



Committente:

Comune di Fosdinovo

Livello di Progetto:

Esecutivo

Titolo:

LAVORI DI CONSOLIDAMENTO DEL VERSANTE
IN FRANA DELLA SP N°10 DI TENERANO, NEI
PRESSI DELL'ABITATO DI MARCIASO
- LOTTO 1° -

Oggetto:

RELAZIONE TECNICA STRUTTURALE
Intervento 1

Codice Progetto:

P082-16

Firme:

Nome File:

P082-16-E-RE-STR-001-A

Rev.	Modifiche/Revisioni	Redatto	Data	Contr./Appr.	Data
A	PRIMA EMISSIONE	DB	14/09/17	RV/DG	14/09/17

ITEC engineering S.r.l.

19038 SARZANA (SP)

Via Variante Aurelia, 98

TEL. +39 0187 610532 FAX +39 0187 610775

info@itec-engineering.it

16129 GENOVA

Via Antonio Cecchi 7/9-10

TEL. +39 010 5959690 FAX +39 010 5848355

www.itec-engineering.it



Sistema Certificato
UNI EN ISO 9001
SC 10-2588/EA 34

INDICE

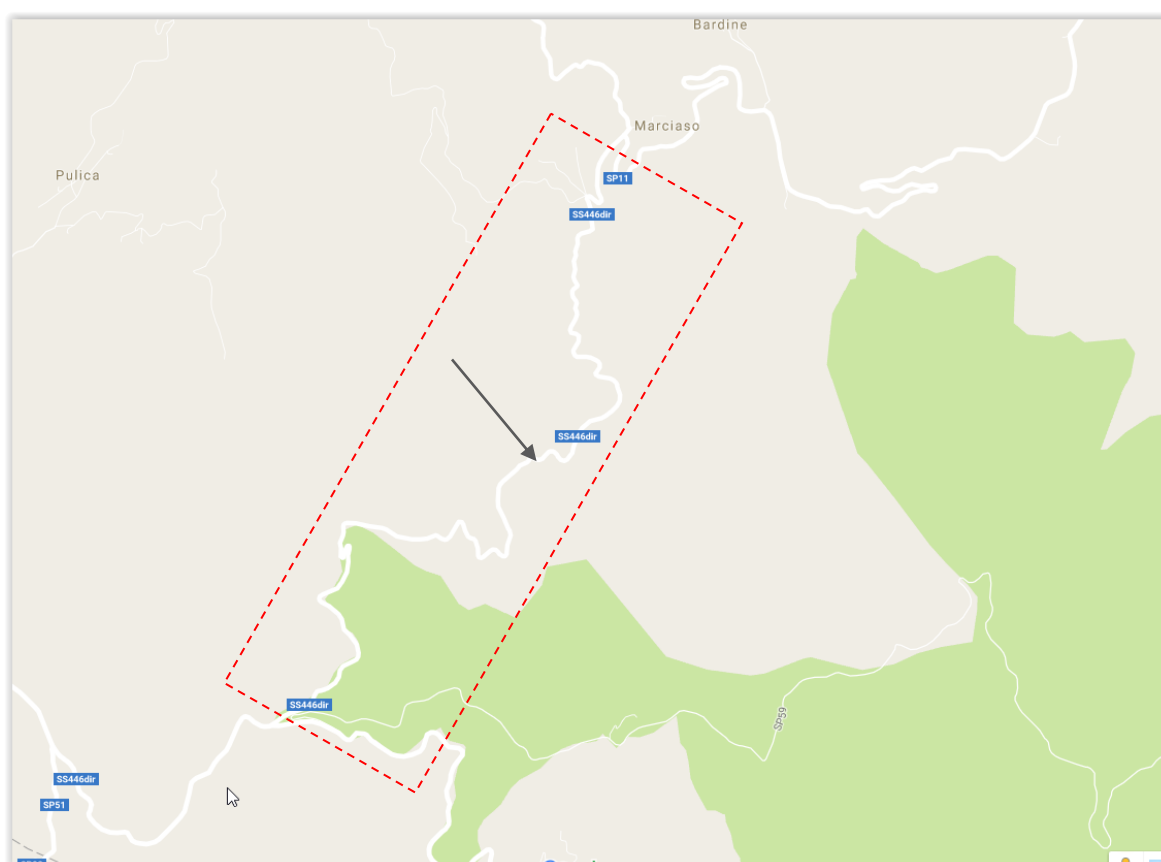
1	PREMESSA.....	3
2	INTERVENTO 1.....	6
2.1	STATO ATTUALE.....	6
2.1.1	Sezione 1	7
2.1.2	Sezione 3	9
2.1.3	Inquadramento generale	11
3	RELAZIONE SUI MATERIALI	13
3.1	OPERE IN C.A.	13
3.1.1	Acciaio d'armatura	13
3.1.2	Conglomerato cementizio.....	13
3.2	MICROPALI I.G.U.	13
3.2.1	Malta per micropali	13
3.2.2	Acciaio micropali	14
4	VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA.....	15
4.1	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	15
4.1.1	Azioni statiche	15
4.1.2	Azione sismica.....	16
4.2	SCELTE PROGETTUALI.....	17
4.2.1	Classi di esposizione – copriferro.....	17
5	RELAZIONE STRUTTURALE	18
5.1	MODELLI DI CALCOLO E RELATIVE ANALISI DEI CARICHI.....	18
5.1.1	Caratteristiche del modello	18
5.1.1.1	<i>Analisi dei carichi</i>	20
5.2	COMBINAZIONI DI CARICO	21
5.2.1	Combinazioni allo Stato Limite Ultimo (SLU)	21
5.2.2	Combinazioni sismiche	22
5.2.3	Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio (SLE).....	22
5.3	VERIFICHE SVOLTE	23
5.3.1	Descrizione delle verifiche	23
5.3.2	Sintesi dei risultati ottenuti	24
5.3.2.1	<i>Paratia con cordolo – paratia iniziale dal lato di Fosdinovo</i>	24
5.3.2.2	<i>Paratia con soletta a sbalzo – paratia successiva in direzione di Marciasso</i> 26	
5.4	VERIFICA DELLA SOLETTA A SBALZO AGLI STATI LIMITE ULTIMI	28
5.5	VERIFICA DELLA SOLETTA A SBALZO AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO	33
5.5.1	Verifica allo stato limite di fessurazione	33
5.5.2	Verifica allo stato limite di tensioni di esercizio	35
6	RELAZIONE GEOTECNICA	37
6.1	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEI SITI	37

6.1.1	Caratteristiche fisico – meccaniche dei terreni	37
6.1.2	Stratigrafia	41
6.2	MODELLI GEOTECNICI	41
6.2.1	Metodi di calcolo utilizzati	41
6.3	VERIFICHE SVOLTE IN AMBITO GEOTECNICO	41
6.4	APPROCCIO DI VERIFICA ADOTTATO IN AMBITO GEOTECNICO	42
6.5	SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI IN AMBITO GEOTECNICO	43
6.5.1	Paratia con cordolo – paratia iniziale dal lato di Fosdinovo.....	43
6.5.2	Paratia con soletta a sbalzo – paratia successiva in direzione di Marciaso	44
6.6	VERIFICA DEI MICROPALI	45
6.7	STATO DI PROGETTO	47
7	RELAZIONE SULL'ATTENDIBILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI CON CODICE DI CALCOLO AUTOMATICO	50
7.1	TIPO DI ANALISI SVOLTE	50
	Paratia	50
7.2	VERIFICHE SVOLTE	50
7.4	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	51
7.4.1	Paratia	51
7.4.2	Paratia + soletta	52
7.4.3	Stabilità del versante.....	52
7.4.4	Analisi stabilità massi.....	52
7.4.4.1	<i>Problema bidimensionale (analisi piana).....</i>	<i>53</i>
7.4.4.2	<i>Problema tridimensionale (analisi spaziale).....</i>	<i>53</i>

1 PREMESSA

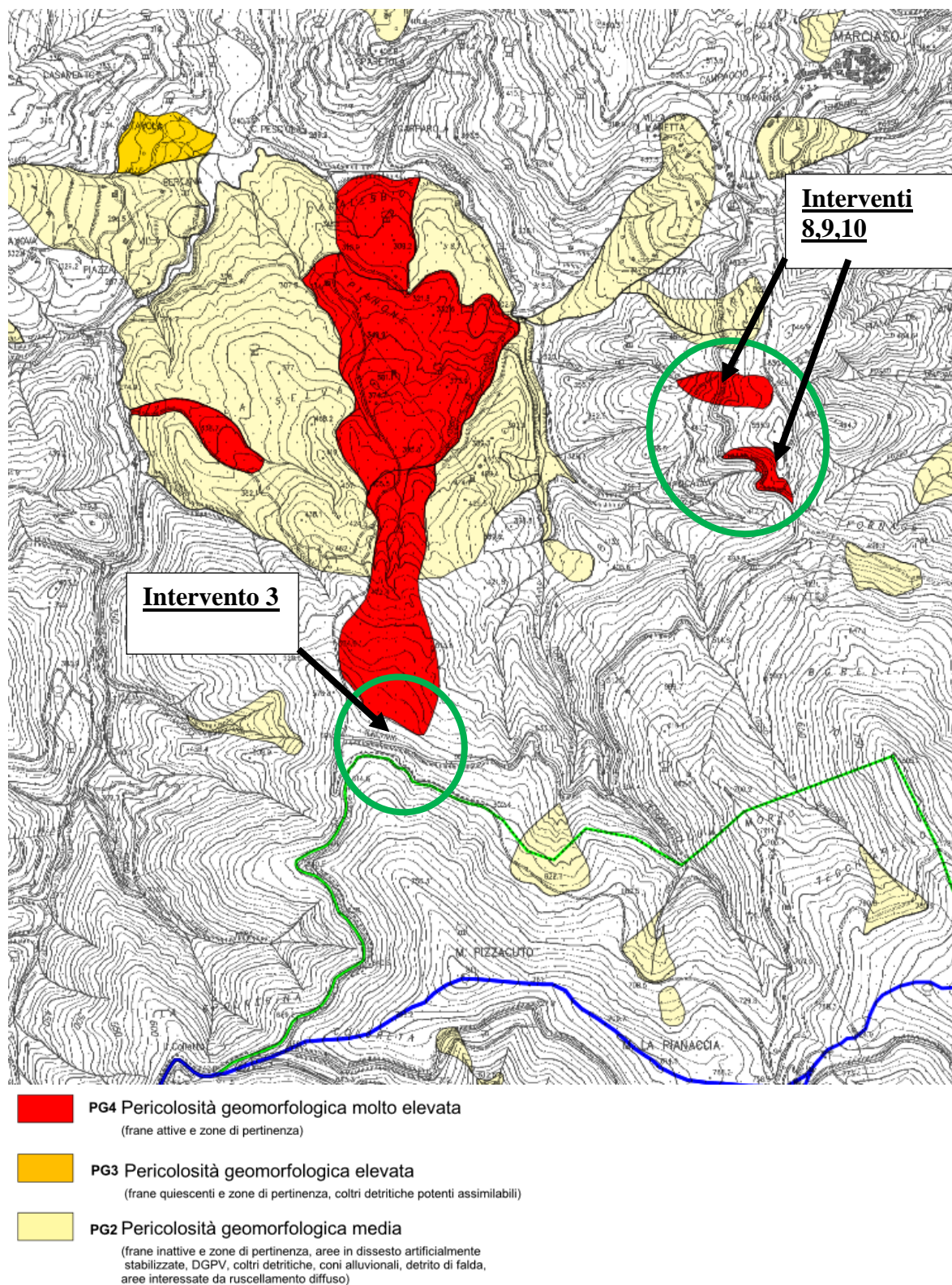
Le opere che vengono descritte nella presente relazione sono rivolte a consolidare varie parti di versante interferenti con la viabilità Provinciale SP n°10 di Tenerano che nel corso degli anni sono state oggetto di vari eventi alluvionali i quali hanno attivato differenti fenomeni franosi di varia tipologia (dalle frane di crollo a quelle rototraslazionali).

La conseguenza diretta sulla viabilità si è manifestata con il distacco di alcune porzioni della carreggiata e con il deposito di materiale sui bordi di monte; tutte evenienze che hanno portato la Provincia di Massa Carrara, ente gestore della suddetta arteria, alla chiusura totale della medesima.

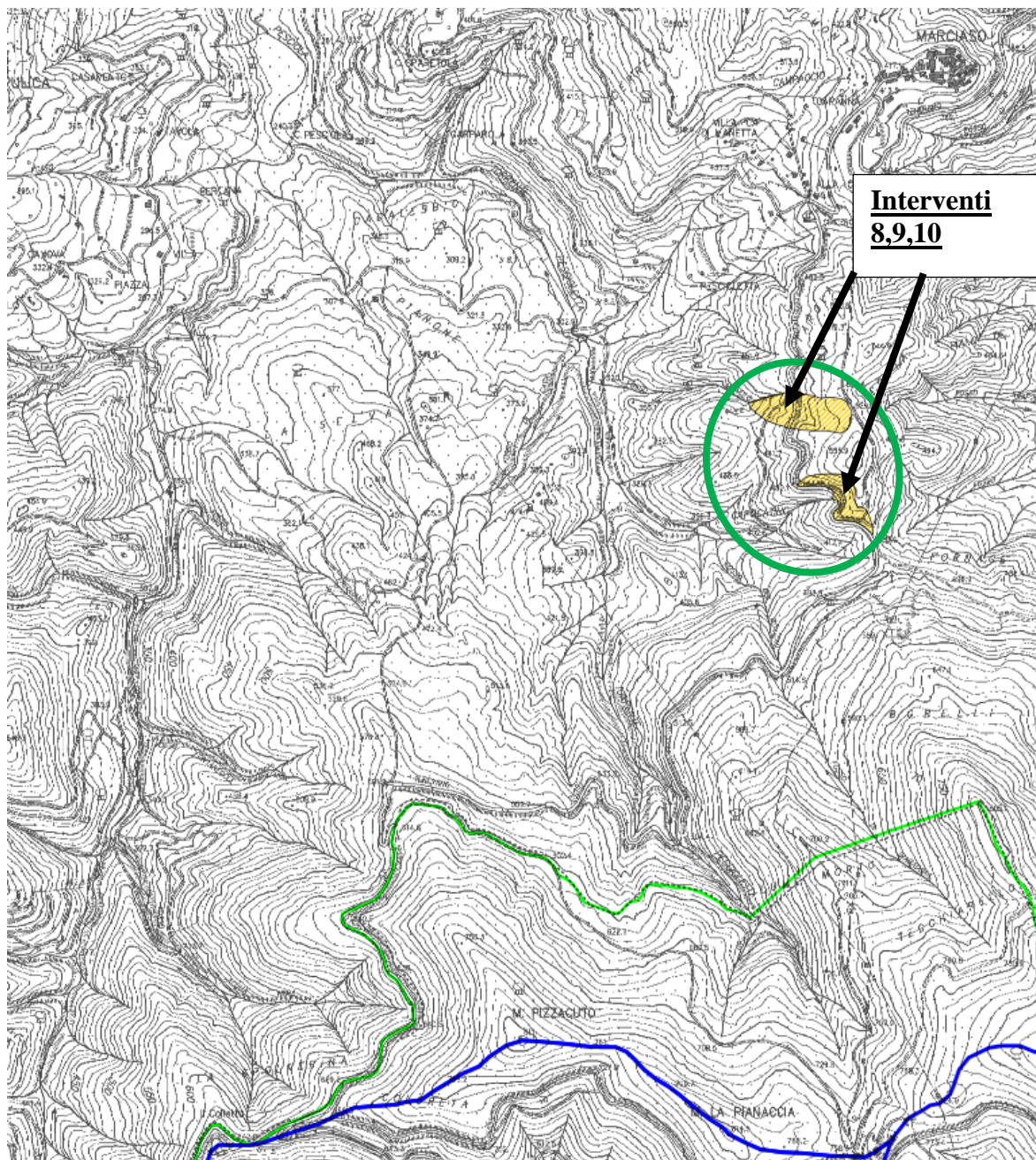


A seguito di tale chiusura è stato commissionato (febbraio 2014) uno studio puntuale, per le varie frane, all'ATP costituita da Ricciardi s.r.l. e da Eptaconsult S.c.a.r.l.. Nel Febbraio del 2017 è stato redatto il progetto preliminare dalle RTP costituita da ITEC engineering S.r.l. e il Dott. Geol. Matteo Angiolini. Da quest'ultima si è partiti per redigere il progetto definitivo qui presentato. Sono stati evidenziati 12 interventi all'interno dei quali sono state previste opere sia sul lato di monte sia sul lato di valle della carreggiata stradale. Nelle immagini che seguono vengono riportati estratti cartografici dell'Autorità di bacino del Magra.

La carta della pericolosità geomorfologica del PAI dell'Autorità di bacino del fiume Magra e del Torrente Parmignola classifica alcune aree della strada in PG2 e altre in PG4. In particolare la PG4 è evidenziata per gli interventi 8, 9 e 10 e a valle dell'intervento 3.



La carta del rischio geomorfologico del PAI dell'Autorità di bacino del fiume Magra e del Torrente Parmignola classifica alcune aree della strada in RG3. In particolare è evidenziato un rischio elevato per gli interventi 8, 9 e 10.



— Limite di bacino

— Limiti comunali

■ Aree a rischio geomorfologico molto elevato (RG4)

■ Aree a rischio geomorfologico elevato (RG3)

09045017_S1 Codice identificativo delle aree
oggetto di intervento prioritario
di mitigazione del rischio

2 INTERVENTO 1

2.1 STATO ATTUALE

L'intervento numero 1 interessa sia la parte di valle sia la parte di monte della careggiata. Allo stato attuale nella parte di valle della careggiata è presente un movimento franoso che ha interessato la medesima arteria la quale è risultata, in parte, collassata. Procedendo da Fosdinovo verso l'abitato di Marciaso, il dissesto si è manifestato nel tratto immediatamente precedente un intervento di apparente recente realizzazione e realizzato, molto probabilmente, mediante una paratia e soprastante soletta in calcestruzzo armato.



Figura 2.1 – Collasso lato valle

Nella parte di monte il dissesto si manifesta mediante frana di materiale di varia pezzatura distaccatosi dal versante. In particolare si ha il distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole collegato a erosione dovuta a scarsa vegetazione e ad alcuni scriteriati interventi di riprofilatura.

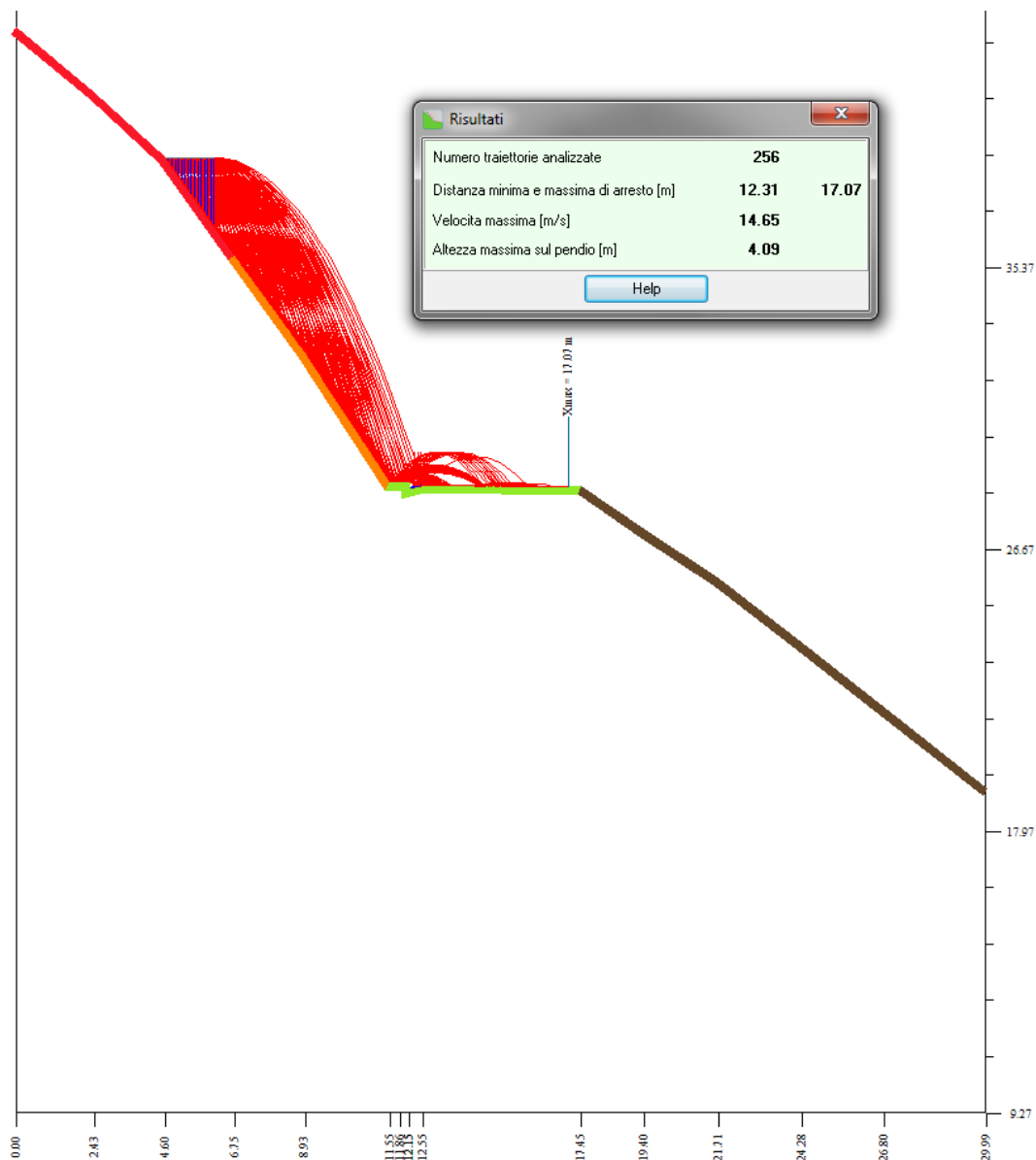


Figura 2.2 – Dissesto lato monte

2.1.1 Sezione 1

Allo stato attuale si può valutare come le possibili traiettorie di massi in distacco dal versante possano interessare la carreggiata stradale, analogamente a quanto effettivamente rilevato.

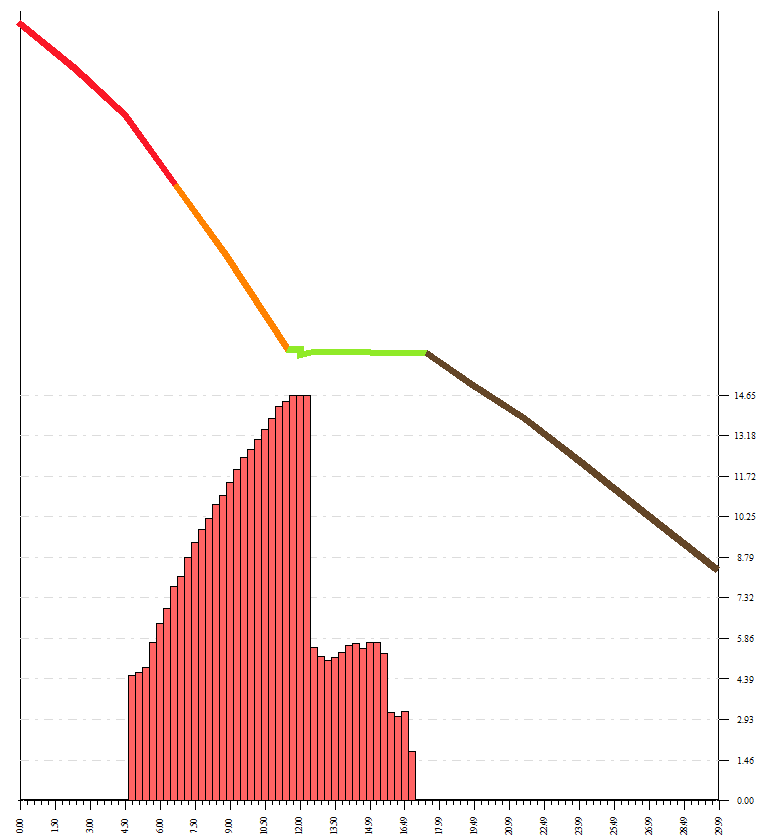
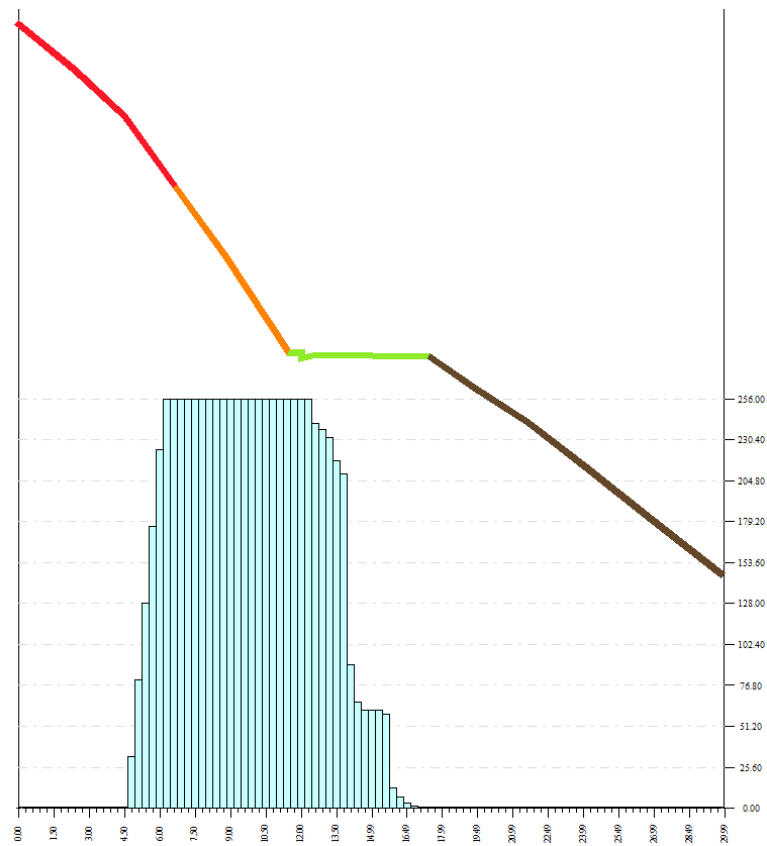
Per valutare la problematica in oggetto sono stati considerati vari casi di crollo; in particolare è stata variata la velocità iniziale del masso, da 0 m/s a 4.5 m/s.



Nell'immagine che segue è riportato (in colore azzurro) la posizione di arrivo dei massi con la quantità di pietre che raggiungono quella determinata posizione.

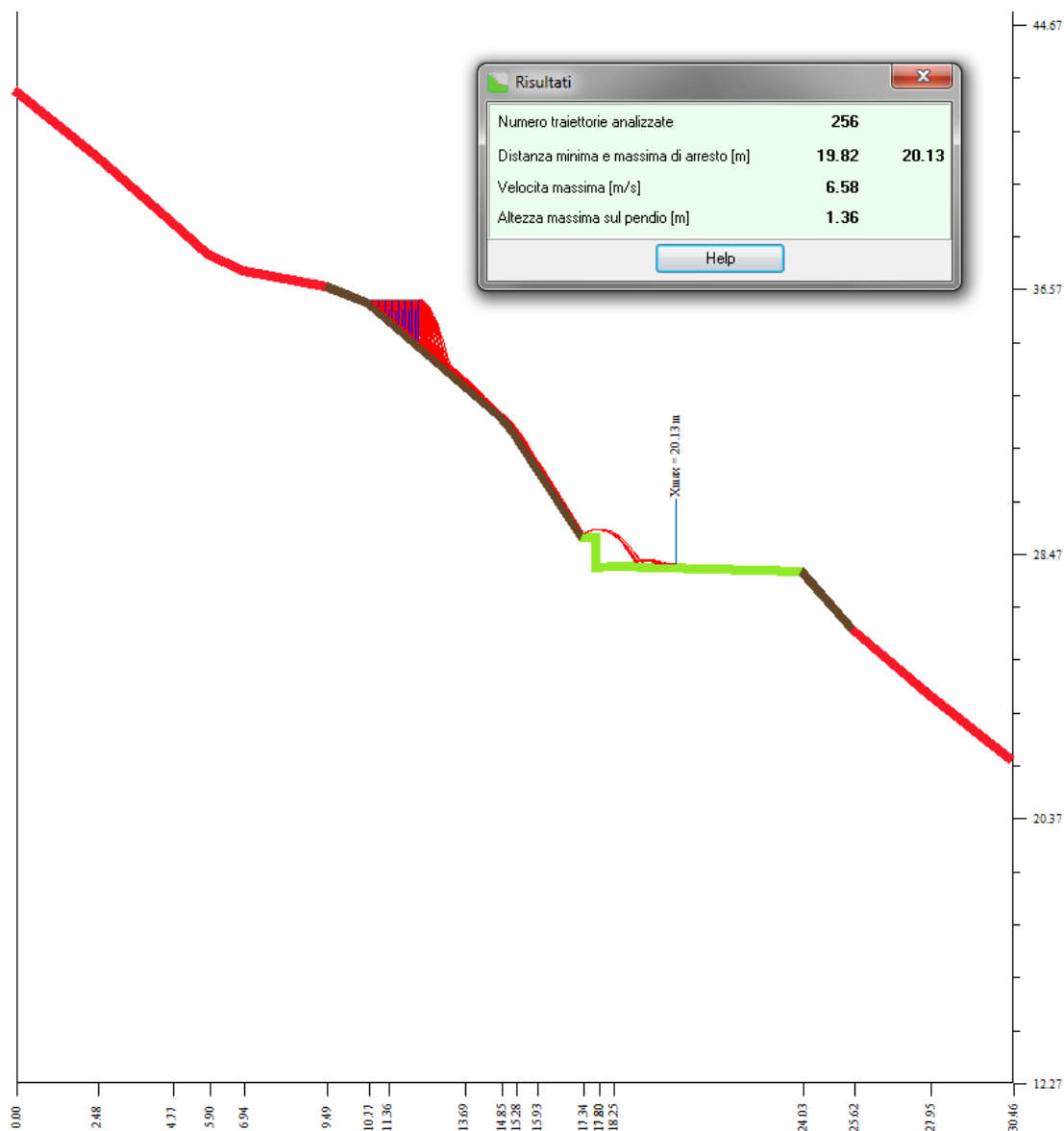
Si nota che buona parte delle pietre invade la carreggiata.

Le velocità di arrivo sulla carreggiata (in rosso nell'immagine ancora seguente) possono raggiungere valori di circa **7.00 m/s**. Velocità ritenuta pericolosa per i fruitori la strada medesima.



2.1.2 Sezione 3

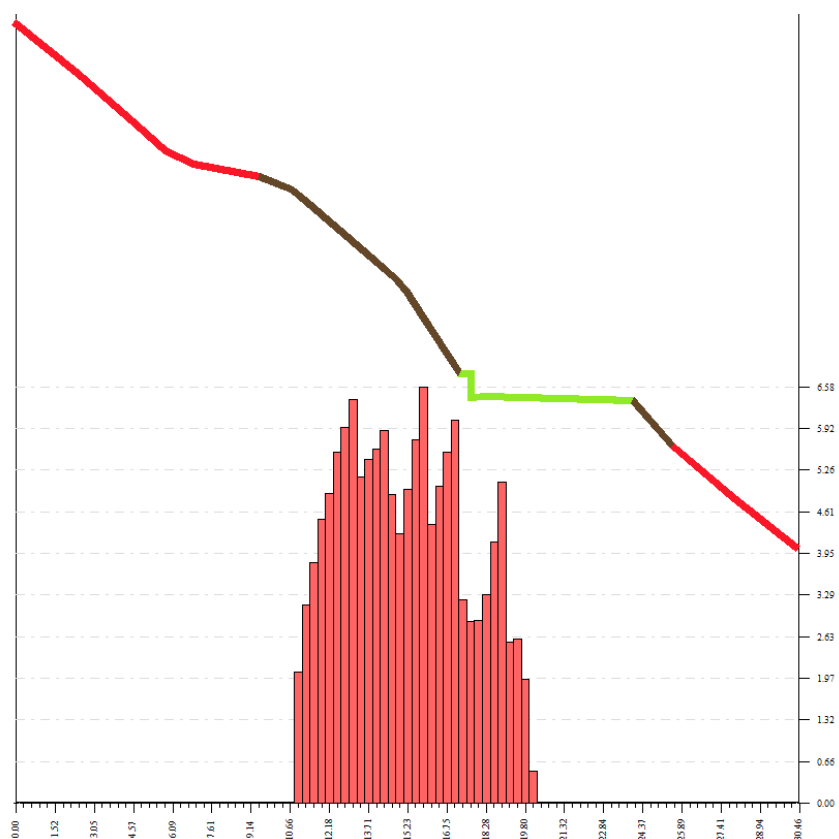
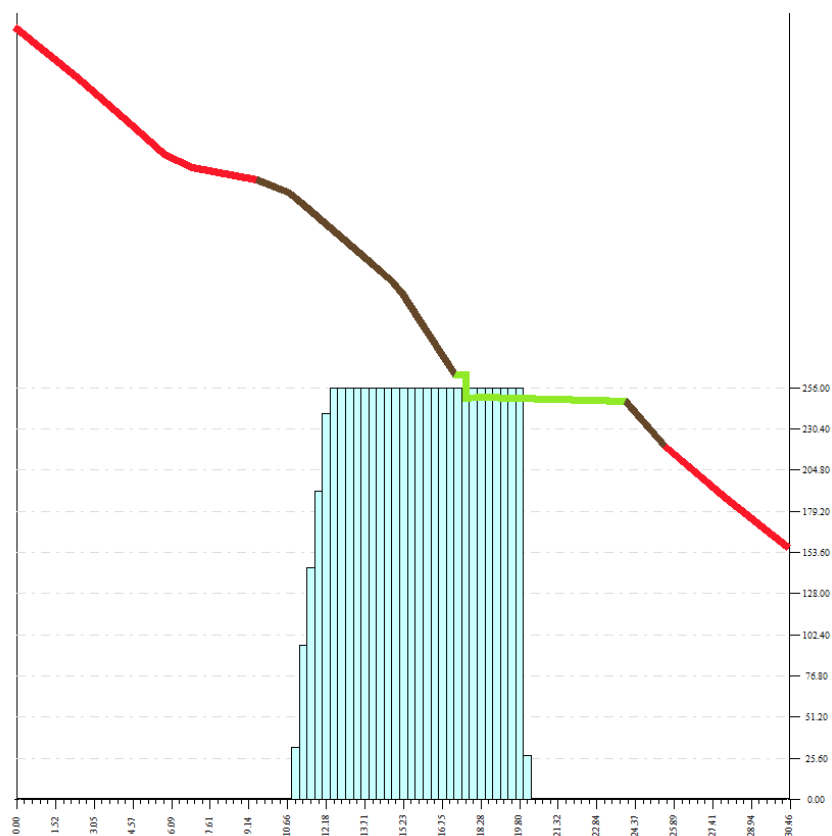
Allo stato attuale si può valutare come le traiettorie dei massi interessino la carreggiata stradale, analogamente a quanto rilevato. Sono stati considerati vari casi crollo; in particolare è stata variata la velocità iniziale del masso, da 0 m/s a 1.5 m/s.



Nell'immagine che segue è riportato (in colore azzurro) la posizione di arrivo dei massi con la quantità di pietre che raggiungono quella determinata posizione.

Si nota che buona parte delle pietre arriva alla carreggiata.

Le velocità di arrivo sulla carreggiata (in rosso nell'immagine ancora seguente) possono raggiungere valori di circa **6.00 m/s**.



