



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Presidenza del Consiglio dei Ministri
IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ALLA RICOSTRUZIONE
NEI TERRITORI DELLE REGIONI EMILIA-ROMAGNA, TOSCANA E MARCHE



PROVINCIA
DI REGGIO EMILIA

PROVINCIA DI REGGIO EMILIA
SERVIZIO INFRASTRUTTURE, MOBILITÀ SOSTENIBILE E PATRIMONIO

LAVORI DI CONSOLIDAMENTO DELLA SCARPATA DI MONTE SULLA SP 57 AL KM 1+900 IN COMUNE DI VETTO

PROGETTO ESECUTIVO

2.2 ELABORATO DI CALCOLO

Dirigente del Servizio Infrastrutture,
Mobilità sostenibile e Patrimonio:

Ing. Valerio Bussei

Progettista e DL:

Ing. Giuseppe Herman

Responsabile Unico del Progetto:

Ing. Maurizio La macchia

REVISIONE			Redatto		Verificato o Validato	
Revis.	Data Revis.	Descrizione Modifiche	Data	Nome	Data	Nome
All. n° D2			Data Progetto Marzo 2025		N° P.E.G. Nome File All.D2_2.2 Elaborato di calcolo	

RELAZIONE DI CALCOLO

Titolo: Paratia Km 1+900

Nome della commessa: 1753 paratia

Normative di riferimento

D.M. 17-01-18 (N.T.C.)

Sicurezza (cap.2), Azioni sulle costruzioni (cap.3), Progettazione geotecnica (cap.6), Progettazione per azioni sismiche (cap.7), Riferimenti tecnici (cap.12)

Circolare 7 21-01-19 C.S.LL.PP

Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Software

Descrizione del programma BulkCAD

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

Specifiche tecniche

Denominazione del software: BulkCAD 6.13

Produttore del software: Concrete

Concrete srl, via della Pieve, 15, 35121 PADOVA - Italy

<http://www.concrete.it>

Rivenditore: CONCRETE SRL - Via della Pieve 19 - 35121 Padova - tel.049-8754720

Versione: 6.13

Identificatore licenza: KW-9356626

Intestatario della licenza: Herman Ing. Giuseppe - Via I Maggio, 14 - Castelnuovo ne' monti (RE)

Versione regolarmente licenziata

Schematizzazione strutturale e criteri di calcolo delle sollecitazioni

L'analisi e il calcolo della paratia viene condotto con un metodo cosiddetto 'a molle' (SRM o Subgrade Reaction Method), utilizzando un proprio solutore agli elementi finiti fornito col pacchetto. La paratia viene schematizzata in un certo numero di aste connesse da nodi, confinate in un letto di molle elastoplastiche, precaricate dalla spinta del terreno; le altre azioni sono messe in conto applicando delle forze esterne nei nodi del modello. Tali molle possono essere attivate e disattivate, permettendo di eseguire un calcolo per fasi; il calcolo eseguito per fasi permette quindi di tenere conto della reale sequenza costruttiva dell'opera. L'analisi delle azioni di calcolo e le successive verifiche sono condotte conformemente alla normativa impostata; l'analisi può essere condotta secondo il D.M. 17-01-18 NTC o il D.M. 14-01-08 NTC, le verifiche secondo il D.M. 17-01-18 NTC o il D.M. 14-01-08 NTC o secondo EC2-EC3. Le combinazioni di calcolo vengono create conformemente al D.M. 17-01-18 o al D.M. 14-01-08, che per le paratie richiede l'approccio DA1 (completo); è possibile creare e modificare sia le combinazioni che le fasi di calcolo.

Verifiche delle membrature in cemento armato

Le verifiche degli elementi in c.a. possono essere condotte agli stati limite in accordo al D.M. 17-01-18 o al D.M. 14-01-08 o secondo Eurocodice 2. Le sezioni di paratia sono verificate in stato limite ultimo per flessione retta e taglio, in esercizio per limitazione delle tensioni e delle fessure. Le varie situazioni di verifica (tensioni, resistenza, apertura delle fessure) sono riportate su diagrammi che l'operatore può interrogare ottenendo i valori numerici o la verifica puntuale dettagliata. In un file dxf viene poi riportato il disegno esecutivo dettagliato completo di prospetto, sezioni e distinta delle armature.

Verifiche delle membrature in acciaio

Le verifiche delle membrature in acciaio possono essere condotte secondo D.M. 17-01-18 o D.M. 14-01-08 o Eurocodice 3. Sono previste verifiche di resistenza e, ad eccezione dei micropali tubolari, di instabilità (buckling). Queste ultime possono interessare superelementi cioè membrature composte di più aste.

Verifiche geotecniche e idrauliche

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

Hardware

Processore: Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU @ 3.60GHz

Architettura: AMD64

Frequenza: 3600 MHz

Memoria: 15,92 GB
Sistema operativo: Microsoft Windows 10 Pro (64 bit)

Dati generali

Tipo di paratia: paratia di pali circolari accostati
Altezza totale della paratia: 760
Lunghezza totale della paratia: 1000
Sezione di base in CLS: Circolare Circolare (D=50)
Tipo di CLS: C28/35
Tipo di armatura: B450C
Interasse tra le sezioni in c.a. della stessa fila: 100
Sezione del cordolo in sommità: R 60x70
Materiale del cordolo in sommità: C28/35
Materiale delle barre del cordolo in sommità: B450C

Dati del sito

Descrizione: SP 57 Vetto
Quota del piano campagna: 0
Quota della falda: 9999

Stratigrafia

Dsc	Thk	StrType	SloType	IncL	IncR	StfMt	Afct	Bfct	Nfct
1753 UGT1+UGT3	300	Piano	Valori utente	0	0	Vesic semplificata			
1753 UGT4	1000	Piano	Valori utente	0	0	Vesic semplificata			

Terreni presenti in sito

Dsc	Fi	Dlt	Cse	Cu	Ads	Gmn	Gms	K0	Es	Ps	RQD	khorr	kvrt
1753 UGT1+UGT3	20	12	0	0	1	0.0019	0.0022	0.66	31	0.3	0	0.1	0.01
1753 UGT4	30	20	0	0	1	0.0021	0.0022	0.5	210	0.3	0	0.1	0.01

Significato dei simboli utilizzati:

Dsc: descrizione del suolo.
Thk: spessore dello strato. [cm]
StrType: tipo di strato (Piano, Inclinato o Generico).
SloType: metodo di valutazione dell'inclinazione di progetto per strati generici.
IncL: inclinazione di progetto dello strato sull'orizzontale, lato sinistro, positiva se antioraria. [deg]
IncR: inclinazione di progetto dello strato sull'orizzontale, lato destro, positiva se antioraria. [deg]
StfMt: metodo per la valutazione della rigidezza dello strato.
Afct: fattore A della formulazione binomia della rigidezza ($k=A+B^n$).
Bfct: fattore B della formulazione binomia della rigidezza ($k=A+B^n$).
Nfct: fattore n della formulazione binomia della rigidezza ($k=A+B^n$).
Fi: angolo di attrito interno. [deg]
Dlt: angolo di attrito delta all'interfaccia paratia/suolo. [deg]
Cse: coesione efficace. [daN/cm²]
Cu: coesione non drenata. [daN/cm²]
Ads: adesione della coesione all'interfaccia paratia/suolo.
Gmn: peso specifico naturale del terreno in sito. [daN/cm³]
Gms: peso specifico saturo del terreno in sito. [daN/cm³]
K0: coefficiente di spinta a riposo.
Es: modulo elastico del terreno. [daN/cm²]
Ps: modulo di Poisson del terreno.
RQD: rock Quality Degree per terreni rocciosi (0 negli altri casi).
khorr: permeabilità orizzontale. [cm/s]
kvrt: permeabilità verticale. [cm/s]

Preferenze generali

Preferenze sismiche di normativa

Azioni sismiche secondo la normativa: D.M. 17-01-18 (N.T.C.)
Località: Reggio Nell'emilia, Vetto, Atticola; Altitudine s.l.m. 376,71 m
Coordinate geografiche: Latitudine ED50 44,4611° (44° 27' 40"); Longitudine ED50 10,3259° (10° 19' 33")
Vita nominale (P.2.4.1): 50 anni
Classe d'uso (P.2.4.2): III
Periodo di riferimento considerato: 75 anni
Probabilità di superamento per lo SLD: 63,00%
Accelerazione max al suolo per lo SLD: 0.085
Fattore di amplificazione spettrale Fo per lo SLD: 2.471
Probabilità di superamento per lo SLV: 10,00%
Accelerazione max al suolo per lo SLV: 0.187
Fattore di amplificazione spettrale per lo SLV: 2.536
Categoria del suolo (Tab.3.2.II): Suolo_B

Amplificazione stratigrafica Ss allo SLD (Tab.3.2.IV): 1.2
Amplificazione stratigrafica Ss allo SLV (Tab.3.2.IV): 1.2
Amplificazione topografica St (Tab.3.2.V): 1.2
Coefficiente di deformabilità alfa (Fig.7.11.2): 1
Coefficiente di spostamento beta (Fig.7.11.3): 0.65
Coefficiente di riduzione al sito betaS (Tab.7.11.I): 0.24
Coeff. sismico orizzontale SLV per struttura: 0.175
Coeff. sismico orizzontale SLV per valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio passivo: 0.175
Coeff. sismico verticale SLV per struttura: 0
Coeff. sismico orizzontale SLV per pendio: 0.065
Coeff. sismico verticale SLV per pendio: 0
Posizione della risultante: Metà dell'altezza
Tratto di applicazione del sisma: sulla parte a sbalzo

Preferenze per il calcolo delle sezioni in c.a.

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

Preferenze per il solutore ad elementi finiti

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

Preferenze geotecniche generali

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

Preferenze per la verifica di stabilità globale

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

Preferenze per le verifiche di stabilità locali

Metodo di calcolo portanza verticale: Vesic

Combinazioni e Fasi di carico

Tabella condizioni elementari di carico

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

Tabella combinazioni caratteristiche

Nome	Nome breve	Tipo	Prm	PrmP	Var	SisH	SisV
Caratteristica G1	Chr G1	SLEr	1	0	0	0	0
Caratteristica G1SisP	Chr G1SisP	SLVm1	1	1	0.3	1	0
Caratteristica G1SisM	Chr G1SisM	SLVm1	1	1	0.3	-1	0

Tabella combinazioni per ricerca meccanismo di collasso

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

Tabella combinazioni di calcolo

Nome	Nome breve	Tipo	Prm	PrmP	Var	SisH	SisV
SLE rara	SLE 1	SLEr	1	0	0	0	0
STR (A1+M1)	STR 1	STR	1.3	0	0	0	0
STR (A1+M1)	STR 2	STR	1	0	0	0	0
GEO (A2+M2)	GEO 1	GEO	1	0	0	0	0
SLV (M1)	SLVm1 1	SLVm1	1	0	0	1	0
SLV (M1)	SLVm1 2	SLVm1	1	0	0	-1	0

Tabella fasi di calcolo

Fase/gg	Operazione
0	Scavo nullo di inizializzazione del terreno (Attiva = Si; Fase = 0)
1	Scavo del terreno (Attiva = Si; Spessore complessivo = 300; Lato = Sinistra; Fase = 1)
1	Applicazione carico su paratia > lineare (Attiva = Si; Quota (Z) = 0; Valore Fx permanente = -10.6; Valore Fx permanente portato = 0; Valore Fx variabile = 0; Valore Fz permanente = 22; Valore Fz permanente portato = 0; Valore Fz variabile = 0; Valore My permanente = 5.05; Valore My permanente portato = 0; Valore My variabile = 0; Fase = 1)

Fase/gg	Operazione
1	Applicazione carico al suolo > uniforme (Attiva = Si; Lato = Sinistra; Pressione permanente = 0.4; Pressione permanente portato = 0; Pressione variabile = 0; Fase = 1)
2	Inserimento delle spinte sismiche (Attiva = Si; Quota (Z) = 0; Ampiezza = 300; Fase = 2)

Azioni esterne

Tabella carichi lineari applicati su paratia

Da fase	A fase	Quota	FxG1	FxG2	FxQ1	FzG1	FzG2	FzQ1	MyG1	MyG2	MyQ1
1	ultima	0	-11	0	0	22	0	0	5	0	0

Tabella carichi uniformi applicati sul pendio

Da fase	A fase	Lato	ValP	ValPP	ValV
1	ultima	sx	0.4	0	0

Tabella carichi sismici applicati su paratia

Da fase	A fase	Ztop	Zbot
2	ultima	0	300

Significato dei simboli utilizzati:

Descrizione: nome assegnato alla condizione elementare.

Nome breve: nome breve assegnato alla condizione elementare.

Durata: descrive la durata della condizione (necessario per strutture in legno).

Psi0: coefficiente moltiplicatore Psi0.

Psi1: coefficiente moltiplicatore Psi1.

Psi2: coefficiente moltiplicatore Psi2.

Nome: nome assegnato alla combinazione di calcolo.

Nome breve: nome breve assegnato alla combinazione di calcolo.

Tipo: famiglia di appartenenza.

Prm: coefficiente parziale applicato ai carichi permanenti.

PrmP: coefficiente parziale applicato ai carichi permanenti non strutturali.

Var: coefficiente parziale applicato ai carichi variabili.

SisH: coefficiente parziale applicato ai carichi sismici orizzontali.

SisV: coefficiente parziale applicato ai carichi sismici verticali.

Fase/gg: fase di calcolo (giorno).

Operazione: operazione di costruzione eseguita in una certa fase.

Da fase: prima fase in cui il carico è attivo.

A fase: ultima fase in cui il carico è attivo.

Quota: quota di applicazione del carico. [cm]

FxG1: forza lungo x in condizione permanente. [daN]

FxG2: forza lungo x in condizione permanente portato. [daN]

FxQ1: forza lungo x in condizione variabile. [daN]

FzG1: forza lungo z in condizione permanente. [daN]

FzG2: forza lungo z in condizione permanente portato. [daN]

FzQ1: forza lungo z in condizione variabile. [daN]

MyG1: momento lungo y in condizione permanente. [daN*cm]

MyG2: momento lungo y in condizione permanente portato. [daN*cm]

MyQ1: momento lungo y in condizione variabile. [daN*cm]

Lato: lato di applicazione del carico.

ValP: valore del carico permanente (pressione). [daN/cm²]

ValPP: valore del carico permanente portato (pressione). [daN/cm²]

ValV: valore del carico variabile (pressione). [daN/cm²]

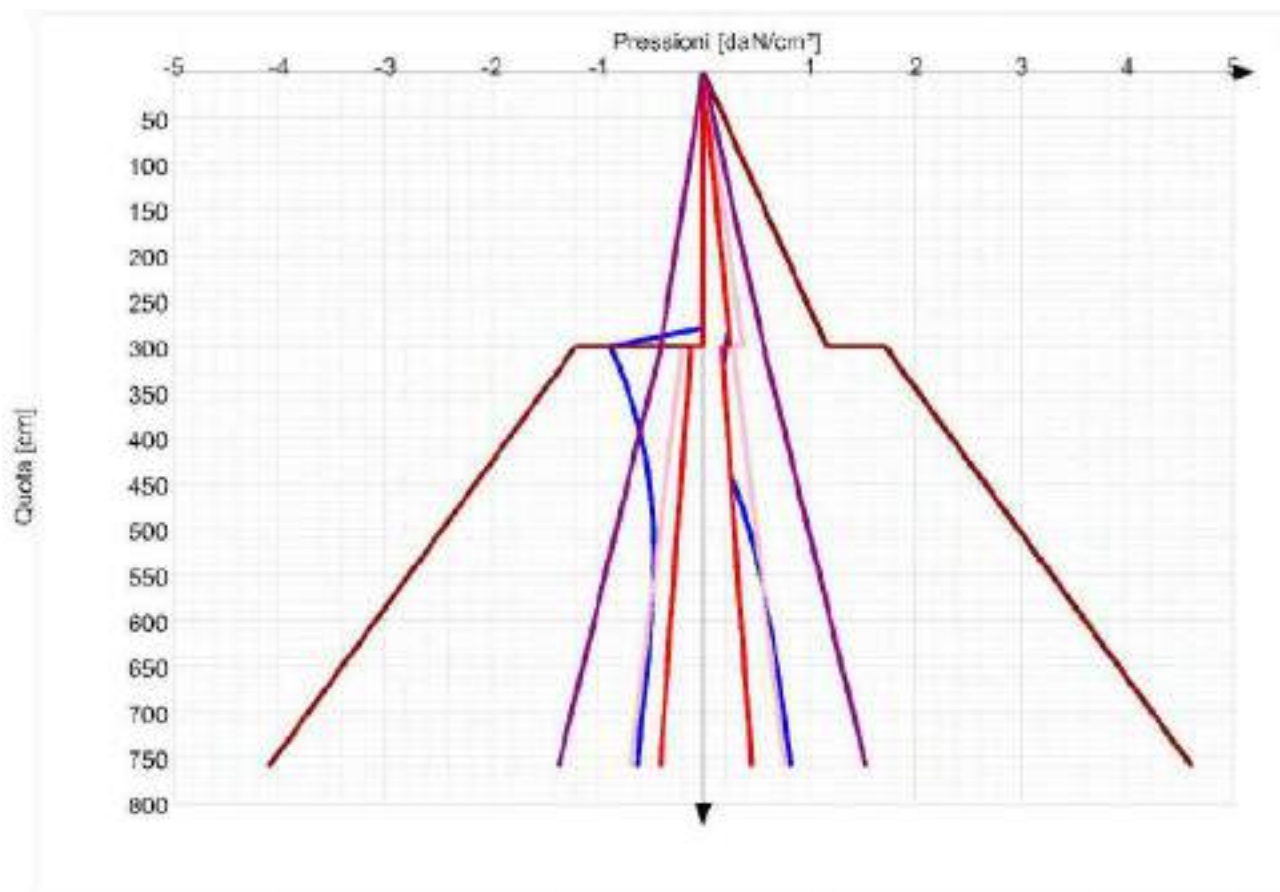
Ztop: quota superiore di applicazione del carico. [cm]

Zbot: quota inferiore di applicazione del carico. [cm]

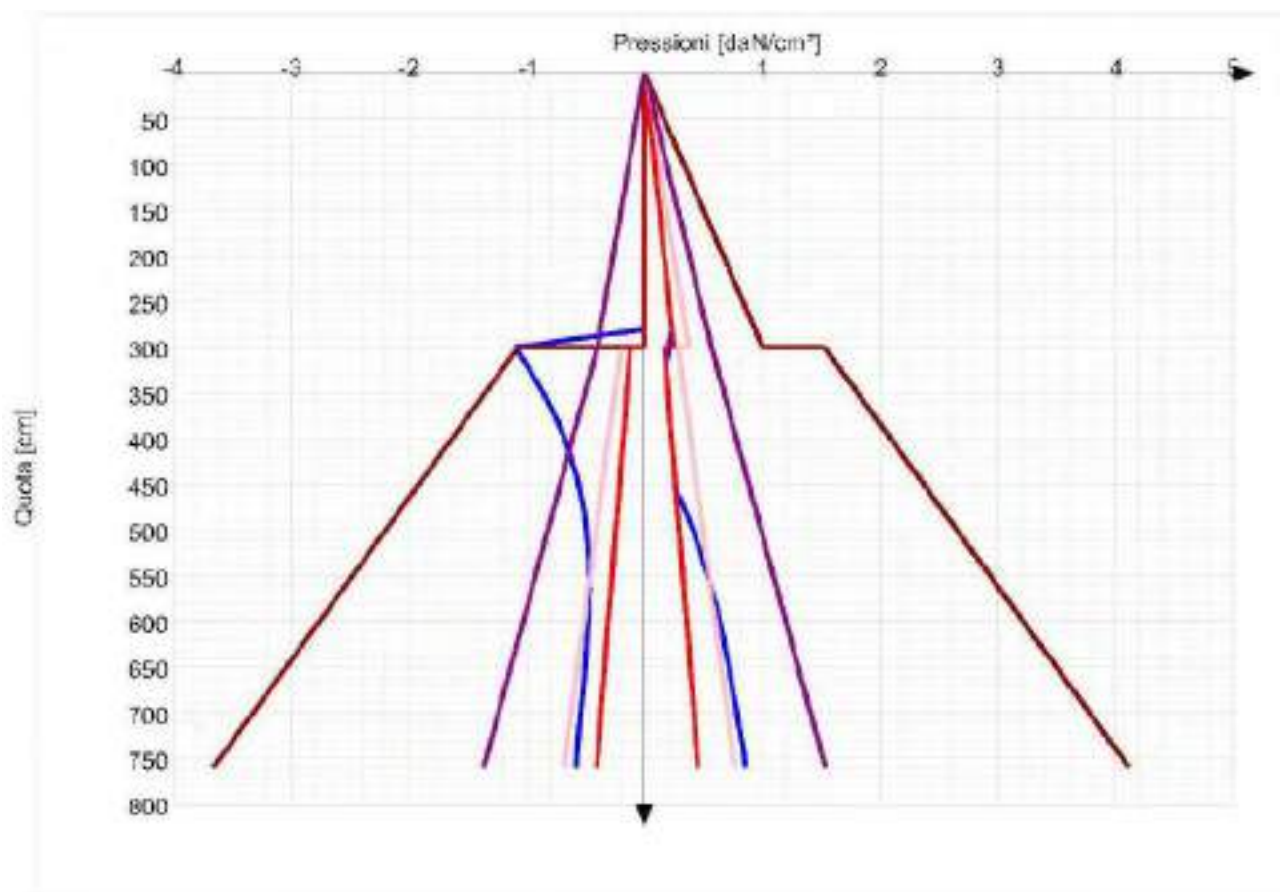
Diagrammi pressioni agenti sulla paratia nelle fasi di calcolo

Legenda diagrammi pressioni

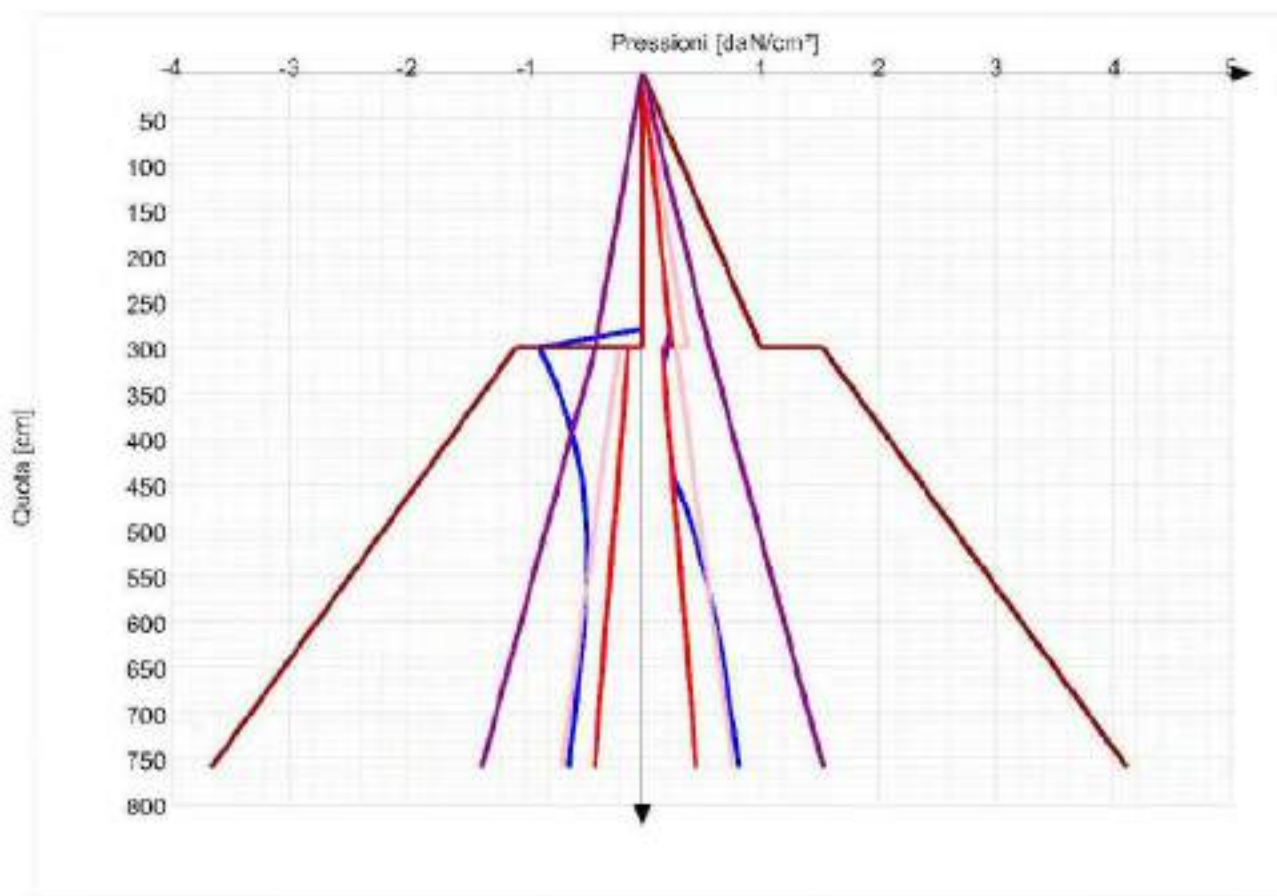
	Pressione terreno sismica a destra
	Pressione terreno corrente a destra, Pressione terreno corrente a sinistra, Spinta carichi uniformi
	Pressione terreno attiva a destra, Pressione terreno attiva a sinistra
	Pressione terreno passiva a destra, Pressione terreno passiva a sinistra
	Pressione terreno ripodo a destra, Pressione terreno ripodo a sinistra
	Pressione terreno verticale efficace a destra, Pressione terreno verticale efficace a sinistra
	Pressione terreno verticale totale a destra, Pressione terreno verticale totale a sinistra



Diagrammi pressioni Chr G1SisP, Fase 2



Diagrammi pressioni Chr G1SisM, Fase 2



Modello ad elementi finiti

Il modello è costituito da 38 aste delle seguenti caratteristiche:

Lunghezza: 20

Area: 1963.5

Area di taglio FEM: 1767.15

Momento di inerzia FEM: 302876

Modulo elastico longitudinale E: 325881

Modulo elastico tangenziale G: 148128

La presenza del terreno è modellata da molle elastoplastiche precaricate poste nei nodi.

