



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
 MESSA IN SICUREZZA DEL SISTEMA ACQUEDOTTISTICO
 DEL PESCHIERA PER L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO
 DI ROMA CAPITALE E DELL'AREA METROPOLITANA

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ING. PhD MASSIMO SESSA

SUB COMMISSARIO ING. MASSIMO PATERNOSTRO



ACEA ATO 2 SPA





IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. PhD Alessia Delle Site

SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Avv. Vittorio Gennari

Sig.ra Claudia Iacobelli

Ing. Barnaba Paglia

CONSULENTE

Ing. Biagio Eramo

ELABORATO
A194PD R005 7

COD. ATO2 APE10116

DATA **OTTOBRE 2019** SCALA

Progetto di sicurezza e ammodernamento
 dell'approvvigionamento della città
 metropolitana di Roma
 "Messa in sicurezza e ammodernamento del sistema
 idrico del Peschiera",
 L.n.108/2021, ex DL n.77/2021 art. 44 Allegato IV

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	DIC-19	AGGIORNAMENTO PER SIA	
2	MAR-20	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
3	LUG-20	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
4	GEN-21	AGGIORNAMENTO PARERE CSLLPP VOTO DEL 14/10/2020	
5	SETT-21	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
6	GIU-22	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
7	OTT-22	AGGIORNAMENTO UVP	

**NUOVO TRONCO SUPERIORE ACQUEDOTTO
 DEL PESCHIERA
 dalle Sorgenti alla Centrale di Salisano**

CUP G33E17000400006

PROGETTO DEFINITIVO

TEAM DI PROGETTAZIONE

CAPO PROGETTO
 Ing. Angelo Marchetti

IDRAULICA
 Ing. Eugenio Benedini

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA
 Geol. Stefano Tosti

GEOTECNICA E STRUTTURE
 Ing. Angelo Marchetti

ASPETTI AMBIENTALI
 Ing. Nicoletta Stracqualursi

ATTIVITA' TECNICHE DI SUPPORTO
 Geom. Stefano Francisci

ATTIVITA' PATRIMONIALI
 Geom. Fabio Pompei

Hanno collaborato:
 Ing. Roberto Biagi
 Ing. Claudio Lorusso
 Ing. Marco Iannucci
 Ing. Eleonora Accorsi

Consulenti:
 Prof. Ing. Francesco Federico
 Prof. Ing. Quintilio Napoleoni
 GEEG - Geotechnical and Environmental Engineering Group
 IAAT - Italian Association For Trenchless Technology



RELAZIONE GEOTECNICA
 Allegato 2/6

INDICE

1	PREMESSA	11
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	12
	2.1 NORMATIVE, RACCOMANDAZIONI E LINEE GUIDA.....	12
	2.2 ARTICOLI E LETTERATURA SCIENTIFICA	17
3	DESCRIZIONE DELLE OPERE	21
	3.1 SALTO 2	23
	3.2 TURANO 1	28
	3.3 TURANO 3.....	33
	3.4 SAN GIOVANNI REATINO SGR.....	37
4	MATERIALI	39
	4.1 CALCESTRUZZO ARMATO C 32/40	39
	4.2 CALCESTRUZZO ARMATO PER PARATIE DI PALI E OPERE DI CONTENIMENTO DELLO SCAVO 39	
	4.3 CALCESTRUZZO MAGRO PER GETTI DI PULIZIA.....	40
	4.4 ACCIAIO	40
	4.4.1 BARRE DI ARMATURA AD ADERENZA MIGLIORATA B450C.....	41
	4.4.2 TRAVE DI RIPARTIZIONE DEI TIRANTI	41
	4.4.3 TREFOLI.....	41
	4.4.4 PUNTONI PER SALTO 2 E TURANO 1	42
	4.4.5 PUNTONI PER TURANO 3.....	42

4.5 VETRORESINA	42
4.5.1 SALTO 2	42
4.5.2 TURANO 1	44
4.5.3 TURANO 3	45
5 MANUFATTO DI VALLE - SALTO 2.....	47
5.1 SOFTWARE DI CALCOLO	48
5.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	49
5.2.1 SEZIONE A-A	53
5.3 INQUADRAMENTO GEOTECNICO	53
5.4 ANALISI DEI CARICHI	54
5.4.1 PESO PROPRIO	54
5.4.2 CARICHI ACCIDENTALI	54
5.4.3 AZIONE SISMICA.....	54
5.4.4 SPINTA DEL TERRENO	55
5.5 VERIFICHE PARATIE DI PALI	57
5.5.1 VERIFICHE SLU.....	57
5.5.2 VERIFICHE SLE.....	57
5.6 COMBINAZIONI DI CARICO	57
5.7 ANALISI NUMERICHE	59
5.7.1 SEZIONE A-A	59
5.7.1.1 Modello di calcolo.....	59
5.7.1.2 Calcolo rigidezza del sistema di puntonamento	73

5.8	RISULTATI	77
5.8.1	SEZIONE A-A – PARATIA PERIMETRALE.....	77
5.8.1.1	Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU+SLV)	77
5.8.1.2	Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)	83
5.8.1.3	Verifiche degli elementi strutturali – Pali perimetrali	84
5.8.1.3.1	Pali	84
5.8.1.3.2	Verifica gabbia 1	86
5.8.1.3.3	Verifica gabbia 2.....	92
5.8.1.3.4	Verifica gabbia 2 con armatura in VTR	99
5.8.1.3.5	Verifica tiranti.....	110
5.8.1.3.6	Verifica trave di ripartizione	114
5.8.2	SEZIONE A-A – PALI CSP	117
5.8.2.1	Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU).....	117
5.8.2.2	Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)	121
5.8.2.3	Verifiche degli elementi strutturali – Pali CSP.....	123
5.8.2.3.1	Verifica gabbia 1	124
5.8.2.3.2	Verifica gabbia 1 con armature in VTR	128
5.8.2.3.3	Verifica gabbia 2.....	132
5.8.2.3.4	Puntoni.....	136
5.8.2.4	Verifiche nei confronti degli stati limiti ultimi idraulici.....	143
5.8.2.4.1	Sollevamento del fondo scavo (UPL).....	143
5.8.3	CARATTERISTICHE DELL’OPERA	144
6	TURANO 1.....	146

6.1 SOFTWARE DI CALCOLO	147
6.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	149
6.2.1 SEZIONE A-A	152
6.3 INQUADRAMENTO GEOTECNICO	153
6.4 ANALISI DEI CARICHI	154
6.4.1 PESO PROPRIO	154
6.4.2 CARICHI ACCIDENTALI	154
6.4.3 AZIONE SISMICA.....	154
6.4.4 SPINTA DEL TERRENO	155
6.5 VERIFICHE PARATIE DI PALI.....	157
6.5.1 VERIFICHE SLU.....	157
6.5.2 VERIFICHE SLE.....	157
6.6 COMBINAZIONI DI CARICO.....	158
6.7 ANALISI NUMERICHE	159
6.7.1 SEZIONE A-A	160
6.7.1.1 Modello di calcolo	160
6.7.1.2 Calcolo rigidezza del sistema di puntonamento	183
6.8 RISULTATI	188
6.8.1 SEZIONE A-A – PARATIA PERIMETRALE.....	188
6.8.1.1 Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU+SLV)	188
6.8.1.2 Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)	194
6.8.1.3 Verifiche degli elementi strutturali – Pali perimetrali.....	195

6.8.1.3.1	Pali	195
6.8.1.3.2	Verifica gabbia 1.....	197
6.8.1.3.3	Verifica gabbia 2.....	203
6.8.1.3.4	Verifica gabbia 2 con armatura in VTR	210
6.8.1.3.5	Verifica gabbia 3.....	214
6.8.1.3.6	Verifica tiranti	221
6.8.1.3.7	Verifica trave di ripartizione	228
6.8.1.3.8	Puntoni.....	230
6.8.2	SEZIONE A-A – PALI CSP	235
6.8.2.1	Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU).....	235
6.8.2.2	Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)	239
6.8.2.3	Verifiche degli elementi strutturali – Pali CSP.....	241
6.8.2.3.1	Verifiche gabbia 1	241
6.8.2.3.2	Verifica gabbia 2.....	246
6.8.2.3.3	Verifica gabbia 2 con armatura in VTR	250
6.8.2.3.4	Verifica gabbia 3.....	254
6.8.2.3.5	Puntoni.....	258
6.8.2.4	Verifiche nei confronti degli stati limiti ultimi idraulici.....	264
6.8.2.4.1	Sollevamento del fondo scavo (UPL).....	264
6.8.3	CARATTERISTICHE DELL’OPERA	265
7	TURANO 3.....	268
7.1	SOFTWARE DI CALCOLO	269
7.2	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	271

7.2.1	SEZIONE A-A	274
7.3	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	274
7.4	ANALISI DEI CARICHI	275
7.4.1	PESO PROPRIO	275
7.4.2	CARICHI ACCIDENTALI	275
7.4.3	AZIONE SISMICA.....	275
7.4.4	SPINTA DEL TERRENO	276
7.5	VERIFICHE PARATIE DI PALI	278
7.5.1	VERIFICHE SLU.....	278
7.5.2	VERIFICHE SLE.....	278
7.6	COMBINAZIONI DI CARICO	278
7.7	VERIFICHE DI STABILITÀ	280
7.8	ANALISI NUMERICHE	281
7.8.1	SEZIONE A-A	281
7.8.1.1	Modello di calcolo	281
7.8.1.2	Calcolo rigidezza del sistema di puntonamento	297
7.9	RISULTATI	300
7.9.1	SEZIONE A-A – PARATIA PERIMETRALE.....	301
7.9.1.1	Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU+SLV)	301
7.9.1.2	Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)	307
7.9.1.3	Verifiche degli elementi strutturali – Pali perimetrali	308
7.9.1.3.1	Pali	308

7.9.1.3.2	Verifica gabbia 1	310
7.9.1.3.3	Verifica gabbia 2	316
7.9.1.3.4	Verifica gabbia 3	323
7.9.1.3.5	Verifica gabbia 3 con armatura in VTR	331
7.9.1.3.6	Verifica gabbia 4	335
7.9.1.3.7	Verifica gabbia 5	342
7.9.1.3.8	Verifica tiranti	348
7.9.1.3.9	Verifica trave di ripartizione	353
7.9.2	SEZIONE A-A – PALI CSP	354
7.9.2.1	Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU)	354
7.9.2.2	Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)	358
7.9.2.3	Verifiche degli elementi strutturali – Pali CSP	360
7.9.2.3.1	Verifiche gabbia 1	360
7.9.2.3.2	Verifica gabbia 2 con armatura in VTR	364
7.9.2.3.3	Verifica gabbia 3	368
7.9.2.4	Verifiche nei confronti degli stati limiti ultimi idraulici	379
7.9.2.4.1	Sollevamento del fondo scavo (UPL)	379
7.9.3	VERIFICHE DI STABILITA’ GLOBALE – RISULTATI	381
7.9.4	CARATTERISTICHE DELL’OPERA	383
8	MANUFATTO SAN GIOVANNI REATINO	384
8.1	SOFTWARE UTILIZZATI	386
8.2	LEGAMI COSTITUTIVI	387
8.2.1	ALLUVIONI DEL FOSSO ARIANA	388

8.2.2	CALCARI E CALCARI MARNOSI DI COLORE BIANCO.....	391
8.2.3	INTERFACCIA	396
8.3	VERIFICA O-PILE PERIMETRALI 812/16MM L=30M	397
8.3.1	FASI DI CALCOLO	397
8.3.2	RISULTATI ANALISI	401
8.3.3	VERIFICA SLU-STR PARATIA	403
8.3.4	VERIFICA SLU-STR TIRANTI D’ANCORAGGIO	404
8.3.5	VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE	408
8.3.6	VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI.....	409
8.4	VERIFICA O-PILE PERIMETRALI 812/12MM L=30M	410
8.4.1	FASI DI CALCOLO	410
8.4.2	RISULTATI ANALISI	412
8.4.3	VERIFICA SLU-STR PARATIA	413
8.4.4	VERIFICA SLU-STR TIRANTI D’ANCORAGGIO	414
8.4.5	VERIFICA A STABILITÀ GLOBALE	419
8.4.6	VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI.....	420
8.5	VERIFICA PALI TRIVELLATI D=0.8M I=1M L=22M INTERNI ALLO SCAVO	421
8.5.1	FASI DI CALCOLO	421
8.5.2	RISULTATI ANALISI	423
8.5.3	VERIFICA SLU-STR PARATIA	425
8.5.4	VERIFICA SLU-STR TIRANTI D’ANCORAGGIO	429
8.5.5	VERIFICA DEGLI SPOSTAMENTI.....	433

9	OPERE DI ACCESSO AL NUOVO ACQUEDOTTO: FINESTRA COTILIA, PARATIE435	
9.1	SOFTWARE DI CALCOLO	436
9.2	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	438
9.3	INQUADRAMENTO SISMICO.....	440
9.4	SEZIONI DI VERIFICA.....	442
9.5	ANALISI DEI CARICHI	443
9.5.1	SPINTE DELLE TERRE E DELL’ACQUA.....	443
9.5.2	CARICHI ACCIDENTALI	444
9.5.3	AZIONE SISMICA.....	444
9.6	COMBINAZIONI DI CARICO	446
9.7	SEZIONE 1	449
9.7.1	FASI REALIZZATIVE.....	449
9.7.2	MODELLAZIONE DELLA PARETE.....	451
9.7.3	RISULTATI DELLE ANALISI	451
9.7.4	VERIFICHE SLU PARATIA	453
9.7.5	VERIFICHE SLE PARATIA	456
9.8	SEZIONE 2	457
9.8.1	FASI REALIZZATIVE.....	457
9.8.2	MODELLAZIONE DELLA PARETE E DEI PUNTONI.....	459
9.8.3	RISULTATI DELLE ANALISI	460
9.8.4	VERIFICHE SLU PARATIA	462
9.8.5	VERIFICHE SLE PARATIA	464

9.8.6	CONSIDERAZIONI SULLA PRESENZA DEGLI EDIFICI A TERGO	465
9.8.7	VERIFICA SLU PUNTONI	469
9.8.8	VERIFICA SLU CORDOLO SOMMITALE	471
9.9	SEZIONE 3	475
9.9.1	FASI REALIZZATIVE	476
9.9.2	MODELLAZIONE DELLA PARETE E DEI PUNTONI	477
9.9.3	RISULTATI DELLE ANALISI	479
9.9.4	VERIFICHE SLU PARATIA	481
9.9.5	VERIFICHE SLE PARATIA	484
9.9.6	VERIFICA SLU PUNTONI	485
9.9.7	VERIFICA SLU CORDOLO SOMMITALE	487
9.10	RIEPILOGO INCIDENZE	492

1 PREMESSA

Il presente documento, facente parte del Progetto Definitivo (PD) relativo al Nuovo Tronco Superiore dell’Acquedotto del Peschiera (dalle Sorgenti alla centrale di Salisano), fa riferimento al calcolo delle opere provvisorie relativamente ai manufatti nel tratto del nuovo Tronco Superiore dell’Acquedotto del Peschiera che si estende dal Manufatto M6 (escluso) fino a San Giovanni Reatino (inclusa la condotta DN3400 che arriva al nodo S). Il tratto è riportato nella figura sottostante:

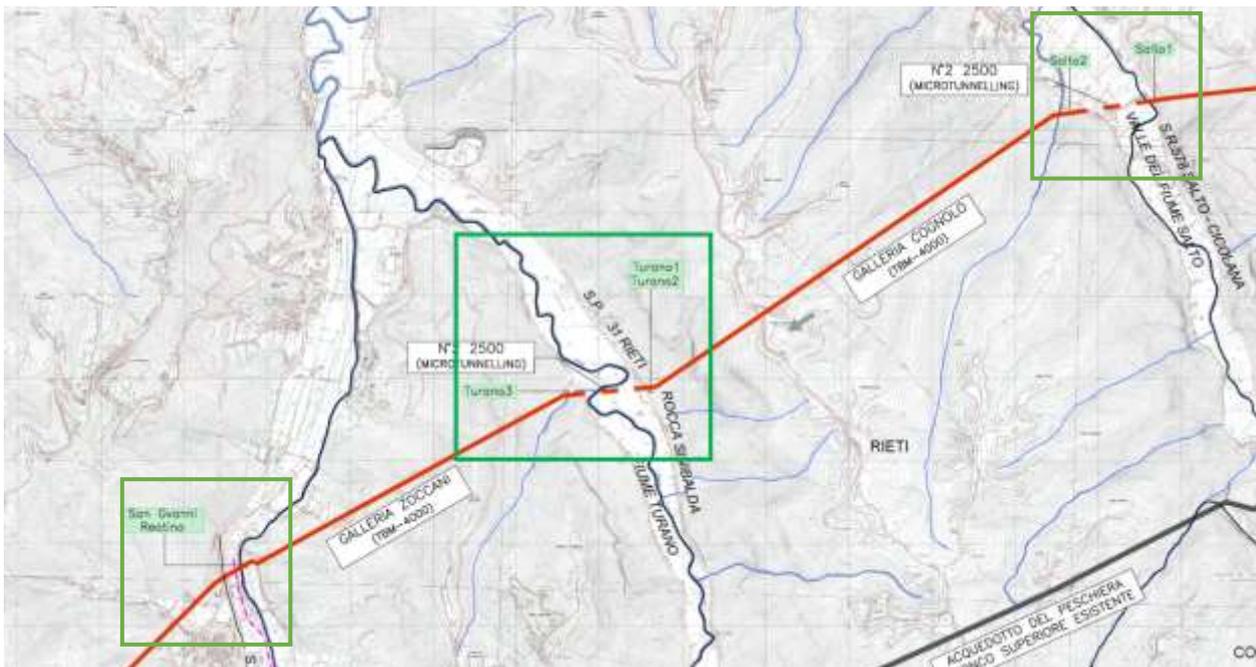


Figure 1-1: Planimetria generale

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative, raccomandazioni e linee guida

Le valutazioni geotecniche relative alle opere dell’intervento in esame sono state condotte secondo quanto prescritto dalle seguenti Normative e Linee guida:

- Legge n.1086 del 5 novembre 1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Legge 2/2/74 n. 64 “Provvedimenti per costruzioni con particolari prescrizioni per zone sismiche”.
- D.M. LL.PP. 11 maggio 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. LL.PP. 9 gennaio 1996 “Norme tecniche per l’esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 “Norme tecniche relative a: Criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”.
- Circ. Min LL.PP., 15 ottobre 1996, n. 252 “Istruzioni per l’applicazione delle norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione e il collaudo delle opere in cemento

armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al D.M.LL.PP. 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”.
- Ordinanza n° 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture.
- Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo.
- Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture in acciaio.
- Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica.
- Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture.
- Ordinanza n° 3379 del 5 novembre 2004 “Disposizioni urgenti di Protezione civile”.
- Ordinanza n° 3431 del 3 maggio 2005.
- Ordinanza n° 3452 del 1 agosto 2005.
- Ordinanza n° 3467 del 13 ottobre 2005.
- D.M. del 14/09/2005 “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. del 14/01/2008 “Norme tecniche per le costruzioni”.
- UNI EN 206-1, 2006, “Calcestruzzo - Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.

- UNI 11104, 2016, Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità: Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1.
- D.M. del 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare n. 617 del 02/02/2009 Istruzioni per le applicazioni delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008.
- Circolare n. 7 del 21/01/2019 Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018
- D.G.R. della regione Lazio n. 387 del 22.05.2009 "Nuova classificazione sismica della regione Lazio".
- D.G.R. della regione Lazio n. 835 del 03.11.2009 "Rettifica all'allegato 1 della D.G.R. 387/09".
- "Steel Pipe – A Guide for Design and Installation", AWWA American Water Works Association
- "Condotte forzate" Rapporto finale ITCOLD, Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe, 2019
- "Seismic Guidelines for Water Pipelines" ALA American Lifelines Alliance, 2005
- "Specification for Line Pipe" API American Petroleum Institute
- UNI EN 12889:2000 "Trenchless Construction and testing of drains and sewes"
- DWA-A-125E:2008 "Pipe Jacking and Related Techniques"
- DWA-A 161E "Static Calculation of Jacking Pipes"
- UNI/PdR 26.2:2017 "Tecnologie di realizzazione delle infrastrutture interrato a basso impatto ambientale"

- UNI EN 12111:2010 “Macchine per scavo meccanizzato di gallerie – Frese, minatori continui e impacts rippers - Requisiti di sicurezza”
- UNI EN 12336:2009 “Macchine per scavo meccanizzato di gallerie – Scudo meccanizzato, spingitubo meccanizzato, spingitubo meccanizzato con estrattore a coclea, erettori di conci – Requisiti di sicurezza”.
- AICAP-AGI “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce. Raccomandazioni” (2012).
- AGI “Jet Grouting. Raccomandazioni” (2012).
- SIG “Linee guida per la progettazione, l’appalto e la costruzione di opere in sotterraneo” (1997).
- AGI “Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio” (1994).
- AFTES-Groupe de travail n°7, Tunnel support and lining. Recommendations for use of convergence –confinement method.
- ITA Guidelines for the design of tunnels (1988).
- ITA/AITES–International Tunnelling Association: Recommendations and Guidelines for Tunnel Boring Machines (TBMs) Year 2000 - Working Group: WG 14 «Mechanized Tunnelling».
- SIG–Linee guida per la scelta delle TBM (5/1997).
- DAUB-German Tunnelling Committee (ITA/AITES): Recommendations for selecting tunnel boring machines (10/2010).
- DAUB-German Tunnelling Committee (ITA/AITES): Recommendations for Design and Operation of Shield Machines (6/2000).
- DAUB-German Tunnelling Committee (ITA/AITES): Recommendations for selecting and evaluating tunnel boring machines (5/1997).

- STUVA-(Germany - Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen – Società per lo studio infrastrutture sotterranee): Recommendations for the Use of Gaskets for sealing segmental Linings (2/2006).
- STUVA-(Germany - Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen - Società per lo studio infrastrutture sotterranee): Recommendations for Testing and Application of sealing Gaskets in segmental Linings (8/2005).
- UNI EN 206-1 Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- UNI 11104:2004 Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206
- UNI 9156 Cementi resistenti ai solfati - Classificazione e composizione
- Decreto Legislativo 13 gennaio 2003, n. 36 “Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti”.

