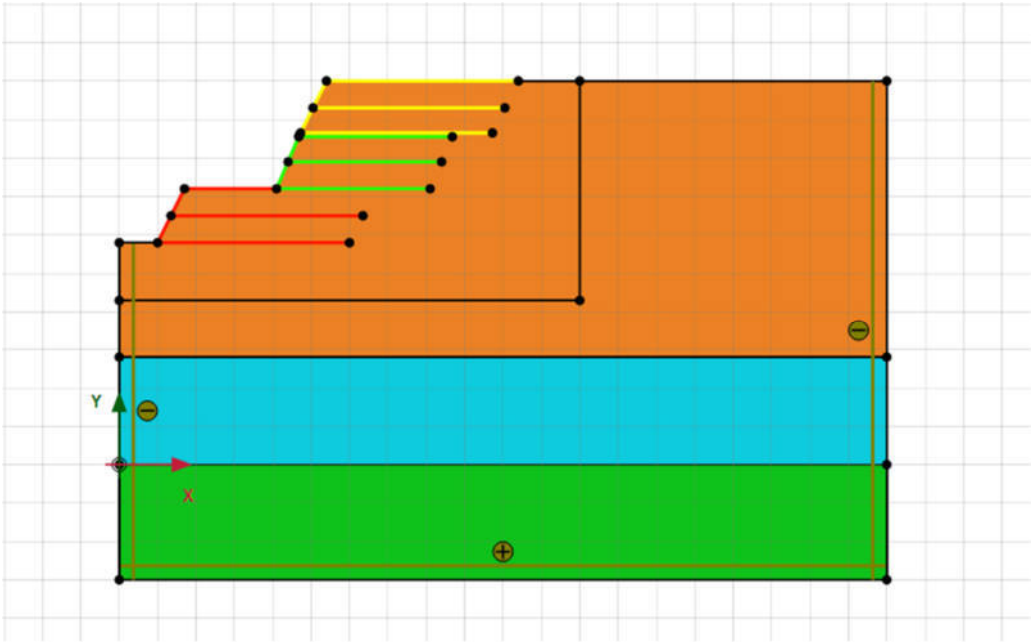
Plaxis permette di presentare i risultati dell'analisi in varie forme:

- mediante rappresentazioni delle tensioni nel modello;
- mediante rappresentazioni delle deformazioni del modello;
- mediante tabulati;
- mediante percorsi tensionali.

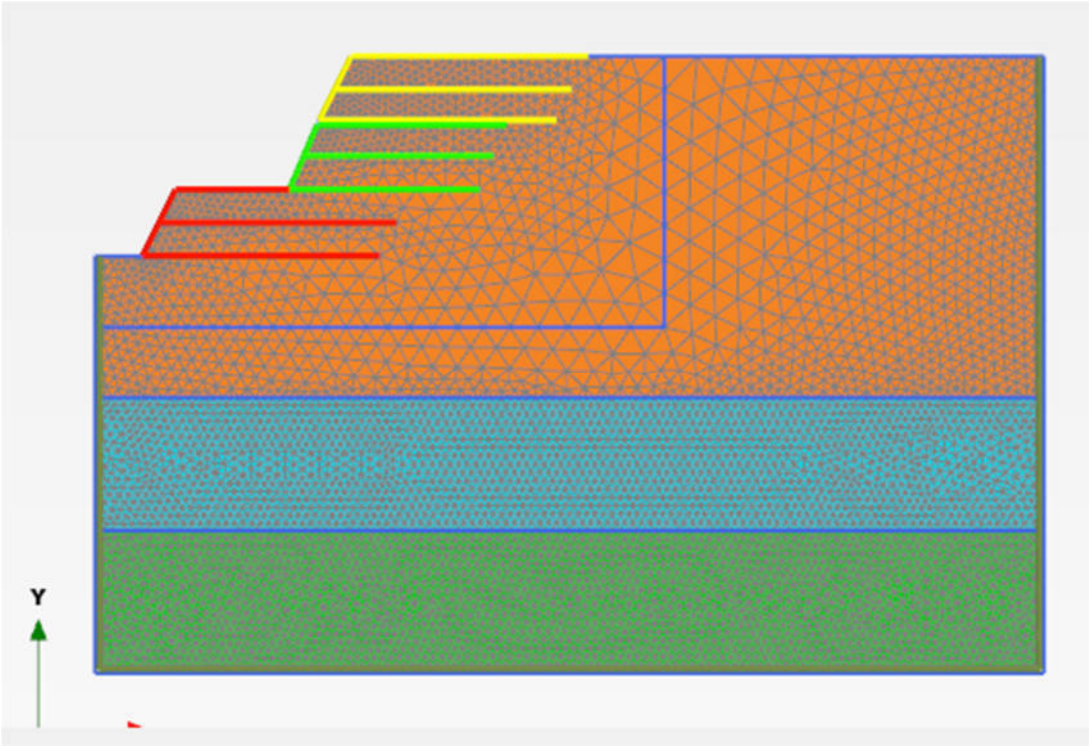
La caratterizzazione geotecnica del modello è stata fatta utilizzando i parametri riportati nel paragrafo 6 in relazione alle stratigrafie interessate dall'opera in progetto.