2.1.3 Inquadramento generale

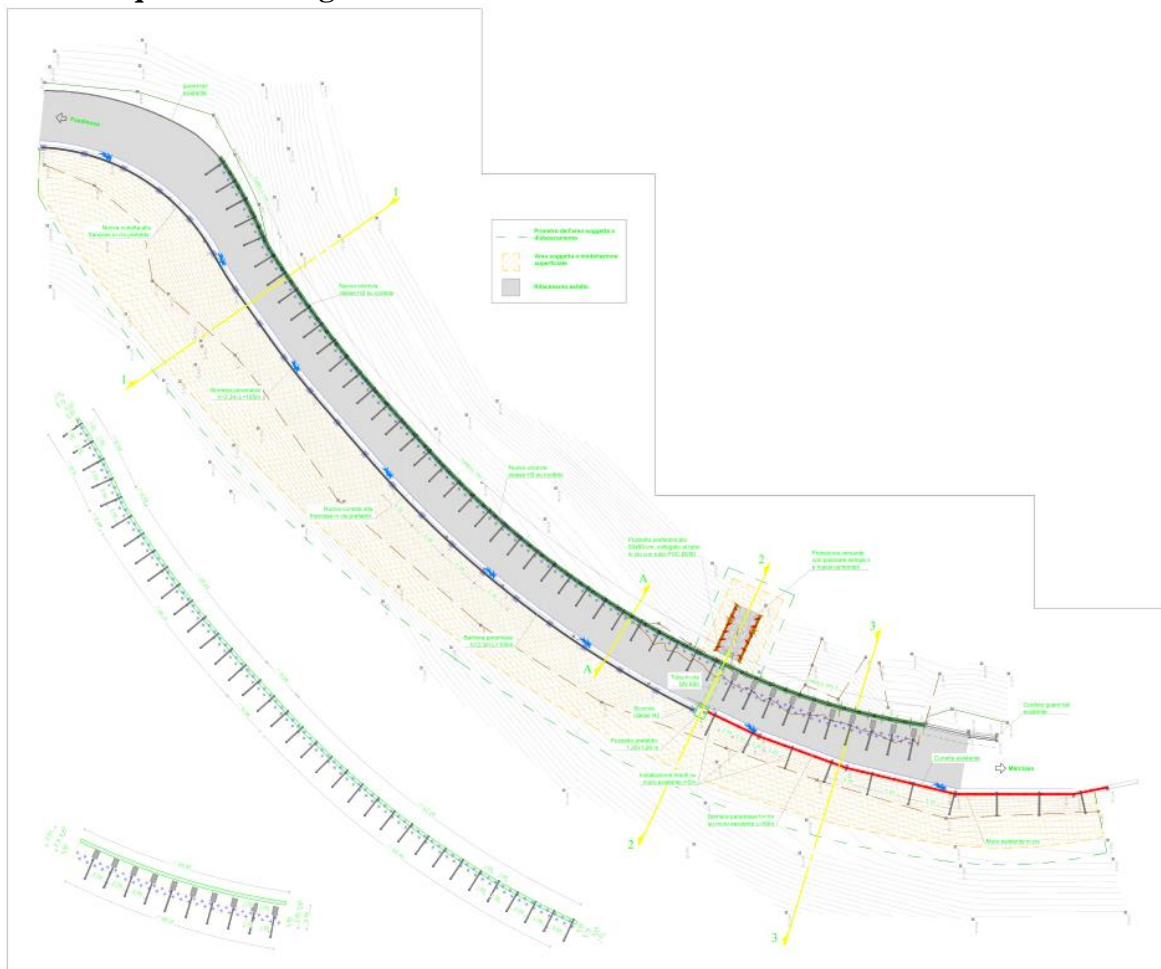


Figura 2.3 – Indicazione planimetrica interventi – configurazione finale

Figura 2.4 – Indicazione planimetrica interventi – Lotto 1° -

Come rappresentato nell'immagine sopra l'intervento in oggetto prevede una paratia sormontata da un cordolo "classico" in c.a. nella parte iniziale dell'intervento, ovvero il tratto posto più a monte (direzione Fosdinovo). Nella successiva parte dell'intervento (direzione Marciasio) si prevede di realizzare una paratia con un cordolo che prosegue a sbalzo fino ad un massimo di circa 2.00 m.

La paratia è costituita da micropali disposti su due file con pali verticali eseguiti ad interasse di 0.50 m e lunghezza 10.00 metri. Sul cordolo di sommità sono poi realizzati tiranti attivi a 3 trefoli posti ad interasse di 2.50 m, lunghezza $L=15,00$ metri ed inclinazione, rispetto all'orizzontale, pari a 20° . I micropali saranno realizzati con perforazione da $\phi=220$ mm ed armatura costituita da tubolari in acciaio S355 con diametro esterno 139.7 mm e spessore $s=12.5$ mm nella parte che presenta la soletta a sbalzo mentre saranno tubolari in acciaio S355 con diametro esterno 139.7 mm e spessore $s=8$ mm nella parte iniziale di paratia in direzione Fosdinovo.

Come detto in precedenza, al di sopra della paratia verrà realizzato un cordolo avente spessore $s=60$ cm e larghezza pari a 80 cm nella parte a monte. Nella parte di paratia posta

in direzione Marciaso il cordolo avrà un'altezza pari a 60 cm e una larghezza variabile da 1.40 m a 2.00 m.

Una volta realizzati i micropali e ultimate le opere in cemento armato, le opere di sostegno verranno completate con l'installazione di opportuni dispositivi di ritenuta stradale aventi una classe adeguata alla tipologia della carreggiata.

La lunghezza d'intervento nel lotto 1° oggetto della presente relazione è pari a circa 50 mt (~48mt).

3 RELAZIONE SUI MATERIALI

3.1 OPERE IN C.A.

Per la costruzione della opere strutturali in C.A. è previsto l'impiego dei seguenti materiali strutturali:

3.1.1 Acciaio d'armatura

• Qualità:	B450C
• $f_{tk}/f_{yk} \geq$	1.15
• $f_{tk}/f_{yk} <$	1.35
• (f_y) nominale:	450 N/mm ²
• (f_t) nominale:	540 N/mm ²
• $f_{yk} \geq$	(f_y) nominale
• $f_{tk} \geq$	(f_t) nominale
• $E =$	210000 N/mm ²

3.1.2 Conglomerato cementizio

Il conglomerato cementizio da impiegarsi deve avere le seguenti caratteristiche:

• Classe di resistenza:	
○ Cordolo:	C28/35 ($R_{ck} = 35$ N/mm²)
• Classe di cemento:	CEM II
• Aggregati:	
○ Interferro ≥ 35 mm	$D_{max} = 32$ mm
○ Interferro < 35 mm	$D_{max} = 20$ mm
• Classe di consistenza:	S4
• Classe di durabilità:	
○ Cordolo:	XF2
• Classe di contenuto ioni cloruro:	
○ Cordolo:	Cl. 0.4
• Rapporto A/C massimo:	
○ Cordolo:	0.45
• Dosaggio min. cemento:	
○ Cordolo:	360 kg/m³
• Aria intrappolata max:	
○ Cordolo:	2.5%
• Volume di acqua di bleeding:	<0.1%.

3.2 MICROPALI I.G.U.

3.2.1 Malta per micropali

La malta cementizia da impiegarsi per la realizzazione dei micropali deve avere le seguenti caratteristiche

• Malta per iniezioni	R425
-----------------------	-------------

3.2.2 Acciaio micropali

L'acciaio da utilizzarsi per la realizzazione dell'armatura dei micropali (profili tubolari) dovrà essere conforme a quanto segue:

- | | |
|--------------|--------------------------|
| • Qualità: | S355 JR |
| • $f_{yk} =$ | 355 N/mm ² |
| • $E =$ | 210000 N/mm ² |
| • $\nu =$ | 0.30 |
| • $\rho =$ | 7850 kg/m ³ |

4 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

4.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

La progettazione e verifica degli interventi inerenti alla realizzazione di tutte le altre opere, ed in particolare quelle di sostegno e dei cordoli, sono state condotte ai sensi del D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” e della relativa “Circolare Esplicativa 02 febbraio 2009 n° 617/C.S.LL.PP.”.

Per quanto non specificato nel D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 è stato fatto riferimento ad altre normative di comprovata affidabilità ed in particolare:

- UNI EN 1992-1-1:2005 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici”.

4.1.1 Azioni statiche

Nell’ottica della valutazione della sicurezza e delle prestazioni attese, le opere di sistemazione rientrano nella categoria delle opere ordinarie. E’ stata quindi assunta per esse una vita nominale $V_N = 50$ anni ed una classe d’uso III ($c_u = 1.5$), da cui in definitiva un periodo di riferimento dell’opera $V_R = 75$ anni.

I pesi propri degli elementi strutturali e dei sovraccarichi permanenti sono stati stimati seguendo le indicazioni contenute nel DM al cap.3, in particolare:

- Pesi propri strutturali:
 - Acciaio: 78.50 kN/m³.
 - C.a.: 25.00 kN/m³.
- Pesi propri NON strutturali:
 - Peso pav. bituminosa 1.50 kN/m².

I parametri fisico – meccanici dei terreni assunti in sede di progetto saranno definiti al paragrafo inerente la relazione geotecnica.

Per quanto riguarda il sovraccarico di esercizio, alla luce dell’ubicazione dell’opera e delle condizioni di utilizzo delle zone limitrofe, sono stati considerate le seguenti tipologie di carico:

- Azioni verticali dovute al transito di mezzi:
 - Sovraccarico: 20.00 kN/m²
 - Azioni da traffico dovute allo schema 1:
 - Carico distribuito: 7.20 kN/m²
 - Carico tandem: 240 kN/asse
 - Azioni da traffico dovute allo schema 2:
 - Carico asse: 400 kN
 - Spinta del terreno
 - Spinta del sovraccarico
 - Sisma

4.1.2 Azione sismica

Da un punto di vista sismico l'area ricade in zona 2 avendo accelerazioni dell'ordine di 0.25g. Ogni intervento può essere inserito all'interno della categoria di sottosuolo E e alla categoria topografica T2.

La mappa di classificazione sismica della Regione Toscana inserisce infatti il comune di Fossdinovo all'interno della zona 2:



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.152 g
F_0	2.388
T_c^*	0.291 s
S_s	1.600
C_c	1.885
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.920
η	1.000
T_B	0.183 s
T_C	0.548 s
T_D	2.209 s

Ai fini della caratterizzazione dell'azione sismica di progetto, risultano i seguenti tempi di ritorno T_R :

- 712 anni con riferimento allo SLV (pari ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni).

- 75 anni con riferimento allo SLD (pari ad una probabilità di superamento del 63% in 50 anni).

PARAMETRO	SLV	SLD
a_g/g [-]	0.172	0.072
F_0 [-]	2.384	2.471
T_C^* [sec]	0.295	0.263

Con riferimento alle caratteristiche del sottosuolo, in virtù della natura dei terreni in oggetto, sono state assunte una **Categoria del sottosuolo E** “Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m” (da cui un coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s = 1.545$) ed una **Categoria topografica T2** “Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ” (da cui un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.200$).

4.2 SCELTE PROGETTUALI

4.2.1 Classi di esposizione – copriferro

Per la realizzazione delle opere in C.A. in oggetto sono state ipotizzate le seguenti Classi di durabilità:

- Soletta e cordolo:
Classi di durabilità XF2 (“Moderata saturazione di acqua, con presenza di agente disgelante”), in virtù della quale si è proceduto:
 - a classificare l’ambiente circostante come “Aggressivo” secondo il prospetto di Tab. 4.1.III del DM;
 - ad adottare
 - una Classe di resistenza del calcestruzzo C28/35 conforme a $C_{min} = C28/35$;
 - un copriferro netto di 50 mm, conforme al minimo prescritto di 45 mm (Tab. C4.1.IV – Barre da C.A., elementi a piastra).

5 RELAZIONE STRUTTURALE

5.1 MODELLI DI CALCOLO E RELATIVE ANALISI DEI CARICHI

5.1.1 Caratteristiche del modello

Per l'analisi della struttura in oggetto sono stati realizzati 3 modelli. Due di essi sono stati realizzati mediante il software PAC12 e sono stati utilizzati per verificare le paratie da un punto di vista geotecnico e strutturale.

I modelli delle due paratie sono i seguenti:

- Uno che rappresenta la paratia nel tratto iniziale (procedendo da Fosdinovo verso Marciasso) con il cordolo di sezione 60x80 cm. Questo modello è stato utilizzato per le verifiche strutturali e geotecniche.
- Un altro rappresenta la paratia nel tratto a sbalzo. Questo secondo modello è stato utilizzato principalmente per le verifiche geotecniche.

Un'altra modellazione è stata condotta con il software agli elementi finiti Straus7. Mediante questa analisi si è verificata la paratia a sbalzo dal punto di vista strutturale.

Schematizzazione della paratia

Per la verifica della sicurezza strutturale e geotecnica dell'opera in oggetto è stato messo a punto un modello di calcolo monodimensionale pseudo-statico in cui la paratia viene schematizzata come corpo rigido. La paratia viene 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 paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia. Sia il tratto fuori terra che il tratto interrato vengono suddivisi in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri. Il cordolo di sommità della paratia è stato schematizzato con sezione 60x80 cm.

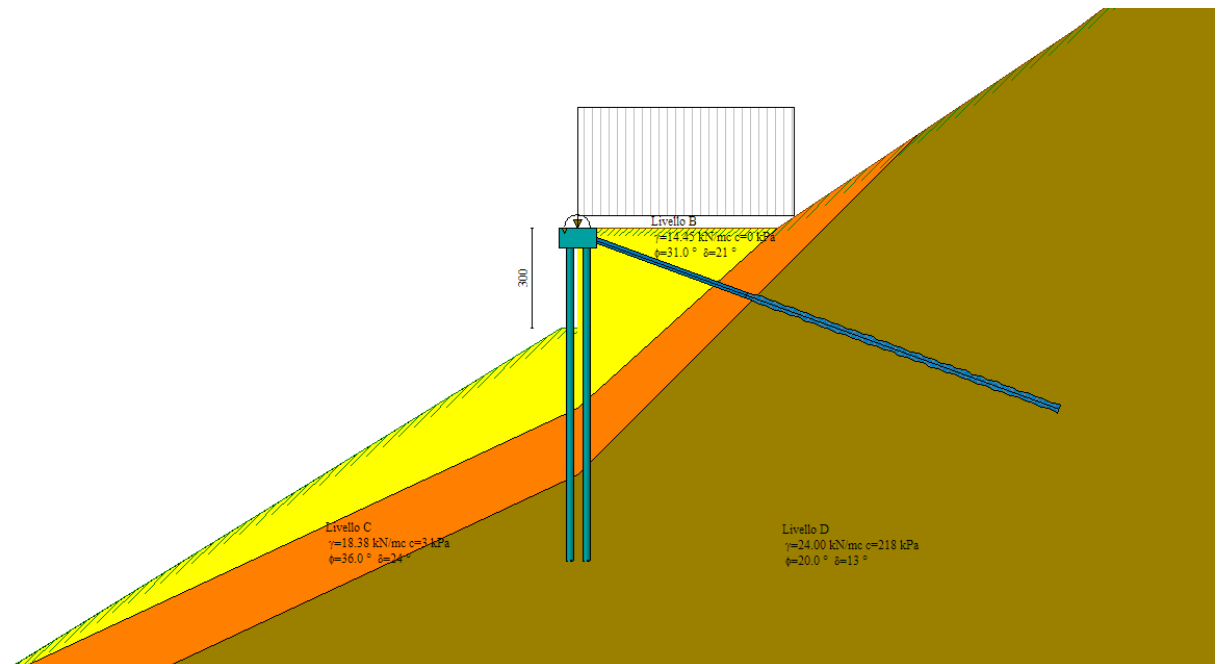
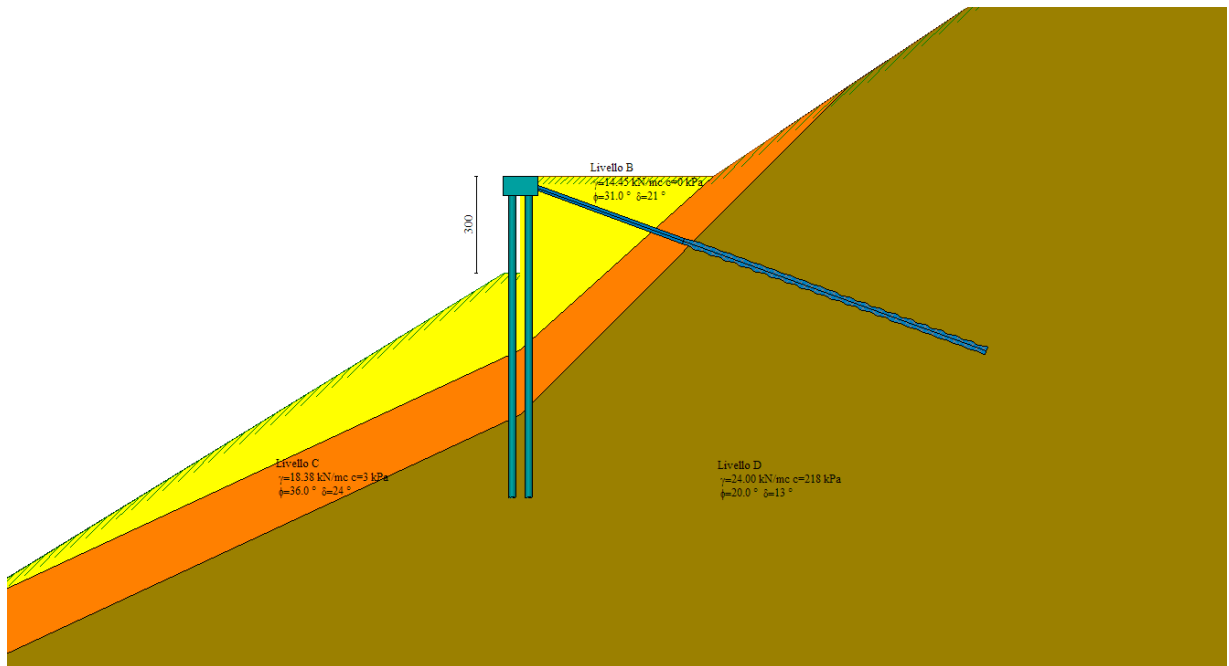
Schematizzazione del terreno

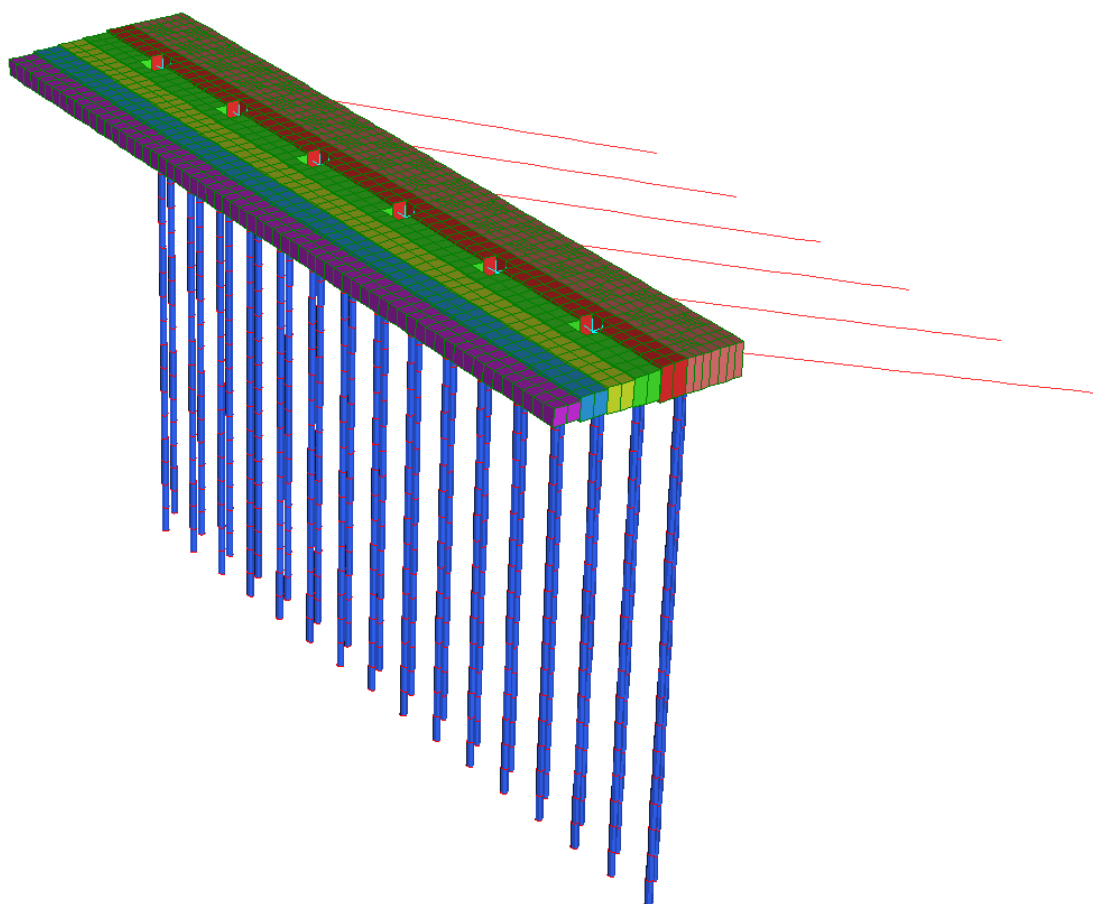
La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso viene visto come un letto di "molle indipendenti fra di loro" reagenti a solo sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (costante di Winkler). La matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

La paratia sarà interamente interrata tuttavia, si è considerato al fine del calcolo strutturale che la paratia fuoriesca di un tratto ipotetico franato (300 cm) ciò anche in virtù delle scadenti caratteristiche dei primi metri di terreno.

Nel calcolo la paratia viene considerata caricata dal diagramma delle pressioni dovuto alla spinta del terreno (in condizioni statiche ed in condizioni sismiche) dalla forza d'inerzia del paramento stesso e dalla componente tangenziale della spinta (se l'angolo d'attrito terra-paratia è diverso da zero).

Il calcolo delle armature viene eseguito considerando la sezione alla generica quota soggetta a pressoflessione.





5.1.1.1 *Analisi dei carichi*

In accordo con quanto imposto del DM Infrastrutture 14 gennaio 2008, sono state prese in considerazione le seguenti azioni elementari di calcolo:

- 1) G1 – Carichi permanenti strutturali
 - Acciaio $(\gamma_{fav}=1.00 - \gamma_{sfav}=1.3)$ 78.50 kN/m³.
 - Calcestruzzo 25.0 kN/m³
- 2) G2 – Carichi permanenti NON strutturali
 - Peso pav. bituminosa $(\gamma_{fav}=1.00 - \gamma_{sfav}=1.5)$ 1.50 kN/m²
- 3) Q – Sovraccarico veicoli modelli PAC
 - Carico distribuito: $(\gamma_{fav}=0.00 - \gamma_{sfav}=1.5)$ 20.00 kN/m²
- 4) Q – Sovraccarico veicoli modello Straus7
 - Carico distribuito schema 1: $(\gamma_{fav}=0.00 - \gamma_{sfav}=1.35)$ 7.20 kN/m²
- 5) Q – Sovraccarico veicoli modello Straus7
 - Carico tandem schema 1: $(\gamma_{fav}=0.00 - \gamma_{sfav}=1.35)$ 240 kN/asse
- 6) Q – Sovraccarico veicoli modello Straus7
 - Carico tandem schema 2: $(\gamma_{fav}=0.00 - \gamma_{sfav}=1.35)$ 400 kN/asse

- Spinte dei terreni in ambito statico e sismico (spinta attiva di monte e passiva di valle)
- Spinta del sovraccarico
- Azione sismica allo SLV e SLD valutata secondo le indicazioni riportate al par. 3.2 del DM Infrastrutture 14 gennaio 2008.

Con le sollecitazioni derivanti dai modelli di calcolo sopra descritti sono state effettuate tutte le verifiche previste dalla vigente Normativa.

5.2 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni allo Stato Limite Ultimo sono state valutate secondo quanto previsto al paragrafo 2.5.3 del DM Infrastrutture 14 gennaio 2008.

5.2.1 Combinazioni allo Stato Limite Ultimo (SLU)

La combinazione di carico allo SLU risulta definita dalla seguente espressione:

$$E = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_1 + \sum_i \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_i$$

dove :

- γ_{G1} è il coefficiente parziale di sicurezza dei carichi permanenti;
- γ_{G2} è il coefficiente parziale di sicurezza dei carichi permanenti non strutturali;
- γ_{Qi} è il coefficiente parziale di sicurezza delle azioni variabili di natura non antropica;
- G_1 rappresenta i carichi permanenti strutturali;
- G_2 rappresenta i carichi permanenti non strutturali;
- Q_i rappresenta i carichi variabili.

Nel definire le differenti combinazioni coerenti con la formulazione sopra riportata, la condizione di carico relativa al terreno è stata considerata con i coefficienti di sicurezza sia a favore che a sfavore di sicurezza.

i coefficienti parziali sono riportati in Tabella 2.6.I delle NTC 08:

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

i coefficienti ψ_{0i} sono riportati nella tabella 2.5.I delle NTC 08:

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

5.2.2 Combinazioni sismiche

La combinazione di carico in ambito sismico risulta definita dalla seguente espressione:

$$E = E_{sism} + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3}$$

dove l'azione sismica E_{sism} viene valutata con riferimento allo Stato Limite considerato (SLV).

5.2.3 Combinazioni allo Stato Limite di Esercizio (SLE)

Si definiscono i seguenti Stati Limite:

- SLE Raro (combinazione caratteristica)

$$E = G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3}$$

- SLE Frequente

$$E = G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3}$$

- SLE Quasi Permanente

$$E = G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3}$$

I valori dei coefficienti di combinazione sono riportati nella Tab. 2.5.I. del DM. Infrastrutture 14 gennaio 2008.

5.3 VERIFICHE SVOLTE

5.3.1 Descrizione delle verifiche

Con riferimento alla paratia di micropali sono state eseguite le verifiche previste dai parr. 4.1 – 4.2 del DM 14/01/2008.

Si elencano qui di seguito alcune delle verifiche eseguite:

- Opere in C.A.
 - Cordolo di sommità e soletta a sbalzo
 - Con riferimento agli Stati Limite Ultimi:
 - la resistenza a flessione e sforzo normale delle sezioni (par. 4.1.2.1.2);
 - la resistenza a taglio della sezione, per i cordoli sezione provvista di armature resistenti a taglio (par. 4.1.2.1.3.2),
 - la resistenza a taglio della sezione, per la soletta sezione sprovvista di armature resistenti a taglio (par. 4.1.2.1.3.1);
 - la resistenza di aderenza fra barre d'armatura e calcestruzzo secondo quanto indicato in 4.1.2.1.8.
 - la presenza di adeguato copriferro
 - Micropali
 - Con riferimento agli Stati Limite Ultimi:
 - la resistenza a flessione monoassiale dei profilati metallici (assumendo come capacità resistente quella al limite elastico in accordo con 4.2.4.1.2);
 - la resistenza a taglio dei profilati metallici in accordo con 4.2.4.1.2.
 - la resistenza e la stabilità a pressoflessione in accordo con 4.2.4.1.3.3

5.3.2 Sintesi dei risultati ottenuti

Sono state svolte le verifiche STR allo SLU secondo la Combinazione 1 par. 6.5.3.1.2 delle NTC08 (DM Infrastrutture 14 Gennaio 2008) e secondo la combinazione sismica allo SLV. Le verifiche GEO sono state condotte secondo la Combinazione 2 par. 6.5.3.1.2 delle NTC08.

5.3.2.1 Paratia con cordolo – paratia iniziale dal lato di Fosdinovo

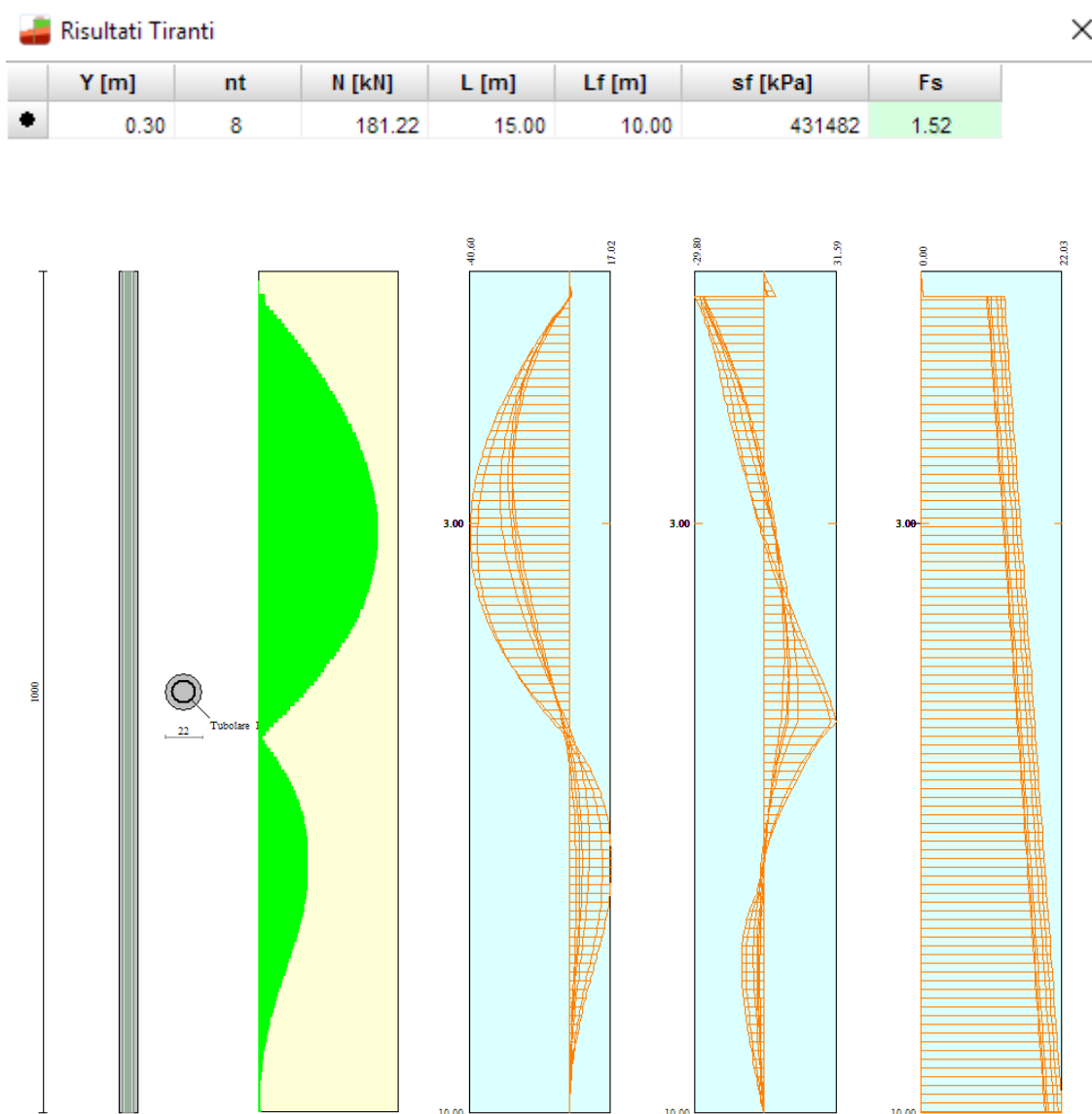


Figura 5.1 – Impegno del micropalo in condizioni di Stato Limite Ultimo

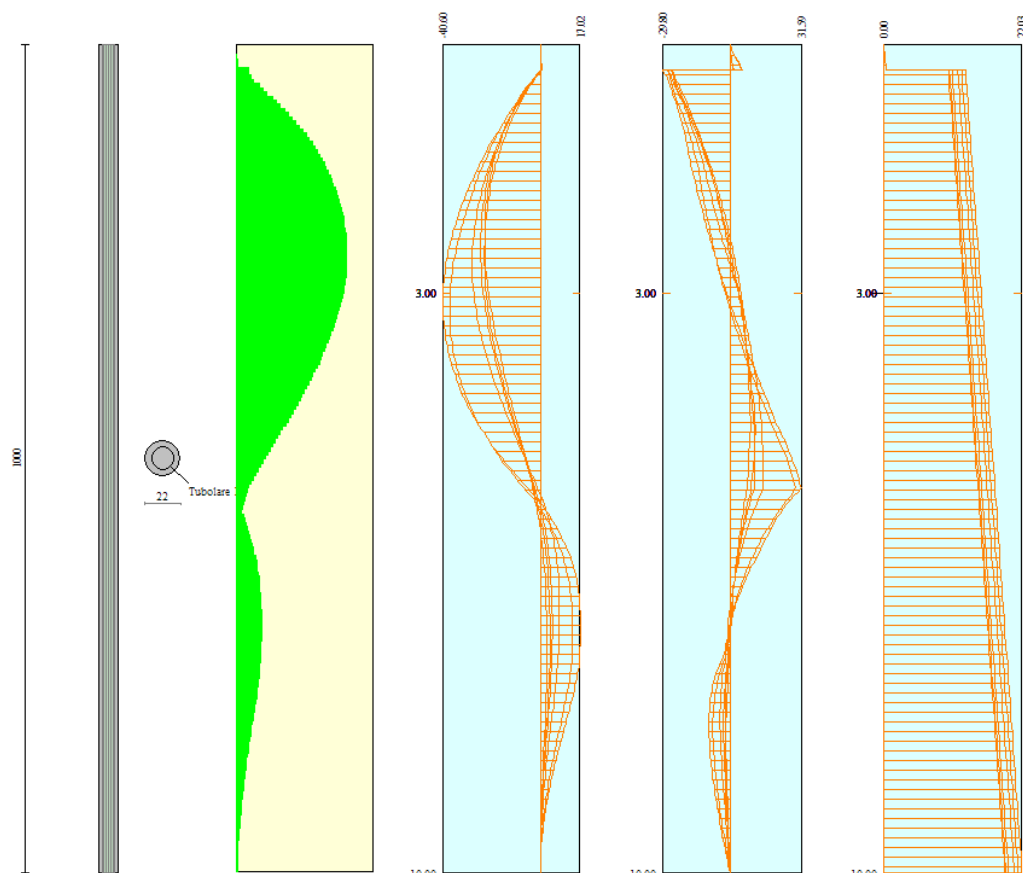
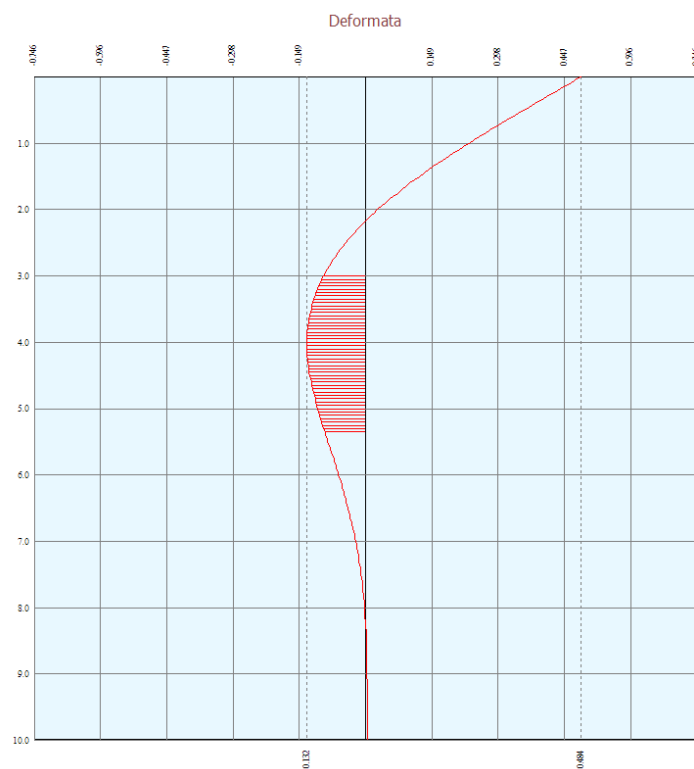