2.2 Articoli e letteratura scientifica

- Anagnostou, G., Kovári, K. – “Face stability conditions with Earth Pressure Balanced shields. Tunnelling and Underground Space Technology”, 11 (2), 165-173, 1996.
- Tamez e L. Cornejo “Instability at the face: its repercussion for tunnelling technology” Tunnels & Tunnelling, Aprile 1989
- Peck R. B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground. Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico city, 225-290;
- Panet M., Guenot A. (1982). Analysis of convergence behind the face of a tunnel Tunnelling '82, Brighton, 197-204;
- Broms B.B., Bennemark H. (1967). Stability of clay at vertical openings. J. Soil Mechanics and Foundations, Div. Am. Soc. Civ. Eng., 93: 71-94;
- Lombardi G., Amberg W. A. (1974). Une méthode de calcul élasto-plastique de l'état de tension et de déformation autour d'une cavité souterraine. Congresso Internazionale ISRM, Denver, 1974;
- Lunardi P. (2000). The design and construction of tunnels using the approach based on the analysis of controlled deformation in rocks and soils. Tunnels & Tunnelling International, May 2000.
- Boscardin M.D., Cording E.J. (1989) – Buildings response to excavation-induced settlement. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 115, n.1, pp. 1-21;
- Burland J.B. (1995) – Assessment of risk of damage to buildings due to tunneling and excavation. 1st Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, Tokyo, pp. 1189-1201;
- Burland J.B., Wroth C.P. (1974) – Settlement of buildings and associated damage. Proc. Conf. Settlement of Structures, Cambridge, UK, pp. 611-654;

- Atterwell, P.B., Yeates, J. & Selby, A.R. (1986). Soil movements induced by tunnelling and their effects on pipelines and structures. Blackie 1986.
- Boscardin, M.D. & Cording, E.G. (1989). Building response to excavation-induced settlement. Jnl Geo Engrg, ASCE, 115;1;1-21.
- Building Research Establishment (1981, revised 1990). Assessment of damage in low rise buildings with particular reference to progressive foundation movements. Digest 251, BRE, Garston, UK.
- Burland, J.B. & Wroth, C.P. (1974). Settlement of buildings and associated damage. SOA Review. Conf Settlement of Structures, Cambridge, Pentech Press, London, pp 611- 654.
- Burland, J.B., Broms, B.B. & de Mello, V.F.B. (1977). Behaviour of foundations and structures – SOA Report, Session 2, Proc. 9th Int. Conf. SMFE, Tokyo, 2; 495-546.
- Burland, J.B., Simpson, B. & St John, H.D. (1979). Movements around excavations in London Clay. Invited National Paper. Proc. 7th European Conf on SM&FE, Brighton, 1;13-29.
- Clough, G.W. & O'Rourke, T.D. (1990). Construction induced movements of in-situ walls. ASCE Geotechnical Special Publication No. 25 - Design and Performance of Earth Retaining Structures, pp439-470.
- Karlsrud, K. and Myrvoll, F. (1976). Performance of a strutted excavation in quick clay. Proc. 6th European Conf SM&FE, Vienna, 1;157-164.
- Jennings, J.E. and Kerrich, J.E. (1962). The heaving of buildings and the associated economic consequences, with particular reference to the Orange Free State Goldfields. The Civ. Engr. in Sth Africa, 5;5;122.
- MacLeod, I.A. & Littlejohn, G.S. (1974). Discussion on Session 5. Conf. Settlement of Structures, Cambridge, Pentech Press, London, pp 792-795.

- Mair, R.J., Taylor, R.N. & Bracegirdle, A. (1993). Subsurface settlement profiles above tunnels in lay. *Géotechnique* 43; 2; 315-320.
- National Coal Board (1975). *Subsidence Engineers Handbook*. National Coal Board Production Dept., U.K.
- O'Reilly, M.P. and New, B.M. (1982). Settlements above tunnels in the United Kingdom – their magnitude and prediction. *Tunnelling '82*, London, 173-181.
- Peck, R.B. (1969). Deep excavations and tunnelling in soft ground, SOA Report. 7th Int Conf SM&FE, Mexico City, State of the Art Volume, pp225-290.
- Polshin, D.E. & Tokar, R.A. (1957). Maximum allowable non-uniform settlement of structures. *Proc 4th Int Conf SM&FE*, London, 1;402.
- Rankin, W.J. (1988). Ground movements resulting from urban tunnelling; predictions and effects. *Engineering Geology of Underground Movement*, Geological Society, Engineering Geology Special Publication No. 5, 79-92.
- The Institution of Structural Engineers (1978). *State of the Art Report - Structure-Soil Interaction*. Revised and extended in 1989.
- The Institution of Structural Engineers (1994). *Subsidence of low rise buildings*.
- Timoshenko, S. (1957). *Strength of materials - Part I*, D van Nostrand Co, Inc. London.
- R.M. Koerner, *Designing with Geosynthetics*, fifth edition, Prentice Hall
- S.J. Drushel, E.R. Underwood, *Design of Lining and Cover System Sideslopes*
- H.I.Ling, D. Leschinsky, *Seismic Stability and Permanent Displacement of Landfill Cover System*, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 1997
- FHWA HI95038 "Geosynthetic Design and Construction Guidelines".
- Richardson, G.N. and Zhao, A., (2000), "Gas Transmission in Geocomposite Systems", *Geotechnical Fabrics Report*, March, pp. 20-23, 2000.

- St.John C.M., Zahrah T.F., 1987, Aseismic design of underground structures, Tunneling and Underground Space Techn Bilotta E., Aiello V., Conte E., Lanzano G., Russo G., Santucci ology, 2 (2), 165-197.
- Bilotta E., Aiello V., Conte E., Lanzano G., Russo G., Santucci de Magistris F., Silvestri F., 2006, Sollecitazioni indotte da sisma in gallerie circolari interraste, Atti del VI IARG, Pisa.
- Bilotta E., Aiello V., Conte E., Lanzano G., Russo G., Santucci de Magistris F., Silvestri F. Analisi pseudostatica e dinamica di gallerie in aree sismiche.
- Wang J., 1993, Seismic Design of Tunnels: A Simple State-of- the-art Design Approach, Monograph 7, Parsons, Brincker-hoff, Quade and Douglas Inc, New York.
- Fu P.C., Wang G., Zhang J.M., 2004, Analytical approaches for underground structures subjected to longitudinally propagating shear waves, Proc. V ICSDEE & III ICEGE, Berkeley, USA.
- Power M.S., Rosidi D., Kaneshiro J., 1996, Vol.III Strawman: screening, valuation and retrofit design of tunnels, Report Draft, National Center for Earthquake Engineering Re-search, Buffalo, New York.

3 DESCRIZIONE DELLE OPERE

La figura seguente illustra un quadro sinottico di tutte le opere previste per il progetto in esame, individuando sia i manufatti e gli interventi puntuali che gli elementi lineari che li collegano garantendone la continuità.

Nei paragrafi seguenti viene fornita una descrizione dettagliata di tutte le lavorazioni previste.

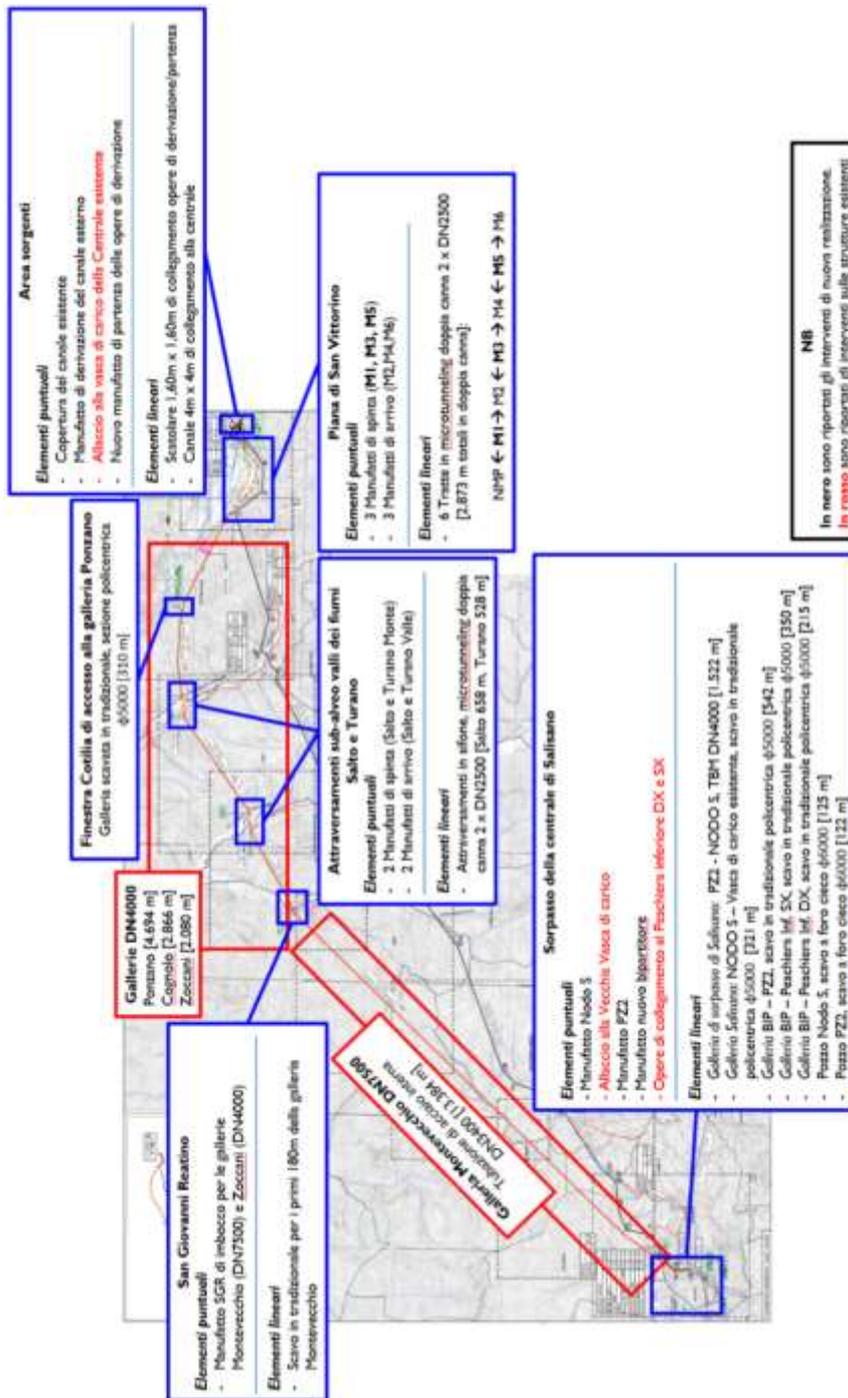


Figura 3.1 – Quadro sinottico delle opere previste nel progetto.

3.1 Salto 2

Il manufatto Salto 2 è un pozzo di arrivo per il Microtunneling ed ha forma in pianta poligonale. L'altezza della struttura interrata è pari a circa 20m, da quota 386.87m s.l.m (piano di posa della fondazione) a quota piano campagna 407.25m s.l.m. L'altezza della parte fuori terra è 7.25m, da quota 407.25m s.l.m a quota 414.50m s.l.m.

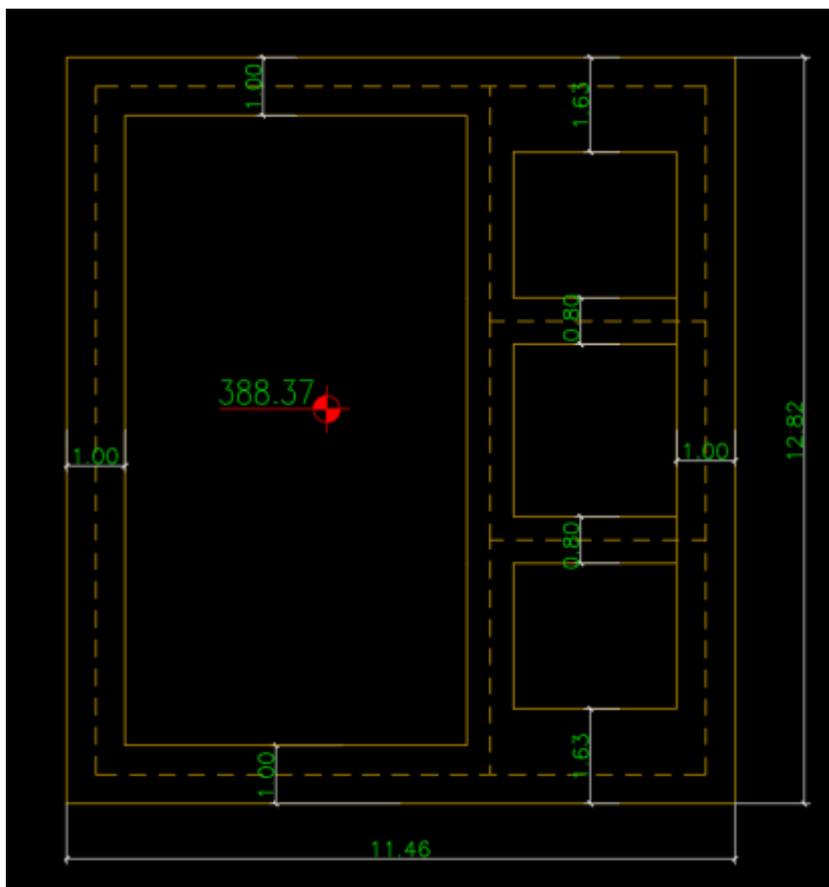


Figure 3-2: Piano di fondazione a quota 388.37m s.l.m.

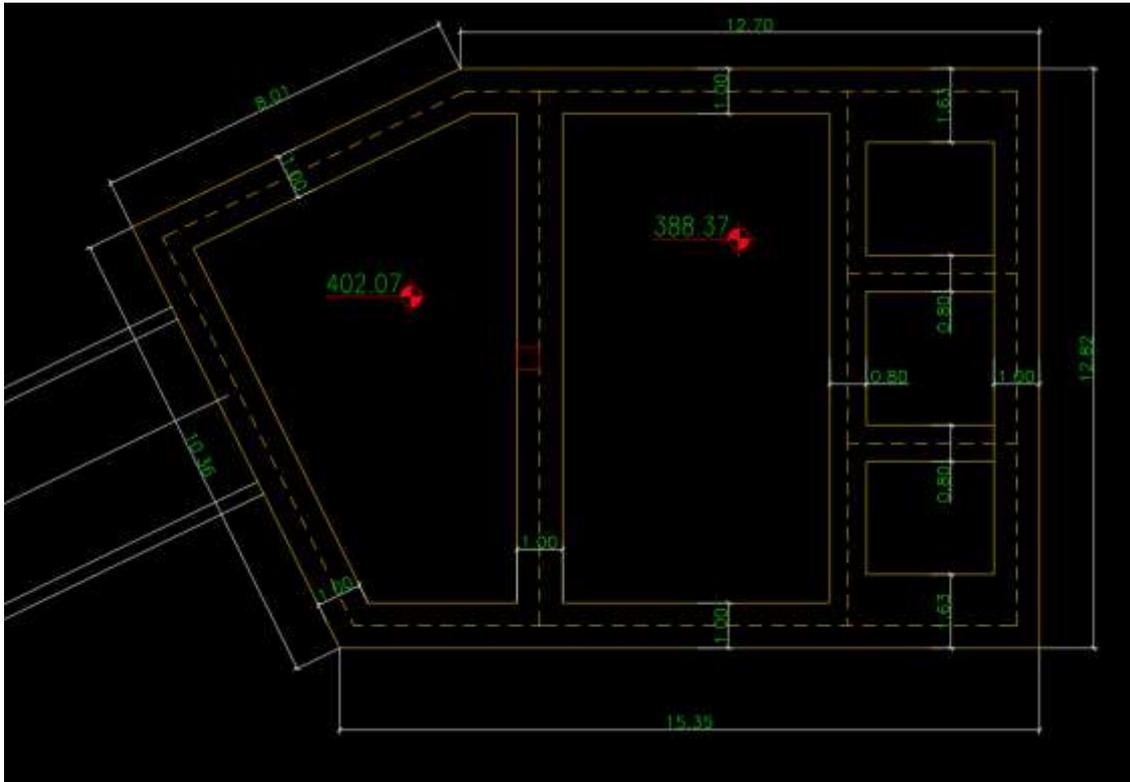


Figure 3-3: Orizzontamento a quota 402.07m s.l.m.

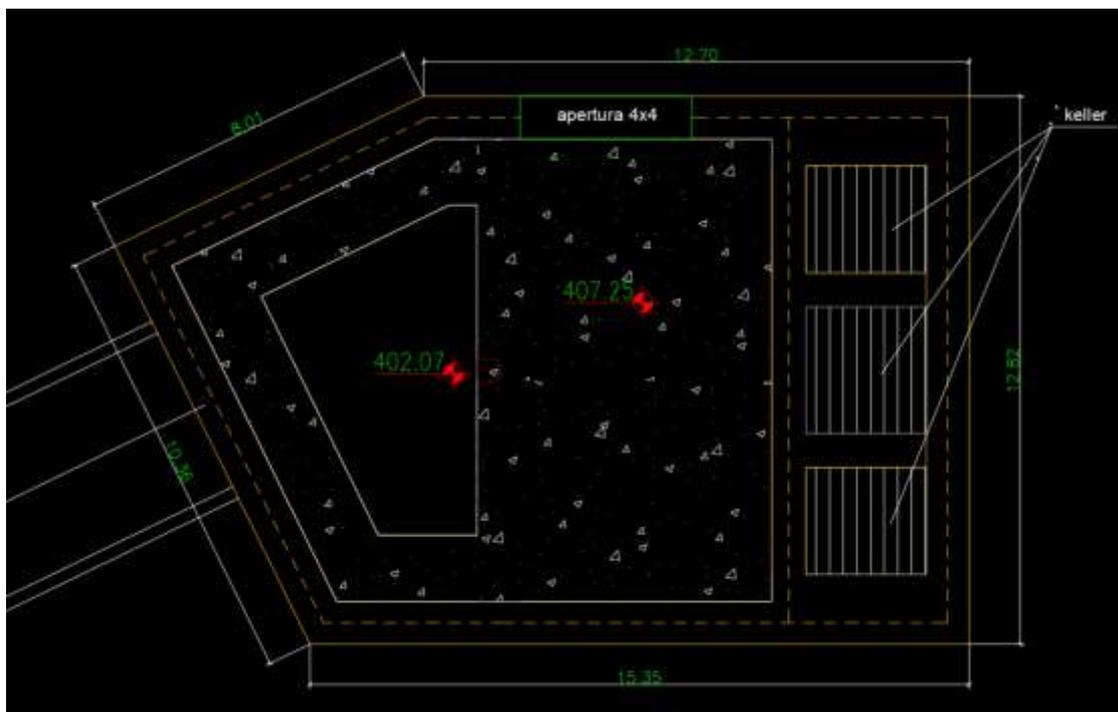


Figure 3-4: Orizzontamento a quota 407.25m s.l.m.

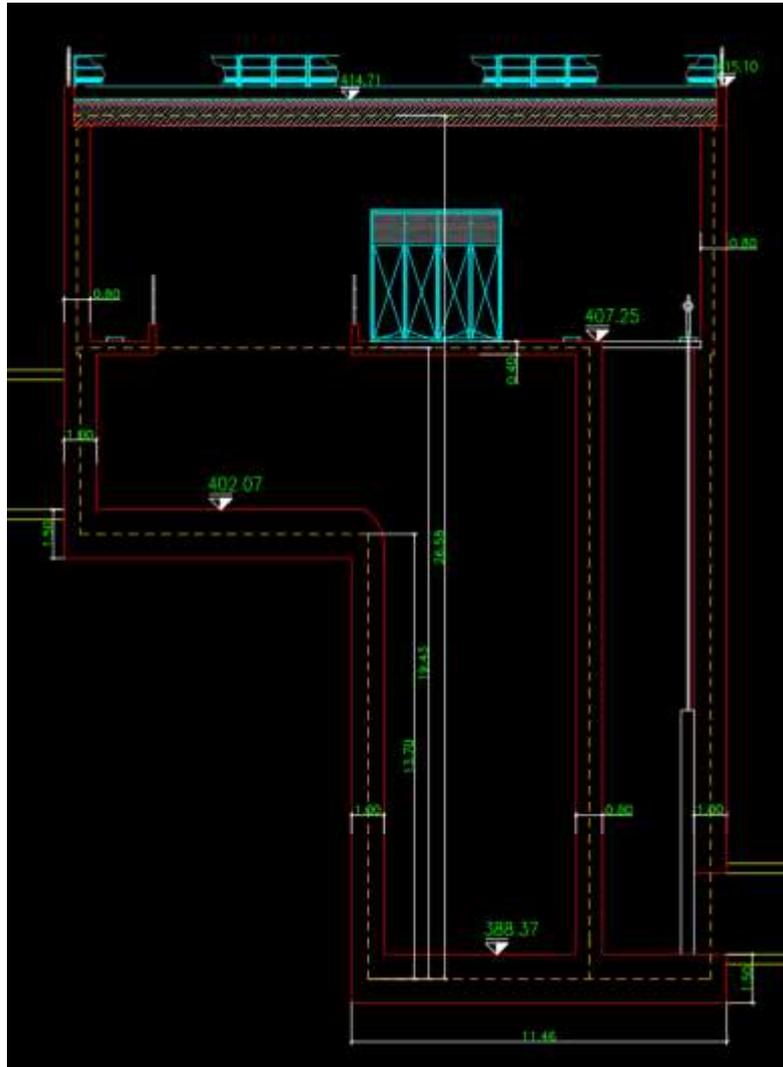


Figure 3-5: Sezione trasversale A-A

La quota 402.07m s.l.m., rappresenta la quota di arrivo della TBM DN4000 utilizzata per la realizzazione della Galleria Cognolo, mentre la quota 388.37m s.l.m. rappresenta la quota di arrivo delle tubazioni del Microtunneling provenienti dal pozzo Salto 1.

Le fasi esecutive prevedono, la realizzazione di opere provvisorie a sostegno dello scavo, propedeutiche alla realizzazione del manufatto. Per una descrizione dettagliata delle opere provvisorie si rimanda alla relazione di calcolo specifica.

Il piano di fondazione a quota 388.37m s.l.m. ha uno spessore di 150cm. L’orizzontamento intermedio è posto a quota 402.07m s.l.m ed ha anch’esso uno spessore di 150cm. L’orizzontamento a piano campagna, a quota 407.25m s.l.m, ha spessore di 40cm. La copertura è realizzata con travi prefabbricate a pigreco H60 ordite secondo la direzione della luce minore.

Le pareti perimetrali interrato hanno spessore di 1.00m. Sul lato di arrivo delle condotte del MT è prevista la realizzazione di setti di spessore 80cm.

Le pareti della struttura fuori terra hanno spessore di 80cm. Nel manufatto si accede dall’alto attraverso un’apertura di dimensioni 4.00x4.00m. All’interno della frazione fuori terra, è previsto un carroponete per la movimentazione degli organi di manovra. In condizioni di esercizio la struttura presenta un battente permanente di 16.26m, da quota 388.37m s.l.m. a quota 404.63m s.l.m. In condizioni eccezionali, la quota di invaso può arrivare a 407.10m.s.l.m.

La quota di falda misurata è a 391m s.l.m.

3.2 Turano 1

Il manufatto Turano 1 di monte è un pozzo di spinta/arrivo (a seconda della canna da realizzare) per il Microtunneling ed ha forma in pianta poligonale con dimensioni esterne massime pari a 23.30 m x 25.40 m. L’altezza della struttura interrato è pari

a 25.60m, da quota 381.73m s.l.m a quota piano campagna 407.35m s.l.m. L’altezza della parte fuori terra è 7.25m, da quota 407.35m s.l.m a quota 414.60m s.l.m.

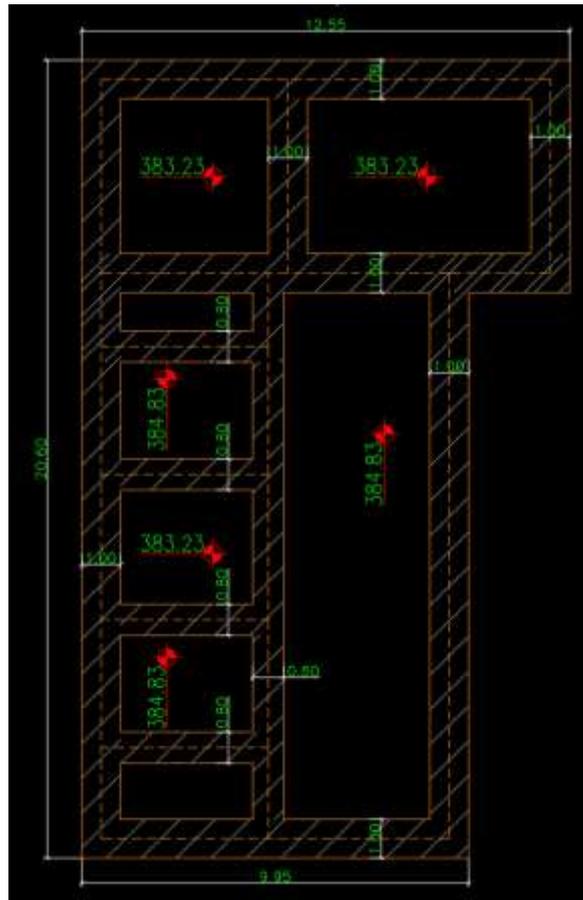


Figure 3-6: Piano di fondazione a quota 383.23m s.l.m.



