


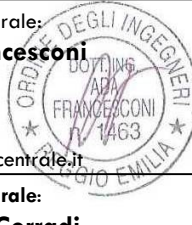


Titolo: DM n. 517 del 16 dicembre 2021 - "Investimenti in infrastrutture idriche primarie per la sicurezza dell'approvvigionamento idrico" linea d'investimento M2C4 - I4.1 del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)"

RIFUNZIONALIZZAZIONE DELLA TRAVERSA POSTA SUL TORRENTE ENZA IN LOCALITA' CEREZZOLA

Importo: €. 16.107.788,13				Ente Finanziatore: MIT	
Tipologia Progetto				Riferimento Legislativo	Comune
Fattibilità	Definitivo	Esecutivo	Contabilità	Canossa (RE) Neviano degli Arduini (PR)	
		X			


ALLEGATI:

Allegato n.	Titolo: VERIFICA DI OTTEMPERANZA delle condizioni ambientali contenute nel provvedimento di VIA approvato con DGR n. 357 del 13/03/2023, ai sensi dell'art.28, comma 3 del d.lgs.152/2006
Tavola: 5	Oggetto: Relazione di verifica strutturale argine invaso laterale in condizioni di rapido svasso sia durante che dopo eventi di natura sismica
Scala:	

La Progettista Generale: Dott. Ing. Ada Francesconi  afrancesconi@emiliacentrale.it	
Il Progettista Strutturale: Dott. Ing. Stefano Corradi 	
Il Progettista Opere Elettromeccaniche: P.I. Mauro Bigliardi	
Il Responsabile del Procedimento: Dott. Ing. Pietro Torri  ptorri@emiliacentrale.it	

Area Progettazione: SLPP	Codice Progetto: 221/19/00	Codice CUP: G83D21003240006	Codice CIG:
---	---	--	--------------------

Redatto:	Verificato:	Nome File:	Note:

Data Progetto : 31/03/2023	Data Aggiornamento:	
UNI EN ISO 9001:2015	UNI EN ISO 14001:2015	
UNI ISO 45001:2018		

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE [D.G.R. 1373/2011]	3
2.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO	3
2.2. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA	5
2.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.4. PARAMETRI DI PROGETTO.....	7
2.4.1 VITA NOMINALE V_N , CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO V_R	7
2.4.2 CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO	8
2.4.3 AZIONE SISMICA	8
2.4.4 DESCRIZIONE TERRENI	11
2.4.5 PROFILO DEL RILEVATO E STRATIGRAFIA	12
2.4.6 AZIONI IDRAULICHE	14
2.4.7 CARICHI VEICOLARI	14
2.5. CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE	16
2.6. COMBINAZIONI DELLE AZIONI	17
2.7. METODO DI ANALISI	18
2.8. ANALISI SUPERFICIE CRITICA	19
2.9. SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA.....	24
2.10. CARATTERISTICHE E AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO.....	27

1. PREMESSA

La presente relazione di calcolo strutturale ha per oggetto il rilevato arginale riferito all'area di lavoro n.3.

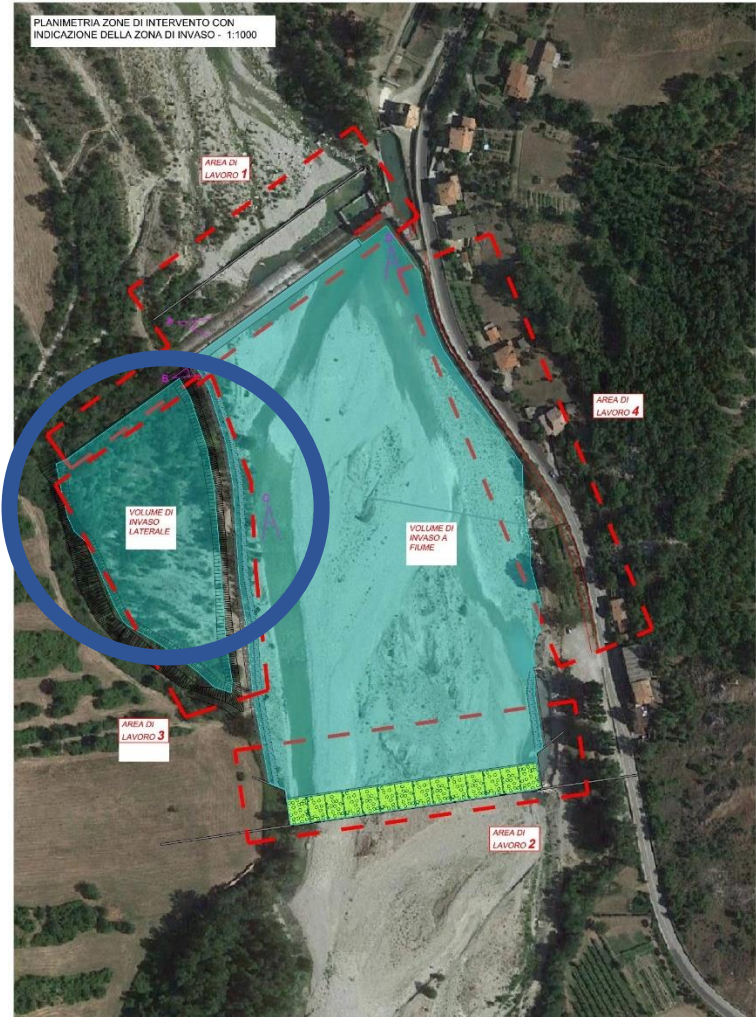


Fig. 1 – Inquadramento Area di lavoro n.3

2. ILLUSTRAZIONE SINTETICA DEGLI ELEMENTI ESSENZIALI DEL PROGETTO STRUTTURALE [D.G.R. 1373/2011]

Questa parte della Relazione di calcolo strutturale è diretta a specificare, in maniera unitaria, gli elementi essenziali che illustrano, in modo chiaro e sintetico, le modalità con cui è stato elaborato il progetto esecutivo riguardante le strutture, con la sintetica indicazione delle motivazioni delle scelte progettuali effettuate, e con un rimando espresso alle restanti parti della relazione di calcolo strutturale e agli altri elaborati costituenti il progetto esecutivo, nelle quali possono rilevarsi gli elementi e le spiegazioni di dettaglio.

2.1. DESCRIZIONE DEL CONTESTO

L'elemento di separazione fra volume laterale e corso d'acqua è sostanzialmente coincidente con la attuale sponda che verrà ricostruita e rinforzata con una scogliera in massi ciclopici verso fiume per permettere la stabilità dell'arginatura anche al transito delle piene. In sommità all'elemento arginale verrà ricavata una pista di accesso per interventi di manutenzione. La funzione dell'elemento di separazione dunque è quella della tenuta strutturale più che idraulica dal momento che comunque, eventuali filtrazioni verso fiume, saranno a vantaggio sempre delle derivazioni in essere.