Figura 5.2 – Impegno del micropalo in condizioni di Stato Limite di Esercizio



5.3.2.2 Paratia con soletta a sbalzo – paratia successiva in direzione di Marciasso

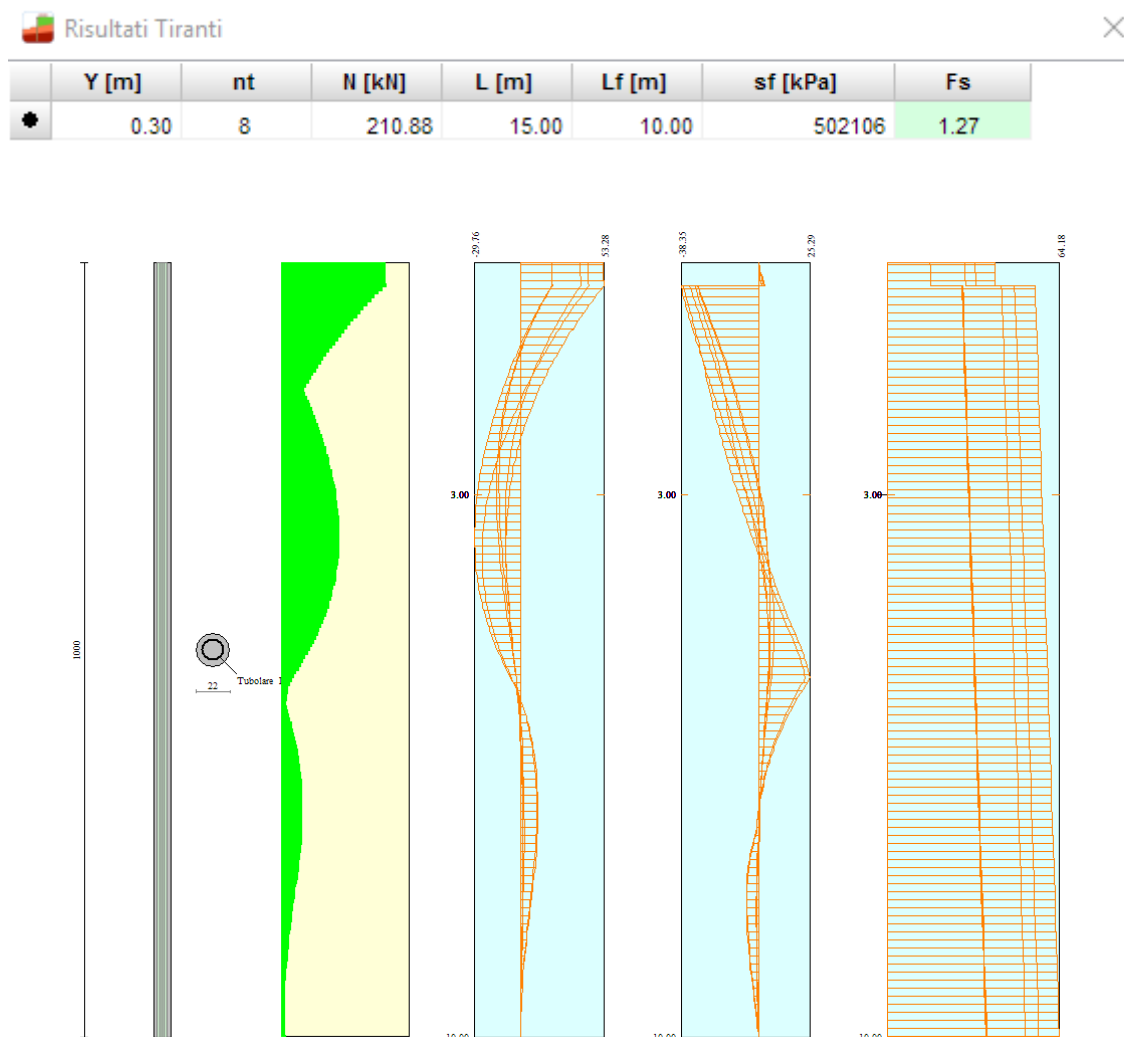


Figura 5.3 – Impegno del micropalo in condizioni di Stato Limite Ultimo

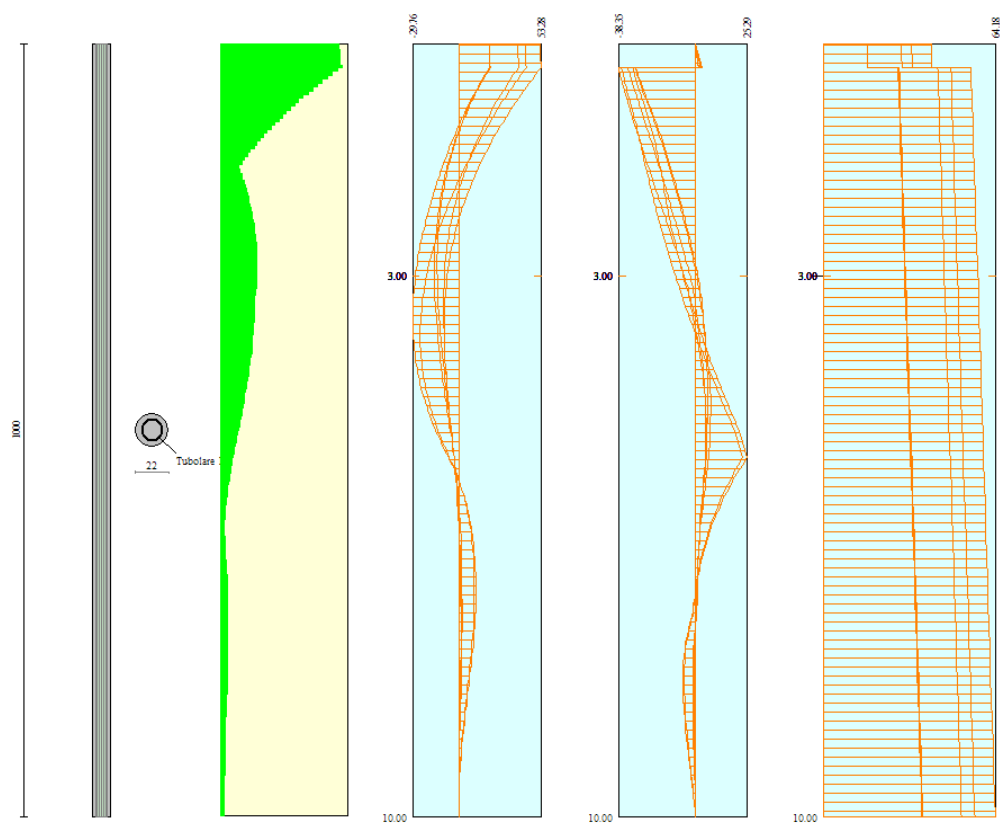
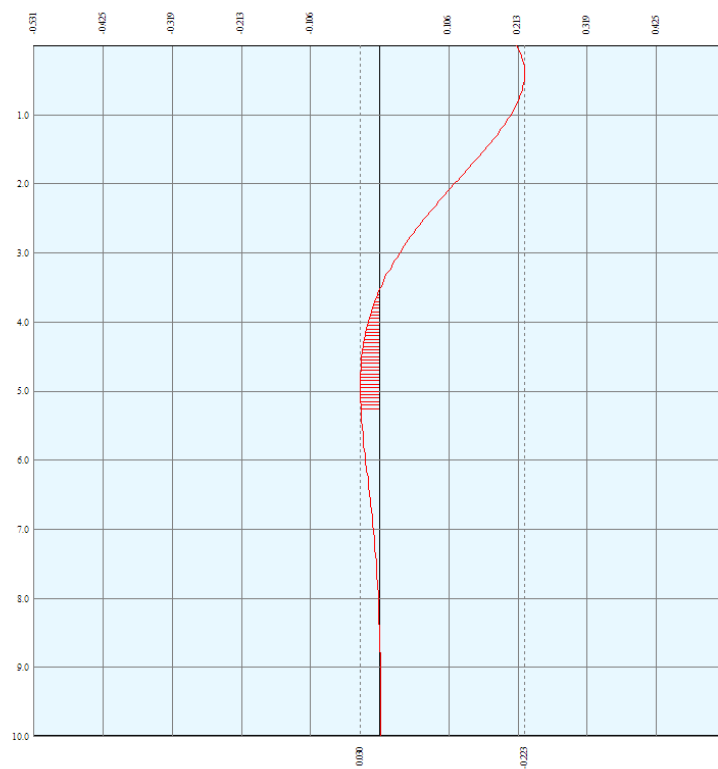


Figura 5.4 – Impegno del micropalo in condizioni di Stato Limite di Esercizio



5.4 VERIFICA DELLA SOLETTA A SBALZO AGLI STATI LIMITE ULTIMI

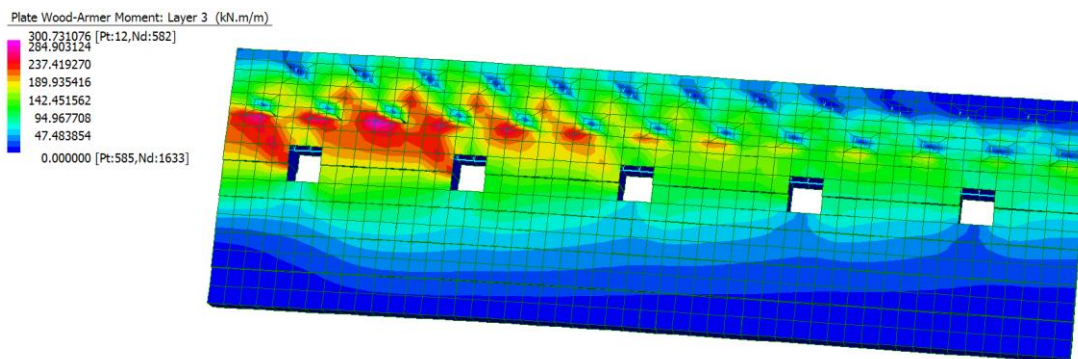
Per la verifica strutturale della paratia con la soletta a sbalzo è stata condotta anche una modellazione con differente software agli elementi finiti. Mediante essa è stato possibile valutare il comportamento della struttura sottoposta ai carichi stradali sullo sbalzo maggiore.

Il solettone a sbalzo che sormonta la paratia di valle dell'intervento numero 1 è armato mediante barre $\phi 20/20$ in direzione trasversale e longitudinale. La sezione si presenta di altezza pari a 60 cm a livello del cordolo di sommità dei micropali e nella zona prossima al cordolo stesso, prosegue poi rastremandosi e raggiungendo un'altezza pari a circa 30 cm nella zona più esterna dello sbalzo.

Il valore del momento resistente in direzione trasversale per la sezione di altezza 60 cm e di altezza 40 cm è riportato di seguito:

The image shows two side-by-side screenshots of the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. Both windows display the same menu structure: File, Materiali, Opzioni, Visualizza, Progetto Sez. Rett., Sismica, Normativa: NTC 2008. The left window is for a slab height of 60 cm, and the right window is for a slab height of 40 cm. Both windows show a table of reinforcement data (N°, b [cm], h [cm], As [cm²], d [cm]) and a section diagram. The left window has a table with N° 1 (b=100, h=60, As=15.71, d=5) and N° 2 (b=100, h=60, As=15.71, d=55). The right window has a table with N° 1 (b=100, h=40, As=15.71, d=5) and N° 2 (b=100, h=40, As=15.71, d=35). Both windows show a 'Sollecitazioni' section with S.L.U. and Metodo n. options, and a 'P.to applicazione N' section with Centro, Baricentro cls, and Coord. [cm] options. The 'Metodo di calcolo' section shows S.L.U. + and S.L.U. - options. The 'Materiali' section shows properties for B450C and C28/35 concrete, including E_{su} , f_{yd} , E_s , E_s/E_c , E_{syd} , $\sigma_{s,adm}$, τ_{c1} , σ_c , σ_s , ϵ_c , ϵ_s , d , x , x/d , δ , τ_{co} , and τ_{c1} . The 'Tipo flessione' section shows Retta and Deviato options. The 'N° rett.' section shows 100. The 'Calcola MRd' and 'Dominio M-N' buttons are visible. The 'Col. modello' section shows 0 cm. The 'Precompresso' checkbox is unchecked.

I valori massimi del momento flettente sono riportati nell'immagine che segue:



$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{300.73}{326} = 0.92$$

Il valore del momento flettente nella zona dove inizia a rastremarsi la soletta è < 190 kNm/m quindi $< M_{Rd} = 203.1$ kNm/m della sezione spessa 40 cm quindi la verifica è soddisfatta.

Il valore del momento resistente in direzione longitudinale per la sezione di altezza 60 cm e di altezza 40 cm è riportato di seguito:

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 0 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo S.L.U. + Metodo n

Tipo flessione Retta Deviato

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C		C28/35	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm ²	f_{cd}	15.87
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6667
		τ_{c1}	1.971

M_{xRd} 326 kNm

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 35.65 ‰
d 55 cm
x 4.917 x/d 0.0894
 δ 0.7

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008

Titolo:

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{Ed} 0 kNm
M_{yEd} 0

P.to applicazione N
Centro Baricentro cls
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo S.L.U. + Metodo n

Tipo flessione Retta Deviato

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

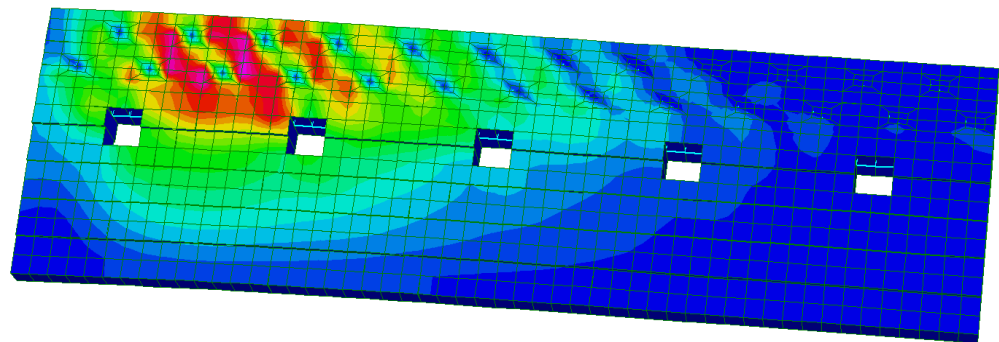
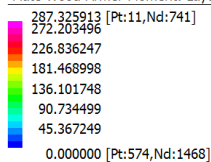
Materiali

B450C		C28/35	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm ²	f_{cd}	15.87
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.6667
		τ_{c1}	1.971

M_{xRd} 203.1 kNm

σ_c -15.87 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 21.4 ‰
d 35 cm
x 4.919 x/d 0.1406
 δ 0.7

Plate Wood-Armer Moment: Layer 4 (kN.m/m)



$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{287.33}{326} = 0.88$$

Il valore del momento flettente nella zona dove inizia a rastremarsi la soletta è < 181 kNm/m quindi $< M_{Rd} = 203.1$ kNm/m della sezione spessa 40 cm quindi la verifica è soddisfatta.

Il valore del taglio resistente in direzione trasversale per la sezione di altezza 60 cm e di altezza 40 cm è riportato di seguito:

Rck	35	Mpa				
fck	29.050	Mpa				
fcd	16.462	Mpa				
fyd	391.3	MPa		d	550	mm
A	1570.796	mm ²		k	1.603	
φ barre	20	mm		vmin	0.383	
n barre	5			bw	1000	mm
h	600	mm		ρl	0.002856	
c	50	mm		Ned	0	kN
				σc	0.000	Mpa
				Vrd1	214.183	kN
				Vrd2	210.578	kN
				Vrd	214.183	kN

Rck	35	Mpa				
fck	29.050	Mpa				
fcd	16.462	Mpa				
fyd	391.3	MPa		d	350	mm
A	1570.796	mm ²		k	1.756	
φ barre	20	mm		vmin	0.439	
n barre	5			bw	1000	mm
h	400	mm		ρl	0.004488	
c	50	mm		Ned	0	kN
				σc	0.000	Mpa
				Vrd1	173.576	kN
				Vrd2	153.628	kN
				Vrd	173.576	kN

Plate Force:xz (kN/m)

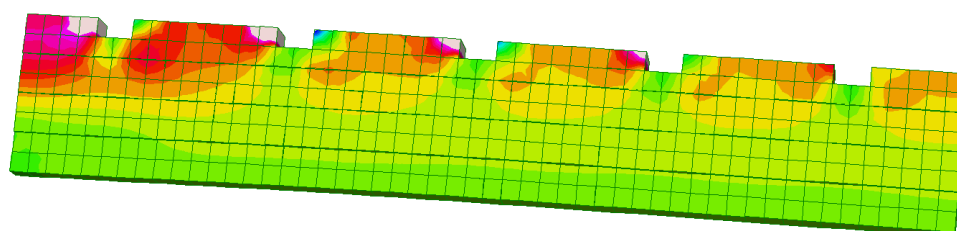
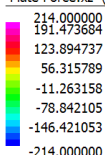


Plate Force:xz (kN/m)

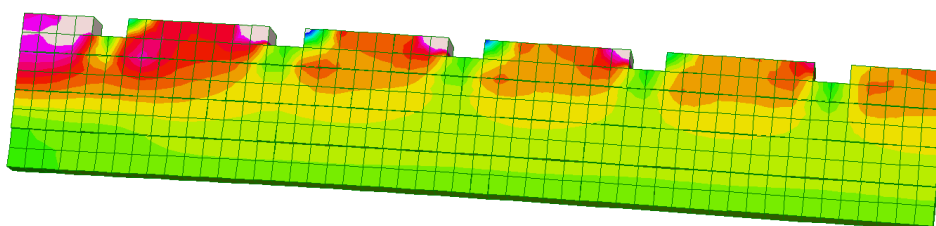
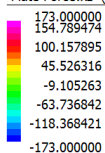
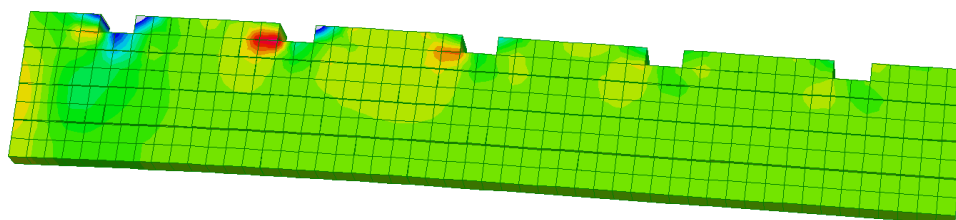
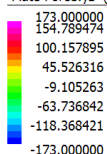


Plate Force:yz (kN/m)



Nelle zone prossime ai carichi concentrati, come sono quelle di imposta dei micropali, la verifica condotta è quella a punzonamento.

Rck [MPa]	35	dy [mm]	550	vRd,c1 [MPa]	0.393		
fck [MPa]	29.05	dz [mm]	530	vRd,c2 [MPa]	0.385		
fcd [MPa]	16.462	deff [mm]	540	vRd,c [MPa]	0.393	VERIFICA	28%
fyd [MPa]	391.3	raggio [mm]	69.85	non serve armatura a punzonamento			
sp [mm]	600	u1 [mm]	7224.721				
φy [mm]	20	Ved [kN]	427				
ny	5	ved [MPa]	0.109				
Asy [mm²]	1570.80	k	1.609				
φz [mm]	20	ply	0.002909				
nz	5	plz	0.002909				
Asz [mm²]	1570.80	pl	0.002909				
cy [mm]	50	Ned,y [kN/m]	0				
cz [mm]	70	Ned,z [kN/m]	0				
passo y [mm]	200	σc,y [MPa]	0				
passo z [mm]	200	σc,z [MPa]	0.000				
		σcp [MPa]	0.000				

Si riporta di seguito la verifica dei micropali, a favore di sicurezza si verificano gli stessi considerando la sola armatura tubolare e trascurando il contributo offerto dalla malta.

Le sollecitazioni massime sono le seguenti:

$$M_{Ed} = 48.76 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 34.35 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 373.36 \text{ kN}$$

La verifica di resistenza si effettua considerando i seguenti valori delle caratteristiche resistenti del tubolare $\phi 139.7 \text{ mm}$, $sp = 12.5 \text{ mm}$:

$$A = 4990 \text{ mm}^2 \quad A_v = 3177 \text{ mm}^2 \quad W_{pl} = 203000 \text{ mm}^3$$

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_{yk}} + \frac{M_{Ed}}{W_{pl} \cdot f_{yk}} = 0.25 + 0.71 = 0.96 < 1$$

$$\frac{V_{Ed}}{A_v \cdot f_{yk}} = 0.05 < 1$$

Per la verifica di stabilità si considera una lunghezza libera di inflessione pari a circa 2.5 metri tenuto conto della presenza del cordolo tirantato, della parte fuori terra del terreno. Si considera poi un momento equivalente pari a circa $M_{Eq} = 41.76 \text{ kNm}$. Si ottiene:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot A \cdot f_{yk}} + \frac{M_{Eq}}{W_{pl} \cdot f_{yk} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}\right)} = 0.29 + 0.70 = 0.99 < 1$$

5.5 VERIFICA DELLA SOLETTA A SBALZO AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Si riportano ora le verifiche agli Stati Limite di Esercizio per la soletta.

5.5.1 Verifica allo stato limite di fessurazione

La verifica a fessurazione è stata condotta considerando la verifica senza calcolo diretto. Data la classe di esposizione, l'ambiente è stato classificato come aggressivo. Si ottiene pertanto una limitazione:

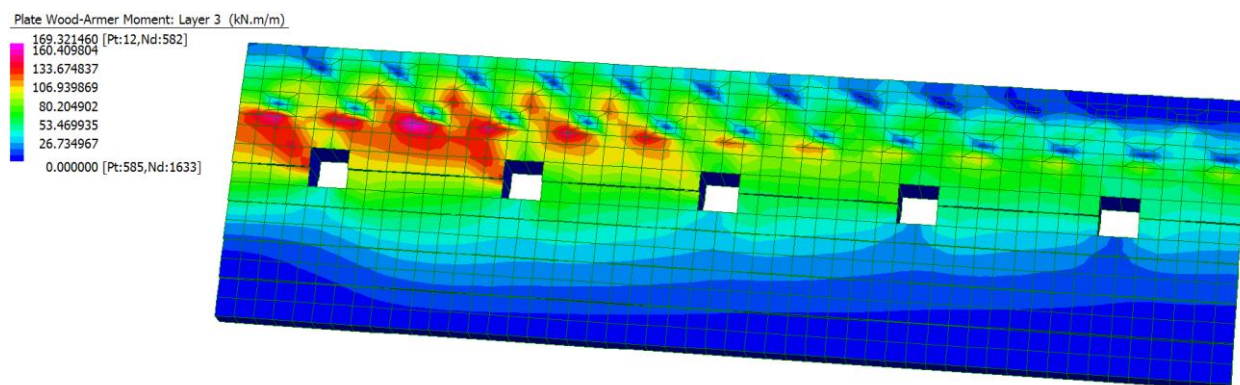
- combinazione frequente \rightarrow limite = $w_2 = 0.3$ mm
- combinazione quasi permanente \rightarrow limite = $w_1 = 0.2$ mm

Pertanto si ottiene:

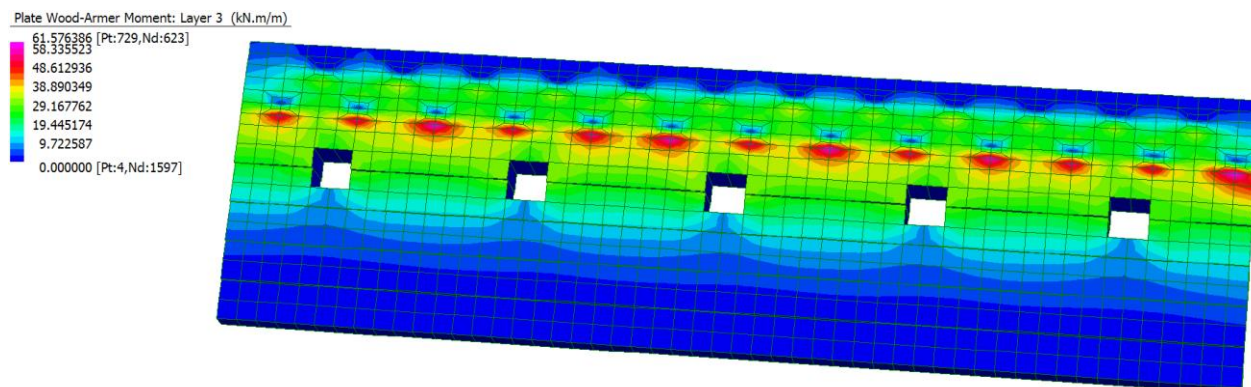
- combinazione frequente \rightarrow limite $\rightarrow \sigma_s = 222.22$ MPa
- combinazione quasi permanente \rightarrow limite $\rightarrow \sigma_s = 182.22$ MPa

I valori del momento sono i seguenti:

- combinazione frequente $M_{Ed} = 169.50$ kNm:



- combinazione quasi permanente $M_{Ed} = 61.57$ kNm:



Verifica C.A. S.L.U. - File:

File | Materiali | Opzioni | Visualizza | Progetto Sez. Rett. | Sismica | Normativa: NTC 2008

Titolo: _____

N° strati barre: 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	60	1	15.71	5
			2	15.71	55

Tipo Sezione:
☒ Rettang. re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni:
 S.L.U. ☒ Metodo n

P.to applicazione N:
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm]

Metodo di calcolo:
☐ S.L.U.+ ☒ S.L.U.- ☐ Metodo n

Materiali:

B450C		C28/35	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm²	f_{cd}	15.87
E_s/E_c	6	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	11
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6667
		τ_{cl}	1.971

Calculated Values:

Parameter	Value	Unit
σ_c	-6.59	N/mm²
σ_s	204.4	N/mm²
ϵ_s	1.022	‰
d	55	cm
x	8.916	cm
x/d	0.1621	
δ	0.7	

Verifica **N° iterazioni:** 5 ☐ Precompresso

Quindi:

-combinazione frequente: $\rightarrow \sigma_s / \sigma_{lim} = 0.92$

-combinazione quasi permanente: $\rightarrow \sigma_s / \sigma_{lim} = 0.41$

5.5.2 Verifica allo stato limite di tensioni di esercizio

La verifica delle tensioni di esercizio deve rispettare i seguenti valori:

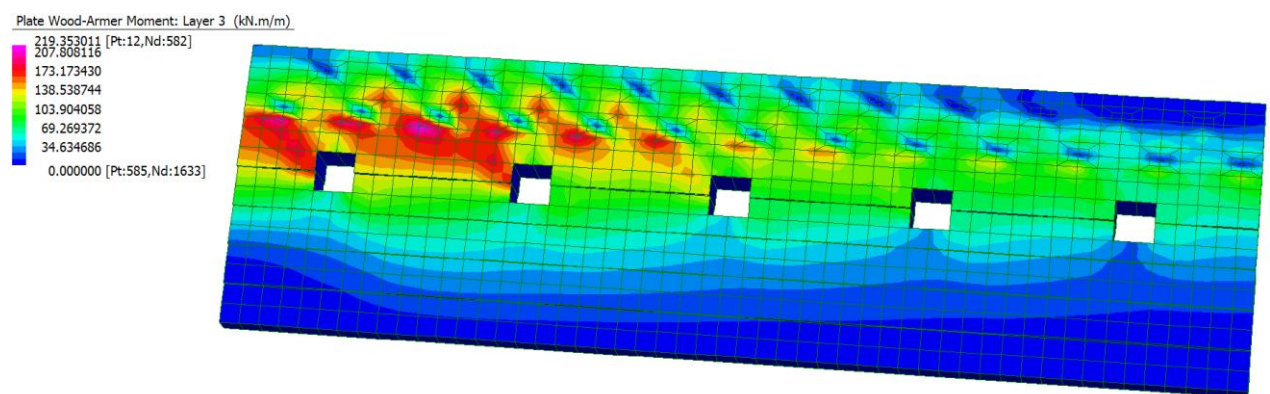
-combinazione caratteristica rara $\rightarrow \sigma_c < 0.60 f_{ck} = 17.43 \text{ MPa}$

-combinazione quasi permanente $\rightarrow \sigma_c < 0.45 f_{ck} = 13.07 \text{ MPa}$

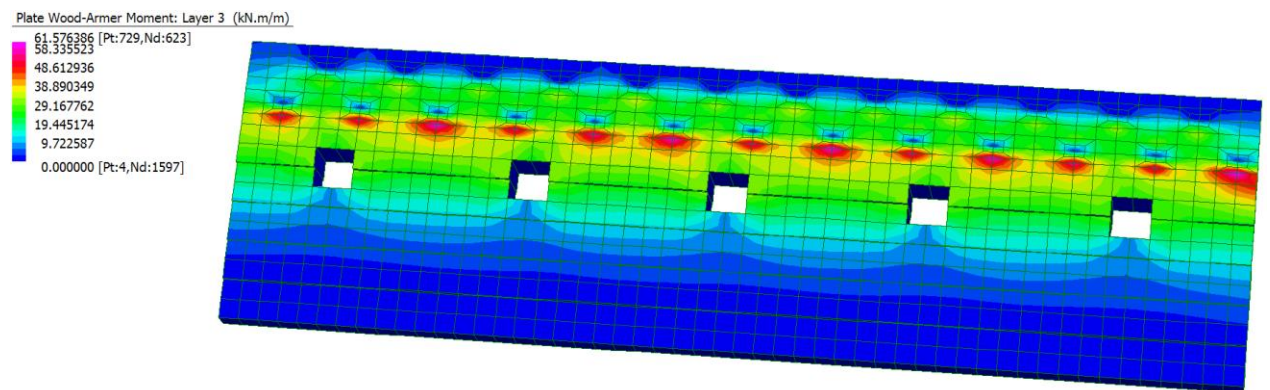
-combinazione caratteristica rara $\rightarrow \sigma_s < 0.80 f_{yk} = 360 \text{ MPa}$

I valori del momento sono i seguenti:

-combinazione caratteristica rara $M_{Ed} = 219.35 \text{ kNm}$:



-combinazione quasi permanente $M_{Ed} = 61.57 \text{ kNm}$:



Si ottiene:

-combinazione caratteristica rara $\rightarrow \sigma_c = 5.55 \text{ MPa} < 17.43 \text{ MPa}$

-combinazione quasi permanente $\rightarrow \sigma_c = 1.56 \text{ MPa} < 13.07 \text{ MPa}$

-combinazione caratteristica rara $\rightarrow \sigma_s = 275.8 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$

Verifica C.A. S.L.U. - File: _____

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	15.71	55

Tipo Sezione
☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{Ed} 0 219.35 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Materiali
 B450C C28/35
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 15.87 N/mm²
 E_g/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 [?] ϵ_s 1.379 ‰
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 11 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.6667 τ_{c1} 1.971

σ_c -5.551 N/mm²
 σ_s 275.9 N/mm²
 ϵ_s 1.379 ‰
 d 55 cm
 x 12.75 x/d 0.2318
 δ 0.7298

Verifica N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: _____

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	15.71	5
2	15.71	55

Tipo Sezione
☒ Rettan.re ☐ Trapezi
☐ a T ☐ Circolare
☐ Rettangoli ☐ Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n
 N_{Ed} 0 kN
 M_{Ed} 0 61.57 kNm
 M_{yEd} 0 0

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
☒ S.L.U. + ☐ S.L.U. - ☐ Metodo n

Materiali
 B450C C28/35
 ϵ_{su} 67.5 ‰ ϵ_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391.3 N/mm² ϵ_{cu} 3.5 ‰
 E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 15.87 N/mm²
 E_g/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8 [?] ϵ_s 0.3872 ‰
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 11 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.6667 τ_{c1} 1.971

σ_c -1.558 N/mm²
 σ_s 77.44 N/mm²
 ϵ_s 0.3872 ‰
 d 55 cm
 x 12.75 x/d 0.2318
 δ 0.7298

Verifica N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

6 RELAZIONE GEOTECNICA

6.1 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA DEI SITI

6.1.1 Caratteristiche fisico – meccaniche dei terreni

Dal punto di vista della geologia si riporta di seguito un estratto dalla relazione geologica a firma del Dott. Geol. Matteo Angiolini. Nel sito in oggetto il substrato roccioso afferente al Macigno affiora diffusamente in special modo nella parte a monte della strada. Al di sotto della strada e a valle della stessa, al contrario, il substrato è ricoperto da una coltre detritica naturale, mista a riporto, con spessori che arrivano a circa 10m.

Il materiale costituente la coltre si presenta incoerente - semi coerente, con buona variabilità granulometrica in una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, inglobata da clasti e trovanti litici arenacei.

Il materiale che costituisce il substrato roccioso si mostra piuttosto alterato e fratturato tale da creare il distacco di blocchi di dimensioni medio piccole.

Le condizioni di conservazione della roccia sono in alcuni punti “discrete” ma tendono in a diventare “scadenti” in altri. Il peggioramento si presenta nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divengono “molto scadenti”. In tali punti la roccia si presenta simile ad una sabbia debolmente cementata.

Dal punto di vista idrografico e idrogeologico le indagini non hanno riscontrato linee di deflusso, pozzi, sorgenti o aree a ristagno prolungato, in più non è stata rilevata la presenza di acqua durante l'esecuzione delle prove penetrometriche.

Per quanto riguarda i parametri geotecnici da assegnare alle varie stratigrafie sopra indicate, si segue quanto di seguito esposto:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	19,95	KN/m ³
γ_s	=	20,51	KN/m ³
ϕ'	=	39	°
C'	=	0,5	Kpa (0,005 Kg/cm ²)
Ey	=	16,6	MPa
M	=	8,65	MPa

Livello B

Dr	=	40	%
γ	=	14,61	KN/m ³
γ_s	=	18,44	KN/m ³
Cu	=	3,59	KPa
ϕ'	=	31	°
C'	=	0,12	Kpa (0,012kg/cm ²)
Ey	=	8,26	MPa
M	=	3,48	MPa

Livello C

Dr	=	62	%
γ	=	18,54	KN/m ³
γ_s	=	19,12	KN/m ³
Cu	=	99,83	Kpa
ϕ'	=	36	°
C'	=	3,28	Kpa (0,03Kg/cm ²)
Ey	=	12	MPa
M	=	5,81	MPa

Circa i parametri geotecnici minimi si è ottenuto:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	19,22	KN/m ³
γ_s	=	19,32	KN/m ³
ϕ'	=	37	°
C'	=	0,5	Kpa (0,005 Kg/cm ²)
Ey	=	12,89	MPa
M	=	6,40	MPa

Livello B

Dr	=	39	%
γ	=	14,51	KN/m ³
γ_s	=	18,44	KN/m ³
Cu	=	3,59	Kpa
ϕ'	=	31	°
C'	=	0,12	Kpa (0,0012 Kg/cm ²)
Ey	=	8,15	MPa
M	=	3,42	MPa

Livello C

Dr	=	59	%
γ	=	18,44	KN/m ³
γ_s	=	19,12	KN/m ³
Cu	=	99,83	Kpa
ϕ'	=	36	°
C'	=	3,23	Kpa (0,03kg/cm ²)
Ey	=	11,87	MPa
M	=	5,73	MPa

I parametri geotecnici caratteristici ricavati, così come definiti dell'Eurocodice 7, sono invece i seguenti:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	18,75	KN/m ³
γ_s	=	19,56	KN/m ³
ϕ'	=	36	°
C'	=	0,5	Kpa (0,005 Kg/cm ²)
Ey	=	16,60	MPa
M	=	8,65	MPa

Livello B

Dr	=	39	%
γ	=	14,45	KN/m ³
γ_s	=	18,44	KN/m ³
Cu	=	3,39	KPa
ϕ'	=	31	°
C'	=	0,113	Kpa (0,001 Kg/cm ²)
Ey	=	8,26	MPa
M	=	3,48	MPa

Livello C

Dr	=	57	%
γ	=	18,38	KN/m ³
γ_s	=	19,12	KN/m ³
Cu	=	98,12	KPa
ϕ'	=	36	°
C'	=	3,27	Kpa (0,03 Kg/cm ²)
Ey	=	12	MPa
M	=	5,81	MPa

Il substrato roccioso è stato valutato per due differenti configurazioni che fanno riferimento a uno stato di confinamento elevato o basso.

σ_{ci} =25Mpa (la roccia si frattura con un colpo di martello)

GSI=33,

mi=17,

D=1(associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=275,

Ei (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore della tensione di confinamento

Pendii; profondità 118,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.142$, $s=0$, $a=0.518$. $\sigma_{3max} = 1.875\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.217\text{MPa}$, $\varphi=19,870^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c=0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm}=1.116\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm}=6.170\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

Limite inferiore della tensione di confinamento

Pendii; profondità 10,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.142$, $s=0$, $a=0.518$. $\sigma_{3max} = 0.198\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.046\text{MPa}$, $\varphi = 37,080^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c=0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm}=1.116\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm}=6.170\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

In definitiva, per l'ammasso roccioso possono essere assegnati i seguenti parametri:

Strati posti a elevate tensioni di confinamento

γ	=	24,00 KN/m ³
φ'	=	20 °
C'	=	0,217 MPa

Strati posti a ridotte pressioni di confinamento

γ	=	24,00 KN/m ³
φ'	=	37 °
C'	=	0,046 MPa

6.1.2 Stratigrafia

Sono stati distinti quattro livelli litostratigrafici:

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino a profondità, dal piano campagna stesso, comprese tra 0,2 e 0,4m ed è composto da un insieme di sedimenti di riporto, da moderatamente addensati ad addensati, prevalentemente ghiaiosi.

Livello B: dove presente, si sviluppa inferiormente al Livello A fino a profondità, da piano campagna, comprese tra 4,0 e 5,6m ed identifica un insieme di sedimenti sabbioso limosi, da sciolti a poco addensati.

Livello C: dove presente, segue il livello B fino profondità, da piano campagna, comprese tra 7,0 e 9,4m ed identifica il substrato roccioso, molto alterato e fratturato assimilabile a detrito grossolano moderatamente addensato.

Livello D: dove non direttamente affiorante segue il Livello C e rappresenta il substrato roccioso, da mediamente a poco alterato e fratturato, all'interno del quale entrambe le prove penetrometriche sono andate a rifiuto.

Ai fini del dimensionamento dell'opera si è considerato il presente profilo stratigrafico:

- | | |
|--|--------------------------------|
| • Strato n°1 (Livello A): | trascurato |
| • Strato n°2 (Livello B): | spessore 5.40 m circa |
| • Strato n°3 (Livello C): | spessore 2.00 m circa |
| • Strato n°4 (Substrato roccioso – livello D): | spessore esteso inferiormente. |

6.2 MODELLI GEOTECNICI

6.2.1 Metodi di calcolo utilizzati

Il calcolo della spinta dei terreni sull'opera di sostegno è stata valutata secondo quanto segue:

- spinta attiva di monte dal piano campagna fino al fondo scavo;
- differenza fra la spinta attiva di monte e la spinta passiva di valle dal livello del fondo scavo alla quota di nullo del diagramma del momento flettente.

Con riferimento al calcolo della spinta, l'angolo di attrito terreno paratia δ' è stato assunto pari a $2/3$ dell'angolo di attrito interno del terreno φ' .

La stabilità locale del complesso opera – terreno è stata infine verificata impiegando un metodo pseudo-statico ed utilizzando come teoria per la ricerca delle possibili superfici di scorrimento quelle di Fellenius.

6.3 VERIFICHE SVOLTE IN AMBITO GEOTECNICO

Il calcolo della sicurezza in ambito geotecnico è stata verificata seguendo le indicazioni contenute nel DM Infrastrutture 14 gennaio 2008 ai par. 6.5.3.1.2 (progettazione per azioni statiche) e 7.11.6.3 (progettazione per azioni sismiche).

In ambito di Stato Limite Ultimo sono stati svolti i seguenti controlli di normativa:

- collasso per carico limite verticale;
- sfilamento dei micropali tesi;
- instabilità globale.

In ambito di Stato Limite di Esercizio è stata controllata:

- la compatibilità degli spostamenti orizzontali delle opere di sostegno con la sicurezza delle opere stesse.

