

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.**

CUP: J14D20000010001

U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

**LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA
LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA**

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST

SL06 - Sottopasso servizi Acciaierie di Verona pk 158+613,47

Relazione di calcolo opere provvisionali

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I N 1 A 2 0 D 2 6 C L S L 0 6 0 0 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	V. Reale	Gen. 2021	M. Rigo	Gen. 2021	C. Mazzocchi	Gen. 2021	A. Perego Gen. 2021

File: IN1A20D26CLSL0600003A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA.....	5
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA	7
4	MATERIALI	9
4.1	CALCESTRUZZO	9
4.2	ACCIAIO	9
4.2.1	<i>Acciaio da cemento armato ordinario.....</i>	<i>10</i>
5	METODO D'ANALISI.....	11
5.1	CALCOLO DELLA PROFONDITÀ DI INFISSIONE	11
5.2	ANALISI AD ELEMENTI FINITI.....	12
5.3	SCHEMATIZZAZIONE DEL TERRENO	12
5.4	MODALITÀ DI ANALISI E COMPORTAMENTO ELASTO-PLASTICO DEL TERRENO.....	12
6	ANALISI DEI CARICHI	14
6.1.1	<i>Calcolo della spinta – Metodo di Culmann.....</i>	<i>14</i>
6.1.2	<i>Peso proprio degli elementi strutturali.....</i>	<i>14</i>
6.1.3	<i>Carichi permanenti portati.....</i>	<i>14</i>
6.1.4	<i>Azioni variabili verticali.....</i>	<i>15</i>
6.1.5	<i>Stati limite ultimi</i>	<i>17</i>
6.1.6	<i>Stati limite d'esercizio</i>	<i>18</i>
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	19
7.1	RILEVATO FERROVIARIO.....	19
7.2	TERRENO DI FONDAZIONE.....	19
8	VERIFICHE STRUTTURALI.....	21
8.1	VERIFICA ALLA STABILITÀ GLOBALE.....	21

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	3 di 54

8.2	ANALISI DEI PALI.....	21
9	CALCOLO PARATIA 1 E 2 , PALO F 500 A DOPPIO PALO H = 11.11 M – PRIMO TRATTO	24
10	CALCOLO PARATIA 1 E 2, PALO F 600 A SINGOLO PALO H = 6.11 M SECONDO TRATTO	35
11	CALCOLO PARATIA 3 E 4, MICROPALO PERFORAZINE F 300 A SINGOLO PALO H = 1.70 M	46
12	INCIDENZE.....	54
12.1	PARATIA 1 E 2 , PALO F 500 A DOPPIO PALO H = 11.11 M – PRIMO TRATTO	54
12.2	PARATIA 1 E 2, PALO F 600 A SINGOLO PALO H = 6.11 M SECONDO TRATTO	54
12.3	PARATIA 3 E 4, MICROPALO PERFORAZINE F 300 A SINGOLO PALO H = 1.70 M.....	54

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la progettazione definitiva di opere strutturali relative all'Ingresso Est al Nodo AV/AC di Verona Porta Nuova della Tratta AV/AC Brescia-Verona.

L'intervento prevede la realizzazione delle nuove linee, prevalentemente in affiancamento al sedime della attuale Linea Storica Milano-Venezia, nel tratto compreso tra l'uscita dell'Autostrada Verona Nord e la radice est della Stazione Ferroviaria di Verona Porta Vescovo, per una estensione di circa 9.7 km dall'inizio dello Scalo Cason alla fine della linea AV/AC. Tali interventi sono funzionali al progetto di linea della Tratta Brescia Est – Verona.

- MODIFICA DI TRACCIATO DELLE LINEE MI-VE STORICA E VR-BRENNERO
- LINEA AV/AC MILANO-VENEZIA
- NUOVO SCALO IN LOCALITA' CASON
- RACCORDO BIVIO S.MASSIMO – VERONA P.N.
- RACCORDO Q.E. – VERONA P.N.
- INTERVENTI NELL'AMBITO DI VERONA PORTA NUOVA
- INTERVENTI NELL'AMBITO DI VERONA PORTA VESCOVO

Sono previsti interventi di potenziamento e riconfigurazione della stazione di Verona Porta Nuova e Verona Porta Vescovo. Il progetto comprende tutte le opere atte a consentire l'allaccio e l'interfaccia con le linee storiche esistenti e la risoluzione delle interferenze tra la parte di progetto stesso e l'esistente (viabilità, idrografia, ecc).



	LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 06 00 003	REV. A

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

- [1] Legge nr. 1086 del 05/11/1971 – Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- [2] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;
- [3] Circolare n.7 del 21/01/2019 - Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- [4] UNI 11104: "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1"
- [5] UNI EN 206-1:2014: "Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- [6] UNI EN 1990:2006 - "Eurocodice - Criteri generali di progettazione strutturale."
- [7] UNI EN 1991-1-1: 2004 - "Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesì per unità di volume, pesì propri e sovraccarichi per gli edifici."
- [8] UNI EN 1991-1-3: 2004 - "Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve."
- [9] UNI EN 1991-1-4: 2005 - "Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento."
- [10] UNI EN 1991-1-5: 2004 - "Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-5: Azioni in generale - Azioni termiche."
- [11] UNI EN 1991-1-6: 2005 - "Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-6: Azioni in generale - Azioni durante la costruzione."
- [12] UNI EN 1991-1-7: 2006 - "Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-7: Azioni in generale - Azioni eccezionali."
- [13] - UNI EN 1991-2: 2005 - "Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti."
- [14] UNI EN 1992-1-1, Eurocodice 2: "Progettazione delle strutture in calcestruzzo. Parte 1: regole generali e regole per gli edifici".
- [15] UNI EN 1992-2: "Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi."
- [16] Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A - Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario.
- [17] Specifica RFI DTC INC SP IFS 002 A - Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria.
- [18] Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 003 A - Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari.
- [19] Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 006 A - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.
- [20] Istruzione 44 C - Visite di controllo ai ponti, alle gallerie ed alle altre opere d'arte del corpo stradale. Frequenza, modalità e relative verbalizzazioni.
- [21] Istruzione 44 M - Specifica tecnica relativa al collaudo dei materiali ed alla costruzione delle strutture metalliche per ponti ferroviari e cavalcavia ferroviaria.

[22] Istruzione 44 S - Specifica tecnica per la saldatura ad arco di strutture destinate ai ponti ferroviari;

[23] Istruzione 44 V - Cicli di verniciatura per la protezione dalla corrosione di opere metalliche nuove e per la manutenzione di quelle esistenti.

[24] RFI DTC SI MA IFS 001 D Manuale di progettazione delle opere civili.

[25] Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019.

[26] Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 – DM 17 febbraio 2018

[27] Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	7 di 54

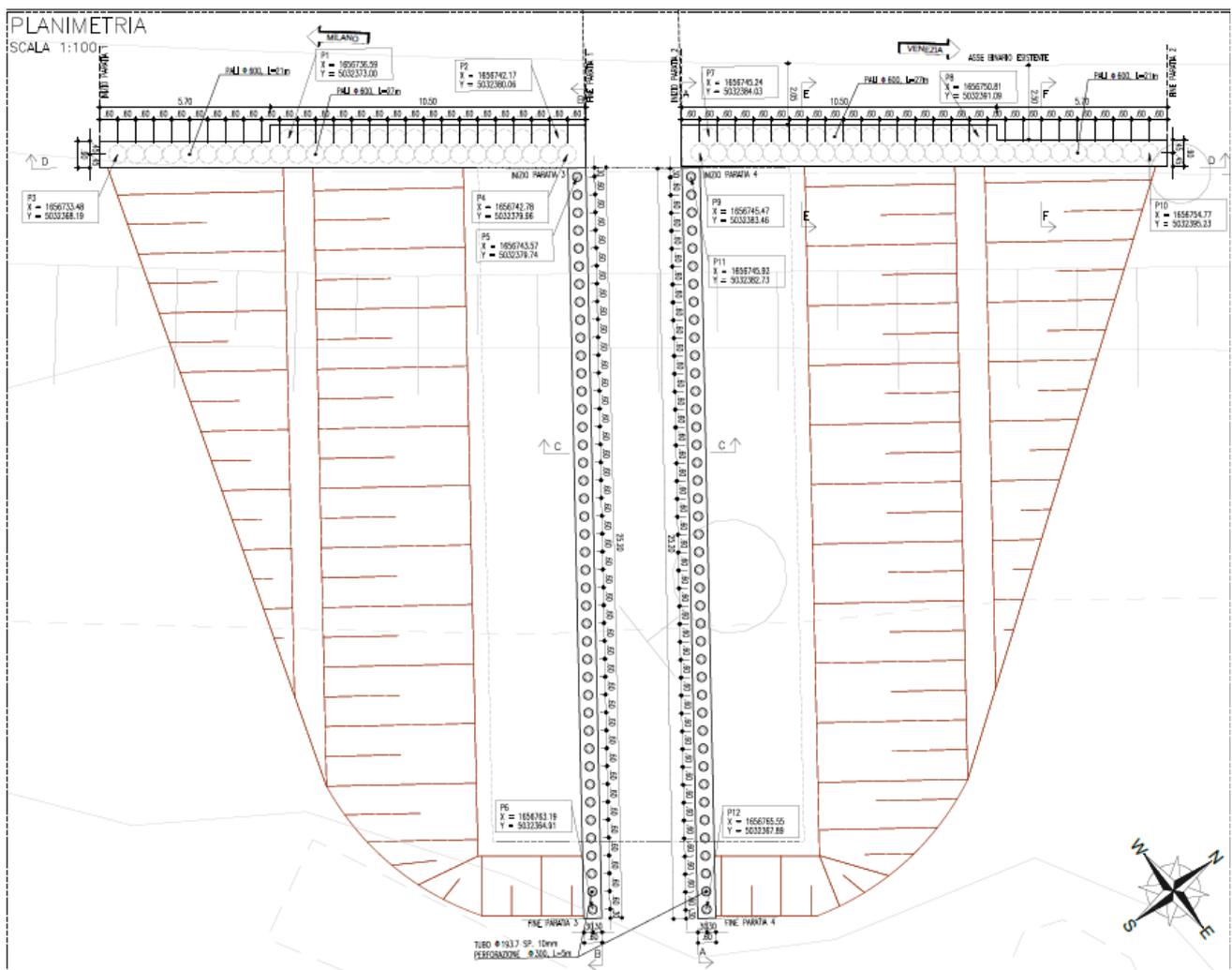
3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nella presente relazione di calcolo è riportata la verifica delle opere provvisionali propedeutiche alla realizzazione degli scavi per la realizzazione dell'opera SL05. Le paratie di pali di grosso diametro si sono rese necessarie a protezione del rilevato ferroviario esistente. Mentre le due berlinesi sono state inserite a protezione degli impianti delle vicine acciaierie.

Le paratie 1 e 2 sono composte per un primo tratto da una doppia fila di pali di lunghezza 27 m ed un secondo tratto composta da un solo palo di lunghezza 18 m, entrambi i tratti hanno interasse $i=0,60$ m e diametro del palo di 600 mm. Ciascun palo è armato con ferri longitudinali e trasversali a spirale. I pali in testa sono raccordati rispettivamente da un cordolo in c.a. di 124 cm ed alto 80 cm ed un cordolo sempre in c.a. 80x80 cm.

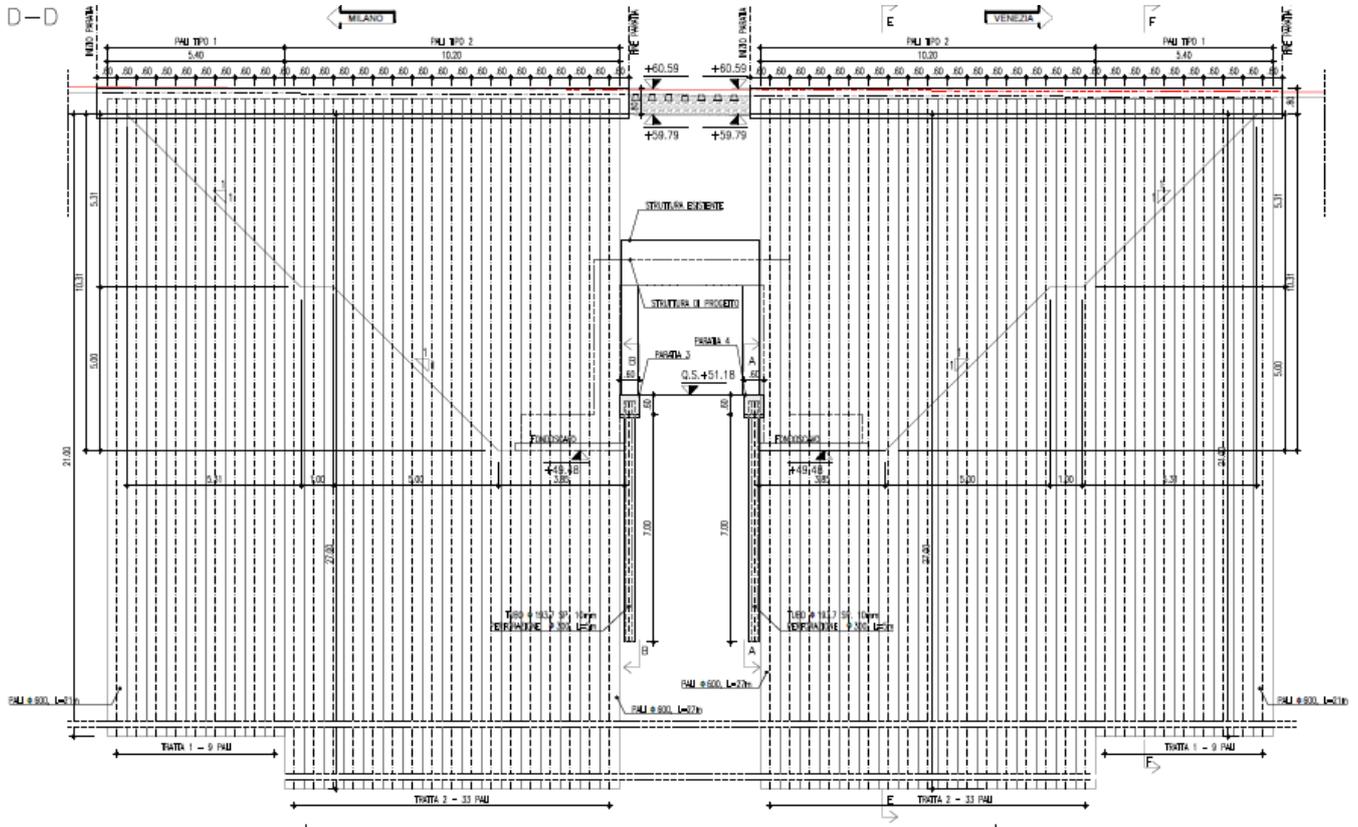
Le paratie 3 e 4 sono composte da una fila di micropali di lunghezza 7 m perforati ad interasse $i=0,60$ m e diametro di perforazione di 300 mm. Ciascun micropalo è armato con un tubo $\phi 193,7$ mm spessore 10 mm in acciaio S355.