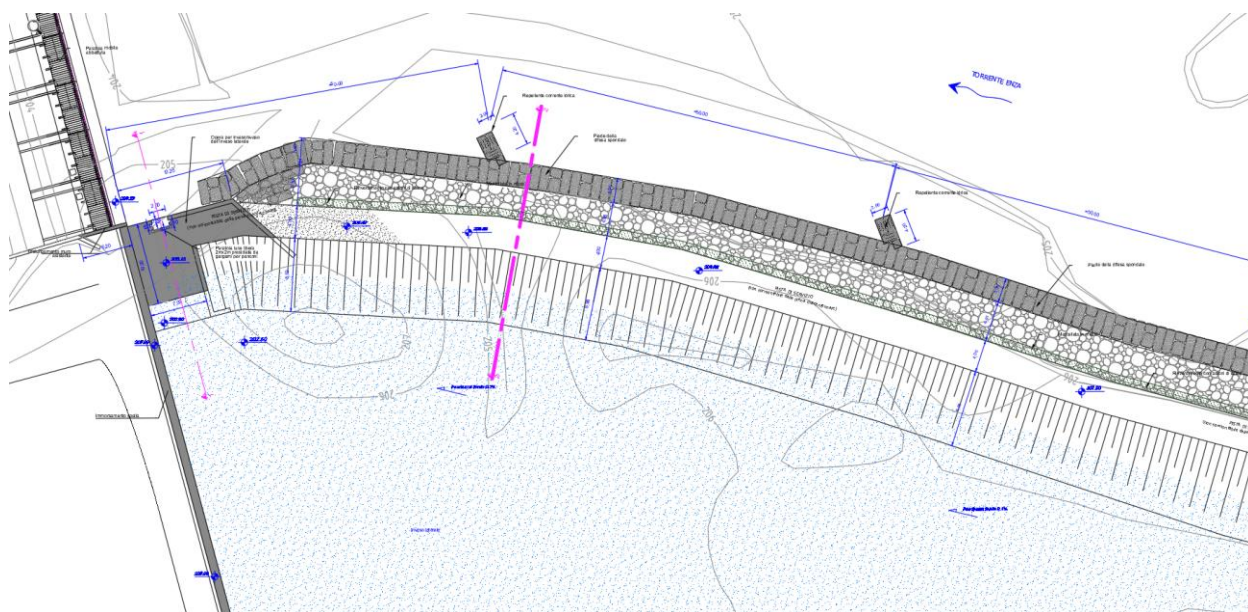


Fig. 2 - particolare della vasca dissabbiatrice – estratto di tavola 3.3.1

Il progettista assume valido il modello geotecnico di cui all'indagine geognostica e geofisica, datata Gennaio 2020 allegata al progetto di fattibilità tecnico economica dello Studio Geologi Associati – GEOLOG a firma del dott. Geol. Fausto Campioli.

Il modello del sottosuolo presente in buona approssimazione nell'intera area di intervento è costituito sostanzialmente da due unità geologico/geotecniche sovrapposte:

- coperture detritiche quaternarie costituite dal materasso alluvionale di sedimenti sciolti quali ciottoli, ghiaia e sabbia limosa;

- substrato roccioso (bedrock) avente grado di fratturazione da medio a basso, decrescente con la profondità costituito da due formazioni in contatto tettonico fra loro: “Argille a Palombini” e “Flysch di Monte Cassio”.

La quota media di approfondimento del substrato roccioso è stata assunta cautelativamente, riscontrando i dati contenuti nella relazione geologica integrativa, pari a 9.20 m dall’estradosso della platea di fondazione del manufatto di collegamento fra invaso laterale e fiume.

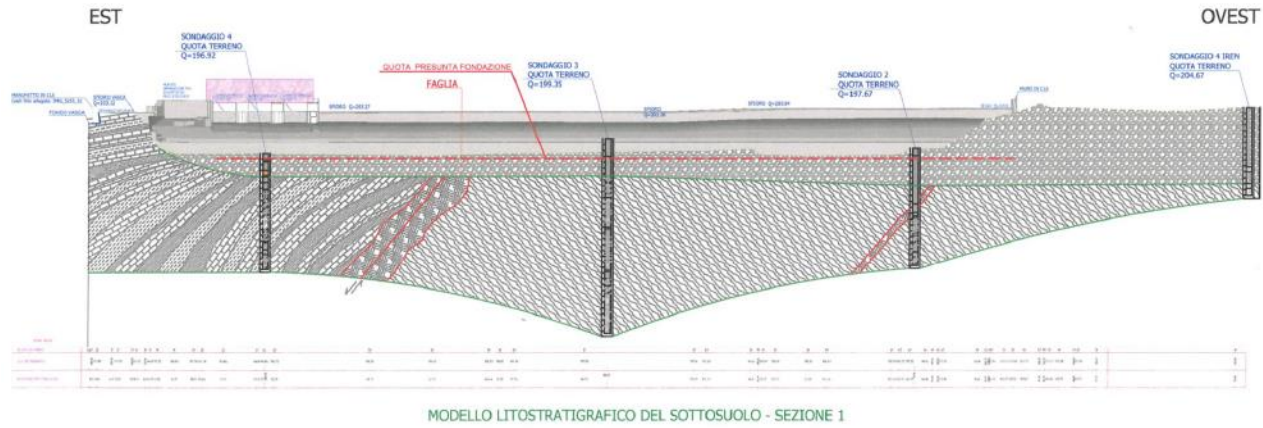


Fig. 3 – Modello litostratigrafico del sottosuolo a valle della traversa

2.2. DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

L'arginatura che separa il volume d'invaso a fiume dal volume di invaso laterale verrà realizzata prelevando il materiale a partire dal piano campagna dell'area di progetto dell'invaso principale: tali terreni costituiscono il materasso alluvionale dell'attuale letto del Torrente Enza e sono composti da una miscela di sedimenti sciolti quali ciottoli, ghiaie, sabbie e limi in quantità eterogenee.

Tale terreno di norma non sarebbe indicato per essere utilizzato nella costruzione di un rilevato arginale con funzione di impermeabilizzazione in quanto la natura grossolana dei suoi costituenti favorisce l'infiltrazione dei fluidi con una certa velocità (alta permeabilità).

Tuttavia il manufatto avrà funzione schermante verso le piene fluviali che, come già registrato nella medesima area, hanno la tendenza a causare un'importante sedimentazione con conseguente riempimento e perdita dell'area di invaso.

L'argine in progetto ha quindi sola valenza strutturale e assolve principalmente a due funzioni:

- Protezione dell'area di invaso secondaria dalle piene fluviali
- Passaggio in sommità dei mezzi di manutenzione

Si rimanda alla relazione geologica redatta dallo *Studio Geologi Associati – GEOLOG* a firma del dott. Geol. Fausto Campioli in gennaio 2020, già depositata in sede di PAUR, per ogni approfondimento in merito alla conoscenza geologica e geotecnica dei terreni presenti nell'area di intervento.