Alla luce della campagna di indagini svolta, i valori caratteristici di resistenza utilizzati nel calcolo sono stati determinati assumendo un numero di verticali indagate pari a 1 ovvero i seguenti fattori di correlazione:

- $\zeta_3 = 1.70$ (applicato ai valori medi)
- $\zeta_4 = 1.70$ (applicato ai valori minimi)

6.4 APPROCCIO DI VERIFICA ADOTTATO IN AMBITO GEOTECNICO

La sicurezza in ambito geotecnico è stata verificata adottando quello che il DM Infrastrutture 14 gennaio 2008 definisce Approccio 1 al par. 6.5.3.1.2, ovvero seguendo la seguente impostazione semiprobabilistica:

- verifiche di collasso per carico limite e sfilamento:
 - A1 – M1 – R1
 - A2 – M2 – R1
- verifica di stabilità del complesso opera di sostegno – terreno:
 - A2 – M2 – R2.

Le azioni di progetto vengono quindi combinate impiegando i coefficienti di tipo “A1” - “A2” previsti dalla Tab. 2.6.I del DM e qui di seguito riportati:

<u>Azioni</u>	<u>Simbolo</u>	<u>Coeff. A1 (sfav)</u>	<u>Coeff. A2 (sfav.)</u>
Carichi permanenti	γ_{G1}	1.30	1.00
Carichi permanenti non strutturali	γ_{G2}	1.50	1.30
Carichi variabili	γ_Q	1.50	1.30

I valori caratteristici delle proprietà sono invece convenientemente ridotti secondo i coefficienti di tipo “M1” – “M2” indicati in Tab. 6.2.II e riassunti nel prospetto seguente:

<u>Parametri</u>	<u>Simbolo</u>	<u>Coeff. M1</u>	<u>Coeff. M2</u>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan \varphi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1.00	1.00

Alle resistenze geotecniche sono stati infine applicati i coefficienti di sicurezza “R1” – “R2” indicati nelle Tab. 6.4.II e Tab. qui riassunti

<u>Resistenza</u>	<u>Simbolo</u>	<u>Coeff. R1</u>	<u>Coeff. R2</u>
Stabilità globale	γ_R	---	1.10
Resistenza alla punta	γ_R	1.00	1.70
Resistenza laterale compressione	γ_R	1.00	1.45
Resistenza laterale trazione	γ_R	1.00	1.60
Resistenza sfilamento tiranti	γ_R	1.20	1.20

6.5 SINTESI DEI RISULTATI OTTENUTI IN AMBITO GEOTECNICO

Si riporta l'esito delle verifiche condotte:

6.5.1 Paratia con cordolo – paratia iniziale dal lato di Fosdinovo

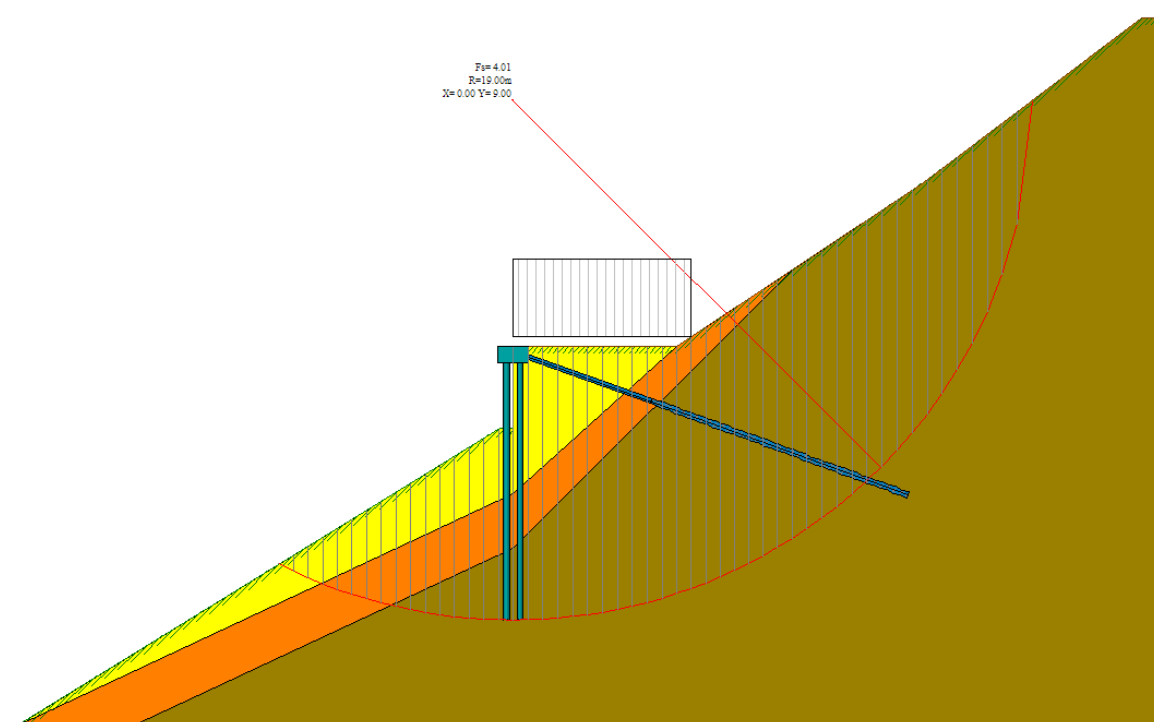


Figura 6.1 – Paratia iniziale lato Fosdinovo stabilità

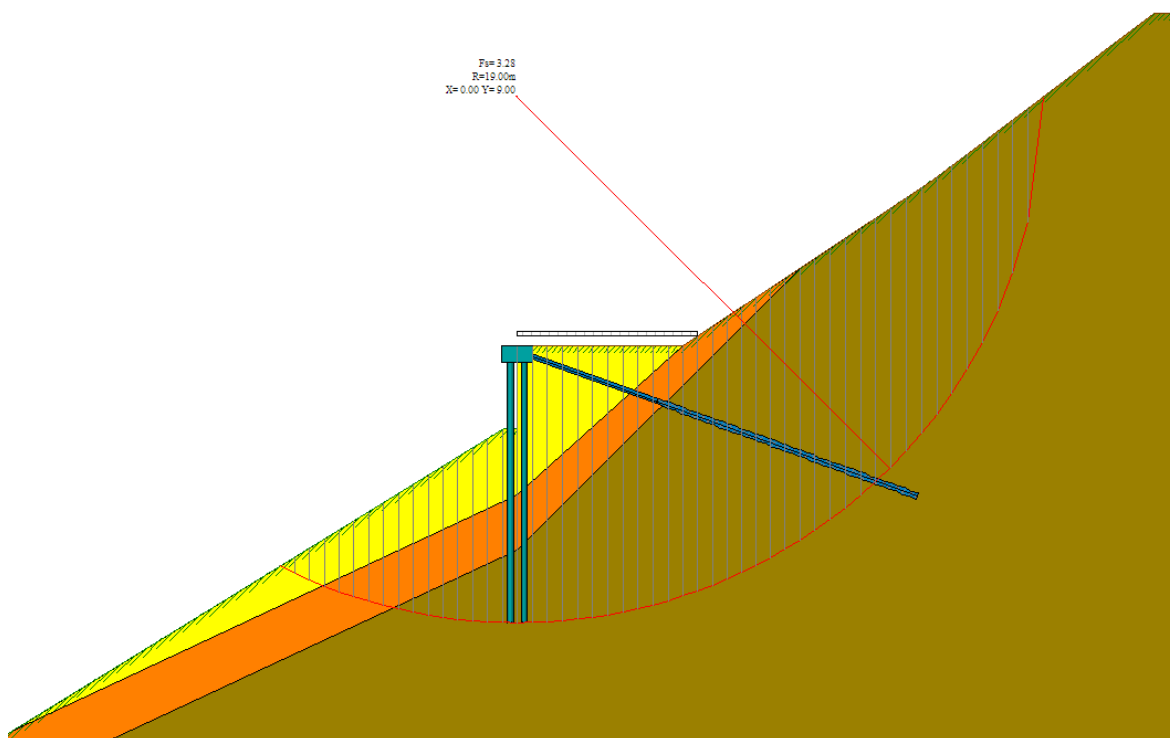


Figura 6.2 – Paratia iniziale lato Fosdinovo stabilità

6.5.2 Paratia con soletta a sbalzo – paratia successiva in direzione di Marciaso

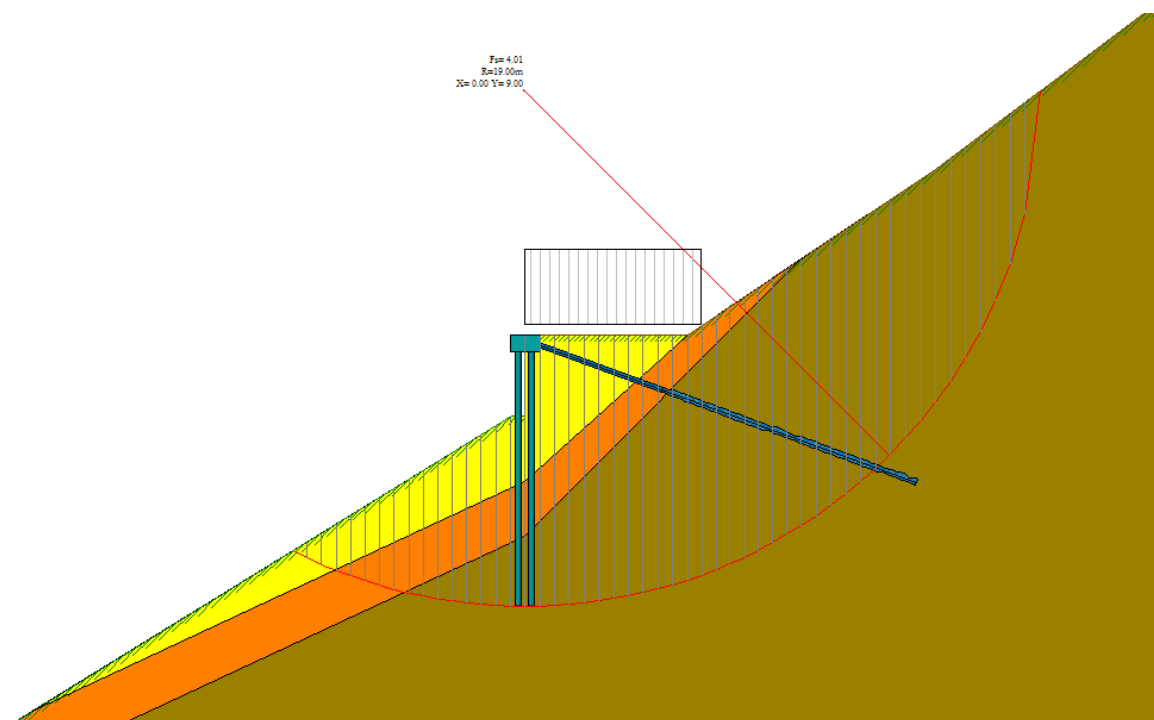


Figura 6.3 – Paratia tratto successivo in direzione Marciaso stabilità

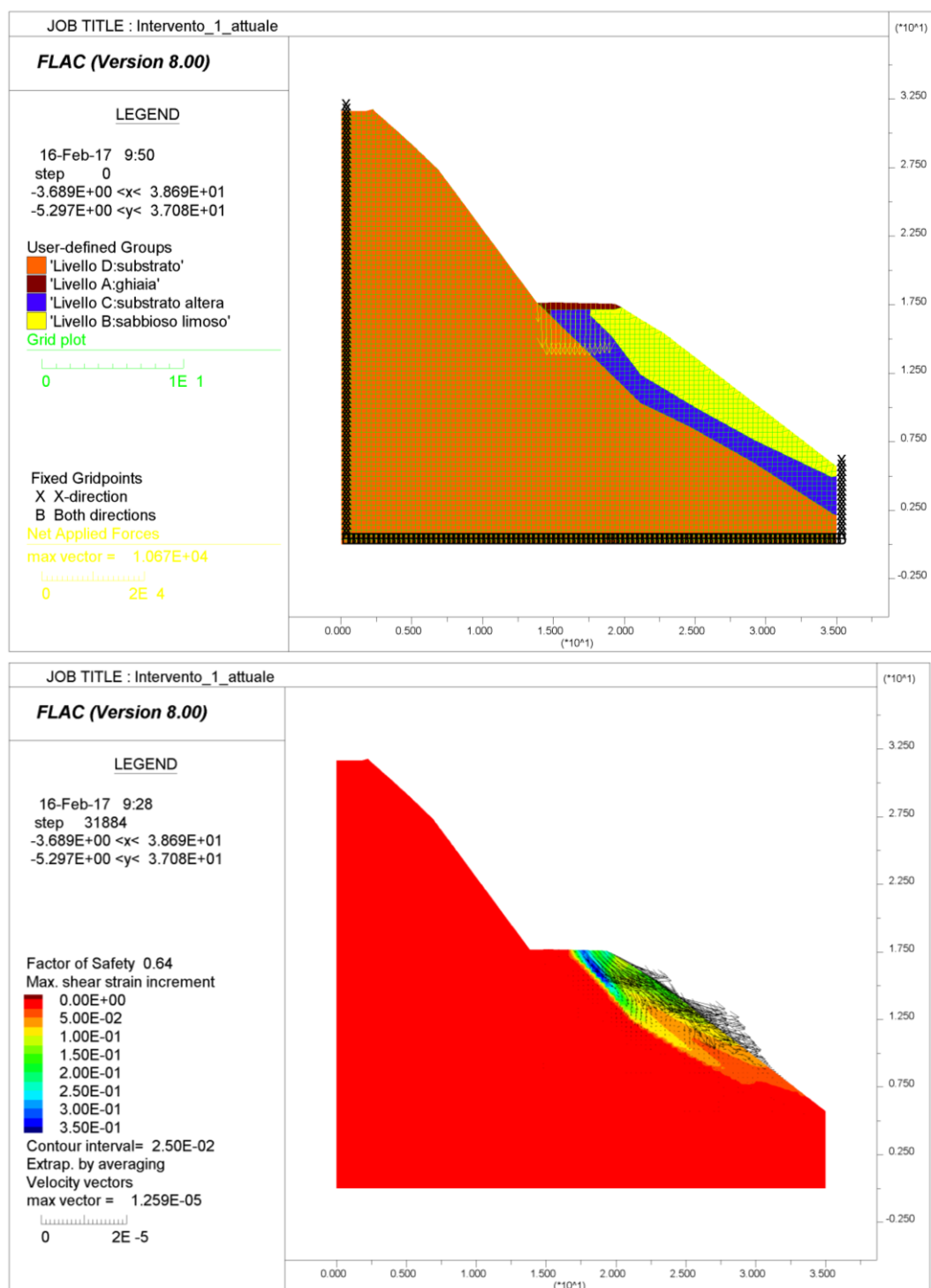
6.6 VERIFICA DEI MICROPALI

$$R_d = \frac{\pi \cdot d \cdot \alpha \cdot s \cdot L}{\zeta \cdot \gamma} = \frac{\pi \cdot 220 \cdot 1.1 \cdot 0.2 \cdot 3500}{1.7 \cdot 1.15 \cdot 1000} + \frac{\pi \cdot 220 \cdot 1.1 \cdot 0.08 \cdot 3500}{1.7 \cdot 1.15 \cdot 1000} = 381.1 \text{ kN}$$

Pagina 45 di 54

Allo stato attuale la verifica di stabilità del versante, condotta con apposito programma alle differenze finite, ha fornito un coefficiente di sicurezza pari a 0.64 pertanto non solamente inferiore al valore di norma che è posto pari a 1.1 (cap 6 del DM Infrastrutture 14 Gennaio 2008) ma anche inferiore all'unità che è la condizione essenziale affinché possa sussistere, da un punto di vista fisico, l'equilibrio del versante stesso.

Il meccanismo di collasso evidenziato dall'immagine sopra rispecchia esattamente quanto avvenuto lato valle e mostrato nella figura 2.1.

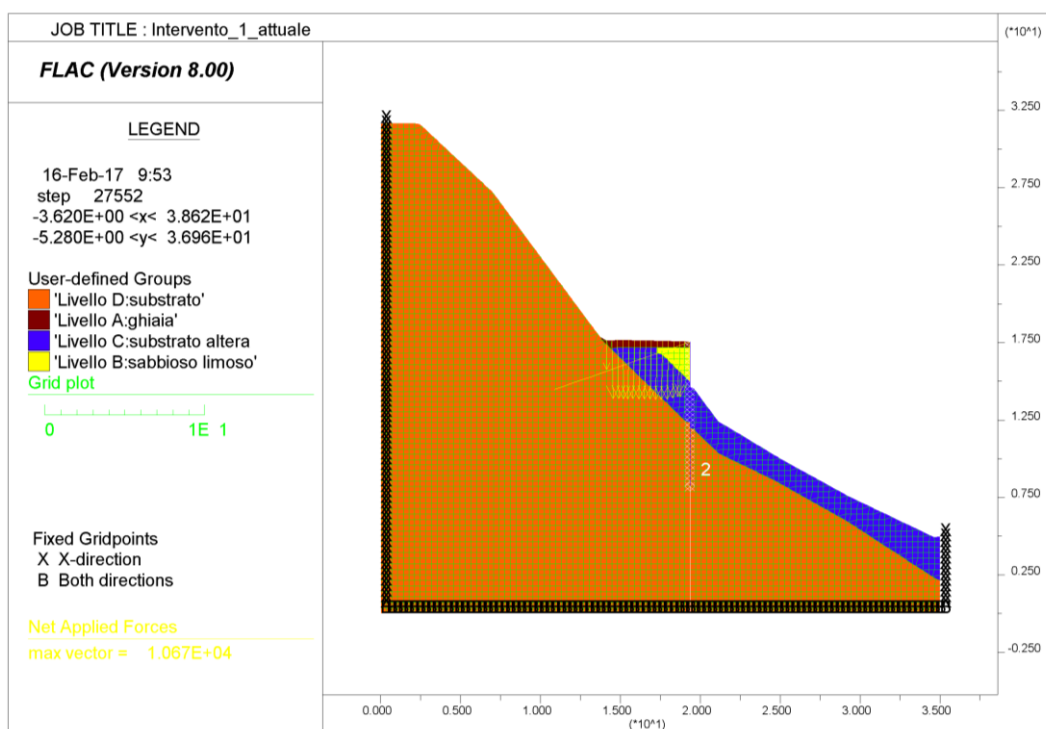


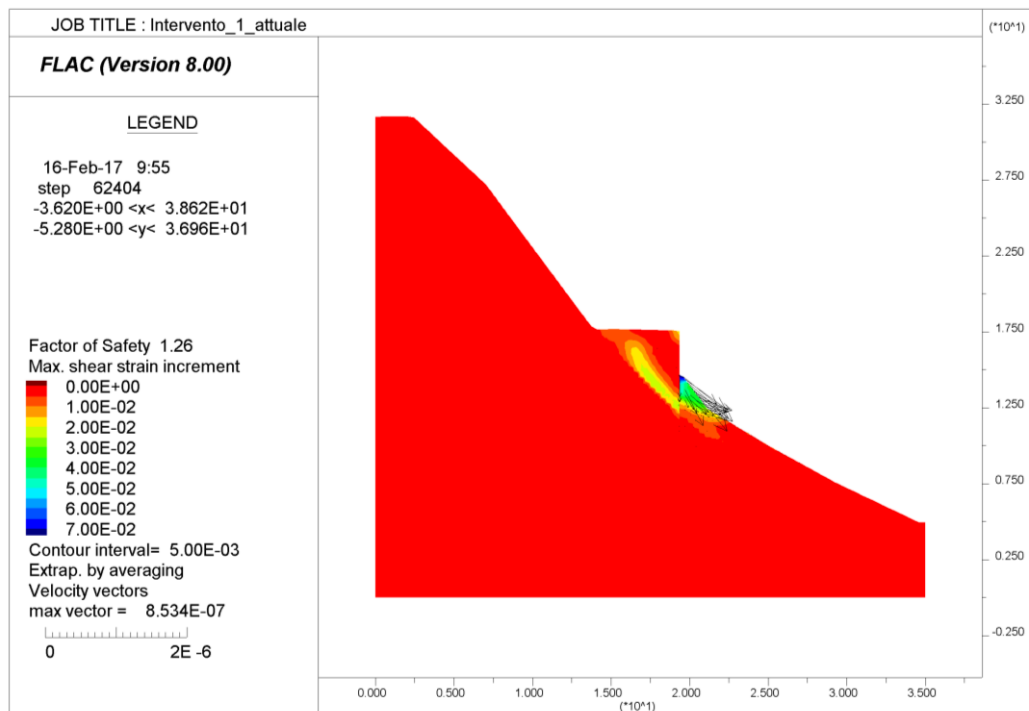
6.7 STATO DI PROGETTO

L'intervento previsto è il seguente:

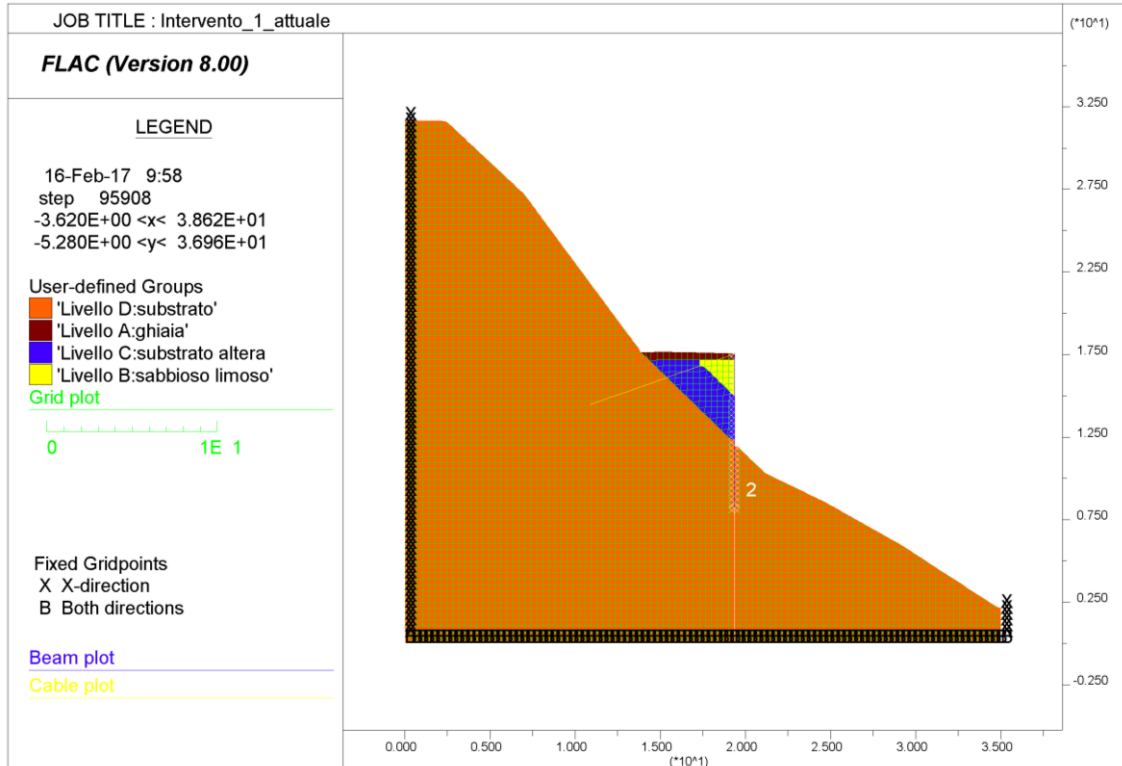
- parte di monte: nel tratto più vicino a Fosdinovo si prevede la pulizia del versante.
- parte di valle: realizzazione di paratia di micropali tirantata con tiranti attivi sormontata da cordolo in calcestruzzo armato che prosegue a sbalzo verso valle. Tale paratia sarà posta in continuazione di quella esistente.

Si è condotta l'analisi del versante a seguito della realizzazione della paratia. Il materiale a valle dell'opera di sostegno, è stato considerato instabile e quindi potenzialmente franato. L'obiettivo è quello di migliorare la sicurezza della strada.

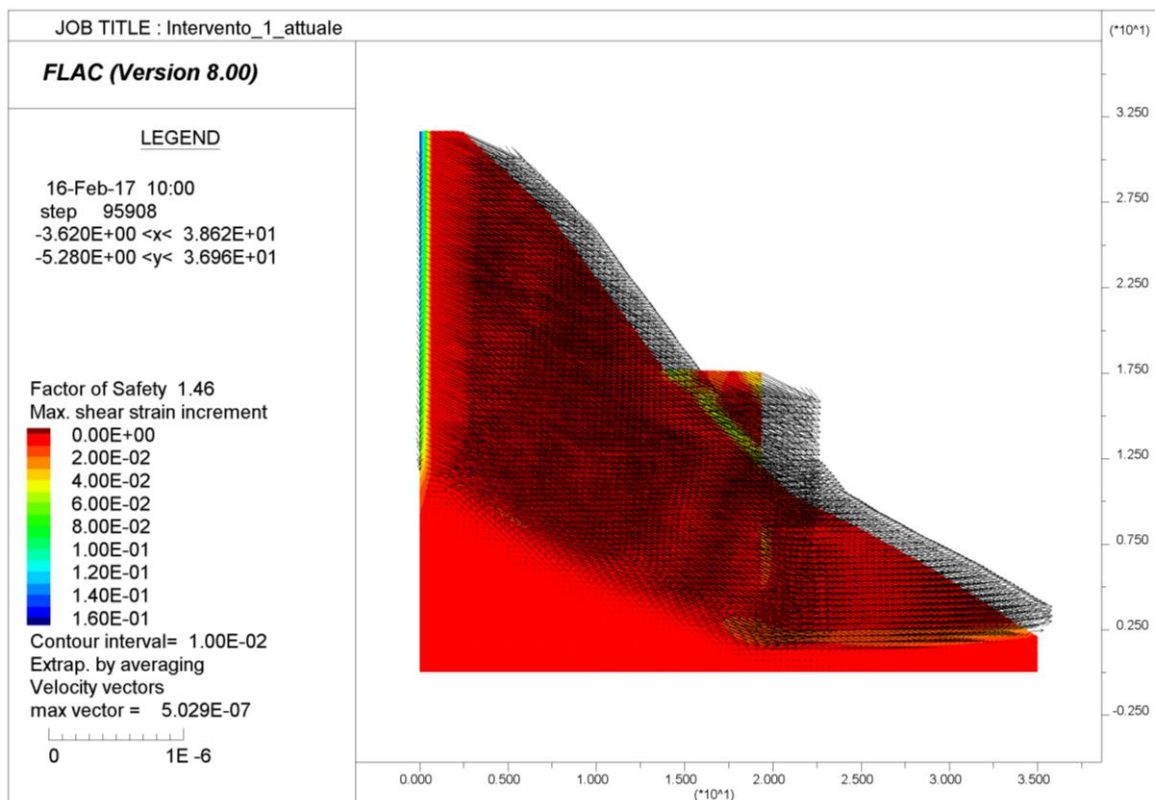




L'analisi, condotta in ambito statico ha fornito un coefficiente di sicurezza nei confronti della stabilità del versante pari a 1.26 pertanto l'intervento è migliorativo della sicurezza.



In caso di sisma è stata considerata instabile anche un'ulteriore parte di terreno a valle della paratia. L'analisi di stabilità ha fornito il risultato indicato nel seguito con un coefficiente di sicurezza pari a 1.46.



7 RELAZIONE SULL'ATTENDIBILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI CON CODICE DI CALCOLO AUTOMATICO

7.1 TIPO DI ANALISI SVOLTE

Paratia

Schematizzazione della paratia

Per la verifica della sicurezza strutturale e geotecnica dell'opera in oggetto è stato messo a punto un modello di calcolo monodimensionale pseudo-statico in cui la paratia viene schematizzata come corpo rigido.

La paratia viene 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 paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.

Sia il tratto fuori terra che il tratto interrato vengono suddivisi in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri.

Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso viene visto come un letto di "molle indipendenti fra di loro" reagenti a solo sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (costante di Winkler).

La matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

7.2 VERIFICHE SVOLTE

Sono state svolte le seguenti verifiche:

- Ambito strutturale
 - Stati Limite Ultimi

La verifica delle sezioni in C.A. è stata svolta in ambito non lineare supponendo il calcestruzzo non reagente a trazione ed ipotizzando:

 - per il calcestruzzo un comportamento elastico – plastico con limite di deformazione a compressione del 3.5 ‰.
 - per l'acciaio d'armatura un comportamento elastico – indefinitamente plastico.
- Ambito geotecnico
 - Paratia di micropali
 - Stati Limite Ultimi
 - verifica di resistenza al collasso per carico limite verticale
 - verifica di resistenza allo sfilamento dei micropali inclinati
 - Stati Limite di Esercizio
 - verifica della compatibilità degli spostamenti orizzontali.

7.3 COMBINAZIONI DI CALCOLO

Le combinazioni allo Stato Limite Ultimo sono state valutate secondo quanto previsto al paragrafo 2.5.3 del DM Infrastrutture 14 gennaio 2008.

Si rimanda al precedente paragrafo 4.3 della relazione per una più esaustiva trattazione sulle regole di combinazione delle azioni.

7.4 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO

7.4.1 Paratia

Con riferimento alle paratie, la progettazione – verifica delle strutture in C.A., sia in ambito strutturale che in ambito geotecnico, è stata condotta con l’ausilio del software “PAC12.0” Versione 12.01a, prodotto da “Aztec Informatica s.r.l” e regolarmente concesso in licenza alla ITEC engineering.

Il programma PAC è dedicato all'analisi ed al calcolo di paratie, palancolate e scavi sbadacchiati. Possono essere analizzate paratie di pali o micropali, disposti anche su più file, paratie a setti in c.a., paratie con sezione a T, e paratie metalliche a sezione generica. La paratia da analizzare può essere ancorata tramite una o più file di tiranti, attivi o passivi. Per il profilo del terreno, PAC consente la definizione per punti con possibilità di inserire sovraccarichi (concentrati e distribuiti) in qualsiasi punto o tratto del profilo. E’ possibile stratificare il terreno di monte e di valle. La caratterizzazione del terreno avviene fornendo i valori dei parametri fisici e meccanici più comuni.

La falda può essere messa in conto con quote differenti per la zona di monte e quella di valle. PAC permette di inserire, in un ambiente grafico integrato nel programma, carichi (forza X, forza Y, momento), vincoli (traslazione X e rotazione) e diagrammi di carico aggiuntivi (costanti o variabili linearmente).

Date le caratteristiche del terreno, i sovraccarichi e l'altezza fuori terra della paratia, PAC calcola la profondità di infissione necessaria per l'equilibrio alla traslazione ed alla rotazione (problema di Progetto) con i metodi classici (diagramma di spinta attiva, resistenza passiva, controspinta). E’ possibile impostare il fattore di sicurezza per il calcolo della profondità di infissione secondo le metodologie suggerite dagli Eurocodici. PAC, inoltre, consente di analizzare la paratia con il metodo delle molle equivalenti.

La paratia è discretizzata, mediante il metodo degli elementi finiti, in una serie di elementi tipo trave, mentre il terreno viene schematizzato con una serie di molle a comportamento elastoplastico reagenti solo a compressione (problema di Verifica). Questo tipo di analisi presenta il vantaggio, rispetto ai metodi classici, di considerare la paratia con la sua effettiva rigidità ed è in grado di fornire una soluzione in termini di spostamenti (i metodi classici non sono in grado di fornire informazioni sugli spostamenti).

Nel programma PAC è possibile selezionare il metodo con cui analizzare la paratia, nella opportuna finestra di opzioni di analisi. Nella fase di Verifica è possibile effettuare l'analisi per fasi di scavo. PAC esegue, inoltre, l'analisi di stabilità del pendio nei pressi dell'opera, così come prescrive la Normativa vigente, con il metodo di Fellenius o di Bishop.

L'analisi della paratia può essere eseguita sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche. Nel caso di paratie di pali o a setti in c.a., PAC esegue il progetto delle armature in funzione delle direttive impostate dall'Utente. La verifica delle sezioni può essere eseguita con il metodo delle Tensioni Ammissibili oppure con il metodo degli Stati Limite Ultimi. A conclusione dell'analisi e prima di effettuare la stampa degli elaborati, PAC consente, in un ambiente grafico integrato, la visualizzazione di tutti i risultati ottenuti.

7.4.2 Paratia + soletta

L'analisi strutturale dell'impalcato è stata condotta con l'ausilio del software "Straus7" Release 2.4.4, prodotto da "G+D Computing Software Informing" e regolarmente concesso in licenza alla ITEC engineering.

La scelta del codice è motivata dalla possibilità di gestire qualsiasi tipologia di modellazione FEM mediante l'ausilio di numerosi strumenti per la discretizzazione degli elementi strutturali e per l'applicazione delle azioni sulle strutture.

Tale software si colloca nel settore di mercato relativo ai Software di Analisi Meccanica e Strutturale ad Alto Livello. L'affidabilità del codice di calcolo è confermata dall'impiego dello stesso per la progettazione passata e attuale di costruzioni ad elevata valenza Architettonica e Strutturale (ad esempio Water Cube a Pechino, ponte LRT a Gerusalemme, ecc).

Le referenze di validazione sono disponibili nel sito del produttore del software al seguente link:

<http://www.hsh.info/verifman.html>

Il codice è da considerarsi estremamente efficace in quanto implementa teorie e modelli di valenza internazionale ed è corredato da una serie di esempi campioni calcolati con altri procedimenti o con formule note. L'output dei risultati permette una controverifica immediata dei risultati mediante schemi semplificati che tuttavia conducono alla medesime valutazioni.

I risultati sono riproducibili oltre che in formato numerico anche in formato grafico, permettendo così l'eventuale individuazione di incongruenze.

7.4.3 Stabilità del versante

La verifica di stabilità del versante è stata condotta per mezzo del software alle differenze finite FLAC 7.0 della Itasca Consulting Group Inc.

FLAC è un programma bidimensionale alle differenze finite per analisi meccaniche dei terreni. Il programma può simulare terreni composti da vari materiali e da rocce. Nel software possono essere modellati anche elementi strutturali quali tiranti, opere di sostegno, fondazioni.

Il fenomeno del rigonfiamento del terreno è stato verificato per mezzo del software alle differenze finite FLAC 7.0 della Itasca Consulting Group Inc.

In FLAC è possibile valutare la filtrazione dell'acqua all'interno degli strati di terreno una volta assegnati i parametri idraulici dei vari strati e i valori della piovosità. Il software alle differenze finite permette di analizzare la filtrazione con la legge di Darcy.

La documentazione è reperibile all'indirizzo web:

<http://www.itascacg.com/software/flac>

7.4.4 Analisi stabilità massi

Il programma AZTEC ROCK Caduta Massi, sviluppato in ambiente Windows, è dedicato all'analisi delle problematiche più frequenti oggetto della Meccanica delle Rocce e delle

sue applicazioni in ambito ingegneristico e geologico. In particolare il software effettua l'analisi della caduta massi ed effettua il dimensionamento delle opere di difesa.

E' un programma completo che non richiede moduli aggiuntivi. Il problema della caduta massi può essere affrontato:

- in campo piano;
- in campo spaziale.

Sia nel modello bidimensionale che nel modello tridimensionale l'input può avvenire in modo grafico o numerico. I dati imputati vengono immediatamente riportati in grafica, in tal modo si ha un controllo diretto dei dati digitati. La procedura di input prevede una prima fase di definizione dell'estensione del pendio da analizzare. La finestra grafica relativa alla gestione dell'input ha tutte le funzioni necessarie per una veloce definizione del problema.

7.4.4.1 Problema bidimensionale (analisi piana)

Il pendio deve essere modellato attraverso una serie di punti nel piano che rappresentano i vertici del profilo topografico. Per agevolare la fase di input il programma consente di importare il profilo tramite file formato DXF o formato TXT. Definita la geometria del profilo topografico, è possibile assegnare ad ogni tratto dello stesso il materiale che ne definisce le caratteristiche fisico-meccaniche.

7.4.4.2 Problema tridimensionale (analisi spaziale)

Il pendio può essere modellato con un piano quotato e/o con curve di livello. Il piano quotato viene definito da una serie di punti nello spazio mentre la curva di livello è definita da un elenco di punti ad ugual quota. Per agevolare la fase di input il programma consente di importare sia il piano quotato che le curve di livello tramite file formato DXF o formato TXT

o in formato DTM. Definita la geometria spaziale del profilo topografico, è possibile attribuire allo stesso delle aree ad ugual materiale. L'attribuzione del materiale al profilo può avvenire in due stadi differenti, o dopo la definizione del profilo topografico o dopo la triangolazione.

Il programma provvede ad effettuare automaticamente la triangolazione (Delaunay). I materiali costituenti il profilo topografico, sono contenuti in un archivio, e le caratteristiche fisico-meccaniche, da fornire per ognuno dei materiali definiti, sono il coefficiente di restituzione normale e tangenziale e l'angolo di attrito. Questi parametri, necessari per il calcolo dell'interazione masso-versante rappresentano rispettivamente il rapporto fra la velocità prima e dopo l'impatto del masso con il terreno (movimento in volo) e la dissipazione dell'energia cinetica (movimento di rotazione e traslazione).

L'analisi viene condotta nell'ipotesi di masso come punto materiale (considerando il moto del suo baricentro) che si muove lungo una traiettoria piana o spaziale a partire da una zona di distacco individuata dall'Utente in fase di input. Il programma consente di affrontare il problema della caduta massi sia in modo deterministico che probabilistico.