I micropali in testa sono raccordati da un cordolo in c.a.



Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	8 di 54



Nel seguito si riporta il calcolo.

Il sisma non è stato considerato secondo quanto indicato al paragrafo 3.10.3.3 del MdP RFI.

Tutte le opere provvisorie per il sostegno degli scavi dovranno essere dimensionate per resistere alle azioni statiche delle terre, ai sovraccarichi realmente presenti e al sisma, nel periodo di riferimento, con un grado di sicurezza non inferiore a quello richiesto per le opere permanenti. Il Periodo di riferimento di un'opera provvisoria dovrà essere posto pari alla sua vita nominale, individuata in accordo al paragrafo 2.4.1 delle NTC 2018, moltiplicata per un coefficiente d'uso $CU = 1$.

Le verifiche sismiche di opere provvisorie potranno essere omesse se la durata prevista in progetto è inferiore a 2 anni.

Di seguito vengono riportate per le sezioni citate l'analisi dei carichi, il calcolo delle strutture e le relative verifiche.

4 MATERIALI

4.1 Calcestruzzo

CORDOLO DI TESTA DELLA BERLINESE:

Classe di resistenza	C25/30	
Modulo elastico	$E_c =$	31,447 N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	25,00 N/mm ²
Resistenza media a compressione cilindrica	$R_{ck} =$	30,00 N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	14,11 N/mm ²
Resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} =$	2,56 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	1,79 N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctfk} =$	2,14 N/mm ²
Classe di esposizione (UNI 11104)		XC2
Contenuto minimo di cemento (UNI 11104)		300 Kg/mc
Classe di consistenza (RFI DTC SI PS SP IFS 001D)		S3/S4
Rapporto acqua/cemento massimo (UNI 11104)		0.60
Diametro massimo degli inerti		32 mm

4.2 Acciaio

ACCIAIO CARPENTERIA METALLICA

- acciaio secondo EN 10025, DM 17.01.2018 e istruzione FS 44M
- lamiere e profili per elementi saldati S275J2/K2
- lamiere e profili per elementi non saldati S275J0

Norma e tipo di acciaio	Spessore nominale della membratura			
	$t \leq 40$ mm		40 mm $< t \leq 80$ mm	
EN 10025-2	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470

Unioni saldate

Saldature a completa penetrazione (UNI EN 1011 e DM2018).

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	10 di 54

Stato limite ultimo

 Coefficiente parziale $\gamma_{M2} = 1.25$

 Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yb} = 900 \text{ MPa}$

 Tensione caratteristica di rottura: $f_{tb} = 1.000 \text{ MPa}$

Saldature a cordone d'angolo (UNI EN 1011 e DM2018), altezza di gola minima di 0,7 volte lo spessore più piccolo dell'elemento da unire.

Tutti i materiali dovranno essere sottoposti a collaudo in accordo al d.m. 2018 e alla istruzione FS 44 M.

4.2.1 Acciaio da cemento armato ordinario

Barre a aderenza migliorata: acciaio tipo B450C

 - Tensione caratteristica di snervamento $f_{yt} \geq 450 \text{ MPa}$

 - Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$

La tensione di design risultano:

 per lo S.L.U.
$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{450}{1,15} \cdot \frac{1}{1,00} = 391,3 \text{ daN/cm}^2$$

	LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 06 00 003	REV. A

5 METODO D'ANALISI

5.1 Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.

Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente.

Pertanto, il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).

Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (*Centro di rotazione*) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).

Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte

K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata

K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte

K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$$D_m = K_{pm} - K_{av} \quad e \quad D_v = K_{pv} - K_{am}$$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.

Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione

si può agire con tre modalità:

1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su $\tan(f)$ e sulla coesione

	LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 06 00 003	REV. A

5.2 Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.

La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L , area A_f , inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s . La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.

I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

5.3 Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidità della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (*costante di Winkler*). La costante di sottofondo, k , è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo $[F/L^3]$. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale ($b=100$ cm) l'area equivalente della molla sarà $A_m=m*b$.

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidità flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidità di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidità degli elementi della paratia (elementi a rigidità flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidità dei tiranti (solo rigidità assiale) e delle molle (rigidità assiale).

5.4 Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma **PAC**). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	13 di 54

deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max} ; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max} . Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

 $Ku=p$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p_0 , fino a raggiungere il carico totale p . Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassembleta escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassettaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).

Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti, la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre, dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno

	LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 06 00 003	REV. A

6 ANALISI DEI CARICHI

6.1.1 Calcolo della spinta – Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).

La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione r rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

6.1.2 Peso proprio degli elementi strutturali

Il peso degli elementi strutturali viene automaticamente calcolato dal software, dopo aver assegnato i pesi specifici dei materiali

Peso specifico calcestruzzo 25 kN/m³

6.1.3 Carichi permanenti portati

6.1.3.1 Massicciata e armamento

Si considera una striscia di muro di un metro.

Massicciata e armamento $0,80 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 14,4 \text{ kN/m}$

Carichi da applicare al terreno.

6.1.4 Azioni variabili verticali

6.1.4.1 Treni di carico (Variabili da traffico)

I carichi verticali associati al transito dei convogli ferroviari sono definiti per mezzo di diversi modelli di carico rappresentativi delle diverse tipologie di traffico ferroviario: normale e pesante.

I valori dei suddetti carichi dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento α , variabile in ragione della tipologia dell'infrastruttura (ferrovie ordinarie, ferrovie leggere, metropolitane, ecc.). Per le ferrovie ordinarie il valore del coefficiente di adattamento da adottarsi per i diversi modelli di carico è definito nei relativi paragrafi; per le ferrovie leggere, metropolitane, ecc., il valore del coefficiente è definito in funzione della specificità dell'infrastruttura stessa. Sono considerate tre tipologie di carico i cui valori caratteristici sono definiti nei successivi paragrafi. Nel seguito, i riferimenti ai modelli di carico LM 71, SW/0 e SW/2 ed alle loro componenti si intendono, in effetti, pari al prodotto dei coefficienti per i carichi indicati nelle Fig. 5.2.1 e Fig. 5.2.2.

6.1.4.2 Modello di carico LM71

Costituito da: 4 assi da 250 kN ad interasse di 1,60 m (Q_{vk})

Carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni a partire da 0,80 m dagli assi di estremità e per una lunghezza illimitata (q_{vk}).

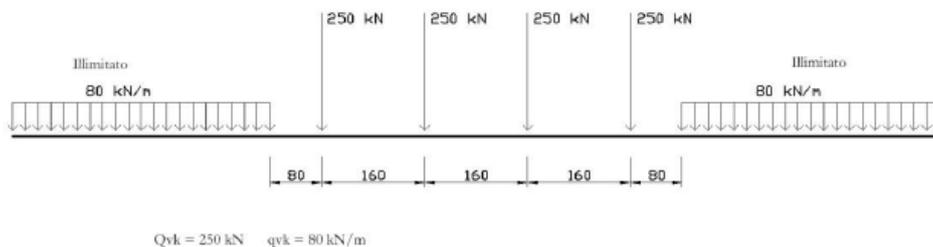


Figura 5.2.1 - Modello di carico LM71

Per questo modello di carico è prevista una eccentricità del carico rispetto all'asse del binario, dipendente dallo scartamento s , per tenere conto dello spostamento dei carichi; pertanto, essa è indipendente dal tipo di struttura e di armamento. Tale eccentricità è calcolata sulla base del rapporto massimo fra i carichi afferenti a due ruote appartenenti al medesimo asse:

$$QV2/QV1 = 1,25$$

essendo $QV1$ e $QV2$ i carichi verticali delle ruote di un medesimo asse, e risulta quindi pari a $s/18$ con $s = 1435$ mm; questa eccentricità deve essere considerata nella direzione più sfavorevole, per cui $s = 0,08$ m.

Il valore del coefficiente di adattamento " α " da adottarsi per il modello di carico LM71 nella progettazione di ferrovie ordinarie è pari a 1,1.

Carico singolo asse $Q_v = Q_{vk} \cdot \alpha = 250 \cdot 1,1 \cdot 1,59 = 275$ kN

Carico distribuito $q_{LM71} = q_{vk} \cdot \alpha = 80$ kN/m $\cdot 1,1 = 88$ kN/m

Coefficienti di combinazione (Tab. 5.2.VI NTC):

$$\psi_0 = 0,8 \quad \psi_1 = 0,8 \quad \psi_2 = 0$$

Solo nelle combinazioni sismica, $\psi_2 = 0,2$, per tener conto della massa dovuta ai carichi ferroviari. Nel resto delle combinazioni, $\psi_2 = 0$.

6.1.4.3 Treno di carico SW

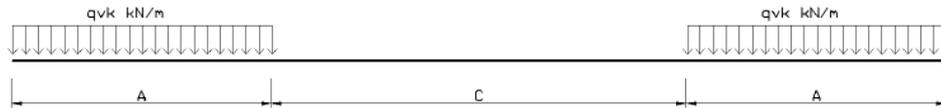


Fig. 5.2.2 Modelli di carico SW

Il modello di carico SW è illustrato in Fig. 5.2.2; per tale modello di carico, sono considerate due distinte configurazioni denominate SW/0 e SW/2.

Il modello di carico SW/0 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale per travi continue (esso andrà utilizzato solo per le travi continue qualora più sfavorevole dell'LM71).

Il modello di carico SW/2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

Le caratterizzazioni di entrambe queste configurazioni sono indicate in Tab. 5.2.I.

Il valore del coefficiente di adattamento “ α ” da adottarsi nella progettazione delle ferrovie ordinarie è pari, rispettivamente, a 1,1 per il modello di carico SW/0 ed a 1,0 per il modello di carico SW/2.”

Tipo di carico	Q_{vk} [kN/m]	A [m]	C [m]
SW/0	133	15,00	5,30
SW/2	150	25,00	7,00

Tab. 5.2.I. Caratteristiche modelli di carico SW

6.1.4.4 Ripartizione dei carichi verticali

Per i carichi uniformemente distribuiti si considera la ripartizione in direzione longitudinale e trasversale rispetto all'asse ferroviario con inclinazione 4:1 (4 verticale, 1 orizzontale) attraverso il ballast di spessore medio 0,80 m.

Larghezza traversa	L_T	2,40 m
Spessore ballast	h_b	0,80 m
Larghezza diffusione	$L_{d,1}$	$2,40 + 2 \cdot (0,80/4) = 2,80$ m

Treno di carico LM71

Carico distribuito linearmente	q_{LM71}	88 kN/m
Carico diffuso	q_{diff}	$88 \text{ kN/m} / 2,80 \text{ m} = 31,43 \text{ kN/m}^2$
Carico distribuito su 1 m	$q_{LM71,diff}$	31,43 kN/m
Carico singolo asse	Q_v	275 kN
Carico diffuso	$Q_{v,diff}$	$4 \cdot 275 \text{ kN} / (2,80 \text{ m} \cdot 6,40 \text{ m}) = 61,38 \text{ kN/m}$
Carico su 1 m	$Q_{LM71,diff}$	61,38 kN/m

	LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 06 00 003	REV. A

Dovendo considerare una striscia di 1 m di paratia, si applicherà, in corrispondenza dell'asse ferroviario, un carico concentrato pari a:

Carico $Q_{LM71} = 61,38 \text{ kN}$

Coefficienti di combinazione (Tab. 5.2.VI NTC):

$$\psi_0 = 0,8 \quad \psi_1 = 0,4 \quad \psi_2 = 0$$

Solo nelle combinazioni sismica, $\psi_2 = 0,2$, per tener conto della massa dovuta ai carichi ferroviari. Nel resto delle combinazioni, $\psi_2 = 0$. Inoltre, la Tab. 5.2.VI prescrive che quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Treno di carico SW/2

Carico distribuito linearmente $q_{Sw/02} = 150 \text{ kN/m}$

Carico diffuso $q_{diff} = 150 \text{ kN/m} / 2,80 \text{ m} = 53,57 \text{ kN/m}^2$

Carico distribuito su 1 m $q_{LM71,diff} = 53,57 \text{ kN/m}$

Dovendo considerare una striscia di 1 m di paratia, si applicherà, in corrispondenza dell'asse ferroviario, un carico concentrato pari a:

Carico $Q_{Sw/02} = 53,57 \text{ kN/m}$

Si considererà il solo Carico LM71, essendo il più gravoso, e verrà applicato considerando l'eccentricità nella direzione della paratia.

Coefficienti di combinazione (Tab. 5.2.VI NTC):

$$\psi_0 = 0,8 \quad \psi_1 = 0,4 \quad \psi_2 = 0$$

Solo nelle combinazioni sismica, $\psi_2 = 0,2$, per tener conto della massa dovuta ai carichi ferroviari. Nel resto delle combinazioni, $\psi_2 = 0$. Inoltre, la Tab. 5.2.VI prescrive che quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

6.1.5 Stati limite ultimi

Sono prese in considerazione le seguenti verifiche agli stati limite ultimi:

1. SLU di tipo strutturale (STR), relative a condizioni di:

Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

2. SLU di tipo geotecnico (GEO), relative a condizioni di:

Collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno.