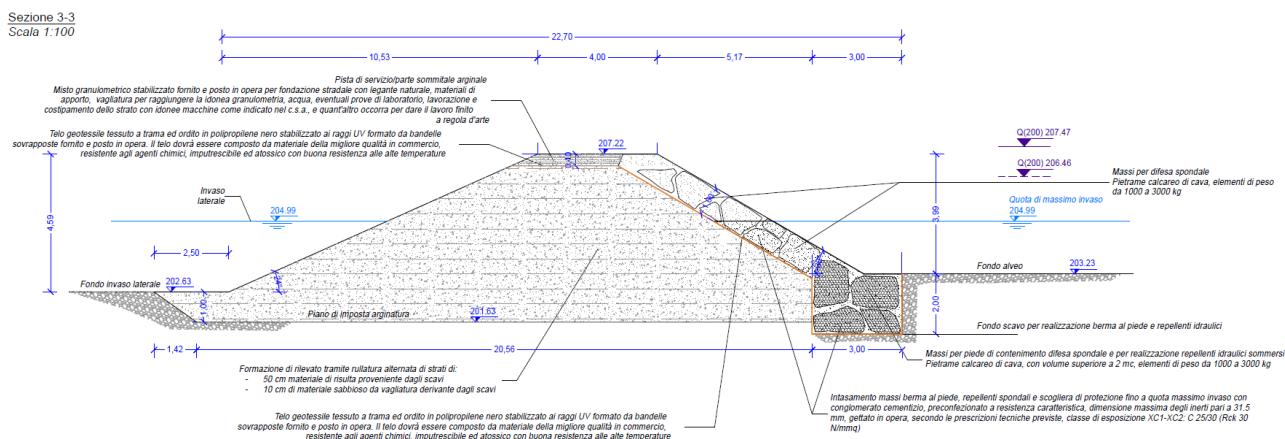


Fig. 4 – Sez. 3 sezione arginale oggetto di verifica

2.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

NAZIONALE

Legge nr. 1086 del 05/11/1971

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

Legge nr. 64 del 02/02/1974

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

D.M. LL.PP. del 11/03/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

D.M. LL.PP. del 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA. GG. /S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche 2018 (D.M. 17/01/2018) e circolare esplicativa n.7 del 21 Gennaio 2019.

Circolare N.7841 del 12/04/2022 (n.1/2022) del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili

REGIONALE

L.R. n.19 del 30 Ottobre 2008

Norme per la riduzione del rischio sismico

2.4. PARAMETRI DI PROGETTO

2.4.1 VITA NOMINALE V_N , CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO V_R

Ai fini delle verifiche di sicurezza, in relazione alla valutazione del livello delle azioni elementari cui la struttura deve essere considerata soggetta, occorre definire la vita nominale della costruzione V_N , intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata allo scopo al quale è destinata.

Per la costruzione in oggetto si adotta, in accordo con la committenza, una vita nominale $V_N=50$ anni [Tab. 2.4.I – NTC 2018].

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Fig. 5 - Tab. 2.4.I, NTC 2018

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

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

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

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

La Classe d'uso della struttura in oggetto è la II [2.4.2 – NTC 2018], cui è associato un coefficiente d'uso $C_u = 1$ [Tab. 2.4.II – NTC 2018].

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Fig. 6 – Tab. 2.4.II, NTC 2018

dunque $V_R = 50$ anni. Le azioni sismiche sulla costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_u .

2.4.2 CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO

Attraverso una integrazione alla Relazione geologica sono stati calcolati gli spettri in risposta sismica locale. La valutazione è stata svolta al fine di escludere eventuali fenomeni di amplificazione stratigrafica dovuti a fenomeni di risonanza degli strati incoerenti posti al disopra del bedrock.

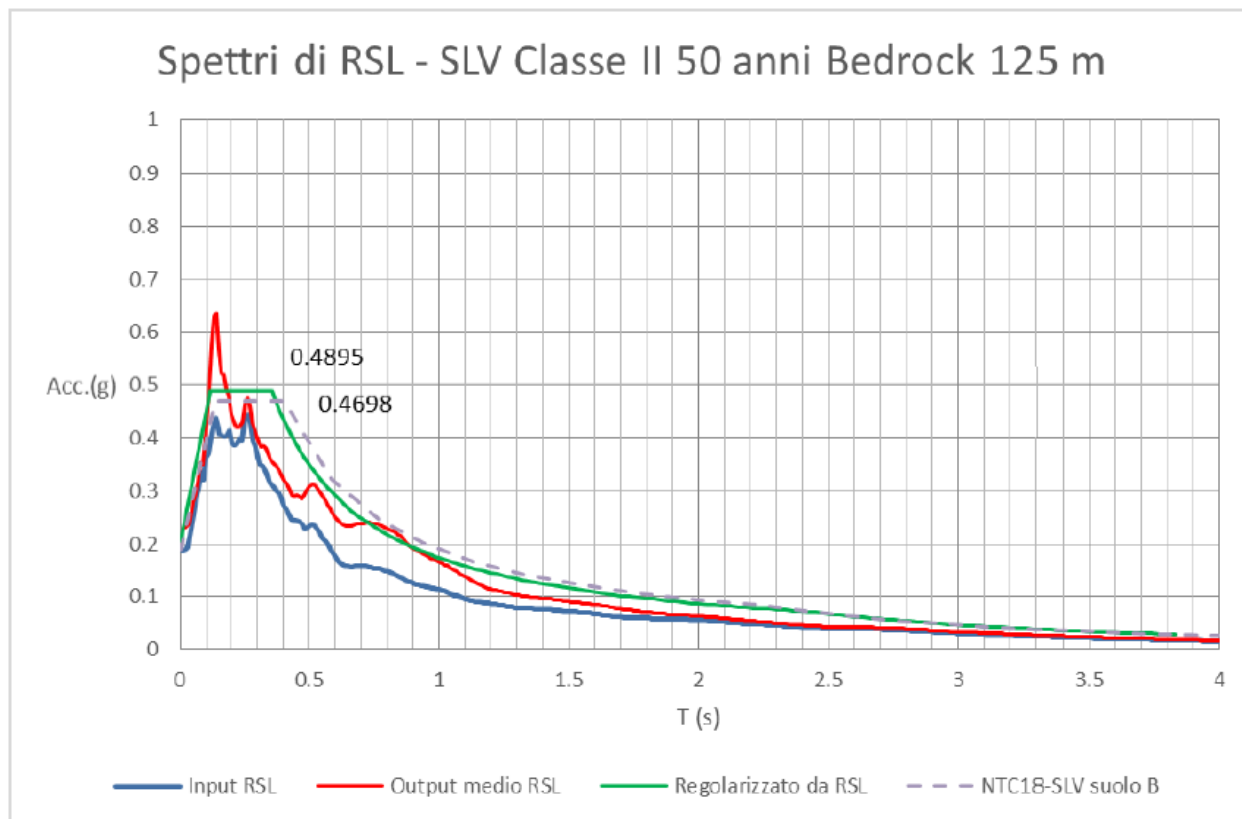


Fig. 7 – Confronto tra lo spettro RSL medio di output, quello RSL regolarizzato secondo l'Appendice 1 dell'Ordinanza n.55 del 24.04.2018, e quello derivato dal cosiddetto "approccio semplificato" delle NTC 2018 – Pag. 21 della Relazione geologica

Dal momento che la struttura è caratterizzata da un periodo proprio di primo modo inferiore a 0,1 sec, unitamente ad un non significativo scostamento degli spettri valutati con approccio semplificato, si ritiene che il suolo di fondazione possa essere assimilato alla **Categoria B** di azione sismica a cui sono assimilabili terreni caratterizzati da un graduale miglioramento con la profondità delle caratteristiche meccaniche e valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

2.4.3 AZIONE SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Per punti non coincidenti con il reticolo di riferimento e periodi di ritorno non contemplati direttamente si opera come indicato nell'allegato alle NTC (rispettivamente media pesata e interpolazione).