L'approccio probabilistico si rende necessario a causa dell'incertezza insita nella scelta delle

grandezze da introdurre nella simulazione del modello, quali il coeff. di restituzione, l'angolo di attrito masso-versante ed il volume del masso. Tra i metodi presenti è possibile utilizzare il metodo probabilistico di Montecarlo basato sulla generazione dei numeri casuali. Se la scelta ricade sull'approccio probabilistico il programma permette di inserire

un range di valori per posizione e velocità iniziali del masso, per i coefficienti di restituzione e per l'angolo di attrito per i materiali costituenti il pendio.

Al termine dell'analisi il programma propone risultati numerici sia di sintesi che di dettaglio e risultati grafici. Nei risultati di sintesi viene riportato:

- il numero di traiettorie analizzate;
- la distanza minima e massima percorsa dai massi;
- la velocità massima raggiunta;
- l'altezza massima sul pendio.

Nei risultati di dettaglio vengono riportati i risultati riguardanti ogni singola traiettoria analizzata:

- tempo di percorrenza;
- distanza percorsa;
- coordinate dei punti di rimbalzo;
- velocità di impatto e di rimbalzo.

Nei risultati grafici è possibile visualizzare:

- le traiettorie analizzate;
- i diagrammi di velocità;
- l'energia cinetica;
- l'energia totale;
- i punti di arresto;
- l'altezza massima del masso durante il moto lungo il pendio.

Questi risultati assumono una diversa rappresentazione in funzione del problema. Se il problema è piano i diagrammi sopra menzionati sono costituiti da istogrammi o linee rappresentanti l'andamento della grandezza visualizzata. Se il problema è spaziale i risultati vengono rappresentati in due modi:

- Rappresentazioni a mappa di colori (ogni elemento interessato dal moto viene campito da un colore la cui tonalità è proporzionale all'entità del valore misurato);
- Rappresentazioni a mappa di colori su sezioni di campionatura che sono a discrezione dell'utente.

Dall'osservazione delle traiettorie e delle energie dei massi lungo il pendio è possibile effettuare il posizionamento e il dimensionamento delle opere di difesa (barriere paramassi). Per il dimensionamento delle barriere paramassi AZTEC ROCK permette di definire parametri geometrici (altezza ed inclinazione) ed energetici (energia che può assorbire e coeff. di restituzione (dati forniti nella scheda dal costruttore). Per ogni barriera inserita vengono riportati:

- il numero di massi intercettati rispetto al totale delle traiettorie analizzate;
- l'energia massima;
- l'energia media.

L'Utente ha in questo modo la possibilità di progettare in modo ottimale la barriera (posizione, altezza, energia).

ALLEGATI

Intervento 1

ALLEGATI

Paratia

Normative di riferimento

- 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 per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Richiami teorici

Metodo di analisi

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

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

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 $\tan(\phi)$ e sulla coesione

Calcolo della spinte

Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

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 ρ 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.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con W il peso del cuneo e con C il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W \cdot C$$

Indicando con S la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/3 dell'altezza della parete stessa (diagramma triangolare con vertice in alto).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.

I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.

La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.

Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano N lo sforzo nel tirante, δ l'angolo d'attrito tirante-terreno, c_a l'adesione tirante-terreno, γ il peso di volume del terreno, D ed L_f il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed H la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi D L_f \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi D \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D c_a}$$

K_s rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi d \tau_{c0} \omega}$$

dove d è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, τ_{c0} è la resistenza tangenziale limite della malta ed ω è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli ($\omega = 1 - 0.075 [n \text{ trefoli} - 1]$).

Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare la tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo f_{1bd} .

Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di L_f si deve aggiungere la lunghezza di franco L che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.

La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, β , che rappresenta il rapporto fra lo sforzo N_0 al momento del tiro e lo sforzo N in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

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_r 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_r , 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).

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 rigidezza 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) occorre ricavare l'area equivalente, A_m , della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \Delta_m}{E_m}$$

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, rigidezza flessionale e tagliente nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliente ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

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 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 riassemblata 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 riassemblaggio 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.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).

Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tenendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s = s_0 + K(u - u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verrà inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.

Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.

Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata una fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.

In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

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:

$$\eta = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \tan \phi_i \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_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 ϕ_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 η . Questo procedimento è eseguito per il numero di centri prefissato e è assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

Dati

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	3.00	[m]
Profondità di infissione	7.00	[m]
Altezza totale della paratia	10.00	[m]
Lunghezza paratia	20.00	[m]

Numero di file di micropali	2	
Interasse fra le file di micropali	0.50	[m]
Interasse fra i micropali della fila	1.00	[m]
Diametro dei micropali	22.00	[cm]
Numero totale di micropali	39	
Numero di micropali per metro lineare	1.95	
Diametro esterno del tubolare	139.70	[mm]
Spessore del tubolare	8.00	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine del cordolo
Y	posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo

B	Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H	Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio

A	Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W	Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm ³]

N°	Y	Tipo	B	H	A	W
	[m]		[cm]	[cm]	[cmq]	[cm ³]
1	0.00	Calcestruzzo	110.00	60.00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N	numero ordine del punto
X	ascissa del punto espressa in [m]
Y	ordinata del punto espressa in [m]
A	inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
2	6.00	0.00	0.00
3	15.00	6.00	33.69
4	23.00	12.00	36.87
5	25.00	12.00	0.00

Profilo di valle

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-20.00	-15.00	0.00
2	-0.50	-3.00	0.00
3	0.00	-3.00	33.69

Descrizione terreni*Simbologia adottata*

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s	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 [kPa]

N°	Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kPa]
2	Livello B	14.450	18.440	31.00	20.67	0.1
3	Livello C	18.380	19.120	36.00	24.00	3.3
4	Livello D	24.000	24.000	20.00	13.33	218.0

Parametri per il calcolo dei tiranti*Simbologia adottata*

ϕ_{min}	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
δ_{min}	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
C _{min}	coesione minima del terreno espressa in [kPa]
ϕ_{med}	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
δ_{med}	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
C _{med}	coesione media del terreno espressa in [kPa]

N°	Descrizione	ϕ_{min}	ϕ_{med}	δ_{min}	δ_{med}	C _{min} [kPa]	C _{med} [kPa]
2	Livello B	31.00	31.00	20.67	20.67	0.1	0.1
3	Livello C	36.00	36.00	24.00	24.00	3.2	3.3
4	Livello D	20.00	20.00	13.33	13.33	218.0	218.0

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 GRADI(°) (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	5.40	42.00	25.00	0.75	0.75	Livello B	Livello B
2	2.00	45.00	25.00	2.47	2.47	Livello C	Livello C
3	15.00	0.00	0.00	9.41	9.41	Livello D	Livello D

Caratteristiche materiali utilizzati**Calcestruzzo**

Peso specifico	24.52	[kN/mc]
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R _{ck}	24517	[kPa]
Tensione di progetto a compressione σ_c	8336	[kPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	523	[kPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	1653	[kPa]

Acciaio

Tipo	S 355	
Tensione di snervamento f _{yk}	355000	[kPa]

Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f _{yk}	450000	[kPa]

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

F_x Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle

F_y Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso

M Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante

Q_l, Q_r Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kN/mq]

V_l, V_s Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kN/mq], positivi da monte verso valle

R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Condizione n° 1					
Carico distribuito sul profilo	$X_l = 0.00$	$X_r = 6.50$	$Q_l = 20.00$	$Q_r = 20.00$	

Condizione n° 2					
Carico distribuito sul profilo	$X_l = 0.00$	$X_r = 6.50$	$Q_l = 1.50$	$Q_r = 1.50$	

Caratteristiche tiranti di ancoraggio

Tipologia tiranti n° 1 - Tirante attivo (trefoli)

Calcolo tiranti: VERIFICA

I parametri di interazione tiranti-terreno sono stati definiti come percentuale di angolo di attrito e coesione dello strato:

- Aliquota angolo di attrito 45.00 %
- Aliquota coesione 45.00 %

Tiranti attivi armati con trefoli

Coefficiente cadute di tensione 1.30

Coefficiente di spinta Spinta a riposo

Malta utilizzata per i tiranti

Classe di Resistenza Rck 250

Resistenza caratteristica a compressione R_{ck} 24517 [kPa]

Acciaio utilizzato per i tiranti

Tipo Precomp

Tensione di snervamento f_{yk} 1569089 [kPa]

Descrizione tiranti di ancoraggio (Armatura trefoli)

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche

- N numero d'ordine della fila
- Y ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
- I interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
- α inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
- D diametro della perforazione espresso in [cm]
- C_{esp} coeff. di espansione laterale
- ALL allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
- nr numero di tiranti della fila
- L_t lunghezza totale del tirante espresso in [m]
- L_f lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

- N numero d'ordine della fila
- A_t area del singolo trefolo espressa in [cmq]
- nt numero di trefoli del tirante
- T tiro iniziale espresso in [kN]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
	[m]	[m]		[cm]				[m]	[m]
1	0.30	2.50	20.00	16.00	1.10	Sfalsati	8	15.00	10.00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T
	[cmq]		[kN]
1	1.40	3	300.00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n° 1 [A1-M1]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.30	
Condizione 1 (Stradale)	1.50	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.30	1.00

Combinazione n° 2 [A1-M1]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 2 (Permanente / sisma V+)	1.00	1.00

Combinazione n° 3 [A2-M2]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 1 (Stradale)	1.30	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.00	1.00

Combinazione n° 4 [A2-M2]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 2 (Permanente / sisma V+)	1.00	1.00

Combinazione n° 5 [SLER]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 1 (Stradale)	1.00	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.00	1.00

Combinazione n° 6 [SLEF]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 1 (Stradale)	1.00	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.00	1.00

Combinazione n° 7 [SLEQ]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 1 (Stradale)	1.00	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.00	1.00

Combinazione n° 8 [SLEQ]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 2 (Permanente / sisma V+)	1.00	1.00

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

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

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Permanenti ns	Favorevole	γ_{Gfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Permanenti ns	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.35	1.15	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\psi}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_r	1.00	1.00	1.00	1.00

TIRANTI DI ANCORAGGIOCoefficienti parziali γ_R per le verifiche dei tiranti**Resistenza**

Laterale

 γ_{st} **Tiranti**

1.20

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.

Numero di verticali indagate

1

 $\xi_3=1.80$ $\xi_4=1.80$ Verifica materiali : Stato Limite Ultimo***Impostazioni verifiche SLE***Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	1.50
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Verifica Taglio - Metodo dell'inclinazione variabile del traliccio

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) / (1.0 + \cot^2 \theta)$$

con:

d	altezza utile sezione [mm]
b_w	larghezza minima sezione [mm]
σ_{cp}	tensione media di compressione [N/mm ²]
ρ_l	rapporto geometrico di armatura
A_{sw}	area armatura trasversale [mm ²]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]
α_c	coefficiente maggiorativo, funzione di fcd e σ_{cp}

$$f_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali Molto aggressive
 Armatura ad aderenza migliorata
 Sensibilità delle armature Poco sensibile

Valori limite delle aperture delle fessure $w_1 = 0.20$
 $w_2 = 0.30$
 $w_3 = 0.40$
 Metodo di calcolo aperture delle fessure NTC 2008 - II° Formulazione
Verifica delle tensioni
 Combinazione di carico Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ - $\sigma_f < 0.80 f_{yk}$
 Quasi permanente $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$

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 di Fellenius

Impostazioni analisi sismica**Identificazione del sito**

Latitudine 44.133273
 Longitudine 10.017604
 Comune Fosdinovo
 Provincia Massa-Carrara
 Regione Toscana

Punti di interpolazione del reticolo 18265 - 18487 - 18488 - 18266

Tipo di opera

Tipo di costruzione Opera ordinaria
 Vita nominale 50 anni
 Classe d'uso III - Affollamenti significativi e industrie non pericolose
 Vita di riferimento

Combinazioni/Fase

	75 anni SLU	SLE
Accelerazione al suolo $[m/s^2]$	1.687	0.708
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.384	2.471
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_c^*	0.295	0.263
Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.200	1.200
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S_s)	1.549	1.600
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U_s [m]	0.050	0.050
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.480	0.480
Coefficiente di intensità sismica (percento)	15.341	6.647
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.00	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
 Forma diagramma incremento sismico : Triangolare con vertice in alto.

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 60 elementi fuori terra e 140 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	3.00	[m]
Profondità di infissione	7.00	[m]
Altezza totale della paratia	10.00	[m]

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	Y _{Pa}	Is	Y _{Is}	Pw	Y _{Pw}	Pp	Y _{Pp}	Pc	Y _{Pc}
		[kN]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]
1	[A1-M1]	93.81	1.88	--	--	--	--	-37.27	6.28	8.36	9.26
2	[A1-M1 S]	59.76	1.76	16.87	2.00	--	--	-26.71	6.21	4.62	9.34
3	[A2-M2]	129.74	2.78	--	--	--	--	-80.26	6.40	18.67	9.31
4	[A2-M2 S]	86.58	3.25	27.10	2.00	--	--	-71.97	6.36	14.90	9.32
5	[SLER]	82.88	1.65	--	--	--	--	-26.84	6.32	5.53	9.31
6	[SLEF]	82.88	1.65	--	--	--	--	-26.84	6.32	5.53	9.31
7	[SLEQ]	82.88	1.65	--	--	--	--	-26.84	6.32	5.53	9.31
8	[SLEQ S]	65.11	1.60	6.26	2.00	--	--	-21.16	6.24	3.38	9.39

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	Y _{Rc}	Rt	Y _{Rt}	Rv	Y _{Rv}	Rp	Y _{Rp}
1	[A1-M1]	0.00	0.00	64.88	0.30	--	--	--	--
2	[A1-M1 S]	0.00	0.00	54.53	0.30	--	--	--	--
3	[A2-M2]	0.00	0.00	68.12	0.30	--	--	--	--
4	[A2-M2 S]	0.00	0.00	56.59	0.30	--	--	--	--
5	[SLER]	0.00	0.00	61.54	0.30	--	--	--	--
6	[SLEF]	0.00	0.00	61.54	0.30	--	--	--	--
7	[SLEQ]	0.00	0.00	61.54	0.30	--	--	--	--
8	[SLEQ S]	0.00	0.00	53.58	0.30	--	--	--	--

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P _{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P _{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C _{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R _{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]

Pp Portanza di punta, espressa in [kN]

n°	Tipo	P _{NUL}	P _{INV}	C _{ROT}	MP	R/R _{MAX}	Pp
1	[A1-M1]	5.11	5.45	8.17	34.04	0.74	184.66
2	[A1-M1 S]	4.66	5.45	8.31	30.50	0.53	184.66
3	[A2-M2]	5.38	5.45	8.25	45.39	2.43	140.73
4	[A2-M2 S]	5.38	5.45	8.27	35.46	2.12	140.73
5	[SLER]	5.01	5.45	8.25	34.04	0.54	184.66
6	[SLEF]	5.01	5.45	8.25	34.04	0.54	184.66
7	[SLEQ]	5.01	5.45	8.25	34.04	0.54	184.66
8	[SLEQ S]	4.62	5.45	8.39	27.66	0.43	184.66

Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata

Y	ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt	numero di tiranti della fila
N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kN]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L _f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
L _d	lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
L _{d_f}	lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS	Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione definita e lunghezza di fondazione di progetto.
A _f	area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
Rt/ml	reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kN]
σ _f	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

Caratteristiche armatura file tiranti

1 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Tipologia	Y	nt	A _f	L	L _f	L _d	L _{d_f}	FS
		[m]		[cmq]	[m]	[m]	[m]	[m]	
1	Tirante attivo (trefoli)	0.30	8	4.20	11.60	6.60	15.00	10.00	1.52

Combinazione n° 1

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ _f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	172.61	69.0432	410971	-0.35256

Combinazione n° 2

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ _f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	145.07	58.0295	345414	-0.52254

Combinazione n° 3

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ _f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	181.22	72.4890	431482	-0.29938

Combinazione n° 4

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ _f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	150.56	60.2227	358469	-0.48869

Combinazione n° 5

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ_f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	163.73	65.4914	389830	-0.40738

Combinazione n° 6

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ_f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	163.73	65.4914	389830	-0.40738

Combinazione n° 7

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ_f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	163.73	65.4914	389830	-0.40738

Combinazione n° 8

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ_f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	142.55	57.0204	339407	-0.53811

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	[A1-M1]	15.54	6.85	28.91	5.10	41.79	10.00	MAX
--	--	-55.47	2.65	-54.25	0.30	0.00	0.00	MIN
2	[A1-M1 S]	7.98	7.20	22.09	4.65	38.02	10.00	MAX
--	--	-48.49	2.45	-51.12	0.30	0.00	0.00	MIN
3	[A2-M2]	33.18	7.05	61.60	5.35	42.97	10.00	MAX
--	--	-79.17	3.10	-58.10	0.30	0.00	0.00	MIN
4	[A2-M2 S]	26.27	7.05	57.07	5.35	38.77	10.00	MAX
--	--	-73.59	3.20	-53.84	0.30	0.00	0.00	MIN
5	[SLER]	9.84	7.00	21.32	5.00	40.57	10.00	MAX
--	--	-45.69	2.55	-50.77	0.30	0.00	0.00	MIN
6	[SLEF]	9.84	7.00	21.32	5.00	40.57	10.00	MAX
--	--	-45.69	2.55	-50.77	0.30	0.00	0.00	MIN
7	[SLEQ]	9.84	7.00	21.32	5.00	40.57	10.00	MAX
--	--	-45.69	2.55	-50.77	0.30	0.00	0.00	MIN
8	[SLEQ S]	5.68	7.40	17.78	4.60	37.68	10.00	MAX
--	--	-45.37	2.30	-50.17	0.30	0.00	0.00	MIN

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	Y _u	V	Y _v	
		[cm]	[m]	[cm]	[m]	
1	[A1-M1]	0.2176	3.75	0.0144	0.00	MAX
--	--	-0.4371	0.00	0.0000	0.00	MIN
2	[A1-M1 S]	0.1023	4.25	0.0127	0.00	MAX
--	--	-0.6092	0.00	0.0000	0.00	MIN
3	[A2-M2]	0.4768	3.70	0.0149	0.00	MAX
--	--	-0.4111	0.00	0.0000	0.00	MIN
4	[A2-M2 S]	0.3549	3.95	0.0130	0.00	MAX
--	--	-0.6037	0.00	0.0000	0.00	MIN
5	[SLER]	0.1315	4.00	0.0138	0.00	MAX
--	--	-0.4843	0.00	0.0000	0.00	MIN
6	[SLEF]	0.1315	4.00	0.0138	0.00	MAX
--	--	-0.4843	0.00	0.0000	0.00	MIN
7	[SLEQ]	0.1315	4.00	0.0138	0.00	MAX
--	--	-0.4843	0.00	0.0000	0.00	MIN
8	[SLEQ S]	0.0692	4.45	0.0126	0.00	MAX
--	--	-0.6213	0.00	0.0000	0.00	MIN

Stabilità globale

Metodo di Fellenius
 Numero di cerchi analizzati 100

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

n°	Tipo	(X _c , Y _c)	R	(X _v , Y _v)	(X _m , Y _m)	FS
		[m]	[m]	[m]	[m]	
3	[A2-M2]	(0.00; 9.00)	19.00	(-8.57; -7.96)	(19.00; 9.00)	4.01
4	[A2-M2 S]	(0.00; 9.00)	19.00	(-8.57; -7.96)	(19.00; 9.00)	3.28

Combinazione n° 4

Numero di strisce 51

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
 Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
 Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
 Le strisce sono numerate da monte verso valle
 N° numero d'ordine della striscia
 W peso della striscia espresso in [kN]
 α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
 φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
 c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 L sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
 C_{tn}, C_{tt} contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	Wsinα	L	φ	c	u	(C _{tn} ; C _{tt})
	[kN]					[kPa]	[kPa]	[kN]
1	2.2153	-25.91	-0.9681	0.60	25.67	0.1	0.0	(0.00; 0.00)

N°	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
	[kN]					[kPa]	[kPa]	[kN]
2	6.7021	-24.13	-2.7399	0.59	25.67	0.1	0.0	(0.00; 0.00)
3	11.0371	-22.37	-4.2009	0.58	25.67	0.1	0.0	(0.00; 0.00)
4	15.7606	-20.64	-5.5544	0.57	30.17	2.6	0.0	(0.00; 0.00)
5	20.7340	-18.92	-6.7226	0.57	30.17	2.6	0.0	(0.00; 0.00)
6	25.5318	-17.22	-7.5583	0.56	30.17	2.6	0.0	(0.00; 0.00)
7	30.1588	-15.54	-8.0778	0.56	30.17	2.6	0.0	(0.00; 0.00)
8	34.6692	-13.87	-8.3084	0.55	23.20	88.5	0.0	(0.00; 0.00)
9	39.8062	-12.21	-8.4171	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
10	45.0215	-10.56	-8.2506	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
11	50.0325	-8.92	-7.7583	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
12	54.8419	-7.29	-6.9579	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
13	59.4524	-5.66	-5.8666	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
14	63.8658	-4.04	-4.5015	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
15	68.0836	-2.42	-2.8793	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
16	70.9951	-0.81	-1.0008	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
17	98.7336	0.82	1.4167	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
18	101.2511	2.47	4.3586	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
19	103.5632	4.11	7.4302	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
20	105.6690	5.76	10.6138	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
21	107.5668	7.42	13.8914	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
22	109.2545	9.08	17.2448	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
23	110.7294	10.75	20.6554	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
24	111.9884	12.43	24.1041	0.56	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
25	113.0274	14.12	27.5715	0.56	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
26	113.8418	15.82	31.0373	0.57	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
27	114.4261	17.54	34.4805	0.57	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
28	111.7399	19.24	36.8192	0.56	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
29	113.4964	20.93	40.5365	0.56	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
30	115.7819	22.63	44.5545	0.57	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
31	117.8344	24.36	48.6029	0.58	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
32	119.6443	26.11	52.6581	0.59	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
33	121.2010	27.89	56.6949	0.59	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
34	122.4921	29.70	60.6864	0.60	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
35	123.5033	31.54	64.6029	0.62	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
36	129.7764	33.46	71.5585	0.66	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
37	129.6302	35.48	75.2315	0.68	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
38	129.0938	37.54	78.6584	0.69	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
39	128.1347	39.66	81.7846	0.71	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
40	126.7133	41.85	84.5471	0.74	16.23	174.4	0.0	(5.36; 2.87)
41	124.7811	44.12	86.8719	0.77	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
42	122.2778	46.48	88.6710	0.80	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
43	119.1265	48.95	89.8369	0.84	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
44	115.2496	51.55	90.2527	0.88	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
45	110.9117	54.30	90.0705	0.94	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
46	105.6602	57.26	88.8698	1.02	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
47	99.0519	60.47	86.1863	1.12	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
48	90.6292	64.05	81.4916	1.26	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
49	79.5501	68.18	73.8492	1.48	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
50	63.8350	73.29	61.1408	1.91	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
51	27.2312	83.09	27.0335	4.57	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)

Resistenza a taglio paratia= 0.0000 [kN]

$\Sigma W_i = 4436.3050$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 1764.2512$ [kN]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 1112.1677$ [kN]

$\Sigma c_i b_i / \cos \alpha_i = 6011.3061$ [kN]

Descrizione armatura micropali e caratteristiche sezione

Diametro del micropalo	22.00 cm
Area della sezione trasversale	380.13 cm ²
Diametro esterno del tubolare	139.70 mm
Spessore del tubolare	8.00 mm
Area della sezione tubolare	33.10 cm ²
Inerzia della sezione tubolare	720.29 cm ⁴

Verifica armatura paratia (Sezioni critiche)

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
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)
Mu	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
Nu	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)
T	taglio espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente espresso in [kN]
FS _T	fattore di sicurezza a taglio

N°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
1	[A1-M1]	2.65	-28.45	14.58	-47.59	24.39	1.67
2	[A1-M1 S]	2.45	-24.86	12.46	-47.59	23.85	1.91
3	[A2-M2]	3.10	-40.60	15.60	-47.56	18.28	1.17
4	[A2-M2 S]	3.20	-37.74	13.55	-47.56	17.07	1.26

N°	Tipo	Y	T	Tr	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	
1	[A1-M1]	0.30	-27.82	589.92	21.20
2	[A1-M1 S]	0.30	-26.21	589.92	22.50
3	[A2-M2]	5.35	31.59	589.92	18.67
4	[A2-M2 S]	5.35	29.27	589.92	20.16

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ _f	tensione normale nell'armatura, espressa in [kPa]
τ _f	tensione tangenziale nell'armatura, espresso in [kPa]
σ _{id}	tensione ideale ($\sigma_{id} = (\sigma_f^2 + 3 \tau_f^2)^{0.5}$) nella sezione del tubolare, espressa in [kPa]

N°	Tipo	σ _f	Y(σ)	τ _f	Y(τ)	σ _{id}	Y(σ _{id})
		[kPa]	[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
5	[SLER]	231412	2.55	15731	0.30	231412	2.55
6	[SLEF]	231412	2.55	15731	0.30	231412	2.55
7	[SLEQ]	231412	2.55	15731	0.30	231412	2.55
8	[SLEQ S]	229309	2.35	15545	0.30	229309	2.35

Verifica armatura paratia (Inviluppo)

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
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)
Mu	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
Nu	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)
T	taglio espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente espresso in [kN]
FS _T	fattore di sicurezza a taglio

n°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS	T	V _{Rd}	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]		[kN]	[kN]	
1	[A1-M1]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1000.00	0.00	589.92	1000.00
1	[A1-M1]	0.05	0.01	0.05	44.86	384.08	1000.00	0.62	589.92	958.94
1	[A1-M1]	0.10	0.06	0.09	47.77	72.16	774.32	1.62	589.92	363.80
1	[A1-M1]	0.15	0.17	0.14	47.65	39.70	283.99	2.61	589.92	226.16
1	[A1-M1]	0.20	0.32	0.19	47.60	27.49	147.50	3.58	589.92	164.97
1	[A1-M1]	0.25	0.53	0.23	47.58	21.09	90.53	4.52	589.92	130.41
1	[A1-M1]	0.30	0.78	12.39	38.21	610.58	49.28	-29.80	589.92	19.80
4	[A2-M2 S]	0.35	-1.21	10.89	-44.41	399.85	36.72	-28.97	589.92	20.36

n°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS	T	V _{Rdr}	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]		[kN]	[kN]	
4	[A2-M2 S]	0.40	-2.56	10.94	-47.97	205.03	18.75	-28.18	589.92	20.93
4	[A2-M2 S]	0.45	-3.88	10.98	-48.01	135.75	12.36	-27.42	589.92	21.51
4	[A2-M2 S]	0.50	-5.18	11.03	-47.88	101.88	9.24	-26.69	589.92	22.11
4	[A2-M2 S]	0.55	-6.45	11.08	-47.81	82.03	7.41	-25.98	589.92	22.71
4	[A2-M2 S]	0.60	-7.69	11.12	-47.76	69.03	6.21	-25.30	589.92	23.32
4	[A2-M2 S]	0.65	-8.90	11.17	-47.72	59.88	5.36	-24.65	589.92	23.93
4	[A2-M2 S]	0.70	-10.07	11.22	-47.70	53.10	4.74	-24.03	589.92	24.55
4	[A2-M2 S]	0.75	-11.21	11.26	-47.68	47.91	4.25	-23.44	589.92	25.17
4	[A2-M2 S]	0.80	-12.30	11.31	-47.66	43.80	3.87	-22.87	589.92	25.79
3	[A2-M2]	0.85	-13.44	13.51	-47.68	47.93	3.55	-22.34	589.92	26.41
3	[A2-M2]	0.90	-14.54	13.55	-47.66	44.43	3.28	-21.83	589.92	27.03
3	[A2-M2]	0.95	-15.62	13.60	-47.65	41.49	3.05	-21.35	589.92	27.64
3	[A2-M2]	1.00	-16.67	13.65	-47.64	38.99	2.86	-20.89	589.92	28.24
3	[A2-M2]	1.05	-17.71	13.69	-47.64	36.84	2.69	-20.46	589.92	28.83
3	[A2-M2]	1.10	-18.72	13.74	-47.63	34.96	2.54	-20.06	589.92	29.41
3	[A2-M2]	1.15	-19.71	13.79	-47.62	33.30	2.42	-19.67	589.92	29.98
3	[A2-M2]	1.20	-20.69	13.83	-47.62	31.84	2.30	-19.29	589.92	30.58
3	[A2-M2]	1.25	-21.64	13.88	-47.61	30.53	2.20	-18.91	589.92	31.20
3	[A2-M2]	1.30	-22.58	13.93	-47.61	29.36	2.11	-18.51	589.92	31.87
3	[A2-M2]	1.35	-23.49	13.97	-47.60	28.31	2.03	-18.11	589.92	32.57
3	[A2-M2]	1.40	-24.39	14.02	-47.60	27.36	1.95	-17.70	589.92	33.32
3	[A2-M2]	1.45	-25.26	14.07	-47.60	26.50	1.88	-17.29	589.92	34.12
3	[A2-M2]	1.50	-26.12	14.11	-47.59	25.72	1.82	-16.87	589.92	34.96
3	[A2-M2]	1.55	-26.95	14.16	-47.59	25.00	1.77	-16.45	589.92	35.87
3	[A2-M2]	1.60	-27.76	14.21	-47.59	24.35	1.71	-16.02	589.92	36.83
3	[A2-M2]	1.65	-28.55	14.25	-47.59	23.75	1.67	-15.58	589.92	37.87
3	[A2-M2]	1.70	-29.32	14.30	-47.58	23.21	1.62	-15.13	589.92	38.98
3	[A2-M2]	1.75	-30.06	14.35	-47.58	22.70	1.58	-14.68	589.92	40.18
3	[A2-M2]	1.80	-30.79	14.39	-47.58	22.24	1.55	-14.23	589.92	41.47
3	[A2-M2]	1.85	-31.49	14.44	-47.58	21.82	1.51	-13.76	589.92	42.86
3	[A2-M2]	1.90	-32.16	14.48	-47.58	21.43	1.48	-13.29	589.92	44.37
3	[A2-M2]	1.95	-32.82	14.53	-47.58	21.07	1.45	-12.82	589.92	46.02
3	[A2-M2]	2.00	-33.45	14.58	-47.57	20.74	1.42	-12.34	589.92	47.81
3	[A2-M2]	2.05	-34.05	14.62	-47.57	20.43	1.40	-11.85	589.92	49.78
3	[A2-M2]	2.10	-34.63	14.67	-47.57	20.15	1.37	-11.36	589.92	51.95
3	[A2-M2]	2.15	-35.19	14.72	-47.57	19.90	1.35	-10.86	589.92	54.34
3	[A2-M2]	2.20	-35.72	14.76	-47.57	19.66	1.33	-10.35	589.92	57.00
3	[A2-M2]	2.25	-36.22	14.81	-47.57	19.45	1.31	-9.84	589.92	59.97
3	[A2-M2]	2.30	-36.70	14.86	-47.57	19.26	1.30	-9.32	589.92	63.31
3	[A2-M2]	2.35	-37.15	14.90	-47.57	19.08	1.28	-8.79	589.92	67.09
3	[A2-M2]	2.40	-37.58	14.95	-47.57	18.92	1.27	-8.26	589.92	71.40
3	[A2-M2]	2.45	-37.98	15.00	-47.57	18.78	1.25	-7.72	589.92	76.38
3	[A2-M2]	2.50	-38.35	15.04	-47.57	18.66	1.24	-7.18	589.92	82.16
3	[A2-M2]	2.55	-38.70	15.09	-47.57	18.55	1.23	-6.63	589.92	88.98
3	[A2-M2]	2.60	-39.01	15.14	-47.57	18.46	1.22	-6.07	589.92	97.13
3	[A2-M2]	2.65	-39.30	15.18	-47.57	18.38	1.21	-5.56	589.92	106.10
3	[A2-M2]	2.70	-39.56	15.23	-47.57	18.31	1.20	-5.09	589.92	115.82
3	[A2-M2]	2.75	-39.80	15.28	-47.56	18.26	1.20	-4.62	589.92	127.72
3	[A2-M2]	2.80	-40.00	15.32	-47.56	18.22	1.19	-4.14	589.92	142.65
3	[A2-M2]	2.85	-40.18	15.37	-47.56	18.20	1.18	-3.64	589.92	161.91
3	[A2-M2]	2.90	-40.32	15.42	-47.56	18.19	1.18	3.32	589.92	177.54
3	[A2-M2]	2.95	-40.44	15.46	-47.56	18.19	1.18	3.73	589.92	158.07
3	[A2-M2]	3.00	-40.52	15.51	-47.56	18.21	1.17	4.15	589.92	142.22
3	[A2-M2]	3.05	-40.58	15.56	-47.56	18.24	1.17	4.54	589.92	129.93
3	[A2-M2]	3.10	-40.60	15.60	-47.56	18.28	1.17	5.03	589.92	117.39
3	[A2-M2]	3.15	-40.59	15.65	-47.57	18.34	1.17	5.45	589.92	108.23
3	[A2-M2]	3.20	-40.55	15.70	-47.57	18.41	1.17	5.82	589.92	101.44
3	[A2-M2]	3.25	-40.48	15.74	-47.57	18.50	1.17	6.15	589.92	95.92
3	[A2-M2]	3.30	-40.38	15.79	-47.57	18.60	1.18	6.48	589.92	90.97
3	[A2-M2]	3.35	-40.25	15.84	-47.57	18.72	1.18	6.83	589.92	86.36
3	[A2-M2]	3.40	-40.08	15.88	-47.57	18.85	1.19	7.20	589.92	81.92
3	[A2-M2]	3.45	-39.88	15.93	-47.57	19.00	1.19	7.58	589.92	77.82
3	[A2-M2]	3.50	-39.65	15.98	-47.57	19.17	1.20	7.96	589.92	74.15
3	[A2-M2]	3.55	-39.38	16.02	-47.57	19.36	1.21	8.33	589.92	70.85
3	[A2-M2]	3.60	-39.08	16.07	-47.57	19.56	1.22	8.69	589.92	67.87
3	[A2-M2]	3.65	-38.74	16.12	-47.57	19.79	1.23	9.05	589.92	65.15
3	[A2-M2]	3.70	-38.37	16.16	-47.57	20.04	1.24	9.41	589.92	62.66
3	[A2-M2]	3.75	-37.97	16.21	-47.57	20.31	1.25	9.77	589.92	60.37
3	[A2-M2]	3.80	-37.53	16.26	-47.57	20.61	1.27	10.12	589.92	58.27
3	[A2-M2]	3.85	-37.05	16.30	-47.58	20.93	1.28	10.47	589.92	56.36
3	[A2-M2]	3.90	-36.54	16.35	-47.58	21.29	1.30	10.80	589.92	54.63
3	[A2-M2]	3.95	-36.00	16.40	-47.58	21.67	1.32	11.29	589.92	52.23
3	[A2-M2]	4.00	-35.41	16.44	-47.58	22.09	1.34	12.02	589.92	49.07
3	[A2-M2]	4.05	-34.79	16.49	-47.58	22.55	1.37	12.76	589.92	46.25
3	[A2-M2]	4.10	-34.14	16.54	-47.58	23.05	1.39	13.50	589.92	43.71
3	[A2-M2]	4.15	-33.44	16.58	-47.59	23.59	1.42	14.25	589.92	41.41