Figure 3-8: Orizzontamento a quota 407.35m s.l.m.

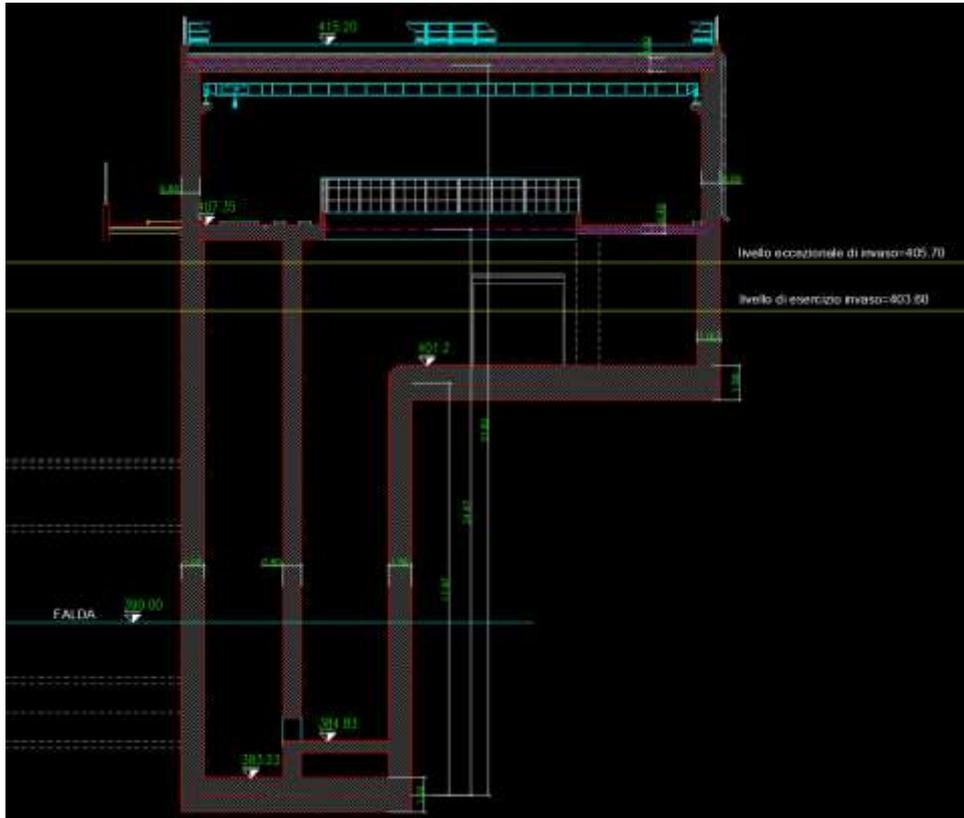


Figure 3-9: Sezione trasversale A-A

La quota 401.20m s.l.m., rappresenta la quota di arrivo della TBM DN4000 utilizzata per la realizzazione della Galleria Cognolo. La quota 384.83m s.l.m. rappresenta la quota di arrivo delle tubazioni del Microtunneling dirette verso il pozzo Turano 3. Infine, la quota 394.24m s.l.m. rappresenta la quota di arrivo del microtunneling nella camera di scarico.

Le fasi esecutive prevedono, la realizzazione di opere provvisorie a sostegno dello scavo, propedeutiche alla realizzazione del manufatto. Per una descrizione dettagliata delle opere provvisorie si rimanda alla relazione di calcolo specifica.

Il piano di fondazione a quota 383.23m s.l.m. ha uno spessore di 150cm. L’orizzontamento intermedio è posto a quota 401.20m s.l.m ed ha anch’esso uno spessore di 150cm. L’orizzontamento a piano campagna, a quota 407.35m s.l.m, ha spessore di 40cm. La copertura è realizzata con travi prefabbricate a pigreco H60 ordite secondo la direzione della luce minore.

Le pareti perimetrali interrato hanno spessore di 1.00m. Sul lato di arrivo delle condotte del MT è prevista la realizzazione di setti di spessore 80cm.

Le pareti della struttura fuori terra hanno spessore di 80cm. Nel manufatto si accede dall’alto attraverso un’apertura di dimensioni 4.00x4.00m. All’interno della frazione fuori terra, è previsto un carroponete per la movimentazione degli organi di manovra. In condizioni di esercizio la struttura presenta un battente permanente di 20.37m, da quota 383.23m s.l.m. a quota 403.60m s.l.m.. In condizioni eccezionali, la quota di invaso può arrivare a 405.70m.s.l.m.

La quota di falda misurata è a 390m s.l.m.

3.3 Turano 3

Il manufatto Turano 3 di valle è un pozzo di spinta/arrivo (a seconda della canna da realizzare) per il Microtunneling ed ha forma in pianta rettangolare con dimensioni esterne massime pari a 19.50 m x 15.15 m. L’altezza della struttura interrata è pari a 22.70m, da quota 384.39m s.l.m a quota piano campagna 407.10m s.l.m. L’altezza della parte fuori terra è 7.85m, da quota 407.10m s.l.m a quota 414.95m s.l.m.

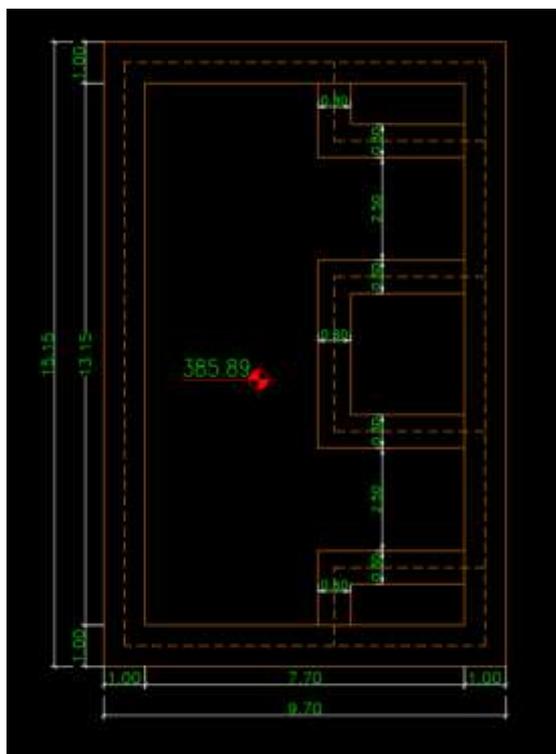


Figure 3-10: Piano di fondazione a quota 385.89m s.l.m.

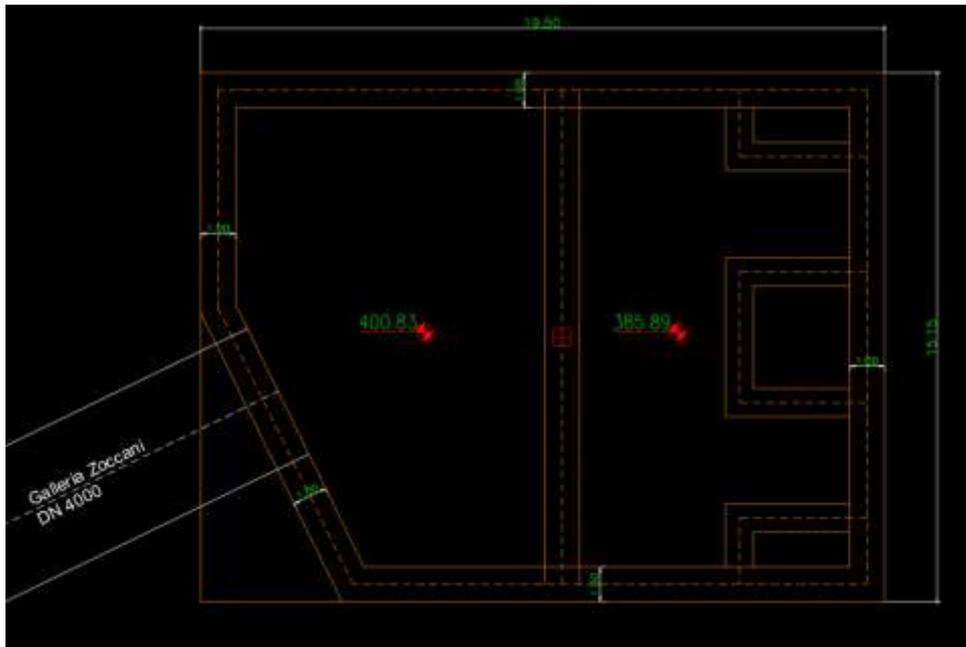


Figure 3-11: Orizzontamento a quota 400.83m s.l.m.

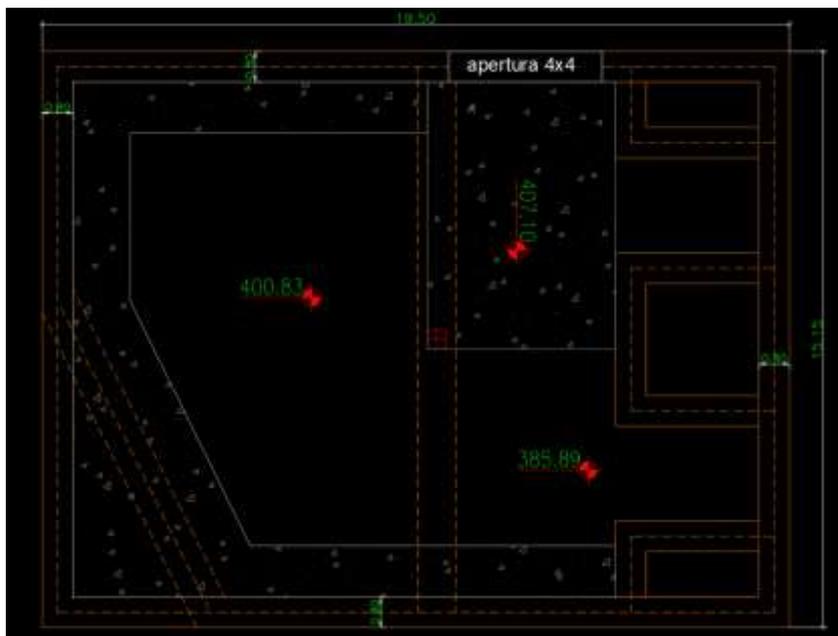


Figure 3-12: Orizzontamento a quota 407.10m s.l.m.

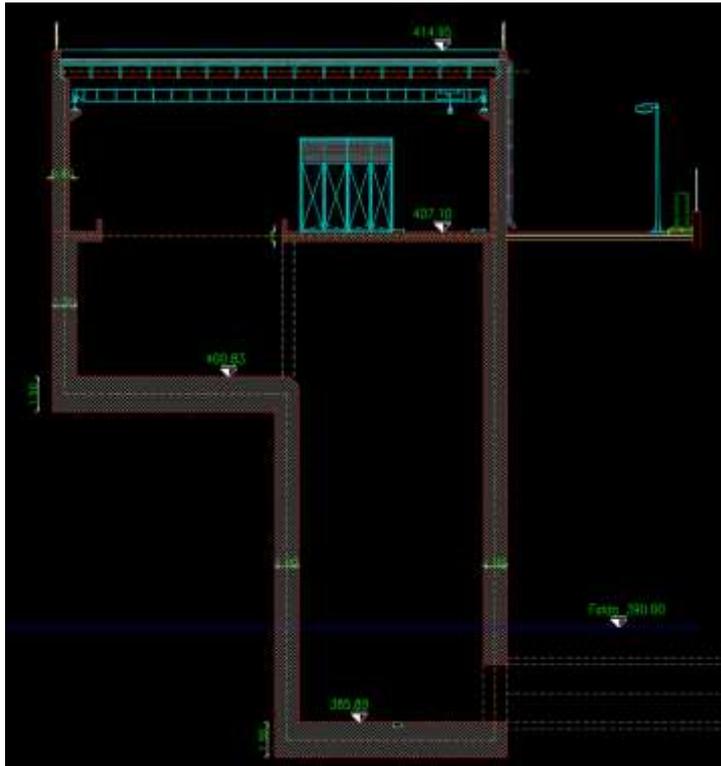


Figure 3-1: Sezione trasversale A-A

La quota 400.83m s.l.m., rappresenta la quota di arrivo della TBM DN4000 utilizzata per la realizzazione della Galleria Zoccani, mentre la quota 385.89m s.l.m. rappresenta la quota di arrivo delle tubazioni del Microtunneling provenienti dal pozzo Turano 1.

Le fasi esecutive prevedono, la realizzazione di opere provvisorie a sostegno dello scavo, propedeutiche alla realizzazione del manufatto. Per una descrizione dettagliata delle opere provvisorie si rimanda alla relazione di calcolo specifica.

Il piano di fondazione a quota 385.89m s.l.m. ha uno spessore di 150cm. L’orizzontamento intermedio è posto a quota 400.83m s.l.m ed ha anch’esso uno spessore di 150cm. L’orizzontamento a piano campagna, a quota 407.10m s.l.m, ha spessore di 40cm. La copertura è realizzata con travi prefabbricate a pigreco H60 ordite secondo la direzione della luce minore.

Le pareti perimetrali interrato hanno spessore di 1.00m. Sul lato di arrivo delle condotte del MT è prevista la realizzazione di setti di spessore 80cm per l’alloggiamento dei gargami e quindi dei panconi.

Le pareti della struttura fuori terra hanno spessore di 80cm. Nel manufatto si accede dall’alto attraverso un’apertura di dimensioni 4.00x4.00m. All’interno della frazione fuori terra, è previsto un carroponete per la movimentazione degli organi di manovra. In condizioni di esercizio la struttura presenta un battente permanente di 16.86m, da quota 385.89m s.l.m. a quota 402.75m s.l.m.. In condizioni eccezionali, la quota di invaso può arrivare a 405.70m.s.l.m.

La quota di falda misurata è a 390m s.l.m.

3.4 San Giovanni Reatino SGR

In località San Giovanni Reatino, sarà realizzato un manufatto a pianta rettangolare di dimensioni in pianta pari a circa 50 m x 40 m e altezza 28 m che consentirà il passaggio dalla galleria idraulica DN4000 alla condotta DN3400 in acciaio che viaggerà parallelamente alla corsia carrabile all’interno della galleria Monte Vecchio di diametro DN7500.

A sostegno degli scavi verranno realizzate paratie di pali trivellati $\Phi 800$ e lunghezze medie comprese tra 15.00 m e 22.00 m e paratie di O-PILE 812/16 con profondità media di circa 30 m.

In questa zona, per le fasi di realizzazione, sarà presente l’impianto di prefabbricazione dei conci di tutte le gallerie scavate in meccanizzato.

4 MATERIALI

4.1 Calcestruzzo armato C 32/40

Per la scelta della classe di esposizione delle strutture all'ambiente in cui verranno edificate, si fa riferimento alle indicazioni riportate nelle norme EN206-1 e UNI 11104. Per le vasche contenenti liquidi la Classe di Esposizione Ambientale minima prevista è la: XA2 → Rck minima C32/40. Per i manufatti interrati di progetto, ove non espressamente indicato, è previsto un copriferro nominale pari a 40 mm.

- Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni di maturazione $R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
- Modulo di elasticità normale $E_{cm} = 22000 \cdot ((f_{ck} + 8) / 10)^{0.3} = 33643 \text{ N/mm}^2$
- Peso di volume $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

Caratteristiche meccaniche calcestruzzo

- $f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 33.20 \text{ N/mm}^2$
- $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 18.81 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctm} = 0.30 \cdot (f_{ck})^{(2/3)} = 3.10 \text{ N/mm}^2$
- $f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.17 \text{ N/mm}^2$
- $f_{cfm} = 1.2 \cdot f_{ctm} = 3.72 \text{ N/mm}^2$

4.2 Calcestruzzo armato per paratie di pali e opere di contenimento dello scavo

Per i manufatti:

- Salto 2

- Turano 1
- Turano 3

La classe minima dovrà essere C25/30.

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni di maturazione $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità normale $E_{cm} = 22000 \cdot ((f_{ck} + 8) / 10)^{0.3} = 31447 \text{ N/mm}^2$

Peso dell’unità di volume $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

Caratteristiche meccaniche calcestruzzo

$$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 24.90 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot f_{ck} / 1.5 = 14.11 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctm} = 0.30 \cdot (f_{ck})^{(2/3)} = 2.56 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} = 1.79 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cfm} = 1.2 \cdot f_{ctm} = 3.07 \text{ N/mm}^2$$

classe di esposizione XC2, XA2

4.3 Calcestruzzo magro per getti di pulizia

Si prevede l’utilizzo di un calcestruzzo con classe di resistenza C12/15.

4.4 Acciaio

Per i manufatti Salto 2, Turano 1 e Turano 3:

4.4.1 Barre di armatura ad aderenza migliorata B450C

Saranno utilizzate barre di armatura ad aderenza migliorata B450C in conformità alle indicazioni riportate al §4.1.2.1.2.2 del D.M. 2018 con le seguenti caratteristiche:

- Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico (secondo EC2) $E_s = 210 \text{ kN/mm}^2$
- Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_s = 1.15$
- Tensione di Snervamento di calcolo $f_{yd} = 391 \text{ MPa}$

4.4.2 Trave di ripartizione dei tiranti

Acciaio per strutture metalliche in profilati a freddo S275 JR

Densità $\rho = 78.5 \text{ KN/m}^3$

Tensione caratteristica di rottura ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_u \geq 430 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_y \geq 275 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità normale (EC3) $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità tangenziale $G = 80769 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di espansione termica lineare $\alpha = 12 \times 10^{-6} / \text{C}^\circ$

4.4.3 Trefoli

Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} \geq 1670 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura $f_{tk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$

4.4.4 Puntoni per Salto 2 e Turano 1

Acciaio per strutture metalliche in profilati a freddo S275 JR

Densità $\rho = 78.5 \text{ KN/m}^3$

Tensione caratteristica di rottura ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_u \geq 430 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_y \geq 275 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità normale (EC3) $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità tangenziale $G = 80769 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di espansione termica lineare $\alpha = 12 \times 10^{-6} / \text{C}^\circ$

4.4.5 Puntoni per Turano 3

Acciaio per strutture metalliche in profilati a freddo S355 JR

Densità $\rho = 76.98 \text{ KN/m}^3$

Tensione caratteristica di rottura ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_u \geq 510 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di snervamento ($t \leq 40 \text{ mm}$) $f_y \geq 355 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità normale (EC3) $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità tangenziale $G = 80769 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di espansione termica lineare $\alpha = 1.17 \times 10^{-5} / \text{C}^\circ$

4.5 Vetoresina

4.5.1 Salto 2

Armature longitudinali:

Tipo: VTR (20)

Resist. caratt. snervam. fyk: 690.00 MPa

Resist. caratt. rottura ftk: 780.00 MPa

Resist. snerv. di progetto fyd: 600.00 MPa

Resist. ultima di progetto ftd: 678.00 MPa

Deform. ultima di progetto ϵ_{pu} : 0.018

Modulo Elastico ϵ_f 460000 daN/cm²

Tipo: VTR (30)

Resist. caratt. snervam. fyk: 531.00 MPa

Resist. caratt. rottura ftk: 600.00 MPa

Resist. snerv. di progetto fyd: 461.00 MPa

Resist. ultima di progetto ftd: 522.00 MPa

Deform. ultima di progetto ϵ_{pu} : 0.013

Modulo Elastico ϵ_f 460000 daN/cm²

Armature trasversali:

Tipo: VTR (12)

Resist. caratt. snervam. fyk: 335.00 MPa

Resist. caratt. rottura ftk: 379.00 MPa

Resist. snerv. di progetto fyd: 291.00 MPa

Resist. ultima di progetto ftd: 330.00 MPa

4.5.3 Turano 3

Armature longitudinali:

Tipo: VTR (20)

Resist. caratt. snervam. fyk: 690.00 MPa

Resist. caratt. rottura ftk: 780.00 MPa

Resist. snerv. di progetto fyd: 600.00 MPa

Resist. ultima di progetto ftd: 678.00 MPa

Deform. ultima di progetto ϵ_{pu} : 0.018

Modulo Elastico ϵ_f 460000 daN/cm²

Tipo: VTR (32)

Resist. caratt. snervam. fyk: 513.00 MPa

Resist. caratt. rottura ftk: 580.00 MPa

Resist. snerv. di progetto fyd: 446.00 MPa

Resist. ultima di progetto ftd: 504.00 MPa

Deform. ultima di progetto ϵ_{pu} : 0.012

Modulo Elastico ϵ_f 460000 daN/cm²

Armature trasversali:

Tipo: VTR(12)

Resist. caratt. snervam. fyk: 335.00 MPa

Resist. caratt. rottura ftk: 379.00 MPa

Resist. snerv. di progetto f_{yd} : 291.00 MPa

Resist. ultima di progetto f_{td} : 330.00 MPa

Deform. ultima di progetto ϵ_{pu} : 0.008

Modulo Elastico E_f 460000 daN/cm²

5 MANUFATTO DI VALLE - SALTO 2

Il presente capitolo ha come oggetto il Progetto Definitivo delle opere di sostegno in corrispondenza del manufatto Salto Valle (pozzo di arrivo). L'area di studio della nuova opera rientra nell'ambito del territorio della Provincia di Rieti interessando la Valle del Fiume Salto.