L'azione sismica viene definita in relazione ad un periodo di riferimento V_r che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale per il coefficiente d'uso (vedi tabella Parametri della struttura).

Fissato il periodo di riferimento V_r e la probabilità di superamento P_{ver} associata a ciascuno degli stati limite considerati, si ottiene il periodo di ritorno T_r e i relativi parametri di pericolosità sismica (vedi tabella successiva):

a_g : accelerazione orizzontale massima del terreno;

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

T^*c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Parametri della struttura					
Classe d'uso	Vita V_n [anni]	Coeff. Uso	Periodo V_r [anni]	Tipo di suolo	Categoria topografica
II	50.0	1.0	50.0	B	T1

Individuati su reticolo di riferimento i parametri di pericolosità sismica si valutano i parametri spettrali riportati in tabella:

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente $S = S_s \cdot S_t$ (3.2.3)

F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale

T_b è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante.

T_c è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante.

T_d è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale del moto sismico, S_e , è definito dalle seguenti espressioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Dove per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_c valgono 1; mentre per le categorie di sottosuolo B, C, D, E i coefficienti S_s e C_c vengono calcolati mediante le espressioni riportate nella seguente Tabella

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella seguente Tabella

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 di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Le coordinate individuate sul reticolo di riferimento sono le seguenti:

Latitudine 44.577852
 Longitudine 10.402672
 Comune Langhirano
 Provincia Parma
 Regione Emilia Romagna

Punti di interpolazione del reticolo 16273 - 16272 - 16494 - 16495

Tipo di opera

Tipo di costruzione Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari
 Vita nominale 50 anni
 Classe d'uso II - Normali affollamenti e industrie non pericolose
 Vita di riferimento 50 anni

	Simbolo	U.M.	SLV	SLD
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]	1.547	0.657
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]	0.158	0.067
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.490	2.486
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.286	0.259
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss	B	1.200	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St	T1	1.000	1.000
Coefficiente riduzione pendio naturale	β_s		1.000	1.000
Coefficiente riduzione fronti di scavo	β_s		1.000	1.000
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale			0.50	0.50

Pendio naturale

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (per cento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*St*S)$	18.92	8.04
Coefficiente di intensità sismica verticale (per cento)	$k_v=0.50 * k_h$	9.46	4.02

Fronti di scavo

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (per cento)	$k_h=(a_g/g*\beta_s*St*S)$	18.92	8.04
Coefficiente di intensità sismica verticale (per cento)	$k_v=0.50 * k_h$	9.46	4.02

2.4.4 DESCRIZIONE TERRENI

Poiché un deposito ghiaioso assortito è generalmente caratterizzato da una porosità intorno al 20%, disponendo di distinti accumuli di ghiaia e di sabbia si può pensare di costruire l'argine procedendo a stese successive di ghiaia e sabbia (per spessori rispettivamente di 30÷40 cm e 10÷15 cm), costipando la sabbia con un rullo vibrante, in modo da intasare quanto più il materiale grossolano prima di passare alla stesa successiva.

Una stima orientativa e cautelativa delle caratteristiche geomeccaniche da utilizzare in fase di analisi e verifica di progetto è offerta dalle risultanze delle indagini geognostiche svolte nella zona di interesse, grazie alle quali è possibile assumere, per una ghiaia sabbiosa debolmente limosa, un angolo di attrito interno pari a 37°.

Simbologia adottata

Nr. Indice del terreno

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in kg/mc

γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ^q
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ^q

n°	Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ'	c'
		[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[kg/cm ^q]
1	Terreno 1	1800	2000	37.50	0,000
2	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	1900	2000	37.00	0,000
3	Scogliera antierosiva	2100	2100	55.00	10,000

2.4.5 PROFILO DEL RILEVATO E STRATIGRAFIA

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	0,00	8,23
2	12,50	8,23
3	19,40	12,22
4	21,30	12,22
5	22,00	12,22
6	23,40	12,22
7	33,71	7,63
8	50,00	7,63

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

- Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Terreno 1)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	12,50	8,23
2	0,00	8,23
3	0,00	0,00
4	50,00	0,00
5	50,00	7,63
6	33,71	7,63
7	33,71	6,23
8	13,00	6,23
9	12,50	6,23
10	12,50	7,00

- Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Ghiaia sabbiosa deb. limosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	12,50	7,00
2	12,50	6,23
3	13,00	6,23
4	33,71	6,23
5	33,71	7,63
6	23,40	12,22
7	22,00	12,22
8	21,30	12,22

- Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (Scogliera antierosiva)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