n°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS	T	V _{Rdr}	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]		[kN]	[kN]	
3	[A2-M2]	4.20	-32.71	16.63	-47.59	24.19	1.45	15.00	589.92	39.33
3	[A2-M2]	4.25	-31.94	16.68	-47.59	24.84	1.49	15.76	589.92	37.43
3	[A2-M2]	4.30	-31.14	16.72	-47.59	25.56	1.53	16.53	589.92	35.69
3	[A2-M2]	4.35	-30.29	16.77	-47.60	26.35	1.57	17.30	589.92	34.10
3	[A2-M2]	4.40	-29.41	16.81	-47.60	27.22	1.62	18.08	589.92	32.63
3	[A2-M2]	4.45	-28.48	16.86	-47.60	28.18	1.67	18.86	589.92	31.27
3	[A2-M2]	4.50	-27.52	16.91	-47.61	29.25	1.73	19.65	589.92	30.02
3	[A2-M2]	4.55	-26.52	16.95	-47.61	30.44	1.80	20.45	589.92	28.85
3	[A2-M2]	4.60	-25.47	17.00	-47.62	31.78	1.87	21.25	589.92	27.76
3	[A2-M2]	4.65	-24.39	17.05	-47.62	33.29	1.95	22.06	589.92	26.74
4	[A2-M2 S]	4.70	-23.28	14.94	-47.61	30.56	2.05	22.88	589.92	25.78
4	[A2-M2 S]	4.75	-22.24	14.99	-47.62	32.10	2.14	23.71	589.92	24.88
4	[A2-M2 S]	4.80	-21.15	15.04	-47.62	33.86	2.25	24.54	589.92	24.04
4	[A2-M2 S]	4.85	-20.02	15.08	-47.63	35.88	2.38	25.37	589.92	23.25
4	[A2-M2 S]	4.90	-18.85	15.13	-47.64	38.23	2.53	26.22	589.92	22.50
4	[A2-M2 S]	4.95	-17.64	15.18	-47.65	40.99	2.70	27.03	589.92	21.82
4	[A2-M2 S]	5.00	-16.39	15.22	-47.66	44.27	2.91	27.79	589.92	21.23
4	[A2-M2 S]	5.05	-15.10	15.27	-47.68	48.20	3.16	28.48	589.92	20.71
4	[A2-M2 S]	5.10	-13.79	15.32	-47.70	52.99	3.46	29.08	589.92	20.29
4	[A2-M2 S]	5.15	-12.44	15.36	-47.72	58.95	3.84	29.62	589.92	19.91
4	[A2-M2 S]	5.20	-11.06	15.41	-47.75	66.51	4.32	30.14	589.92	19.57
4	[A2-M2 S]	5.25	-9.66	15.46	-47.79	76.45	4.95	30.63	589.92	19.26
4	[A2-M2 S]	5.30	-8.23	15.50	-47.84	90.06	5.81	31.12	589.92	18.96
4	[A2-M2 S]	5.35	-6.78	15.55	-47.91	109.83	7.06	31.59	589.92	18.67
4	[A2-M2 S]	5.40	-5.32	15.60	-48.03	140.80	9.03	30.37	589.92	19.43
4	[A2-M2 S]	5.45	-3.91	15.64	-48.10	192.65	12.32	28.55	589.92	20.66
4	[A2-M2 S]	5.50	-2.56	15.69	-47.01	287.73	18.34	26.78	589.92	22.03
1	[A1-M1]	5.55	1.62	17.28	42.78	457.25	26.46	25.10	589.92	23.50
1	[A1-M1]	5.60	2.20	17.33	45.54	357.96	20.66	23.76	589.92	24.83
3	[A2-M2]	5.65	3.09	17.98	47.27	275.24	15.31	22.53	589.92	26.19
3	[A2-M2]	5.70	4.21	18.03	47.97	205.20	11.38	21.40	589.92	27.56
3	[A2-M2]	5.75	5.28	18.07	48.12	164.58	9.11	20.33	589.92	29.02
3	[A2-M2]	5.80	6.30	18.12	48.02	138.09	7.62	19.31	589.92	30.56
3	[A2-M2]	5.85	7.27	18.17	47.95	119.88	6.60	18.31	589.92	32.22
3	[A2-M2]	5.90	8.18	18.21	47.90	106.63	5.85	17.33	589.92	34.04
3	[A2-M2]	5.95	9.05	18.26	47.86	96.59	5.29	16.37	589.92	36.05
3	[A2-M2]	6.00	9.87	18.31	47.83	88.75	4.85	15.41	589.92	38.27
3	[A2-M2]	6.05	10.64	18.35	47.81	82.49	4.49	14.47	589.92	40.78
3	[A2-M2]	6.10	11.36	18.40	47.79	77.40	4.21	13.52	589.92	43.63
3	[A2-M2]	6.15	12.04	18.45	47.77	73.21	3.97	12.58	589.92	46.90
3	[A2-M2]	6.20	12.67	18.49	47.76	69.73	3.77	11.63	589.92	50.71
3	[A2-M2]	6.25	13.25	18.54	47.75	66.82	3.60	10.69	589.92	55.20
3	[A2-M2]	6.30	13.78	18.59	47.74	64.38	3.46	9.74	589.92	60.60
3	[A2-M2]	6.35	14.27	18.63	47.73	62.33	3.35	8.79	589.92	67.13
3	[A2-M2]	6.40	14.71	18.68	47.73	60.61	3.24	7.88	589.92	74.84
3	[A2-M2]	6.45	15.10	18.73	47.72	59.17	3.16	7.02	589.92	84.04
3	[A2-M2]	6.50	15.45	18.77	47.72	57.97	3.09	6.20	589.92	95.19
3	[A2-M2]	6.55	15.76	18.82	47.71	56.96	3.03	5.41	589.92	108.95
3	[A2-M2]	6.60	16.03	18.87	47.71	56.14	2.98	4.67	589.92	126.29
3	[A2-M2]	6.65	16.27	18.91	47.71	55.46	2.93	3.97	589.92	148.75
3	[A2-M2]	6.70	16.47	18.96	47.70	54.93	2.90	3.30	589.92	178.89
3	[A2-M2]	6.75	16.63	19.01	47.70	54.52	2.87	2.67	589.92	221.32
3	[A2-M2]	6.80	16.76	19.05	47.70	54.21	2.85	2.07	589.92	285.22
3	[A2-M2]	6.85	16.87	19.10	47.70	54.01	2.83	1.51	589.92	391.90
3	[A2-M2]	6.90	16.94	19.14	47.70	53.90	2.82	1.07	589.92	551.60
3	[A2-M2]	6.95	16.99	19.19	47.70	53.88	2.81	0.67	589.92	886.59
3	[A2-M2]	7.00	17.01	19.24	47.70	53.93	2.80	-0.79	589.92	744.36
3	[A2-M2]	7.05	17.02	19.28	47.70	54.06	2.80	-0.97	589.92	609.36
3	[A2-M2]	7.10	16.99	19.33	47.70	54.26	2.81	-1.13	589.92	521.47
3	[A2-M2]	7.15	16.95	19.38	47.70	54.53	2.81	-1.28	589.92	459.99
3	[A2-M2]	7.20	16.89	19.42	47.70	54.86	2.82	-1.57	589.92	376.74
3	[A2-M2]	7.25	16.81	19.47	47.71	55.25	2.84	-1.89	589.92	311.72
3	[A2-M2]	7.30	16.72	19.52	47.71	55.69	2.85	-2.19	589.92	268.87
3	[A2-M2]	7.35	16.61	19.56	47.71	56.20	2.87	-2.47	589.92	238.67
3	[A2-M2]	7.40	16.49	19.61	47.71	56.76	2.89	-3.09	589.92	191.22
3	[A2-M2]	7.45	16.33	19.66	47.71	57.43	2.92	-3.97	589.92	148.48
3	[A2-M2]	7.50	16.13	19.70	47.72	58.28	2.96	-4.78	589.92	123.40
3	[A2-M2]	7.55	15.89	19.75	47.72	59.30	3.00	-5.51	589.92	107.03
3	[A2-M2]	7.60	15.62	19.80	47.73	60.50	3.06	-6.17	589.92	95.62
3	[A2-M2]	7.65	15.31	19.84	47.73	61.87	3.12	-6.76	589.92	87.30
3	[A2-M2]	7.70	14.97	19.89	47.74	63.42	3.19	-7.28	589.92	81.04
3	[A2-M2]	7.75	14.61	19.94	47.74	65.16	3.27	-7.74	589.92	76.23
3	[A2-M2]	7.80	14.22	19.98	47.75	67.10	3.36	-8.14	589.92	72.48
3	[A2-M2]	7.85	13.81	20.03	47.76	69.25	3.46	-8.48	589.92	69.54
3	[A2-M2]	7.90	13.39	20.08	47.77	71.63	3.57	-8.77	589.92	67.23
3	[A2-M2]	7.95	12.95	20.12	47.78	74.24	3.69	-9.02	589.92	65.43

n°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS	T	V _{Rdr}	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]		[kN]	[kN]	
3	[A2-M2]	8.00	12.50	20.17	47.79	77.11	3.82	-9.21	589.92	64.05
3	[A2-M2]	8.05	12.04	20.22	47.80	80.27	3.97	-9.36	589.92	63.02
3	[A2-M2]	8.10	11.57	20.26	47.81	83.73	4.13	-9.47	589.92	62.30
3	[A2-M2]	8.15	11.10	20.31	47.83	87.53	4.31	-9.54	589.92	61.84
3	[A2-M2]	8.20	10.62	20.36	47.84	91.70	4.50	-9.57	589.92	61.62
3	[A2-M2]	8.25	10.14	20.40	47.86	96.28	4.72	-9.57	589.92	61.62
3	[A2-M2]	8.30	9.66	20.45	47.88	101.32	4.95	-9.54	589.92	61.82
3	[A2-M2]	8.35	9.19	20.50	47.90	106.88	5.21	-9.48	589.92	62.21
3	[A2-M2]	8.40	8.71	20.54	47.93	113.00	5.50	-9.40	589.92	62.79
3	[A2-M2]	8.45	8.24	20.59	47.95	119.78	5.82	-9.28	589.92	63.55
3	[A2-M2]	8.50	7.78	20.64	47.98	127.29	6.17	-9.15	589.92	64.50
3	[A2-M2]	8.55	7.32	20.68	48.01	135.64	6.56	-8.99	589.92	65.63
3	[A2-M2]	8.60	6.87	20.73	48.05	144.94	6.99	-8.81	589.92	66.95
3	[A2-M2]	8.65	6.43	20.78	48.09	155.35	7.48	-8.62	589.92	68.47
3	[A2-M2]	8.70	6.00	20.82	48.13	167.03	8.02	-8.40	589.92	70.20
3	[A2-M2]	8.75	5.58	20.87	48.18	180.19	8.63	-8.18	589.92	72.16
3	[A2-M2]	8.80	5.17	20.92	48.08	194.46	9.30	-7.93	589.92	74.36
3	[A2-M2]	8.85	4.77	20.96	47.92	210.39	10.04	-7.68	589.92	76.83
3	[A2-M2]	8.90	4.39	21.01	47.74	228.44	10.87	-7.41	589.92	79.60
3	[A2-M2]	8.95	4.02	21.06	47.54	248.99	11.83	-7.13	589.92	82.70
3	[A2-M2]	9.00	3.66	21.10	47.31	272.50	12.91	-6.85	589.92	86.17
3	[A2-M2]	9.05	3.32	21.15	46.80	297.99	14.09	-6.55	589.92	90.08
3	[A2-M2]	9.10	2.99	21.20	46.19	327.02	15.43	-6.24	589.92	94.49
3	[A2-M2]	9.15	2.68	21.24	45.49	360.38	16.97	-5.93	589.92	99.48
3	[A2-M2]	9.20	2.38	21.29	44.49	397.12	18.65	-5.61	589.92	105.15
3	[A2-M2]	9.25	2.10	21.33	43.30	438.98	20.58	-5.28	589.92	111.66
3	[A2-M2]	9.30	1.84	21.38	41.91	486.97	22.78	-4.95	589.92	119.16
3	[A2-M2]	9.35	1.59	21.43	40.30	542.19	25.30	-4.61	589.92	127.91
3	[A2-M2]	9.40	1.36	21.47	38.38	605.01	28.17	-4.27	589.92	138.21
3	[A2-M2]	9.45	1.15	21.52	36.11	676.54	31.44	-3.92	589.92	150.51
3	[A2-M2]	9.50	0.95	21.57	33.45	757.15	35.11	-3.57	589.92	165.43
3	[A2-M2]	9.55	0.77	21.61	30.33	846.41	39.16	-3.21	589.92	183.88
3	[A2-M2]	9.60	0.61	21.66	26.72	942.41	43.51	-2.85	589.92	207.29
3	[A2-M2]	9.65	0.47	21.71	22.64	1041.53	47.98	-2.48	589.92	237.93
3	[A2-M2]	9.70	0.35	21.75	18.21	1138.75	52.35	-2.11	589.92	279.74
3	[A2-M2]	9.75	0.24	21.80	13.66	1229.06	56.38	-1.73	589.92	340.16
3	[A2-M2]	9.80	0.16	21.85	9.23	1295.11	59.28	-1.36	589.92	435.12
3	[A2-M2]	9.85	0.09	21.89	5.33	1327.78	60.65	-0.97	589.92	606.04
3	[A2-M2]	9.90	0.04	21.94	2.42	1352.20	61.63	-0.24	589.92	1000.00
3	[A2-M2]	9.95	0.01	21.99	0.61	1367.31	62.19	-0.08	589.92	1000.00

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della Combinazione/Fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]

 σ_f tensione normale nell'armatura, espressa in [kPa] τ_f tensione tangenziale nell'armatura, espresso in [kPa] σ_{id} tensione ideale ($\sigma_{id} = (\sigma_f^2 + 3 \tau_f^2)^{0.5}$) nella sezione del tubolare, espressa in [kPa]

Y	σ_{id}	n° - Tipo	σ_f	n° - Tipo	τ_f	n° - Tipo
[m]	[kPa]		[kPa]		[kPa]	
0.00	0	8 - [SLEQ S]	0	8 - [SLEQ S]	0	8 - [SLEQ S]
0.05	618	5 - [SLER]	49	5 - [SLER]	356	5 - [SLER]
0.10	1793	5 - [SLER]	600	5 - [SLER]	975	5 - [SLER]
0.15	3197	5 - [SLER]	1644	5 - [SLER]	1583	5 - [SLER]
0.20	4931	5 - [SLER]	3171	5 - [SLER]	2180	5 - [SLER]
0.25	7049	5 - [SLER]	5172	5 - [SLER]	2765	5 - [SLER]
0.30	29424	5 - [SLER]	11109	5 - [SLER]	15731	5 - [SLER]
0.35	29671	8 - [SLEQ S]	13548	8 - [SLEQ S]	15241	8 - [SLEQ S]
0.40	36397	8 - [SLEQ S]	25662	8 - [SLEQ S]	14902	8 - [SLEQ S]
0.45	45153	8 - [SLEQ S]	37491	8 - [SLEQ S]	14528	8 - [SLEQ S]
0.50	54769	8 - [SLEQ S]	49006	8 - [SLEQ S]	14120	8 - [SLEQ S]
0.55	64673	8 - [SLEQ S]	60179	8 - [SLEQ S]	13677	8 - [SLEQ S]
0.60	74573	8 - [SLEQ S]	70982	8 - [SLEQ S]	13199	8 - [SLEQ S]
0.65	84303	8 - [SLEQ S]	81389	8 - [SLEQ S]	12686	8 - [SLEQ S]
0.70	93762	8 - [SLEQ S]	91369	8 - [SLEQ S]	12152	8 - [SLEQ S]
0.75	102905	8 - [SLEQ S]	100918	8 - [SLEQ S]	11619	8 - [SLEQ S]
0.80	111710	8 - [SLEQ S]	110044	8 - [SLEQ S]	11098	8 - [SLEQ S]
0.85	120165	8 - [SLEQ S]	118757	8 - [SLEQ S]	10589	8 - [SLEQ S]
0.90	128262	8 - [SLEQ S]	127066	8 - [SLEQ S]	10092	8 - [SLEQ S]
0.95	136001	8 - [SLEQ S]	134980	8 - [SLEQ S]	9605	8 - [SLEQ S]
1.00	143383	8 - [SLEQ S]	142508	8 - [SLEQ S]	9131	8 - [SLEQ S]

Y	σ_{id}	n° - Tipo	σ_{f}	n° - Tipo	τ_f	n° - Tipo
[m]	[kPa]		[kPa]		[kPa]	
1.05	150411	8 - [SLEQ S]	149660	8 - [SLEQ S]	8667	8 - [SLEQ S]
1.10	157090	8 - [SLEQ S]	156445	8 - [SLEQ S]	8214	8 - [SLEQ S]
1.15	163426	8 - [SLEQ S]	162870	8 - [SLEQ S]	7772	8 - [SLEQ S]
1.20	169423	8 - [SLEQ S]	168945	8 - [SLEQ S]	7341	8 - [SLEQ S]
1.25	175089	8 - [SLEQ S]	174678	8 - [SLEQ S]	6970	5 - [SLER]
1.30	180431	8 - [SLEQ S]	180078	8 - [SLEQ S]	6614	5 - [SLER]
1.35	185454	8 - [SLEQ S]	185152	8 - [SLEQ S]	6268	5 - [SLER]
1.40	190167	8 - [SLEQ S]	189909	8 - [SLEQ S]	5932	5 - [SLER]
1.45	194576	8 - [SLEQ S]	194356	8 - [SLEQ S]	5604	5 - [SLER]
1.50	198688	8 - [SLEQ S]	198501	8 - [SLEQ S]	5285	5 - [SLER]
1.55	202509	8 - [SLEQ S]	202352	8 - [SLEQ S]	4976	5 - [SLER]
1.60	206047	8 - [SLEQ S]	205916	8 - [SLEQ S]	4674	5 - [SLER]
1.65	209309	8 - [SLEQ S]	209199	8 - [SLEQ S]	4381	5 - [SLER]
1.70	212300	8 - [SLEQ S]	212210	8 - [SLEQ S]	4096	5 - [SLER]
1.75	215027	8 - [SLEQ S]	214954	8 - [SLEQ S]	3819	5 - [SLER]
1.80	217497	8 - [SLEQ S]	217438	8 - [SLEQ S]	3549	5 - [SLER]
1.85	219716	8 - [SLEQ S]	219669	8 - [SLEQ S]	3287	5 - [SLER]
1.90	221689	8 - [SLEQ S]	221653	8 - [SLEQ S]	3032	5 - [SLER]
1.95	223423	8 - [SLEQ S]	223396	8 - [SLEQ S]	2784	5 - [SLER]
2.00	224923	8 - [SLEQ S]	224903	8 - [SLEQ S]	2542	5 - [SLER]
2.05	226195	8 - [SLEQ S]	226181	8 - [SLEQ S]	2307	5 - [SLER]
2.10	227243	8 - [SLEQ S]	227234	8 - [SLEQ S]	2078	5 - [SLER]
2.15	228073	8 - [SLEQ S]	228068	8 - [SLEQ S]	1855	5 - [SLER]
2.20	228691	8 - [SLEQ S]	228688	8 - [SLEQ S]	1636	5 - [SLER]
2.25	229099	8 - [SLEQ S]	229098	8 - [SLEQ S]	1415	5 - [SLER]
2.30	229304	8 - [SLEQ S]	229304	8 - [SLEQ S]	1191	5 - [SLER]
2.35	229756	5 - [SLER]	229750	5 - [SLER]	965	5 - [SLER]
2.40	230449	5 - [SLER]	230446	5 - [SLER]	735	5 - [SLER]
2.45	230958	5 - [SLER]	230956	5 - [SLER]	612	8 - [SLEQ S]
2.50	231280	5 - [SLER]	231279	5 - [SLER]	845	8 - [SLEQ S]
2.55	231412	5 - [SLER]	231412	5 - [SLER]	1073	8 - [SLEQ S]
2.60	231352	5 - [SLER]	231351	5 - [SLER]	1297	8 - [SLEQ S]
2.65	231097	5 - [SLER]	231096	5 - [SLER]	1518	8 - [SLEQ S]
2.70	230646	5 - [SLER]	230643	5 - [SLER]	1735	8 - [SLEQ S]
2.75	229996	5 - [SLER]	229990	5 - [SLER]	1948	8 - [SLEQ S]
2.80	229145	5 - [SLER]	229135	5 - [SLER]	2159	8 - [SLEQ S]
2.85	228090	5 - [SLER]	228076	5 - [SLER]	2367	8 - [SLEQ S]
2.90	226829	5 - [SLER]	226809	5 - [SLER]	2572	8 - [SLEQ S]
2.95	225359	5 - [SLER]	225332	5 - [SLER]	2777	8 - [SLEQ S]
3.00	223678	5 - [SLER]	223644	5 - [SLER]	2985	8 - [SLEQ S]
3.05	221795	5 - [SLER]	221753	5 - [SLER]	3167	8 - [SLEQ S]
3.10	219732	5 - [SLER]	219682	5 - [SLER]	3322	8 - [SLEQ S]
3.15	217511	5 - [SLER]	217453	5 - [SLER]	3448	8 - [SLEQ S]
3.20	215153	5 - [SLER]	215088	5 - [SLER]	3548	8 - [SLEQ S]
3.25	212676	5 - [SLER]	212605	5 - [SLER]	3633	8 - [SLEQ S]
3.30	210088	5 - [SLER]	210010	5 - [SLER]	3717	8 - [SLEQ S]
3.35	207388	5 - [SLER]	207301	5 - [SLER]	3806	8 - [SLEQ S]
3.40	204569	5 - [SLER]	204473	5 - [SLER]	3906	8 - [SLEQ S]
3.45	201627	5 - [SLER]	201521	5 - [SLER]	4009	8 - [SLEQ S]
3.50	198560	5 - [SLER]	198443	5 - [SLER]	4111	8 - [SLEQ S]
3.55	195371	5 - [SLER]	195243	5 - [SLER]	4210	8 - [SLEQ S]
3.60	192062	5 - [SLER]	191923	5 - [SLER]	4306	8 - [SLEQ S]
3.65	188637	5 - [SLER]	188485	5 - [SLER]	4399	8 - [SLEQ S]
3.70	185097	5 - [SLER]	184932	5 - [SLER]	4515	5 - [SLER]
3.75	181446	5 - [SLER]	181267	5 - [SLER]	4653	5 - [SLER]
3.80	177687	5 - [SLER]	177493	5 - [SLER]	4788	5 - [SLER]
3.85	173820	5 - [SLER]	173611	5 - [SLER]	4921	5 - [SLER]
3.90	169850	5 - [SLER]	169624	5 - [SLER]	5051	5 - [SLER]
3.95	165777	5 - [SLER]	165534	5 - [SLER]	5179	5 - [SLER]
4.00	161603	5 - [SLER]	161341	5 - [SLER]	5305	5 - [SLER]
4.05	157331	5 - [SLER]	157050	5 - [SLER]	5426	5 - [SLER]
4.10	152964	5 - [SLER]	152662	5 - [SLER]	5544	5 - [SLER]
4.15	148506	5 - [SLER]	148183	5 - [SLER]	5656	5 - [SLER]
4.20	143962	5 - [SLER]	143616	5 - [SLER]	5762	5 - [SLER]
4.25	139336	5 - [SLER]	138966	5 - [SLER]	5862	5 - [SLER]
4.30	134635	5 - [SLER]	134239	5 - [SLER]	5955	5 - [SLER]
4.35	129861	5 - [SLER]	129439	5 - [SLER]	6043	5 - [SLER]
4.40	125022	5 - [SLER]	124571	5 - [SLER]	6124	5 - [SLER]
4.45	120121	5 - [SLER]	119641	5 - [SLER]	6199	5 - [SLER]
4.50	115165	5 - [SLER]	114652	5 - [SLER]	6268	5 - [SLER]
4.55	110158	5 - [SLER]	109611	5 - [SLER]	6331	5 - [SLER]
4.60	105106	5 - [SLER]	104522	5 - [SLER]	6387	5 - [SLER]
4.65	100014	5 - [SLER]	99390	5 - [SLER]	6437	5 - [SLER]
4.70	94888	5 - [SLER]	94221	5 - [SLER]	6481	5 - [SLER]
4.75	89733	5 - [SLER]	89020	5 - [SLER]	6518	5 - [SLER]
4.80	84556	5 - [SLER]	83791	5 - [SLER]	6549	5 - [SLER]

Y	σ_{id}	n° - Tipo	σ_{f}	n° - Tipo	τ_{f}	n° - Tipo
[m]	[kPa]		[kPa]		[kPa]	
4.85	79361	5 - [SLER]	78541	5 - [SLER]	6573	5 - [SLER]
4.90	74157	5 - [SLER]	73273	5 - [SLER]	6590	5 - [SLER]
4.95	68949	5 - [SLER]	67994	5 - [SLER]	6602	5 - [SLER]
5.00	63744	5 - [SLER]	62709	5 - [SLER]	6606	5 - [SLER]
5.05	58776	8 - [SLEQ S]	58134	8 - [SLEQ S]	6600	5 - [SLER]
5.10	54806	8 - [SLEQ S]	54137	8 - [SLEQ S]	6588	5 - [SLER]
5.15	50897	8 - [SLEQ S]	50196	8 - [SLEQ S]	6569	5 - [SLER]
5.20	47049	8 - [SLEQ S]	46311	8 - [SLEQ S]	6543	5 - [SLER]
5.25	43261	8 - [SLEQ S]	42480	8 - [SLEQ S]	6511	5 - [SLER]
5.30	39535	8 - [SLEQ S]	38702	8 - [SLEQ S]	6472	5 - [SLER]
5.35	35872	8 - [SLEQ S]	34977	8 - [SLEQ S]	6427	5 - [SLER]
5.40	32243	8 - [SLEQ S]	31303	8 - [SLEQ S]	6210	5 - [SLER]
5.45	28702	8 - [SLEQ S]	27737	8 - [SLEQ S]	5884	5 - [SLER]
5.50	25330	8 - [SLEQ S]	24333	8 - [SLEQ S]	5568	5 - [SLER]
5.55	22127	8 - [SLEQ S]	21087	8 - [SLEQ S]	5261	5 - [SLER]
5.60	19092	8 - [SLEQ S]	17995	8 - [SLEQ S]	4963	5 - [SLER]
5.65	16228	8 - [SLEQ S]	15053	8 - [SLEQ S]	4675	5 - [SLER]
5.70	17141	5 - [SLER]	15357	5 - [SLER]	4395	5 - [SLER]
5.75	20203	5 - [SLER]	18898	5 - [SLER]	4124	5 - [SLER]
5.80	23207	5 - [SLER]	22222	5 - [SLER]	3863	5 - [SLER]
5.85	26096	5 - [SLER]	25336	5 - [SLER]	3610	5 - [SLER]
5.90	28842	5 - [SLER]	28247	5 - [SLER]	3366	5 - [SLER]
5.95	31434	5 - [SLER]	30962	5 - [SLER]	3131	5 - [SLER]
6.00	33865	5 - [SLER]	33489	5 - [SLER]	2905	5 - [SLER]
6.05	36135	5 - [SLER]	35834	5 - [SLER]	2687	5 - [SLER]
6.10	38246	5 - [SLER]	38004	5 - [SLER]	2478	5 - [SLER]
6.15	40200	5 - [SLER]	40006	5 - [SLER]	2276	5 - [SLER]
6.20	42003	5 - [SLER]	41847	5 - [SLER]	2084	5 - [SLER]
6.25	43657	5 - [SLER]	43533	5 - [SLER]	1899	5 - [SLER]
6.30	45170	5 - [SLER]	45071	5 - [SLER]	1722	5 - [SLER]
6.35	46545	5 - [SLER]	46467	5 - [SLER]	1553	5 - [SLER]
6.40	47788	5 - [SLER]	47728	5 - [SLER]	1392	5 - [SLER]
6.45	48905	5 - [SLER]	48858	5 - [SLER]	1256	8 - [SLEQ S]
6.50	49901	5 - [SLER]	49865	5 - [SLER]	1156	8 - [SLEQ S]
6.55	50782	5 - [SLER]	50755	5 - [SLER]	1061	8 - [SLEQ S]
6.60	51552	5 - [SLER]	51533	5 - [SLER]	970	8 - [SLEQ S]
6.65	52217	5 - [SLER]	52204	5 - [SLER]	883	8 - [SLEQ S]
6.70	52783	5 - [SLER]	52774	5 - [SLER]	800	8 - [SLEQ S]
6.75	53255	5 - [SLER]	53249	5 - [SLER]	721	8 - [SLEQ S]
6.80	53636	5 - [SLER]	53633	5 - [SLER]	647	8 - [SLEQ S]
6.85	53933	5 - [SLER]	53932	5 - [SLER]	576	8 - [SLEQ S]
6.90	54151	5 - [SLER]	54150	5 - [SLER]	509	8 - [SLEQ S]
6.95	54293	5 - [SLER]	54292	5 - [SLER]	445	8 - [SLEQ S]
7.00	54364	5 - [SLER]	54364	5 - [SLER]	386	8 - [SLEQ S]
7.05	54369	5 - [SLER]	54369	5 - [SLER]	329	8 - [SLEQ S]
7.10	54312	5 - [SLER]	54311	5 - [SLER]	276	8 - [SLEQ S]
7.15	54196	5 - [SLER]	54195	5 - [SLER]	230	5 - [SLER]
7.20	54027	5 - [SLER]	54025	5 - [SLER]	292	5 - [SLER]
7.25	53808	5 - [SLER]	53804	5 - [SLER]	351	5 - [SLER]
7.30	53541	5 - [SLER]	53537	5 - [SLER]	404	5 - [SLER]
7.35	53232	5 - [SLER]	53227	5 - [SLER]	454	5 - [SLER]
7.40	52886	5 - [SLER]	52877	5 - [SLER]	563	5 - [SLER]
7.45	52454	5 - [SLER]	52439	5 - [SLER]	720	5 - [SLER]
7.50	51897	5 - [SLER]	51875	5 - [SLER]	864	5 - [SLER]
7.55	51225	5 - [SLER]	51196	5 - [SLER]	994	5 - [SLER]
7.60	50449	5 - [SLER]	50413	5 - [SLER]	1111	5 - [SLER]
7.65	49580	5 - [SLER]	49536	5 - [SLER]	1215	5 - [SLER]
7.70	48627	5 - [SLER]	48575	5 - [SLER]	1308	5 - [SLER]
7.75	47600	5 - [SLER]	47539	5 - [SLER]	1389	5 - [SLER]
7.80	46508	5 - [SLER]	46439	5 - [SLER]	1460	5 - [SLER]
7.85	45358	5 - [SLER]	45281	5 - [SLER]	1521	5 - [SLER]
7.90	44159	5 - [SLER]	44075	5 - [SLER]	1572	5 - [SLER]
7.95	42919	5 - [SLER]	42827	5 - [SLER]	1615	5 - [SLER]
8.00	41644	5 - [SLER]	41546	5 - [SLER]	1649	5 - [SLER]
8.05	40341	5 - [SLER]	40236	5 - [SLER]	1675	5 - [SLER]
8.10	39017	5 - [SLER]	38906	5 - [SLER]	1694	5 - [SLER]
8.15	37677	5 - [SLER]	37560	5 - [SLER]	1707	5 - [SLER]
8.20	36326	5 - [SLER]	36205	5 - [SLER]	1712	5 - [SLER]
8.25	34971	5 - [SLER]	34845	5 - [SLER]	1712	5 - [SLER]
8.30	33616	5 - [SLER]	33486	5 - [SLER]	1706	5 - [SLER]
8.35	32264	5 - [SLER]	32131	5 - [SLER]	1695	5 - [SLER]
8.40	30922	5 - [SLER]	30785	5 - [SLER]	1679	5 - [SLER]
8.45	29591	5 - [SLER]	29452	5 - [SLER]	1658	5 - [SLER]
8.50	28277	5 - [SLER]	28135	5 - [SLER]	1634	5 - [SLER]
8.55	26982	5 - [SLER]	26838	5 - [SLER]	1605	5 - [SLER]
8.60	25708	5 - [SLER]	25564	5 - [SLER]	1574	5 - [SLER]

Y	σ_{id}	n° - Tipo	σ_{f}	n° - Tipo	τ_f	n° - Tipo
[m]	[kPa]		[kPa]		[kPa]	
8.65	24461	5 - [SLER]	24315	5 - [SLER]	1538	5 - [SLER]
8.70	23240	5 - [SLER]	23095	5 - [SLER]	1500	5 - [SLER]
8.75	22050	5 - [SLER]	21905	5 - [SLER]	1459	5 - [SLER]
8.80	20892	5 - [SLER]	20748	5 - [SLER]	1416	5 - [SLER]
8.85	19769	5 - [SLER]	19626	5 - [SLER]	1370	5 - [SLER]
8.90	18681	5 - [SLER]	18540	5 - [SLER]	1322	5 - [SLER]
8.95	17631	5 - [SLER]	17493	5 - [SLER]	1273	5 - [SLER]
9.00	16621	5 - [SLER]	16486	5 - [SLER]	1221	5 - [SLER]
9.05	15651	5 - [SLER]	15520	5 - [SLER]	1168	5 - [SLER]
9.10	14723	5 - [SLER]	14597	5 - [SLER]	1114	5 - [SLER]
9.15	13839	5 - [SLER]	13717	5 - [SLER]	1058	5 - [SLER]
9.20	12998	5 - [SLER]	12882	5 - [SLER]	1000	5 - [SLER]
9.25	12203	5 - [SLER]	12094	5 - [SLER]	942	5 - [SLER]
9.30	11454	5 - [SLER]	11352	5 - [SLER]	883	5 - [SLER]
9.35	10753	5 - [SLER]	10658	5 - [SLER]	822	5 - [SLER]
9.40	10099	5 - [SLER]	10012	5 - [SLER]	761	5 - [SLER]
9.45	9493	5 - [SLER]	9416	5 - [SLER]	699	5 - [SLER]
9.50	8937	5 - [SLER]	8869	5 - [SLER]	635	5 - [SLER]
9.55	8432	5 - [SLER]	8373	5 - [SLER]	572	5 - [SLER]
9.60	7977	5 - [SLER]	7929	5 - [SLER]	507	5 - [SLER]
9.65	7575	5 - [SLER]	7536	5 - [SLER]	442	5 - [SLER]
9.70	7225	5 - [SLER]	7196	5 - [SLER]	376	5 - [SLER]
9.75	6929	5 - [SLER]	6908	5 - [SLER]	309	5 - [SLER]
9.80	6688	5 - [SLER]	6675	5 - [SLER]	241	5 - [SLER]
9.85	6502	5 - [SLER]	6495	5 - [SLER]	173	5 - [SLER]
9.90	6372	5 - [SLER]	6370	5 - [SLER]	105	5 - [SLER]
9.95	6300	5 - [SLER]	6300	5 - [SLER]	35	5 - [SLER]

Verifica a SLU * Diagrammi M-N delle sezioni

Di seguito sono riportati per ogni tratto di armatura i diagrammi di interazione M_u-N_u della sezione; sono stati calcolati 16 punti per ogni sezione analizzata.

Per la costruzione dei diagrammi limiti si sono assunti i seguenti valori:

Tensione caratteristica cubica del cls	$R_{bk} = 24517 \text{ [kPa]}$
Tensione caratteristica cilindrica del cls ($0.83 \times R_{bk}$)	$R_{ck} = 208 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Fattore di riduzione per carico di lunga permanenza	$\psi = 0.85$
Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio	$f_{yk} = 355000 \text{ [kPa]}$
Coefficiente di sicurezza cls	$\gamma_c = 1.50$
Coefficiente di sicurezza acciaio	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo del cls ($\psi R_{ck} / \gamma_c$)	$R_c^* = 118 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Resistenza di calcolo dell'acciaio (f_{yk} / γ_s)	$R_s^* = 3148 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s = 2100000 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Deformazione ultima del calcestruzzo	$\varepsilon_{cu} = 0.0035 (0.35\%)$
Deformazione del calcestruzzo al limite elastoplastico	$\varepsilon_{ck} = 0.0020 (0.20\%)$
Deformazione ultima dell'acciaio	$\varepsilon_{yu} = 0.0100 (1.00\%)$
Deformazione dell'acciaio al limite elastico (R_s^* / E_s)	$\varepsilon_{yk} = 0.0011 (0.15\%)$

Legame costitutivo del calcestruzzo

Per il legame costitutivo del calcestruzzo si assume il diagramma parabola-rettangolo espresso dalle seguenti relazioni:

Tratto parabolico: $0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{ck}$

$$\sigma_c = \frac{R_c^* (2\varepsilon_c \varepsilon_{ck} - \varepsilon_c^2)}{\varepsilon_{ck}^2}$$

Tratto rettangolare: $\varepsilon_{ck} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$

$$\sigma_c = R_c^*$$

Legame costitutivo dell'acciaio

Per l'acciaio si assume un comportamento elastico-perfettamente plastico espresso dalle seguenti relazioni:

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \quad \text{per } 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}$$

$$\sigma_s = R_s^* \quad \text{per } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$$

Tratto armatura 1

N°	N_u [kN]	M_u [kNm]
1	-1021.7771	0.0000
2	0.0000	47.4954
3	182.9929	48.1916
4	274.4894	47.2872
5	365.9859	45.3760
6	457.4823	42.7748
7	548.9788	40.1033
8	640.4753	37.2841
9	731.9717	34.3122
10	823.4682	31.1711
11	914.9647	27.8096
12	1006.4612	24.1666
13	1097.9576	20.1743
14	1189.4541	15.7610
15	1280.9506	10.9179
16	1372.4470	0.0000
17	1372.4470	0.0000
18	1280.9506	-10.9179
19	1189.4541	-15.7610
20	1097.9576	-20.1743
21	1006.4612	-24.1666
22	914.9647	-27.8096
23	823.4682	-31.1711
24	731.9717	-34.3122
25	640.4753	-37.2841
26	548.9788	-40.1033

N°	Nu	Mu
	[kN]	[kNm]
27	457.4823	-42.7748
28	365.9859	-45.3760
29	274.4894	-47.2872
30	182.9929	-48.1916
31	0.0000	-47.4954
32	-1021.7771	0.0000

Verifica sezione cordoli

Simbologia adottata

M_h momento flettente espresso in [kNm] nel piano orizzontale
 T_h taglio espresso in [kN] nel piano orizzontale
 M_v momento flettente espresso in [kNm] nel piano verticale
 T_v taglio espresso in [kN] nel piano verticale

Cordolo N° 1 (X=0.00 m) (Cordolo in c.a.)

B=110.00 [cm]	H=60.00 [cm]		
$A_{fv}=10.05$ [cmq]	$A_{fh}=6.03$ [cmq]	Staffe $\phi 10/11$	Nbh=2 - Nbv=2
$M_h=53.22$ [kNm]	$M_{uh}=409.62$ [kNm]	FS=7.70	
$T_h=85.15$ [kN]	$T_{Rh}=1052.56$ [kN]	FS _T =12.36	
$M_v=19.37$ [kNm]	$M_{uv}=216.87$ [kNm]	FS=11.20	
$T_v=30.99$ [kN]	$T_R=789.08$ [kN]	FS _{TV} =25.46	

Normative di riferimento

- 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 per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Richiami teorici

Metodo di analisi

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

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

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 $\tan(\phi)$ e sulla coesione

Calcolo della spinte

Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

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 ρ 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.