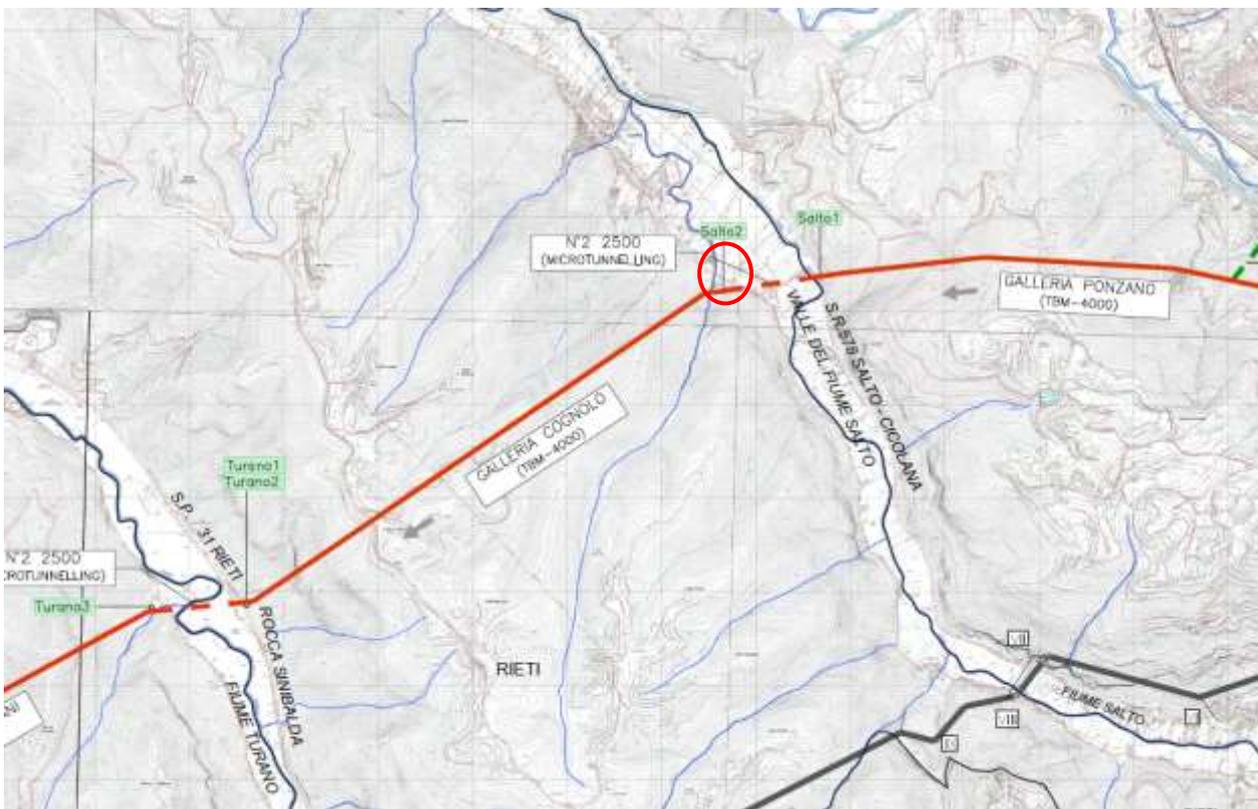


Figura 5-1 – Ubicazione del Manufatto Salto Valle – vista planimetrica

5.1 Software di calcolo

- 1- ParatiePlus ver. 21.1 della Harpaceas per l’analisi di opere di sostegno flessibili in interazione col terreno;
- 2- RC-SEC V.2018.10.0.774 della Geostru - Licenza n° HJW8Q-EWEA3-PF2LE-6DWDC - per la verifica di sezioni di calcetsruzzo armato;



Figura 5-2 - Licenza GEO STRU

- 3- SAP 2000 Advanced versione 23.3.1 della CSI per l’analisi di strutture complesse in qualsiasi materiale;

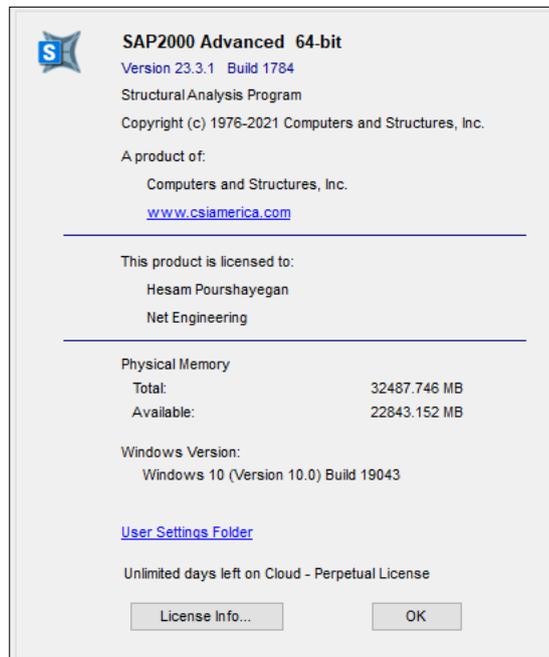


Figura 5-2 – Licenza SAP2000

5.2 Descrizione degli interventi

Al fine di sostenere lo scavo necessario per realizzare il manufatto Salto Valle si prevede la realizzazione di un’opera di sostegno costituita da una paratia perimetrale di pali $\phi 800$ e una paratia interna di pali $\phi 800$ compenetrati.

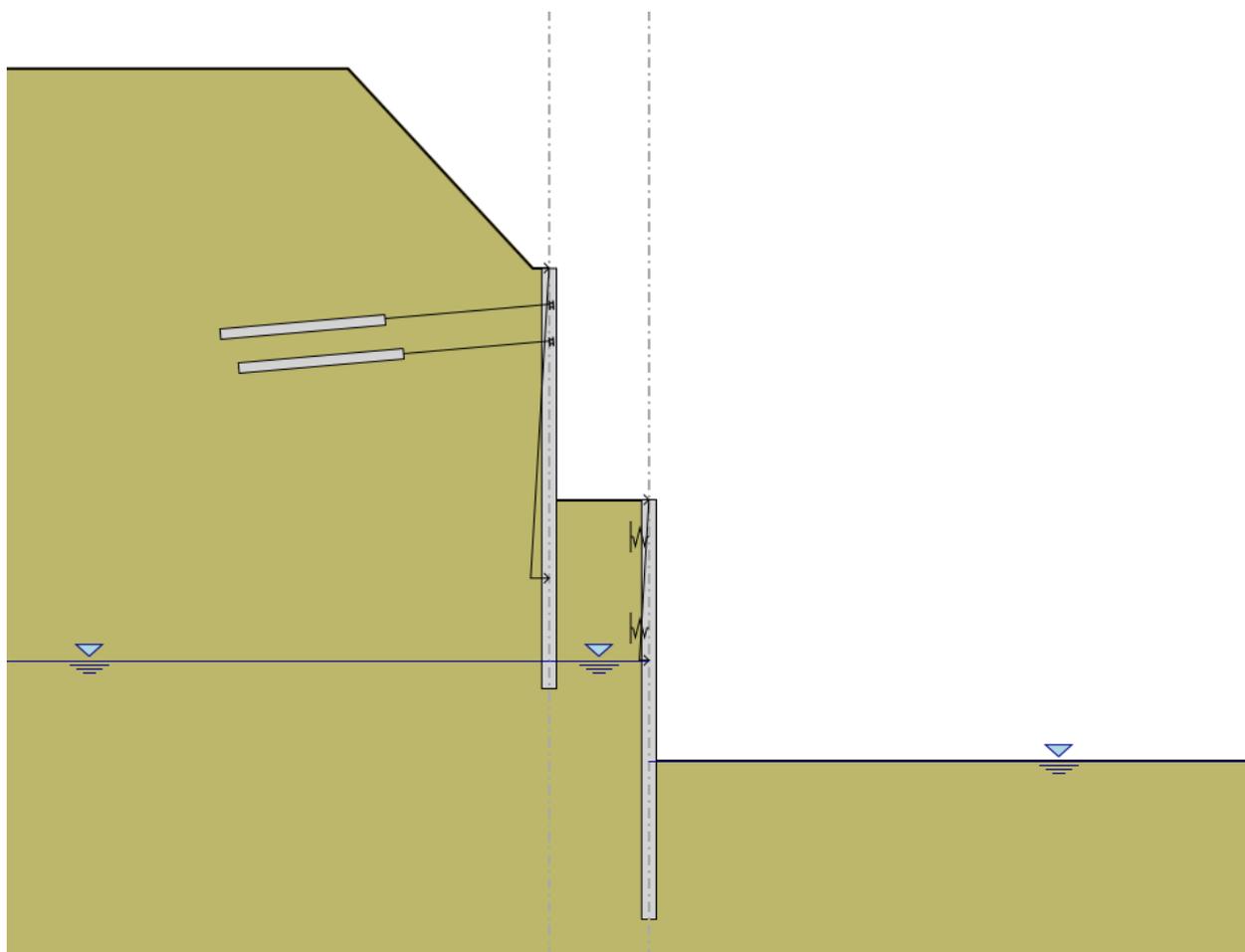


Figura 5-4 – Posizionamento delle paratie perimetrali e CSP

Per il calcolo e il dimensionamento di tali opere si è fatto riferimento ad una sezione rappresentativa, Figura 5-5, che nel seguito viene descritta.

In conformità con quanto prescritto dalle NTC 2018 al paragrafo 6.5.2.2, la profondità di scavo viene incrementata di 0.50 m. Nella tabella seguente viene riassunta l’altezza di scavo considerata nel modello di calcolo:

Sezione		Profondità di scavo da p.c.	Scavo massimo da modello
		m	m
A-A	Paratia perimetrale	12.07	12.7
	Paratia interna (CSP)	13.66	14.3

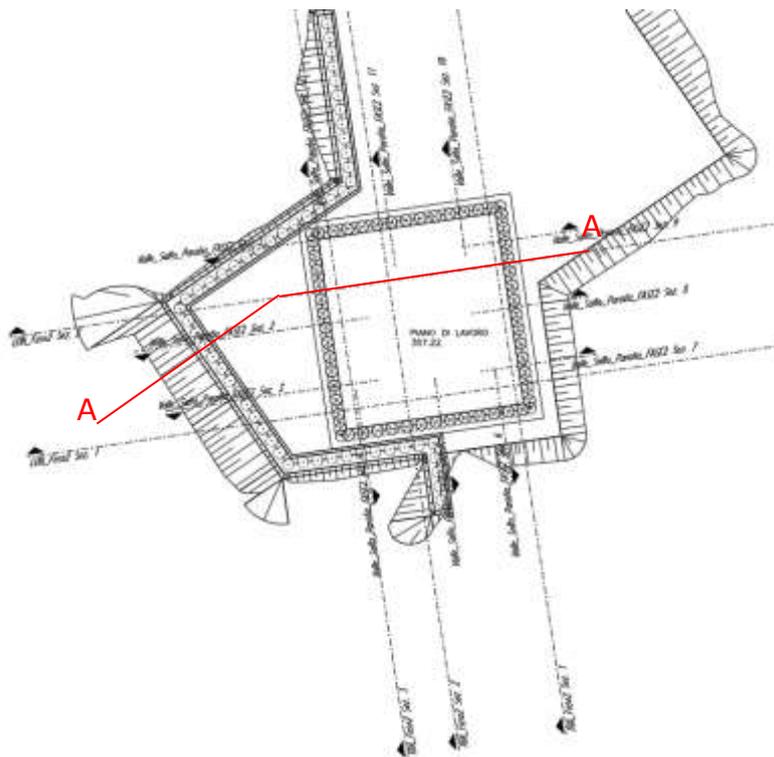


Figura 5-5 – Posizione della sezione di calcolo delle opere di sostegno

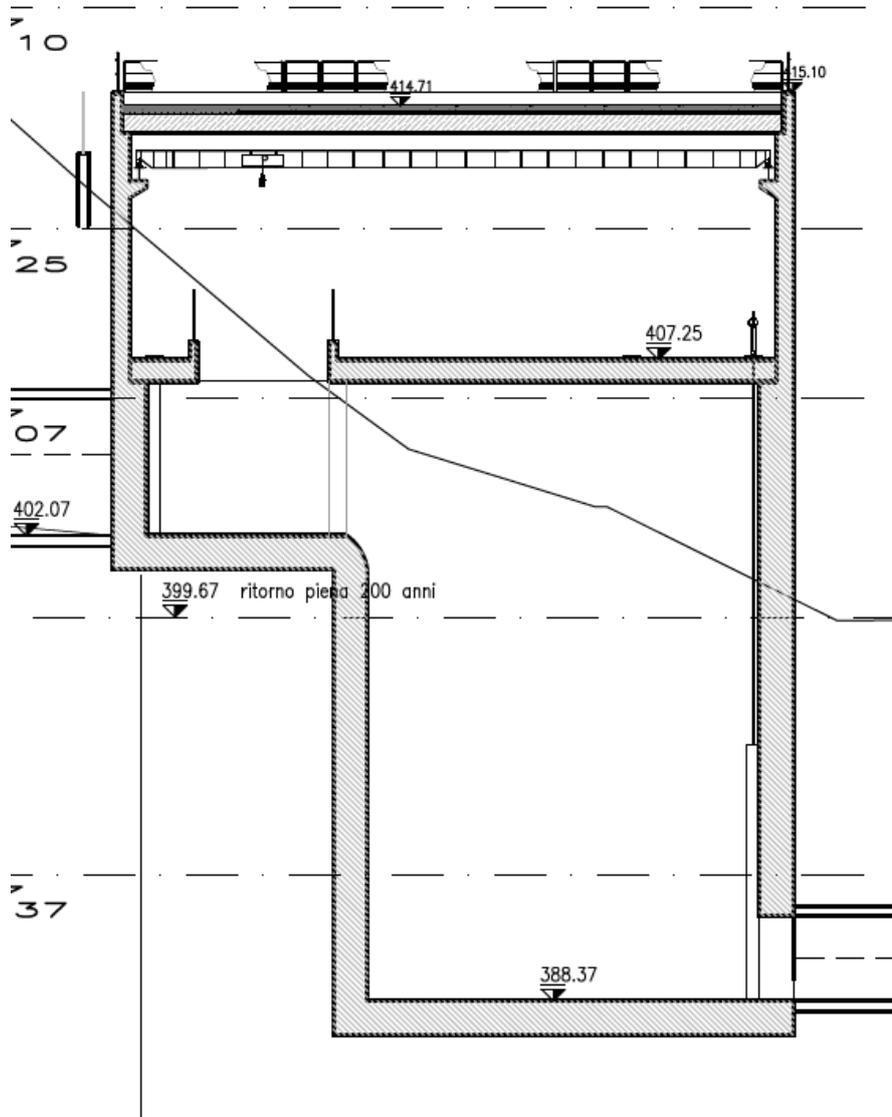


Figura 5-6 – Sezione trasversale A-A

5.2.1 Sezione A-A

In corrispondenza del Manufatto Salto Valle, sezione A-A, sarà realizzata una paratia perimetrale di pali $\Phi 800$ interasse 100 cm e lunghezza 23m che prevede due ordini di tiranti posizionati rispettivamente a -2m, -4m da piano campagna. A profondità maggiore, e al fine di realizzare la parte profonda del manufatto, verrà realizzata una seconda paratia di pali compenetrati di diametro 800 mm, con interasse longitudinale 500mm, e lunghezza totale 23m. La sequenza di costruzione di pali secanti con il sistema CSP (Cased Secant Piles), prevede l’esecuzione di pali primari e secondari, in cui solo questi ultimi vengono armati. Per la paratia di pali CSP, si prevede di realizzare un sistema di puntonamento costituito da travi perimetrali HEM600 e puntoni interni d’angolo HEB280. La profondità di scavo massima viene raggiunta aggottando di volta in volta l’acqua al di fuori dello scavo (non si lavora in condizioni di scavo sommerso).

5.3 Inquadramento geotecnico

Per i parametri geotecnici si è fatto riferimento ai seguenti valori. Per i maggiori dettagli sulla descrizione di unità geotecniche si rimanda alla Relazione Geologica (A194PD R002):

Tabella 1 – Sintesi dei parametri geotecnici

Profondità (m da p.c.)	Unità Litotecnica	γ_n (kN/m ³)	Φ' (°)	C' (kPa)	E_{op} (MPa)	E_{ed}^* (MPa)
> 3	Conglomerati fortemente cementati (UGR)	19.0 - 25.0	45 - 49	75 - 100	108	125

Profondità falda = 391 m s.l.m

*** valore riferito alla frazione fine**

5.4 Analisi dei carichi

5.4.1 Peso proprio

- Peso proprio cls $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

5.4.2 Carichi accidentali

Durante le fasi di costruzione viene considerato un sovraccarico accidentale di 20 kPa dovuto alla presenza dei mezzi di cantiere.

5.4.3 Azione sismica

L’azione sismica è stata valutata prendendo in considerazione le analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) per il sito Salto Valle allo Stato Limite di Salvaguardia della vita (SLV). La massima accelerazione del suolo (PGA) a quota del baricentro di paratia risulta pari a 0.277g.

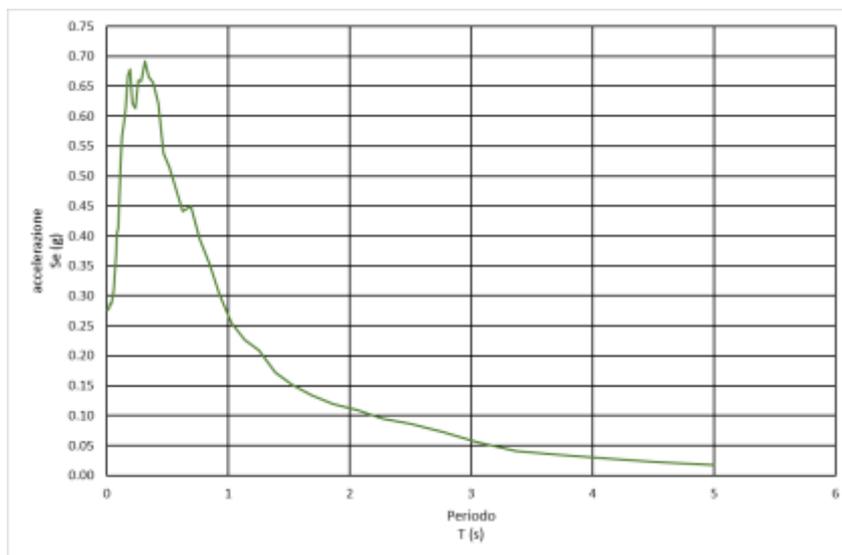


Figura 5-7 – Spettro di risposta – Stato SLV – Salto Valle

Il valore del coefficiente β è stato assunto pari a 0.6 che corrisponde ad uno spostamento (us) pari a 5.8 cm minore di $0.5\% \times H_{paratia}$ ($= 0.005 \times 23m = 11.5$ cm); (Par. 7.11.6.3.1 – NTC 2018).

Si precisa che l’effetto dell’azione sismica si è tenuto in considerazione esclusivamente per la paratia perimetrale che avrà una funzione strutturale definitiva.

5.4.4 Spinta del terreno

Nel modello di calcolo impiegato dal software adottato PARATIE, la spinta del terreno viene determinata investigando l’interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} \cdot (\text{OCR})^m$$

dove:

$$K_0^{NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($\text{OCR}=1$).

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Attraverso valori opportuni di K_a e K_p si può tener conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo; si possono usare a questo scopo i valori desunti da NAVFAC (1986) o quelle elaborate da Caquot e Kerisel (1948). Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del software PARATIE.

5.5 Verifiche paratie di pali

5.5.1 Verifiche SLU

In accordo alle prescrizioni normative NTC 2018 al paragrafo 6.5.3.1.2, le verifiche sono state condotte secondo l’Approccio 1 considerando le seguenti combinazioni:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1);
- Combinazione 2: (A2+M2+R1).

5.5.2 Verifiche SLE

In esercizio sono stati valutati gli spostamenti orizzontali in maniera tale da confrontarli con i requisiti prestazionali dell’opera. Si assume che gli spostamenti siano accettabili se inferiori al valore limite $H/200$, dove H è l’altezza di scavo.

Le combinazioni di calcolo in esercizio vengono formulate ponendo pari all’unità i coefficienti parziali sulle azioni e utilizzando i parametri geotecnici caratteristici.

5.6 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC2018 al par.2.5.3.

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d’esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all’azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione ψ delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

I valori dei coefficienti parziali da applicare alle azioni e ai parametri geotecnici del terreno sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_r	1,0	1,0

5.7 Analisi numeriche

Di seguito sono riportate le analisi effettuate per definire il dimensionamento delle paratie di pali in corrispondenza del manufatto Salto Valle. Il modello di calcolo per la paratia di pali f800 con interasse 1m e per la paratia di pali CSP f800 è stato realizzato con il programma ParatiePlus, al fine di valutare gli spostamenti orizzontali allo SLE e le sollecitazioni negli elementi strutturali in condizioni allo stato limite ultimo, in condizioni statiche e sismiche.

5.7.1 Sezione A-A

5.7.1.1 Modello di calcolo

Nella seguente tabella si riassumono i parametri geotecnici di progetto:

	Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ²]
	UG2 Roccia	75	45	E _{vc} = 108000 E _{ur} = 172800

Tabella 2 – Modello geotecnico – Sezione A-A

Le fasi esecutive per l’analisi della sezione di calcolo sono le seguenti:

1. Condizione geostatica iniziale.
2. Realizzazione dei pali perimetrali con il diametro pari a 800 mm e interasse di 1.0 m.
3. Scavo alla quota di -3.0 m da p.c. al fine di realizzare il primo ordine dei tiranti.
4. Installazione del primo ordine dei tiranti a -2 m dalla testa paratia.
5. Scavo alla quota di -5 m da p.c. al fine di realizzare il secondo ordine dei tiranti.
6. Installazione del secondo ordine dei tiranti a -4.0 m dalla testa paratia.
7. Raggiungimento quota fondo scavo paratia perimetrale (-12.7 m da p.c.) ed applicazione di un sovraccarico pari a 170 kpa (da 0.0m a -17m dal p.c) simulante il riempimento di eventuali fessure verticali con acque piovane.
8. Realizzazione dei pali compenetrati (CSP) interni con diametro 800 mm ed interasse di 0.5m.
9. Scavo alla quota -15.2, a valle di pali CSP, al fine di realizzare il primo ordine di puntoni.
10. Installazione il primo ordine dei puntoni a quota -14.7m da p.c (-2.0m dalla testa paratia)
11. Scavo fino a quota -20.2 m da p.c., a valle dei pali CSP, al fine di realizzare il secondo ordine di puntoni.

12. Installazione il secondo ordine dei puntoni a quota -19.7m da p.c (-7.0m dalla testa paratia)
13. Raggiungimento quota fondo scavo (-27 m da p.c.), espulsione dell’acqua dall’interno dello scavo ed applicazione di un sovraccarico pari a 88 kpa (da -12.7m a -21.5m dal p.c) simulante il riempimento di eventuali fessure verticali con acque piovane.
14. Abbancamento del rilevato a quota del piazzale 407.25 m s.l.m.
15. Applicazione dell’azione sismica.