Per la progettazione di componenti strutturali che non coinvolgano 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 Tab. 2.6.I.

	LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 06 00 003	REV. A

Per la progettazione di elementi strutturali che coinvolgano azioni di tipo geotecnico (plinti, platee, pali, muri di sostegno, ...) 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 (γ_F), per la resistenza dei materiali (γ_M) e, eventualmente, per la resistenza globale del sistema (γ_R). Nella *Combinazione 1* dell'*Approccio 1*, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1 della Tabella 2.6.I. Nella *Combinazione 2* dell'*Approccio 1*, si impiegano invece i coefficienti γ_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 (γ_F), per la resistenza dei materiali (γ_M) e, eventualmente, per la resistenza globale (γ_R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_F riportati nella colonna A1.

6.1.6 Stati limite d'esercizio

I principali Stati Limite di Esercizio sono elencati nel seguito:

- a) danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- b) spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- c) spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- d) vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- e) danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- f) corrosione e/o degrado dei materiali in funzione del tempo e dell'ambiente di esposizione che possano compromettere la durabilità.

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite di Esercizio comprendono gli Stati Limite di Operatività (SLO) e gli Stati Limite di Danno (SLD), come precisato nel § 3.2.1.

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	19 di 54

7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

In riferimento al modello geotecnico del sottosuolo che caratterizza l'area di sedime dell'opera si definiscono i principali parametri fisico-meccanici dei terreni interagenti con l'opera.

In relazione alla sezione trasversale dell'opera si evince una stratigrafia con caratteristiche che entrano in gioco nel calcolo strutturale dei muri dal punto di vista dei carichi e dell'interazione terreno-struttura. Procedendo dal basso verso l'alto si hanno, nell'ordine:

- il terreno di fondazione;
- il rilevato ferroviario.

7.1 Rilevato ferroviario

Il terreno che costituisce il rilevato ferroviario ha le seguenti caratteristiche:

Peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

Coesione efficace $c' = 0$

Angolo di resistenza al taglio $\varphi' = 38^\circ$

7.2 Terreno di fondazione

I principali parametri geotecnici sono riportati di seguito:

		Profondità m da p.c.				
PK		154+046 ÷ 156+000 ZONA 1	156+000 ÷ 157+200 ZONA 2	157+200 ÷ 158+100 ZONA 3	158+100 ÷ 160+925 ZONA 4	
WBS						
Formazione geologica						
Unità Geotecnica		UNITA' 1: Ghiaia sabbiosa				
Geotecnica	Peso di volume γ [kN/m ³]	19	19	19	19	
	Coesione C' [kPa]	0	0	0	0	
	Angolo di attrito di picco φ' [°]	<5	44.9	44.0	40.2	40.4
		5-15	47.8	44.6	38.8	43.2
		>15	46.4	44.8	41.7	44.0
	Densità relativa D_R [%]	<5	92.8	86.5	74.8	76.4
		5-15	95.3	82.7	63.1	79.9
		>15	82.3	75.8	66.2	75.3
	Modulo di taglio G_0 [MPa]	<5	83.2	80.3	65.7	68.6
		5-15	145.2	132.1	104.1	124.8
		>15	199.6	187.8	182.6	188.3
	Modulo di deformazione elastica iniziale E_0 [Mpa]	<5	199.8	192.8	157.7	164.5
		5-15	348.5	316.9	249.7	299.5
		>15	479.1	450.8	438.1	452.0
	Modulo di deformazione operativo per i rilevati E_{RIL} [Mpa]	<5	20.0	19.3	15.8	16.5
		5-15	34.9	31.7	25.0	30.0
		>15	47.9	45.1	43.8	45.2
	Modulo di deformazione operativo per le opere civili E_{OC} [Mpa]	<5	40.0	38.6	31.5	32.9
5-15		69.7	63.4	49.9	59.9	
>15		95.8	90.2	87.6	90.4	
Modulo di deformazione operativo E'_{25} [Mpa]	<5	50.9	48.7	34.9	35.6	
	5-15	66.3	55.5	33.1	48.8	
	>15	67.6	61.8	48.6	57.3	
Classe sottosuolo		B	B	B	B	

L'opera in esame è situata nella Zona 4.

	LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST					
	Relazione di calcolo opere provvisionali	COMMESSA IN1A	LOTTO 20	CODIFICA D26CL	DOCUMENTO SL 06 00 003	REV. A

8 VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito vengono descritte le verifiche che saranno poi sviluppate nei capitoli relativi alle singole sezioni verificate.

8.1 Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1,10.

È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.

In particolare, il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Il coefficiente di sicurezza fornito da Fellenius si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_{i=0}^n \left[\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \varphi_i \right]}{\sum_{i=0}^n W_i \sin \alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i e a_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima e c_i e f_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre u_i ed l_i rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l_i = b_i / \cos \alpha_i$).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo si suddivide in n strisce e dalla formula precedente si ricava h . Questo procedimento è eseguito per il numero di centri prefissato ed è assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

8.2 Analisi dei pali

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito f e la coesione c . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo solitamente viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_t = Q_p + Q_l - W_p$$

dove:

- Q_T portanza totale del palo
- Q_P portanza di base del palo
- Q_L portanza per attrito laterale del palo
- W_P peso proprio del palo

e le due componenti Q_P e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta η_p ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale η_l .

Palo compresso:

$$Q_d = \frac{Q_p}{\eta_p} + \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

Palo teso:

$$Q_d = \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

Capacità portante di punta

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_p = A_p \left(cN'_c + qN'_q + \frac{1}{2} B\gamma N'_\gamma \right)$$

dove:

- A_p è l'area portante efficace della punta del palo
- c è la coesione
- q è la pressione geostatica alla quota della punta del palo
- g è il peso specifico del terreno
- D è il diametro del palo

N'_c N'_q N'_g sono i coefficienti di capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità.

Capacità portante per resistenza laterale

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	23 di 54

$$Q_l = \int_S \tau_a dS$$

dove τ_a è dato dalla nota relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \tan \delta$$

dove:

c_a è l'adesione palo-terreno

d è l'angolo di attrito palo-terreno

g è il peso specifico del terreno

z è la generica quota a partire dalla testa del palo

L è la lunghezza del palo

P è il perimetro del palo

K_s è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	24 di 54

9 CALCOLO PARATIA 1 E 2 , PALO F 500 A DOPPIO PALO H = 11.11 M – PRIMO TRATTO

Geometria paratia

 Tipo paratia: **Paratia di pali**

Altezza fuori terra	11,11	[m]
Profondità di infissione	16,69	[m]
Altezza totale della paratia	27,80	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di pali	2	
Interasse fra le file di pali	0,60	[m]
Interasse fra i pali della fila	0,60	[m]
Diametro dei pali	60,00	[cm]
Numero totale di pali	31	
Numero di pali per metro lineare	3.10	

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n° numero d'ordine

Descrizione Descrizione del terreno

 γ peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]

 γ_{sat} peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]

 ϕ angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]

 δ angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]

 c coesione del terreno espressa in [kg/cm²]

 ca adesione terreno/paratia espressa in [kg/cm²]

Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix

Cesp coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato

 τ_1 tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kg/cm²]

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

N°	Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ²]	ca [kg/cm ²]	Cesp	τ_1 [kg/cm ²]	
1	Rilavato ferroviario	19,000	19,000	38.00	25.33	0,000	0,000	1.20	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED
2	Unità 1 pr da 0 a 5 m	19,000	19,000	40.40	26.93	0,000	0,000	1.70	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED
3	Unità 1 pr da 5 a 15 m	19,000	19,000	43.20	28.80	0,000	0,000	1.70	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED
4	Unità 1 pr da > 15 m	19,000	19,000	44.00	29.33	0,000	0,000	1.70	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED

Relazione di calcolo opere provvisionali

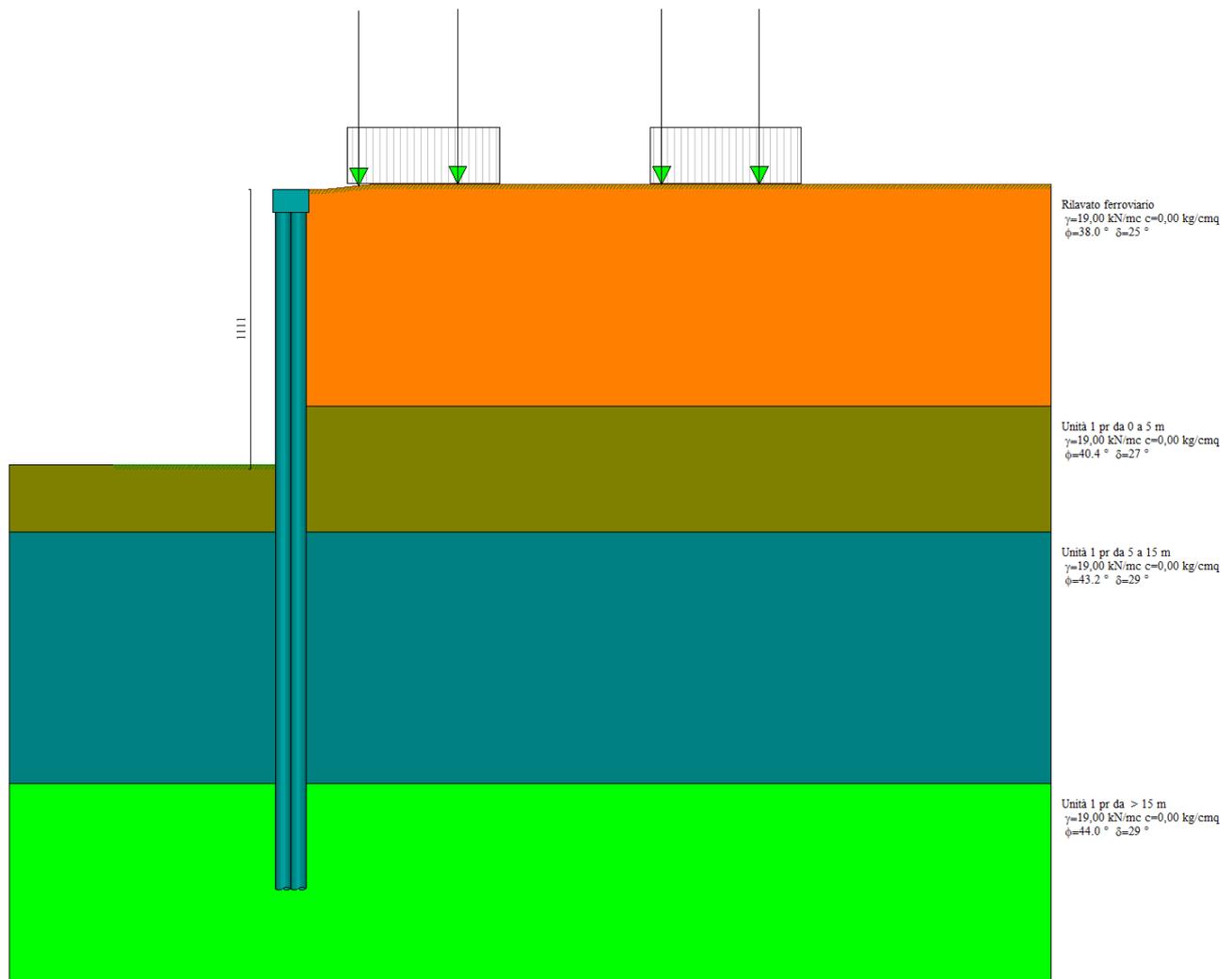
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	25 di 54

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm ² /cm]
α	inclinazione dello strato espressa in [°] (M: strato di monte, V: strato di valle)
Terreno	Terreno associato allo strato (M: strato di monte, V: strato di valle)

N°	sp [m]	α _M [°]	α _V [°]	K _{wM} [kg/cm ² /cm]	K _{wV} [kg/cm ² /cm]	Terreno M	Terreno V
1	8,60	0.00	0.00	2.20	2.20	Rilavato ferroviario	Rilavato ferroviario
2	5,00	0.00	0.00	6.41	6.41	Unità 1 pr da 0 a 5 m	Unità 1 pr da 0 a 5 m
3	10,00	0.00	0.00	12.38	12.38	Unità 1 pr da 5 a 15 m	Unità 1 pr da 5 a 15 m
4	8,00	0.00	0.00	19.14	19.14	Unità 1 pr da > 15 m	Unità 1 pr da > 15 m



Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	26 di 54

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno:

Pressione passiva

Applicata diminuzione quota valle secondo NTC2018 - par 6.5.2.2

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva K_a e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

Stabilità globale:

Metodo: Metodo di Fellenius
 Maglia dei centri: Passo maglia **Automatica**
 Resistenza a taglio paratia: **V_{Rd}**

Impostazioni analisi sismica

Non sono state analizzate Combinazioni/Fasi sismiche.