Molle elastoplastiche del modello ad elementi finiti ottenute con coefficienti per la resistenza dei materiali M1

Quota	Stg	molle sul fianco sinistro				molle sul fianco destro			
		K	Ymin	Ymax	Pr	K	Ymin	Ymax	Pr
0	0	341	-19	-4	-6	341	-19	-4	-6
20	0	681	-155	-34	-50	681	-155	-34	-50
40	0	681	-310	-67	-100	681	-310	-67	-100
60	0	681	-465	-101	-150	681	-465	-101	-150
80	0	681	-620	-134	-201	681	-620	-134	-201
100	0	681	-775	-168	-251	681	-775	-168	-251
120	0	681	-930	-201	-301	681	-930	-201	-301
140	0	681	-1085	-235	-351	681	-1085	-235	-351
160	0	681	-1240	-268	-401	681	-1240	-268	-401
180	0	681	-1395	-302	-451	681	-1395	-302	-451
200	0	681	-1550	-335	-502	681	-1550	-335	-502
220	0	681	-1705	-369	-552	681	-1705	-369	-552
240	0	681	-1860	-402	-602	681	-1860	-402	-602
260	0	681	-2015	-436	-652	681	-2015	-436	-652
280	0	681	-2170	-469	-702	681	-2170	-469	-702
300	0	4615	-2885	-420	-660	4615	-2885	-420	-660
320	0	4615	-3672	-364	-612	4615	-3672	-364	-612
340	0	4615	-3924	-389	-654	4615	-3924	-389	-654
360	0	4615	-4176	-414	-696	4615	-4176	-414	-696
380	0	4615	-4428	-439	-738	4615	-4428	-439	-738
400	0	4615	-4680	-464	-780	4615	-4680	-464	-780
420	0	4615	-4932	-489	-822	4615	-4932	-489	-822
440	0	4615	-5184	-514	-864	4615	-5184	-514	-864
460	0	4615	-5436	-539	-906	4615	-5436	-539	-906
480	0	4615	-5688	-564	-948	4615	-5688	-564	-948
500	0	4615	-5940	-589	-990	4615	-5940	-589	-990
520	0	4615	-6192	-614	-1032	4615	-6192	-614	-1032

		molle sul fianco sinistro				molle sul fianco destro			
Quota	Stg	K	Ymin	Ymax	Pr	K	Ymin	Ymax	Pr
540	0	4615	-6444	-639	-1074	4615	-6444	-639	-1074
560	0	4615	-6696	-664	-1116	4615	-6696	-664	-1116
580	0	4615	-6948	-689	-1158	4615	-6948	-689	-1158
600	0	4615	-7200	-714	-1200	4615	-7200	-714	-1200
620	0	4615	-7452	-739	-1242	4615	-7452	-739	-1242
640	0	4615	-7704	-764	-1284	4615	-7704	-764	-1284
660	0	4615	-7956	-788	-1326	4615	-7956	-788	-1326
680	0	4615	-8208	-813	-1368	4615	-8208	-813	-1368
700	0	4615	-8460	-838	-1410	4615	-8460	-838	-1410
720	0	4615	-8712	-863	-1452	4615	-8712	-863	-1452
740	0	4615	-8964	-888	-1494	4615	-8964	-888	-1494
760	0	2308	-4577	-454	-763	2308	-4577	-454	-763
0	1					341	-19	-4	-6
20	1					681	-155	-34	-50
40	1					681	-310	-67	-100
60	1					681	-465	-101	-150
80	1					681	-620	-134	-201
100	1					681	-775	-168	-251
120	1					681	-930	-201	-301
140	1					681	-1085	-235	-351
160	1					681	-1240	-268	-401
180	1					681	-1395	-302	-451
200	1					681	-1550	-335	-502
220	1					681	-1705	-369	-552
240	1					681	-1860	-402	-602
260	1					681	-2015	-436	-652
280	1					681	-2170	-469	-702
300	1	4615	-2463	-244	-411	4615	-2885	-420	-660
320	1	4615	-2652	-263	-442	4615	-3672	-364	-612
340	1	4615	-2904	-288	-484	4615	-3924	-389	-654
360	1	4615	-3156	-313	-526	4615	-4176	-414	-696
380	1	4615	-3408	-338	-568	4615	-4428	-439	-738
400	1	4615	-3660	-363	-610	4615	-4680	-464	-780
420	1	4615	-3912	-388	-652	4615	-4932	-489	-822
440	1	4615	-4164	-413	-694	4615	-5184	-514	-864
460	1	4615	-4416	-438	-736	4615	-5436	-539	-906
480	1	4615	-4668	-463	-778	4615	-5688	-564	-948
500	1	4615	-4920	-488	-820	4615	-5940	-589	-990
520	1	4615	-5172	-513	-862	4615	-6192	-614	-1032
540	1	4615	-5424	-538	-904	4615	-6444	-639	-1074
560	1	4615	-5676	-563	-946	4615	-6696	-664	-1116
580	1	4615	-5928	-587	-988	4615	-6948	-689	-1158
600	1	4615	-6180	-612	-1030	4615	-7200	-714	-1200
620	1	4615	-6432	-637	-1072	4615	-7452	-739	-1242
640	1	4615	-6684	-662	-1114	4615	-7704	-764	-1284
660	1	4615	-6936	-687	-1156	4615	-7956	-788	-1326
680	1	4615	-7188	-712	-1198	4615	-8208	-813	-1368
700	1	4615	-7440	-737	-1240	4615	-8460	-838	-1410
720	1	4615	-7692	-762	-1282	4615	-8712	-863	-1452
740	1	4615	-7944	-787	-1324	4615	-8964	-888	-1494
760	1	2308	-4067	-403	-678	2308	-4577	-454	-763
0	2					341	-19	-4	-6
20	2					681	-155	-34	-50
40	2					681	-310	-67	-100
60	2					681	-465	-101	-150
80	2					681	-620	-134	-201
100	2					681	-775	-168	-251
120	2					681	-930	-201	-301
140	2					681	-1085	-235	-351
160	2					681	-1240	-268	-401
180	2					681	-1395	-302	-451
200	2					681	-1550	-335	-502
220	2					681	-1705	-369	-552
240	2					681	-1860	-402	-602
260	2					681	-2015	-436	-652
280	2					681	-2170	-469	-702
300	2	4615	-2463	-244	-411	4615	-2885	-420	-660
320	2	4615	-2652	-263	-442	4615	-3672	-364	-612
340	2	4615	-2904	-288	-484	4615	-3924	-389	-654
360	2	4615	-3156	-313	-526	4615	-4176	-414	-696
380	2	4615	-3408	-338	-568	4615	-4428	-439	-738
400	2	4615	-3660	-363	-610	4615	-4680	-464	-780
420	2	4615	-3912	-388	-652	4615	-4932	-489	-822
440	2	4615	-4164	-413	-694	4615	-5184	-514	-864
460	2	4615	-4416	-438	-736	4615	-5436	-539	-906
480	2	4615	-4668	-463	-778	4615	-5688	-564	-948
500	2	4615	-4920	-488	-820	4615	-5940	-589	-990
520	2	4615	-5172	-513	-862	4615	-6192	-614	-1032
540	2	4615	-5424	-538	-904	4615	-6444	-639	-1074
560	2	4615	-5676	-563	-946	4615	-6696	-664	-1116
580	2	4615	-5928	-587	-988	4615	-6948	-689	-1158
600	2	4615	-6180	-612	-1030	4615	-7200	-714	-1200
620	2	4615	-6432	-637	-1072	4615	-7452	-739	-1242
640	2	4615	-6684	-662	-1114	4615	-7704	-764	-1284
660	2	4615	-6936	-687	-1156	4615	-7956	-788	-1326
680	2	4615	-7188	-712	-1198	4615	-8208	-813	-1368
700	2	4615	-7440	-737	-1240	4615	-8460	-838	-1410
720	2	4615	-7692	-762	-1282	4615	-8712	-863	-1452
740	2	4615	-7944	-787	-1324	4615	-8964	-888	-1494
760	2	2308	-4067	-403	-678	2308	-4577	-454	-763

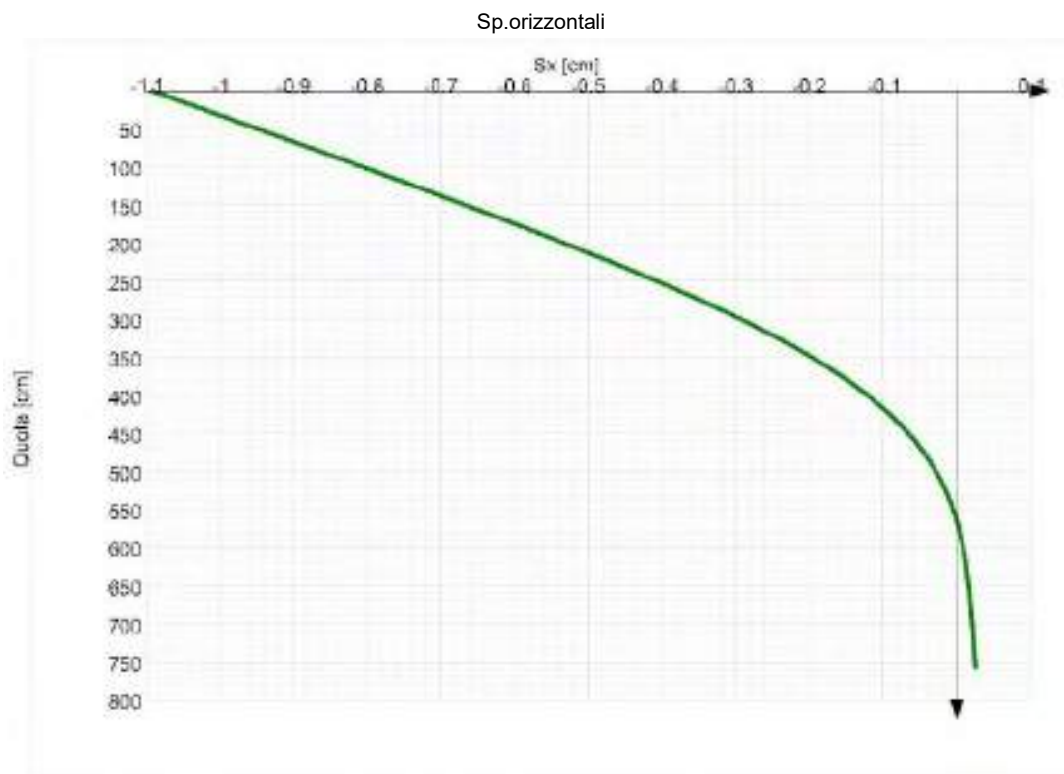
Significato dei simboli utilizzati:

Quota: quota del nodo al quale la molla è collegata. [cm]
Stg: fase di calcolo.
molle sul fianco sinistro: pressioni a sinistra.
K: rigidezza estensionale della molla. [daN/cm]

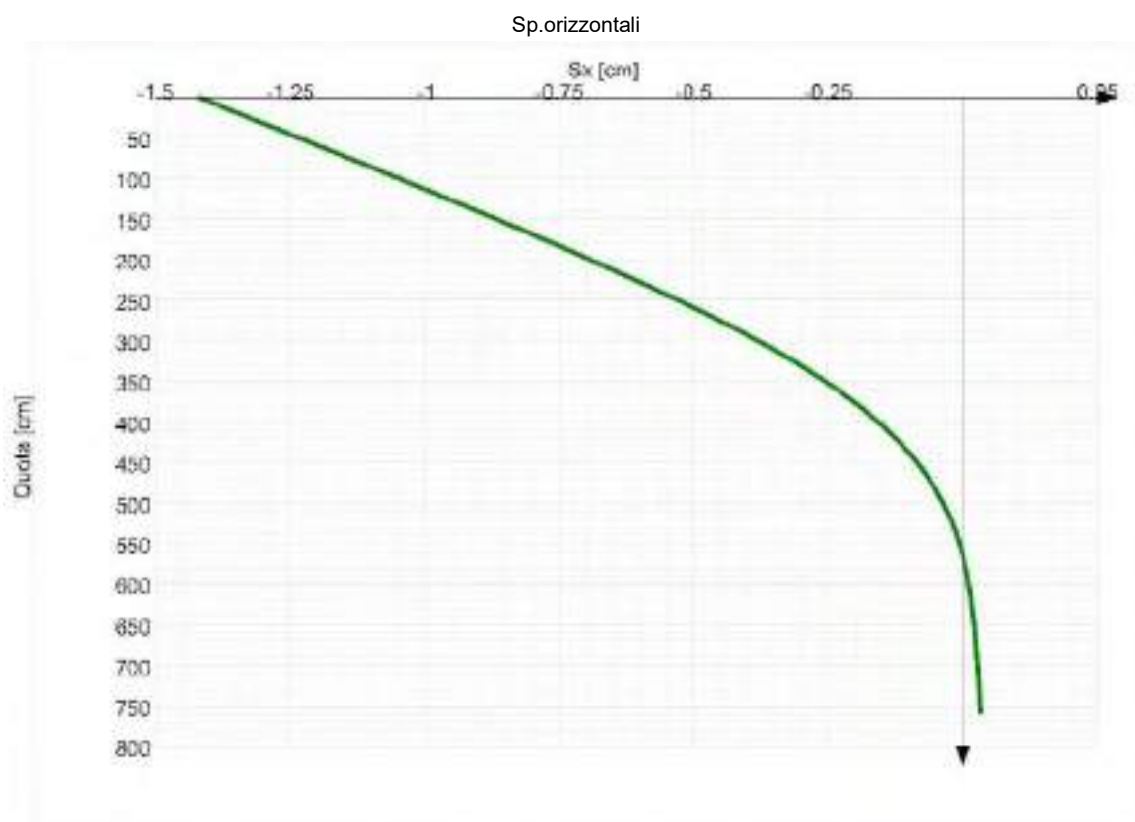
Ymin: snervamento minimo della molla. [daN]
Ymax: snervamento massimo della molla. [daN]
Pr: presollecitazione assiale della molla. [daN]
molle sul fianco destro: pressioni a destra.

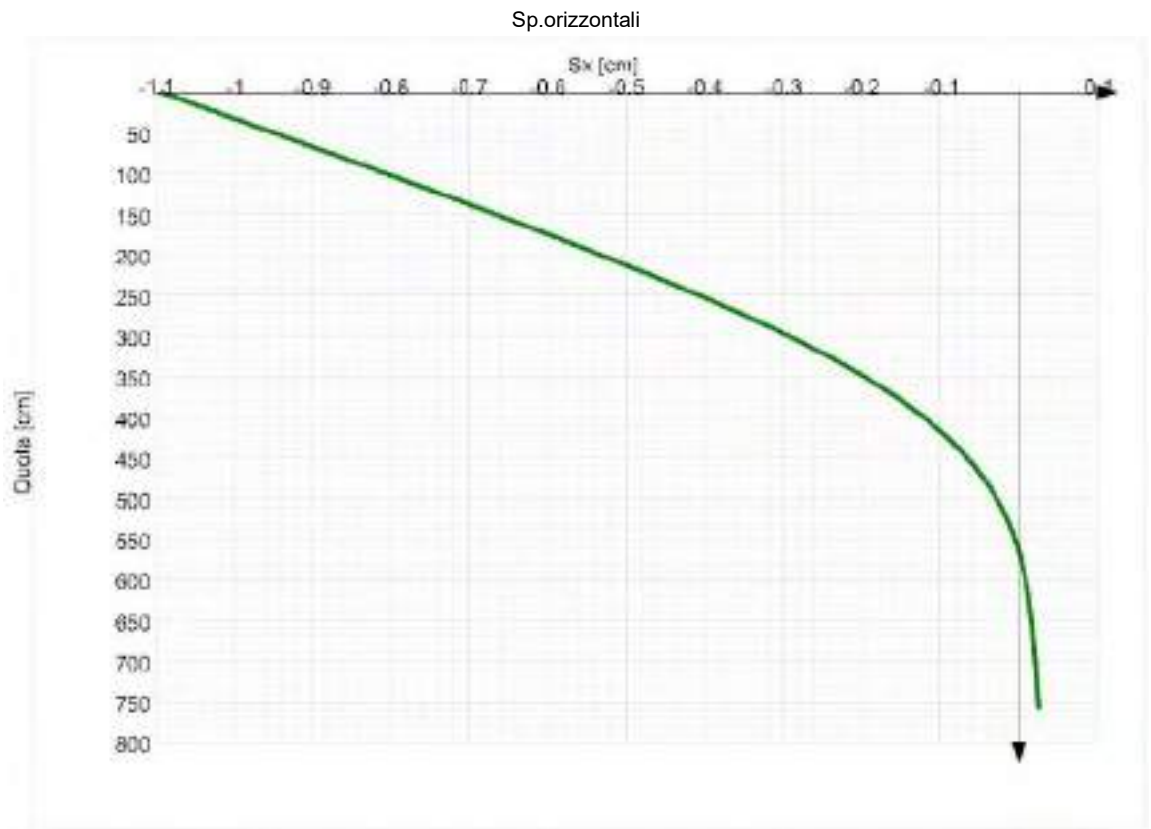
Diagrammi spostamenti della paratia nelle fasi di calcolo