Di seguito la rappresentazione grafica degli stage sopra descritti:

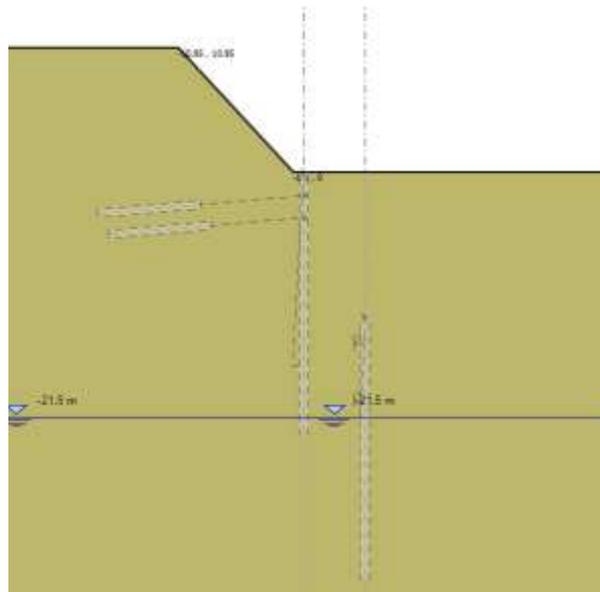


Figura 5-3 – Fase 1

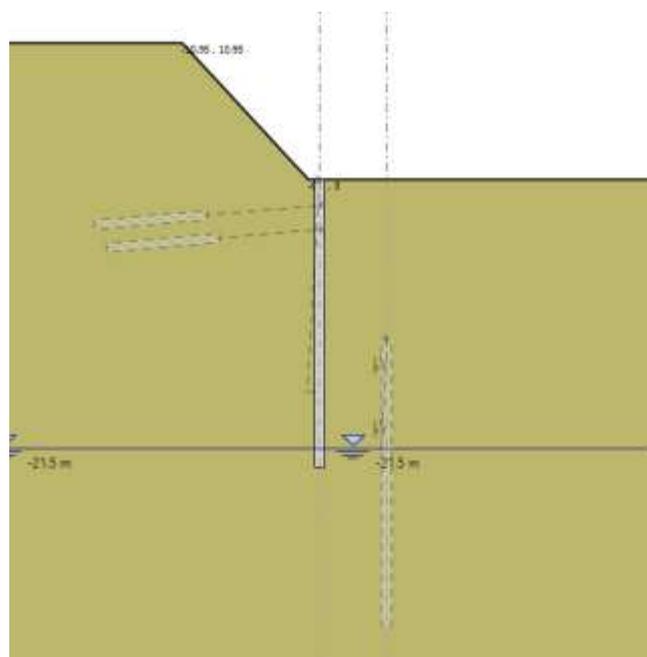


Figura 5-4 – Fase 2

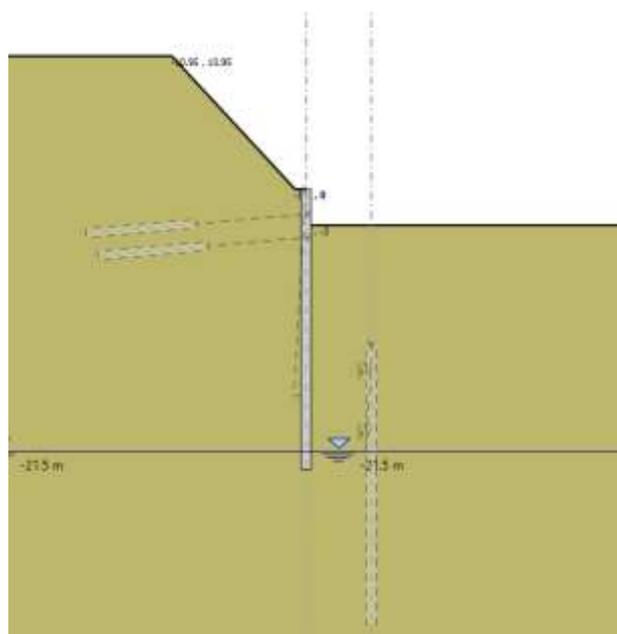


Figura 5-5 – Fase 3

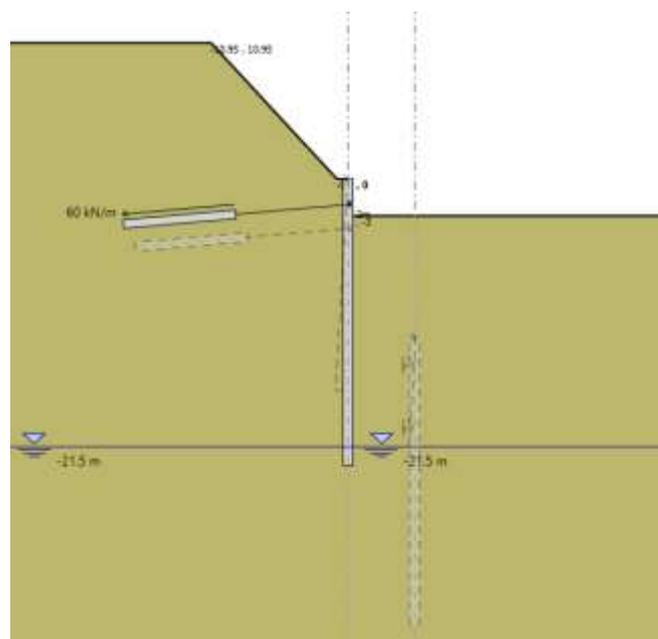


Figura 5-6 – Fase 4

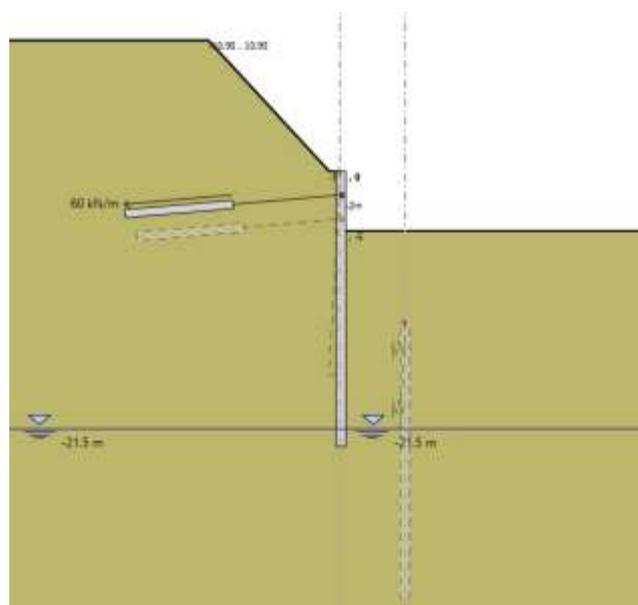


Figura 5-7 – Fase 5

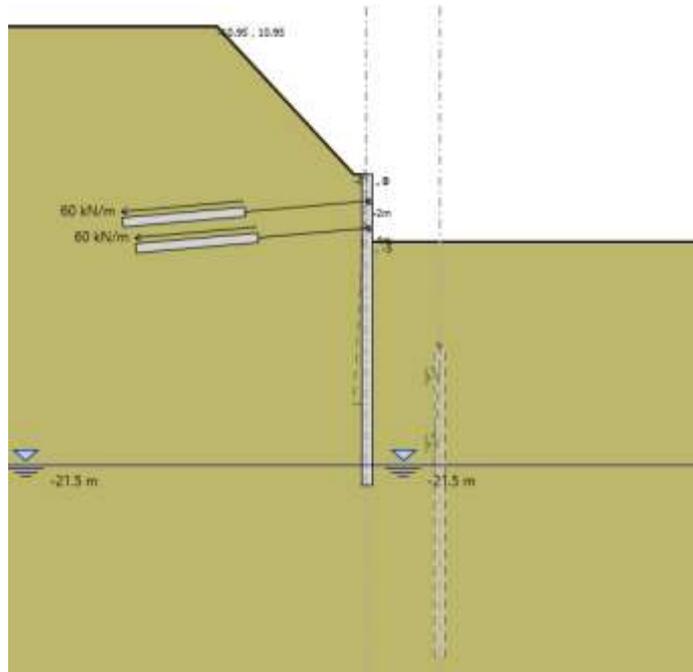


Figura 5-8 – Fase 6

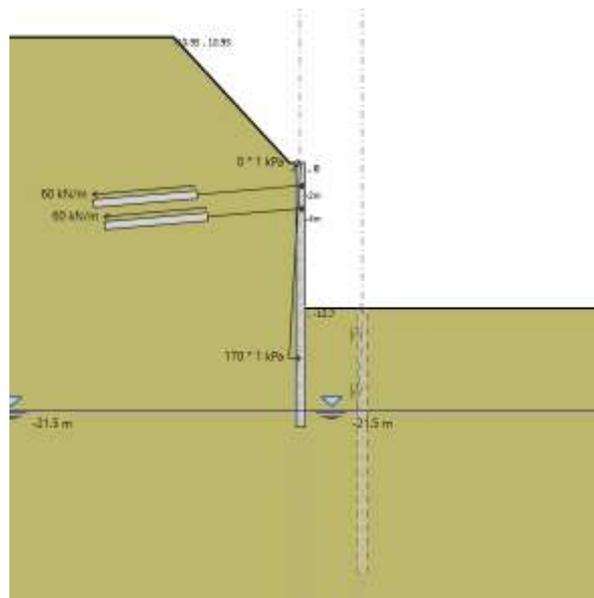


Figura 5-9 – Fase 7

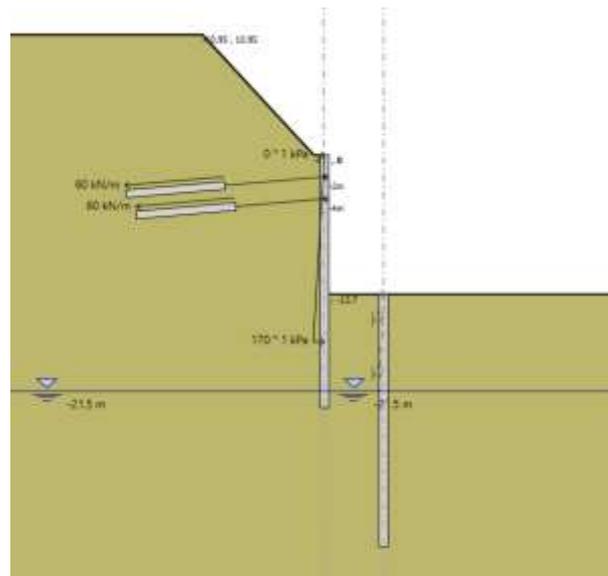


Figura 5-10 – Fase 8

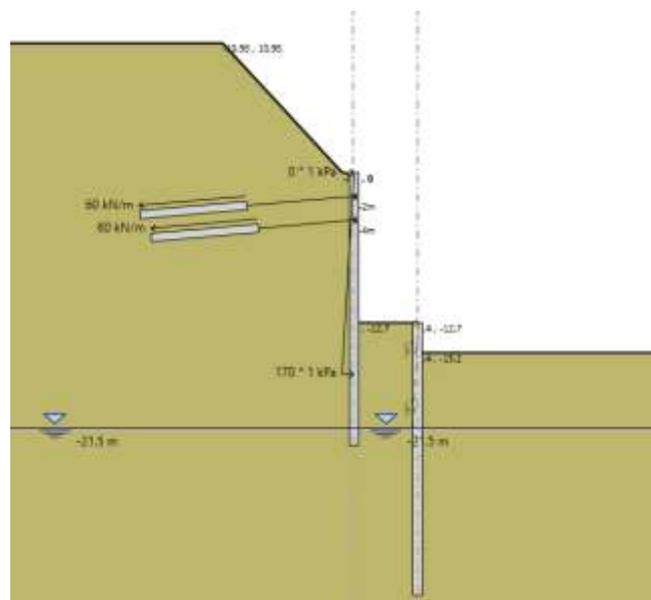


Figura 5-11 – Fase 9

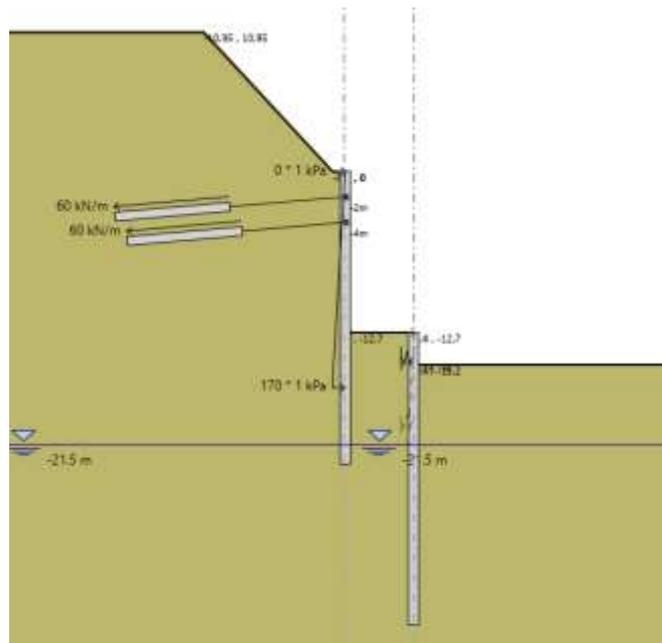


Figura 5-12 – Fase 10

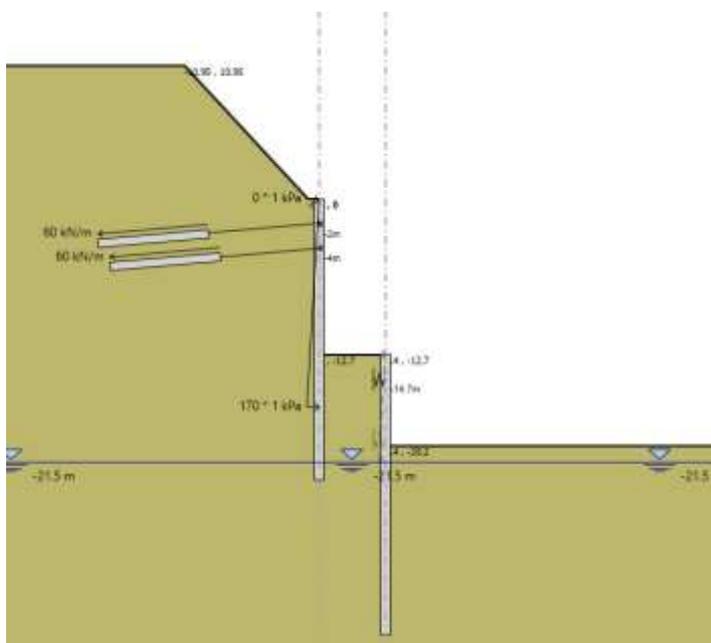


Figura 5-13 – Fase 11

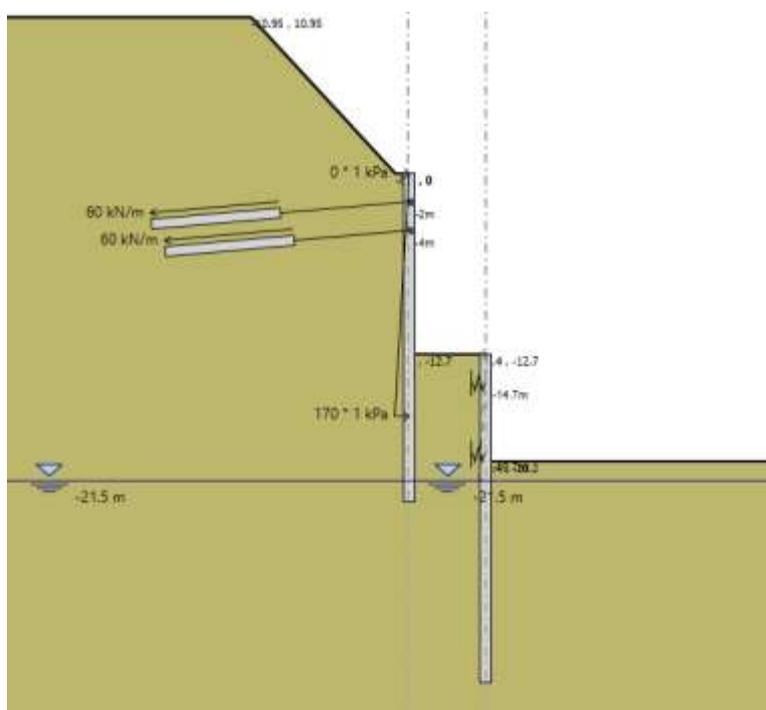


Figura 5-14 – Fase 12

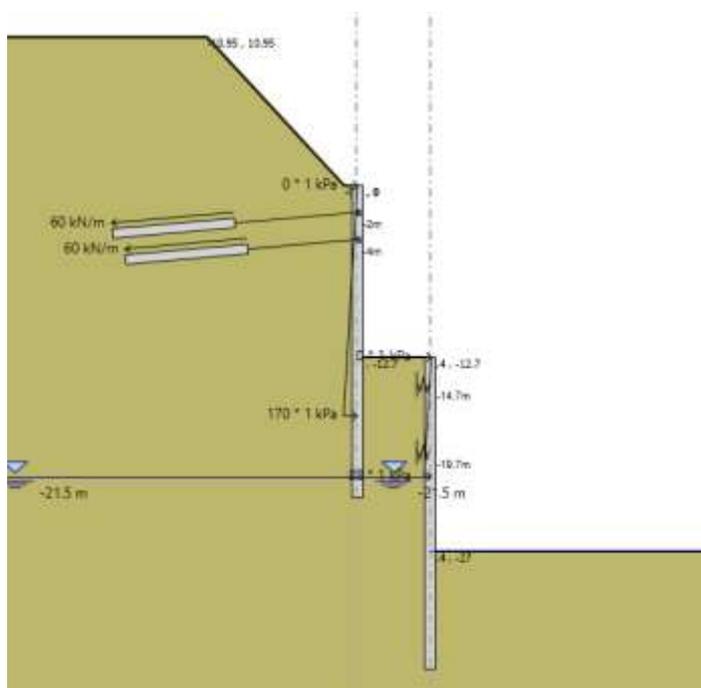


Figura 5-15 – Fase 13

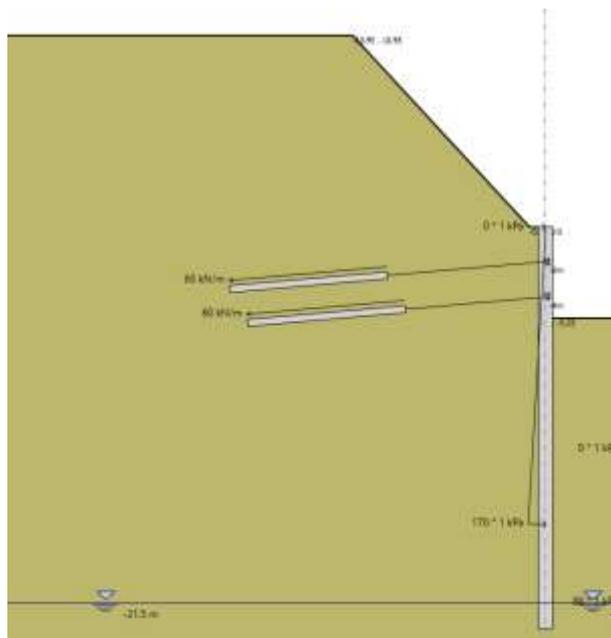


Figura 5-16 – Fase 14

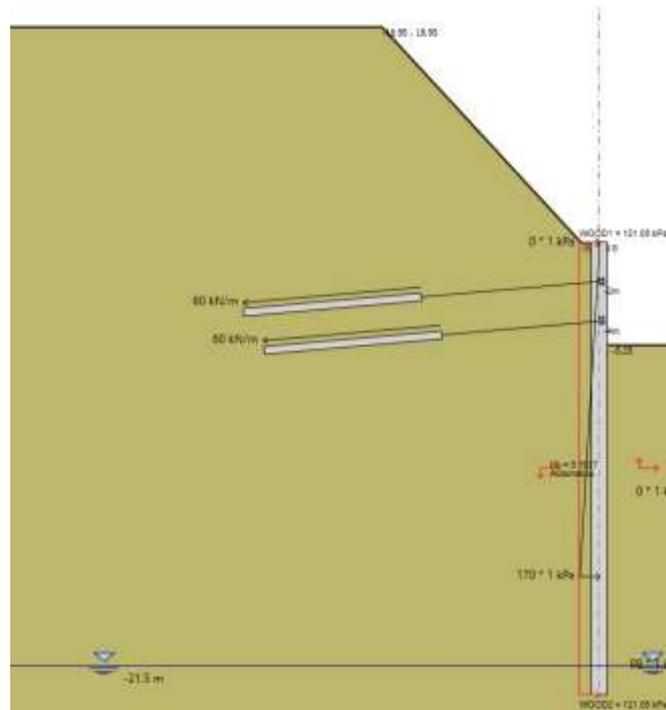


Figura 5-17 – Fase 15

5.7.1.2 Calcolo rigidezza del sistema di puntonamento

Il modello sviluppato con Paratie Plus per lo scavo profondo prevede una paratia con due ordini di puntoni. Al fine di avere libera l’area dello scavo si prevedono dei puntoni inclinati.

Per la taratura delle molle da considerare come simulazione del sistema di puntonamento, è stato considerato un modello di telaio di puntonamento formato da travi perimetrali HEM600 e puntoni interni d’angolo HEB280. La geometria del telaio è stata considerata rettangolare con dimensioni (riferite agli assi degli elementi) 11.6m x 12.6 m:

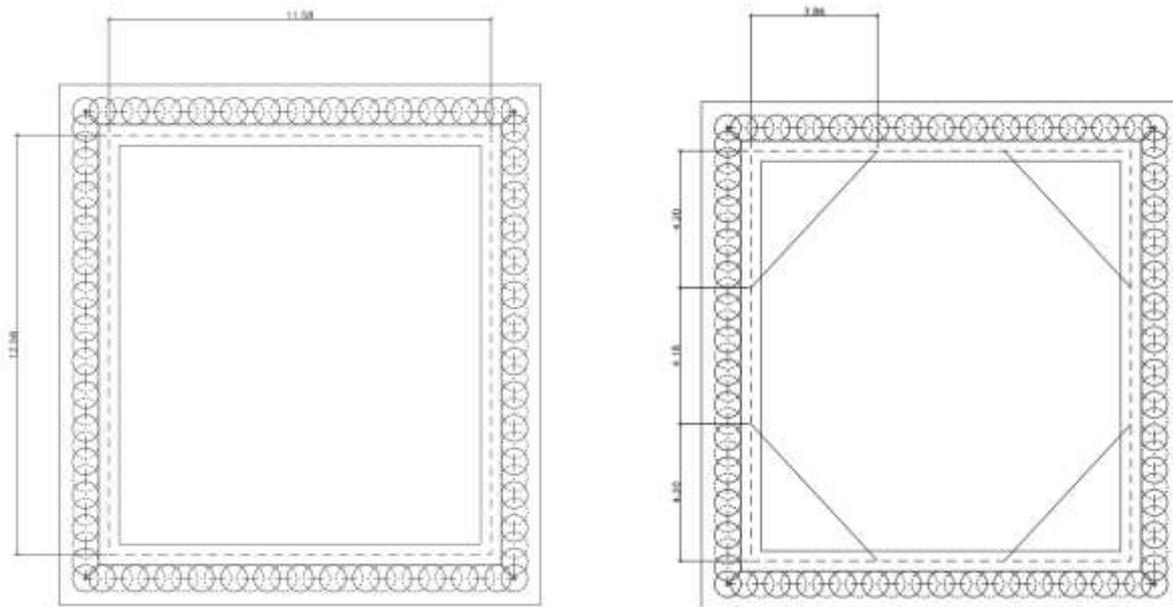


Figura 5-18 – Geometria telaio di puntonamento

Caricando la struttura con un carico uniformemente distribuito di 1.0 kN/m, è stato valutato lo spostamento ortogonale subito dal sistema in corrispondenza del lato considerato come rappresentativo della sezione di calcolo. Invertendo tale valore è stato ricavato il valore di rigidità equivalente da fornire al vincolo nel software Paratie.

Per il modello sviluppato, si ottiene il seguente valore di spostamento pari a 0.0622 mm; ne consegue una rigidità $k= 16077.17$ kN/m delle molle.