8 Verifica Sezione 4-4'

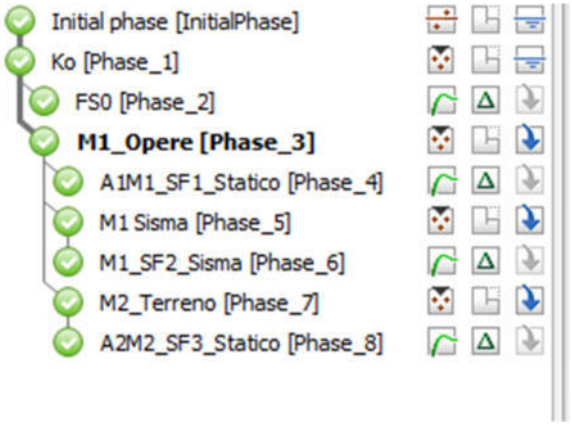
Nelle figure seguenti si riportano la geometria del modello agli elementi finiti, la mesh di discretizzazione e le fasi di calcolo dell'opera precedentemente descritta. Si pone in evidenza che è stato modellato un solo versante (una sola sponda del rio A) data la simmetria della sezione.



È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta



Fasi analizzate:



Per quanto riguarda la sezione in oggetto, con la simbologia riportata nelle figure si indica:

- **K0**: calcolo dello stato tensionale e deformativo del terreno in condizione di carico vergine. I parametri del terreno sono in condizioni M1 (valori caratteristici) e non sono presenti sovraccarichi variabili;
- **FS**: analisi a collasso della struttura al fine di valutare il coefficiente globale (Fattore di Sicurezza) nello stato attuale e ad opera ultimata. In particolare:
    - **FS0**: Valutazione del fattore di sicurezza nelle condizioni iniziali con valori nominali delle caratteristiche del terreno e senza sovraccarichi variabili applicati;

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

- **A1M1_FS1_Statico**: Valutazione del fattore di sicurezza nelle condizioni di progetto con valori nominali delle caratteristiche del terreno (M1) e carichi in condizione A1 (statici);
- **M1_FS2_Sisma**: Valutazione del fattore di sicurezza nelle condizioni di progetto con valori nominali delle caratteristiche del terreno (M1) e carichi in combinazione sismica;
- **A2M2_FS3_Statico**: Valutazione del fattore di sicurezza nelle condizioni di progetto con valori delle caratteristiche del terreno in condizioni M2 e carichi in condizione A2 (statici);

- **M1_Opere**: Fase in cui vengono realizzati il riempimento le terre armate, il terreno ha caratteristiche in condizione M1
- **M1_Sisma**: calcolo dello stato tensionale e deformativo in seguito ad un evento sismico con valori dei parametri geomeccanici in condizioni M1;
- **M2_Terreno**: fase impiegata per cambiare i parametri dei materiali dalla condizione caratteristica a quella M2;

8.1 Verifica di stabilità globale

Si riporta di seguito una tabella contenente tutti i valori di FS ottenuti a seguito delle analisi condotte sulla sezione nelle varie condizioni di carico e con le varie caratteristiche geomeccaniche.