Diagrammi spostamenti SLE 1, Fase 2

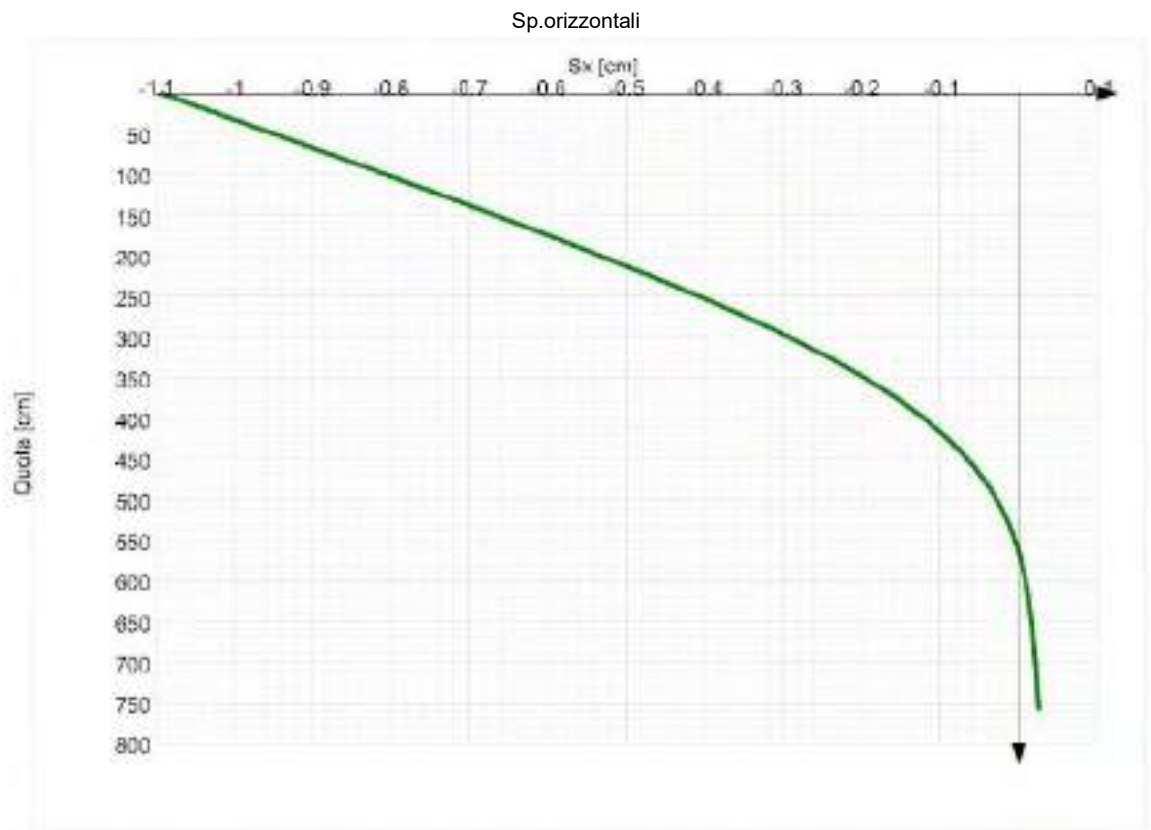


Diagrammi spostamenti STR 1, Fase 2

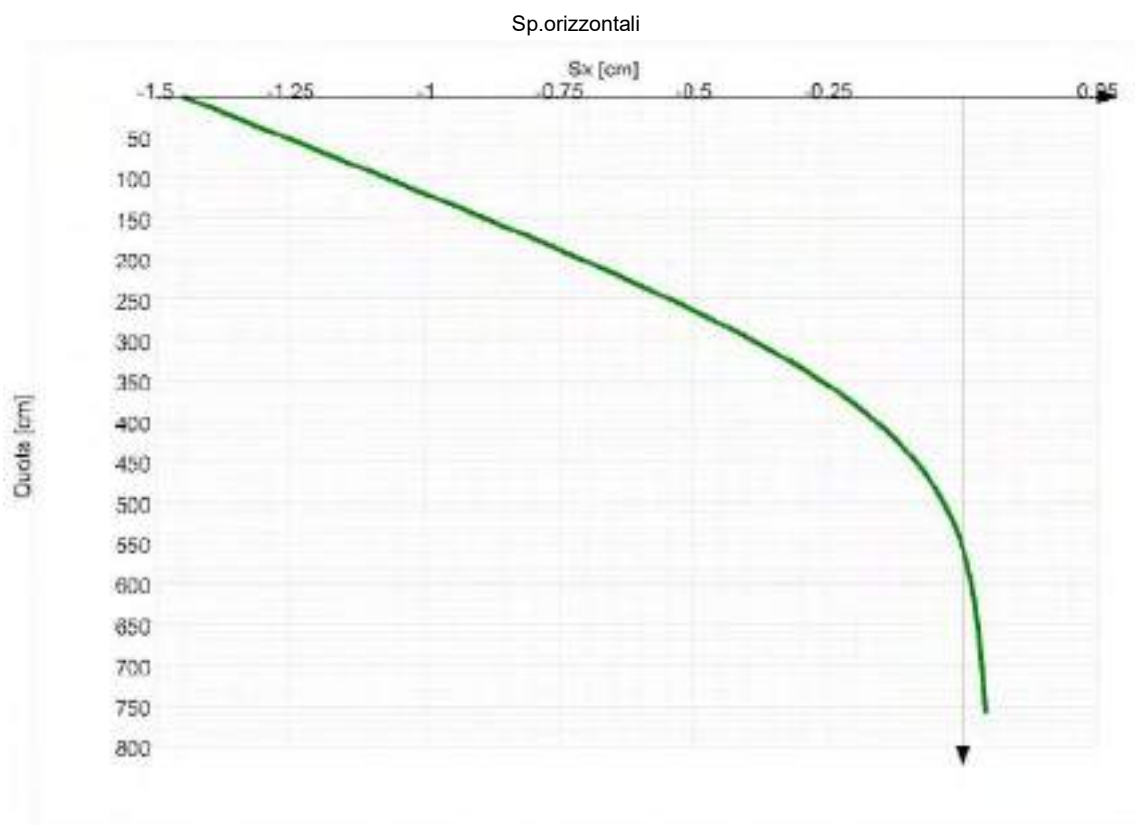




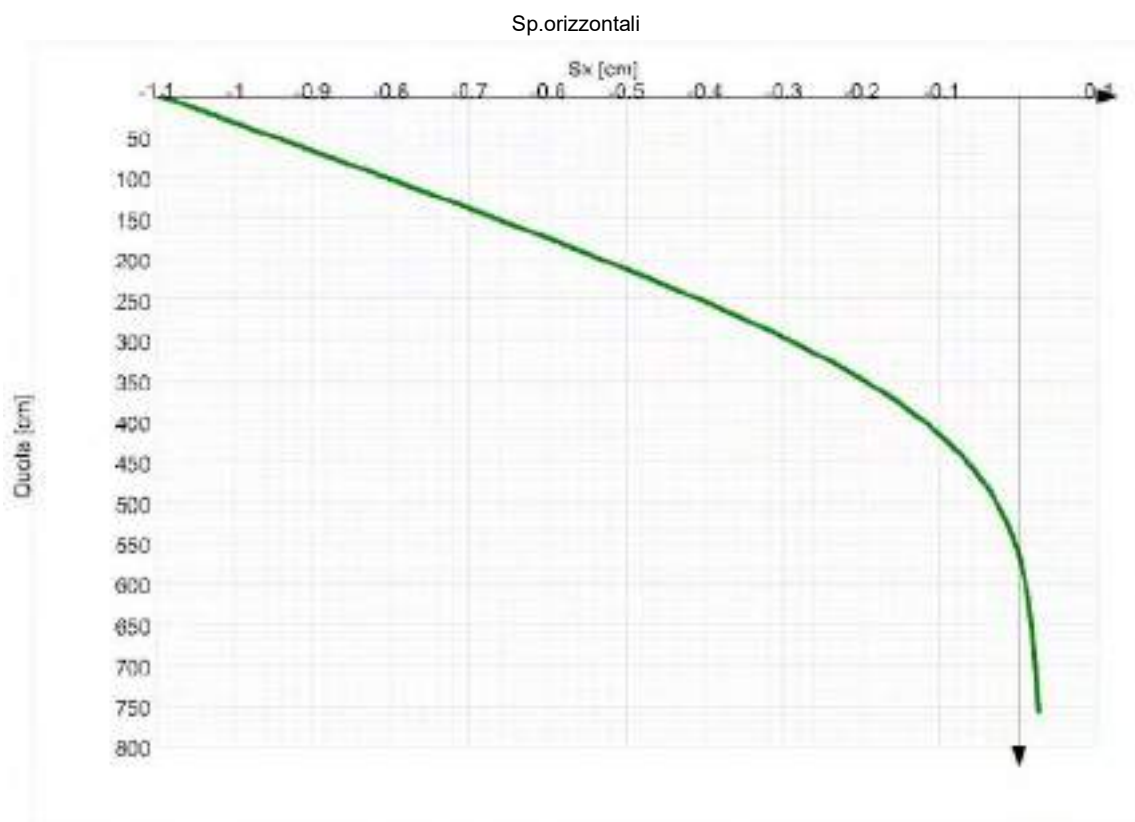
Diagrammi spostamenti GEO 1, Fase 2



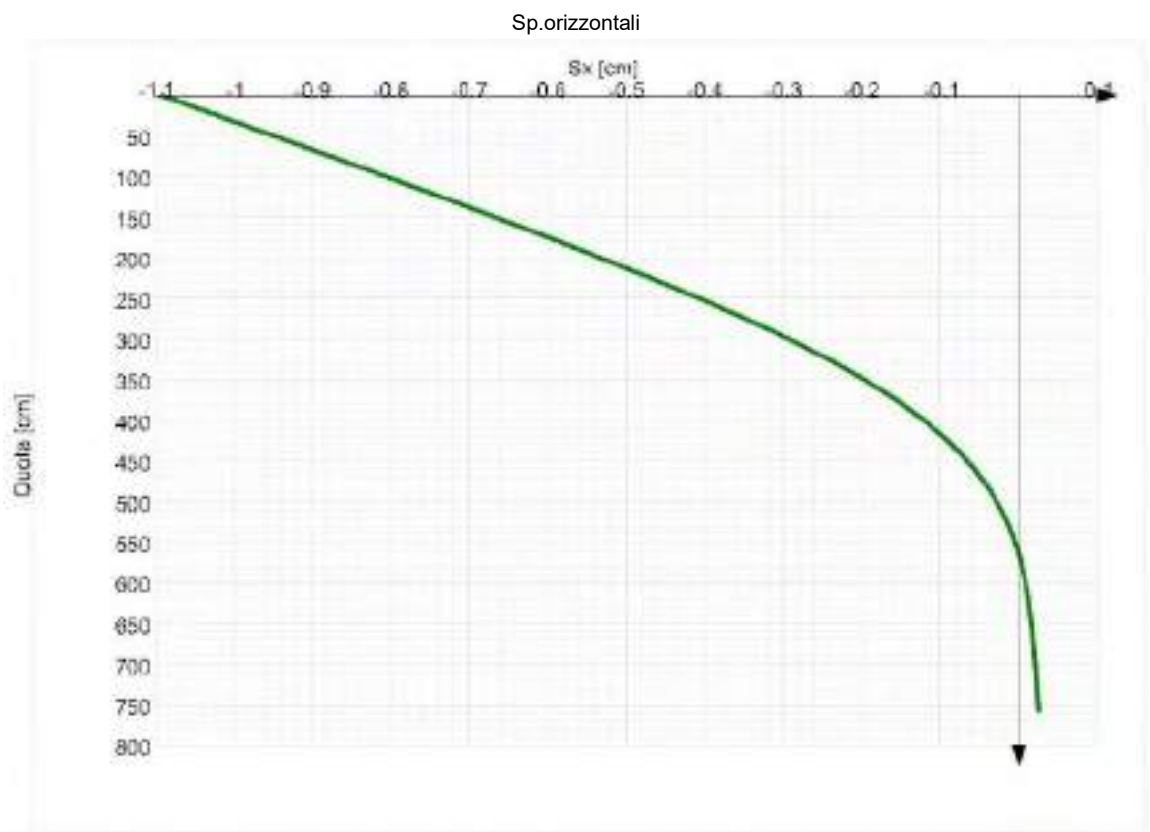
Diagrammi spostamenti SLVm1 1, Fase 2



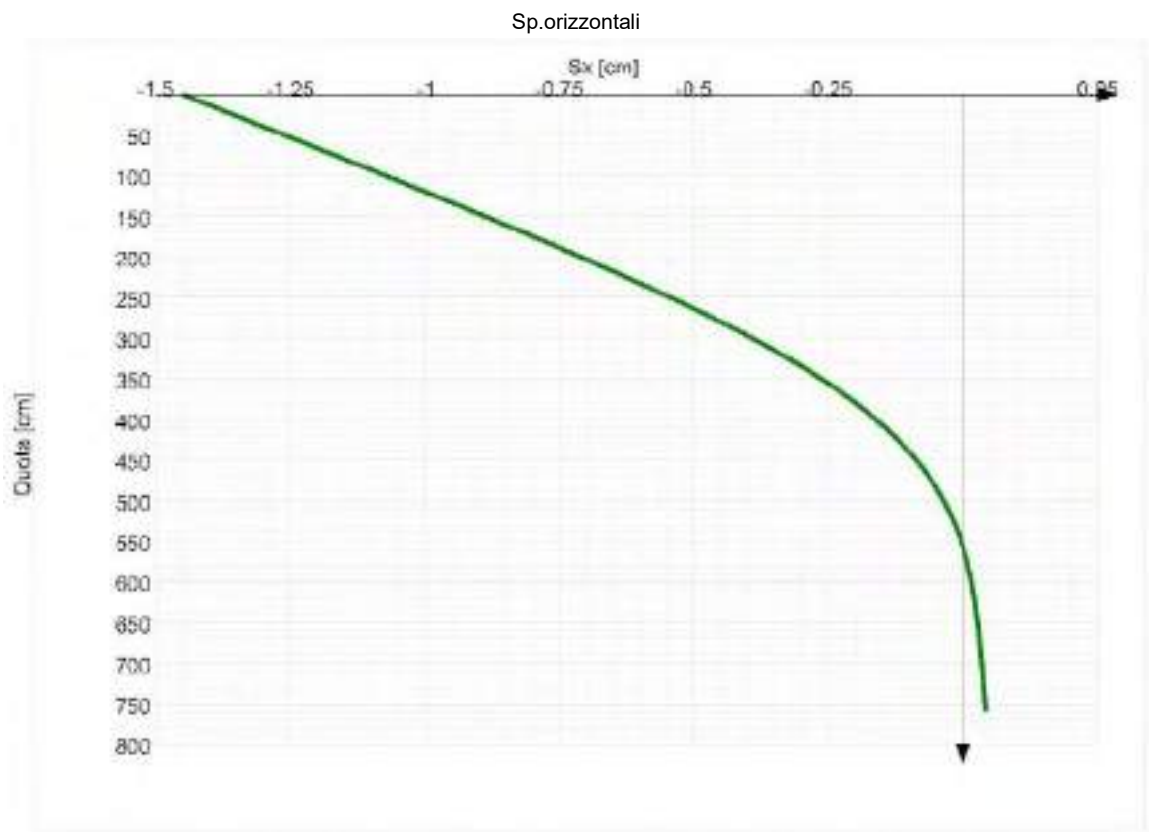
Diagrammi spostamenti SLVm1 2, Fase 2



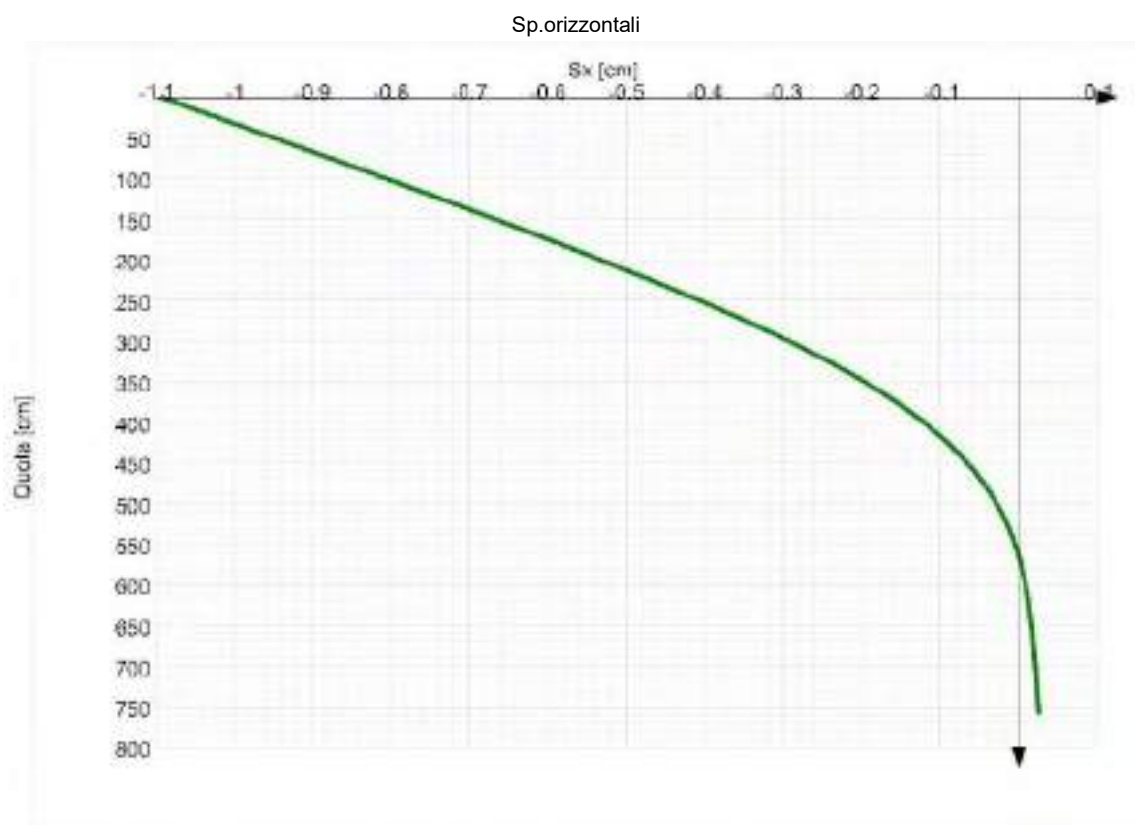
Diagrammi spostamenti Chr G1, Fase 2



Diagrammi spostamenti Chr G1SisP, Fase 2

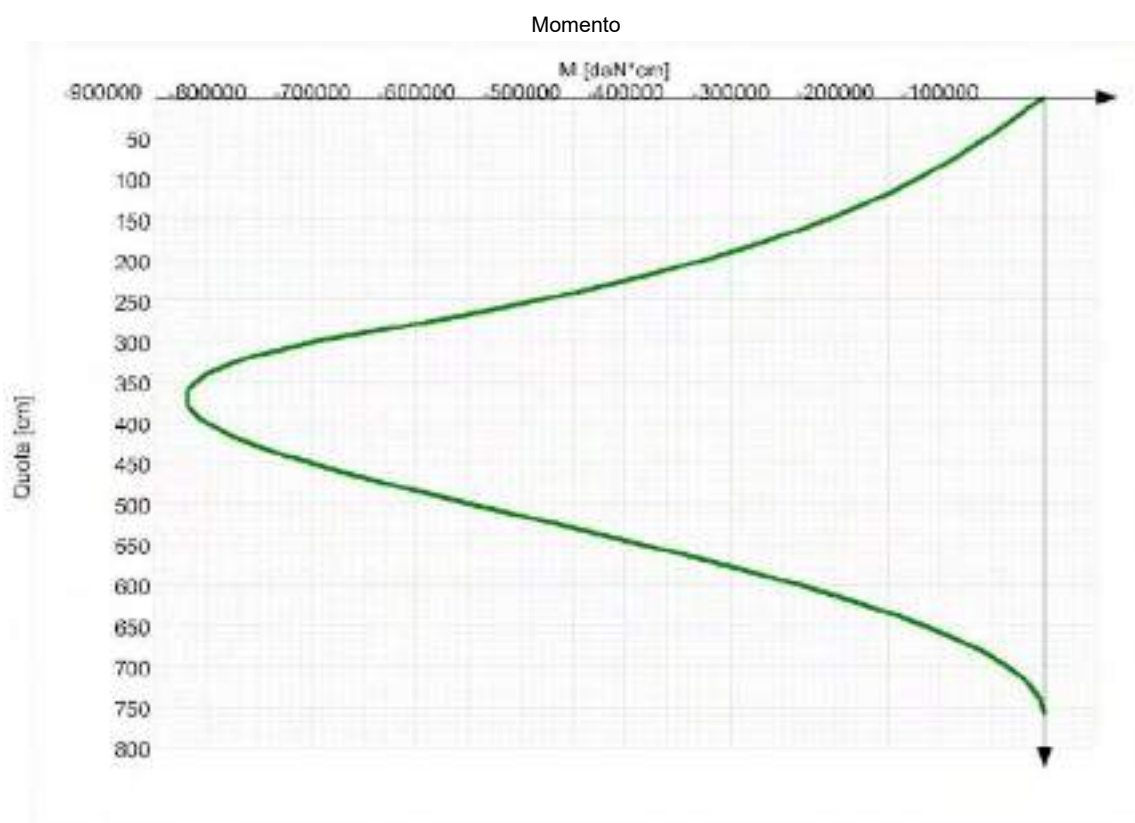


Diagrammi spostamenti Chr G1SisM, Fase 2

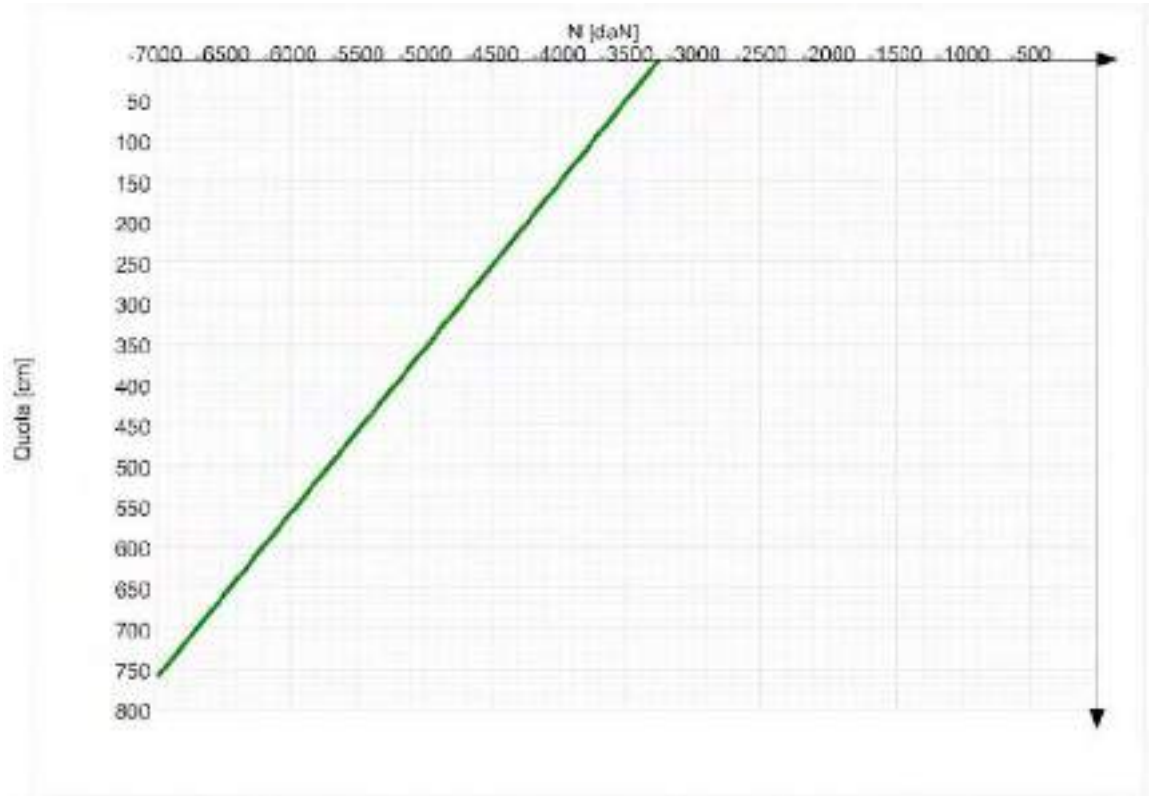


Diagrammi sollecitazioni della paratia nelle fasi di calcolo

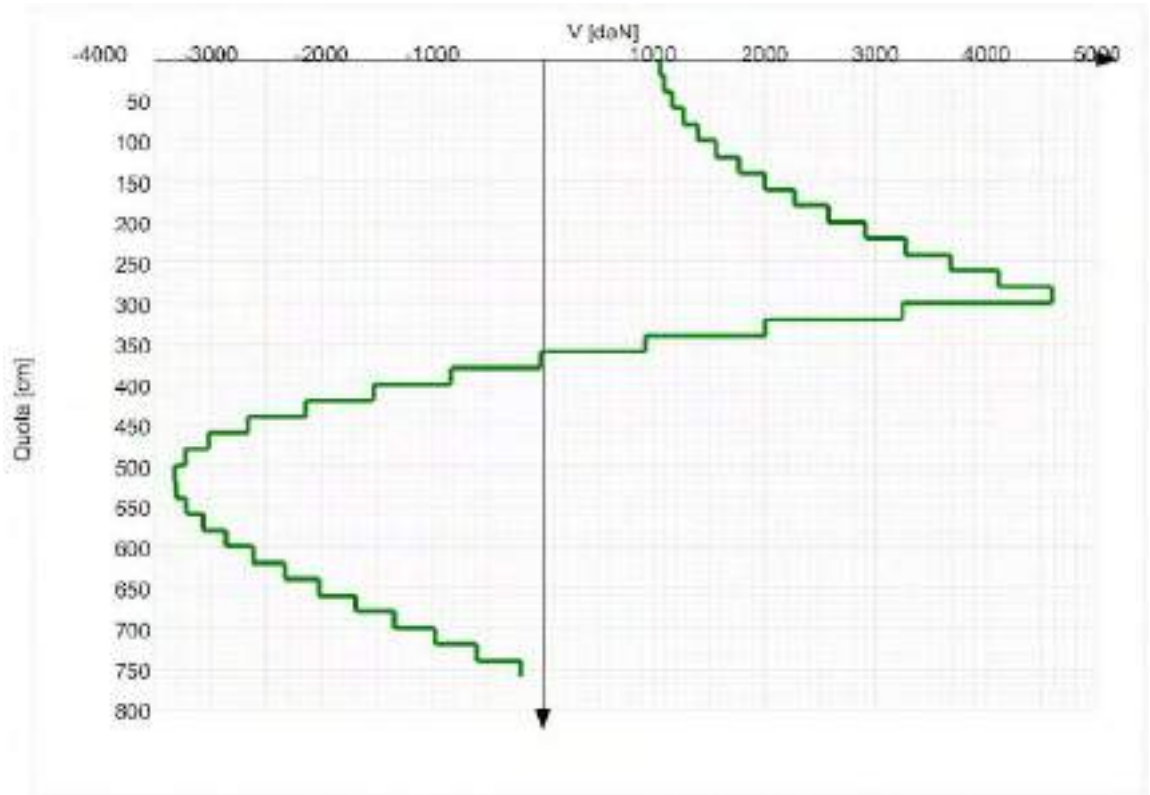
Diagrammi sollecitazioni SLE 1, Fase 2



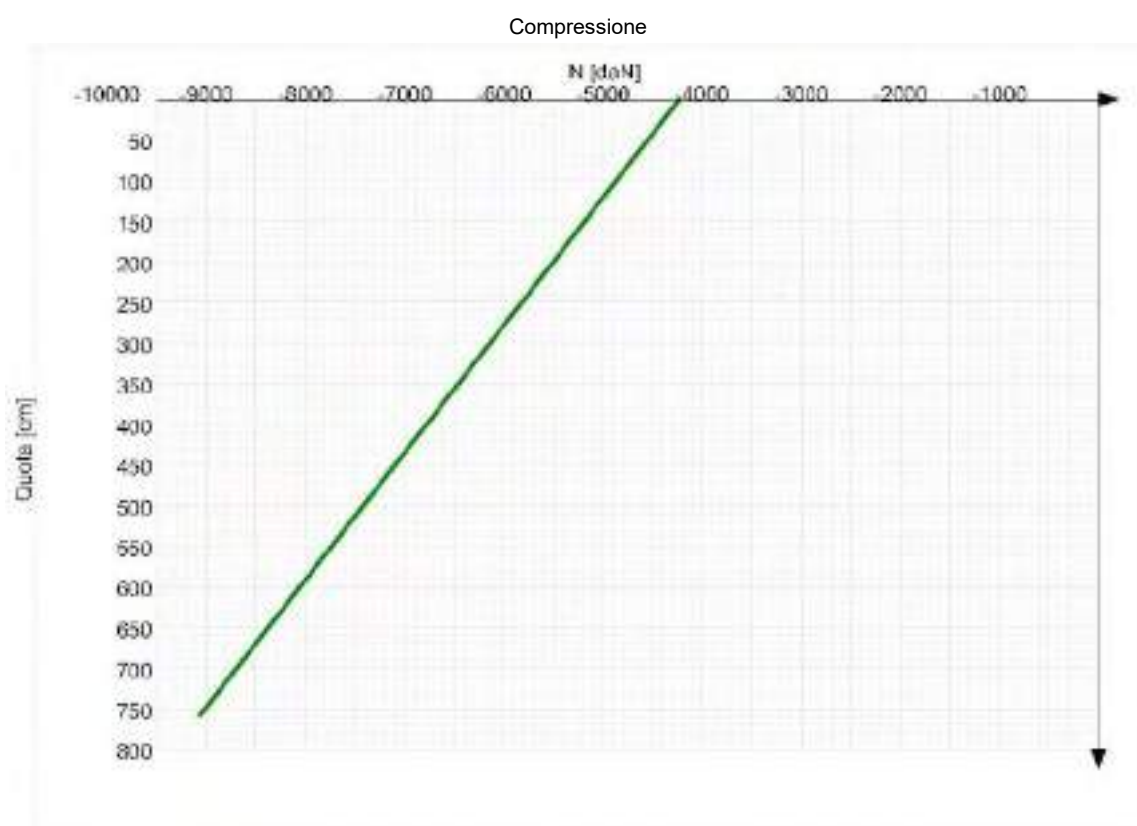
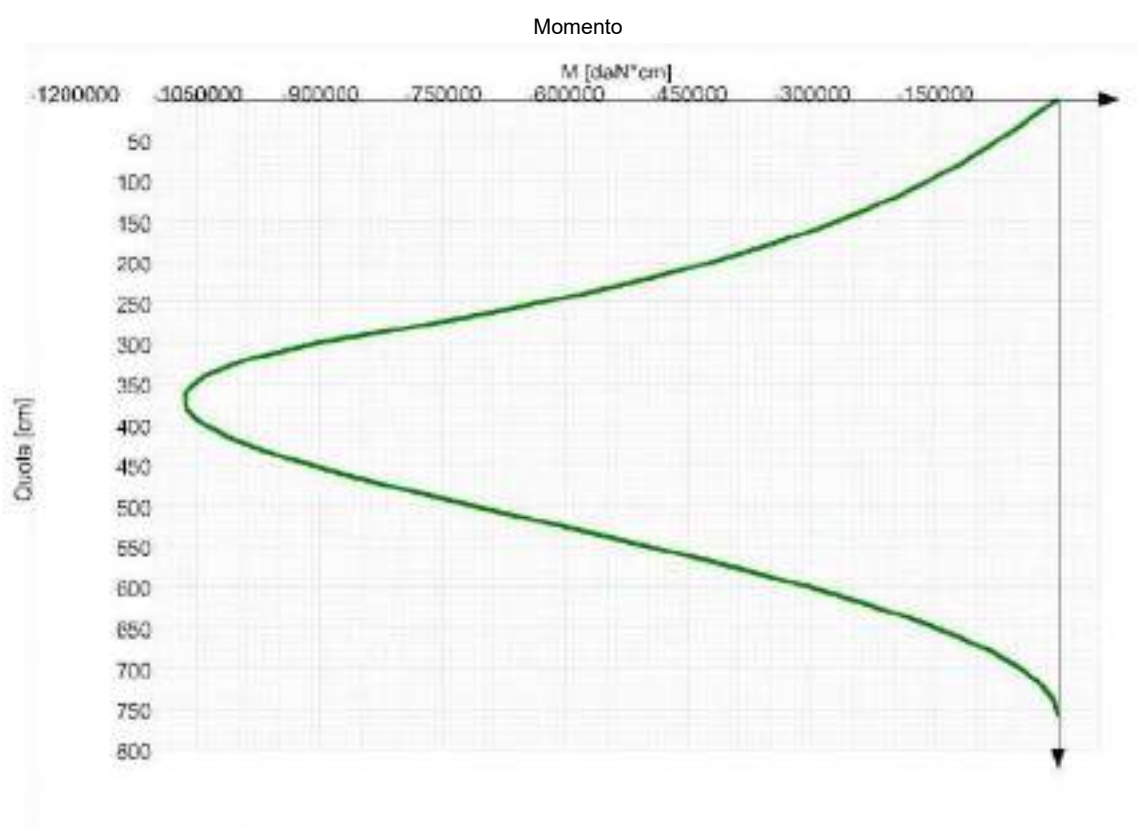
Compressione