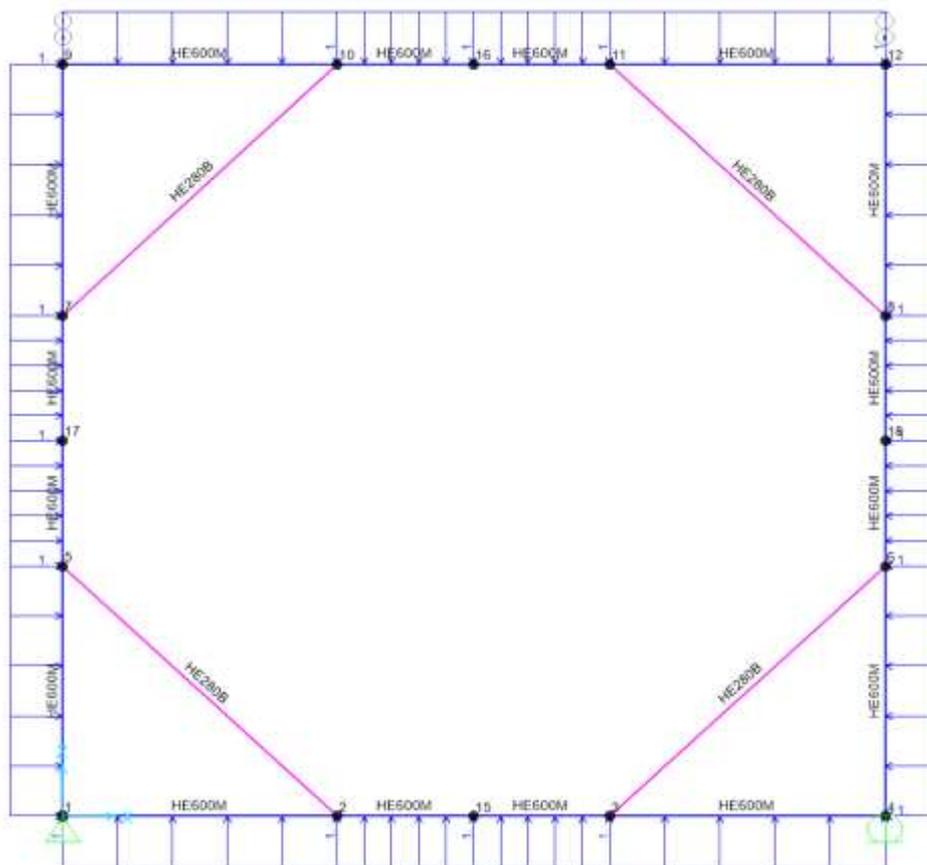


Figura 5-19 – Geometria del telaio modellata nel software SAP 2000

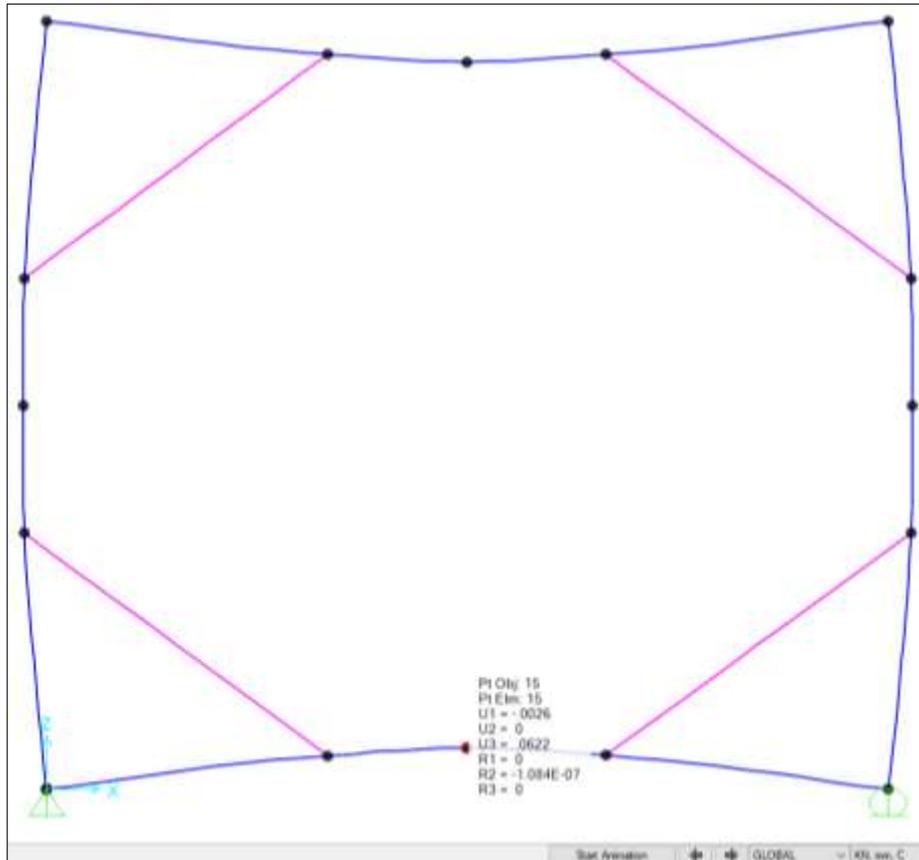


Figura 5-20 – Spostamenti ottenuti con l’applicazione di un carico uniformemente distribuito di 1.0 kN/m

5.8 Risultati

Nei paragrafi seguenti si riportano i risultati delle analisi condotte per il modello implementato, con le indicazioni dei valori massimi e minimi delle caratteristiche della sollecitazione e gli spostamenti massimi attesi.

I valori delle caratteristiche della sollecitazione sono per metro lineare di profondità.

Ai paragrafi successivi, viene poi riportato anche un dimensionamento degli elementi strutturali principali.

5.8.1 Sezione A-A – paratia perimetrale

5.8.1.1 Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU+SLV)

Si riportano di seguito gli involuppi delle sollecitazioni dell’analisi condotta per quanto riguarda la combinazione strutturale SLU (A1+M1+R1) ed SLV.

Il diagramma del momento flettente:

$M_{max} = 1395 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$; momento flettente massimo

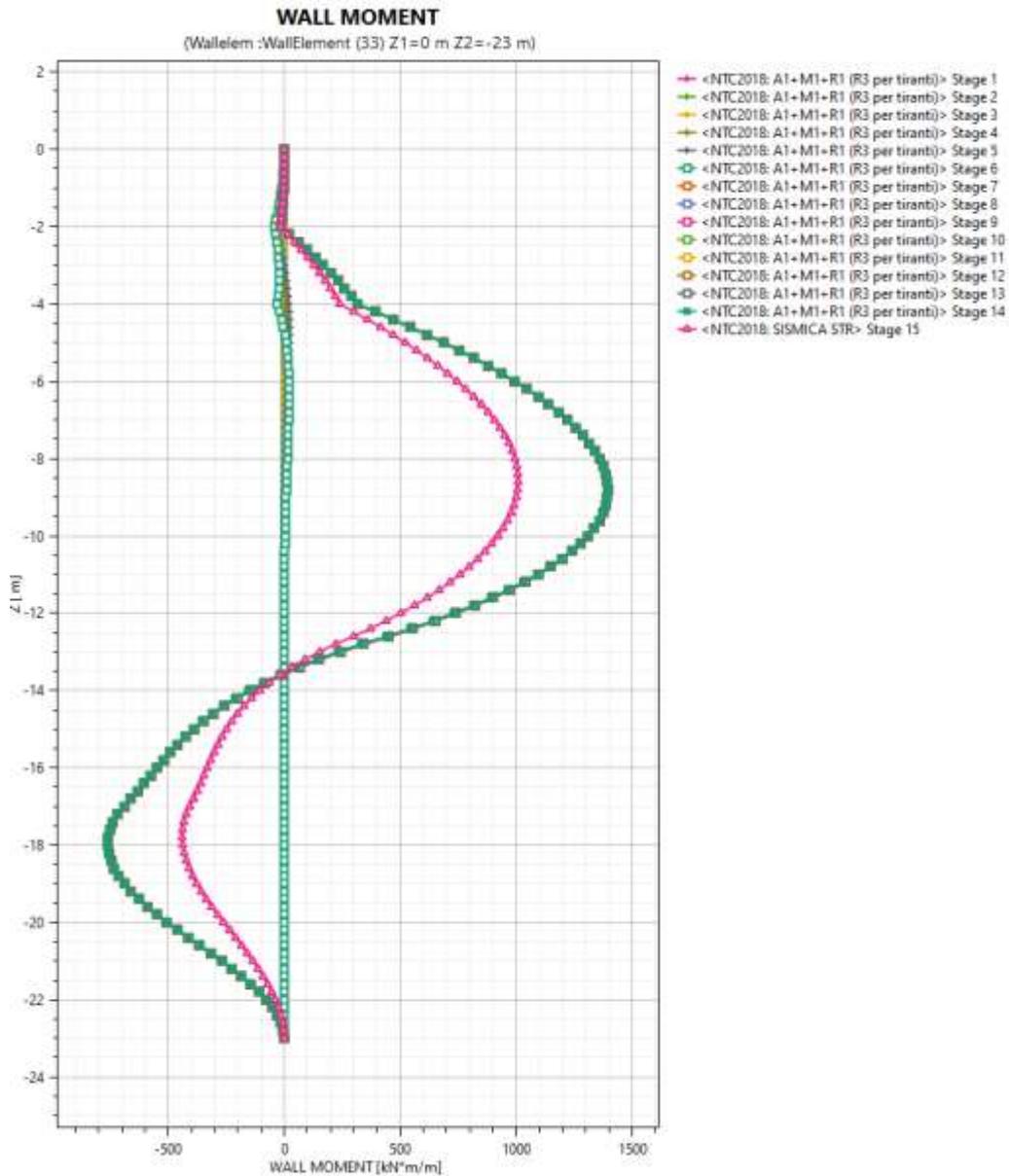


Figura 5-21 – Diagramma del momento flettente – paratia perimetrale

Il diagramma del Taglio:

$T_{max} = 545 \text{ kN/m}$; taglio massimo

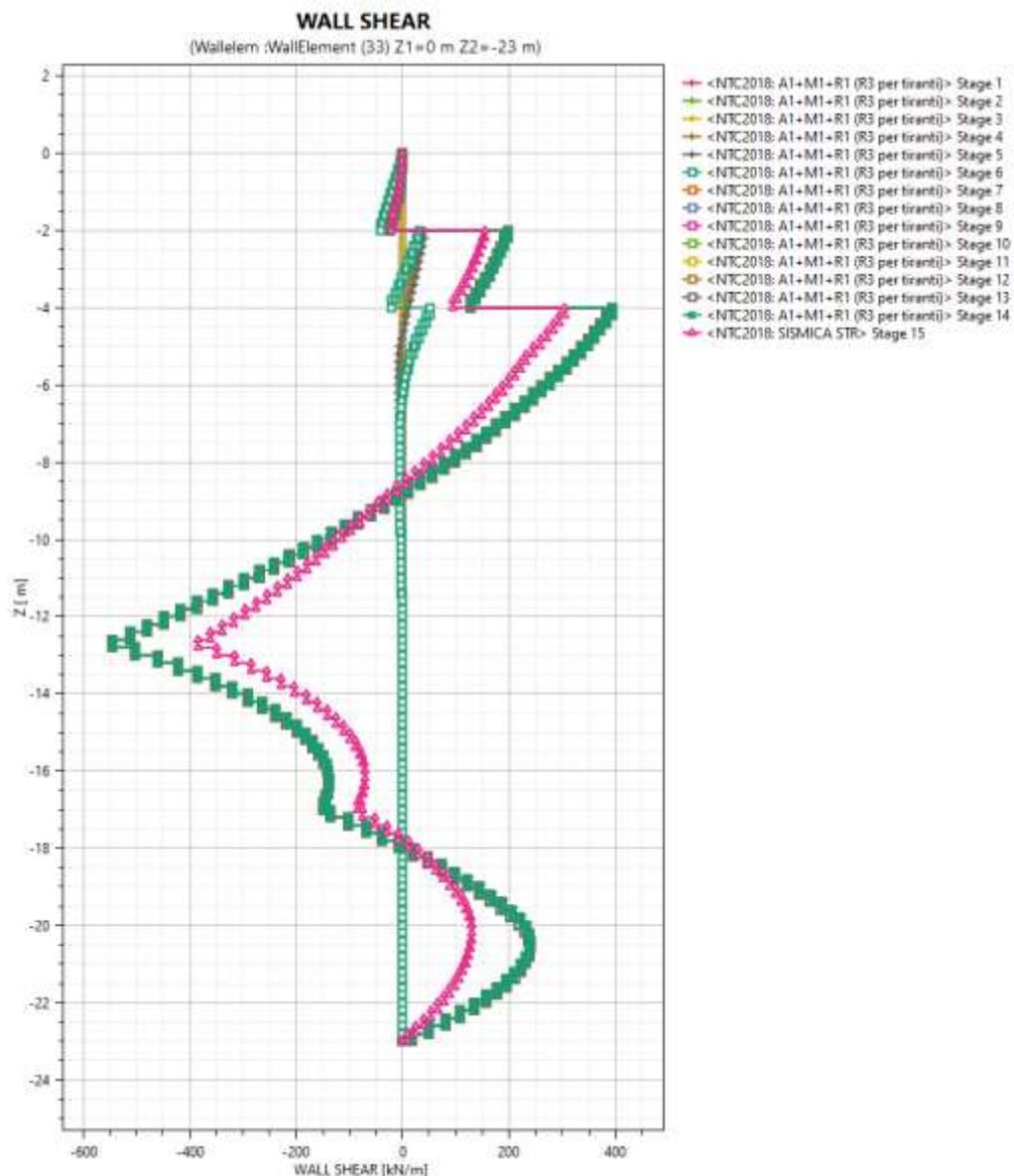


Figura 5-22 – Diagramma del taglio – paratia perimetrale

Il diagramma del momento flettente – Stato SLE:

$M_{max} = 1073 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$; momento flettente massimo

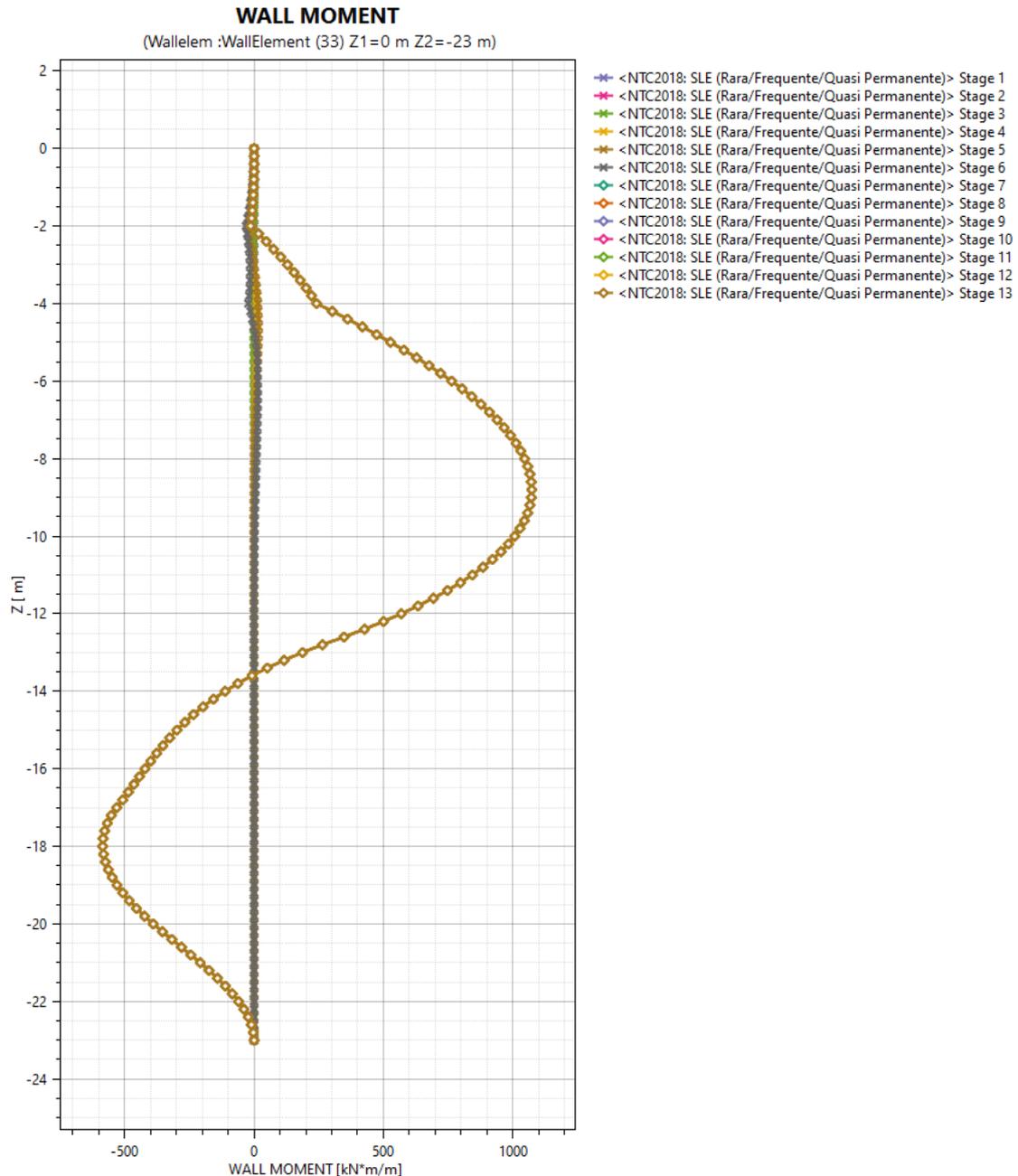


Figura 5-23 – Diagramma del momento flettente – Stato SLE – paratia perimetrale

5.8.1.2 Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)

Verifica nei confronti delle deformazioni:

Gli spostamenti orizzontali massimi agli SLE sono di circa 5.85 cm, inferiori al limite $H_{scavo}/200 = 6.35$ cm, pertanto la verifica di SLE nei confronti di deformabilità viene soddisfatta.

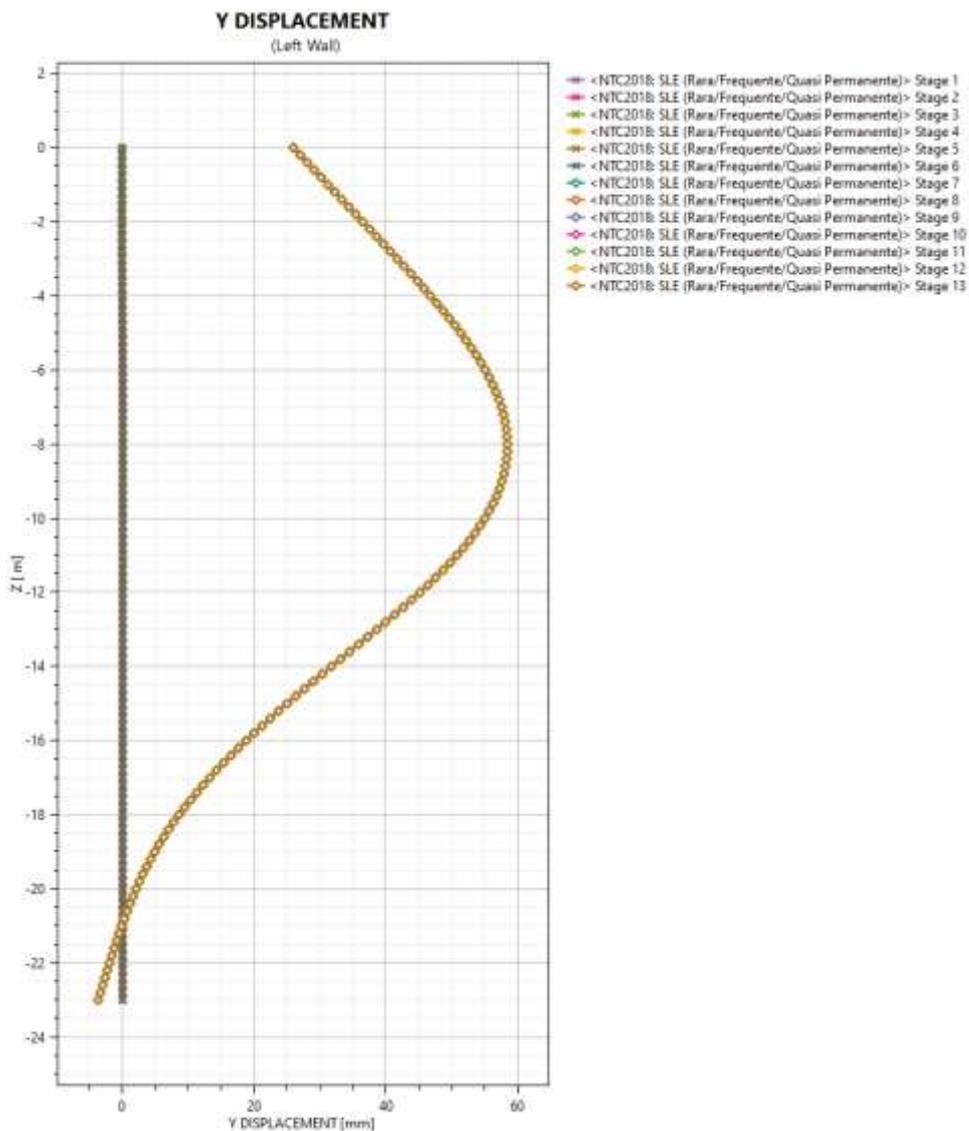


Figura 5-24 – Diagramma spostamenti – paratia perimetrale

5.8.1.3 Verifiche degli elementi strutturali – Pali perimetrali

5.8.1.3.1 Pali

Di seguito vengono riportate le verifiche allo stato limite SLU+SLV ed SLE per le gabbie di armatura. La gabbia 1 ha una lunghezza pari a 6m. La gabbia 2 ha una lunghezza pari a 6m. Le barre della gabbia 2 in corrispondenza dell’attraversamento di TBM sono state progettate in vetroresina (VTR) al fine di facilitare l’attraversamento delle macchine nella zona di scavo. La gabbia 3 ha una lunghezza pari a 11m.

	M,max [kN.m]	M,sle [kNm]	T,max [kN]	N [kN]	z [m]
Gabbia 1	995.00	766.00	-	-75.40	-6.00
	-	-	395.60	-	-4.00
Gabbia 2	1395.00	1073.00	-	-110.58	-8.80
	-	-	420.00	-	-12.00
Gabbia 3	765.00	588.00	-	-226.19	-18.00
	-	-	545.00	-	-12.80

Tabella 3 – Sollecitazioni massime – Pali perimetrali

dove:

- M,max ed T,max sono le sollecitazioni di calcolo; N è lo sforzo normale.
- M,sle è il momento flettente allo stato SLE.
- z è la profondità (rispetto alla testa del palo) in corrispondenza della sollecitazione calcolata.

5.8.1.3.2 Verifica gabbia 1

Armature longitudinali: 20 \varnothing 26 + 20 \varnothing 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio)

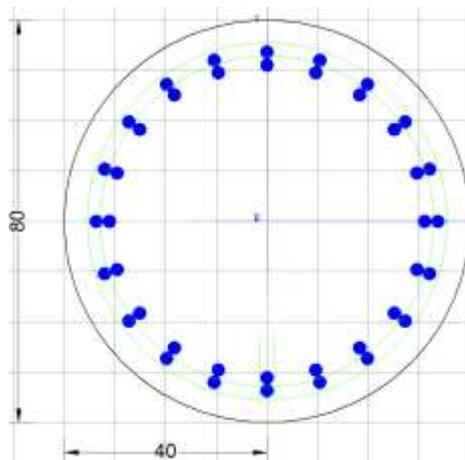


Figura 5-25 – gabbia 1

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd': 7.080	MPa		
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm	
ACCIAIO - Tipo:	B450C		
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	

Resist. caratt. rottura f_{tk} :	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto f_{yd} :	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto f_{td} :	391.30	MPa	
Deform. ultima di progetto E_{pu} :	0.068		
Modulo Elastico E_f :	2000000	daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00		
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50		
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.720	26		
2	0.0 0.0	31.120	26		

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
Passo staffe: 20.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	75.40995.00	0.00395.60	0.00		

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy	
1	75.40	766.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy	
1	75.40	766.00 (238.50)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	75.40	766.00 (238.50)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.1 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	N	75.40	995.000.00	0.00	75.12	1996.26	0.002.01	212.4	

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)

es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc maxes min	Xs min	Ys mines max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00276 0.0	33.7	-0.00511	0.0	-33.7

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000116872	-0.001174874	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	10 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.