n°	X	Y
	[m]	[m]
1	21,30	12,22
2	19,40	12,22
3	12,50	8,23
4	12,50	7,00

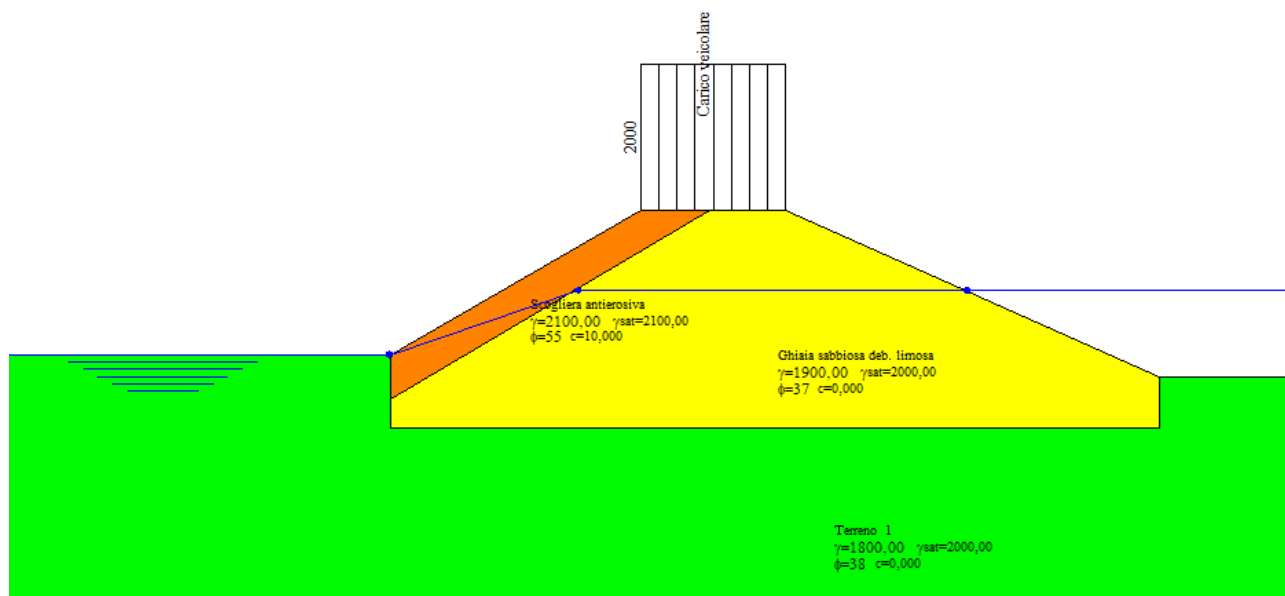
2.4.6 AZIONI IDRAULICHE

La condizione di svaso rapido è legata ad un veloce abbattimento dello sbarramento mobile scudato a fiume con repentino passaggio dei livelli idrici a fiume dalla quota di massimo invaso (204,99 mslm) alla quota di fondo alveo e mantenimento invece, nell'invaso laterale, del livello di massimo invaso (204,99 mslm).

La verifica quindi di svaso rapido è stata effettuata dunque nella seguente condizione

➤ **Condizione di massimo invaso $Q_{\text{invaso,max}}$**

Viene analizzata la situazione di massimo invaso laterale pari a $Q = 204,99$ slm in condizioni di rapido svaso, oltre a quelle comunque previste dalla normativa applicabile sulle opere in terra. Le verifiche riguarderanno sia le condizioni statiche sia le condizioni durante e dopo eventi natura sismica.



La condizione di piena a fiume, che comporterebbe livelli idrici maggiori rispetto a quella di massimo invaso, non è stata oggetto di verifica in quanto lo sbarramento mobile scudato, al superamento della quota di sfioro di 15 cm inizierà le procedure di abbattimento. Al transito dunque di piena lo sbarramento sarà già stato abbattuto.

2.4.7 CARICHI VEICOLARI

La modellazione è stata realizzata assumendo la contemporanea presenza di veicoli in transito sul terrapieno:

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra.

N° Identificativo del sovraccarico agente

Descrizione Descrizione carico

Tipo Tipo carico

Ψ_2 Coefficiente sismico carico variabile

Carichi distribuiti

P_i, P_f Posizione iniziale e finale del carico espressa in [m]

V_{xi}, V_{xf}, V_{yi}, V_{yf} Intensità del carico in direzione X e Y nei punti iniziale e finale, espresse in [kg/m]

n°	Descrizione	Tipo	Ψ_2	P _i	P _f	V _y	V _x
				[m]	[m]	[kg/m]	[kg/m]
1	Carico veicolare	Variabile	1,00	19,40	23,40	2000	0
				12,22	12,22	2000	0

2.5. CRITERI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto	Simbologia	A2 Statico	A2 Sismico
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gs fav}$	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qs fav}$	1.30	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri	Simbologia	M2 Statico	M2 Sismico
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1.25	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.25	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.40	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00

Coefficiente di sicurezza richiesto

Tipo calcolo	Simbolo	Statico	Sismico
Pendio naturale	γ_R	1.00	1.00
Fronte di scavo	γ_R	1.10	1.20

Superfici di rottura circolari

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

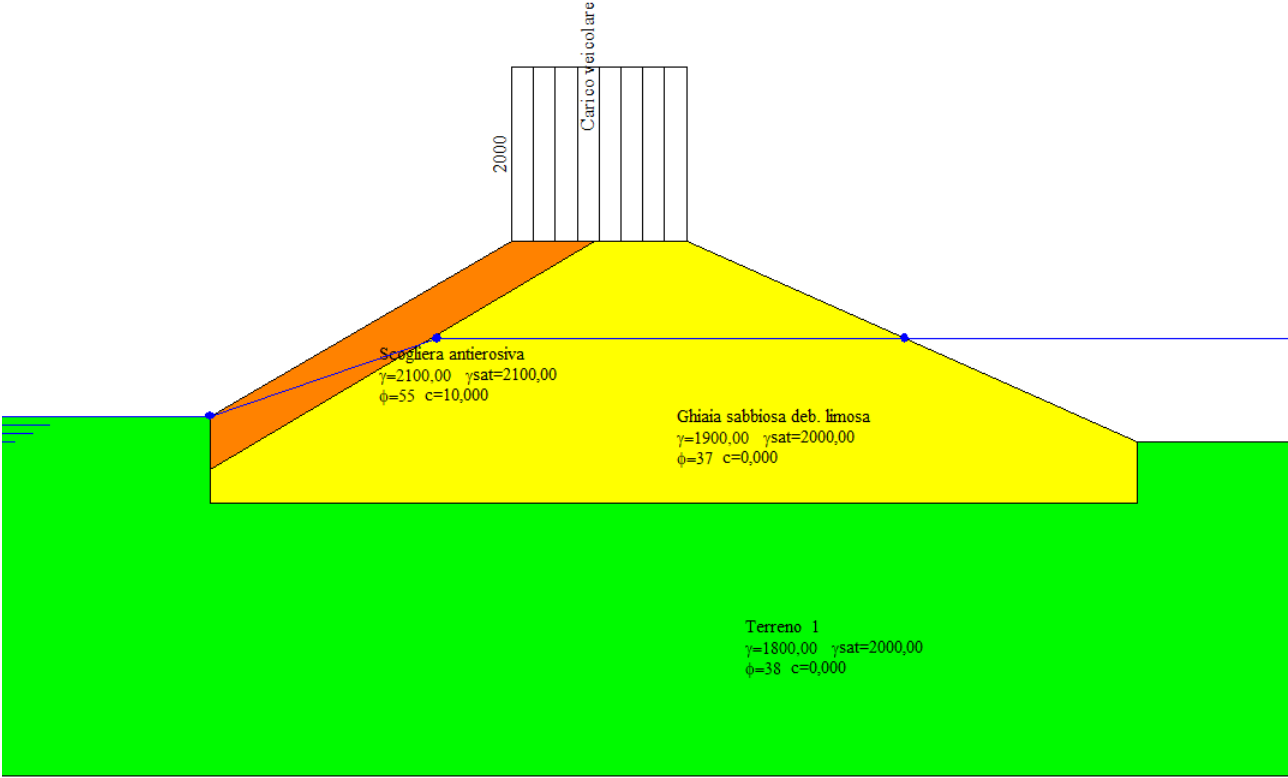
Origine maglia [m] $X_0 = 0,00$ $Y_0 = 5,00$

Passo maglia [m] $dX = 2,00$ $dY = 2,00$

Numero passi $N_x = 20$ $N_y = 20$

Raggio [m] $R = 14,00$

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0,50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20



	6,90	1,90	0,70	1,40	10,31	
12,50	19,40	21,30	2,00	23,40	33,71	
8,23 (8,23)	12,22 (10,00)	12,22 (10,00)	12,22 (10,00)	12,22 (10,00)	7,63 (10,00)	

Fig. 8 – Modello utilizzato

2.6. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Nel modello le combinazioni di carico sono state prese in considerazione secondo le combinazioni dettate dalle norme N.T.C. 2018 le quali si basano sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziali e considera, nelle verifiche dei fronti di scavo, la combinazione geotecnica (GEO). In questa combinazione (indicata anche come caso A2-M2): vengono incrementati i carichi variabili e vengono ridotte le caratteristiche di resistenza del terreno ($tg(\phi)$, c' o c_u) secondo i coefficienti definiti nella finestra.