Nome	Descrizione	Valore FS
FS0	Valutazione del fattore di sicurezza nelle condizioni iniziali con valori nominali delle caratteristiche del terreno e senza sovraccarichi variabili applicati	Non rilevante in quanto il terreno è pianeggiante e non soggetto a spinte orizzontali significative
A1M1_FS1_Statico	Valutazione del fattore di sicurezza nelle condizioni di progetto con valori delle caratteristiche del terreno in condizioni M1 e carichi in condizione A1 (statici)	1.498
M1_FS2_Sisma	Valutazione del fattore di sicurezza nelle condizioni di progetto con valori delle caratteristiche del terreno in condizione M1 e carichi in combinazione sismica	1.451

È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

A2M2_FS3_Statico	Valutazione del fattore di sicurezza nelle condizioni di progetto con valori nominali delle caratteristiche del terreno (M2) e carichi in condizione A2 (statici)	1.206

Si riporta di seguito in forma tabellare gli approcci impiegati per le diverse verifiche e i relativi coefficienti parziali di sicurezza, nonché i coefficienti di sicurezza minimi da ottenere (R), estratti dalle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I Si specifica che con stabilità si intende la verifica a stabilità globale dell'intero complesso opere di sostegno-versante.

DM 2018									
		App.	Comb.	A		M		R	
No sisma	Ver. STAB	1	2	A2	1.0/1.3	M2	1.25	R2	1.1
	Ver. Altre	1	1	A1	1.3/1.5	M1	1	R1	1*
		2	2	A2	1.0/1.3	M2	1.25	R2	1*
		App.	Comb.	A		M		R	
Si sisma	Ver. STAB	-	-	-	1.0/Ψ2	-	1	-	1.2
	Ver. Altre	1	1	A1	1.0/Ψ2	M1	1	R1	1*
*= coeff. Sicurezza resistenze materiali									

Si evidenzia che secondo le indicazioni delle NTC 2018 le verifiche di stabilità globale in presenza di sisma devono essere seguite impiegando i valori caratteristici del terreno; dato che i valori caratteristici coincidono con i valori di calcolo con l'approccio 2 (A1+M1+R3), si ritiene che il coefficiente di sicurezza M1_FS2_Sisma sia sufficiente per la verifica sismica del versante.