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°: Indice della Combinazione/Fase
 Tipo: Tipo della Combinazione/Fase
 Pa: Spinta attiva, espressa in [kN]
 Is: Incremento sismico della spinta, espressa in [kN]
 Pw: Spinta della falda, espressa in [kN]
 Pp: Resistenza passiva, espressa in [kN]
 Pc: Controspinta, espressa in [kN]

n°	Tipo	Pa [kN]	Y _{Pa} [m]	Is [kN]	Y _{Is} [m]	Pw [kN]	Y _{Pw} [m]	Pp [kN]	Y _{Pp} [m]	Pc [kN]	Y _{Pc} [m]
1	SLU - STR	447,56	7,04	--	--	--	--	-1044,51	14,72	596,97	20,47
2	SLU - GEO	477,30	6,97	--	--	--	--	-1189,74	15,92	712,47	21,92
3	SLE - Rara	337,60	7,05	--	--	--	--	-785,99	14,69	448,41	20,44

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	27 di 54

n°	Tipo	Pa [kN]	Y _{Pa} [m]	Is [kN]	Y _{Is} [m]	Pw [kN]	Y _{Pw} [m]	Pp [kN]	Y _{Pp} [m]	Pc [kN]	Y _{Pc} [m]
4	SLE - Frequente	284,68	7,25	--	--	--	--	-640,67	14,44	356,01	20,19
5	SLE - Quasi permanente	249,56	7,35	--	--	--	--	-550,60	14,29	301,06	20,04

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kN]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kN]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kN]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kN]

n°	Tipo	Rc [kN]	Y _{Rc} [m]	Rt [kN]	Y _{Rt} [m]	Rv [kN]	Y _{Rv} [m]	Rp [kN]	Y _{Rp} [m]
1	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLE - Rara	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	SLE - Frequente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	SLE - Quasi permanente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

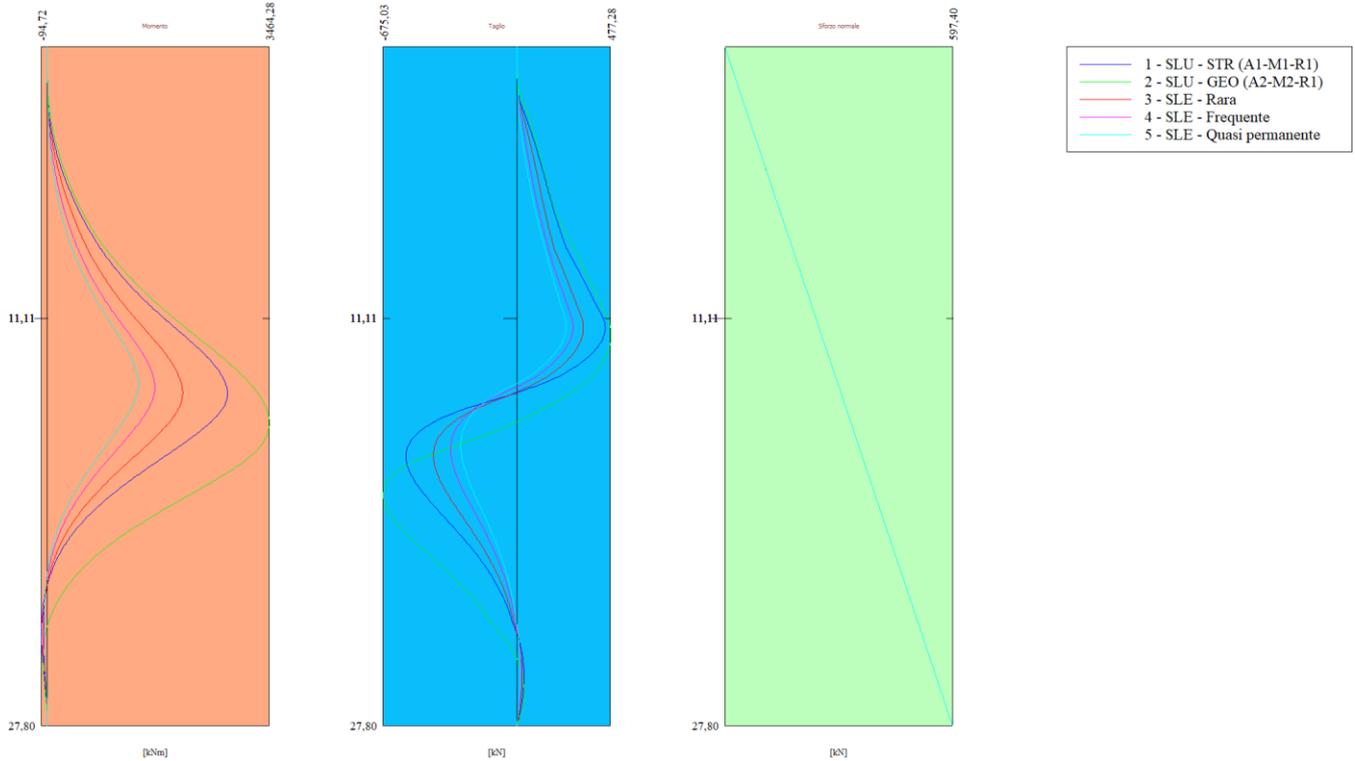
Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia
Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M [kNm]	Y _M [m]	T [kN]	Y _T [m]	N [kN]	Y _N [m]	
1	SLU - STR	2813,33	14,20	447,54	11,46	597,40	27,80	MAX
		-94,72	24,00	-559,83	16,75	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	3464,28	15,35	477,28	11,81	597,40	27,80	MAX
		-69,26	25,05	-675,03	18,35	0,00	0,00	MIN
3	SLE - Rara	2112,94	14,15	337,59	11,46	597,40	27,80	MAX
		-71,54	23,95	-420,52	16,75	0,00	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	1675,61	13,95	284,67	11,41	597,40	27,80	MAX
		-59,01	23,80	-333,98	16,45	0,00	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	1416,99	13,80	249,55	11,41	597,40	27,80	MAX
		-50,84	23,70	-282,53	16,30	0,00	0,00	MIN

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	28 di 54



Spostamenti massimi e minimi della paratia

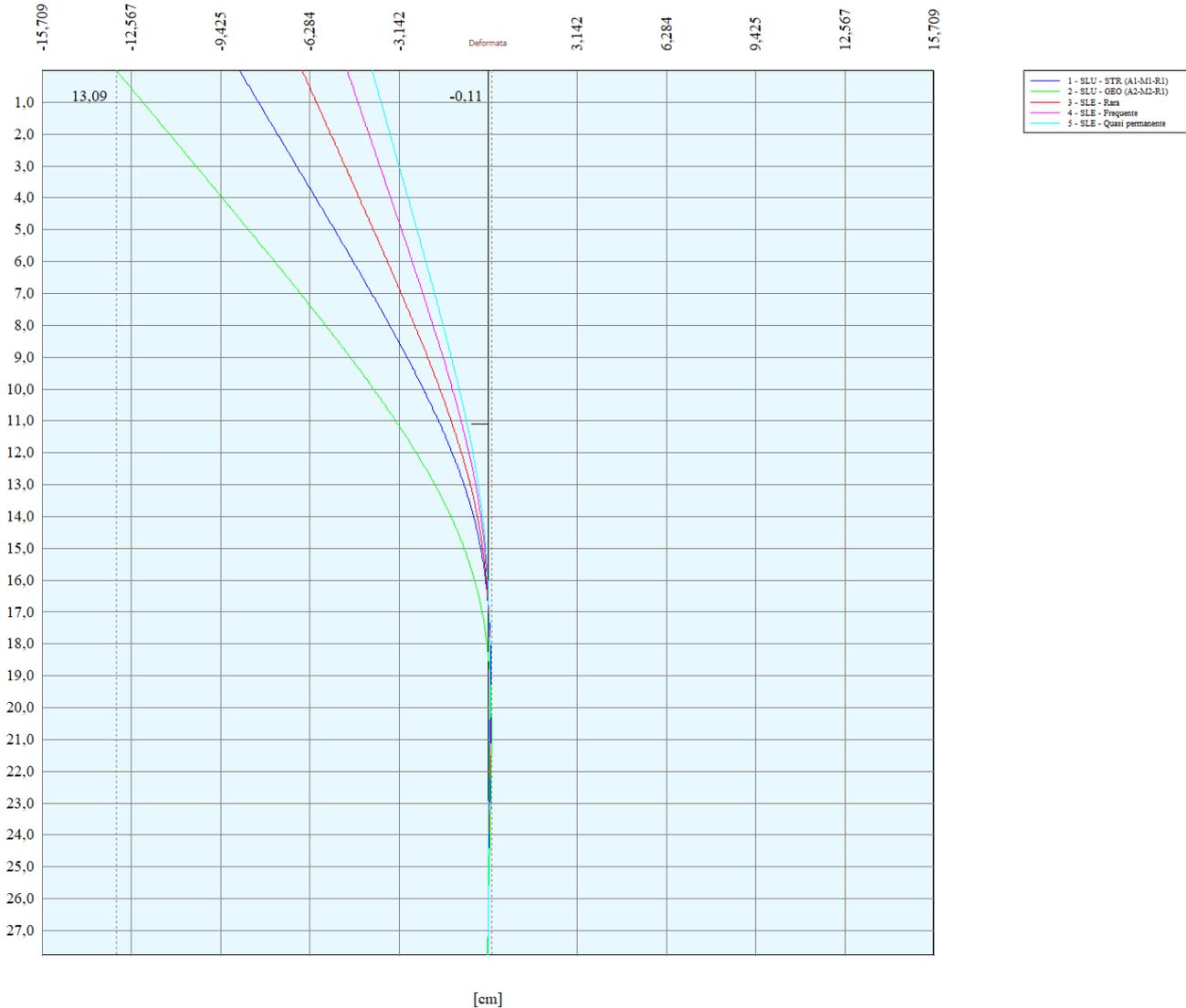
Simbologia adottata

- n° Indice della combinazione/fase
- Tipo Tipo della combinazione/fase
- Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
- U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
- V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Yu [m]	V [cm]	Yv [m]	
1	SLU - STR	8,7554	0,00	0,0282	0,00	MAX
		-0,0929	19,35	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	13,0908	0,00	0,0282	0,00	MAX
		-0,1119	20,85	0,0000	0,00	MIN
3	SLE - Rara	6,5459	0,00	0,0282	0,00	MAX
		-0,0697	19,30	0,0000	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	4,9647	0,00	0,0282	0,00	MAX
		-0,0553	19,05	0,0000	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	4,0870	0,00	0,0282	0,00	MAX
		-0,0468	18,90	0,0000	0,00	MIN

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	29 di 54



Stabilità globale

Simbologia adottata

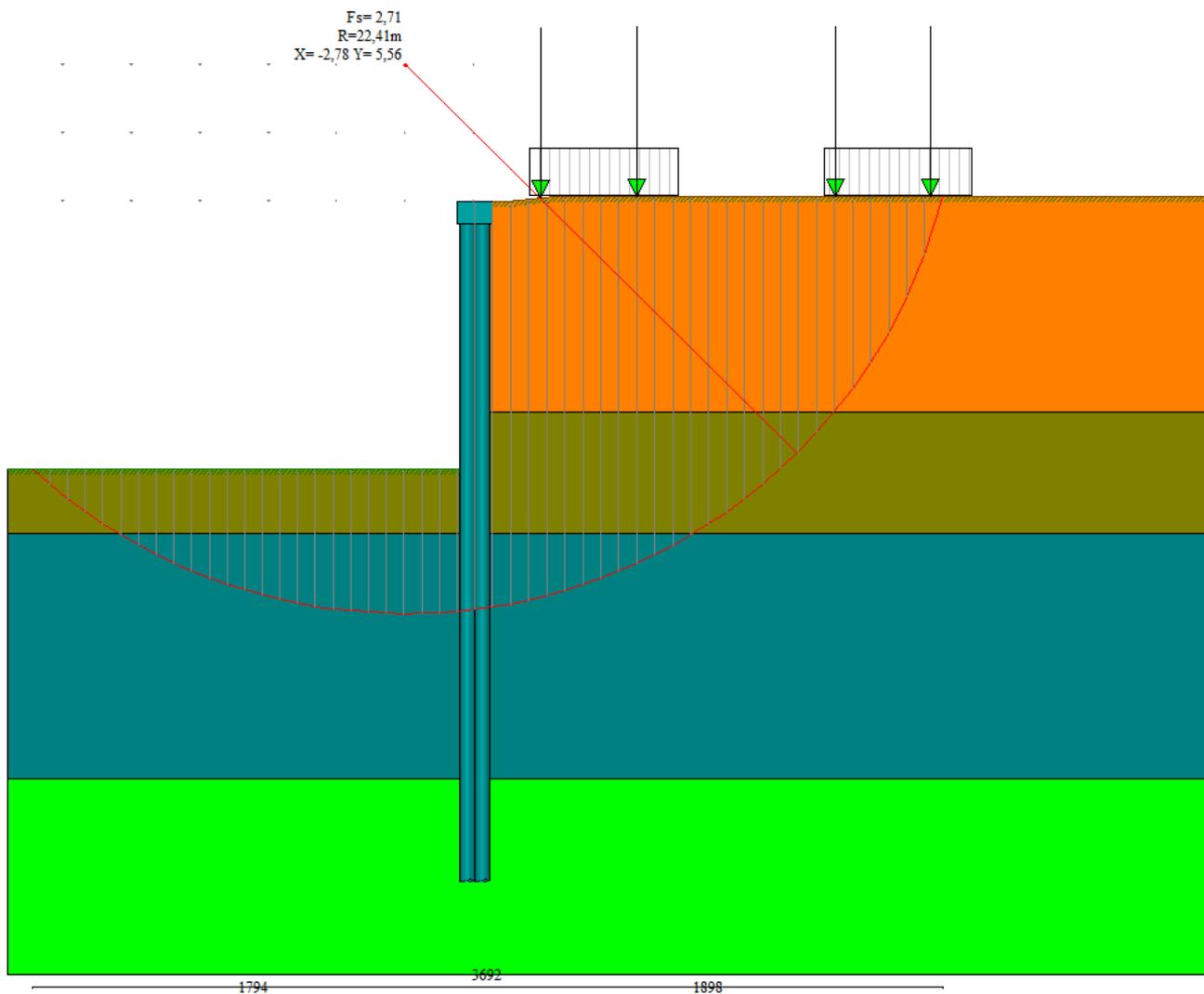
n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(Xc; Yc)	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(Xv; Yv)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(Xm; Ym)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza
R	Coefficiente di sicurezza richiesto