Spinta in presenza di sisma

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di **Mononobe-Okabe** (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

Il metodo di Mononobe-Okabe considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con W il peso del cuneo e con C il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W \cdot C$$

Indicando con S la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/3 dell'altezza della parete stessa (diagramma triangolare con vertice in alto).

Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.

I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.

La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.

Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano N lo sforzo nel tirante, δ l'angolo d'attrito tirante-terreno, c_a l'adesione tirante-terreno, γ il peso di volume del terreno, D ed L_f il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed H la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi D L_f \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi D \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D c_a}$$

K_s rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi d \tau_{c0} \omega}$$

dove d è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, τ_{c0} è la resistenza tangenziale limite della malta ed ω è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli ($\omega = 1 - 0.075 [n \text{ trefoli} - 1]$).

Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare la tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo f_{1bd} .

Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di L_f si deve aggiungere la lunghezza di franco L che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.

La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, β , che rappresenta il rapporto fra lo sforzo N_0 al momento del tiro e lo sforzo N in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

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_r 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_r , 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).

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 rigidezza 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) occorre ricavare l'area equivalente, A_m , della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

$$A_m = 10000 \times \frac{k \Delta_m}{E_m}$$

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, rigidezza flessionale e tagliente nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliente ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

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 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 riassemblata 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 riassemblaggio 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.

Analisi per fasi di scavo

L'analisi della paratia per fasi di scavo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).

Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tenendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s = s_0 + K(u - u_0)$$

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verrà inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.

Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.

Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata una fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.

In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

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:

$$\eta = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i l_i] \tan \phi_i \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_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 ϕ_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 η . Questo procedimento è eseguito per il numero di centri prefissato e è assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

Dati

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	3.00	[m]
Profondità di infissione	7.00	[m]
Altezza totale della paratia	10.00	[m]
Lunghezza paratia	20.00	[m]
Numero di file di micropali	2	
Interasse fra le file di micropali	0.50	[m]
Interasse fra i micropali della fila	1.00	[m]
Diametro dei micropali	22.00	[cm]
Numero totale di micropali	39	
Numero di micropali per metro lineare	1.95	
Diametro esterno del tubolare	139.70	[mm]
Spessore del tubolare	12.50	[mm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata

n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo

B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio

A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm³]

N°	Y	Tipo	B	H	A	W
	[m]		[cm]	[cm]	[cmq]	[cm ³]
1	0.00	Calcestruzzo	110.00	60.00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
2	6.00	0.00	0.00
3	15.00	6.00	33.69
4	23.00	12.00	36.87
5	25.00	12.00	0.00

Profilo di valle

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-20.00	-15.00	0.00
2	-0.50	-3.00	0.00
3	0.00	-3.00	33.69

Descrizione terreni*Simbologia adottata*

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s	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 [kPa]

N°	Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kPa]
2	Livello B	14.450	18.440	31.00	20.67	0.1
3	Livello C	18.380	19.120	36.00	24.00	3.3
4	Livello D	24.000	24.000	20.00	13.33	218.0

Parametri per il calcolo dei tiranti*Simbologia adottata*

ϕ_{min}	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
δ_{min}	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
C _{min}	coesione minima del terreno espressa in [kPa]
ϕ_{med}	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
δ_{med}	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
C _{med}	coesione media del terreno espressa in [kPa]

N°	Descrizione	ϕ_{min}	ϕ_{med}	δ_{min}	δ_{med}	C _{min} [kPa]	C _{med} [kPa]
2	Livello B	31.00	31.00	20.67	20.67	0.1	0.1
3	Livello C	36.00	36.00	24.00	24.00	3.2	3.3
4	Livello D	20.00	20.00	13.33	13.33	218.0	218.0

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 GRADI(°) (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	5.40	42.00	25.00	0.75	0.75	Livello B	Livello B
2	2.00	45.00	25.00	2.47	2.47	Livello C	Livello C
3	15.00	0.00	0.00	9.41	9.41	Livello D	Livello D

Caratteristiche materiali utilizzati**Calcestruzzo**

Peso specifico	24.52	[kN/mc]
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R _{ck}	24517	[kPa]
Tensione di progetto a compressione σ_c	8336	[kPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c0}	523	[kPa]
Tensione tangenziale ammissibile τ_{c1}	1653	[kPa]

Acciaio

Tipo	S 355	
Tensione di snervamento f _{yk}	355000	[kPa]

Caratteristiche acciaio cordoli in c.a.

Tipo	B450C	
Tensione di snervamento f _{yk}	450000	[kPa]

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

F_x Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle

F_y Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso

M Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante

Q_l, Q_r Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kN/mq]

V_l, V_s Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kN/mq], positivi da monte verso valle

R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Condizione n° 1					
Carico distribuito sul profilo	$X_l = 0.00$	$X_r = 6.50$	$Q_l = 20.00$	$Q_r = 20.00$	
Carico concentrato sulla paratia	$Y = 0.00$	$F_x = 0.00$	$F_y = 25.00$	$M = 35.00$	

Condizione n° 2					
Carico distribuito sul profilo	$X_l = 0.00$	$X_r = 6.50$	$Q_l = 1.50$	$Q_r = 1.50$	
Carico concentrato sulla paratia	$Y = 0.00$	$F_x = 0.00$	$F_y = 31.25$	$M = 39.06$	

Caratteristiche tiranti di ancoraggio

Tipologia tiranti n° 1 - Tirante attivo (trefoli)

Calcolo tiranti: VERIFICA

I parametri di interazione tiranti-terreno sono stati definiti come percentuale di angolo di attrito e coesione dello strato:

- Aliquota angolo di attrito 45.00 %
- Aliquota coesione 45.00 %

Tiranti attivi armati con trefoli

Coefficiente cadute di tensione 1.30

Coefficiente di spinta Spinta a riposo

Malta utilizzata per i tiranti

Classe di Resistenza Rck 250

Resistenza caratteristica a compressione R_{ck} 24517 [kPa]

Acciaio utilizzato per i tiranti

Tipo Precomp

Tensione di snervamento f_{yk} 1569089 [kPa]

Descrizione tiranti di ancoraggio (Armatura trefoli)

Simbologia adottata - Caratteristiche geometriche

N numero d'ordine della fila

Y ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia

I interasse tra le file di tiranti espressa in [m]

α inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]

D diametro della perforazione espresso in [cm]

C_{esp} coeff. di espansione laterale

ALL allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)

nr numero di tiranti della fila

L_t lunghezza totale del tirante espresso in [m]

L_f lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]

Simbologia adottata - Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N numero d'ordine della fila

A_t area del singolo trefolo espressa in [cmq]

nt numero di trefoli del tirante

T tiro iniziale espresso in [kN]

Caratteristiche geometriche

N	Y	I	Alfa	D	Cesp	ALL	nr	Lt	Lf
	[m]	[m]		[cm]				[m]	[m]
1	0.30	2.50	20.00	16.00	1.10	Sfalsati	8	15.00	10.00

Caratteristiche armatura e di interazione con il terreno

N	At	nt	T
	[cmq]		[kN]
1	1.40	3	300.00

Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

Combinazione n° 1 [A1-M1]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.30	
Condizione 1 (Stradale)	1.50	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.30	1.00

Combinazione n° 2 [A1-M1]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 2 (Permanente / sisma V+)	1.00	1.00

Combinazione n° 3 [A2-M2]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 1 (Stradale)	1.30	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.00	1.00

Combinazione n° 4 [A2-M2]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 2 (Permanente / sisma V+)	1.00	1.00

Combinazione n° 5 [SLER]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 1 (Stradale)	1.00	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.00	1.00

Combinazione n° 6 [SLEF]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 1 (Stradale)	1.00	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.00	1.00

Combinazione n° 7 [SLEQ]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 1 (Stradale)	1.00	1.00
Condizione 2 (Permanente)	1.00	1.00

Combinazione n° 8 [SLEQ]

Nome condizione	γ	Coeff. part.
Spinta terreno	1.00	
Condizione 2 (Permanente / sisma V+)	1.00	1.00

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

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

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Permanenti ns	Favorevole	γ_{Gfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Permanenti ns	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.35	1.15	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\psi}$	1.00	1.25	1.00	1.25
Coesione efficace	γ_c	1.00	1.25	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_r	1.00	1.00	1.00	1.00

TIRANTI DI ANCORAGGIO

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei tiranti

Resistenza

Laterale

γ_{st}

Tiranti

1.20

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.

Numero di verticali indagate

1

$\xi_3=1.80$

$\xi_4=1.80$

Verifica materiali : Stato Limite Ultimo

Impostazioni verifiche SLE

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	1.50
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Verifica Taglio - Metodo dell'inclinazione variabile del traliccio

$$V_{Rd} = [0.18 \cdot k \cdot (100.0 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d > (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) / (1.0 + \cot^2 \theta)$$

con:

d	altezza utile sezione [mm]
b_w	larghezza minima sezione [mm]
σ_{cp}	tensione media di compressione [N/mm ²]
ρ_l	rapporto geometrico di armatura
A_{sw}	area armatura trasversale [mm ²]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]
α_c	coefficiente maggiorativo, funzione di fcd e σ_{cp}

$$f_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali Molto aggressive
 Armatura ad aderenza migliorata
 Sensibilità delle armature Poco sensibile

Valori limite delle aperture delle fessure $w_1 = 0.20$
 $w_2 = 0.30$
 $w_3 = 0.40$
 Metodo di calcolo aperture delle fessure NTC 2008 - II° Formulazione
Verifica delle tensioni
 Combinazione di carico Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ - $\sigma_f < 0.80 f_{yk}$
 Quasi permanente $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$

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 di Fellenius

Impostazioni analisi sismica**Identificazione del sito**

Latitudine 44.133273
 Longitudine 10.017604
 Comune Fosdinovo
 Provincia Massa-Carrara
 Regione Toscana

Punti di interpolazione del reticolo 18265 - 18487 - 18488 - 18266

Tipo di opera

Tipo di costruzione Opera ordinaria
 Vita nominale 50 anni
 Classe d'uso III - Affollamenti significativi e industrie non pericolose
 Vita di riferimento

Combinazioni/Fase

	75 anni SLU	SLE
Accelerazione al suolo $[m/s^2]$	1.687	0.708
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.384	2.471
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_c^*	0.295	0.263
Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.200	1.200
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S_s)	1.549	1.600
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U_s [m]	0.050	0.050
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.480	0.480
Coefficiente di intensità sismica (percento)	15.341	6.647
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.00	

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
 Forma diagramma incremento sismico : Triangolare con vertice in alto.

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 60 elementi fuori terra e 140 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	3.00	[m]
Profondità di infissione	7.00	[m]
Altezza totale della paratia	10.00	[m]

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	[A1-M1]	89.68	2.11	--	--	--	--	-12.54	6.46	2.14	8.99
2	[A1-M1 S]	60.28	1.83	16.87	2.00	--	--	-17.88	6.24	2.71	9.35
3	[A2-M2]	122.73	2.92	--	--	--	--	-55.86	6.34	11.12	9.30
4	[A2-M2 S]	85.55	3.28	27.10	2.00	--	--	-61.51	6.35	12.19	9.30
5	[SLER]	81.38	1.86	--	--	--	--	-11.34	6.49	2.24	7.91
6	[SLEF]	81.38	1.86	--	--	--	--	-11.34	6.49	2.24	7.91
7	[SLEQ]	81.38	1.86	--	--	--	--	-11.34	6.49	2.24	7.91
8	[SLEQ S]	65.89	1.68	6.26	2.00	--	--	-13.40	6.34	2.47	7.87

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	Y _{Rc}	Rt	Y _{Rt}	Rv	Y _{Rv}	Rp	Y _{Rp}
1	[A1-M1]	0.00	0.00	79.27	0.30	--	--	--	--
2	[A1-M1 S]	0.00	0.00	61.96	0.30	--	--	--	--
3	[A2-M2]	0.00	0.00	77.95	0.30	--	--	--	--
4	[A2-M2 S]	0.00	0.00	63.31	0.30	--	--	--	--
5	[SLER]	0.00	0.00	72.27	0.30	--	--	--	--
6	[SLEF]	0.00	0.00	72.27	0.30	--	--	--	--
7	[SLEQ]	0.00	0.00	72.27	0.30	--	--	--	--
8	[SLEQ S]	0.00	0.00	61.21	0.30	--	--	--	--

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P _{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P _{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C _{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R _{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]

Pp Portanza di punta, espressa in [kN]

n°	Tipo	P _{NUL}	P _{INV}	C _{ROT}	MP	R/R _{MAX}	Pp
1	[A1-M1]	5.11	5.45	8.48	29.08	0.26	184.66
2	[A1-M1 S]	4.66	5.45	8.39	24.82	0.36	184.66
3	[A2-M2]	5.38	5.45	8.25	34.04	1.61	140.73
4	[A2-M2 S]	5.38	5.45	8.25	34.04	1.80	140.73
5	[SLER]	5.01	5.45	8.54	24.82	0.25	184.66
6	[SLEF]	5.01	5.45	8.54	24.82	0.25	184.66
7	[SLEQ]	5.01	5.45	8.54	24.82	0.25	184.66
8	[SLEQ S]	4.62	5.45	8.52	16.31	0.29	184.66

Risultati tiranti

Caratteristiche dei tiranti utilizzati

Simbologia adottata

Y	ordinata della fila rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
nt	numero di tiranti della fila
N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kN]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L _f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
L _d	lunghezza totale definita del tirante espressa in [m]
L _{d_f}	lunghezza di fondazione definita del tirante espressa in [m]
FS	Fattore di sicurezza. Rapporto tra lunghezza di fondazione definita e lunghezza di fondazione di progetto.
A _f	area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
Rt/ml	reazione a metro lineare del tirante della fila espresso in [kN]
σ _f	tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa]
u	spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]

Caratteristiche armatura file tiranti

1 file di tiranti attivi armati con trefoli

n°	Tipologia	Y	nt	A _f	L	L _f	L _d	L _{d_f}	FS
		[m]		[cmq]	[m]	[m]	[m]	[m]	
1	Tirante attivo (trefoli)	0.30	8	4.20	12.90	7.90	15.00	10.00	1.27

Combinazione n° 1

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ _f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	210.88	84.3538	502106	-0.10390

Combinazione n° 2

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ _f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	164.84	65.9348	392469	-0.39559

Combinazione n° 3

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ _f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	207.39	82.9560	493786	-0.12775

Combinazione n° 4

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ _f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	168.43	67.3737	401034	-0.37338

Combinazione n° 5

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ_f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	192.26	76.9043	457764	-0.22233

Combinazione n° 6

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ_f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	192.26	76.9043	457764	-0.22233

Combinazione n° 7

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ_f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	192.26	76.9043	457764	-0.22233

Combinazione n° 8

n°	Tipologia	N	Rt/ml	σ_f	u
		[kN]	[kN]	[kPa]	[cm]
1	Tirante attivo (trefoli)	162.83	65.1333	387698	-0.40796

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	[A1-M1]	103.90	0.30	10.54	5.10	125.15	10.00	MAX
--	--	-18.19	3.70	-74.78	0.30	0.00	0.00	MIN
2	[A1-M1 S]	39.45	0.30	15.18	4.65	71.97	10.00	MAX
--	--	-30.62	2.95	-58.55	0.30	0.00	0.00	MIN
3	[A2-M2]	85.35	0.30	44.74	5.35	110.30	10.00	MAX
--	--	-48.42	3.75	-72.36	0.30	0.00	0.00	MIN
4	[A2-M2 S]	39.37	0.30	49.32	5.35	72.47	10.00	MAX
--	--	-58.04	3.55	-60.56	0.30	0.00	0.00	MIN
5	[SLER]	74.93	0.30	9.65	5.00	100.73	10.00	MAX
--	--	-19.31	3.40	-66.01	0.30	0.00	0.00	MIN
6	[SLEF]	74.93	0.30	9.65	5.00	100.73	10.00	MAX
--	--	-19.31	3.40	-66.01	0.30	0.00	0.00	MIN
7	[SLEQ]	74.93	0.30	9.65	5.00	100.73	10.00	MAX
--	--	-19.31	3.40	-66.01	0.30	0.00	0.00	MIN
8	[SLEQ S]	39.45	0.30	11.56	4.60	71.70	10.00	MAX
--	--	-27.84	2.85	-57.79	0.30	0.00	0.00	MIN

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	Y _u	V	Y _v	
		[cm]	[m]	[cm]	[m]	
1	[A1-M1]	0.0375	4.75	0.0517	0.00	MAX
--	--	-0.1361	0.95	0.0000	0.00	MIN
2	[A1-M1 S]	0.0556	4.55	0.0279	0.00	MAX
--	--	-0.4333	0.00	0.0000	0.00	MIN
3	[A2-M2]	0.2719	4.00	0.0450	0.00	MAX
--	--	-0.1315	0.10	0.0000	0.00	MIN
4	[A2-M2 S]	0.2960	4.05	0.0281	0.00	MAX
--	--	-0.4389	0.00	0.0000	0.00	MIN
5	[SLER]	0.0298	4.95	0.0408	0.00	MAX
--	--	-0.2231	0.40	0.0000	0.00	MIN
6	[SLEF]	0.0298	4.95	0.0408	0.00	MAX
--	--	-0.2231	0.40	0.0000	0.00	MIN
7	[SLEQ]	0.0298	4.95	0.0408	0.00	MAX
--	--	-0.2231	0.40	0.0000	0.00	MIN
8	[SLEQ S]	0.0331	4.90	0.0278	0.00	MAX
--	--	-0.4429	0.00	0.0000	0.00	MIN

Stabilità globale

Metodo di Fellenius
 Numero di cerchi analizzati 100

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

n°	Tipo	(X _c , Y _c)	R	(X _v , Y _v)	(X _m , Y _m)	FS
		[m]	[m]	[m]	[m]	
3	[A2-M2]	(0.00; 9.00)	19.00	(-8.57; -7.96)	(19.00; 9.00)	4.01
4	[A2-M2 S]	(0.00; 9.00)	19.00	(-8.57; -7.96)	(19.00; 9.00)	3.28

Combinazione n° 4

Numero di strisce 51

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
 Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
 Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
 Le strisce sono numerate da monte verso valle
 N° numero d'ordine della striscia
 W peso della striscia espresso in [kN]
 α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
 φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
 c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
 b larghezza della striscia espressa in [m]
 L sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
 u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
 C_{tn}, C_{tt} contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	Wsinα	L	φ	c	u	(C _{tn} ; C _{tt})
	[kN]					[kPa]	[kPa]	[kN]
1	2.2153	-25.91	-0.9681	0.60	25.67	0.1	0.0	(0.00; 0.00)

N°	W	$\alpha(^{\circ})$	$W\sin\alpha$	L	ϕ	c	u	(Ctn; Ctt)
	[kN]					[kPa]	[kPa]	[kN]
2	6.7021	-24.13	-2.7399	0.59	25.67	0.1	0.0	(0.00; 0.00)
3	11.0371	-22.37	-4.2009	0.58	25.67	0.1	0.0	(0.00; 0.00)
4	15.7606	-20.64	-5.5544	0.57	30.17	2.6	0.0	(0.00; 0.00)
5	20.7340	-18.92	-6.7226	0.57	30.17	2.6	0.0	(0.00; 0.00)
6	25.5318	-17.22	-7.5583	0.56	30.17	2.6	0.0	(0.00; 0.00)
7	30.1588	-15.54	-8.0778	0.56	30.17	2.6	0.0	(0.00; 0.00)
8	34.6692	-13.87	-8.3084	0.55	23.20	88.5	0.0	(0.00; 0.00)
9	39.8062	-12.21	-8.4171	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
10	45.0215	-10.56	-8.2506	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
11	50.0325	-8.92	-7.7583	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
12	54.8419	-7.29	-6.9579	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
13	59.4524	-5.66	-5.8666	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
14	63.8658	-4.04	-4.5015	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
15	68.0836	-2.42	-2.8793	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
16	70.9951	-0.81	-1.0008	0.54	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
17	98.7336	0.82	1.4167	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
18	101.2511	2.47	4.3586	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
19	103.5632	4.11	7.4302	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
20	105.6690	5.76	10.6138	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
21	107.5668	7.42	13.8914	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
22	109.2545	9.08	17.2448	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
23	110.7294	10.75	20.6554	0.55	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
24	111.9884	12.43	24.1041	0.56	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
25	113.0274	14.12	27.5715	0.56	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
26	113.8418	15.82	31.0373	0.57	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
27	114.4261	17.54	34.4805	0.57	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
28	111.7399	19.24	36.8192	0.56	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
29	113.4964	20.93	40.5365	0.56	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
30	115.7819	22.63	44.5545	0.57	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
31	117.8344	24.36	48.6029	0.58	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
32	119.6443	26.11	52.6581	0.59	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
33	121.2010	27.89	56.6949	0.59	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
34	122.4921	29.70	60.6864	0.60	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
35	123.5033	31.54	64.6029	0.62	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
36	129.7764	33.46	71.5585	0.66	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
37	129.6302	35.48	75.2315	0.68	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
38	129.0938	37.54	78.6584	0.69	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
39	128.1347	39.66	81.7846	0.71	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
40	126.7133	41.85	84.5471	0.74	16.23	174.4	0.0	(6.00; 3.21)
41	124.7811	44.12	86.8719	0.77	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
42	122.2778	46.48	88.6710	0.80	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
43	119.1265	48.95	89.8369	0.84	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
44	115.2496	51.55	90.2527	0.88	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
45	110.9117	54.30	90.0705	0.94	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
46	105.6602	57.26	88.8698	1.02	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
47	99.0519	60.47	86.1863	1.12	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
48	90.6292	64.05	81.4916	1.26	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
49	79.5501	68.18	73.8492	1.48	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
50	63.8350	73.29	61.1408	1.91	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)
51	27.2312	83.09	27.0335	4.57	16.23	174.4	0.0	(0.00; 0.00)

Resistenza a taglio paratia= 0.0000 [kN]

$\Sigma W_i = 4436.3050$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 1764.2512$ [kN]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 1112.1677$ [kN]

$\Sigma c_i b_i / \cos \alpha_i = 6011.3061$ [kN]

Descrizione armatura micropali e caratteristiche sezione

Diametro del micropalo 22.00 cm
 Area della sezione trasversale 380.13 cm²
 Diametro esterno del tubolare 139.70 mm
 Spessore del tubolare 12.50 mm
 Area della sezione tubolare 49.95 cm²
 Inerzia della sezione tubolare 1020.01 cm⁴

Verifica armatura paratia (Sezioni critiche)

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
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)
Mu	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
Nu	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)
T	taglio espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente espresso in [kN]
FS _T	fattore di sicurezza a taglio

N°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
1	[A1-M1]	0.30	53.28	55.14	65.26	67.54	1.22
2	[A1-M1 S]	0.30	20.23	27.87	65.21	89.84	3.22
3	[A2-M2]	0.30	43.77	47.52	65.25	70.84	1.49
4	[A2-M2 S]	3.55	-29.76	31.15	-65.26	68.30	2.19

N°	Tipo	Y	T	Tr	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	
1	[A1-M1]	0.30	-38.35	890.26	23.21
2	[A1-M1 S]	0.30	-30.02	890.26	29.65
3	[A2-M2]	0.30	-37.11	890.26	23.99
4	[A2-M2 S]	0.30	-31.05	890.26	28.67

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ _f	tensione normale nell'armatura, espressa in [kPa]
τ _f	tensione tangenziale nell'armatura, espresso in [kPa]
σ _{id}	tensione ideale ($\sigma_{id} = (\sigma_f^2 + 3 \tau_f^2)^{0.5}$) nella sezione del tubolare, espressa in [kPa]

N°	Tipo	σ _f	Y(σ)	τ _f	Y(τ)	σ _{id}	Y(σ _{id})
		[kPa]	[m]	[kPa]	[m]	[kPa]	[m]
5	[SLER]	271652	0.30	13553	0.30	272664	0.30
6	[SLEF]	271652	0.30	13553	0.30	272664	0.30
7	[SLEQ]	271652	0.30	13553	0.30	272664	0.30
8	[SLEQ S]	144083	0.30	11867	0.30	145542	0.30

Verifica armatura paratia (Inviluppo)

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
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)
Mu	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
Nu	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
FS	fattore di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)
T	taglio espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente espresso in [kN]
FS _T	fattore di sicurezza a taglio

n°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS	T	V _{Rd}	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]		[kN]	[kN]	
1	[A1-M1]	0.00	52.96	40.06	65.30	49.39	1.23	0.00	890.26	1000.00
1	[A1-M1]	0.05	52.97	40.11	65.30	49.45	1.23	0.28	890.26	1000.00
1	[A1-M1]	0.10	52.99	40.16	65.30	49.48	1.23	0.65	890.26	1000.00
1	[A1-M1]	0.15	53.03	40.20	65.30	49.50	1.23	1.35	890.26	661.51
1	[A1-M1]	0.20	53.09	40.25	65.30	49.50	1.23	1.85	890.26	481.66
1	[A1-M1]	0.25	53.18	40.30	65.30	49.48	1.23	2.36	890.26	377.93
1	[A1-M1]	0.30	53.28	55.14	65.26	67.54	1.22	-38.35	890.26	23.21
1	[A1-M1]	0.35	51.37	55.19	65.25	70.10	1.27	-37.89	890.26	23.49

n°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS	T	V _{Rdr}	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]		[kN]	[kN]	
1	[A1-M1]	0.40	49.49	55.23	65.25	72.82	1.32	-37.42	890.26	23.79
1	[A1-M1]	0.45	47.63	55.28	65.24	75.72	1.37	-36.93	890.26	24.11
1	[A1-M1]	0.50	45.80	55.33	65.24	78.81	1.42	-36.43	890.26	24.44
1	[A1-M1]	0.55	43.99	55.37	65.23	82.11	1.48	-35.91	890.26	24.79
1	[A1-M1]	0.60	42.21	55.42	65.22	85.63	1.55	-35.38	890.26	25.16
1	[A1-M1]	0.65	40.45	55.47	65.21	89.42	1.61	-34.84	890.26	25.55
1	[A1-M1]	0.70	38.72	55.51	65.20	93.47	1.68	-34.29	890.26	25.96
1	[A1-M1]	0.75	37.02	55.56	65.20	97.83	1.76	-33.73	890.26	26.39
1	[A1-M1]	0.80	35.35	55.60	65.19	102.53	1.84	-33.16	890.26	26.84
1	[A1-M1]	0.85	33.71	55.65	65.17	107.61	1.93	-32.59	890.26	27.32
1	[A1-M1]	0.90	32.09	55.70	65.16	113.09	2.03	-32.00	890.26	27.82
1	[A1-M1]	0.95	30.51	55.74	65.15	119.05	2.14	-31.41	890.26	28.34
1	[A1-M1]	1.00	28.95	55.79	65.14	125.52	2.25	-30.81	890.26	28.89
1	[A1-M1]	1.05	27.43	55.84	65.12	132.59	2.37	-30.21	890.26	29.47
1	[A1-M1]	1.10	25.93	55.88	65.11	140.31	2.51	-29.60	890.26	30.07
1	[A1-M1]	1.15	24.47	55.93	65.09	148.80	2.66	-28.99	890.26	30.71
1	[A1-M1]	1.20	23.03	55.98	65.07	158.14	2.83	-28.37	890.26	31.38
1	[A1-M1]	1.25	21.63	56.02	65.05	168.49	3.01	-27.75	890.26	32.08
1	[A1-M1]	1.30	20.26	56.07	65.02	179.98	3.21	-27.22	890.26	32.71
1	[A1-M1]	1.35	18.92	56.12	64.99	192.81	3.44	-26.78	890.26	33.24
1	[A1-M1]	1.40	17.61	56.16	64.96	207.23	3.69	-26.35	890.26	33.78
1	[A1-M1]	1.45	16.33	56.21	64.93	223.51	3.98	-25.93	890.26	34.33
1	[A1-M1]	1.50	15.08	56.26	64.89	242.02	4.30	-25.51	890.26	34.90
1	[A1-M1]	1.55	13.87	56.30	64.70	262.68	4.67	-25.09	890.26	35.49
1	[A1-M1]	1.60	12.69	56.35	64.34	285.78	5.07	-24.65	890.26	36.11
4	[A2-M2 S]	1.65	-11.75	29.38	-65.06	162.66	5.54	-24.22	890.26	36.76
4	[A2-M2 S]	1.70	-12.60	29.43	-65.08	152.00	5.17	-23.77	890.26	37.45
4	[A2-M2 S]	1.75	-13.43	29.47	-65.10	142.86	4.85	-23.32	890.26	38.17
4	[A2-M2 S]	1.80	-14.25	29.52	-65.12	134.93	4.57	-22.87	890.26	38.93
4	[A2-M2 S]	1.85	-15.05	29.57	-65.13	127.99	4.33	-22.40	890.26	39.74
4	[A2-M2 S]	1.90	-15.83	29.61	-65.14	121.87	4.12	-21.93	890.26	40.59
4	[A2-M2 S]	1.95	-16.60	29.66	-65.16	116.44	3.93	-21.46	890.26	41.49
4	[A2-M2 S]	2.00	-17.35	29.71	-65.17	111.60	3.76	-20.98	890.26	42.44
4	[A2-M2 S]	2.05	-18.08	29.75	-65.18	107.26	3.61	-20.49	890.26	43.45
4	[A2-M2 S]	2.10	-18.79	29.80	-65.18	103.36	3.47	-20.00	890.26	44.52
4	[A2-M2 S]	2.15	-19.49	29.85	-65.19	99.84	3.35	-19.50	890.26	45.66
4	[A2-M2 S]	2.20	-20.17	29.89	-65.20	96.65	3.23	-18.99	890.26	46.88
4	[A2-M2 S]	2.25	-20.82	29.94	-65.20	93.75	3.13	-18.48	890.26	48.18
4	[A2-M2 S]	2.30	-21.46	29.99	-65.21	91.12	3.04	-17.96	890.26	49.57
4	[A2-M2 S]	2.35	-22.08	30.03	-65.21	88.71	2.95	-17.43	890.26	51.07
4	[A2-M2 S]	2.40	-22.68	30.08	-65.22	86.51	2.88	-16.90	890.26	52.67
4	[A2-M2 S]	2.45	-23.25	30.13	-65.22	84.51	2.81	-16.36	890.26	54.40
4	[A2-M2 S]	2.50	-23.81	30.17	-65.23	82.67	2.74	-15.82	890.26	56.27
4	[A2-M2 S]	2.55	-24.34	30.22	-65.23	80.99	2.68	-15.27	890.26	58.30
4	[A2-M2 S]	2.60	-24.85	30.27	-65.23	79.45	2.63	-14.71	890.26	60.50
4	[A2-M2 S]	2.65	-25.34	30.31	-65.24	78.04	2.57	-14.15	890.26	62.91
4	[A2-M2 S]	2.70	-25.80	30.36	-65.24	76.76	2.53	-13.58	890.26	65.54
4	[A2-M2 S]	2.75	-26.25	30.41	-65.24	75.58	2.49	-13.01	890.26	68.44
4	[A2-M2 S]	2.80	-26.66	30.45	-65.24	74.52	2.45	-12.43	890.26	71.64
4	[A2-M2 S]	2.85	-27.06	30.50	-65.25	73.55	2.41	-11.84	890.26	75.20
4	[A2-M2 S]	2.90	-27.42	30.55	-65.25	72.67	2.38	-11.25	890.26	79.17
4	[A2-M2 S]	2.95	-27.77	30.59	-65.25	71.89	2.35	-10.65	890.26	83.63
4	[A2-M2 S]	3.00	-28.08	30.64	-65.25	71.19	2.32	-10.04	890.26	88.68
4	[A2-M2 S]	3.05	-28.38	30.69	-65.25	70.56	2.30	-9.43	890.26	94.44
4	[A2-M2 S]	3.10	-28.64	30.73	-65.25	70.02	2.28	-8.81	890.26	101.07
4	[A2-M2 S]	3.15	-28.88	30.78	-65.26	69.55	2.26	-8.18	890.26	108.78
4	[A2-M2 S]	3.20	-29.09	30.82	-65.26	69.15	2.24	-7.55	890.26	117.87
4	[A2-M2 S]	3.25	-29.27	30.87	-65.26	68.82	2.23	-6.92	890.26	128.73
4	[A2-M2 S]	3.30	-29.43	30.92	-65.26	68.56	2.22	-6.27	890.26	141.93
4	[A2-M2 S]	3.35	-29.55	30.96	-65.26	68.37	2.21	-5.62	890.26	158.33
4	[A2-M2 S]	3.40	-29.65	31.01	-65.26	68.25	2.20	-4.97	890.26	179.23
4	[A2-M2 S]	3.45	-29.72	31.06	-65.26	68.20	2.20	-4.31	890.26	206.79
4	[A2-M2 S]	3.50	-29.76	31.10	-65.26	68.22	2.19	-3.64	890.26	244.77
4	[A2-M2 S]	3.55	-29.76	31.15	-65.26	68.30	2.19	3.50	890.26	254.19
4	[A2-M2 S]	3.60	-29.74	31.20	-65.26	68.46	2.19	3.75	890.26	237.61
4	[A2-M2 S]	3.65	-29.68	31.24	-65.26	68.69	2.20	3.99	890.26	223.26
4	[A2-M2 S]	3.70	-29.60	31.29	-65.26	68.99	2.20	4.22	890.26	210.73
4	[A2-M2 S]	3.75	-29.48	31.34	-65.26	69.37	2.21	4.46	890.26	199.69
4	[A2-M2 S]	3.80	-29.33	31.38	-65.25	69.83	2.22	4.69	890.26	189.87
4	[A2-M2 S]	3.85	-29.15	31.43	-65.25	70.37	2.24	4.92	890.26	181.06
4	[A2-M2 S]	3.90	-28.93	31.48	-65.25	71.00	2.26	5.14	890.26	173.09
4	[A2-M2 S]	3.95	-28.68	31.52	-65.25	71.72	2.28	5.37	890.26	165.85
4	[A2-M2 S]	4.00	-28.39	31.57	-65.25	72.55	2.30	6.03	890.26	147.67
4	[A2-M2 S]	4.05	-28.08	31.62	-65.25	73.48	2.32	6.72	890.26	132.44
4	[A2-M2 S]	4.10	-27.72	31.66	-65.24	74.52	2.35	7.42	890.26	119.90
4	[A2-M2 S]	4.15	-27.33	31.71	-65.24	75.69	2.39	8.14	890.26	109.41