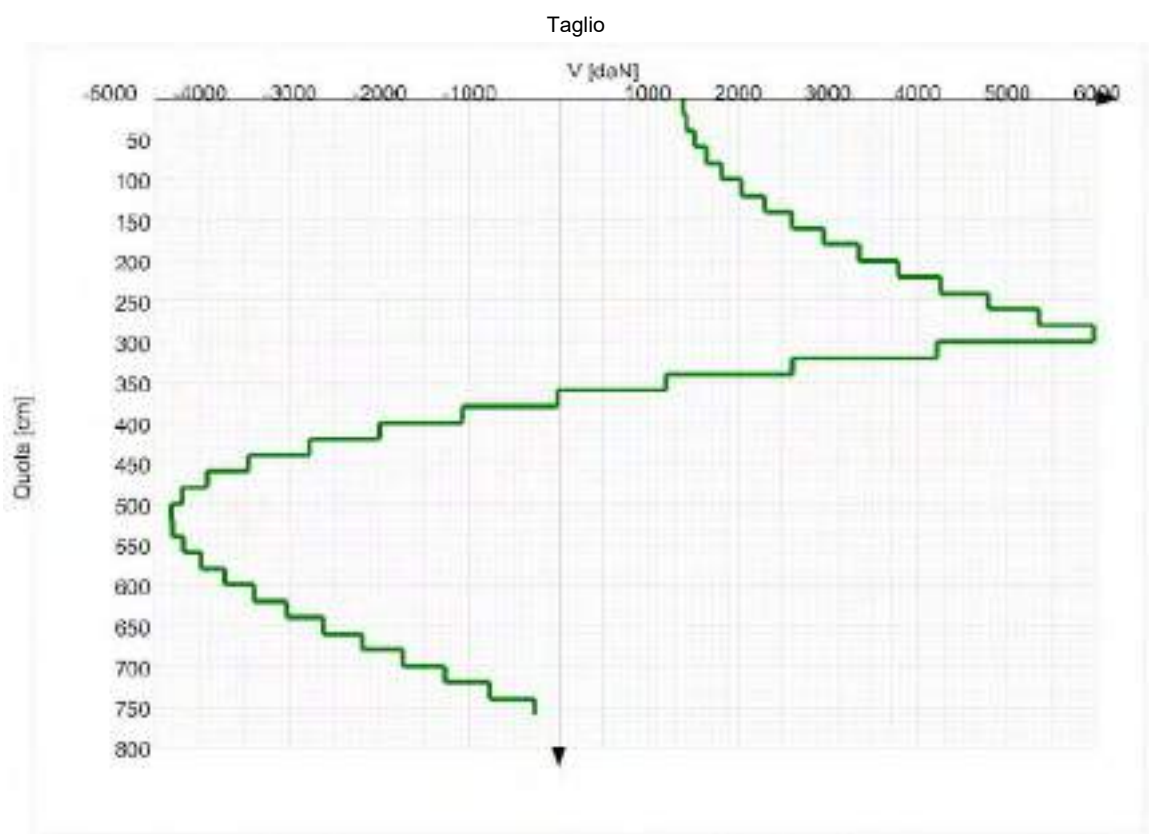


Taglio

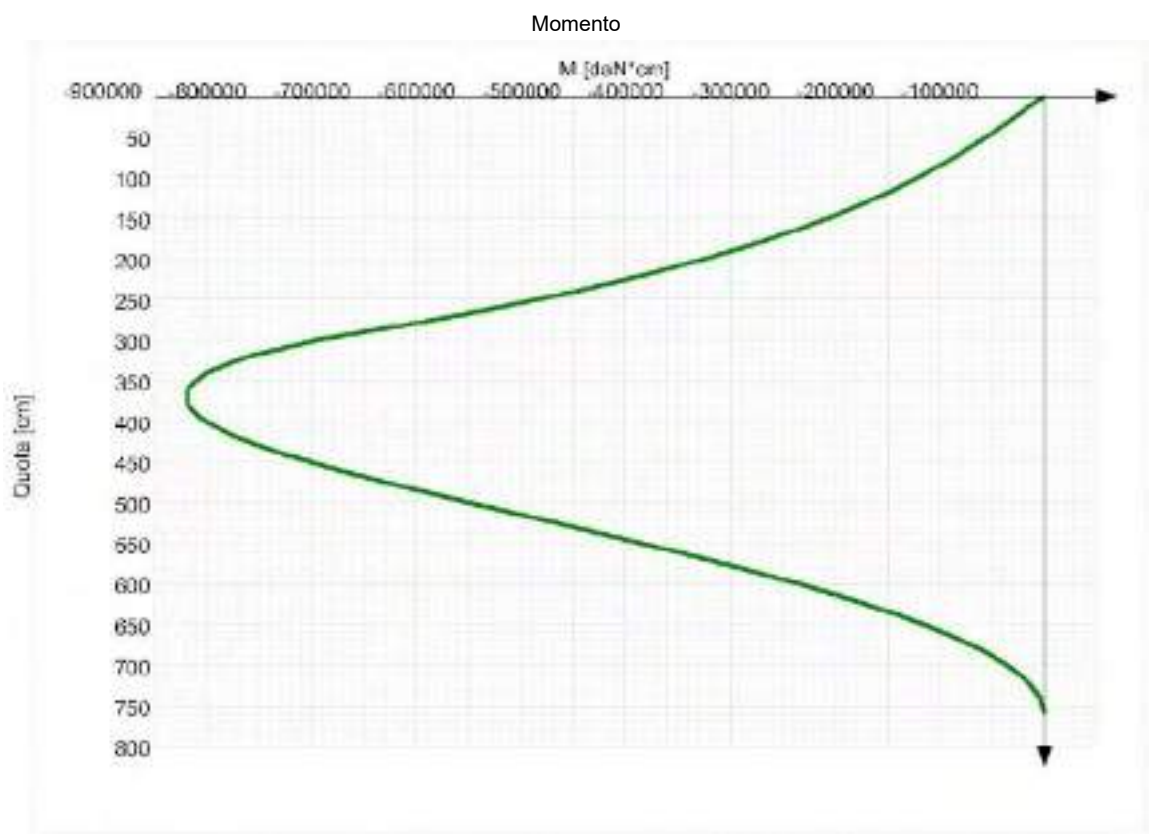


Diagrammi sollecitazioni STR 1, Fase 2

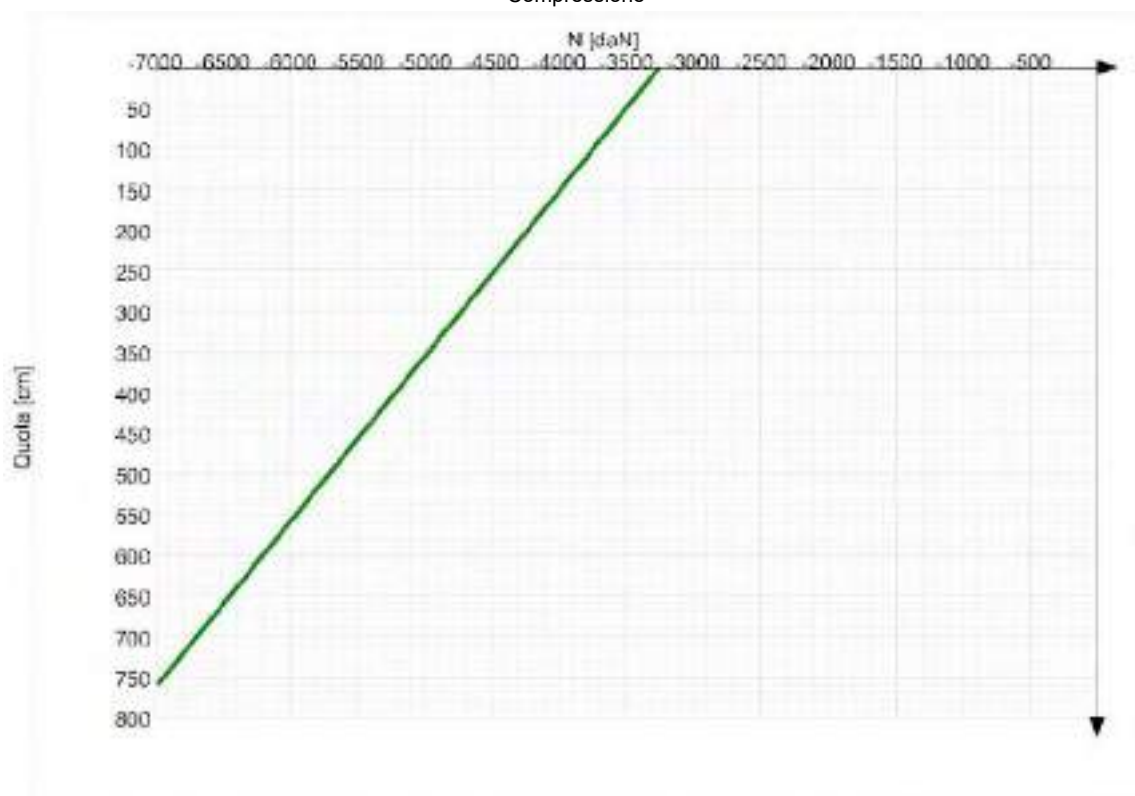




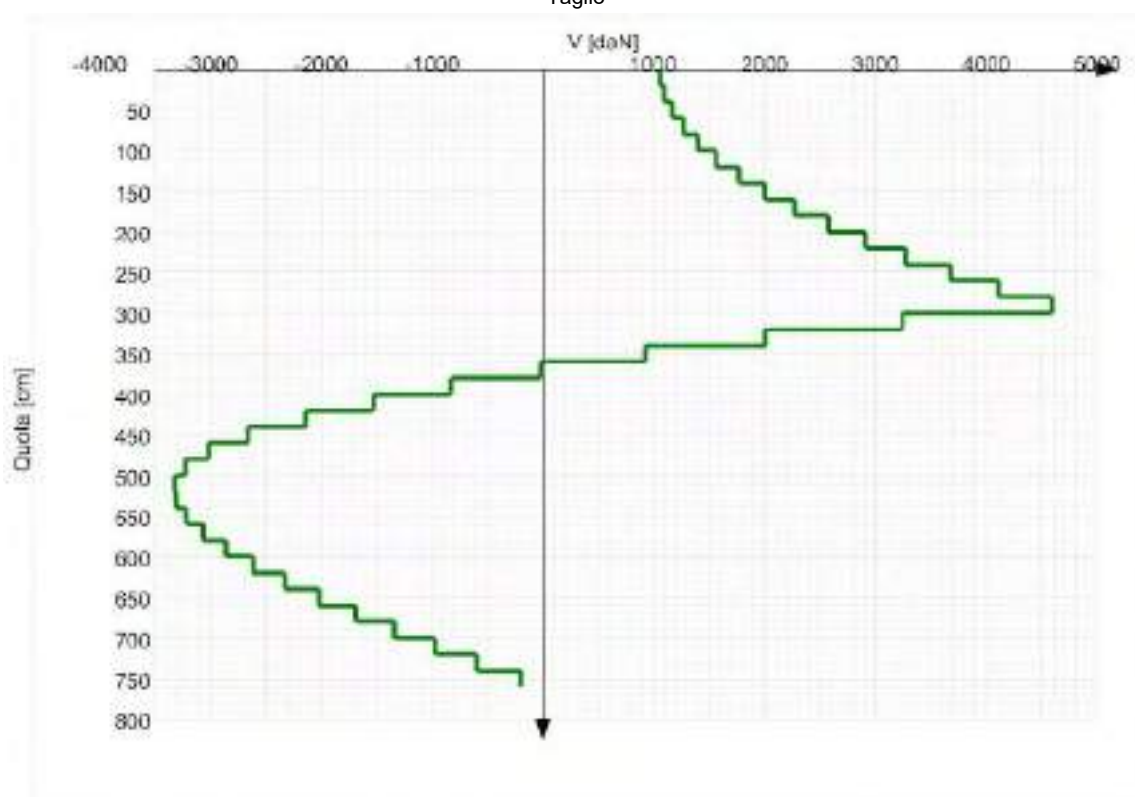
Diagrammi sollecitazioni STR 2, Fase 2



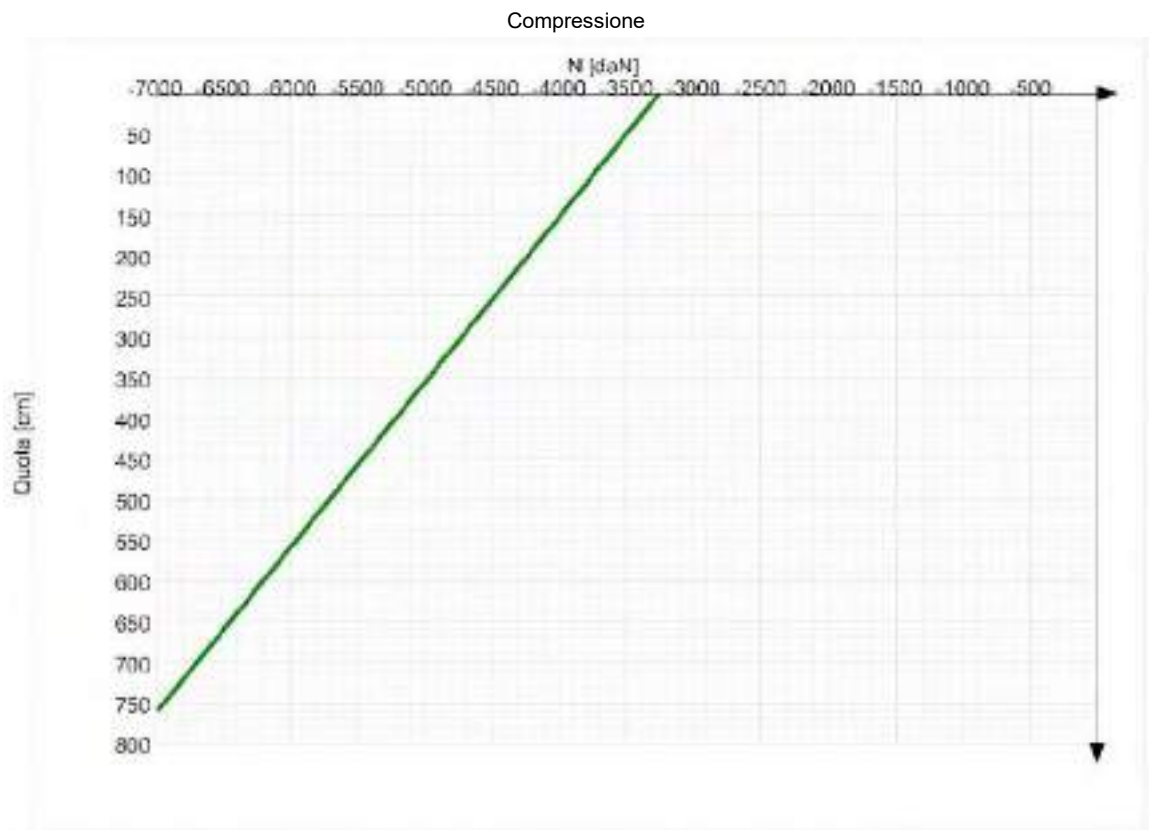
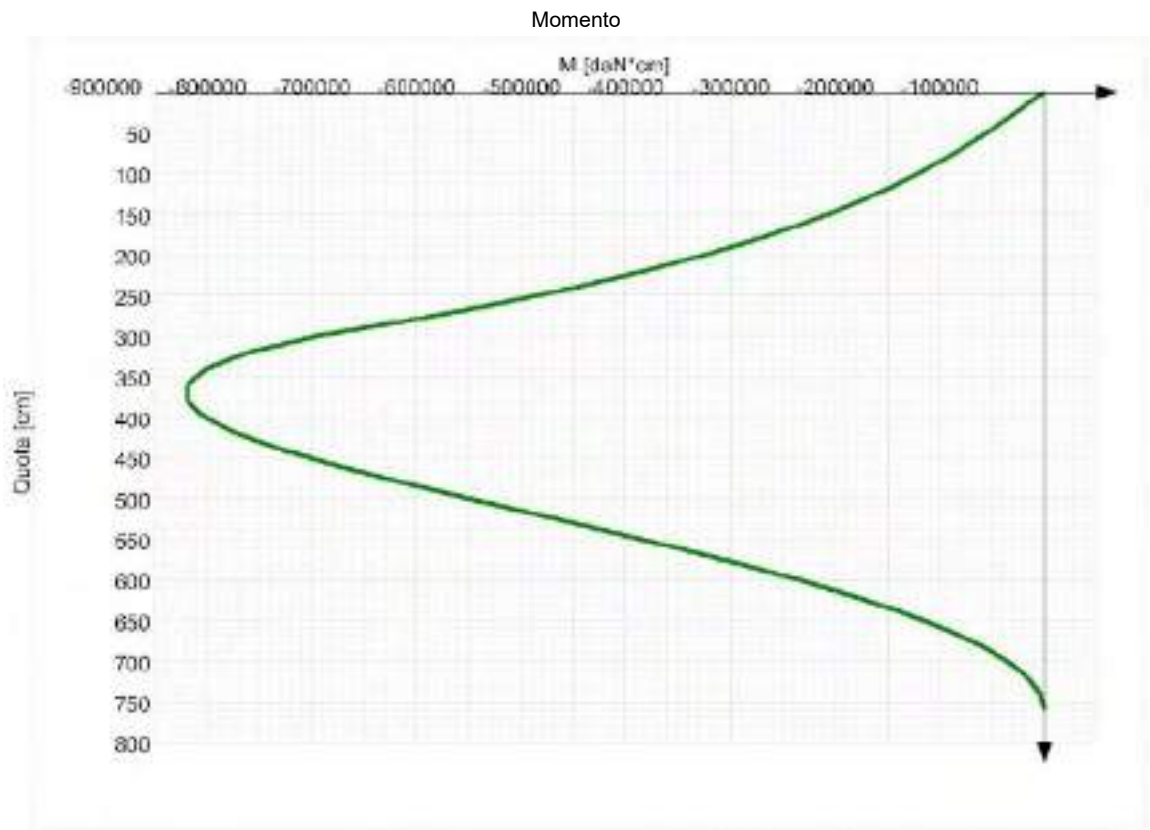
Compressione

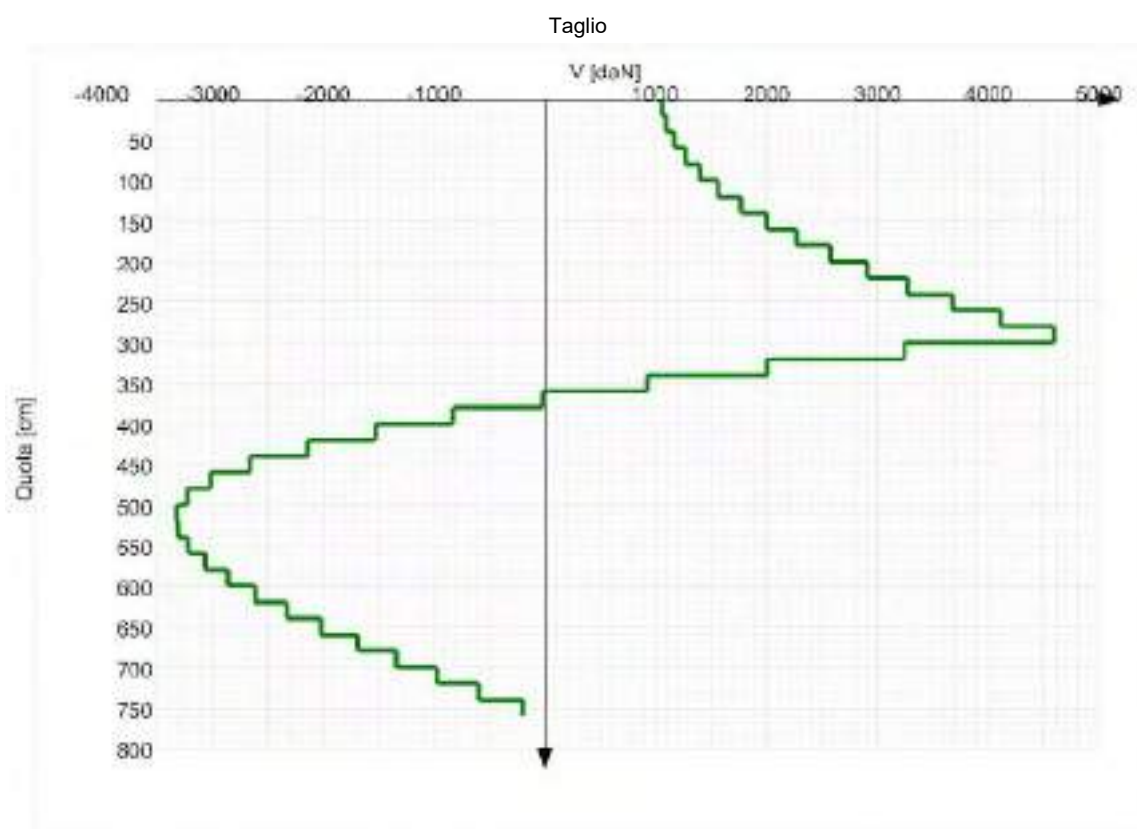


Taglio

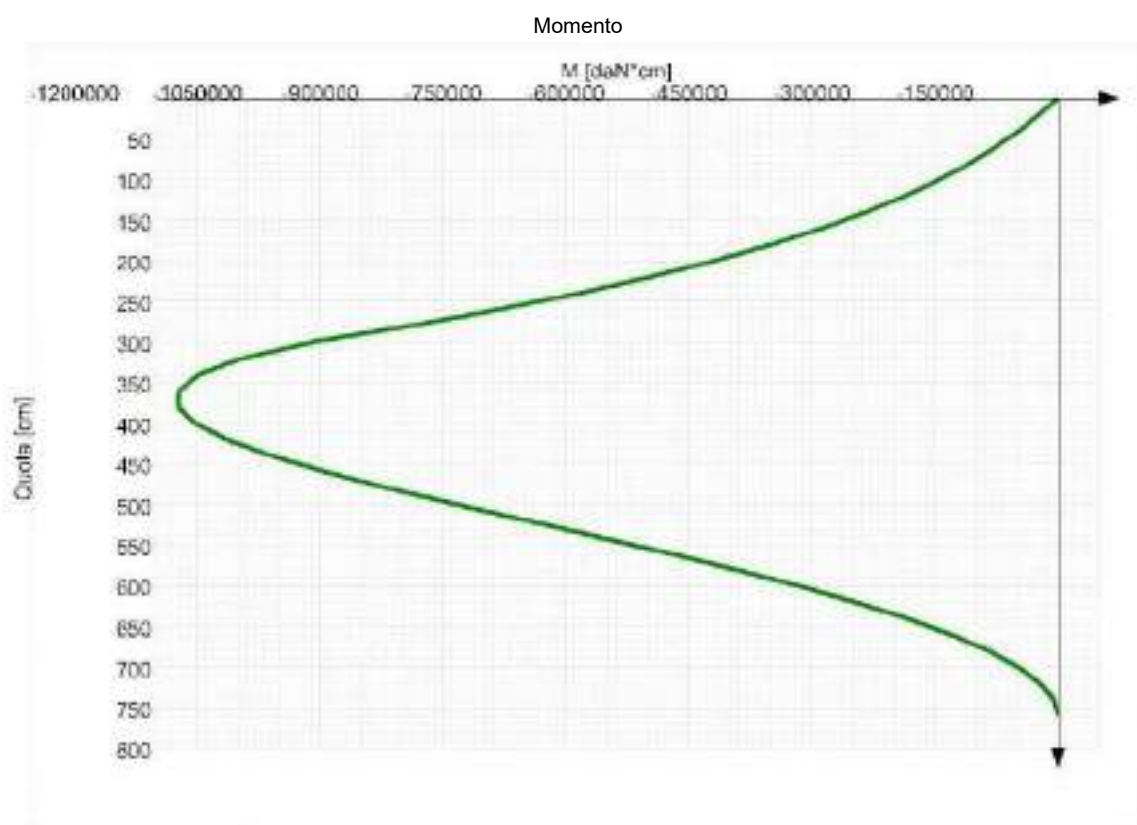


Diagrammi sollecitazioni GEO 1, Fase 2

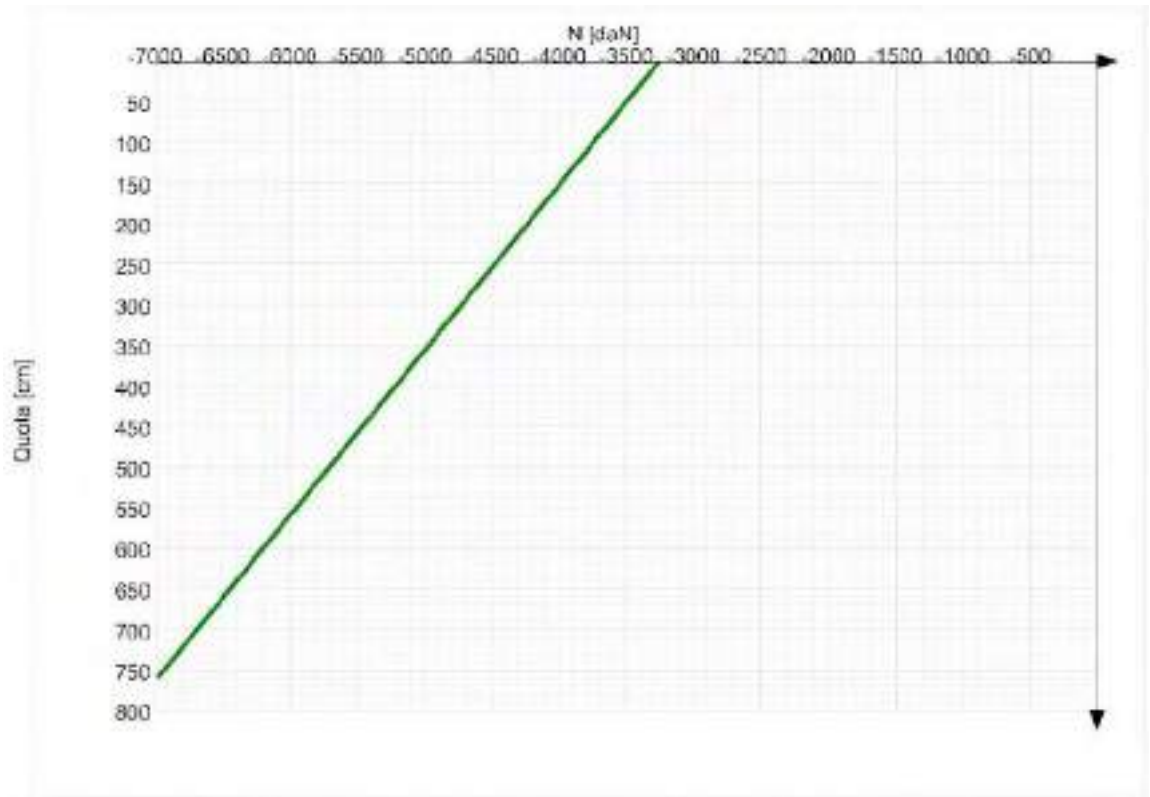




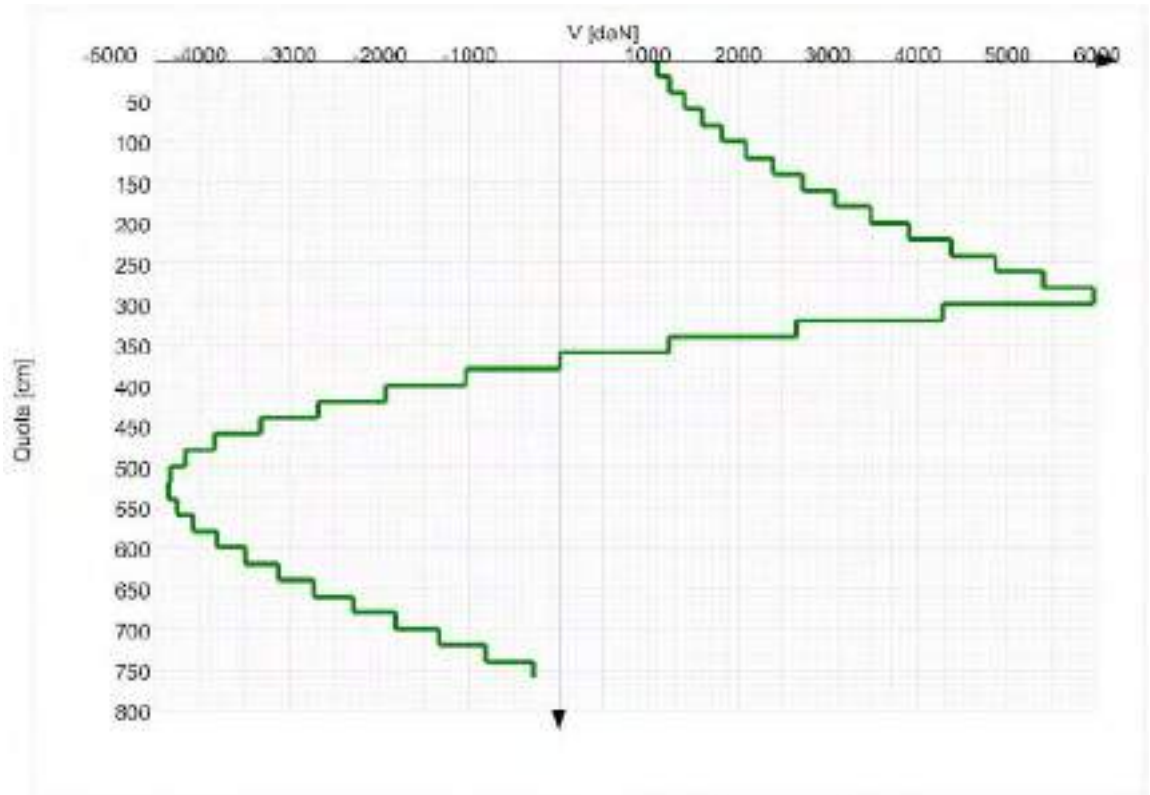
Diagrammi sollecitazioni SLVm1 1, Fase 2