L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	395.601288.39439.7061.9	52.4	73.0	1.420	1.011	13.615.1	(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.530.0	0.0-199.8	0.0-33.7716	53.1				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.530.0	0.0-199.8	0.0-33.7716	53.1				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali

Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\text{ eff}}$ [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{\text{max}} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = $sr\text{ max} * (e_{\text{sm}} - e_{\text{cm}})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.001150	0.500	26.0	50	0.00085 (0.00060)	230	0.194 (0.40)	238.500.00	

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.530.0	0.0-199.8	0.0-33.7716	53.1				

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.001150	0.500	26.0	50	0.00090 (0.00060)	230	0.206 (0.30)	238.500.00	

5.8.1.3.3 Verifica gabbia 2

Armature longitudinali: 32 φ 26 + 32 φ 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe φ 10/ 20 cm (in acciaio)

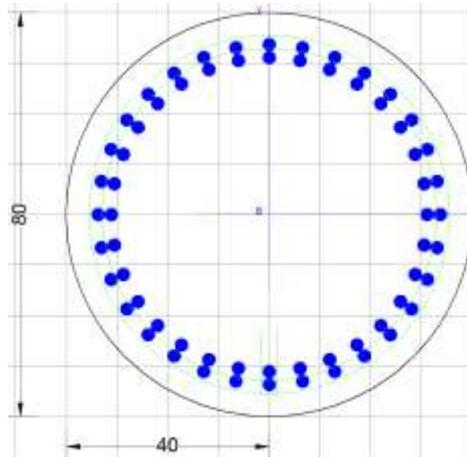


Figura 5-26 – gabbia 2

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C25/30

Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa
Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00
 Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50
 Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.732	26		
2	0.0 0.0	31.132	26		

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
 Passo staffe: 20.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia

con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	110.601395.00	0.00			420.000.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	110.60	1073.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	110.60	1073.00 (303.80)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	110.60	1073.00 (303.80)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	3.5	cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata		
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)		
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia		
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia		
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)		
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia		
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia		
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000		
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm ²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]		

N°Comb	Ver	N	Mx My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	N	110.60	1395.00	0.00	110.53	3004.410.00	2.15	339.8

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione	
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)	
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)	
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)	
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)	
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)	
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)	
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)	
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)	

N°Comb	ec max	Xc max	Yc maxes min	Xs min	Ys mines max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00283 0.0	33.7	-0.00432	0.0-33.7	

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000106053	-0.000742121	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 10 mm
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con $L=lungh.legat.proietta-$
ta sulla direz. del taglio e $d_{max}=$ massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	420.001262	43430.166	1.9	51.3	72.8	1.420	1.016	14.715	1(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.760.0	0.0-181.3	0.0-33.7653	74.3				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.760.0	0.0-181.3	0.0-33.7653	74.3				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
 wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi

Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]

My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cmsr max	wkMx fess	My fess
1	S	-0.001050	0.500	26.0	50	0.00079 (0.00054)	209	0.165 (0.40) 303.800.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1	S	10.760.0	0.0-181.3	0.0-33.7653	74.3
---	---	----------	-----------	-------------	------

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cmsr max	wkMx fess	My fess
1	S	-0.001050	0.500	26.0	50	0.00083 (0.00054)	209	0.173 (0.30) 303.800.00

5.8.1.3.4 Verifica gabbia 2 con armatura in VTR

Armature longitudinali: 28 \varnothing 30 + 28 \varnothing 30 (in VTR)

Armature trasversali: staffe \varnothing 12/ 20 cm (in VTR)

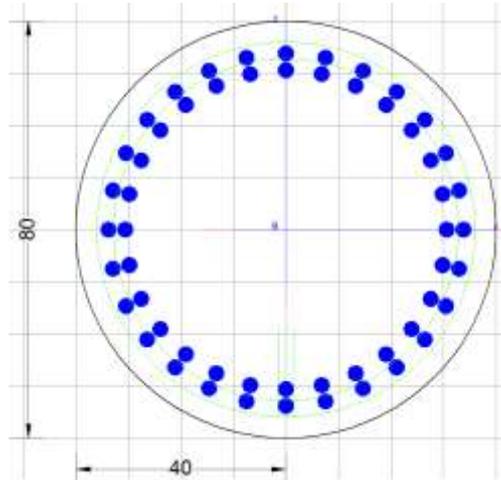


Figura 5-27 – gabbia 2 con armatura in VTR

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:		Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	

VETRORESINA - Tipo:	VTR (30)		
Resist. caratt. snervam. fyk:	531.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	600.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	462.00	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	522.00	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.014		
Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.828	30		
2	0.0 0.0	30.828	30		

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	110.601395.00	0.00	0.00	0.000.00	

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.7 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.9 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm ²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	N	110.60	1395.00		0.00	110.53	1547.870.00	1.11	395.8

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00280	0.0	33.8	-0.00480	0.0	33.8	

VERIFICHE A TAGLIO

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

VETRORESINA - Tipo:	VTR(12)		
Resist. caratt. snervam. fyk:	335.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	379.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	291.00	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	330.00	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.007		
Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	

Diam. Staffe: 12 mm
 Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	420.00	1268.64	624.72	262.0	52.2	73.0	1.420	1.000	14.521.5(0.0)

Verifica gabbia 3

Armature longitudinali: 24 φ 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe φ 12/ 10 cm (in acciaio)

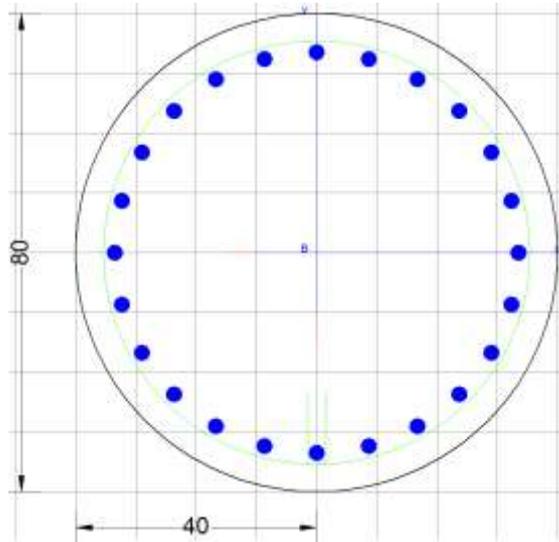


Figura 5-28 – gabbia 3

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:		Parabola-Rettangolo	
Modulo elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm	

ACCIAIO - Tipo:	B450C		
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa	

Deform. ultima di progetto Epu: 0.068
 Modulo Elastico Ef 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito
 Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00
 Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50
 Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	33.524	26	

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm
 Passo staffe: 10.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
Vy con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1		226.20765.00	0.00545.00		0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	226.20	588.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	226.20	588.00 (206.13)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	226.20	588.00 (206.13)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	6.1	cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata						
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)						
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia						
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia						
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)						
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia						
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia						
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000						
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm ²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]						

N°Comb	Ver	N	Mx My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic. As Totale
1	S	226.20	765.000.00	225.94	1348.65	0.001.76	127.4(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione	
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)	
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)	
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)	
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)	

Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00265	0.0	33.5	-0.00609	0.0	33.5	0.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000130491	-0.001719644	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
 Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	545.001332.47674.7862.1	53.7	72.2	1.420	1.032	18.322.6(0.0)	

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.710.0	0.0-218.7	0.0-33.5748	26.5				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.710.0	0.0-218.7	0.0-33.5748	26.5				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]

Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]

sr max Massima distanza tra le fessure [mm]

wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi

Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]

My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.001260	0.500	26.0	52	0.00083 (0.00066)	301	0.250 (0.40)	206.130.00	

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1	S	10.710.0	0.0-218.7	0.0-33.5748	26.5					
---	---	----------	-----------	-------------	------	--	--	--	--	--

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.001260	0.500	26.0	52	0.00092 (0.00066)	301	0.276 (0.30)	206.130.00	

5.8.1.3.5 Verifica tiranti

Nella seguente tabella si riassumono le caratteristiche dei tiranti:

Tabella 4 – Caratteristiche dei tiranti di ancoraggio

Ordine	Diametro perforazione	Lunghezza Libera	Lunghezza bulbo	Passo	Inclinazione	Trefoli	Tipologia iniezione
	[m]	[m]		[m]	[°]	N.	-
1	0.2	9	9	3	5	3	IGU
2	0.2	8	9	3	5	3	IGU

La verifica geotecnica a sfilamento delle barre di ancoraggio è stata condotta secondo quanto previsto per i tiranti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei coefficienti parziali indicati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II per quanto riguarda azioni e parametri del terreno e di un coefficiente parziale sulle resistenze γ_R pari a 1.2 per tiranti permanenti (tabella 6.6.I delle NTC).

Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

Il valore della resistenza caratteristica allo sfilamento $R_{a,k}$ viene determinato dalla resistenza di calcolo $R_{a,c}$ (considerando il suo valor medio) attraverso il fattore di correlazione (ξ_{a3} in funzione del numero di verticali di indagine ($\xi_{a3} = 1.8$ nel caso in esame avendo a disposizione 1 verticale di indagine):

$$R_{a,k} = R_{a,c} / \xi_{a3}$$

Tab. 6.6.III - Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine

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

Il valore della resistenza di calcolo $R_{a,c}$ viene determinato come segue:

$$R_{a,c} = D \cdot \alpha \cdot p \cdot L \cdot \tau_s$$

Dove:

D = diametro di perforazione

α = coefficiente di maggiorazione del diametro di perforazione, funzione del tipo di terreno e di iniezione, assunto pari a 1.10 nel caso in esame per le unità geotecniche attraversate dai tiranti. È stata adottata la tecnica di iniezione globale unica (IGU);

L = lunghezza del bulbo di ancoraggio

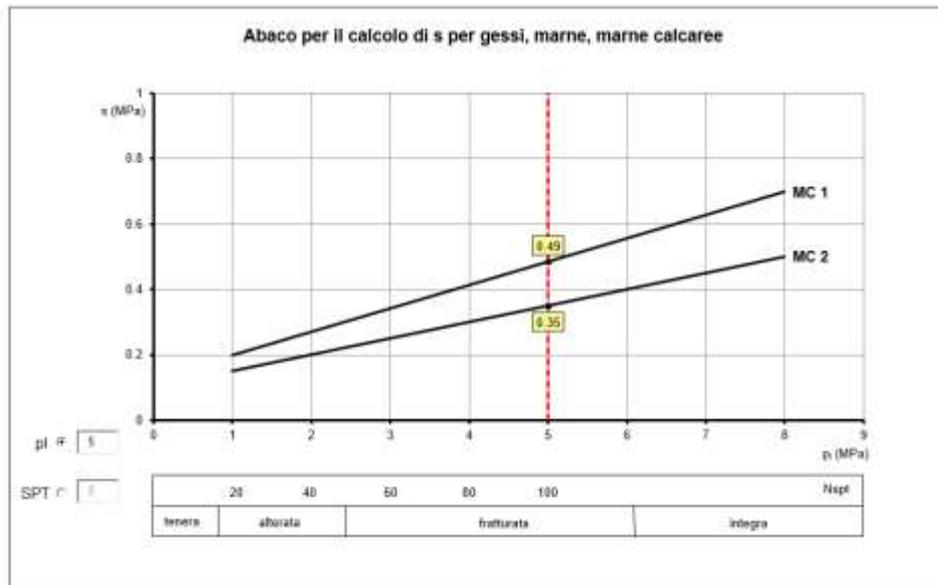
τ_s = tensione limite di aderenza fra bulbo e terreno

Tipo di terreno	Coefficiente α	
	IRS*	IGU**
Ghiaia	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 grossolana	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Sabbia fine	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	1.2
Marna	1.8	1.1 - 1.2
Marna calcarea	1.8	1.1 - 1.2
Arenaria alterata o fratturata	1.8	1.1 - 1.2
Roccia alterata o fratturata	1.2	1.1

IRS: Iniezione ripetuta selettiva
 IGU: Iniezione globale unica

Per la stima della tensione limite di aderenza tra bulbo e terreno si è fatto riferimento alle indicazioni di Bustamante e Doix (1985) per le iniezioni IGU relative a terreni incoerenti.

Dalle indagini in-situ si è ottenuto un valore di pressione limite pari a 5 Mpa, da cui $\tau_s = 350$ kPa per lo strato in esame “conglomerati fortemente cementati”.



* $S = \tau_s$

*MC2 = IGU

Il valore della resistenza di progetto allo sfilamento del bulbo $R_{a,d}$ si ottiene applicando alla resistenza caratteristica $R_{a,k}$ il coefficiente parziale sulle resistenze γ_R precedentemente definito:

$$R_{a,d} = R_{a,k} / \gamma_R = R_{a,c} / (\xi a_3 \cdot \gamma_R)$$

La verifica allo sfilamento risulta soddisfatta quando:

$$R_{a,d} > E_d \text{ (sollecitazione)}$$

La resistenza a trazione di progetto delle barre in acciaio si determina fattorizzando la tensione di snervamento caratteristica con il coefficiente parziale $\gamma_s = 1.15$. La verifica strutturale del tirante risulta soddisfatta quando:

$$R_{t,d} = f_{yk} / \gamma_s \cdot \text{Acciaio} > E_d$$

Infine va rispettata la gerarchia delle resistenze ovvero la resistenza a trazione di progetto delle barre in acciaio deve essere maggiore della resistenza a sfilamento:

$$R_{t,d} > R_{a,d}$$

Di seguito si riportano le verifiche dei tiranti effettuate internamente al software paratie:

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) ▾

Tiranti: Puntoni | Tiranti di Ripartizione in Acciaio | Tiranti di Ripartizione in Calcestruzzo

Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Tieback	Stage 4	234	1007.9	1367.9	0.232	0.171	✓	✓
Tieback	Stage 5	234.56	1007.9	1367.9	0.233	0.171	✓	✓
Tieback	Stage 6	232.79	1007.9	1367.9	0.231	0.17	✓	✓
Tieback	Stage 7	680.55	1007.9	1367.9	0.675	0.497	✓	✓
Tieback	Stage 8	680.56	1007.9	1367.9	0.675	0.498	✓	✓
Tieback	Stage 9	680.57	1007.9	1367.9	0.675	0.498	✓	✓
Tieback	Stage 10	680.57	1007.9	1367.9	0.675	0.498	✓	✓
Tieback	Stage 11	680.57	1007.9	1367.9	0.675	0.498	✓	✓
Tieback	Stage 12	680.57	1007.9	1367.9	0.675	0.498	✓	✓
Tieback	Stage 13	680.57	1007.9	1367.9	0.675	0.498	✓	✓
Tieback	Stage 14	682.66	1007.9	1367.9	0.677	0.499	✓	✓
Tieback	Stage 15	682.67	1007.9	1367.9	0.677	0.499	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 6	234	1007.9	1367.9	0.232	0.171	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 7	836.75	1007.9	1367.9	0.83	0.612	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 8	836.75	1007.9	1367.9	0.83	0.612	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 9	836.76	1007.9	1367.9	0.83	0.612	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 10	836.76	1007.9	1367.9	0.83	0.612	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 11	836.76	1007.9	1367.9	0.83	0.612	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 12	836.76	1007.9	1367.9	0.83	0.612	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 13	836.76	1007.9	1367.9	0.83	0.612	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 14	837.5	1007.9	1367.9	0.831	0.612	✓	✓
Tieback_New_New	Stage 15	837.51	1007.9	1367.9	0.831	0.612	✓	✓

Figura 5-29 – Verifiche tiranti

Le verifiche risultano soddisfatte ai sensi delle NTC 2018.

5.8.1.3.6 Verifica trave di ripartizione

Di seguito si riportano le verifiche strutturali dei profili HEB 220 in acciaio S275 utilizzati come travi di ripartizione per tiranti.



Figura 5-30 - Inserimento trave di ripartizione in Paratie

La verifica è eseguita internamente al software Paratie e di seguito se ne riportano gli esiti:

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (AS per tiranti)

Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito(kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento Momenti	Sfruttamento Taglio	Instabilità
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 4	78	0	0.238	0.191	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 5	78.188	0	0.239	0.191	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 6	77.596	0	0.237	0.19	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 6	78	0	0.238	0.191	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 7	226.85	0	0.662	0.554	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 7	278.92	0	0.851	0.681	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 8	226.85	0	0.662	0.554	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 8	278.92	0	0.851	0.681	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 9	226.86	0	0.662	0.554	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 9	278.92	0	0.851	0.681	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 10	226.86	0	0.662	0.554	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 10	278.92	0	0.851	0.681	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 11	226.86	0	0.662	0.554	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 11	278.92	0	0.851	0.681	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 12	226.86	0	0.662	0.554	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 12	278.92	0	0.851	0.681	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 13	226.86	0	0.662	0.554	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 13	278.92	0	0.851	0.681	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 14	227.55	0	0.684	0.556	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 14	279.17	0	0.852	0.682	0
Default Water	Tieback	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 15	227.56	0	0.684	0.556	0
Default Water	Tieback_New_New	HE 220B	S275	3	NTC2018: A1+M1	Stage 15	279.17	0	0.852	0.682	0

Figura 5-31 - Verifiche trave di ripartizione

Le verifiche risultano soddisfatte.

5.8.2 Sezione A-A – Pali CSP

5.8.2.1 Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU)

Si riportano di seguito gli involuppi delle sollecitazioni dell’analisi condotta per quanto riguarda la combinazione strutturale SLU (A1+M1+R1).

Il diagramma del momento flettente:

$M_{max} = 398 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$; momento flettente massimo

WALL MOMENT

(Wallelem :WallElement New (270721) Z1=-12.7 m Z2=-35.7 m)

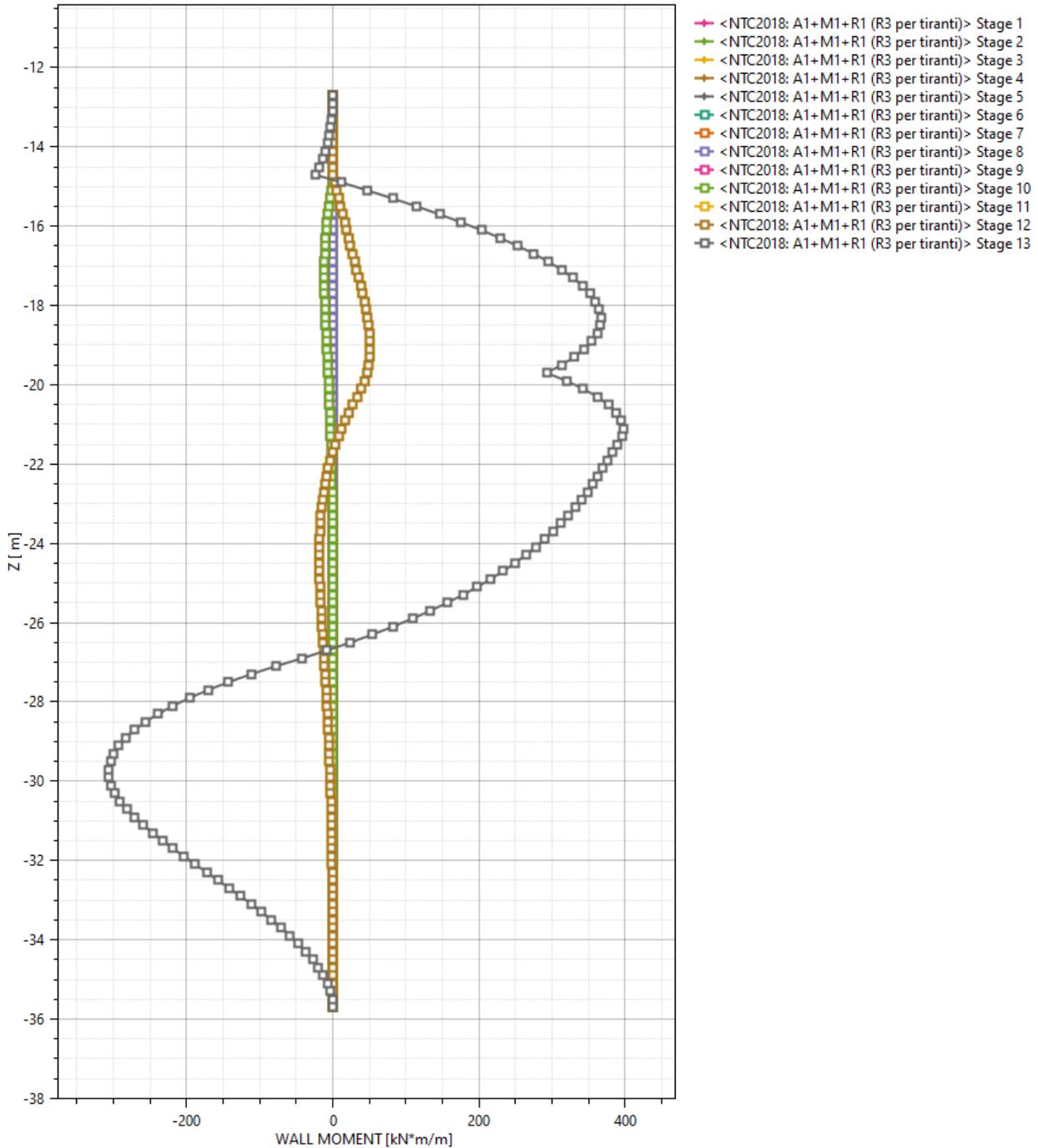


Figura 5-32 – Diagramma del momento flettente – pali CSP

Il diagramma del Taglio:

$T_{max} = 183 \text{ kN/m}$; taglio massimo

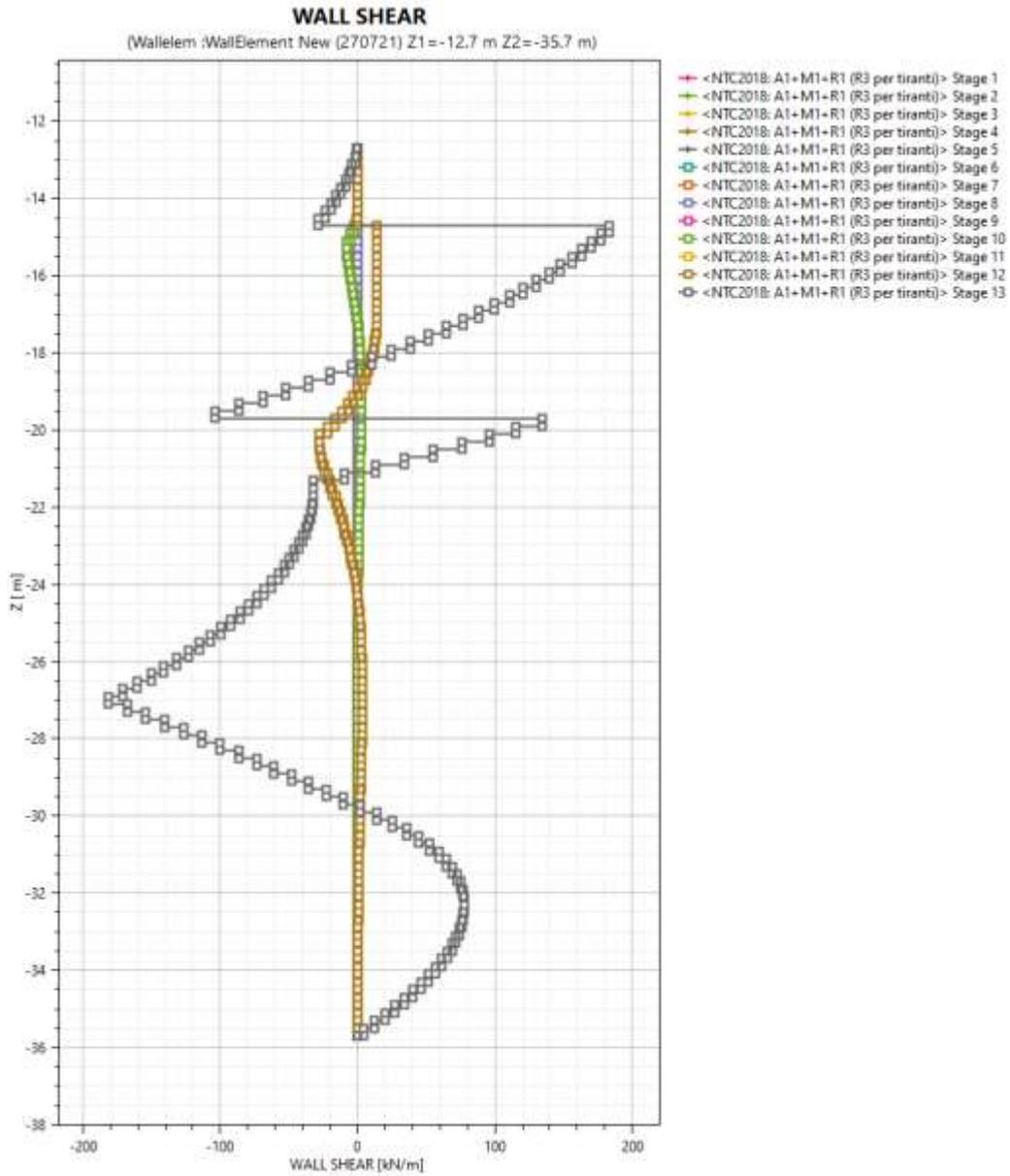


Figura 5-33 – Diagramma del taglio – Pali CSP

5.8.2.2 Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)

Verifica nei confronti delle deformazioni:

Gli spostamenti orizzontali massimi agli SLE sono di circa 1.3 cm, inferiori al limite $H_{scavo}/200 = 7.15$ cm, pertanto la verifica di SLE nei confronti di deformabilità viene soddisfatta.