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	30 di 54

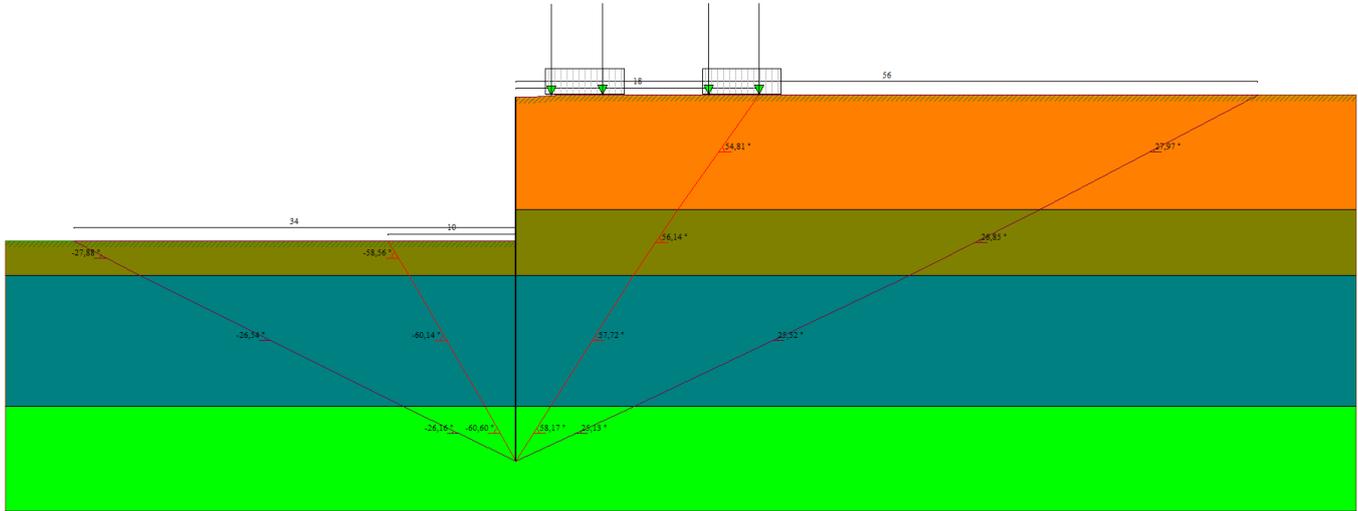
Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	Xc, Yc [m]	R [m]	Xv, Yv [m]	Xm, Ym [m]	FS	R
2	SLU - GEO	-2,78; 5,56	22,41	-17,94; -10,94	18,98; 0,20	2.706	1.100



Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	31 di 54



Verifica a flessione

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
A_f	area di armatura del palo espressa in [cmq]
M	momento flettente agente sul palo espresso in [kNm]
N	sforzo normale agente sul palo espresso in [kN] (positivo di compressione)
M_u	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
N_u	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
F_s	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

n° - Tipo	Y [m]	A_f [cmq]	M [kNm]	N [kN]	M_u [kNm]	N_u [kN]	F_s
2 - SLU - GEO	15,35	159,28	1117,51	106,41	1142,88	108,82	1.023

Verifica a taglio

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
A_{sw}	area dell'armatura trasversale, espressa in [cmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm]
V_{Ed}	taglio agente sul palo, espresso in [kN]
V_{Rd}	taglio resistente, espresso in [kN]
F_s	coefficiente di sicurezza (rapporto tra V_{Rd}/V_{Ed})
$\cotg\theta$	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato $B = 51,21$ cm

n° - Tipo	Y [m]	A_{sw} [cmq]	s [cm]	V_{Ed} [kN]	V_{Rd} [kN]	F_s	$\cotg\theta$
2 - SLU - GEO	18,35	1,57	20,00	-217,75	333,39	1.531	2,50

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	32 di 54

Verifica tensioni

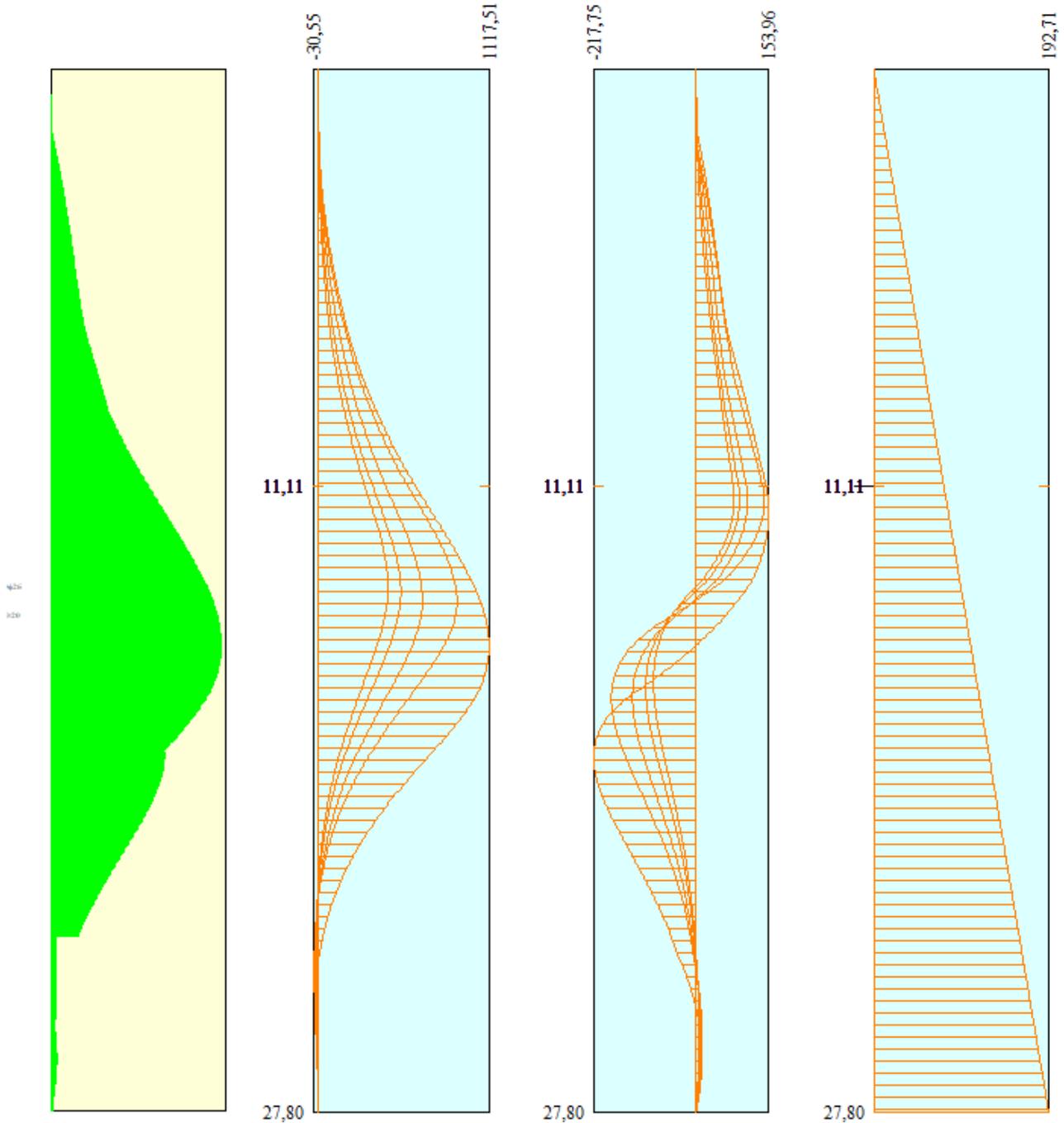
Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
Af	area di armatura espressa in [cmq]
σ_c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kg/cmq]
σ_f	tensione nell'acciaio espressa in [kg/cmq]

Af	σ_c	cmb	σ_f	cmb
[cmq]	[kg/cmq]		[kg/cmq]	
159,28	183,20	3	3153,50	3

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	33 di 54



Verifica fessurazione

Simbologia adottata

Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Oggetto	Muro/Paratia
Y	Ordinata sezione, espresso in [m]

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	34 di 54

M Momento agente, espresso in [kNm]
 M_r Momento prima fessurazione, espresso in [kNm]
 s Distanza media tra le fessure, espressa in [mm]
 ε_{sm} Deformazione nelle fessure, espressa in [%]
 W_{lim} Apertura limite fessure, espressa in [mm]
 W_k Ampiezza fessure, espressa in [mm]

Oggetto	n° - Tipo	Y [m]	M [kNm]	M _r [kNm]	s [mm]	ε _{sm} [%]	W _{lim} [mm]	W _k [mm]
Paratia	3 - SLE - Rara	14,15	681,59	176,72	106,258	0.1398	100,000	0,252

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	35 di 54

10 CALCOLO PARATIA 1 E 2, PALO F 600 A SINGOLO PALO H = 6.11 M SECONDO TRATTO

Geometria paratia

 Tipo paratia: **Paratia di pali**

Altezza fuori terra	6,11	[m]
Profondità di infissione	16,69	[m]
Altezza totale della paratia	22,80	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di pali	1	
Interasse fra i pali della fila	0,60	[m]
Diametro dei pali	60,00	[cm]
Numero totale di pali	16	
Numero di pali per metro lineare	1.60	

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_{sat}	peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]
ϕ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cmq]
ca	adesione terreno/paratia espressa in [kg/cmq]

Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix

Cesp	coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
τ_1	tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kg/cmq]

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

N°	Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cmq]	ca [kg/cmq]	Cesp	τ_1 [kg/cmq]	
1	Rilavato ferroviario	19,000	19,000	38.00	25.33	0,000	0,000	1.20	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED
2	Unità 1 pr da 0 a 5 m	19,000	19,000	40.40	26.93	0,000	0,000	1.70	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED
3	Unità 1 pr da 5 a 15 m	19,000	19,000	43.20	28.80	0,000	0,000	1.70	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED
4	Unità 1 pr da > 15 m	19,000	19,000	44.00	29.33	0,000	0,000	1.70	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED

Relazione di calcolo opere provvisionali

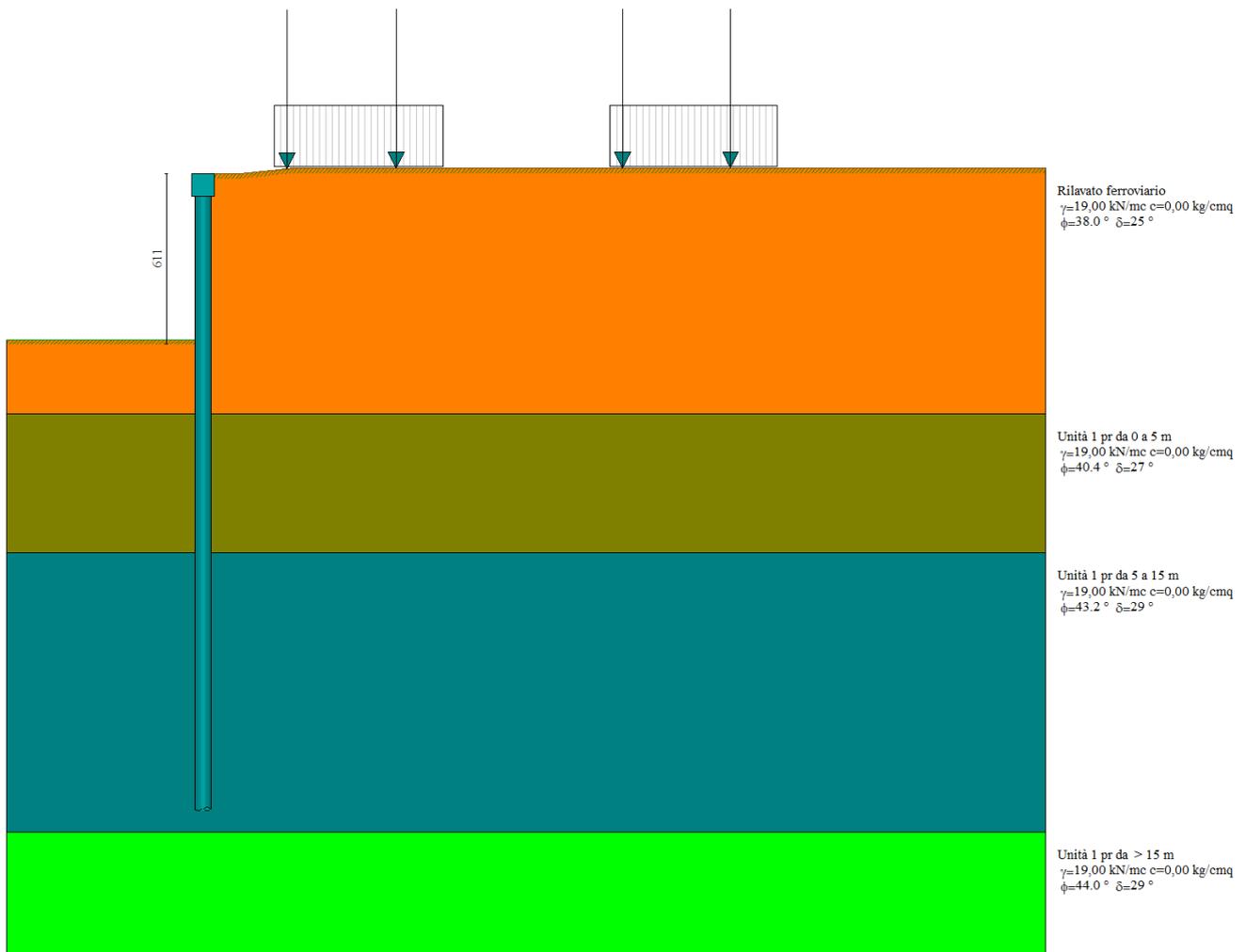
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	36 di 54

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm ² /cm]
α	inclinazione dello strato espressa in [°] (M: strato di monte, V: strato di valle)
Terreno	Terreno associato allo strato (M: strato di monte, V: strato di valle)