Compressione

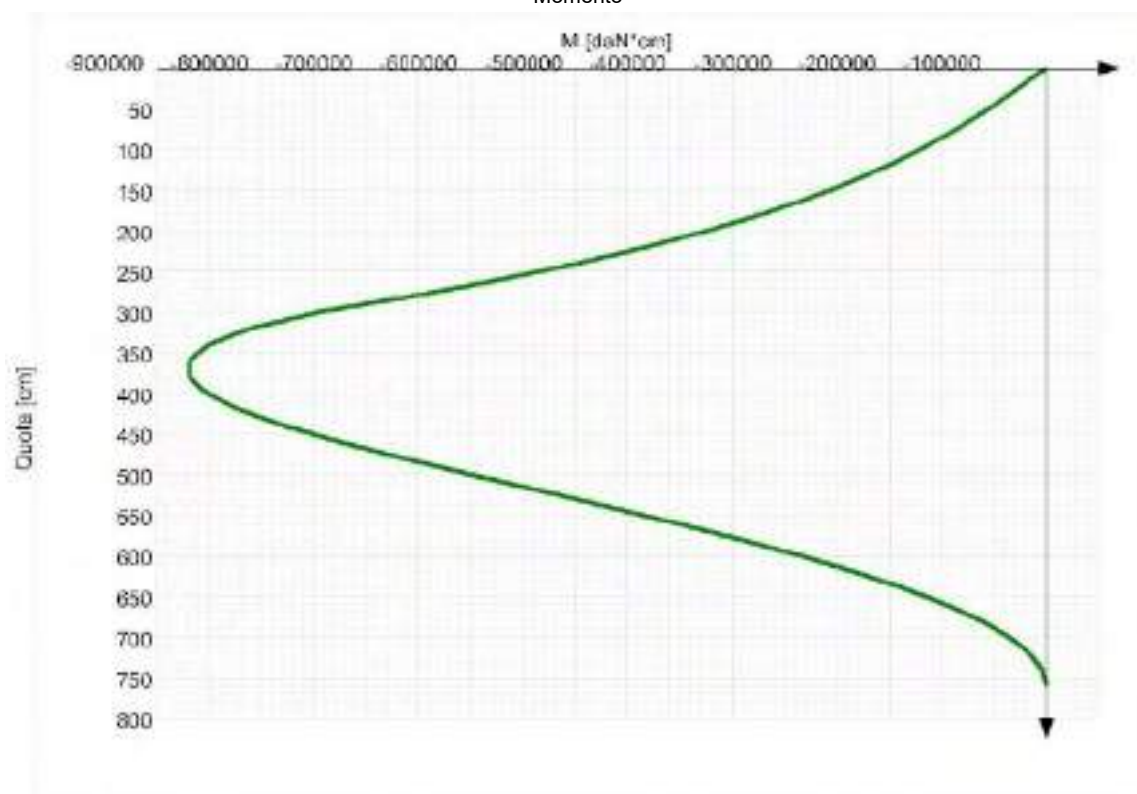


Taglio

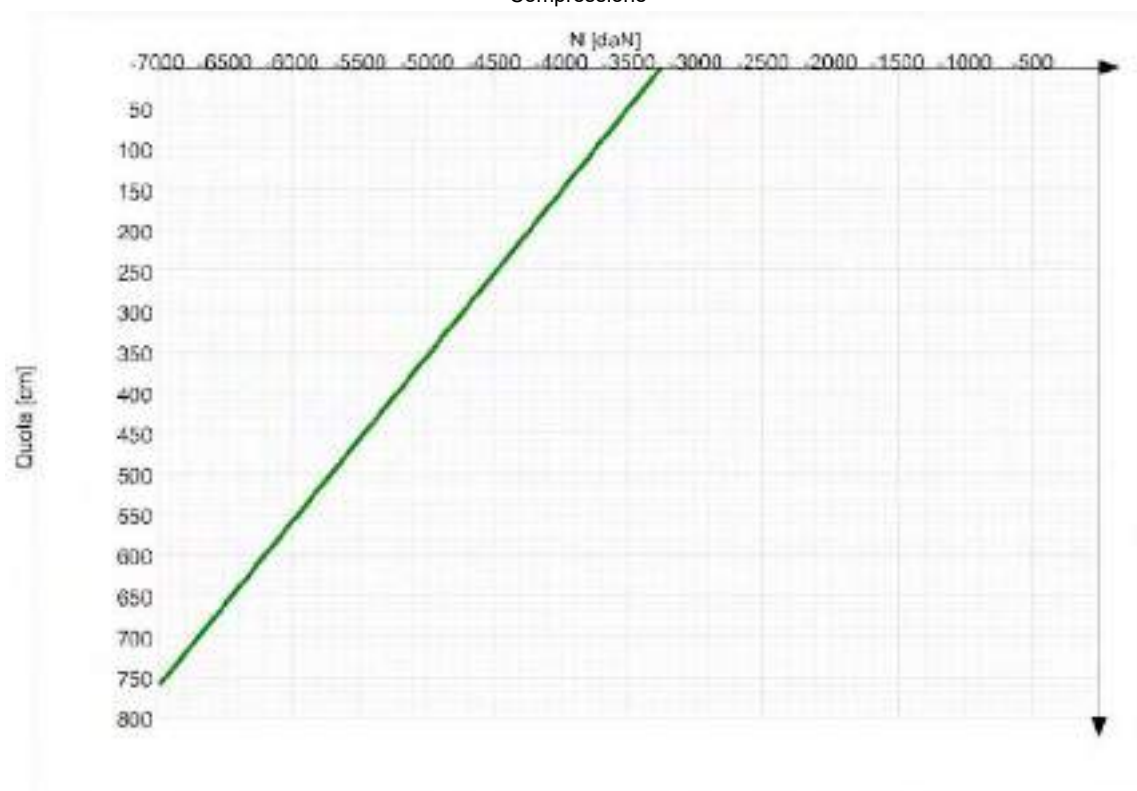


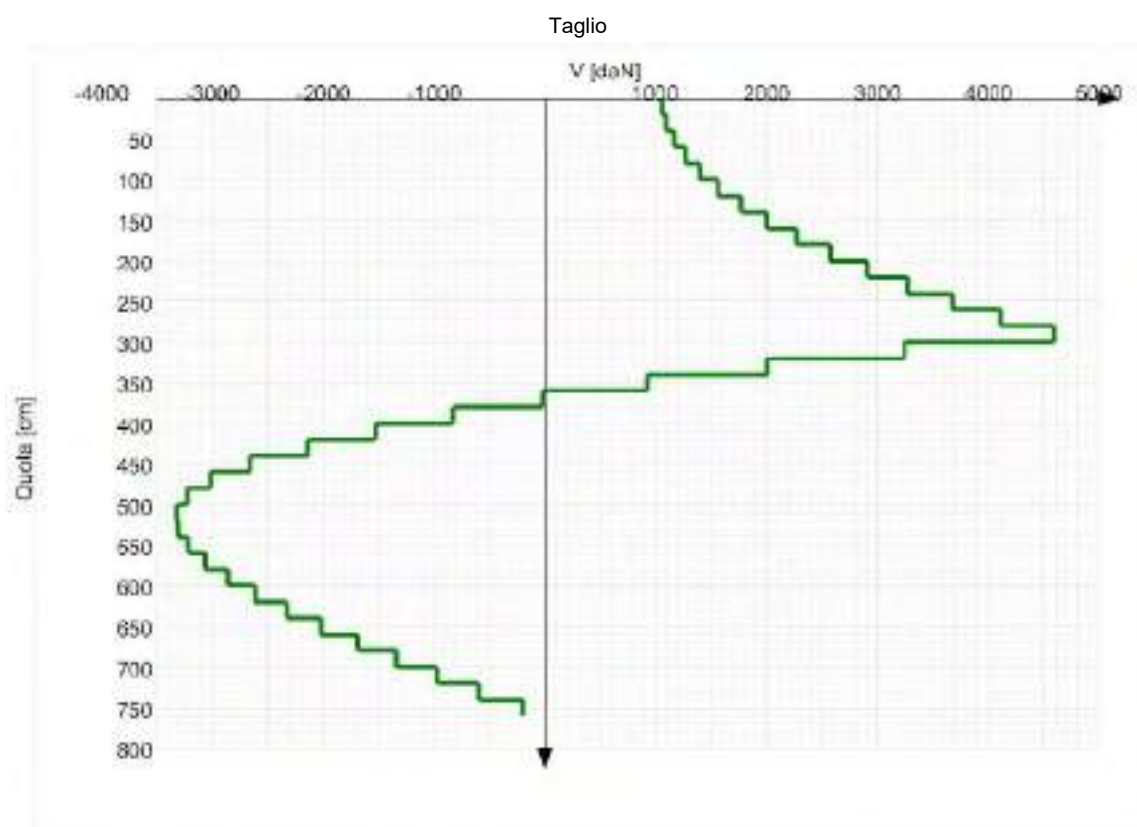
Diagrammi sollecitazioni SLVm1 2, Fase 2

Momento

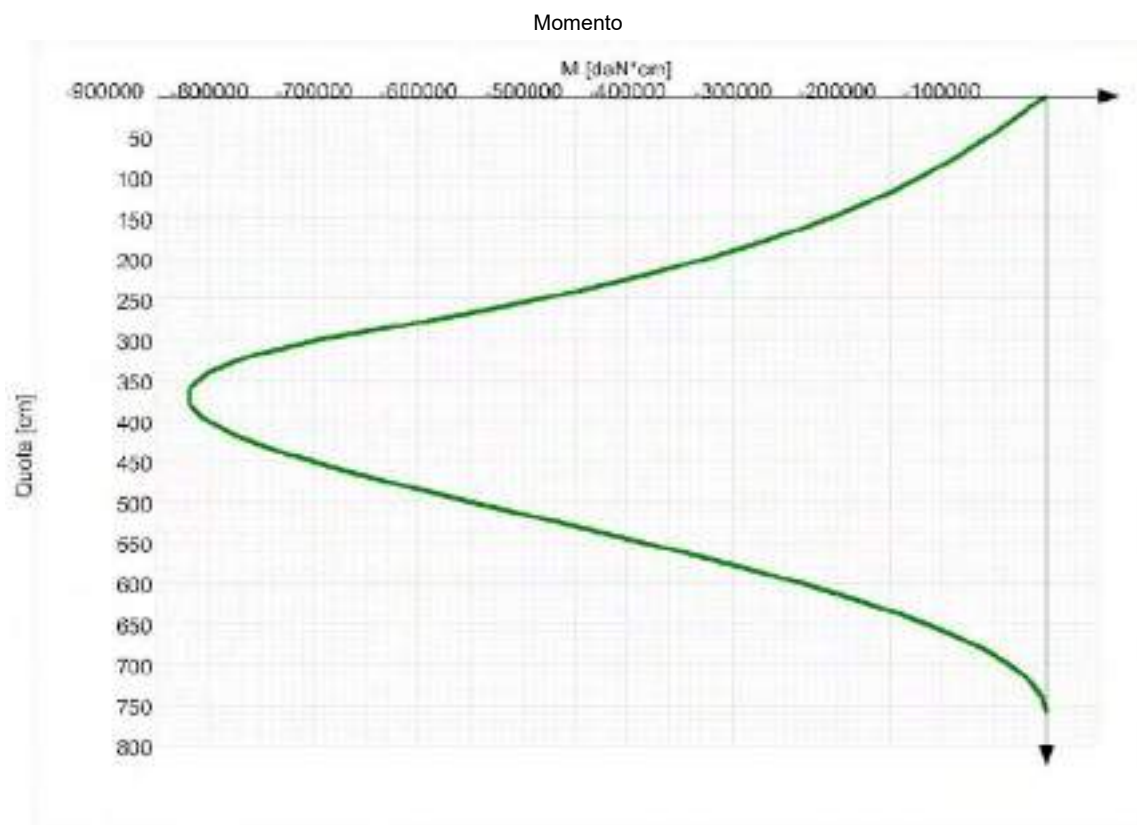


Compressione

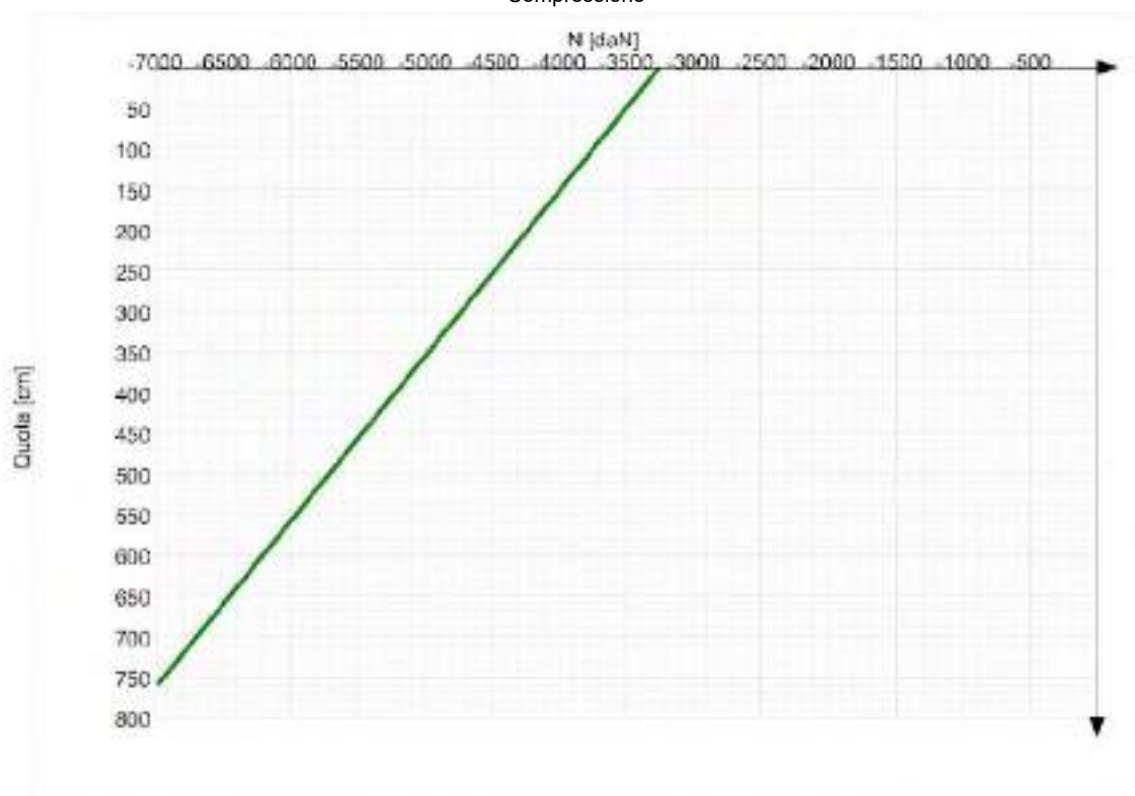




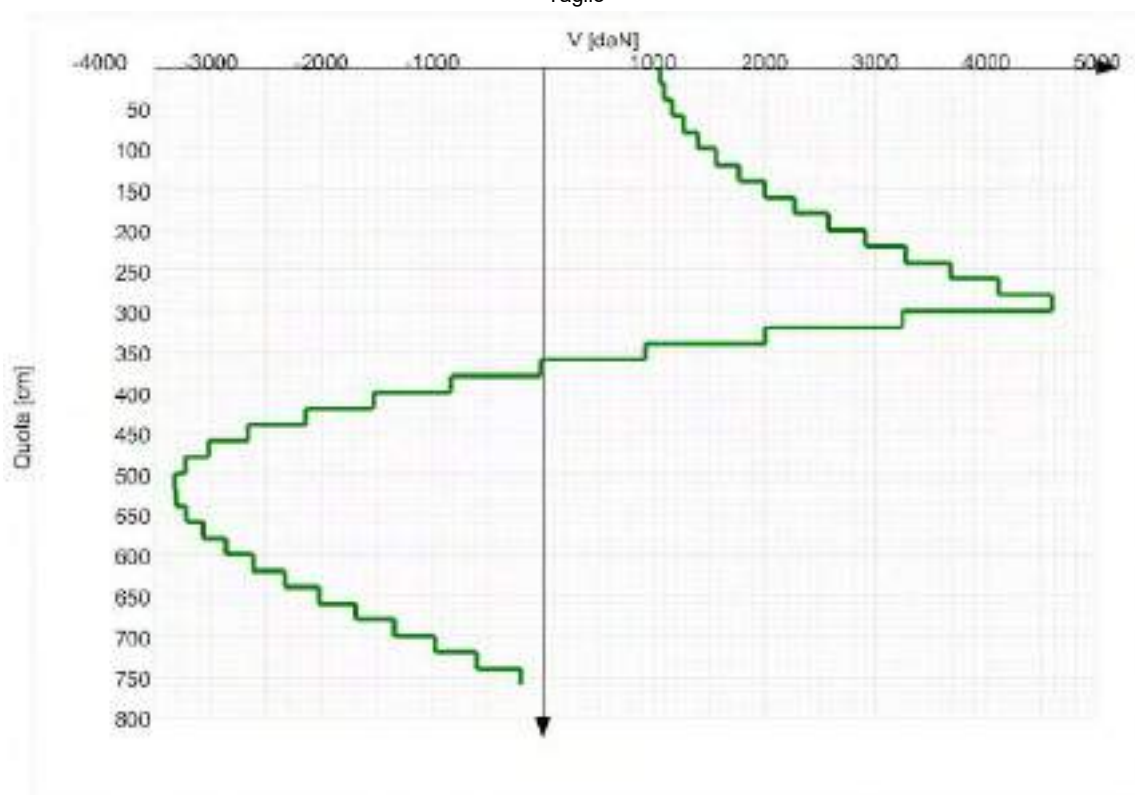
Diagrammi sollecitazioni Chr G1, Fase 2



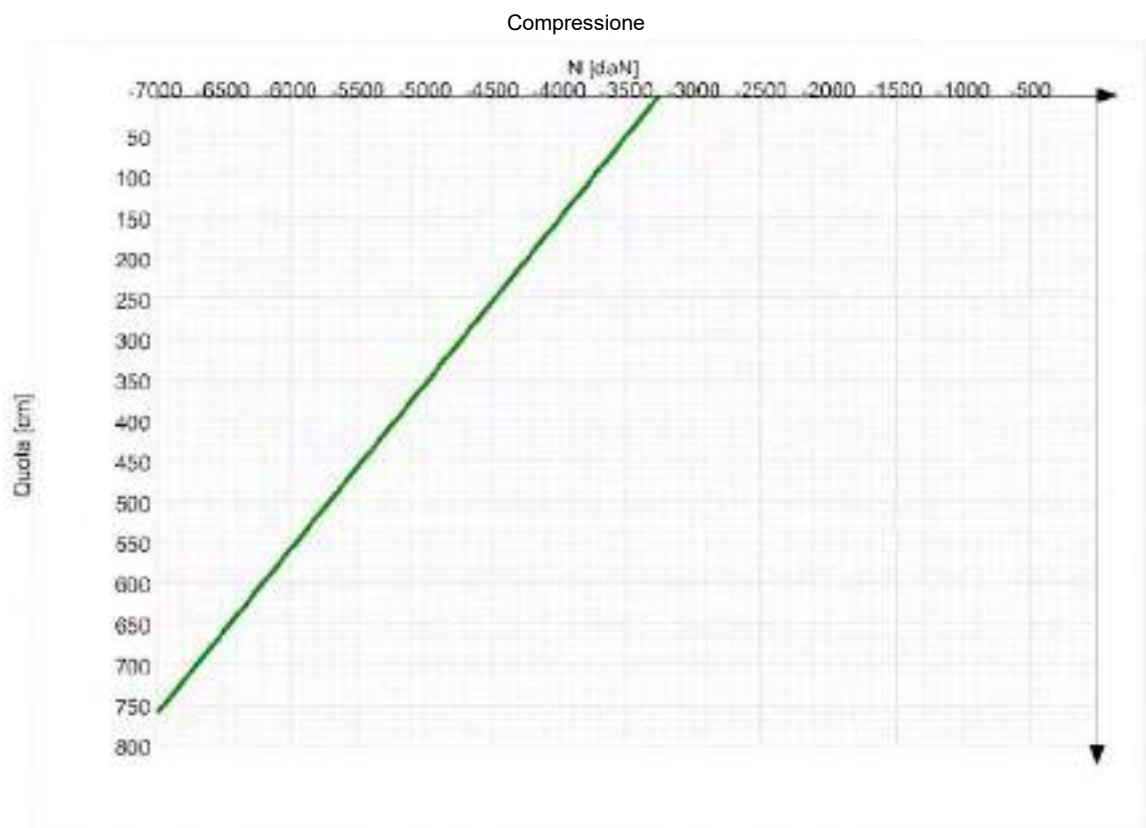
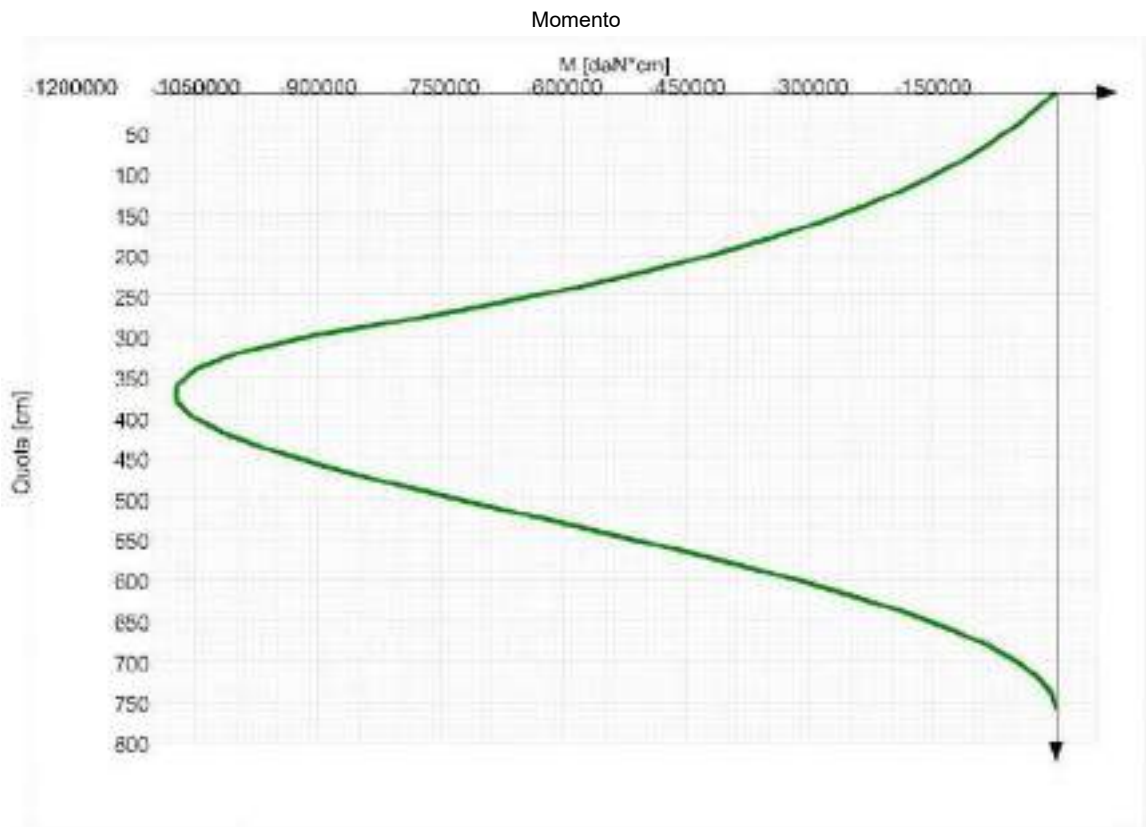
Compressione