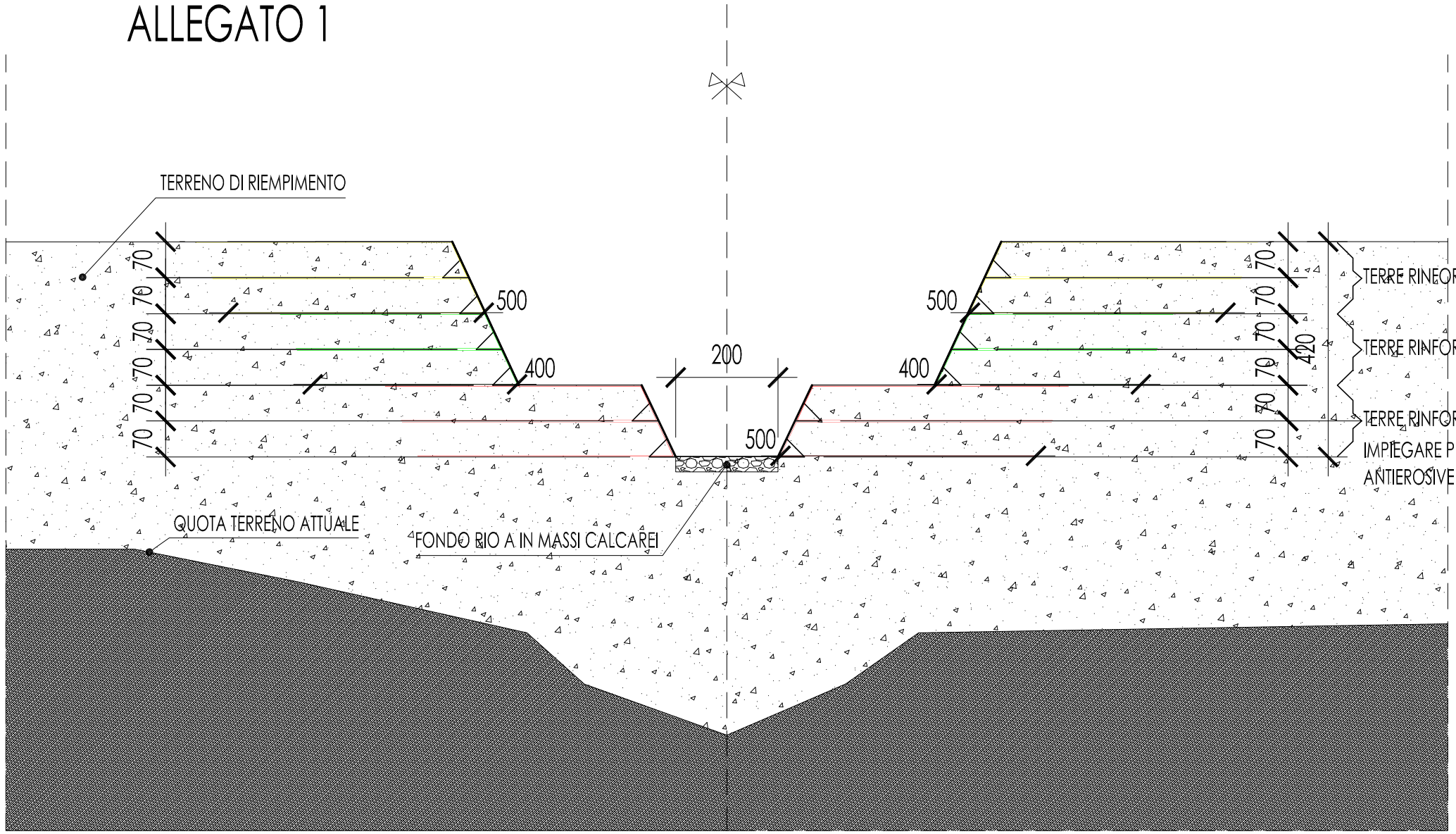
È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

9 Allegato 1

In allegato 1 si riporta la sezione di progetto in scala 1:100

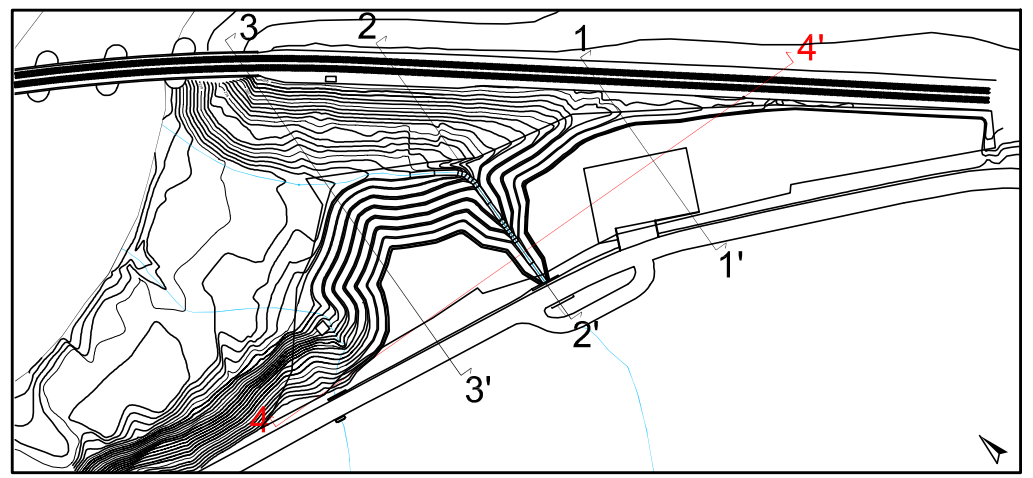
È vietata la riproduzione di questo documento, senza autorizzazione scritta

ALLEGATO 1



SEZIONE 4-4'

scala 1:100



PLANIMETRIA DI PROGETTO

NON IN SCALA