N°	sp [m]	αM [°]	αV [°]	KwM [kg/cm ² /cm]	KwV [kg/cm ² /cm]	Terreno M	Terreno V
1	8,60	0.00	0.00	2.20	2.20	Rilavato ferroviario	Rilavato ferroviario
2	5,00	0.00	0.00	6.41	6.41	Unità 1 pr da 0 a 5 m	Unità 1 pr da 0 a 5 m
3	10,00	0.00	0.00	12.38	12.38	Unità 1 pr da 5 a 15 m	Unità 1 pr da 5 a 15 m
4	8,00	0.00	0.00	19.14	19.14	Unità 1 pr da > 15 m	Unità 1 pr da > 15 m



Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	37 di 54

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno:

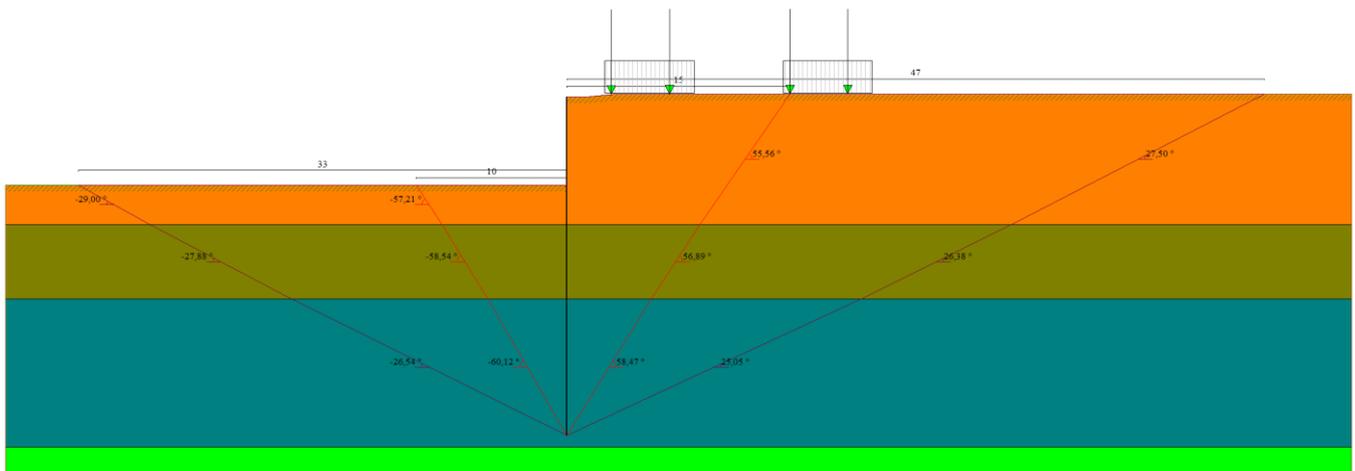
Pressione passiva

Applicata diminuzione quota valle secondo NTC2018 - par 6.5.2.2

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva K_a e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

Stabilità globale:

Metodo: Metodo di Fellenius
 Maglia dei centri: Passo maglia **Automatica**
 Resistenza a taglio paratia: **V_{Rd}**



Relazione di calcolo opere provvisionali

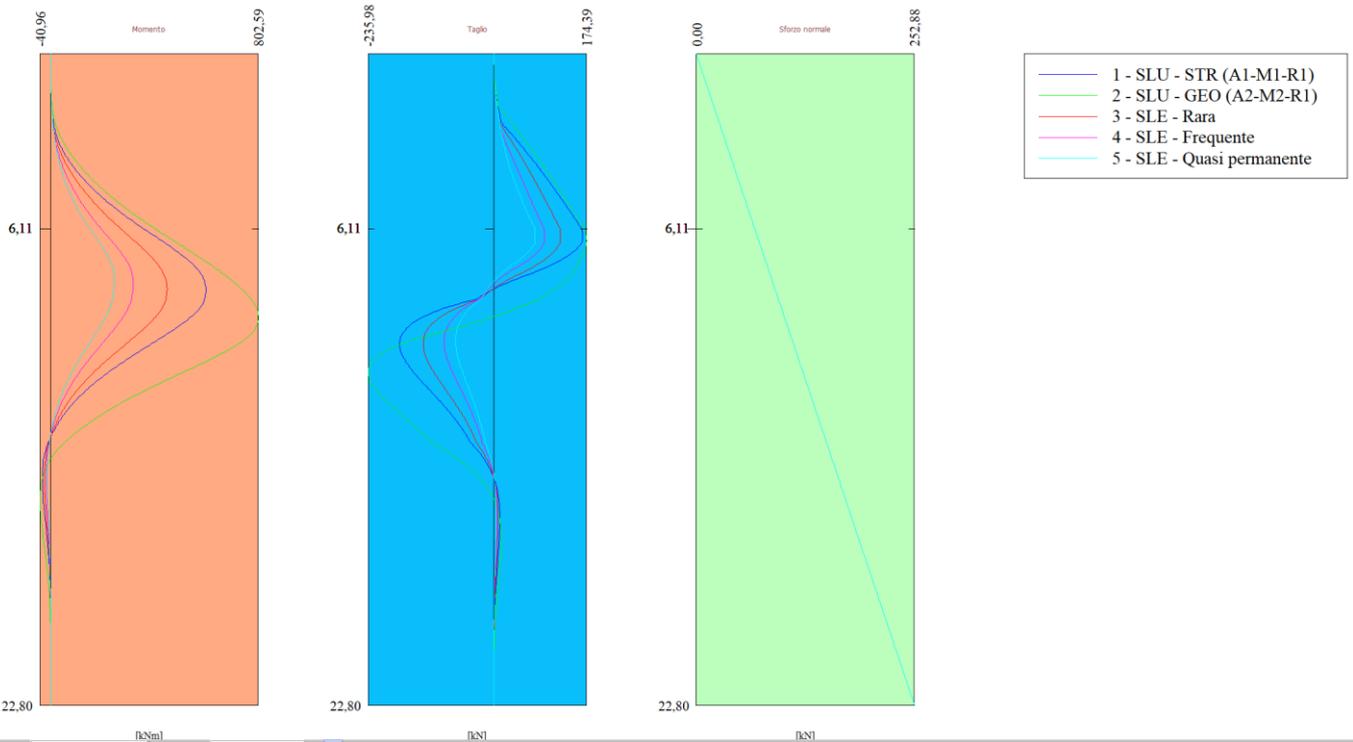
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	39 di 54

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M	Y _M	T	Y _T	N	Y _N	
		[kNm]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	
1	SLU - STR	599,17	8,25	166,28	6,26	252,88	22,80	MAX
		-32,50	14,85	-176,79	10,15	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	802,59	9,20	174,39	6,51	252,88	22,80	MAX
		-40,96	15,60	-235,98	11,15	0,00	0,00	MIN
3	SLE - Rara	449,57	8,25	125,45	6,26	252,88	22,80	MAX
		-24,37	14,85	-132,56	10,15	0,00	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	318,67	8,05	95,38	6,26	252,88	22,80	MAX
		-17,13	14,80	-93,25	10,05	0,00	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	245,77	7,95	78,06	6,26	252,88	22,80	MAX
		-13,13	14,75	-71,54	10,00	0,00	0,00	MIN



Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	40 di 54

Spostamenti massimi e minimi della paratia

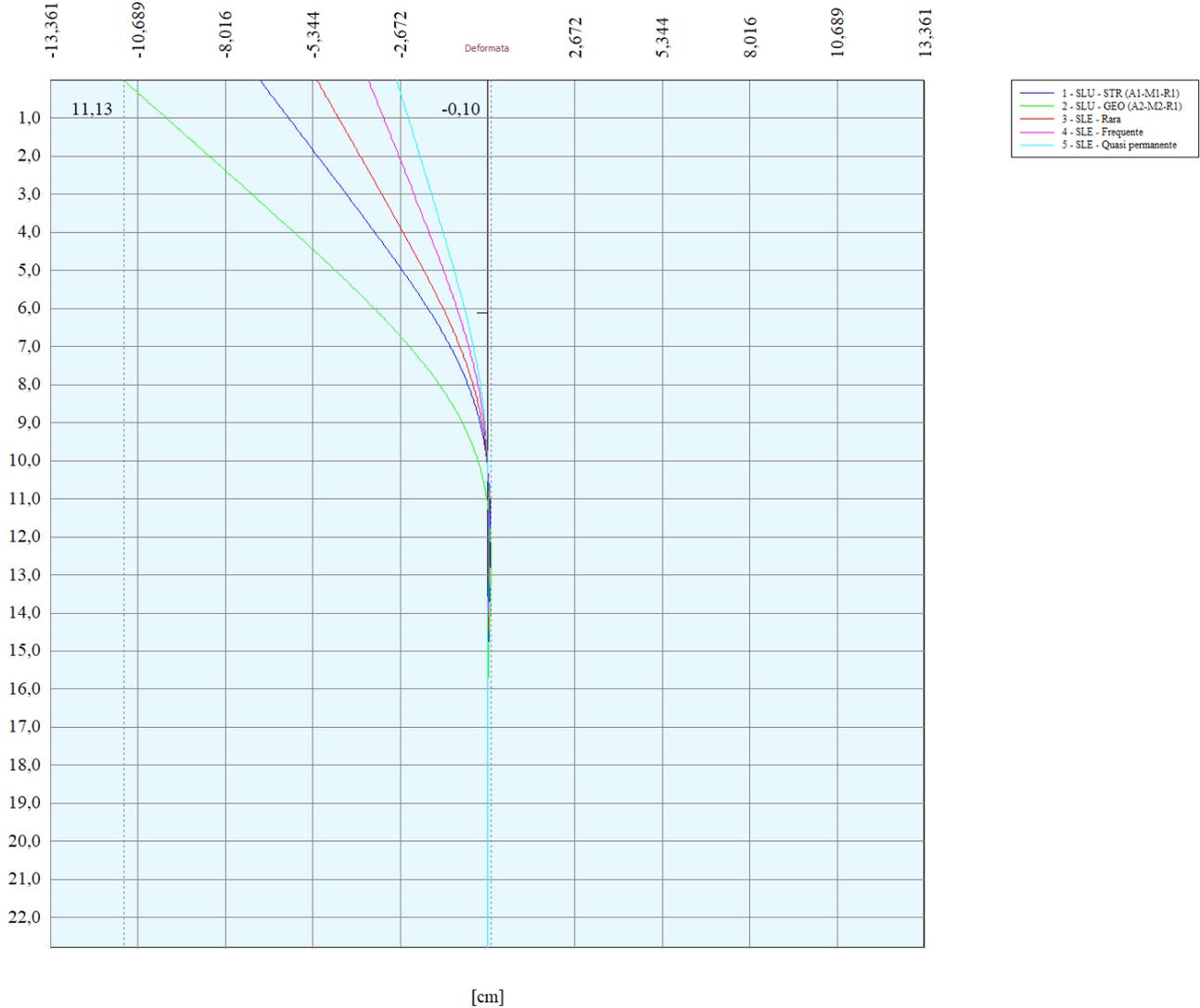
Simbologia adottata

- n° Indice della combinazione/fase
- Tipo Tipo della combinazione/fase
- Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
- U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
- V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Yu [m]	V [cm]	Yv [m]	
1	SLU - STR	6,9622	0,00	0,0189	0,00	MAX
		-0,0800	11,80	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	11,1339	0,00	0,0189	0,00	MAX
		-0,0971	12,70	0,0000	0,00	MIN
3	SLE - Rara	5,2170	0,00	0,0189	0,00	MAX
		-0,0600	11,80	0,0000	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	3,6411	0,00	0,0189	0,00	MAX
		-0,0424	11,70	0,0000	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	2,7825	0,00	0,0189	0,00	MAX
		-0,0326	11,65	0,0000	0,00	MIN

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	41 di 54



Stabilità globale

Simbologia adottata

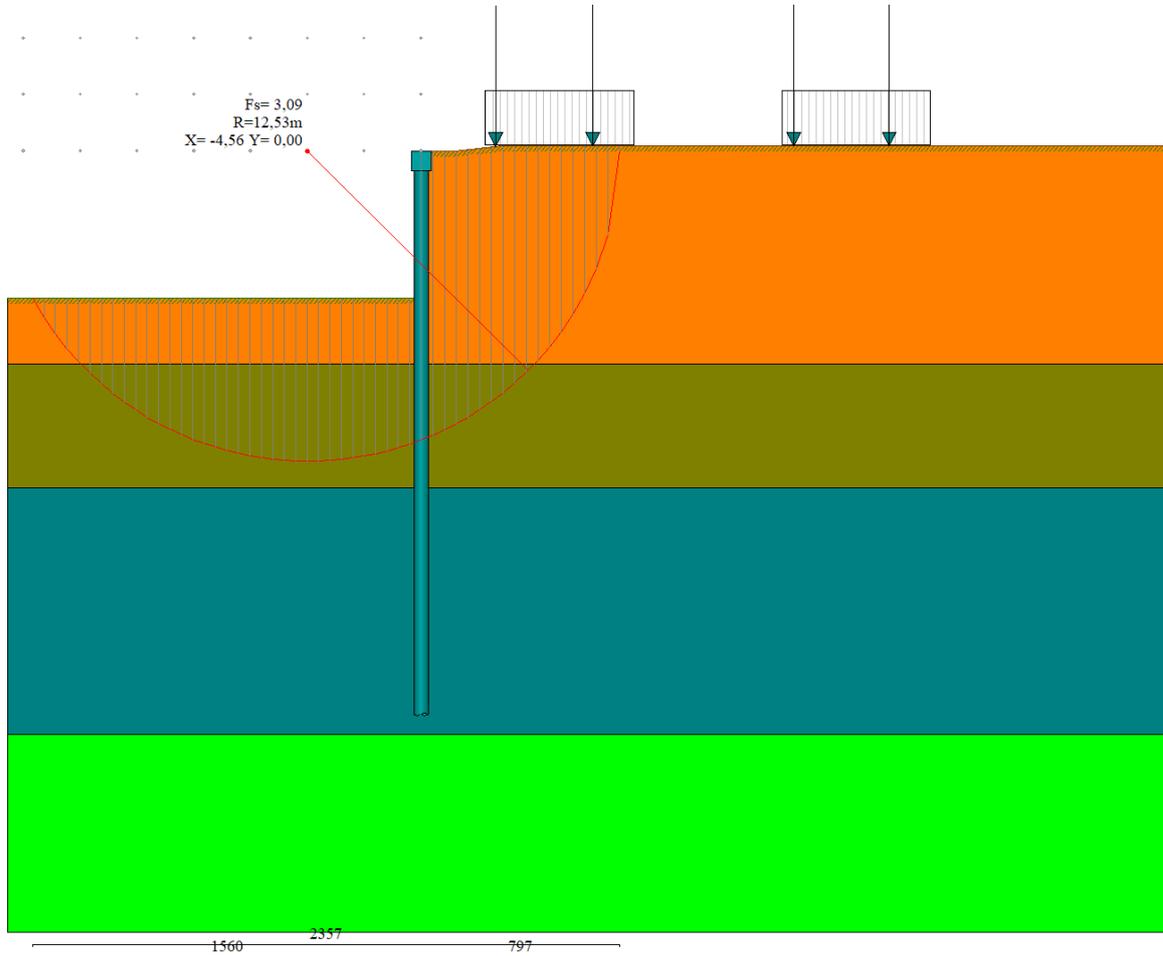
n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X _c ; Y _c)	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X _v ; Y _v)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X _m ; Y _m)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza
R	Coefficiente di sicurezza richiesto