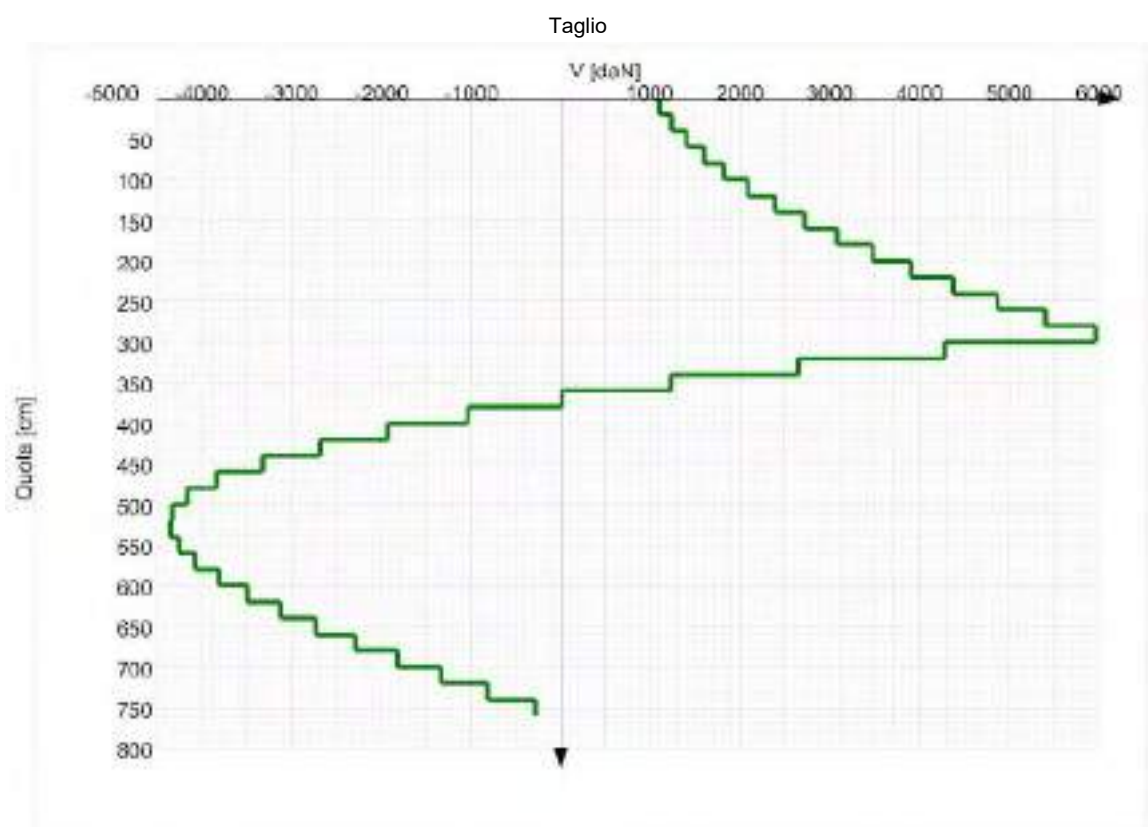


Taglio

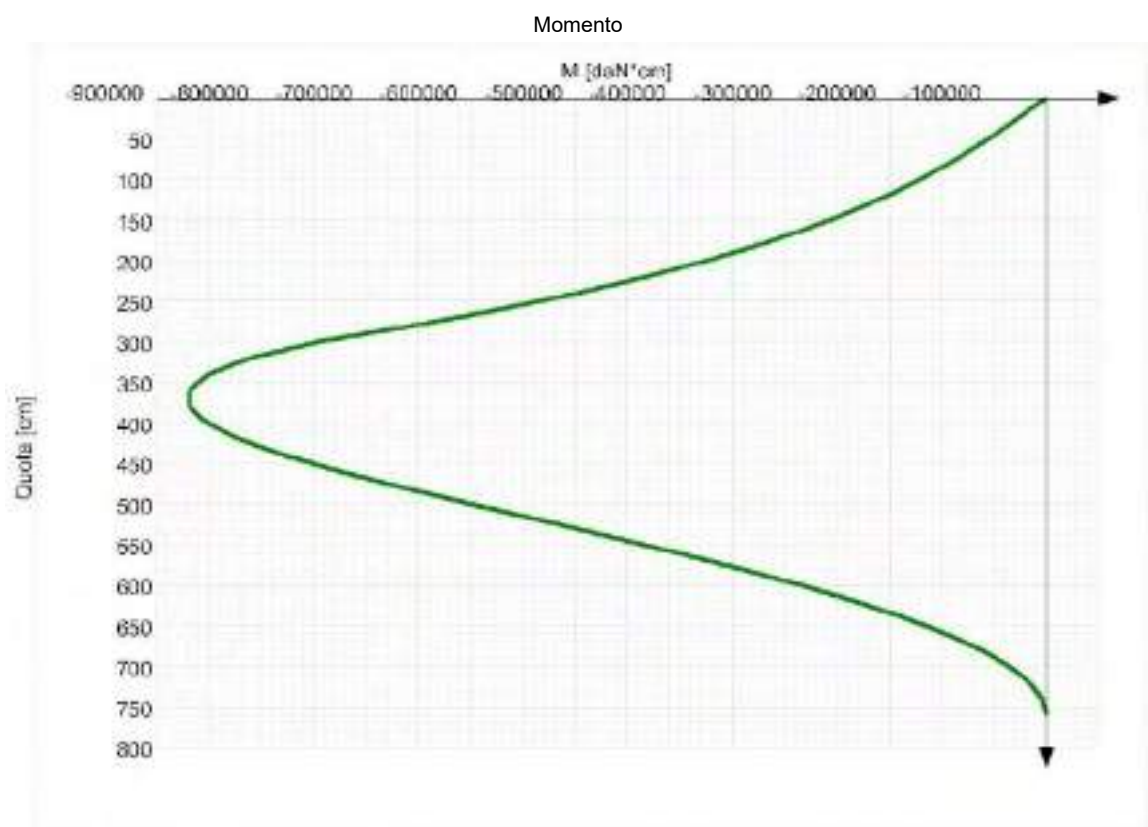


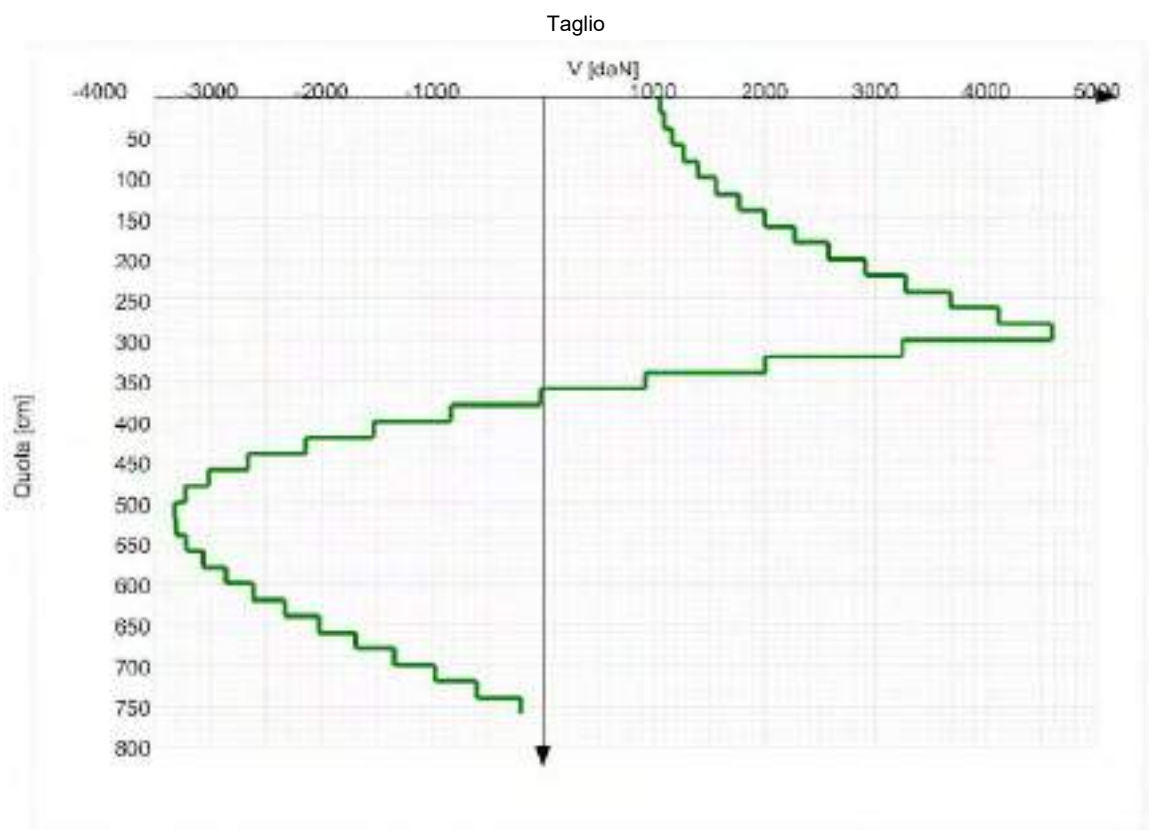
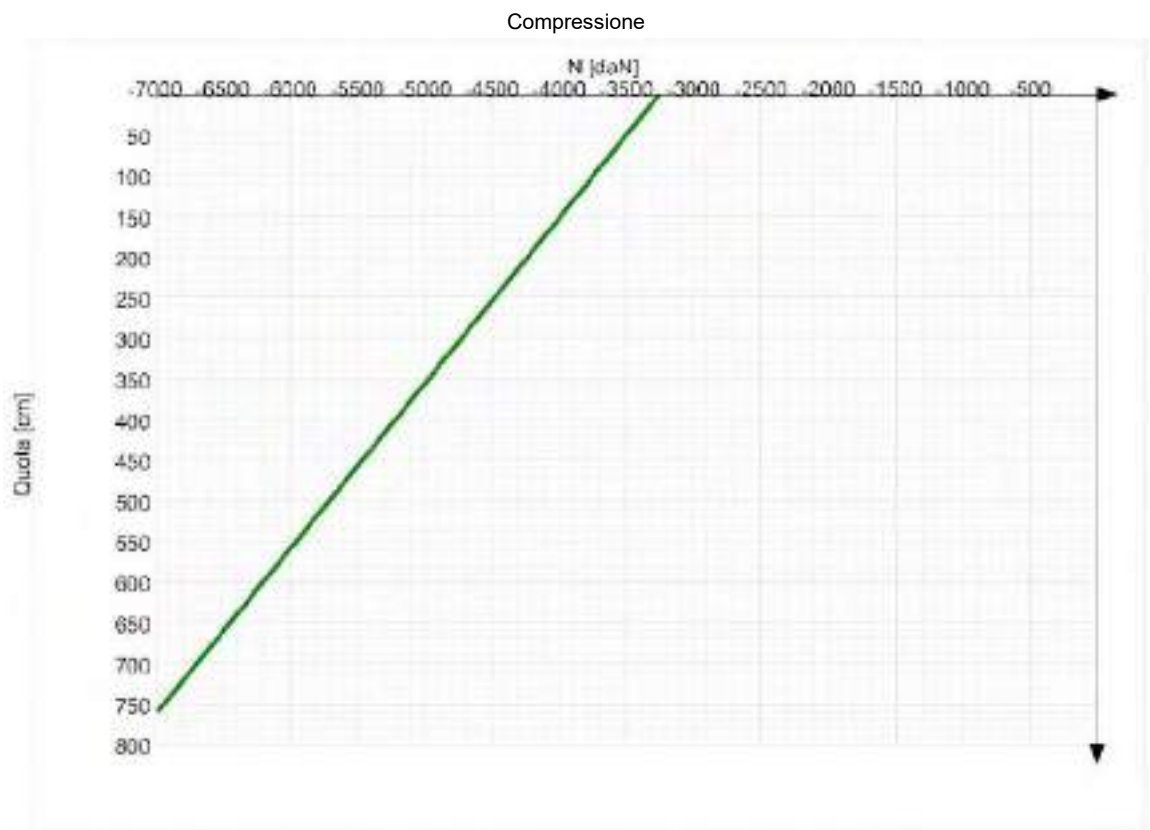
Diagrammi sollecitazioni Chr G1SisP, Fase 2





Diagrammi sollecitazioni Chr G1SisM, Fase 2





Verifiche di stabilità locale

Verifica nei confronti di meccanismi di rottura che coinvolgono il terreno (Collasso GEO)

Combinazione: Collasso A2M2

Ultima fase calcolata: 22

Massimo moltiplicatore trovato: 5

Moltiplicatore minimo per verifica: 1

Stato di verifica: ok

Dettaglio verifica:

Calcolo in combinazione Collasso A2M2

Soluzione convergente in fase 0 con spostamento nodale massimo $U_x=0$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0$)

Soluzione convergente in fase 1 con spostamento nodale massimo $U_x=1.1$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0$)

Soluzione convergente in fase 2 con spostamento nodale massimo $U_x=1.1$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0$)

Soluzione convergente in fase 3 con spostamento nodale massimo $U_x=1.1$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0$)

Soluzione convergente in fase 4 con spostamento nodale massimo $U_x=1.1$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0.1$)

Soluzione convergente in fase 5 con spostamento nodale massimo $U_x=1.1$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0.2$)

Soluzione convergente in fase 6 con spostamento nodale massimo $U_x=1.1$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0.3$)

Soluzione convergente in fase 7 con spostamento nodale massimo $U_x=1.1$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0.4$)

Soluzione convergente in fase 8 con spostamento nodale massimo $U_x=1.2$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0.5$)

Soluzione convergente in fase 9 con spostamento nodale massimo $U_x=1.2$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0.6$)

Soluzione convergente in fase 10 con spostamento nodale massimo $U_x=1.2$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0.7$)

Soluzione convergente in fase 11 con spostamento nodale massimo $U_x=1.2$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0.8$)

Soluzione convergente in fase 12 con spostamento nodale massimo $U_x=1.2$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=0.9$)

Soluzione convergente in fase 13 con spostamento nodale massimo $U_x=1.2$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=1$)

Soluzione convergente in fase 14 con spostamento nodale massimo $U_x=1.2$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=1.25$)

Soluzione convergente in fase 15 con spostamento nodale massimo $U_x=1.3$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=1.5$)

Soluzione convergente in fase 16 con spostamento nodale massimo $U_x=1.4$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=2$)

Soluzione convergente in fase 17 con spostamento nodale massimo $U_x=1.5$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=2.5$)

Soluzione convergente in fase 18 con spostamento nodale massimo $U_x=1.6$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=3$)

Soluzione convergente in fase 19 con spostamento nodale massimo $U_x=1.7$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=3.5$)

Soluzione convergente in fase 20 con spostamento nodale massimo $U_x=1.9$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=4$)

Soluzione convergente in fase 21 con spostamento nodale massimo $U_x=2.1$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=4.5$)

Soluzione convergente in fase 22 con spostamento nodale massimo $U_x=2.3$ $R_y=0$ (moltiplicatore $m=5$)

Verifica al collasso SODDISFATTA in combinazione Collasso A2M2

Moltiplicatore massimo dei fattori gammaM $m_{Max}=5(>=1)$, corrispondente a $\gamma_{TanPhi}=2.25$, $\gamma_{C}=2.25$, $\gamma_{Cu}=3$)

Fattore di sicurezza $FS=1.8$

Verifiche geotecniche di capacità portante verticale come fondazione continua

Id	Cmb	Stg	Fvb	Leff	Cnd	An	Cd	φd	Wgt	Qd	ANmax	yrb	Rd	Ed	CS	Ver.
3	SLVm1 1	2	-69806	50	LT	-	0	30	0.001	1.37	0.06	2.3	818407	69806	11.72	Si
4	SLVm1 2	2	-69806	50	LT	-	0	30	0.001	1.37	0.06	2.3	818407	69806	11.72	Si
1	STR 1	2	-90748	50	LT	-	0	30	0.001	1.78	0	2.3	1104617	90748	12.17	Si
2	STR 2	2	-69806	50	LT	-	0	30	0.001	1.37	0	2.3	853089	69806	12.22	Si

Fattori di capacità portante verticale

Id	N			S			D			P			E		
	q	c	g	q	c	g	q	c	g	q	c	g	q	c	g
3	18	30	22	1.03	1.03	0.98	1.42	1.59	1	1	1	1	0.96	0.98	0.96
4	18	30	22	1.03	1.03	0.98	1.42	1.59	1	1	1	1	0.96	0.98	0.96
1	18	30	22	1.03	1.03	0.98	1.42	1.59	1	1	1	1	1	1	1
2	18	30	22	1.03	1.03	0.98	1.42	1.59	1	1	1	1	1	1	1

Verifiche geotecniche di capacità portante come palificata

Fattore di correlazione pali $\xi = 1.7$

Cmb	Stg	Fvb	Linf	Deq	PP	ypp	yrl	yrr	Cnd	Eff	Pld	Ppd	Rd	Ed	CS	Ver.
STR 1	2	-9075	460	50	3731	1.3	1.15	1.35	BT	1	5153	23162	28315	-9075	3.12	Si
STR 1	2	-9075	460	50	3731	1.3	1.15	1.35	LT	1	5153	23162	28315	-9075	3.12	Si
STR 2	2	-6981	460	50	3731	1	1.15	1.35	BT	1	5153	23162	28315	-6981	4.06	Si
STR 2	2	-6981	460	50	3731	1	1.15	1.35	LT	1	5153	23162	28315	-6981	4.06	Si
SLVm1 1	2	-6981	460	50	3731	1	1.15	1.35	BT	1	5153	23162	28315	-6981	4.06	Si
SLVm1 1	2	-6981	460	50	3731	1	1.15	1.35	LT	1	5153	23162	28315	-6981	4.06	Si
SLVm1 2	2	-6981	460	50	3731	1	1.15	1.35	BT	1	5153	23162	28315	-6981	4.06	Si
SLVm1 2	2	-6981	460	50	3731	1	1.15	1.35	LT	1	5153	23162	28315	-6981	4.06	Si

Verifiche dei cedimenti in superficie totali e differenziali

Metodo di verifica: Hsieh-Ou (1998)

Cedimento assoluto ammissibile: 5

Cedimento differenziale ammissibile: 2

Distanza considerata nella verifica cedimento differenziale: 100

Verifiche dei cedimenti in superficie totali e differenziali

Si stampano le 10 situazioni più gravose per tipo di verifica

Contesto				Geometria			Spostamenti nodi			Cedimenti suolo				Ver		
Cmb	Stg	Side	Type	He	Hp	d	hd	Zhd	Ahd	ad	Xad	dd	Xdd	CSa	CSd	Ver.
SLVm1 1	2	Dx	cvs	300	460	360	1.5	0	307	1.1	0	0.3	12	4.59	6.16	Si
STR 1	2	Dx	cvs	300	460	360	1.4	0	299	1.1	0	0.3	12	4.69	6.3	Si
SLE 1	2	Dx	cvs	300	460	360	1.1	0	230	0.8	0	0.2	12	6.1	8.18	Si
STR 2	2	Dx	cvs	300	460	360	1.1	0	230	0.8	0	0.2	12	6.1	8.18	Si

Contesto				Geometria			Spostamenti nodi			Cedimenti suolo				Ver		
Cmb	Stg	Side	Type	He	Hp	d	hd	Zhd	Ahd	ad	Xad	dd	Xdd	CSa	CSd	Ver.
GEO 1	2	Dx	cvs	300	460	360	1.1	0	230	0.8	0	0.2	12	6.1	8.18	Si
SLVm1 2	2	Dx	cvs	300	460	360	1.1	0	230	0.8	0	0.2	12	6.1	8.18	Si
SLVm1 1	2	Sx	cvs	300	460	450	-0.4	300	-37	-0.3	0	0.1	12	17.04	22.86	Si
STR 1	2	Sx	cvs	300	460	450	-0.4	300	-36	-0.3	0	0.1	12	17.53	23.51	Si
SLE 1	2	Sx	cvs	300	460	450	-0.3	300	-28	-0.2	0	0.1	12	22.78	30.57	Si
STR 2	2	Sx	cvs	300	460	450	-0.3	300	-28	-0.2	0	0.1	12	22.78	30.57	Si

Significato dei simboli utilizzati:

Id: indice progressivo della verifica.
Cmb: combinazione di calcolo.
Stg: fase di calcolo.
Fvb: forza verticale alla base. [daN]
Leff: larghezza efficace. [cm]
Cnd: condizione di calcolo considerata (BT=breve termine; LT=lungo termine).
An: eventuali anomalie riscontrate nel calcolo (-=Nessuna anomalia; E=Espulsione del terreno; R=Rottura del terreno; A=Azzerramento dimensione efficace; I=Ipotesi non rispettate; S=Sollevamento della fondazione; D=Dati errati; G=Errore generico).
Cd: coesione di progetto. [daN/cm²]
φd: angolo di attrito di progetto. [deg]
Wgt: peso specifico del suolo di progetto. [daN/cm³]
Qd: sovraccarico di progetto. [daN/cm²]
ANmax: accelerazione normalizzata massima attesa al suolo.
yrb: fattore parziale gammaR per portanza.
Rd: resistenza di progetto. [daN]
Ed: azione di progetto (sforzo normale al piano di posa). [daN]
CS: fattore di sicurezza normalizzato Rd/Ed.
Ver.: stato di verifica.
N: fattore di capacità portante, rispettivamente per il termine di sovraccarico (q), coesivo (c), attritivo (g).
q:
c:
g:
S: fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), rispettivamente per il termine di sovraccarico (q), coesivo (c), attritivo (g).
D: fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), rispettivamente per il termine di sovraccarico (q), coesivo (c), attritivo (g).
P: fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, rispettivamente per il termine di sovraccarico (q), coesivo (c), attritivo (g).
E: fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), rispettivamente per il termine di sovraccarico (q), coesivo (c), attritivo (g).
Lin: lunghezza totalmente infissa. [cm]
Deq: diametro equivalente della sezione infissa. [cm]
PP: peso proprio della sezione di paratia. [daN]
ypp: fattore parziale gamma pesi permanenti G1.
yrl: fattore parziale gamma sulla resistenza laterale.
ypr: fattore parziale gamma sulla resistenza alla base/punta.
Cnd: condizione di calcolo considerata (Blk= blocco a breve termine; BT=breve termine; LT=lungo termine).
Eff: efficienza di progetto della palificata.
Pld: portanza laterale di progetto. [daN]
Ppd: portanza alla base/punta di progetto. [daN]
Contesto: contesto di verifica.
Side: lato considerato (sx o dx).
Type: tipo di profilo risultante (concavo[cv]/convesso[cvs]/speculare[spc]/parabolico[prb]).
Geometria: geometria presente nel contesto di verifica.
He: altezza a sbalzo. [cm]
Hp: altezza infissa. [cm]
d: distanza di influenza. [cm]
Spostamenti nodi: spostamenti orizzontali dei nodi paratia.
hd: spostamento orizzontale massimo. [cm]
Zhd: quota dello spostamento orizzontale massimo. [cm]
Ahd: area dovuta a spostamento orizzontale. [cm²]
Cedimenti suolo: cedimenti verticali alla superficie suolo.
ad: cedimento assoluto massimo. [cm]
Xad: posizione cedimento massimo. [cm]
dd: cedimento differenziale massimo. [cm]
Xdd: posizione cedimento differenziale massimo. [cm]
Ver: stato di verifica.
CSa: fattore di sicurezza normalizzato Cd/Ed per cedimenti assoluti.
CSd: fattore di sicurezza normalizzato Cd/Ed per cedimenti differenziali.

Verifiche geotecniche di stabilità globale dell'opera

Parametri utilizzati nella verifica di stabilità globale dell'opera

Metodo di calcolo di stabilità pendio: Bishop
Coefficiente di sicurezza ritenuto ammissibile (γR): 1.3
Passo dei concii: 100
Resistenza al taglio della paratia: 5
Estensione massima studiata a sx: 10000
Estensione massima studiata a dx: 10000
Estensione massima studiata in profondità: 10000
Esegui il calcolo contestualmente alla risoluzione: Si

Verifiche geotecniche di stabilità globale dell'opera

Si stampano le 10 situazioni più gravose per tipo di verifica

Cmb	Stg	Id	Xc	Zc	Rg	Lg	Asx	Adx	CS	Ver.
SLVml 1	2	30	-222.2	800	1220.4	1591.2	-26	49	4.01	Si
SLVml 1	2	20	-311.1	800	1239.7	1671.8	-27	50	4.01	Si
SLVml 1	2	29	-222.2	711.1	1133.1	1541.8	-27	51	4.02	Si
SLVml 1	2	19	-311.1	711.1	1153.8	1626.3	-29	52	4.03	Si
SLVml 1	2	28	-222.2	622.2	1046.1	1491.1	-28	54	4.03	Si
SLVml 1	2	27	-222.2	533.3	959.4	1439	-30	56	4.05	Si
SLVml 1	2	18	-311.1	622.2	1068.5	1580	-30	54	4.06	Si
SLVml 1	2	10	-400	800	1264.9	1773.9	-30	51	4.08	Si
SLVml 1	2	40	-133.3	800	1207.4	1535.2	-24	49	4.09	Si
SLVml 1	2	39	-133.3	711.1	1119.1	1482.9	-25	51	4.09	Si

Significato dei simboli utilizzati:

- Cmb: combinazione di calcolo.
- Stg: fase di calcolo.
- Id: indice del centro.
- Xc: coordinata X del centro. [cm]
- Zc: coordinata Z del centro. [cm]
- Rg: raggio della superficie circolare. [cm]
- Lg: lunghezza della superficie circolare. [cm]
- Asx: angolo con l'orizzontale formato dalla superficie a sx. [deg]
- Adx: angolo con l'orizzontale (deg) formato dalla superficie a dx. [deg]
- CS: fattore di sicurezza normalizzato Rd/Ed.
- Ver.: stato di verifica.