2.7. METODO DI ANALISI

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:

- BISHOP

Le superfici sono state analizzate sia in condizioni **statiche** che **sismiche**.

Le superfici sono state analizzate per i casi:

- Pendio naturale [PC] - Parametri caratteristici
- Fronte di scavo [A2-M2] - Parametri di progetto
- Sisma orizzontale e Sisma verticale (verso il basso e verso l'alto)

Analisi condotta in termini di **tensioni efficaci**

Presenza di falda

Presenza di carichi distribuiti

Condizioni di esclusione

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
- freccia inferiore a 0,50 m
- volume inferiore a 2,00 mc
- pendenza media della superficie inferiore a 1.00 [%]

2.8. ANALISI SUPERFICIE CRITICA

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X_s ascissa sinistra della striscia espressa in m

Y_{ss} ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m

Y_{si} ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m

X_g ascissa del baricentro della striscia espressa in m

Y_g ordinata del baricentro della striscia espressa in m

α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso $^{\circ}$ (positivo antiorario)

ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq

L sviluppo della base della striscia espressa in m ($L=b/\cos\alpha$)

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq

W peso della striscia espresso in kg

Q carico applicato sulla striscia espresso in kg

N sforzo normale alla base della striscia espresso in kg

T sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg

U pressione neutra alla base della striscia espressa in kg

E_s, E_d forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg

X_s, X_d forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg

ID Indice della superficie interessata dall'intervento

Superficie n° 1

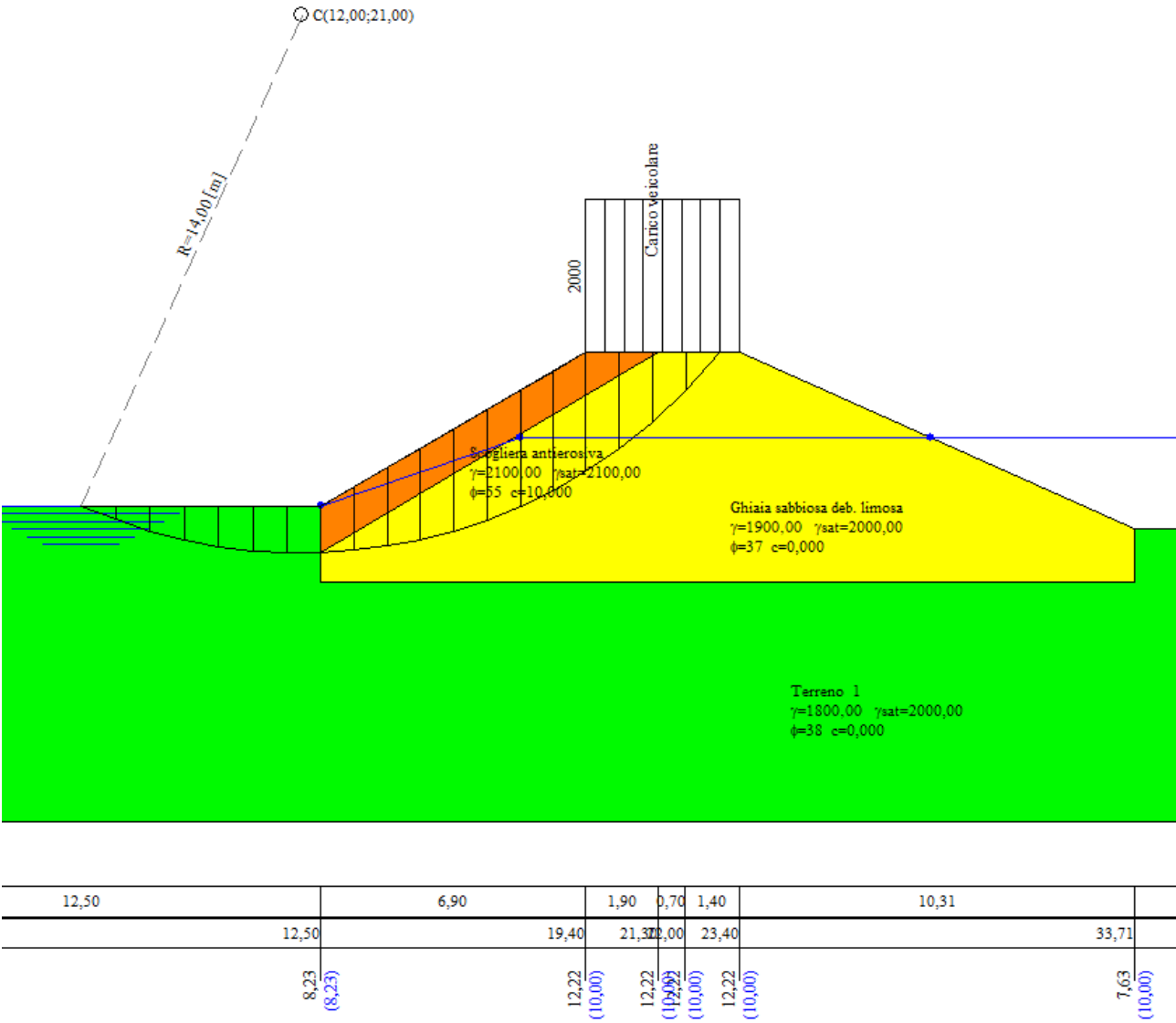


Fig. 9 - Superficie di rottura (Superficie n° 1)

Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2

Numero di strisce 19

Coordinate del centro X[m]= 12,00 Y[m]= 21,00

Raggio del cerchio R[m]= 14,00

Intersezione a valle con il profilo topografico Xv[m]= 6,26 Yv[m]= 8,23

Intersezione a monte con il profilo topografico Xm[m]= 22,90 Ym[m]= 12,22

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	L	α	φ	c
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[kg/cmq]
1	6,26	8,23	8,23	7,15	8,23	7,87	6,86	8,11	0,96	-22,23	31.54	0,000
2	7,15	8,23	7,87	8,04	8,23	7,57	7,64	7,97	0,94	-18,33	31.54	0,000
3	8,04	8,23	7,57	8,94	8,23	7,34	8,51	7,84	0,92	-14,53	31.54	0,000
4	8,94	8,23	7,34	9,83	8,23	7,17	9,39	7,74	0,91	-10,79	31.54	0,000
5	9,83	8,23	7,17	10,72	8,23	7,06	10,28	7,67	0,90	-7,09	31.54	0,000
6	10,72	8,23	7,06	11,61	8,23	7,01	11,17	7,63	0,89	-3,43	31.54	0,000
7	11,61	8,23	7,01	12,50	8,23	7,01	12,05	7,62	0,89	0,22	31.54	0,000
8	12,50	8,23	7,01	13,36	8,73	7,07	12,95	7,76	0,86	3,80	31.43	0,158
9	13,36	8,73	7,07	14,21	9,22	7,18	13,80	8,05	0,86	7,33	31.08	0,000
10	14,21	9,22	7,18	15,07	9,72	7,34	14,65	8,37	0,87	10,89	31.08	0,000
11	15,07	9,72	7,34	15,93	10,21	7,56	15,51	8,71	0,89	14,48	31.08	0,000
12	15,93	10,21	7,56	16,79	10,71	7,84	16,36	9,08	0,90	18,14	31.08	0,000
13	16,79	10,71	7,84	17,64	11,20	8,19	17,22	9,49	0,92	21,88	31.08	0,000
14	17,64	11,20	8,19	18,50	11,70	8,60	18,07	9,92	0,95	25,72	31.08	0,000
15	18,50	11,70	8,60	19,40	12,22	9,12	18,95	10,41	1,04	29,79	31.08	0,000
16	19,40	12,22	9,12	20,28	12,22	9,71	19,82	10,81	1,06	34,07	31.08	0,000
17	20,28	12,22	9,71	21,15	12,22	10,41	20,69	11,13	1,12	38,53	31.08	0,000
18	21,15	12,22	10,41	22,03	12,22	11,23	21,55	11,50	1,20	43,29	31.08	0,000
19	22,03	12,22	11,23	22,90	12,22	12,22	22,32	11,89	1,32	48,46	31.08	0,000

Metodo di **BISHOP**

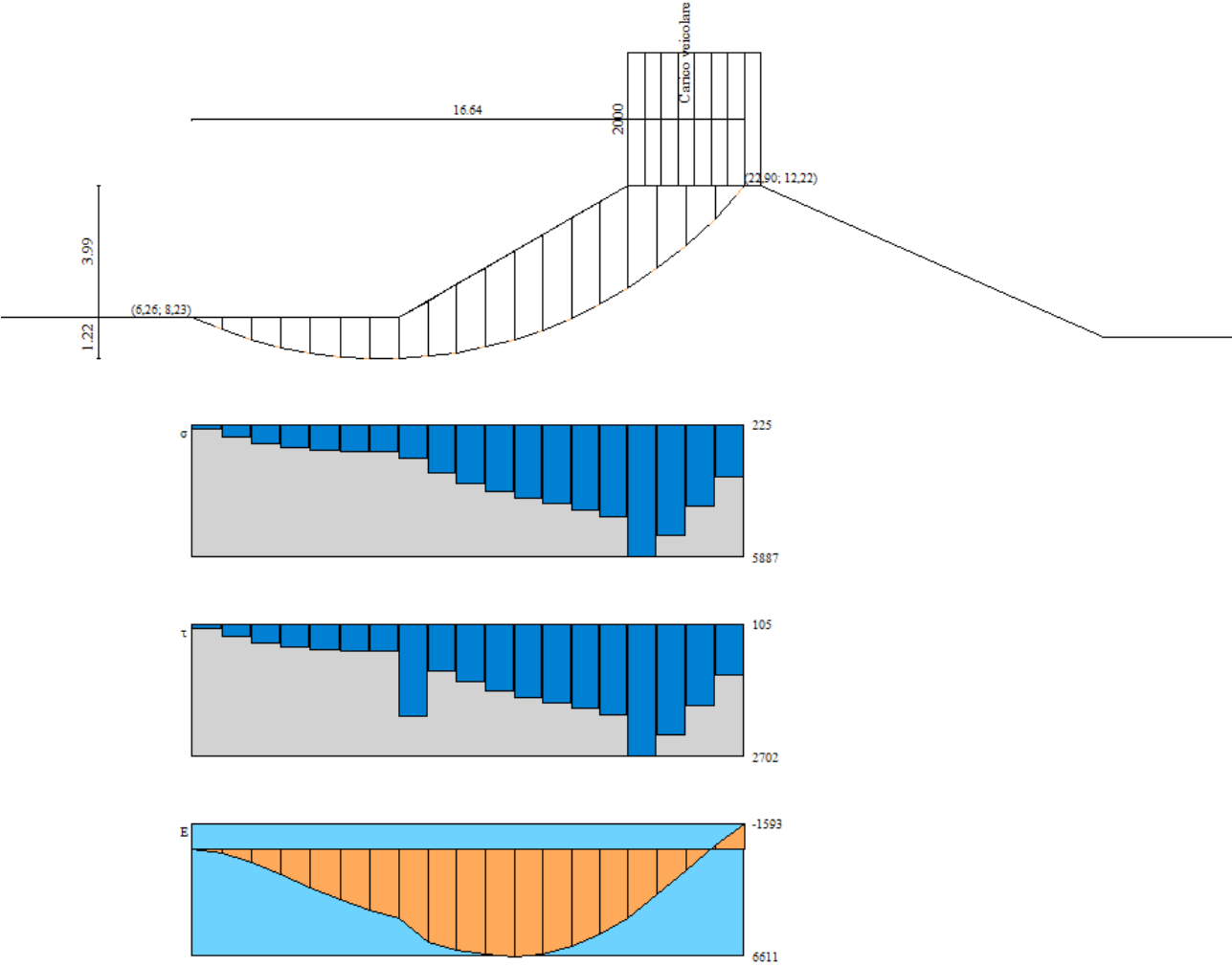


Fig. 10 - Forze di interstriscia (Superficie n° 1)

Coefficiente di sicurezza $F_s = 1.314$

Forze applicate sulle strisce

N°	W	Q	N	T	U	E _s	E _d	X _s	X _d	ID
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1	325	0	217	101	175	0	242	0	0	--
2	912	0	569	266	481	242	824	0	0	--
3	1381	0	812	379	713	824	1574	0	0	--
4	1738	0	971	454	885	1574	2367	0	0	--
5	1989	0	1064	497	1002	2367	3116	0	0	--
6	2135	0	1100	514	1069	3116	3759	0	0	--

N°	W	Q	N	T	U	E _s	E _d	X _s	X _d	ID
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
7	2179	0	1088	508	1090	3759	4259	0	0	--
8	2607	0	1338	1658	1164	4259	5746	0	0	--
9	3327	0	1888	866	1354	5746	6188	0	0	--
10	3951	0	2314	1062	1504	6188	6503	0	0	--
11	4477	0	2690	1235	1614	6503	6611	0	0	--
12	4899	0	3022	1387	1680	6611	6449	0	0	--
13	5213	0	3311	1519	1698	6449	5971	0	0	--
14	5304	0	3601	1653	1494	5971	5227	0	0	--
15	5372	0	4027	1848	1107	5227	4269	0	0	--
16	4997	2278	6227	2858	622	4269	2799	0	0	--
17	3667	2278	5566	2554	0	2799	1330	0	0	--
18	2334	2278	4424	2030	0	1330	-225	0	0	--
19	823	2278	3080	1414	0	-225	-1593	0	0	--

2.9. SINTESI DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA

Di seguito verranno rappresentati i risultati delle 30 verifiche peggiorative, su un totale complessivo di 4310 analisi, riferite alla superficie di cerchio critico.