Numero di cerchi analizzati 100

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	42 di 54

n°	Tipo	Xc, Yc [m]	R [m]	Xv, Yv [m]	Xm, Ym [m]	FS	R
2	SLU - GEO	-4,56; 0,00	12,53	-15,60; -5,94	7,97; 0,00	3.091	1.100



Verifica a flessione

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
Af	area di armatura del palo espressa in [cmq]
M	momento flettente agente sul palo espresso in [kNm]
N	sforzo normale agente sul palo espresso in [kN] (positivo di compressione)
Mu	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
Nu	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
Fs	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

n° - Tipo	Y [m]	Af [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
2 - SLU - GEO	9,20	60,32	501,62	63,77	505,77	64,30	1.008

Verifica a taglio

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	43 di 54

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
A _{sw}	area dell'armatura trasversale, espressa in [cmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm]
V _{Ed}	taglio agente sul palo, espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente, espresso in [kN]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto tra V _{Rd} / V _{Ed})
cotgθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato B = 51,21 cm

n° - Tipo	Y [m]	A _{sw} [cmq]	s [cm]	V _{Ed} [kN]	V _{Rd} [kN]	FS	cotgθ
2 - SLU - GEO	11,15	1,57	20,00	-147,49	333,39	2.260	2,50

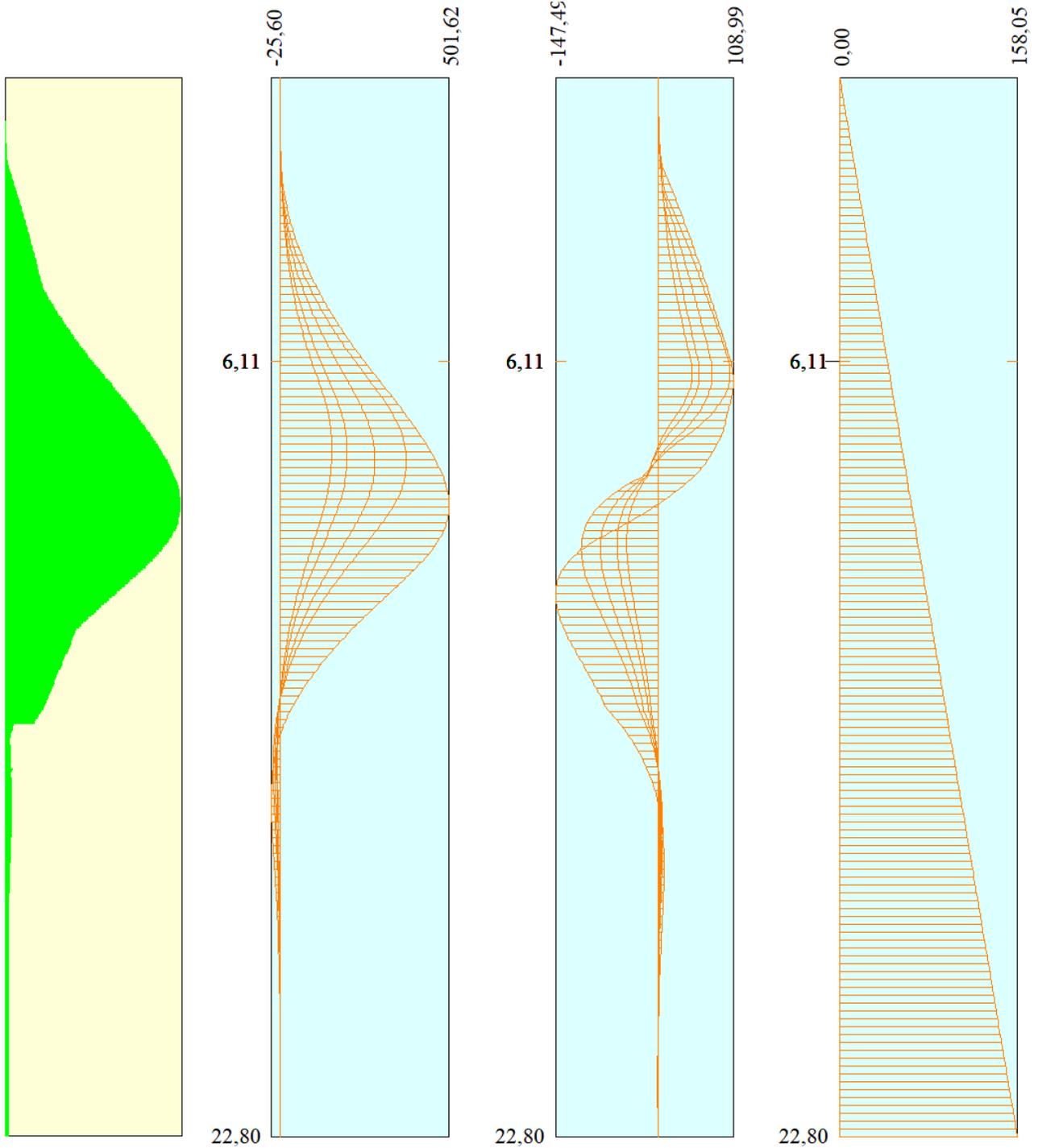
Verifica tensioni
Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
A _f	area di armatura espressa in [cmq]
σ _c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kg/cm ²]
σ _f	tensione nell'acciaio espressa in [kg/cm ²]

A _f [cmq]	σ _c [kg/cm ²]	cmb	σ _f [kg/cm ²]	cmb
60,32	134,80	3	3104,87	3

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	44 di 54



Verifica fessurazione

Simbologia adottata

Tipo Tipo della Combinazione/Fase
Oggetto Muro/Paratia

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	45 di 54

Y Ordinata sezione, espresso in [m]
M Momento agente, espresso in [kNm]
M_f Momento prima fessurazione, espresso in [kNm]
s Distanza media tra le fessure, espressa in [mm]
ε_{sm} Deformazione nelle fessure, espressa in [%]
W_{lim} Apertura limite fessure, espressa in [mm]
W_k Ampiezza fessure, espressa in [mm]

Oggetto	n° - Tipo	Y [m]	M [kNm]	M _f [kNm]	s [mm]	ε _{sm} [%]	W _{lim} [mm]	W _k [mm]
Paratia	3 - SLE - Rara	8,20	280,97	118,13	119,151	0.1284	100,000	0,260

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	46 di 54

11 CALCOLO PARATIA 3 E 4, MICROPALO PERFORAZINE F 300 A SINGOLO PALO H = 1.70 M

Geometria paratia

 Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	1,70	[m]
Profondità di infissione	3,90	[m]
Altezza totale della paratia	5,60	[m]
Lunghezza paratia	10,00	[m]
Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,60	[m]
Diametro dei micropali	30,00	[cm]
Numero totale di micropali	17	
Numero di micropali per metro lineare	1.70	
Diametro esterno del tubolare	193,70	[mm]
Spessore del tubolare	10,00	[mm]

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n° numero d'ordine

Descrizione Descrizione del terreno

 γ peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]

 γ_{sat} peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]

 ϕ angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]

 δ angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]

 c coesione del terreno espressa in [kg/cm^q]

 ca adesione terreno/paratia espressa in [kg/cm^q]

Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix

Cesp coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato

 τ_1 tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kg/cm^q]

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

N°	Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ^q]	ca [kg/cm ^q]	Cesp	τ_1 [kg/cm ^q]	
2	Unità 1 pr da 0 a 5 m	19,000	19,000	40.40	26.93	0,000	0,000	1.70	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED
3	Unità 1 pr da 5 a 15 m	19,000	19,000	43.20	28.80	0,000	0,000	1.70	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED
4	Unità 1 pr da > 15 m	19,000	19,000	44.00	29.33	0,000	0,000	1.70	0,000	CAR
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MIN
				0.00	0.00	0,000	0,000		0,000	MED

Descrizione stratigrafia

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	47 di 54

Simbologia adottata

n° numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
 sp spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
 kw costante di Winkler orizzontale espressa in [Kg/cm²/cm]
 α inclinazione dello strato espressa in [°] (M: strato di monte, V: strato di valle)
 Terreno Terreno associato allo strato (M: strato di monte, V: strato di valle)

N°	sp [m]	αM [°]	αV [°]	KwM [kg/cm ² /cm]	KwV [kg/cm ² /cm]	Terreno M	Terreno V
1	5,00	0.00	0.00	1.44	1.44	Unità 1 pr da 0 a 5 m	Unità 1 pr da 0 a 5 m
2	10,00	0.00	0.00	6.66	6.66	Unità 1 pr da 5 a 15 m	Unità 1 pr da 5 a 15 m
3	5,00	0.00	0.00	12.14	12.14	Unità 1 pr da > 15 m	Unità 1 pr da > 15 m



Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno:

Pressione passiva

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva K_a e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

Stabilità globale:

Metodo: Metodo di Fellenius
 Maglia dei centri Passo maglia **Automatica**
 Resistenza a taglio paratia **V_{Rd}**

Impostazioni analisi sismica

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	48 di 54

Non sono state analizzate Combinazioni/Fasi sismiche.

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kN]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kN]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kN]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kN]
Pc	Controspinta, espressa in [kN]

n°	Tipo	Pa [kN]	Y _{Pa} [m]	Is [kN]	Y _{Is} [m]	Pw [kN]	Y _{Pw} [m]	Pp [kN]	Y _{Pp} [m]	Pc [kN]	Y _{Pc} [m]
1	SLU - STR	4,89	1,20	--	--	--	--	-7,08	2,46	2,19	5,29
2	SLU - GEO	5,00	1,20	--	--	--	--	-7,27	2,47	2,26	5,29
3	SLE - Rara	3,76	1,20	--	--	--	--	-5,45	2,46	1,69	5,29
4	SLE - Frequente	3,76	1,20	--	--	--	--	-5,45	2,46	1,69	5,29
5	SLE - Quasi permanente	3,76	1,20	--	--	--	--	-5,45	2,46	1,69	5,29

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kN]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kN]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kN]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kN]

n°	Tipo	Rc [kN]	Y _{Rc} [m]	Rt [kN]	Y _{Rt} [m]	Rv [kN]	Y _{Rv} [m]	Rp [kN]	Y _{Rp} [m]
1	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLE - Rara	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	SLE - Frequente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	SLE - Quasi permanente	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

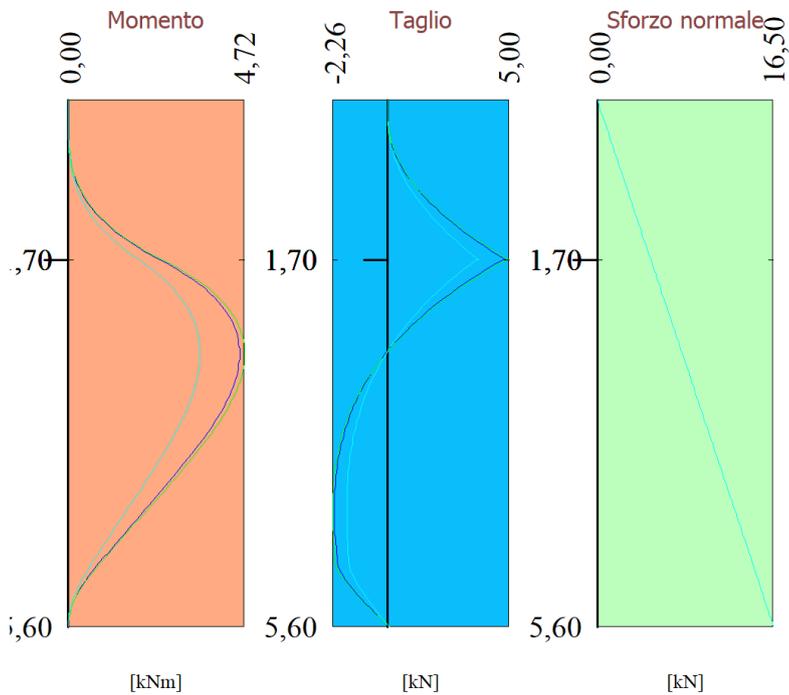
Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kN]