Verifiche Strutturali

Tipo di sezione: Circolare in c.a.
Ingombro esterno singola sezione: 50 x 50
Coprifermo minimo inferiore: 5
Coprifermo minimo superiore: 5
Area complessiva in cls: 1963.5
Larghezza collaborante a taglio: 44.3
Coefficiente parziale sul cls γC: 1.5
Coefficiente parziale sulle barre di armatura γS: 1.15
Resistenza caratteristica a snervamento delle barre di armatura Fyk: 4500
Resistenza caratteristica del cls Fck: 291
Livello di conoscenza: Nuovo
Classe di esposizione del cls: XC2

Verifiche strutturali - Percentuali di armatura

Z	Armatura longitudinale						Staffe				Ver.
	AaeTot	Aai	Aas	%at	%min	%max	Dst	DstMin	Pst	PstMax	
20	0	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
40	0	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
60	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
80	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
100	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
120	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
140	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
160	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
180	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
200	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
220	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
240	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
260	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
280	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
300	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
320	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
340	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
360	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
380	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
400	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
420	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
440	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
460	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
480	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
500	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
520	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
540	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
560	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
580	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
600	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
620	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
640	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
660	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
680	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
700	22	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
720	0	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si
740	0	0	0	1.12	0.3	4	1	0.8	15	16	Si

Verifiche strutturali di resistenza in STR

Si stampano le 10 situazioni più gravose per tipo di verifica

Dati sezione						Pressoflessione			Taglio					Ver.	
Z	Cmb	Stg	N	Mx	T	Nu	Mxu	1/CSf	VEd	VRd	VRcd	VRsd	Cotg	1/CSl	
360	STR 1	2	-6522	-1064653	1203	-9962	-1626152	0.65	1203	8939	50808	40568	2.5	0.03	Si
360	STR 1	2	-6522	-1064653	-20	-9962	-1626152	0.65	20	8939	50808	40568	2.5	0	Si
380	STR 1	2	-6650	-1064260	-1078	-10179	-1629092	0.65	1078	8958	50828	40568	2.5	0.03	Si
380	STR 1	2	-6650	-1064260	-20	-10179	-1629092	0.65	20	8958	50828	40568	2.5	0	Si
340	STR 1	2	-6395	-1040596	2610	-9996	-1626608	0.64	2610	8920	50788	40568	2.5	0.06	Si
340	STR 1	2	-6395	-1040596	1203	-9996	-1626608	0.64	1203	8920	50788	40568	2.5	0.03	Si
400	STR 1	2	-6778	-1042703	-1992	-10629	-1635179	0.64	1992	8977	50847	40568	2.5	0.05	Si
400	STR 1	2	-6778	-1042703	-1078	-10629	-1635179	0.64	1078	8977	50847	40568	2.5	0.03	Si
420	STR 1	2	-6905	-1002863	-1992	-11324	-1644596	0.61	1992	8996	50867	40568	2.5	0.05	Si
420	STR 1	2	-6905	-1002863	-2782	-11324	-1644596	0.61	2782	8996	50867	40568	2.5	0.07	Si

Verifiche strutturali di resistenza in SLVm1 (domini sostanzialmente elastici)

Si stampano le 10 situazioni più gravose per tipo di verifica

Dati sezione						Pressoflessione			Taglio					Ver.		
Z	Cmb	Stg	N	Mx	T	Nu	Mxu	1/CSf	VEd	VRd	VRcd	VRsd	Cotg	1/CSl		
360	SLVm1	1	2	-5017	-1072687	1232	-5741	-1227379	0.87	1232	8715	50576	40568	2.5	0.03	Si
360	SLVm1	1	2	-5017	-1072687	11	-5741	-1227379	0.87	11	8715	50576	40568	2.5	0	Si
380	SLVm1	1	2	-5115	-1072912	11	-5860	-1229029	0.87	11	8729	50591	40568	2.5	0	Si
380	SLVm1	1	2	-5115	-1072912	-1034	-5860	-1229029	0.87	1034	8729	50591	40568	2.5	0.03	Si
400	SLVm1	1	2	-5213	-1052229	-1925	-6106	-1232453	0.85	1925	8744	50606	40568	2.5	0.05	Si
400	SLVm1	1	2	-5213	-1052229	-1034	-6106	-1232453	0.85	1034	8744	50606	40568	2.5	0.03	Si
340	SLVm1	1	2	-4919	-1048049	2648	-5762	-1227675	0.85	2648	8700	50561	40568	2.5	0.07	Si
340	SLVm1	1	2	-4919	-1048049	1232	-5762	-1227675	0.85	1232	8700	50561	40568	2.5	0.03	Si
420	SLVm1	1	2	-5312	-1013737	-2680	-6485	-1237707	0.82	2680	8759	50621	40568	2.5	0.07	Si
420	SLVm1	1	2	-5312	-1013737	-1925	-6485	-1237707	0.82	1925	8759	50621	40568	2.5	0.05	Si

Verifiche strutturali di esercizio

Si stampano le 10 situazioni più gravose per tipo di verifica

Dati sezione						Tensioni				Fessure					Ver.
Z	Cmb	Stg	N	Mx	Sc	Sf	Sc,a	Sf,a	1/CSl	Fess	Wm	Wadm	Srm	1/CSf	
360	SLE 1	2	-5017	-818964	-105.5	2522	130.7	3600	0.81	si	0.029	0.03	34.3	0.98	Si
340	SLE 1	2	-4919	-800459	-103.1	2464.2	130.7	3600	0.79	si	0.028	0.03	34.3	0.95	Si
320	SLE 1	2	-4821	-760305	-97.9	2333.2	130.7	3600	0.75	si	0.026	0.03	34.3	0.87	Si
380	SLE 1	2	-5115	-818662	-105.4	2516.1	130.7	3600	0.81	si	0.029	0.03	34.3	0.98	Si
400	SLE 1	2	-5213	-802079	-103.3	2455.1	130.7	3600	0.79	si	0.028	0.03	34.3	0.94	Si
420	SLE 1	2	-5312	-771433	-99.3	2346.5	130.7	3600	0.76	si	0.026	0.03	34.3	0.88	Si
300	SLE 1	2	-4723	-695359	-89.5	2118.4	130.7	3600	0.68	si	0.023	0.03	34.3	0.75	Si
440	SLE 1	2	-5410	-728636	-93.7	2196.9	130.7	3600	0.72	si	0.024	0.03	34.2	0.8	Si
460	SLE 1	2	-5508	-675389	-86.8	2011.9	130.7	3600	0.66	si	0.021	0.03	34.1	0.7	Si
480	SLE 1	2	-5606	-615062	-79	1803.2	130.7	3600	0.6	si	0.018	0.03	34	0.6	Si

Significato dei simboli utilizzati:

- Z:** coordinata Z del punto di verifica. [cm]
Ver.: stato di verifica.
Armatura longitudinale: armatura longitudinale.
AaeTot: area acciaio efficace totale. [cm²]
Aai: area acciaio inferiore. [cm²]
Aas: area acciaio superiore. [cm²]
%at: percentuale di armatura totale.
%min: percentuale di armatura minima consentita.
%max: percentuale di armatura massima consentita.
Staffe: staffe.
Dst: diametro staffe presente. [cm]
DstMin: diametro staffe minimo. [cm]
Pst: passo staffe presente. [cm]
PstMax: passo staffe massimo. [cm]
Dati sezione: dati di verifica della sezione.
Cmb: combinazione di calcolo.
Stg: fase di calcolo.
N: sforzo normale di progetto. [daN]
Mx: momento flettente di progetto. [daN*cm]
T: sforzo di taglio di progetto. [daN]
Pressoflessione: verifiche a Pressoflessione.
Nu: sforzo normale ultimo. [daN]
Mxu: momento flettente ultimo. [daN*cm]
1/CSf: inverso del Coefficiente di sicurezza a pressoflessione.
Taglio: verifiche a Taglio.
VEd: taglio sollecitante di calcolo. [daN]
VRd: taglio resistente sezione non staffata. [daN]
VRcd: taglio che produce la rottura delle bielle. [daN]
VRsd: taglio resistente sezione staffata. [daN]
Cotg: cotangente inclinazione traliccio.
1/CSl: inverso del Coefficiente di sicurezza a taglio.
Tensioni: tensioni su cls ed armatura.
Sc: tensione minima sul cls (max compressione). [daN/cm²]
Sf: tensione massima sull'acciaio (max trazione). [daN/cm²]
Sc,a: tensione ammissibile sul cls. [daN/cm²]
Sf,a: tensione ammissibile sull'acciaio. [daN/cm²]
1/CSl: inverso del coeff. di sicurezza sulle tensioni raggiunte su cls e/o armatura.
Fessure: fessurazione della sezione.
Fess: sezione fessurata (si o no).
Wm: apertura media delle fessure. [cm]

Wadm: apertura ammissibile delle fessure. [cm]

Srm: distanza media tra le fessure. [cm]

1/CSf: inverso del coeff. di sicurezza a fessurazione.

**Lavori di consolidamento della scarpata di monte
sulla SP 57 al km 1+900 in comune di Vetto**

**PROGETTO ESECUTIVO
RELAZIONE DI CALCOLO RETI**

AII. 2.2.2 RELAZIONE DI CALCOLO RETI

Premessa – descrizione degli interventi

Il progetto riguarda la messa in sicurezza della scarpata di monte in corrispondenza del Km. 1+900 della S.P. 57, in Comune di Vetto d'Enza (RE): detto tratto stradale risulta interessato dal crollo in carreggiata della coltre superficiale e di massi rocciosi, anche a seguito di eventi metereologici intensi.

L'intervento è finalizzato:

- a trattenere dal crollo eventuali massi che possano distaccarsi per proprie discontinuità e ad annullare gli effetti causati dall'infiltrazione degli agenti meteorici, che provocano erosioni di tipo superficiale;
- ad eseguire un'opera di sostegno e contenimento al piede della scarpata.

La scarpata presenta uno sviluppo trasversale al piede (carreggiata stradale) pari a 40 metri ca., con uno sviluppo longitudinale sulla linea di massima pendenza pari a 25 metri ca.

Oggetto della presente parte della relazione di calcolo risultano essere gli interventi sia sul pendio, sia sulla parte dell'unghia sommitale (evidenziata nella figura successiva) caratterizzata da una maggiore instabilità e con rischi da processi di crollo, sia sulla restante parte, caratterizzata processi erosivi superficiali.



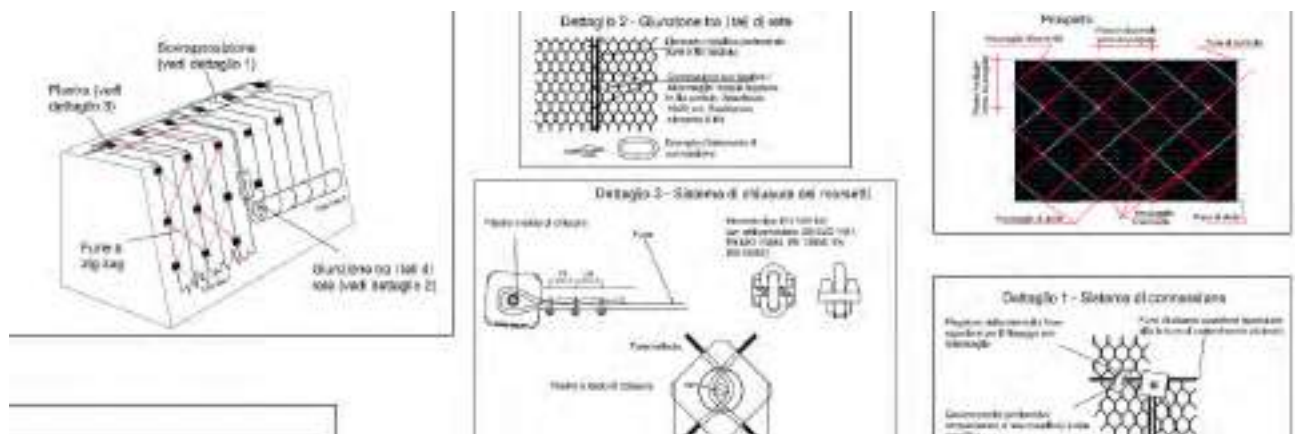
L'intervento prevede un insieme sistematico di opere "strutturali" così schematizzate:

- il disaggio dei blocchi superficiali soggetti possibili crolli causati dall'annullamento delle caratteristiche meccaniche dei giunti conseguente all'azione degli agenti meteorici ed una pulizia selettiva con riprofilatura del pendio;
- l'esecuzione sull'unghia sommitale di chiodature a maglia romboidale/rettangolare con lati 3,00x1,50 metri, da realizzare con barre autoperforanti tipo Sirive di diametro 32 mm, lunghezza pari a 4,00 m,

alloggiate in fori eseguiti nel substrato a roto- opportunamente cementate per iniezione a rifiuto con boiacca di cemento di classe minima C25/30, con rinforzo corticale attuato mediante la messa in opera di reti metalliche a doppia torsione con maglia del reticolo di forma esagonale, con altezza pari a 3,00 metri e con fune in acciaio perimetrale;

- l'esecuzione sul resto del pendio di un intervento analogo al precedente, ma con maglia romboidale delle chiodature di 3,00x3,00 metri.

Lo scopo è il miglioramento della stabilità superficiale del pendio e di contenere in loco le tasche detritiche che dovessero formarsi.



Dal punto di vista geomeccanico tutti gli interventi risultano di tipo passivo, perché generano forze di reazione solo dopo che il potenziale dissesto ha cominciato a manifestare qualche movimento.

Stima della pericolosità sismica

In riferimento alla classificazione sismica dell'area oggetto di intervento si ritiene utile precisare che il Comune di Villa Minozzo viene inserito in Zona sismica a media intensità, ex-zona 2. Con riferimento a quanto riportato nel D.M. 14/01/2018 ed in particolare alla suddivisione del suolo in categorie si assume per il sito investigato una categoria B, a favore di sicurezza, mentre relativamente al coefficiente topografico, l'opera potrà essere inserita in categoria T4, con valori di amplificazione topografica S_t pari a 1,4. Relativamente allo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della vita), la pericolosità sismica riferita al nodo di riferimento preso in esame (Lat. 44,47731 - Long. 10,32514 - Quota 387 m s.l.m.), considerato una vita nominale $V_n = 50$ anni, categoria del sottosuolo B e topografica T4, è stata definita in base ai seguenti parametri:



Latitudine (WGS84)	Longitudine (WGS84)			
44.47554662	10.32404760			
Latitudine (ED50)	Longitudine (ED50)			
44.477312	10.325143			
Altitudine (mt)	387			
Classe dell'edificio	III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi			
Vita Nominale Struttura	50			
Periodo di Riferimento per l'azione sismica	75			
Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g [-]	F₀ [-]	T_c[*] [s]
Operatività	45	0.068	2.477	0.256
Danno	75	0.084	2.477	0.265
Salvaguardia Vita	712	0.186	2.527	0.296
Prevenzione Collasso	1462	0.230	2.541	0.309

SLV - STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA

a_g/g [accelerazione orizzontale massima al suolo] 0.186

F₀ [valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale] 2.527

T_c^{*} [periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale] 0.296

SLD - STATO LIMITE DI DANNO

a_g/g [accelerazione orizzontale massima al suolo] 0.084

F₀ [valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale] 2.477

T_c^{*} [periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale] 0.265

Valutazione dei coefficienti sismici orizzontale e verticale

Lo studio della stabilità del pendio in condizioni sismiche sarà eseguito mediante metodo pseudostatico. Non avendo effettuato studi specifici, le componenti orizzontale e verticale della forza sismica agente sul volume di terreno instabile saranno espresse come:

$$F_v = \pm k W_v$$

$$F_h = \pm k W_h$$

Con:

- K_h e k_v si indicano rispettivamente i coefficienti sismici orizzontale e verticale, con W il peso del volume di terreno instabile

$$- a_{max}$$

$$- k_h = \beta_s \cdot g$$

- $k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$

- β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito e g accelerazione di gravità.

Il coefficiente β_s è ricavato a partire dalla tabella 7.11.I delle NTC 2018 contenuta al paragrafo 7.11.3.5.2.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g/g \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g/g \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g/g \leq 0.1$	0.20	0.20

Per una categoria di sottosuolo B ed una accelerazione al suolo compresa tra 0.1 e 0.2:

$$\beta_s = 0.24$$

L' accelerazione orizzontale massima attesa al sito viene calcolata secondo l'espressione:

$$a_{max} = S_a \cdot g = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1,2 \cdot 1,4 \cdot 0,186 = 0,312$$

Con:

- S_T coefficiente di amplificazione topografica assunto 1.4 per una categoria topografica T4.

- S_s coefficiente di amplificazione stratigrafica assunto 1.2.

$$1 \leq 1.4 - 0.4 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,2$$

$$1 \leq 1.4 - 0.4 \cdot 2,527 \cdot 0,186 = 1,20 \leq 1.2$$

Da cui i coefficienti sismici orizzontale e verticale.

$$K_h = \beta_s \cdot a_{max}/g = 0,24 \cdot 0,312/0,981 = 0,076$$

$$K_v = \pm 0,5 \cdot k_h = \pm 0,5 \cdot 0,086 = 0,038$$

Gli studi del Geologo hanno consigliato per il pendio, in particolar modo per la sua pozione sommitale soggetta a forte instabilità valori superiori, che verranno a favore di sicurezza adottati nei calcoli, pari a:

Coefficiente di riduzione sismico $\beta = 0,24$ (pendio naturale e fondazioni)	
coefficiente sismico orizzontale	$k_h = 0,064$
coefficiente sismico verticale	$k_v = \pm 0,032$
Coefficiente di riduzione sismico $\beta = 0,38$ (verifica di opere sul pendio)	
coefficiente sismico orizzontale	$k_h = 0,102$
coefficiente sismico verticale	$k_v = \pm 0,051$

Cenni Geotecnici

Lo studio geotecnico di base è stato redatto dal Geologo dott. Paolo Beretti e dallo stesso è stato possibile osservare che la sintesi di quanto effettuato permette di definire una indicativa costituzione stratigrafico - geotecnica dell'area di intervento di cui si ritiene necessario operare una preliminare operazione di disaggio di alcuni blocchi a strapiombo e di asportazione di materiale detritico in accumulo al ciglio superiore.

Successivamente deve essere posta la rete a maglie differenziate, in funzione delle caratteristiche geotecniche.

Sommariamente si hanno i seguenti dati; inclinazione del pendio pari a 60° , spessore della coltre instabile pari a 0,75 metri, caratteristiche della coltre instabile pari a UGT3 della modellazione geotecnica (a favore di sicurezza) tensione di aderenza del substrato pari a 1,8 MPa.

Rafforzamento corticale

I fenomeni di instabilità che potrebbero interessare lo strato alterato del substrato roccioso saranno controllati attraverso una maglia di chiodi associati ad una rete metallica posta in aderenza al versante. Il ruolo fondamentale del sistema sarà assunto dagli ancoraggi che, impedendo o limitando i movimenti reciproci tra i blocchi, conferiranno una maggiore "rigidità" al sistema, rallentandone il progressivo rilassamento. Il sistema del rafforzamento corticale richiederà una corretta proporzione tra lo spessore del dissesto corticale e le dimensioni degli ancoraggi utilizzati. Questi ultimi dovranno essere disposti secondo una maglia di densità (espressa come No. di anc./mq) tale da garantire che la massima porzione di ammasso disarticolato che potrebbe gravare su ciascun ancoraggio non superi il carico ammissibile dell'ancoraggio stesso. La lunghezza delle barre dovrà essere sufficiente per garantire che le sollecitazioni di trazione e taglio siano scaricate sull'ammasso roccioso sano. In questa situazione la rete assolverà la funzione di contenere i massi che si troveranno nella maglia di ancoraggi. La forza dei massi che solleciteranno a punzonamento la rete sarà scaricata sugli ancoraggi circostanti.

La maglia degli ancoraggi sulla parte alta del versante risulta del 3x3 metri, come nella restante parte alla base; gli ancoraggi sono dati da barre SIRIVE 32P autoperforanti; la maglia della rete 8x10 cm con filo 3,0 o 3,4 mm.

Verranno predisposte chiodature suppletive nelle 5 finestre indagate che hanno individuato blocchi instabili, anche se di dimensioni non eccessive.

Si ipotizza che la parte corticale dell'ammasso roccioso sia in condizione di equilibrio limite, analizzando la stabilità del cuneo di roccia attraverso il rapporto tra le forze resistenti e quelle destabilizzanti lungo la ipotetica direzione di scivolamento, assumendo per il comportamento meccanico delle discontinuità quello del modello rigido perfettamente plastico.

Per quanto riguarda la presenza di carichi dinamici dovuti ad eventi sismici, questi saranno schematizzati con due forze pseudostatiche F_h ed F_v costanti nel tempo e proporzionali alla massa del volume potenzialmente instabile.

Relazione di calcolo parte alta Km 1+900

Generalità

SRS è un software di calcolo per il dimensionamento, in ossequio alle vigenti NTC 2018, di un sistema di rivestimento corticale di coltri instabili, costituito da reti metalliche solidarizzate al terreno mediante ancoraggi in barra.

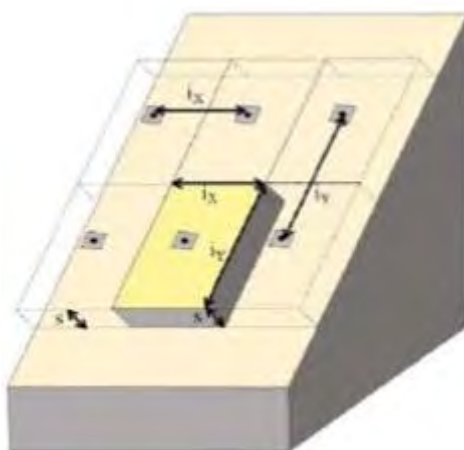
In **SRS**, invertendo l'usuale approccio progettuale, il Progettista fissa il valore del coefficiente di sicurezza di progetto (FS_{des}) e il software consente di determinare lo sforzo (di trazione) nel singolo ancoraggio necessario per raggiungerlo.

Poiché viene quantificato l'incremento del coefficiente di sicurezza conseguito in seguito alla realizzazione del sistema di consolidamento, questo può essere considerato come "intervento di stabilizzazione" secondo quanto prescritto al punto 6.3.5 della NTC 2018.

Schema di calcolo

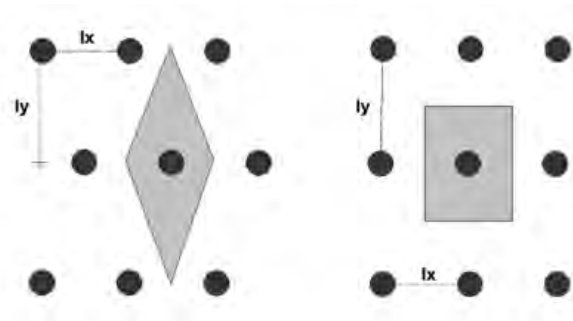
Lo schema adottato in **SRS** prevede l'analisi di stabilità rispetto a un cinemismo di tipo traslazionale del volume di terreno rappresentato planimetricamente dall'area di influenza del singolo ancoraggio e avente spessore pari allo spessore, misurato perpendicolarmente alla superficie di scorrimento, della coltre da stabilizzare (S).

Viene ipotizzato che lo scorrimento possa avvenire sulla superficie di contatto tra la coltre e il sottostante substrato, che può essere costituito da terreno oppure da roccia, avente lo stesso angolo di inclinazione α rispetto all'orizzontale della superficie topografica



L'analisi viene condotta anche in condizioni sismiche secondo l'approccio pseudostatico, così come previsto al punto 7.11.3.5.2 delle NTC 2018, considerando tali azioni secondo le condizioni più sfavorevoli.

Per la definizione del volume di terreno, può farsi riferimento ai seguenti schemi di disposizione degli ancoraggi (*raster* rettangolare o romboidale).

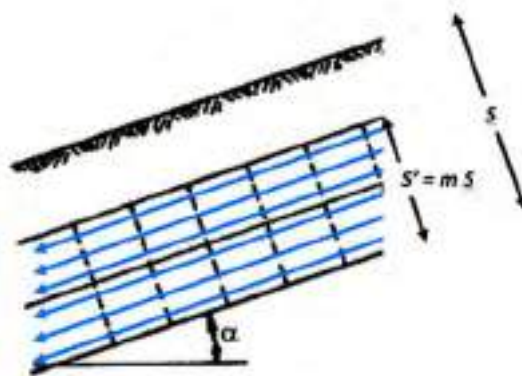


Il volume, sia in caso di *raster* romboidale che rettangolare, sarà dato da:

$$V = l_x l_y S \text{ (m}^3\text{)}$$

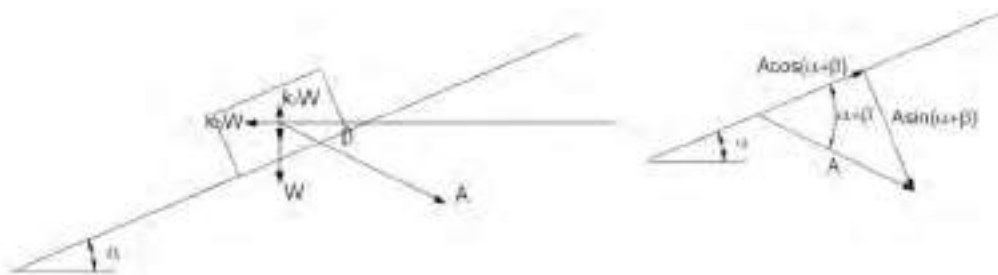
L'analisi di stabilità può essere condotta considerando, oltre alle azioni sismiche, anche la presenza di un moto di filtrazione con linee di flusso parallele al pendio che interessi la coltre per uno spessore:

$$S' = m S$$



In caso di assenza di falda: $m = 0$; per falda a p.c.: $m = 1$

Lo sforzo (di trazione) A da trasferire al singolo ancoraggio per ottenere il valore del coefficiente di sicurezza di progetto (FS_{des}) è ottenuto risolvendo la seguente espressione:



$$FS_{des} = \frac{[(W \pm F_v) \cos \alpha - F_h \sin \alpha + A \sin(\alpha + \beta)] \tan \varphi}{(W \pm F_v) \sin \alpha + F_h \cos \alpha - A \cos(\alpha + \beta)}$$

Noto lo sforzo di trazione agente sull'ancoraggio per il raggiungimento di FS_{des} , vengono effettuate, applicando gli opportuni coefficienti parziali previsti dalle NTC 2018, le seguenti verifiche:

- 1) Verifica a trazione della barra;

- 2) Verifica a taglio della barra;
- 3) Verifica a sfilamento barra/malta;
- 4) Verifica a sfilamento fondazione/terreno;
- 5) Verifica a punzonamento della rete;
- 6) Verifica a trazione della rete.

Le verifiche si ritengono soddisfatte se le sollecitazioni E_d risultano inferiori alle resistenze R_d :

$$E_d < R_d$$

L'approccio di calcolo utilizzato, secondo le NTC 2018, è l'Approccio 2, che prevede l'unica combinazione (A1 + M1 + R3).