n°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS	T	V _{Rdr}	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]		[kN]	[kN]	
4	[A2-M2 S]	4.20	-26.91	31.76	-65.24	76.99	2.42	8.86	890.26	100.51
4	[A2-M2 S]	4.25	-26.45	31.80	-65.24	78.45	2.47	9.59	890.26	92.87
4	[A2-M2 S]	4.30	-25.95	31.85	-65.23	80.07	2.51	10.32	890.26	86.24
4	[A2-M2 S]	4.35	-25.41	31.90	-65.23	81.87	2.57	11.07	890.26	80.44
4	[A2-M2 S]	4.40	-24.84	31.94	-65.22	83.87	2.63	11.82	890.26	75.31
4	[A2-M2 S]	4.45	-24.23	31.99	-65.22	86.10	2.69	12.58	890.26	70.75
4	[A2-M2 S]	4.50	-23.58	32.04	-65.21	88.59	2.77	13.35	890.26	66.67
4	[A2-M2 S]	4.55	-22.90	32.08	-65.21	91.37	2.85	14.13	890.26	62.99
4	[A2-M2 S]	4.60	-22.17	32.13	-65.20	94.49	2.94	14.92	890.26	59.67
4	[A2-M2 S]	4.65	-21.40	32.18	-65.19	98.00	3.05	15.72	890.26	56.64
4	[A2-M2 S]	4.70	-20.60	32.22	-65.19	101.97	3.16	16.52	890.26	53.88
4	[A2-M2 S]	4.75	-19.75	32.27	-65.18	106.48	3.30	17.34	890.26	51.35
4	[A2-M2 S]	4.80	-18.86	32.32	-65.17	111.63	3.45	18.16	890.26	49.02
4	[A2-M2 S]	4.85	-17.94	32.36	-65.15	117.56	3.63	18.99	890.26	46.87
4	[A2-M2 S]	4.90	-16.97	32.41	-65.14	124.44	3.84	19.83	890.26	44.88
4	[A2-M2 S]	4.95	-15.95	32.46	-65.12	132.49	4.08	20.65	890.26	43.11
4	[A2-M2 S]	5.00	-14.90	32.50	-65.10	142.00	4.37	21.41	890.26	41.58
4	[A2-M2 S]	5.05	-13.81	32.55	-65.08	153.34	4.71	22.10	890.26	40.27
4	[A2-M2 S]	5.10	-12.69	32.60	-65.05	167.04	5.12	22.71	890.26	39.20
4	[A2-M2 S]	5.15	-11.54	32.64	-65.01	183.84	5.63	23.26	890.26	38.27
4	[A2-M2 S]	5.20	-10.37	32.69	-64.97	204.85	6.27	23.79	890.26	37.42
4	[A2-M2 S]	5.25	-9.17	32.74	-64.91	231.85	7.08	24.30	890.26	36.64
4	[A2-M2 S]	5.30	-7.94	32.78	-64.64	266.94	8.14	24.80	890.26	35.90
4	[A2-M2 S]	5.35	-6.69	32.83	-63.90	313.75	9.56	25.29	890.26	35.20
4	[A2-M2 S]	5.40	-5.42	32.88	-62.81	380.89	11.59	24.45	890.26	36.41
3	[A2-M2]	5.45	-3.66	52.32	-52.44	750.45	14.34	23.20	890.26	38.37
3	[A2-M2]	5.50	-2.60	52.37	-46.60	936.98	17.89	21.98	890.26	40.50
1	[A1-M1]	5.55	-2.01	60.03	-38.93	1163.29	19.38	20.80	890.26	42.80
1	[A1-M1]	5.60	-1.79	60.08	-36.53	1229.22	20.46	19.65	890.26	45.31
1	[A1-M1]	5.65	-1.57	60.12	-33.92	1298.00	21.59	18.53	890.26	48.03
1	[A1-M1]	5.70	-1.37	60.17	-31.11	1369.70	22.76	17.45	890.26	51.01
3	[A2-M2]	5.75	1.85	52.60	39.98	1134.14	21.56	16.41	890.26	54.26
3	[A2-M2]	5.80	2.60	52.65	46.45	941.58	17.88	15.40	890.26	57.83
3	[A2-M2]	5.85	3.29	52.69	50.61	809.79	15.37	14.42	890.26	61.75
3	[A2-M2]	5.90	3.95	52.74	53.48	714.89	13.55	13.47	890.26	66.08
3	[A2-M2]	5.95	4.55	52.79	55.56	643.90	12.20	12.56	890.26	70.87
3	[A2-M2]	6.00	5.12	52.83	57.12	589.21	11.15	11.69	890.26	76.19
3	[A2-M2]	6.05	5.65	52.88	58.35	546.13	10.33	10.84	890.26	82.12
4	[A2-M2 S]	6.10	6.62	33.53	63.75	322.80	9.63	10.03	890.26	88.77
4	[A2-M2 S]	6.15	7.12	33.57	64.08	302.04	9.00	9.25	890.26	96.26
4	[A2-M2 S]	6.20	7.59	33.62	64.35	285.20	8.48	8.50	890.26	104.73
4	[A2-M2 S]	6.25	8.01	33.67	64.57	271.36	8.06	7.78	890.26	114.38
4	[A2-M2 S]	6.30	8.40	33.71	64.75	259.88	7.71	7.10	890.26	125.45
4	[A2-M2 S]	6.35	8.75	33.76	64.87	250.17	7.41	6.44	890.26	138.24
4	[A2-M2 S]	6.40	9.08	33.81	64.89	241.69	7.15	5.81	890.26	153.15
4	[A2-M2 S]	6.45	9.37	33.85	64.90	234.57	6.93	5.21	890.26	170.72
4	[A2-M2 S]	6.50	9.63	33.90	64.92	228.58	6.74	4.64	890.26	191.66
4	[A2-M2 S]	6.55	9.86	33.95	64.93	223.54	6.58	4.10	890.26	217.00
4	[A2-M2 S]	6.60	10.07	33.99	64.94	219.31	6.45	3.59	890.26	248.16
4	[A2-M2 S]	6.65	10.24	34.04	64.94	215.79	6.34	3.10	890.26	287.31
4	[A2-M2 S]	6.70	10.40	34.09	64.95	212.89	6.25	2.64	890.26	337.80
4	[A2-M2 S]	6.75	10.53	34.13	64.96	210.53	6.17	2.20	890.26	405.14
4	[A2-M2 S]	6.80	10.64	34.18	64.96	208.65	6.10	1.78	890.26	499.11
4	[A2-M2 S]	6.85	10.73	34.23	64.96	207.21	6.05	1.39	890.26	638.79
4	[A2-M2 S]	6.90	10.80	34.27	64.97	206.16	6.02	1.03	890.26	867.17
4	[A2-M2 S]	6.95	10.85	34.32	64.97	205.47	5.99	0.82	890.26	1000.00
4	[A2-M2 S]	7.00	10.89	34.37	64.97	205.11	5.97	0.75	890.26	1000.00
4	[A2-M2 S]	7.05	10.90	34.41	64.97	205.05	5.96	0.69	890.26	1000.00
4	[A2-M2 S]	7.10	10.91	34.46	64.97	205.27	5.96	0.63	890.26	1000.00
4	[A2-M2 S]	7.15	10.90	34.51	64.97	205.76	5.96	0.57	890.26	1000.00
4	[A2-M2 S]	7.20	10.87	34.55	64.96	206.49	5.98	0.52	890.26	1000.00
4	[A2-M2 S]	7.25	10.83	34.60	64.96	207.46	6.00	-0.96	890.26	929.34
4	[A2-M2 S]	7.30	10.79	34.65	64.96	208.66	6.02	-1.17	890.26	763.27
4	[A2-M2 S]	7.35	10.73	34.69	64.96	210.06	6.05	-1.36	890.26	655.50
4	[A2-M2 S]	7.40	10.66	34.74	64.95	211.67	6.09	-1.78	890.26	499.69
4	[A2-M2 S]	7.45	10.57	34.79	64.95	213.73	6.14	-2.39	890.26	371.80
4	[A2-M2 S]	7.50	10.45	34.83	64.94	216.45	6.21	-2.95	890.26	301.63
4	[A2-M2 S]	7.55	10.30	34.88	64.94	219.82	6.30	-3.46	890.26	257.64
4	[A2-M2 S]	7.60	10.13	34.93	64.93	223.84	6.41	-3.91	890.26	227.77
4	[A2-M2 S]	7.65	9.94	34.97	64.92	228.51	6.53	-4.31	890.26	206.38
4	[A2-M2 S]	7.70	9.72	35.02	64.91	233.85	6.68	-4.67	890.26	190.50
4	[A2-M2 S]	7.75	9.49	35.07	64.89	239.88	6.84	-4.99	890.26	178.43
4	[A2-M2 S]	7.80	9.24	35.11	64.88	246.63	7.02	-5.26	890.26	169.11
4	[A2-M2 S]	7.85	8.97	35.16	64.84	254.05	7.23	-5.50	890.26	161.84
4	[A2-M2 S]	7.90	8.70	35.21	64.72	261.93	7.44	-5.70	890.26	156.16
4	[A2-M2 S]	7.95	8.41	35.25	64.58	270.59	7.68	-5.87	890.26	151.74

n°	Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS	T	V _{Rdr}	FS _T
		[m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]		[kN]	[kN]	
4	[A2-M2 S]	8.00	8.12	35.30	64.43	280.08	7.93	-6.00	890.26	148.37
4	[A2-M2 S]	8.05	7.82	35.35	64.26	290.47	8.22	-6.10	890.26	145.86
4	[A2-M2 S]	8.10	7.51	35.39	64.08	301.82	8.53	-6.18	890.26	144.09
4	[A2-M2 S]	8.15	7.21	35.44	63.89	314.21	8.87	-6.23	890.26	142.96
4	[A2-M2 S]	8.20	6.89	35.48	63.67	327.73	9.24	-6.25	890.26	142.42
4	[A2-M2 S]	8.25	6.58	35.53	63.44	342.48	9.64	-6.25	890.26	142.39
4	[A2-M2 S]	8.30	6.27	35.58	63.19	358.58	10.08	-6.23	890.26	142.86
4	[A2-M2 S]	8.35	5.96	35.62	62.91	376.17	10.56	-6.19	890.26	143.79
3	[A2-M2]	8.40	5.13	55.07	56.61	607.22	11.03	-6.13	890.26	145.16
3	[A2-M2]	8.45	4.85	55.12	55.85	634.01	11.50	-6.06	890.26	146.97
3	[A2-M2]	8.50	4.58	55.16	55.01	662.68	12.01	-5.97	890.26	149.21
3	[A2-M2]	8.55	4.31	55.21	54.11	693.51	12.56	-5.86	890.26	151.89
3	[A2-M2]	8.60	4.04	55.26	53.14	726.66	13.15	-5.74	890.26	155.03
3	[A2-M2]	8.65	3.78	55.30	52.09	762.21	13.78	-5.61	890.26	158.64
3	[A2-M2]	8.70	3.52	55.35	50.92	799.82	14.45	-5.47	890.26	162.75
3	[A2-M2]	8.75	3.28	55.40	49.67	840.16	15.17	-5.32	890.26	167.40
3	[A2-M2]	8.80	3.03	55.44	48.33	883.42	15.93	-5.16	890.26	172.62
3	[A2-M2]	8.85	2.80	55.49	46.86	928.95	16.74	-4.99	890.26	178.49
3	[A2-M2]	8.90	2.57	55.54	45.28	977.61	17.60	-4.81	890.26	185.06
3	[A2-M2]	8.95	2.35	55.58	43.57	1029.09	18.51	-4.63	890.26	192.42
3	[A2-M2]	9.00	2.14	55.63	41.73	1083.10	19.47	-4.44	890.26	200.67
3	[A2-M2]	9.05	1.94	55.68	39.77	1140.25	20.48	-4.24	890.26	209.95
3	[A2-M2]	9.10	1.75	55.72	37.63	1198.88	21.51	-4.04	890.26	220.41
3	[A2-M2]	9.15	1.57	55.77	35.39	1260.53	22.60	-3.83	890.26	232.24
3	[A2-M2]	9.20	1.39	55.82	32.97	1322.32	23.69	-3.62	890.26	245.72
3	[A2-M2]	9.25	1.23	55.86	30.45	1386.41	24.82	-3.41	890.26	261.15
3	[A2-M2]	9.30	1.07	55.91	27.79	1448.91	25.92	-3.19	890.26	278.95
3	[A2-M2]	9.35	0.93	55.96	25.07	1512.57	27.03	-2.97	890.26	299.70
3	[A2-M2]	9.40	0.79	56.00	22.26	1572.67	28.08	-2.75	890.26	324.13
1	[A1-M1]	9.45	0.15	63.67	4.44	1848.21	29.03	-2.52	890.26	353.30
1	[A1-M1]	9.50	0.13	63.71	3.71	1855.53	29.12	-2.29	890.26	388.67
1	[A1-M1]	9.55	0.10	63.76	3.04	1862.27	29.21	-2.06	890.26	432.44
1	[A1-M1]	9.60	0.08	63.81	2.42	1868.41	29.28	-1.82	890.26	487.93
1	[A1-M1]	9.65	0.06	63.85	1.87	1873.91	29.35	-1.59	890.26	560.57
1	[A1-M1]	9.70	0.05	63.90	1.39	1878.76	29.40	-1.35	890.26	659.67
1	[A1-M1]	9.75	0.03	63.95	0.97	1882.92	29.45	-1.11	890.26	802.86
1	[A1-M1]	9.80	0.02	63.99	0.63	1886.37	29.48	-0.18	890.26	1000.00
1	[A1-M1]	9.85	0.01	64.04	0.36	1889.09	29.50	-0.13	890.26	1000.00
1	[A1-M1]	9.90	0.01	64.09	0.16	1891.05	29.51	-0.08	890.26	1000.00
1	[A1-M1]	9.95	0.00	64.13	0.04	1892.24	29.51	-0.03	890.26	1000.00

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della Combinazione/Fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]

σ_f tensione normale nell'armatura, espressa in [kPa]τ_f tensione tangenziale nell'armatura, espresso in [kPa]σ_{id} tensione ideale (σ_{id} = (σ_f² + 3 τ_f²)^{0.5}) nella sezione del tubolare, espressa in [kPa]

Y	σ _{id}	n° - Tipo	σ _f	n° - Tipo	τ _f	n° - Tipo
[m]	[kPa]		[kPa]		[kPa]	
0.00	265857	5 - [SLER]	265857	5 - [SLER]	0	8 - [SLEQ S]
0.05	265891	5 - [SLER]	265891	5 - [SLER]	139	5 - [SLER]
0.10	266114	5 - [SLER]	266114	5 - [SLER]	361	5 - [SLER]
0.15	266530	5 - [SLER]	266528	5 - [SLER]	587	5 - [SLER]
0.20	267141	5 - [SLER]	267137	5 - [SLER]	817	5 - [SLER]
0.25	267950	5 - [SLER]	267944	5 - [SLER]	1049	5 - [SLER]
0.30	272664	5 - [SLER]	271652	5 - [SLER]	13553	5 - [SLER]
0.35	261193	5 - [SLER]	260173	5 - [SLER]	13315	5 - [SLER]
0.40	249927	5 - [SLER]	248899	5 - [SLER]	13074	5 - [SLER]
0.45	238867	5 - [SLER]	237831	5 - [SLER]	12832	5 - [SLER]
0.50	228017	5 - [SLER]	226972	5 - [SLER]	12587	5 - [SLER]
0.55	217376	5 - [SLER]	216322	5 - [SLER]	12342	5 - [SLER]
0.60	206946	5 - [SLER]	205883	5 - [SLER]	12094	5 - [SLER]
0.65	196729	5 - [SLER]	195656	5 - [SLER]	11846	5 - [SLER]
0.70	186725	5 - [SLER]	185642	5 - [SLER]	11598	5 - [SLER]
0.75	176935	5 - [SLER]	175840	5 - [SLER]	11348	5 - [SLER]
0.80	167359	5 - [SLER]	166252	5 - [SLER]	11099	5 - [SLER]
0.85	157999	5 - [SLER]	156877	5 - [SLER]	10849	5 - [SLER]
0.90	148853	5 - [SLER]	147716	5 - [SLER]	10599	5 - [SLER]
0.95	139922	5 - [SLER]	138769	5 - [SLER]	10349	5 - [SLER]
1.00	131207	5 - [SLER]	130036	5 - [SLER]	10100	5 - [SLER]

Y	σ_{id}	n° - Tipo	σ_f	n° - Tipo	τ_f	n° - Tipo
[m]	[kPa]		[kPa]		[kPa]	
1.05	122707	5 - [SLER]	121515	5 - [SLER]	9851	5 - [SLER]
1.10	114422	5 - [SLER]	113207	5 - [SLER]	9602	5 - [SLER]
1.15	106353	5 - [SLER]	105111	5 - [SLER]	9355	5 - [SLER]
1.20	98498	5 - [SLER]	97227	5 - [SLER]	9108	5 - [SLER]
1.25	90859	5 - [SLER]	89553	5 - [SLER]	8862	5 - [SLER]
1.30	83435	5 - [SLER]	82090	5 - [SLER]	8617	5 - [SLER]
1.35	76227	5 - [SLER]	74835	5 - [SLER]	8373	5 - [SLER]
1.40	69235	5 - [SLER]	67788	5 - [SLER]	8131	5 - [SLER]
1.45	62461	5 - [SLER]	60948	5 - [SLER]	7890	5 - [SLER]
1.50	55906	5 - [SLER]	54313	5 - [SLER]	7650	5 - [SLER]
1.55	49574	5 - [SLER]	48610	8 - [SLEQ S]	7411	5 - [SLER]
1.60	53634	8 - [SLEQ S]	52946	8 - [SLEQ S]	7174	5 - [SLER]
1.65	57665	8 - [SLEQ S]	57084	8 - [SLEQ S]	6939	5 - [SLER]
1.70	61520	8 - [SLEQ S]	61027	8 - [SLEQ S]	6705	5 - [SLER]
1.75	65197	8 - [SLEQ S]	64777	8 - [SLEQ S]	6472	5 - [SLER]
1.80	68696	8 - [SLEQ S]	68338	8 - [SLEQ S]	6241	5 - [SLER]
1.85	72019	8 - [SLEQ S]	71713	8 - [SLEQ S]	6012	5 - [SLER]
1.90	75165	8 - [SLEQ S]	74904	8 - [SLEQ S]	5784	5 - [SLER]
1.95	78137	8 - [SLEQ S]	77914	8 - [SLEQ S]	5558	5 - [SLER]
2.00	80935	8 - [SLEQ S]	80746	8 - [SLEQ S]	5333	5 - [SLER]
2.05	83563	8 - [SLEQ S]	83402	8 - [SLEQ S]	5110	5 - [SLER]
2.10	86021	8 - [SLEQ S]	85884	8 - [SLEQ S]	4889	5 - [SLER]
2.15	88311	8 - [SLEQ S]	88196	8 - [SLEQ S]	4669	5 - [SLER]
2.20	90436	8 - [SLEQ S]	90340	8 - [SLEQ S]	4450	5 - [SLER]
2.25	92397	8 - [SLEQ S]	92318	8 - [SLEQ S]	4234	5 - [SLER]
2.30	94196	8 - [SLEQ S]	94132	8 - [SLEQ S]	4018	5 - [SLER]
2.35	95836	8 - [SLEQ S]	95783	8 - [SLEQ S]	3804	5 - [SLER]
2.40	97317	8 - [SLEQ S]	97276	8 - [SLEQ S]	3592	5 - [SLER]
2.45	98642	8 - [SLEQ S]	98610	8 - [SLEQ S]	3380	5 - [SLER]
2.50	99813	8 - [SLEQ S]	99788	8 - [SLEQ S]	3170	5 - [SLER]
2.55	100830	8 - [SLEQ S]	100812	8 - [SLEQ S]	2962	5 - [SLER]
2.60	101696	8 - [SLEQ S]	101684	8 - [SLEQ S]	2754	5 - [SLER]
2.65	102413	8 - [SLEQ S]	102405	8 - [SLEQ S]	2548	5 - [SLER]
2.70	102980	8 - [SLEQ S]	102976	8 - [SLEQ S]	2342	5 - [SLER]
2.75	103401	8 - [SLEQ S]	103399	8 - [SLEQ S]	2138	5 - [SLER]
2.80	103676	8 - [SLEQ S]	103675	8 - [SLEQ S]	1935	5 - [SLER]
2.85	103805	8 - [SLEQ S]	103805	8 - [SLEQ S]	1732	5 - [SLER]
2.90	103791	8 - [SLEQ S]	103791	8 - [SLEQ S]	1530	5 - [SLER]
2.95	103635	8 - [SLEQ S]	103634	8 - [SLEQ S]	1330	5 - [SLER]
3.00	103337	8 - [SLEQ S]	103334	8 - [SLEQ S]	1129	5 - [SLER]
3.05	102894	8 - [SLEQ S]	102889	8 - [SLEQ S]	917	5 - [SLER]
3.10	102317	8 - [SLEQ S]	102308	8 - [SLEQ S]	772	8 - [SLEQ S]
3.15	101624	8 - [SLEQ S]	101612	8 - [SLEQ S]	893	8 - [SLEQ S]
3.20	100837	8 - [SLEQ S]	100822	8 - [SLEQ S]	990	8 - [SLEQ S]
3.25	99972	8 - [SLEQ S]	99955	8 - [SLEQ S]	1072	8 - [SLEQ S]
3.30	99038	8 - [SLEQ S]	99018	8 - [SLEQ S]	1149	8 - [SLEQ S]
3.35	98038	8 - [SLEQ S]	98015	8 - [SLEQ S]	1224	8 - [SLEQ S]
3.40	96973	8 - [SLEQ S]	96947	8 - [SLEQ S]	1301	8 - [SLEQ S]
3.45	95842	8 - [SLEQ S]	95812	8 - [SLEQ S]	1376	8 - [SLEQ S]
3.50	94648	8 - [SLEQ S]	94615	8 - [SLEQ S]	1445	8 - [SLEQ S]
3.55	93397	8 - [SLEQ S]	93360	8 - [SLEQ S]	1511	8 - [SLEQ S]
3.60	92091	8 - [SLEQ S]	92050	8 - [SLEQ S]	1575	8 - [SLEQ S]
3.65	90731	8 - [SLEQ S]	90687	8 - [SLEQ S]	1636	8 - [SLEQ S]
3.70	89320	8 - [SLEQ S]	89272	8 - [SLEQ S]	1696	8 - [SLEQ S]
3.75	87859	8 - [SLEQ S]	87806	8 - [SLEQ S]	1754	8 - [SLEQ S]
3.80	86349	8 - [SLEQ S]	86292	8 - [SLEQ S]	1810	8 - [SLEQ S]
3.85	84792	8 - [SLEQ S]	84730	8 - [SLEQ S]	1864	8 - [SLEQ S]
3.90	83189	8 - [SLEQ S]	83122	8 - [SLEQ S]	1918	8 - [SLEQ S]
3.95	81541	8 - [SLEQ S]	81469	8 - [SLEQ S]	1970	8 - [SLEQ S]
4.00	79849	8 - [SLEQ S]	79772	8 - [SLEQ S]	2021	8 - [SLEQ S]
4.05	78115	8 - [SLEQ S]	78033	8 - [SLEQ S]	2070	8 - [SLEQ S]
4.10	76341	8 - [SLEQ S]	76253	8 - [SLEQ S]	2116	8 - [SLEQ S]
4.15	74528	8 - [SLEQ S]	74435	8 - [SLEQ S]	2158	8 - [SLEQ S]
4.20	72681	8 - [SLEQ S]	72582	8 - [SLEQ S]	2197	8 - [SLEQ S]
4.25	70802	8 - [SLEQ S]	70697	8 - [SLEQ S]	2233	8 - [SLEQ S]
4.30	68895	8 - [SLEQ S]	68783	8 - [SLEQ S]	2264	8 - [SLEQ S]
4.35	66962	8 - [SLEQ S]	66844	8 - [SLEQ S]	2292	8 - [SLEQ S]
4.40	65007	8 - [SLEQ S]	64883	8 - [SLEQ S]	2316	8 - [SLEQ S]
4.45	63034	8 - [SLEQ S]	62904	8 - [SLEQ S]	2336	8 - [SLEQ S]
4.50	61045	8 - [SLEQ S]	60908	8 - [SLEQ S]	2352	8 - [SLEQ S]
4.55	59043	8 - [SLEQ S]	58901	8 - [SLEQ S]	2365	8 - [SLEQ S]
4.60	57033	8 - [SLEQ S]	56885	8 - [SLEQ S]	2373	8 - [SLEQ S]
4.65	55017	8 - [SLEQ S]	54865	8 - [SLEQ S]	2362	8 - [SLEQ S]
4.70	53009	8 - [SLEQ S]	52854	8 - [SLEQ S]	2338	8 - [SLEQ S]
4.75	51022	8 - [SLEQ S]	50864	8 - [SLEQ S]	2313	8 - [SLEQ S]
4.80	49160	5 - [SLER]	49044	5 - [SLER]	2288	8 - [SLEQ S]

Y	σ_{id}	n° - Tipo	σ_f	n° - Tipo	τ_f	n° - Tipo
[m]	[kPa]		[kPa]		[kPa]	
4.85	47505	5 - [SLER]	47384	5 - [SLER]	2263	8 - [SLEQ S]
4.90	45839	5 - [SLER]	45712	5 - [SLER]	2238	8 - [SLEQ S]
4.95	44165	5 - [SLER]	44032	5 - [SLER]	2213	8 - [SLEQ S]
5.00	42486	5 - [SLER]	42347	5 - [SLER]	2189	8 - [SLEQ S]
5.05	40806	5 - [SLER]	40661	5 - [SLER]	2164	8 - [SLEQ S]
5.10	39128	5 - [SLER]	38979	5 - [SLER]	2139	8 - [SLEQ S]
5.15	37457	5 - [SLER]	37303	5 - [SLER]	2115	8 - [SLEQ S]
5.20	35796	5 - [SLER]	35638	5 - [SLER]	2091	8 - [SLEQ S]
5.25	34150	5 - [SLER]	33988	5 - [SLER]	2067	8 - [SLEQ S]
5.30	32523	5 - [SLER]	32356	5 - [SLER]	2043	8 - [SLEQ S]
5.35	30914	5 - [SLER]	30742	5 - [SLER]	2020	8 - [SLEQ S]
5.40	29319	5 - [SLER]	29147	5 - [SLER]	1971	8 - [SLEQ S]
5.45	27758	5 - [SLER]	27590	5 - [SLER]	1896	8 - [SLEQ S]
5.50	26256	5 - [SLER]	26091	5 - [SLER]	1823	8 - [SLEQ S]
5.55	24810	5 - [SLER]	24649	5 - [SLER]	1751	8 - [SLEQ S]
5.60	23421	5 - [SLER]	23264	5 - [SLER]	1680	8 - [SLEQ S]
5.65	22087	5 - [SLER]	21933	5 - [SLER]	1610	8 - [SLEQ S]
5.70	20808	5 - [SLER]	20657	5 - [SLER]	1543	8 - [SLEQ S]
5.75	19581	5 - [SLER]	19435	5 - [SLER]	1476	8 - [SLEQ S]
5.80	18406	5 - [SLER]	18264	5 - [SLER]	1411	8 - [SLEQ S]
5.85	17282	5 - [SLER]	17143	5 - [SLER]	1348	8 - [SLEQ S]
5.90	16208	5 - [SLER]	16073	5 - [SLER]	1286	8 - [SLEQ S]
5.95	15182	5 - [SLER]	15051	5 - [SLER]	1226	8 - [SLEQ S]
6.00	14203	5 - [SLER]	14076	5 - [SLER]	1168	8 - [SLEQ S]
6.05	13271	5 - [SLER]	13147	5 - [SLER]	1111	8 - [SLEQ S]
6.10	12382	5 - [SLER]	12262	5 - [SLER]	1056	8 - [SLEQ S]
6.15	11538	5 - [SLER]	11421	5 - [SLER]	1003	8 - [SLEQ S]
6.20	10735	5 - [SLER]	10622	5 - [SLER]	951	8 - [SLEQ S]
6.25	9973	5 - [SLER]	9863	5 - [SLER]	901	8 - [SLEQ S]
6.30	10253	5 - [SLER]	10157	5 - [SLER]	852	8 - [SLEQ S]
6.35	10937	5 - [SLER]	10857	5 - [SLER]	806	8 - [SLEQ S]
6.40	11587	5 - [SLER]	11520	5 - [SLER]	761	8 - [SLEQ S]
6.45	12204	5 - [SLER]	12147	5 - [SLER]	717	8 - [SLEQ S]
6.50	12789	5 - [SLER]	12740	5 - [SLER]	676	8 - [SLEQ S]
6.55	13341	5 - [SLER]	13300	5 - [SLER]	636	8 - [SLEQ S]
6.60	13864	5 - [SLER]	13828	5 - [SLER]	597	8 - [SLEQ S]
6.65	14356	5 - [SLER]	14326	5 - [SLER]	560	8 - [SLEQ S]
6.70	14821	5 - [SLER]	14795	5 - [SLER]	525	8 - [SLEQ S]
6.75	15258	5 - [SLER]	15236	5 - [SLER]	491	8 - [SLEQ S]
6.80	15669	5 - [SLER]	15650	5 - [SLER]	459	8 - [SLEQ S]
6.85	16055	5 - [SLER]	16039	5 - [SLER]	428	8 - [SLEQ S]
6.90	16417	5 - [SLER]	16403	5 - [SLER]	399	8 - [SLEQ S]
6.95	16756	5 - [SLER]	16744	5 - [SLER]	371	8 - [SLEQ S]
7.00	17073	5 - [SLER]	17063	5 - [SLER]	345	8 - [SLEQ S]
7.05	17370	5 - [SLER]	17361	5 - [SLER]	320	8 - [SLEQ S]
7.10	17647	5 - [SLER]	17639	5 - [SLER]	297	8 - [SLEQ S]
7.15	17905	5 - [SLER]	17899	5 - [SLER]	274	8 - [SLEQ S]
7.20	18146	5 - [SLER]	18141	5 - [SLER]	254	8 - [SLEQ S]
7.25	18370	5 - [SLER]	18366	5 - [SLER]	234	5 - [SLER]
7.30	18579	5 - [SLER]	18575	5 - [SLER]	217	5 - [SLER]
7.35	18773	5 - [SLER]	18770	5 - [SLER]	201	5 - [SLER]
7.40	18953	5 - [SLER]	18951	5 - [SLER]	164	5 - [SLER]
7.45	19101	5 - [SLER]	19100	5 - [SLER]	110	5 - [SLER]
7.50	19204	5 - [SLER]	19204	5 - [SLER]	60	5 - [SLER]
7.55	19265	5 - [SLER]	19265	5 - [SLER]	14	5 - [SLER]
7.60	19286	5 - [SLER]	19286	5 - [SLER]	46	8 - [SLEQ S]
7.65	19271	5 - [SLER]	19271	5 - [SLER]	88	8 - [SLEQ S]
7.70	19223	5 - [SLER]	19222	5 - [SLER]	127	8 - [SLEQ S]
7.75	19143	5 - [SLER]	19142	5 - [SLER]	162	8 - [SLEQ S]
7.80	19036	5 - [SLER]	19034	5 - [SLER]	194	8 - [SLEQ S]
7.85	18903	5 - [SLER]	18900	5 - [SLER]	223	8 - [SLEQ S]
7.90	18746	5 - [SLER]	18742	5 - [SLER]	248	8 - [SLEQ S]
7.95	18568	5 - [SLER]	18564	5 - [SLER]	272	8 - [SLEQ S]
8.00	18372	5 - [SLER]	18366	5 - [SLER]	292	8 - [SLEQ S]
8.05	18159	5 - [SLER]	18152	5 - [SLER]	310	8 - [SLEQ S]
8.10	17931	5 - [SLER]	17923	5 - [SLER]	326	8 - [SLEQ S]
8.15	17690	5 - [SLER]	17682	5 - [SLER]	339	8 - [SLEQ S]
8.20	17438	5 - [SLER]	17429	5 - [SLER]	350	8 - [SLEQ S]
8.25	17176	5 - [SLER]	17167	5 - [SLER]	359	8 - [SLEQ S]
8.30	16907	5 - [SLER]	16897	5 - [SLER]	367	8 - [SLEQ S]
8.35	16632	5 - [SLER]	16621	5 - [SLER]	372	8 - [SLEQ S]
8.40	16351	5 - [SLER]	16341	5 - [SLER]	376	8 - [SLEQ S]
8.45	16068	5 - [SLER]	16057	5 - [SLER]	378	8 - [SLEQ S]
8.50	15782	5 - [SLER]	15770	5 - [SLER]	379	8 - [SLEQ S]
8.55	15495	5 - [SLER]	15483	5 - [SLER]	378	8 - [SLEQ S]
8.60	15208	5 - [SLER]	15196	5 - [SLER]	376	8 - [SLEQ S]

Y	σ_{id}	n° - Tipo	σ_f	n° - Tipo	τ_f	n° - Tipo
[m]	[kPa]		[kPa]		[kPa]	
8.65	14922	5 - [SLER]	14911	5 - [SLER]	373	8 - [SLEQ S]
8.70	14639	5 - [SLER]	14627	5 - [SLER]	368	8 - [SLEQ S]
8.75	14359	5 - [SLER]	14347	5 - [SLER]	363	8 - [SLEQ S]
8.80	14083	5 - [SLER]	14071	5 - [SLER]	356	8 - [SLEQ S]
8.85	13811	5 - [SLER]	13800	5 - [SLER]	349	8 - [SLEQ S]
8.90	13546	5 - [SLER]	13535	5 - [SLER]	340	8 - [SLEQ S]
8.95	13287	5 - [SLER]	13276	5 - [SLER]	331	8 - [SLEQ S]
9.00	13035	5 - [SLER]	13024	5 - [SLER]	320	8 - [SLEQ S]
9.05	12790	5 - [SLER]	12781	5 - [SLER]	310	8 - [SLEQ S]
9.10	12555	5 - [SLER]	12546	5 - [SLER]	298	8 - [SLEQ S]
9.15	12328	5 - [SLER]	12319	5 - [SLER]	285	8 - [SLEQ S]
9.20	12111	5 - [SLER]	12103	5 - [SLER]	272	8 - [SLEQ S]
9.25	11904	5 - [SLER]	11897	5 - [SLER]	259	8 - [SLEQ S]
9.30	11708	5 - [SLER]	11701	5 - [SLER]	244	8 - [SLEQ S]
9.35	11523	5 - [SLER]	11517	5 - [SLER]	230	8 - [SLEQ S]
9.40	11349	5 - [SLER]	11344	5 - [SLER]	214	8 - [SLEQ S]
9.45	11188	5 - [SLER]	11184	5 - [SLER]	198	8 - [SLEQ S]
9.50	11040	5 - [SLER]	11036	5 - [SLER]	182	8 - [SLEQ S]
9.55	10904	5 - [SLER]	10901	5 - [SLER]	165	8 - [SLEQ S]
9.60	10782	5 - [SLER]	10779	5 - [SLER]	147	8 - [SLEQ S]
9.65	10674	5 - [SLER]	10672	5 - [SLER]	129	8 - [SLEQ S]
9.70	10580	5 - [SLER]	10578	5 - [SLER]	111	8 - [SLEQ S]
9.75	10501	5 - [SLER]	10500	5 - [SLER]	92	8 - [SLEQ S]
9.80	10437	5 - [SLER]	10436	5 - [SLER]	72	8 - [SLEQ S]
9.85	10389	5 - [SLER]	10388	5 - [SLER]	52	8 - [SLEQ S]
9.90	10356	5 - [SLER]	10356	5 - [SLER]	32	8 - [SLEQ S]
9.95	10340	5 - [SLER]	10340	5 - [SLER]	11	8 - [SLEQ S]

Verifica a SLU * Diagrammi M-N delle sezioni

Di seguito sono riportati per ogni tratto di armatura i diagrammi di interazione M_u-N_u della sezione; sono stati calcolati 16 punti per ogni sezione analizzata.

Per la costruzione dei diagrammi limiti si sono assunti i seguenti valori:

Tensione caratteristica cubica del cls	$R_{bk} = 24517 \text{ [kPa]}$
Tensione caratteristica cilindrica del cls ($0.83 \times R_{bk}$)	$R_{ck} = 208 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Fattore di riduzione per carico di lunga permanenza	$\psi = 0.85$
Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio	$f_{yk} = 355000 \text{ [kPa]}$
Coefficiente di sicurezza cls	$\gamma_c = 1.50$
Coefficiente di sicurezza acciaio	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo del cls ($\psi R_{ck} / \gamma_c$)	$R_c^* = 118 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Resistenza di calcolo dell'acciaio (f_{yk} / γ_s)	$R_s^* = 3148 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Modulo elastico dell'acciaio	$E_s = 2100000 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
Deformazione ultima del calcestruzzo	$\varepsilon_{cu} = 0.0035 (0.35\%)$
Deformazione del calcestruzzo al limite elastoplastico	$\varepsilon_{ck} = 0.0020 (0.20\%)$
Deformazione ultima dell'acciaio	$\varepsilon_{yu} = 0.0100 (1.00\%)$
Deformazione dell'acciaio al limite elastico (R_s^* / E_s)	$\varepsilon_{yk} = 0.0011 (0.15\%)$

Legame costitutivo del calcestruzzo

Per il legame costitutivo del calcestruzzo si assume il diagramma parabola-rettangolo espresso dalle seguenti relazioni:

Tratto parabolico: $0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{ck}$

$$\sigma_c = \frac{R_c^* (2\varepsilon_{ck}\varepsilon_c - \varepsilon_c^2)}{\varepsilon_{ck}^2}$$

Tratto rettangolare: $\varepsilon_{ck} < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$

$$\sigma_c = R_c^*$$

Legame costitutivo dell'acciaio

Per l'acciaio si assume un comportamento elastico-perfettamente plastico espresso dalle seguenti relazioni:

$$\sigma_s = E_s \varepsilon_s \quad \text{per } 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}$$

$$\sigma_s = R_s^* \quad \text{per } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$$

Tratto armatura 1

N°	N_u [kN]	M_u [kNm]
1	-1541.9756	0.0000
2	0.0000	65.4029
3	252.3527	64.8672
4	378.5291	62.8701
5	504.7055	59.5292
6	630.8819	55.9376
7	757.0582	52.2483
8	883.2346	48.3392
9	1009.4110	44.2466
10	1135.5874	39.9352
11	1261.7637	35.3412
12	1387.9401	30.3915
13	1514.1165	25.0018
14	1640.2929	19.0854
15	1766.4692	12.6098
16	1892.6456	0.0000
17	1892.6456	0.0000
18	1766.4692	-12.6098
19	1640.2929	-19.0854
20	1514.1165	-25.0018
21	1387.9401	-30.3915
22	1261.7637	-35.3412
23	1135.5874	-39.9352
24	1009.4110	-44.2466
25	883.2346	-48.3392
26	757.0582	-52.2483

N°	N _u	M _u
	[kN]	[kNm]
27	630.8819	-55.9376
28	504.7055	-59.5292
29	378.5291	-62.8701
30	252.3527	-64.8672
31	0.0000	-65.4029
32	-1541.9756	0.0000

Verifica sezione cordoli

Simbologia adottata

M_h momento flettente espresso in [kNm] nel piano orizzontale
 T_h taglio espresso in [kN] nel piano orizzontale
 M_v momento flettente espresso in [kNm] nel piano verticale
 T_v taglio espresso in [kN] nel piano verticale

Cordolo N° 1 (X=0.00 m) (Cordolo in c.a.)

B=110.00 [cm]	H=60.00 [cm]		
A_{fv} =10.05 [cmq]	A_{fh} =6.03 [cmq]	Staffe ϕ 10/11	Nbh=2 - Nbv=2
M_h =61.93 [kNm]	M_{uh} =409.62 [kNm]	FS=6.61	
T_h =99.08 [kN]	T_{Rh} =1052.56 [kN]	FS _T =10.62	
M_v =22.54 [kNm]	M_{uv} =216.87 [kNm]	FS=9.62	
T_v =36.06 [kN]	T_R =789.08 [kN]	FS _{Tv} =21.88	

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con l'analisi statica non-lineare, utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato limite indotto dai carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 14/01/2008.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti, schematizzando la struttura in elementi lineari e nodi. Le incognite del problema sono le componenti di spostamento in corrispondenza di ogni nodo (2 spostamenti e 1 rotazioni).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	PAC - Analisi e Calcolo Paratie
Versione	12.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS)
Utente	ITEC ENGINEERING S.R.L.
Licenza	AIU1496GH

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.