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

F forma (C: circolare, S: spirale logaritmica, G: generica)

C_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v ascissa del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m ascissa del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [mc]

FS coefficiente di sicurezza. Tra parentesi il metodo di calcolo usato (F: Fellenius, B: Bishop, J: Janbu, C: Janbu completo, L: Bell, M: Morgenstern-Price P: Spencer, S: Sarma, V: Maksimovic, G: GLE)

Caso caso di calcolo

Sisma H sisma orizzontale, V sisma verticale (+ verso l'alto, - verso il basso)

La colonna FS (fattore di sicurezza) potrebbe contenere più valori. Questo è dovuto alla presenza degli interventi quando considerati come incremento delle forze di interstriscia. In questo caso vengono analizzate più superfici di scorrimento ed ogni superficie è separata dalla successiva dall'intervento.

N°	F	C _x	C _y	R	x _v	x _m	V	FS	Caso	Sisma
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[mc]			
1	C	12,00	21,00	14,00	6,26	22,90	28,51	1,314 (B)	[A2M2]	--
2	C	12,00	21,00	14,50	5,13	23,50	38,22	1,350 (B)	[A2M2]	--
3	C	12,00	21,00	14,00	6,26	22,90	28,51	1,356 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
4	C	12,00	21,00	14,50	5,13	23,50	38,22	1,363 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
5	C	12,00	23,00	16,00	5,85	23,70	31,91	1,395 (B)	[A2M2]	--
6	C	10,00	21,00	14,50	3,13	21,54	30,26	1,408 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
7	C	12,00	21,00	14,00	6,26	22,90	28,51	1,411 (B)	[A2M2]	[SLV] H -V
8	C	12,00	23,00	16,00	5,85	23,70	31,91	1,418 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
9	C	10,00	23,00	16,50	2,64	22,49	34,30	1,421 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
10	C	10,00	21,00	14,50	3,13	21,54	30,26	1,426 (B)	[A2M2]	--

N°	F	C _x	C _y	R	x _v	x _m	V	FS	Caso	Sisma
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[mc]			
11	C	12,00	21,00	14,50	5,13	23,50	38,22	1,435 (B)	[A2M2]	[SLV] H -V
12	C	10,00	23,00	16,50	2,64	22,49	34,30	1,439 (B)	[A2M2]	--
13	C	12,00	23,00	16,50	4,64	24,18	42,11	1,455 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
14	C	10,00	25,00	18,50	2,19	23,38	38,07	1,455 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
15	C	12,00	21,00	14,00	6,26	22,90	28,51	1,466 (B)	[PC]	[SLV] H +V
16	C	12,00	23,00	16,50	4,64	24,18	42,11	1,472 (B)	[A2M2]	--
17	C	12,00	23,00	16,00	5,85	23,70	31,91	1,477 (B)	[A2M2]	[SLV] H -V
18	C	10,00	25,00	18,50	2,19	23,38	38,07	1,478 (B)	[A2M2]	--
19	C	12,00	21,00	15,00	4,13	23,97	48,89	1,479 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
20	C	12,00	21,00	14,50	5,13	23,50	38,22	1,485 (B)	[PC]	[SLV] H +V
21	C	12,00	21,00	15,00	4,13	23,97	48,89	1,493 (B)	[A2M2]	--
22	C	10,00	21,00	14,50	3,13	21,54	30,26	1,493 (B)	[A2M2]	[SLV] H -V
23	C	10,00	21,00	15,00	2,13	22,16	40,98	1,498 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
24	C	12,00	21,00	14,00	6,26	22,90	28,51	1,499 (B)	[PC]	[SLV] H -V
25	C	12,00	21,00	14,00	6,26	22,90	28,51	1,500 (B)	[A2M2]	[SLD] H +V
26	C	12,00	25,00	18,00	5,46	24,27	34,88	1,502 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
27	C	10,00	23,00	16,50	2,64	22,49	34,30	1,504 (B)	[A2M2]	[SLV] H -V
28	C	12,00	25,00	18,00	5,46	24,27	34,88	1,507 (B)	[A2M2]	--
29	C	10,00	23,00	17,00	1,58	23,15	45,70	1,511 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
30	C	10,00	27,00	20,50	1,76	23,95	41,54	1,522 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V
31	C	12,00	21,00	14,50	5,13	23,50	38,22	1,522 (B)	[A2M2]	[SLD] H +V
32	C	12,00	21,00	14,00	6,26	22,90	28,51	1,527 (B)	[A2M2]	[SLD] H -V
33	C	12,00	21,00	14,50	5,13	23,50	38,22	1,529 (B)	[PC]	[SLV] H -V
34	C	10,00	21,00	15,00	2,13	22,16	40,98	1,532 (B)	[A2M2]	--
35	C	12,00	23,00	16,50	4,64	24,18	42,11	1,532 (B)	[A2M2]	[SLV] H -V
36	C	10,00	25,00	18,50	2,19	23,38	38,07	1,536 (B)	[A2M2]	[SLV] H -V
37	C	12,00	23,00	16,00	5,85	23,70	31,91	1,540 (B)	[PC]	[SLV] H +V
38	C	14,00	21,00	14,50	7,13	24,97	45,48	1,541 (B)	[A2M2]	[SLV] H +V



Fig. 11 - Mappa fattori di sicurezza - BISHOP

2.10. CARATTERISTICHE E AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO

Tipo di analisi svolta

L'analisi e le verifiche di stabilità sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

I metodi di calcolo implementati sono i classici metodi delle strisce, basati sul concetto dell'equilibrio limite globale. La superficie di rottura è suddivisa in un determinato numero di strisce che consentono di calcolare le grandezze che entrano in gioco nelle equazioni risolutive.

Nel modulo terreni si adotta il criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Nel modulo rocce si può adottare il criterio di rottura di Hoek-Brown o di Barton.

Il programma consente di inserire degli interventi di stabilizzazione, che possono intervenire secondo sue modalità diverse: variazione delle forze di interstriscia o resistenza a taglio equivalente.

L'analisi sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo STAP - Stabilità Pendii Terreni e Rocce

Versione 16.0

Produttore Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)

Utente CONSORZIO DI BONIFICA DELL'EMILIA CENTRALE

Licenza AIR0161Q9

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.