INPUT

Parametri del terreno e del substrato

Coltre

- I.1. *Inclinazione del pendio α* : angolo "medio" (in gradi sessagesimali) di inclinazione del pendio rispetto all'orizzontale
- I.2. *Spessore S* : spessore (in m) della coltre da stabilizzare mediante il sistema, misurato perpendicolarmente alla superficie topografica;
- I.3. *Peso unità di volume γ_{col}* : peso (in kN/m³) dell'unità di volume della coltre;
- I.4. *Angolo d'attrito ϕ_{col}* : angolo d'attrito (in gradi sessagesimali) del terreno;
- I.5. *Coesione drenata c'_{col}* : coesione drenata (in kPa) del terreno.
- I.6. *Spessore (adimensionalizzato) interessato da moto di filtrazione m* : rappresenta il rapporto $m = S' / S$, dove S' è lo spessore, misurato perpendicolarmente alla superficie di scorrimento, nel quale si verifica un moto di filtrazione con linee di flusso parallele alla superficie stessa ($m = 0$ per falda assente, $m = 1$ per falda al p.c., $0 < m < 1$ per situazioni intermedie).

Substrato

- I.7. *1 = terreno; 2 = roccia*: inserire il valore "1" in caso di substrato costituito da terreno, "2" in caso di substrato costituito da roccia.

Caso 1: terreno

- I.8. *Tensione di aderenza del terreno costituente il substrato ad_{soil}* (in MPa), desumibile da prove di estrazione o, in mancanza di determinazioni dirette, dalla tabella seguente:

TERRENO		Tensione di aderenza unitaria malta-terreno [Mpa]	
		min	max
ROCCIA			
✓	Basalto	5.50	6.00
✓	Calcare	2.80	4.80
✓	Arenaria	1.50	1.70
✓	Dolomite	1.70	1.90
✓	Scisti	0.50	0.70
✓	Scisti alterati	0.30	0.50
✓	Gesso	0.60	0.80
✓	Ardesia	1.60	1.80
SCIOLTO			
✓	Limi argillosi	0.06	0.09
✓	Argilla satura	0.05	0.08
✓	Argille sabbiosa compatta	0.20	0.40
✓	Sabbia medio fine compatta	0.20	0.60
✓	Argilla medio plastica dura	0.20	0.50
✓	Argilla medio plastica media	0.16	0.29
✓	Sabbia grossa e ghiaia compatta	0.29	0.60

E. Segre, "Proposta di metodo di prove semplici per tiranti di ancoraggio"
(Industria Italiana del Cemento 6/88)

- I.9. Coefficiente α_{iniez} , che tiene conto delle modalità di iniezione, desumibile dalla tabella seguente:

LITOLOGIA	COEFFICIENTE α			
	Iniezione ripetuta		Iniezione semplice	
	min	max	min	max
✓ Ghiaia	1.8	1.8	1.3	1.4
✓ Ghiaia sabbiosa	1.6	1.8	1.2	1.4
✓ Sabbia ghiaiosa	1.5	1.6	1.2	1.3
✓ Sabbia pulita	1.4	1.5	1.1	1.2
✓ Sabbia limosa	1.4	1.5	1.1	1.2
✓ Limo	1.4	1.6	1.1	1.2
✓ Argilla	1.8	2.0	1.2	1.2
✓ Marne e arenarie alterate e/o fratturate	1.8	1.8	1.1	1.2

Bustamante & Doix (1985)

Caso 2: roccia

- I.10. Tensione di aderenza della roccia costituente il substrato $\mathbf{ad}_{rock}$ (in MPa), desumibile da prove di estrazione o, in mancanza di determinazioni dirette, dalle tabelle seguenti:

TERRENO		Tensione di aderenza unitaria malta-terreno (Mpa)	
		min	max
ROCCIA			
✓	Basalto	5.50	6.00
✓	Calcere	2.80	4.80
✓	Arenaria	1.50	1.70
✓	Dolomite	1.70	1.90
✓	Scisti	0.50	0.70
✓	Scisti alterati	0.30	0.50
✓	Gesso	0.60	0.80
✓	Ardesia	1.60	1.80
SCIOLTO			
✓	Limi argillosi	0.06	0.09
✓	Argilla satura	0.05	0.08
✓	Argilla sabbiosa compatta	0.20	0.40
✓	Sabbia medio fine compatta	0.20	0.60
✓	Argilla medio plastica dura	0.20	0.50
✓	Argilla medio plastica media	0.16	0.29
✓	Sabbia grossa e ghiaia compatta	0.29	0.60

E. Segre, "Proposta di metodo di prove semplici per tiranti di ancoraggio" (Industria Italiana del Cemento 6/88)

		Tensione di aderenza unitaria (Mpa)		
		min	med	max
✓	Basalto compatto		5.73	
✓	Granito alterato	1.5		2.5
✓	Basalto		3.86	
✓	Granito		4.83	
✓	Serpentino		1.55	
✓	Granito e basalto	1.72		3.10
✓	Scisto		2.80	
✓	Ardesia e argilla scistosa	0.83		1.38
✓	Calcere		2.83	
✓	Creta (Chalk)	0.22		1.07
✓	Calcere argilloso		2.75	
✓	Calcere tenero	1.03		1.52
✓	Calcere dolomitico	1.38		2.07
✓	Arenaria alterata	0.69		0.85
✓	Limo ben cementato		0.69	
✓	Arenaria compatta		2.24	
✓	Arenaria	0.83		1.73
✓	Marna del Keuper	0.17		0.25
✓	Argilla scistosa tenera		0.35	
✓	Argilla tenera e scistosa	0.21		0.83

G. S. Littlejohn, D.A. BrucRock anchors – Design and quality control" (1975)

Parametri sismici

- I.11. *Coefficiente sismico orizzontale K_h* : tale coefficiente rappresenta il moltiplicatore della massa per ottenere, secondo l'approccio pseudostatico, la forza sismica orizzontale e verticale. Il valore del coefficiente si ricava, secondo la Normativa, in funzione dell'accelerazione massima attesa su sito rigido di riferimento, dipendente, a sua volta, dal tempo di ritorno considerato per l'azione sismica, opportunamente amplificato

attraverso i coefficienti S_s (amplificazione stratigrafica) e S_T (amplificazione topografica). Le forze sismiche sono considerate sempre secondo la direzione più cautelativa (aumento delle sollecitazioni, diminuzione delle resistenze).

Fattore di sicurezza di progetto

- I.12. **FS_{des}** : valore del coefficiente di sicurezza da raggiungere post-intervento. Poiché a tutte le grandezze che entrano in gioco vengono applicati, secondo Normativa, coefficienti parziali amplificativi (per le sollecitazioni) o riduttivi (per le resistenze), a tale variabile può essere attribuito di poco superiore all'unità (es.: 1,05).

Parametri del sistema

Ancoraggi

- I.13. **Dim Y raster I_y** : distanza (in m) in direzione verticale tra due ancoraggi;
 I.14. **Dim X raster I_x** : distanza (in m) in direzione orizzontale tra due ancoraggi;
 I.15. **Inclinazione ancoraggi β** : inclinazione (in °) degli ancoraggi rispetto all'orizzontale;
 I.16. **Lunghezza degli ancoraggi L_a** : lunghezza degli ancoraggi, considerando sia la parte che si sviluppa all'interno della coltre (non collaborante), che quella che si sviluppa nel substrato (collaborante);
 I.17. **Diametro della perforazione D_f** : diametro (in mm) del foro di alloggiamento degli ancoraggi;
 I.18. **Diametro barra ϕ_b** : diametro (in mm) della barra di ancoraggio;
 I.19. **Tensione di snervamento barra f_{yk}** : tensione caratteristica di snervamento (in N/mm²) dell'acciaio costituente la barra (dato fornito dal produttore);
 I.20. **Resistenza cubica a compressione malta R_{bk}** : resistenza caratteristica a compressione (in N/mm²) della malta di iniezione;
 I.21. **Coefficiente aderenza**: coefficiente riduttivo per la tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo, previsto al punto 4.1.2.1.1.4 delle NTC 2018, pari a 1 per buona aderenza e a 0,7 per non buona aderenza;
 I.22. **Numero di profili di indagine per la definizione dei parametri geotecnici**: numero in base al quale si determinano i fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, secondo Tab. 6.6.III delle NTC 2018.

Rete

- I.23. **Resistenza a trazione unitaria rete $R_{tr_u_rete}$** : resistenza (in kN/m) per metro di larghezza della rete scelta per il consolidamento (dato fornito dal produttore);
 I.24. **Resistenza a punzonamento rete R_{punz}** : resistenza (in kN) a punzonamento della rete scelta per il consolidamento (dato fornito dal produttore);
 I.25. **Coefficiente resistenza rete γ_{rete}** : coefficiente (≥ 1) che l'Utente può applicare per ridurre i valori di resistenza a trazione e a punzonamento della rete forniti dal produttore (non previsto dalle NTC).

ELABORAZIONI

- E.1. *Volume agente V*: volume in (m³) individuato dall'area di influenza del singolo ancoraggio moltiplicata per lo spessore della coltre:

$$V = S \cdot l_x \cdot l_y;$$

- E.2. *Peso volume W*: peso del volume (in kN) sopra calcolato:

$$W = \gamma_{col} V;$$

- E.3. *Sottospinta idraulica U*: spinta verso l'alto (in kN) esercitata alla base del blocco di terreno in caso di presenza di moto di filtrazione nella coltre, calcolata come:

$$U = \gamma_w S' \cos \alpha \cdot i_x \cdot i_y$$

- E.4. *Forza sismica orizzontale F_h*: forza sismica (in kN) in direzione orizzontale, ottenuta moltiplicando il coefficiente sismico orizzontale *K_h* per il peso del volume:

$$F_h = K_h W$$

- E.5. *Forza sismica verticale F_v*: forza sismica (in kN) in direzione verticale, ottenuta moltiplicando per 0,5 la forza sismica orizzontale:

$$F_v = 0,5 F_h$$

- E.6. *Forza tangenziale resistente Tres₀*: resistenza (in kN) opposta lungo la superficie di scorrimento, ottenuta come:

$$Tres_0 = c'_{col} \cdot i_x \cdot i_y + [V (\gamma_{col} - m \gamma_w) \cos \alpha - F_h \sin \alpha - F_v \cos \alpha] \cos \alpha \tan \phi_{col}$$

- E.7. *Forza tangenziale agente Tag₀*: forza (in kN) agente lungo la superficie di scorrimento, ottenuta come:

$$Tag_0 = W \sin \alpha + F_h \cos \alpha + F_v \sin \alpha$$

- E.8. *Coefficiente di sicurezza pre-intervento FS₀*: ottenuto come:

$$FS_0 = Tres_0 / Tag_0$$

- E.9. *Forza di trazione A*: sforzo di trazione nell'ancoraggio (in kN) necessario per raggiungere il valore del coefficiente di sicurezza di progetto *FS_{des}*, ottenuto come:

$$A = (FS_{des} Tag_0 - Tres_0) / [\sin (\alpha + \beta) \tan \phi_{col} + FS_{des} \cos (\alpha + \beta)]$$

- E.10. *Sollecitazione di trazione di progetto nell'ancoraggio Ed*: ottenuta moltiplicando il valore di *A* per il coefficiente parziale $\gamma_{Q1} = 1,5$ (caso statico NTC 2018 A1 - 6.2.4.1.1) oppure 1,0 (caso sismico - Tab. 6.2.I e 7.11.1):

$$E_d = \gamma_{Q1} A$$

- E.11. *Sollecitazione di taglio di progetto T_d*: ottenuta moltiplicando il valore di *Tag₀* per il coefficiente parziale $\gamma_{Q1} = 1,5$ o 1,0 (NTC 2018 A1 - 6.2.4.1.1 - Tab. 6.2.I e 7.11.1):

$$T_d = \gamma_{Q1} Tag_0$$

- E.12. *Resistenza massima a trazione barra R_f* : massimo sforzo di trazione (in kN) sopportabile dalla barra in funzione del tipo di acciaio e del diametro scelti, applicando il coefficiente amplificativo γ_f di stato limite ultimo per l'acciaio, pari a 1,15 (NTC 2018 4.1.2.1.1.3):

$$R_f = [f_{yk} (\phi_b^2/4) / \gamma_f] / 1000$$

- E.13. *Resistenza massima a taglio barra T_f* : massimo sforzo di taglio (in kN) sopportabile dalla barra intesa come "chiodo" pari a:

$$T_f = R_f / (3)^{0,5}$$

- E.14. *Resistenza cilindrica a compressione malta f_{ck}* : resistenza (in N/mm²) riferita a provini cilindrici, ottenuta moltiplicando la resistenza cubica per 0,83 (NTC 2018 11.2.10.1);

- E.15. *Resistenza media a trazione malta f_{ctm}* : resistenza media (in N/mm²) a trazione della malta, ottenuta come (NTC 2018 11.2.10.2):

$$f_{ctm} = 0,3 (f_{ck})^{2/3}$$

- E.16. *Resistenza caratteristica a trazione malta f_{ctk}* : resistenza caratteristica (in N/mm²) a trazione della malta, ottenuta come (NTC 2018 11.2.10.2):

$$f_{ctk} = 0,7 f_{ctm}$$

- E.17. *Coefficiente diametro barre η_2* : coefficiente definito al punto 4.1.2.1.1.4 delle NTC 2018 in funzione del diametro delle barre di ancoraggio, pari a 1,0 per barre di diametro $\phi_b \leq 32\text{mm}$ e pari a $(132 - \phi_b)/100$ per barre di diametro superiore;

- E.18. *Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza f_{bk}* : resistenza tangenziale malta/barra (in N/mm²), data da (NTC 2018 4.1.2.1.1.4):

$$f_{bk} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctk}$$

- E.19. *Resistenza tangenziale di aderenza di progetto f_{bd}* : resistenza tangenziale di progetto per l'aderenza malta/barra (in N/mm²), data da (NTC 2018 4.1.2.1.1.4):

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$$

con $\gamma_c = 1,5$ coefficiente parziale per il calcestruzzo (NTC 2018 4.1.2.1.1.1);

- E.20. *Resistenza allo sfilamento barra/malta R_{bm}* : resistenza massima allo sfilamento (in kN) della barra dalla malta di iniezione, ottenuta come:

$$R_{bm} = f_{bd} S_{lat_bar}$$

dove la superficie laterale della barra è data da:

$$S_{lat_bar} = \pi \phi_b L_{tot}$$

(nell'ipotesi che la perforazione sia iniettata per tutta la sua lunghezza)

- E.21. *Lunghezza ancoraggio non collaborante L_{nc}* : parte dell'ancoraggio (in m) che si sviluppa nella coltre e non considerata ai fini della verifica a sfilamento bulbo/substrato, calcolata come:

$$L_{nc} = S / \cos (\alpha + \beta)$$

E.22. *Lunghezza ancoraggio collaborante (bulbo) L_{bulb}* : parte dell'ancoraggio (in m) che si sviluppa nel substrato e considerata ai fini della verifica a sfilamento bulbo/substrato, calcolata come:

$$L_{bulb} = L_{tot} - L_{nc}$$

E.23. *Aderenza media bulbo/substrato τ_{sub}* : valore (in MPa) dell'aderenza tra il bulbo e il substrato:

In caso di substrato costituito da terreno (I.7 = 1):

$$\tau_{sub} = \alpha_{iniez} ad_{soil}$$

In caso di substrato costituito da roccia (I.7 = 2):

$$\tau_{sub} = ad_{rock}$$

E.24. *Coefficiente riduttivo verticali investigate ξ_{a4}* : coefficiente ricavato dalla Tab. 6.6.III delle NTC 2018 in funzione del numero dei profili di indagine per la definizione dei parametri geotecnici:

Tab. 6.6.III

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

E.25. *Coefficiente riduttivo ancoraggi permanenti γ_{Rap}* : coefficiente ricavato dalla Tab. 6.6.I delle NTC 2018:

Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi		
	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

E.26. *Resistenza allo sfilamento bulbo/substrato R_{bulb}* : resistenza massima allo sfilamento (in kN) del bulbo di fondazione dal substrato, ottenuta considerando solo la parte dell'ancoraggio (diametro perforazione D_f in mm) che si sviluppa nel substrato L_{bulb} (in m, trascurando la lunghezza che si sviluppa nella coltre, non collaborante), applicando i coefficienti di Normativa per ancoraggi permanenti e per le verticali investigate:

$$R_{bulb} = (\tau_{sub} L_{bulb} \pi D_f) / \xi_{a4} / \gamma_{Rap}$$

E.27. *Resistenza a punzonamento rete di progetto R_{punz_des}* : (in kN) ottenuta dividendo il valore della resistenza a punzonamento R_{punz} per il coefficiente di resistenza della rete γ_{rete} :

$$R_{punz_des} = R_{punz} / \gamma_{rete}$$

E.28. *Resistenza a trazione rete di progetto* $R_{tr_u_rete_des}$: (in kN) ottenuta dividendo il valore della resistenza a punzonamento $R_{tr_u_rete}$ per il coefficiente di resistenza della rete γ_{rete} :

$$R_{tr_u_rete_des} = R_{tr_u_rete} / \gamma_{rete}$$

OUTPUT

Viene fornito l'incremento del valore del coefficiente di sicurezza e vengono condotte le verifiche di sicurezza valutando, per ogni meccanismo, la condizione:

$$E_d < R_d$$

Viene, inoltre, per ogni meccanismo analizzato, fornito il valore del coefficiente di sicurezza **FS** definito come:

$$FS = R_d / E_d$$

R.1. *Incremento del coefficiente di sicurezza ΔFS* : ottenuto come differenza tra il valore del coefficiente di sicurezza pre-intervento FS_0 e il valore del coefficiente di sicurezza di progetto FS_{des} :

$$\Delta FS = FS_{des} - FS_0$$

R.2. **Trazione barra**: si confronta lo sforzo di trazione E_d con la resistenza a trazione della barra R_f ;

R.3. **Taglio barra**: si confronta lo sforzo di taglio T_d con la resistenza a taglio della barra T_f ;

R.4. **Sfilamento barra/malta**: si confronta lo sforzo di trazione E_d con la resistenza allo sfilamento barra/malta R_{bm} ;

R.5. **Sfilamento bulbo/substrato**: si confronta lo sforzo di trazione E_d con la resistenza allo sfilamento bulbo/substrato R_{bulb} ;

R.6. **Punzonamento rete**: si confronta lo sforzo di trazione E_d con la resistenza al punzonamento della rete R_{punz} ;

R.7. **Trazione rete**: si confronta lo sforzo di taglio per metro di larghezza della rete (T_d / I_x) con la resistenza alla trazione unitaria della rete $R_{tr_u_rete_des}$ (in questo caso, si ipotizza che tutta la sollecitazione di taglio debba essere assorbita dalla rete, la quale reagisce attraverso la propria resistenza a trazione)

Viene, infine, condotto un calcolo di massima sulle quantità riferite agli ancoraggi per ogni 100m² di rete:

R.8. **Numero di ancoraggi N_{tot}** : numero di ancoraggi per ogni 100m² di rete, ottenuto come:

$$N_{tot} = 100 / (i_x i_y)$$

R.9. **Lunghezza totale delle perforazioni L_{tot}** : lunghezza delle perforazioni per ogni 100m² di rete, ottenuto come:

$$L_{tot} = N_{tot} L_a$$

INPUT**Parametri del terreno e del substrato****Coltre**

- I.1. $\alpha = 60^\circ$
- I.2. $S: 0.75 \text{ m}$
- I.3. $\gamma_{col}: 19 \text{ kN/m}^3$
- I.4. $\phi_{col}: 20^\circ$
- I.5. $c'_{col}: 5 \text{ kPa}$ (dati UGT3 della modellazione geotecnica, terreni a basso grado di consistenza)
- I.6. $m: 0$

Substrato

- I.7. **Roccia**
- I.8. $ad_{rock}: 1.8 \text{ MPa}$

Parametri sismici

- I.9. $K_h: 0.102$

Fattore di sicurezza di progetto

- I.10. $FS_{des}: 1.05$

Parametri del sistema**Ancoraggi**

- I.11. $I_y: 3 \text{ m};$
- I.12. $I_x: 3 \text{ m};$
- I.13. $L_a: 3 \text{ m};$
- I.14. $\beta: 10^\circ;$
- I.15. $D_f: 90 \text{ mm};$
- I.16. $\phi_b: 27 \text{ mm}$
- I.17. $f_{yk}: 560 \text{ N/mm}^2$ Barra SIRIVE
- I.18. $R_{bk}: 25 \text{ N/mm}^2$
- I.19. $\eta_1: 1.00 = \text{Buona aderenza}$
- I.20. $N_{prof}: \geq 5$

Rete**Tipo rete:** undefined**Maglia:** 8x10 cm**Filo:** 3.00 mm

- I.21. $R_{tr_u_rete}: 68 \text{ kN/m}$
- I.22. $R_{punz}: 89 \text{ kN}$.

Elaborazioni

- E.1. V : 6.75 m³
- E.2. W : 128.25 kN
- E.3. U : 0 kN
- E.4. F_h : 13.08 kN
- E.5. F_v : 6.54 kN
- E.6. $Tres_0$: 63.03 kN
- E.7. Tag_0 : 123.27 kN
- E.8. FS_0 : 0.51
- E.9. A : 94.22 kN
- E.10. Ed : 94.22 kN
- E.11. Td : 123.27 kN
- E.12. R_f : 278.81 kN
- E.13. T_f : 160.97 kN
- E.14. f_{ck} : 20.75 N/mm²
- E.15. f_{ctm} : 2.27 N/mm²
- E.16. f_{ctk} : 1.59 N/mm²
- E.17. η_2 : 1 (Diametro $\leq$ 32 mm $\eta_2 = 1.00$)
- E.18. f_{bk} : 3.57 N/mm²
- E.19. f_{bd} : 2.38 N/mm²
- E.20. R_{bm} : 605.28 kN
- E.21. L_{nc} : 0.8 m
- E.22. L_{bulb} : 2.2 m
- E.23. τ_{sub} : 1.8 MPa
- E.24. ξ_{a4} : 1.55
- E.25. γ_{Rap} : 1.2
- E.26. R_{bulb} : 602.48 kN
- E.27. R_{punz_des} : 99 kN
- E.28. $R_{tr\ rete}$: 68 kN

Risultati

- R.1. ΔFS : 0.54
- R.2. **Trazione barra**: FS = 2.94 **OK**
- R.3. **Taglio barra**: FS = 1.31 **OK**
- R.4. **Sfilamento barra/malta**: FS = 6.39 **OK**
- R.5. **Sfilamento bulbo/substrato**: FS = 6.36 **OK**
- R.6. **Punzonamento rete**: FS = 1,05 **OK**
- R.7. **Trazione rete**: FS = 1.65 **OK**
- R.8. **Numero di ancoraggi N_{tot}** : numero di ancoraggi per ogni 100m² di rete 11
- R.9. **Lunghezza totale delle perforazioni L_{tot}** : lunghezza delle perforazioni per ogni 100m² di rete 33 m

Relazione di calcolo parte bassa Km 1+900

INPUT

Parametri del terreno e del substrato

Coltre

- I.1. $\alpha = 58^\circ$
- I.2. $S: 0.75 \text{ m}$
- I.3. $\gamma_{col}: 19 \text{ kN/m}^3$
- I.4. $\phi_{col}: 20^\circ$
- I.5. $c'_{col}: 5 \text{ kPa}$
- I.6. $m: 0$

Substrato

- I.7. **Roccia**
- I.8. $ad_{rock}: 1.8 \text{ MPa}$

Parametri sismici

- I.9. $K_h: 0.102$

Fattore di sicurezza di progetto

- I.10. $FS_{des}: 1.05$

Parametri del sistema

Ancoraggi

- I.11. $l_y: 3 \text{ m};$
- I.12. $l_x: 3 \text{ m};$
- I.13. $L_a: 3 \text{ m};$
- I.14. $\beta: 10^\circ;$
- I.15. $D_f: 90 \text{ mm};$
- I.16. $\phi_b: 27 \text{ mm}$
- I.17. $f_{yk}: 560 \text{ N/mm}^2$ Barra SIRIVE
- I.18. $R_{bk}: 25 \text{ N/mm}^2$
- I.19. $\eta_1: 1.00 = \text{Buona aderenza}$
- I.20. $N_{prof}: \geq 5$

Rete

Tipo rete: undefined

Maglia: 8x10 cm

Filo: 3.00 mm

- I.21. $R_{tr_u_rete}: 68 \text{ kN/m}$
- I.22. $R_{punz}: 89 \text{ kN} .$

Elaborazioni

- E.1. V : 6.75 m³
- E.2. W : 128.25 kN
- E.3. U : 0 kN
- E.4. F_h : 13.08 kN
- E.5. F_v : 6.54 kN
- E.6. $Tres_0$: 64.44 kN
- E.7. Tag_0 : 121.24 kN
- E.8. FS_0 : 0.53
- E.9. A : 86.02 kN
- E.10. Ed : 86.02 kN
- E.11. Td : 121.24 kN
- E.12. R_f : 278.81 kN
- E.13. T_f : 160.97 kN
- E.14. f_{ck} : 20.75 N/mm²
- E.15. f_{ctm} : 2.27 N/mm²
- E.16. f_{ctk} : 1.59 N/mm²
- E.17. η_2 : 1 (Diametro $\leq$ 32 mm $\eta_2 = 1.00$)
- E.18. f_{bk} : 3.57 N/mm²
- E.19. f_{bd} : 2.38 N/mm²
- E.20. R_{bm} : 605.28 kN
- E.21. L_{nc} : 0.81 m
- E.22. L_{bulb} : 2.19 m
- E.23. τ_{sub} : 1.8 MPa
- E.24. ξ_{a4} : 1.55
- E.25. γ_{Rap} : 1.2
- E.26. R_{bulb} : 599.53 kN
- E.27. R_{punz_des} : 99 kN
- E.28. $R_{tr\ rete}$: 68 kN

Risultati

- R.1. ΔFS : 0.52
- R.2. **Trazione barra**: FS = 3.24 **OK**
- R.3. **Taglio barra**: FS = 1.33 **OK**
- R.4. **Sfilamento barra/malta**: FS = 7.04 **OK**
- R.5. **Sfilamento bulbo/substrato**: FS = 6.97 **OK**
- R.6. **Punzonamento rete**: FS = 1.15 **OK**
- R.7. **Trazione rete**: FS = 1.68 **OK**
- R.8. **Numero di ancoraggi** N_{tot} : numero di ancoraggi per ogni 100m² di rete 11
- R.9. **Lunghezza totale delle perforazioni** L_{tot} : lunghezza delle perforazioni per ogni 100m² di rete 33 m