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	49 di 54

n°	Tipo	M [kNm]	Y _M [m]	T [kN]	Y _T [m]	N [kN]	Y _N [m]	
1	SLU - STR	4,58	2,70	4,89	1,70	16,50	5,60	MAX
		0,00	5,60	-2,19	4,35	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	4,72	2,70	5,00	1,70	16,50	5,60	MAX
		0,00	5,60	-2,26	4,35	0,00	0,00	MIN
3	SLE - Rara	3,53	2,70	3,76	1,70	16,50	5,60	MAX
		0,00	0,00	-1,69	4,35	0,00	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	3,53	2,70	3,76	1,70	16,50	5,60	MAX
		0,00	0,00	-1,69	4,35	0,00	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	3,53	2,70	3,76	1,70	16,50	5,60	MAX
		0,00	0,00	-1,69	4,35	0,00	0,00	MIN



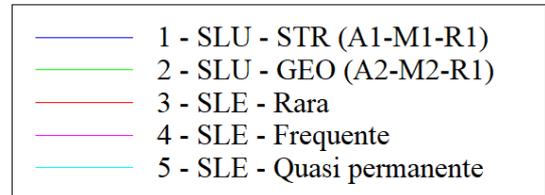
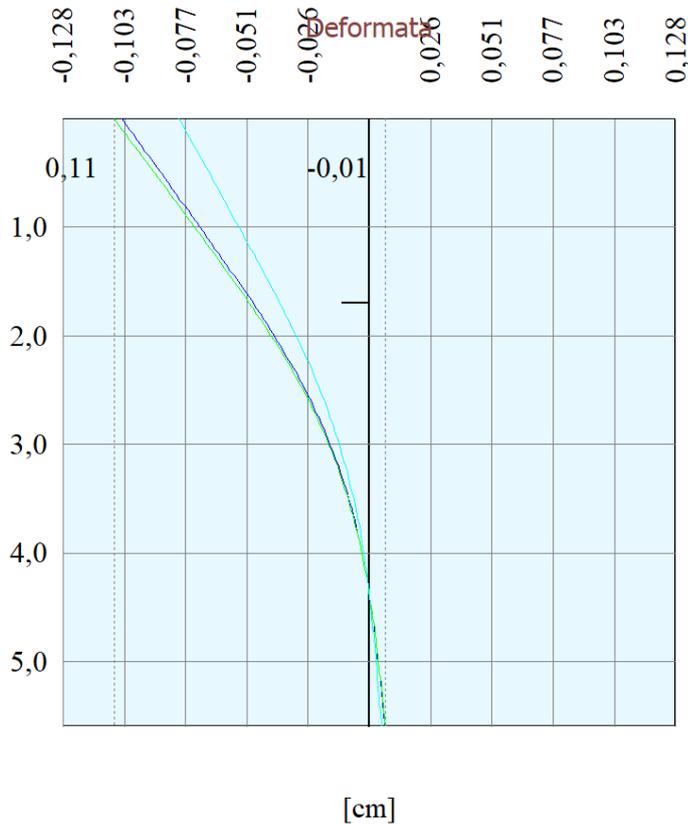
- 1 - SLU - STR (A1-M1-R1)
- 2 - SLU - GEO (A2-M2-R1)
- 3 - SLE - Rara
- 4 - SLE - Frequente
- 5 - SLE - Quasi permanente

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

- n° Indice della combinazione/fase
- Tipo Tipo della combinazione/fase
- Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
- U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
- V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Y _U [m]	V [cm]	Y _V [m]	
1	SLU - STR	0,1037	0,00	0,0011	0,00	MAX
		-0,0066	5,60	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	0,1070	0,00	0,0011	0,00	MAX
		-0,0068	5,60	0,0000	0,00	MIN
3	SLE - Rara	0,0798	0,00	0,0011	0,00	MAX
		-0,0051	5,60	0,0000	0,00	MIN
4	SLE - Frequente	0,0798	0,00	0,0011	0,00	MAX
		-0,0051	5,60	0,0000	0,00	MIN
5	SLE - Quasi permanente	0,0798	0,00	0,0011	0,00	MAX
		-0,0051	5,60	0,0000	0,00	MIN



Stabilità globale

Simbologia adottata

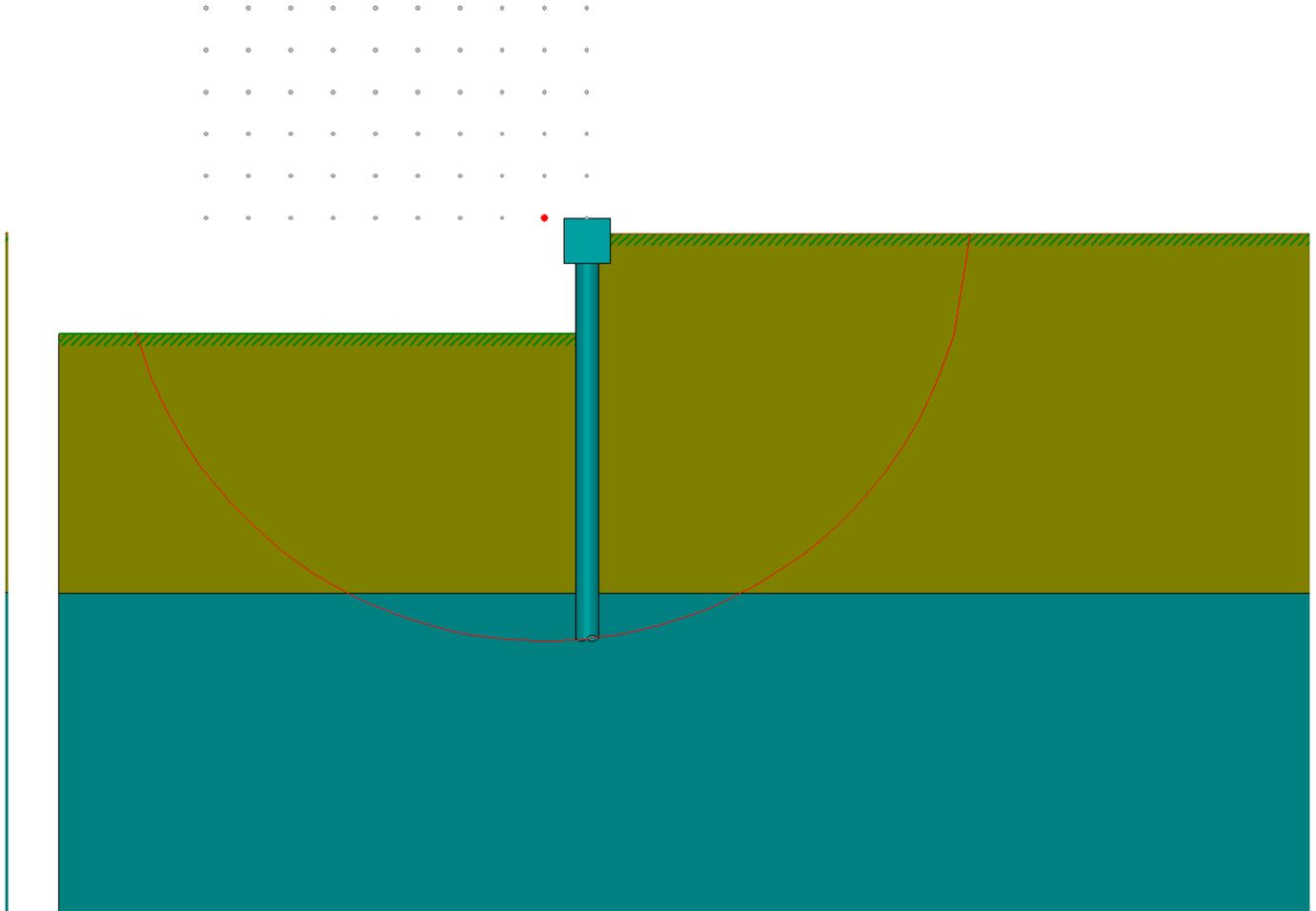
n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X _c ; Y _c)	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X _v ; Y _v)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X _m ; Y _m)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza
R	Coefficiente di sicurezza richiesto

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	X _c , Y _c [m]	R [m]	X _v , Y _v [m]	X _m , Y _m [m]	FS	R
2	SLU - GEO	-0,56; 0,00	5,63	-5,98; -1,51	5,07; -0,20	6.820	1.100

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	51 di 54



Verifica a flessione

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
M	momento flettente espresso in [kNm]
N	sforzo normale espresso in [kN] (positivo di compressione)
M _u	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
N _u	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

Area della sezione del tubolare 57,71 [cmq]

n° - Tipo	Y [m]	M [kNm]	N [kN]	M _u [kNm]	N _u [kN]	FS
2 - SLU - GEO	2,70	2,78	4,68	149,44	251,77	53.807

Verifica a taglio

Simbologia adottata

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	52 di 54

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
V _{Ed}	taglio agente sul palo, espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente, espresso in [kN]
FS	coefficiente di sicurezza a taglio (V _{Rd} /V _{Ed})

La verifica a taglio del micropalo è stata eseguita considerando una sezione anulare di area A = 57,71 cmq

n° - Tipo	Y [m]	V _{Ed} [kN]	V _{Rd} [kN]	FS
2 - SLU - GEO	1,70	2,94	909,08	308.800

Verifica tensioni

Simbologia adottata

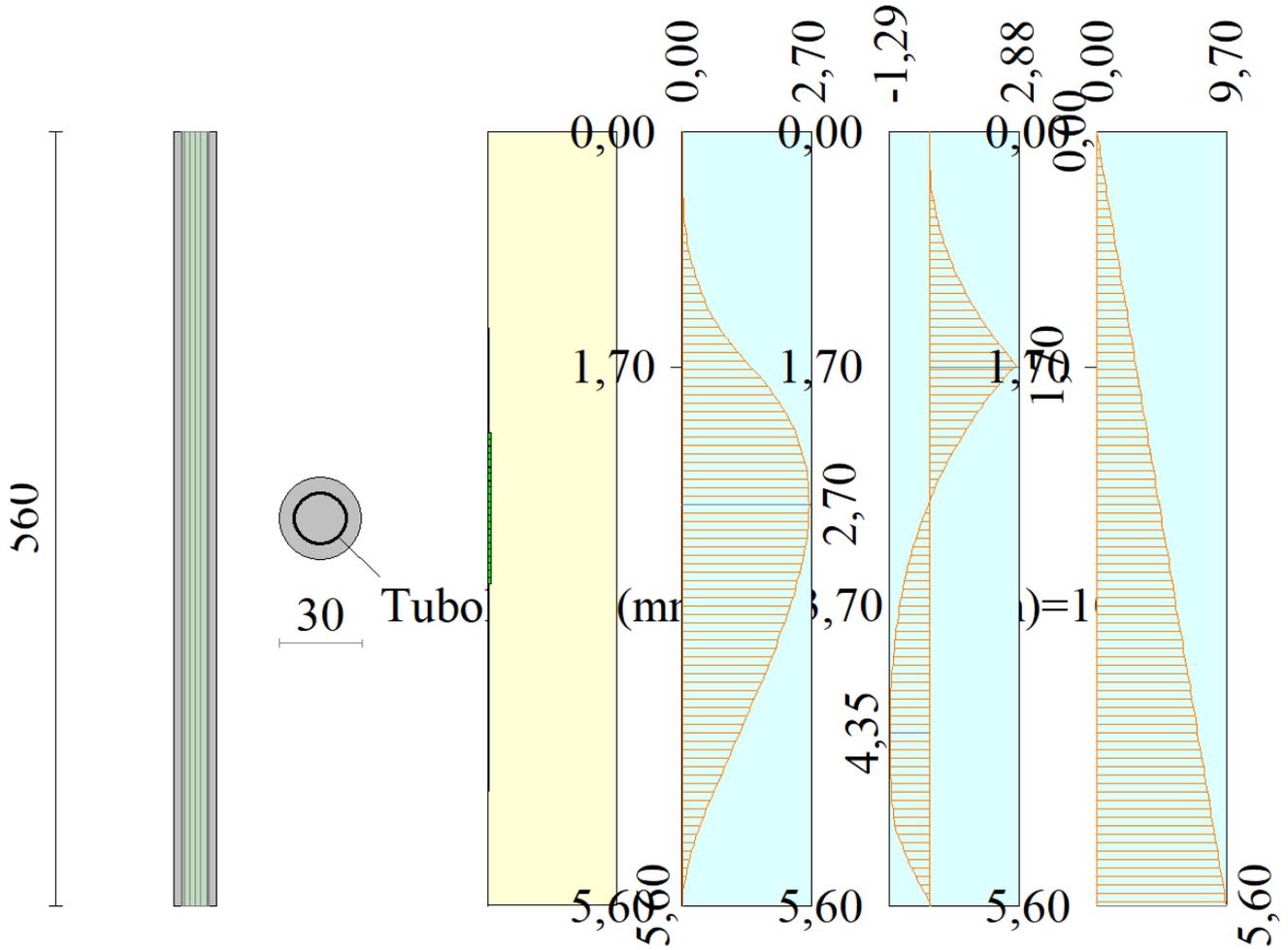
n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ _f	tensione nell'acciaio espressa in [kg/cm ²]
τ _f	tensione tangenziale in [kg/cm ²]
σ _{id}	tensione ideale espressa in [kg/cm ²]

Area della sezione del tubolare 57,71 [cmq]

σ _f [kg/cm ²]	τ _f [kg/cm ²]	σ _{id} [kg/cm ²]	cmb
92,22	0,40	92,23	3

Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	53 di 54



Relazione di calcolo opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN1A	20	D26CL	SL 06 00 003	A	54 di 54

12 INCIDENZE

12.1 PARATIA 1 E 2, PALO F 500 A DOPPIO PALO H = 11.11 M – PRIMO TRATTO

Cordolo 90 kg/mc

Palo 300 kg/mc

12.2 PARATIA 1 E 2, PALO F 600 A SINGOLO PALO H = 6.11 M SECONDO TRATTO

Cordolo 105 kg/mc

Palo 100 kg/mc

12.3 PARATIA 3 E 4, MICROPALO PERFORAZINE F 300 A SINGOLO PALO H = 1.70 M

Cordolo 100 kg/mc