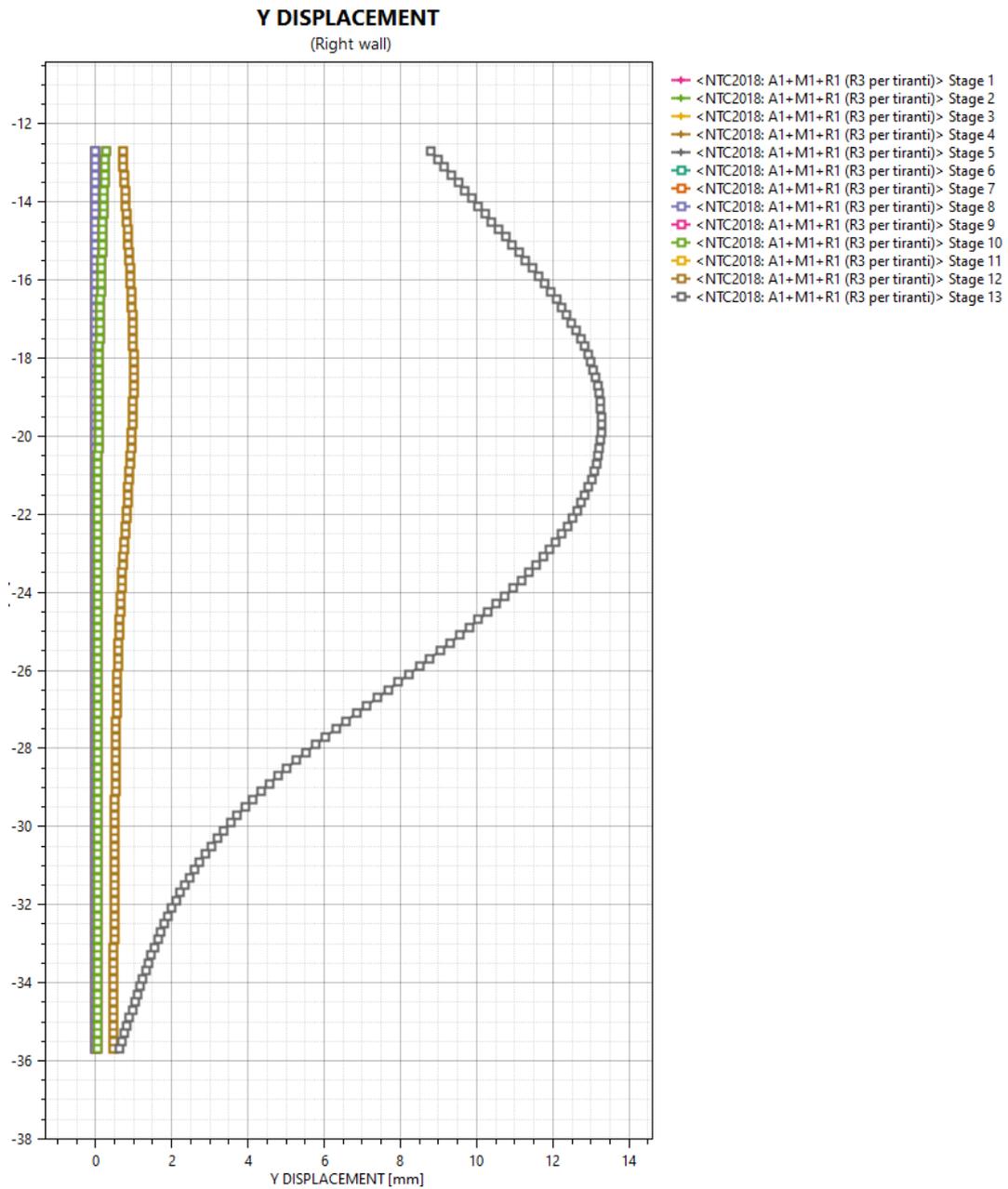


Figura 5-34 – Diagramma spostamenti – Pali CSP

5.8.2.3 Verifiche degli elementi strutturali – Pali CSP

Di seguito vengono riportate le verifiche allo stato limite SLU per le gabbie di armatura. La gabbia 1 ha una lunghezza pari a 12 m. Le barre della gabbia 1, per una lunghezza pari a 3m, sono state progettate in vetroresina (VTR) al fine di facilitare l’attraversamento della macchina del microtunneling nella zona di scavo. La gabbia 2 con una lunghezza pari a 11 m è stata dimensionata per la parte inferiore.

	M,max [kN.m]	T,max [kN]	z [m]
Gabbia 1	398.00	-	-12.00
	-	183.00	-2.20
Gabbia 1 (VTR)	356.00	-	-9.80
	-	107.00	-12.80
Gabbia 2	307.00	-	-17.20
	-	182.00	-14.40

Tabella 5 – Sollecitazioni massime – Pali CSP

dove:

- M,max ed T,max sono le sollecitazioni di calcolo.
- z è la profondità (rispetto alla testa del palo) in corrispondenza della sollecitazione calcolata.

5.8.2.3.1 Verificha gabbia 1

Armature longitudinali: 12 ϕ 20 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe ϕ 10/ 10 cm (in acciaio)

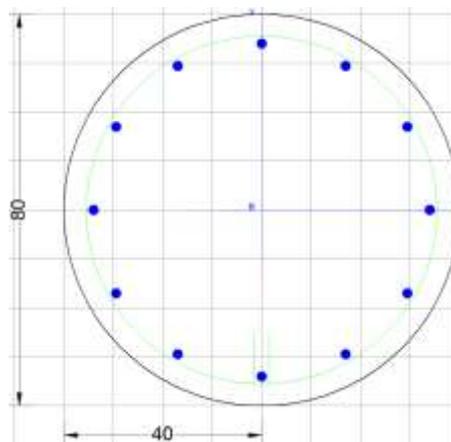


Figura 5-35 – gabbia 1

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto f_{cd} :	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta f_{cd}' :	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza $ec2$:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu :	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale E_c :	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione f_{ctm} :	2.560	MPa	
ACCIAIO - Tipo:	B450C		
Resist. caratt. snervam. f_{yk} :	450.00	MPa	
Resist. caratt. rottura f_{tk} :	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto f_{yd} :	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto f_{td} :	391.30	MPa	
Deform. ultima di progetto E_{pu} :	0.068		

Modulo elastico Ef 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	34.012	20	

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
Passo staffe: 20.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y

Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00398.00	0.00183.00	0.00		

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	15.6	cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata						
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)						
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia						
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia						
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)						
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia						
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia						
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000						
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]						

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	398.000.00	0.00	0.00	456.92	0.001.15	37.7	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)

1 S 183.001275.84264.9166.7| 60.7 63.1 1.420 1.000 5.47.9(0.0)

•

5.8.2.3.2 Verifica gabbia 1 con armature in VTR

Armature longitudinali: 12 \varnothing 20 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 12/ 20 cm (in acciaio)

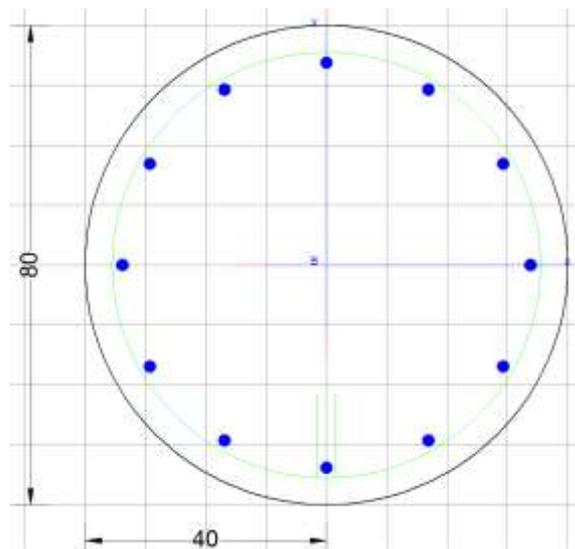


Figura 5-36 – gabbia 1 con armatura in VTR

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	

VETRORESINA -	Tipo:	VTR (20)		
	Resist. caratt. snervam. fyk:	690.00	MPa	
	Resist. caratt. rottura ftk:	780.00	MPa	
	Resist. snerv. di progetto fyd:	600.00	MPa	
	Resist. ultima di progetto ftd:	678.00	MPa	
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.018		
	Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²	
	Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	33.812	20	

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1		0.00356.00	0.000.00		0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 15.5 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	356.000.00	0.00	0.00	463.50	0.001.30	37.7	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)

Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc maxes min	Xs min	Ys mines max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00222 0.0	33.8	-0.01171	0.0-33.8	

VERIFICHE A TAGLIO

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

VETRORESINA -	Tipo:	VTR(12)		
	Resist. caratt. snervam. fyk:	335.00	MPa	
	Resist. caratt. rottura ftk:	379.00	MPa	
	Resist. snerv. di progetto fyd:	291.00	MPa	
	Resist. ultima di progetto ftd:	330.00	MPa	
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.007		
	Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		

Diam. Staffe: 12 mm
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°CombVer	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	107.001251.00385.1767.5	61.3	61.2	1.420	1.000	3.111.3(0.0)

5.8.2.3.3 Verifica gabbia 2

Armature longitudinali: 10 \varnothing 20 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio)

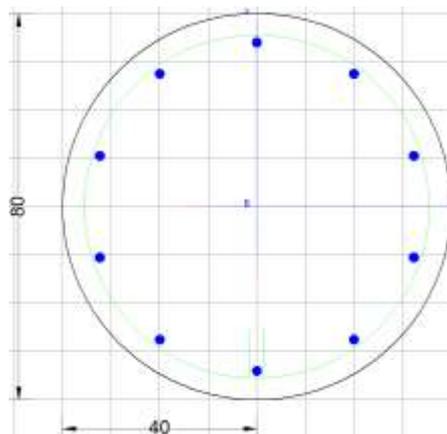


Figura 5-37 – gabbia 2

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C25/30			
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
ACCIAIO - Tipo: B450C			
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	

Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	34.010	20	

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
Passo staffe: 20.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00307.00	0.00182.00	0.00		

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 19.0 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	307.000.00	0.00	0.00	388.48	0.001.27	31.4(15.1)	

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)

es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00208	0.0	34.0	-0.01406	0.0-34.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000237355	-0.005994184		

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	10 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.

L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°CombVer	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	182.001259.29269.2167.7	61.7	61.2	1.420	1.000	5.37.9(0.0)

5.8.2.3.4 Puntoni

Il sistema di puntonamento è realizzato da un telaio in acciaio formato da travi perimetrali HEM600 e puntoni interni d’angolo HEB280. La reazione sui puntoni, ovvero sulle molle inserite nel software di calcolo paratie, definisce il valore del carico da applicare sul sistema di puntonamento al fine di effettuarne le verifiche. La reazione massima vale 257.1 kN/m. Tale valore viene applicato al sistema di puntonamento:

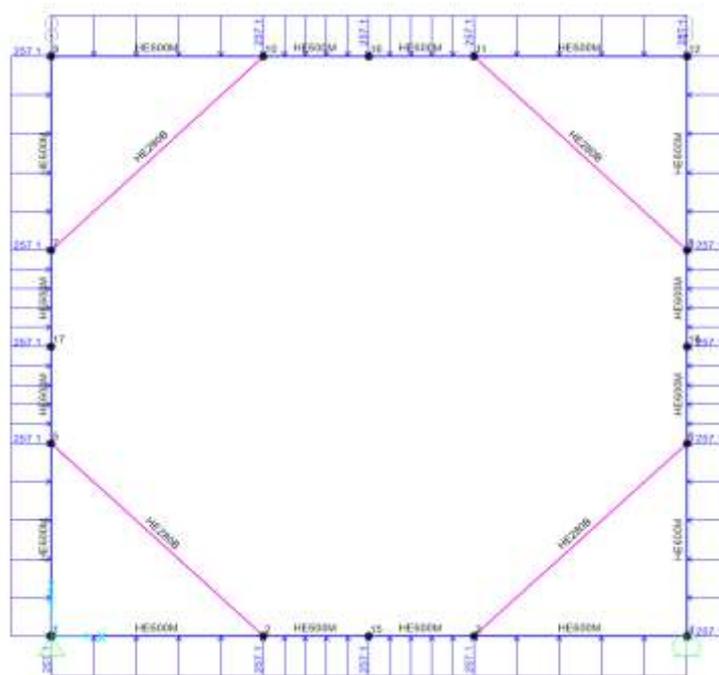


Figura 5-38 – Applicazione del carico sul sistema di puntonamento

Le sollecitazioni agenti nel piano sono le seguenti:

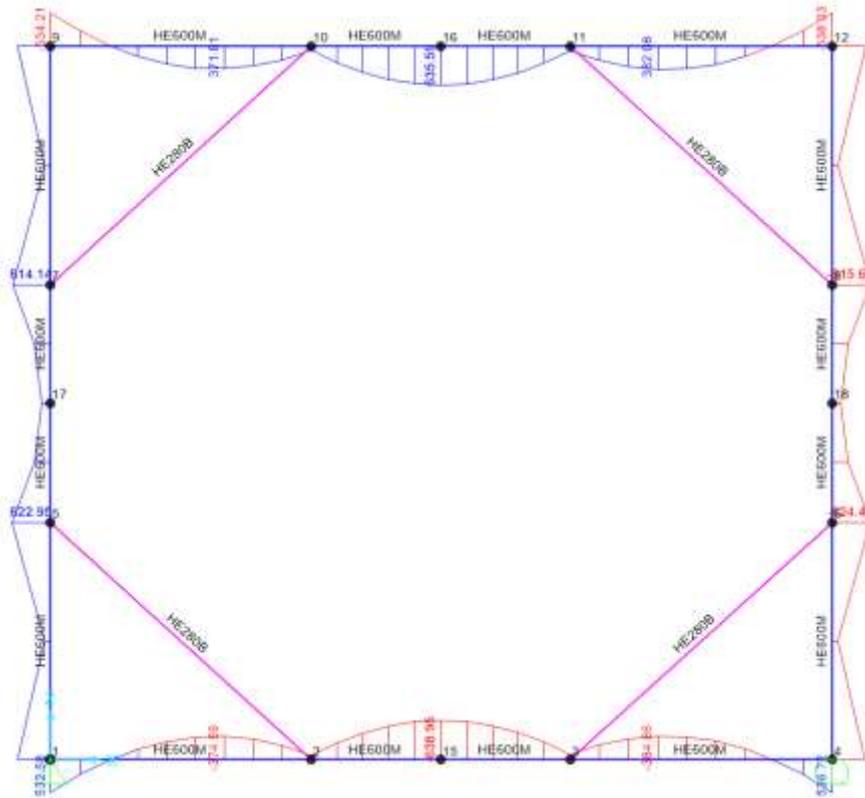


Figura 5-39 – Diagramma del momento flettente

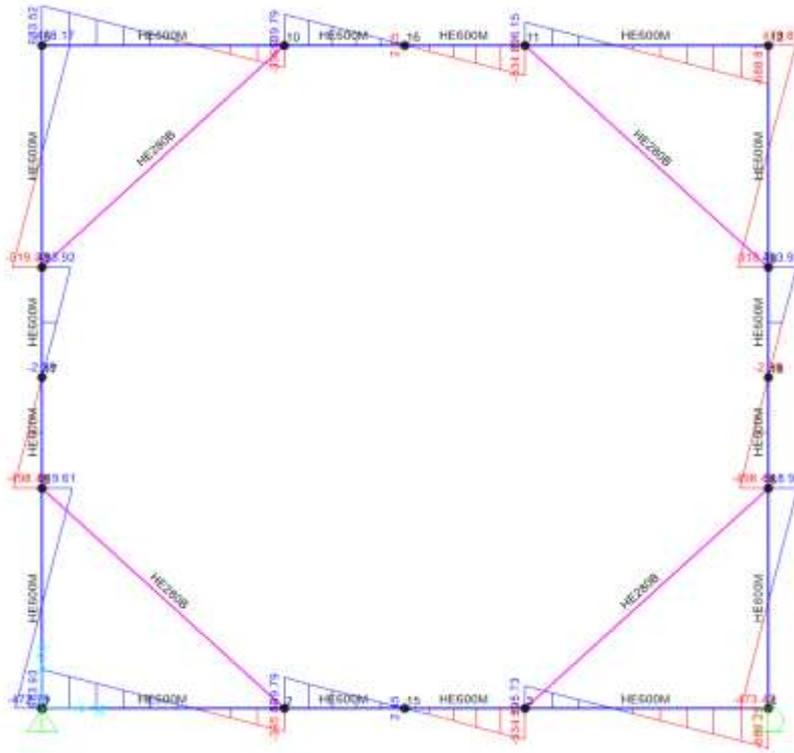


Figura 5-40 – Diagramma del taglio

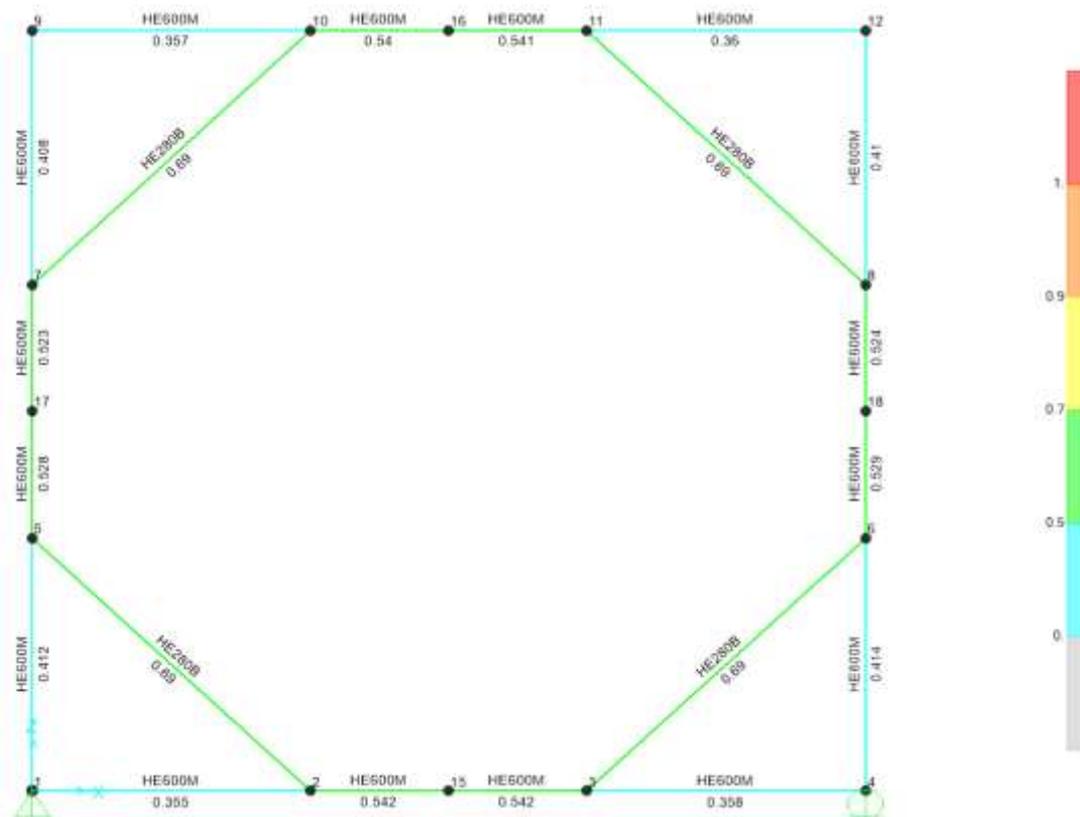


Figura 5-42 – Tasso di sfruttamento degli elementi

I fattori di sicurezza sono tutti minori dell'unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte. Il tasso di lavoro maggiore si registra per i puntoni HEB 280 ($FS=0.69 < 1$) per cui si riportano le verifiche in dettaglio:

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : KN, m, C						
Frame : 21	X Mid: 2.1	Combo: SLU 1	Design Type: Brace			
Length: 5.704	Y Mid: 1.	Shape: HE280B	Frame Type: Non Dissipative			
Loc : 5.704	Z Mid: 1.93	Class: Class 1	Rolled : Yes			
Interaction=Method B		MultiResponse=Envelopes		P-Delta Done? No		
Consider Torsion? No						
GammaM0=1.05	GammaM1=1.05	GammaM2=1.25				
An/Ag=1.	RLLF=1.	PLLF=0.75	D/C Lim=0.95			
Aeff=0.013	eNy=0.	eNz=0.				
A=0.013	Iyy=1.927E-04	iyy=0.121	We1,yy=0.001	Weff,yy=0.001		
It=1.460E-06	Izz=6.595E-05	izz=0.071	We1,zz=4.711E-04	Weff,zz=4.711E-04		
Iw=1.132E-06	Iyz=0.	h=0.28	Wp1,yy=0.002	Av,y=0.011		
E=210000000.	fy=275000.	fu=430000.	Wp1,zz=7.180E-04	Av,z=0.004		
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
5.704	-1382.76	0.	0.	0.	0.	0.
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)						
D/C Ratio: 0.69 = 0.69 + 0. + 0. < 0.95 OK						
= NEd/(Chi_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)						
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-1382.76	3430.952	3430.952			
	Np1,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
	3430.952	4055.76	9623.611	9623.611	1.	
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi
Major (y-y)	b	0.34	12274.069	0.542	0.705	0.865
MajorB(y-y)	b	0.34	12274.069	0.542	0.705	0.865
Minor (z-z)	c	0.49	4200.7	0.926	1.107	0.584
MinorB(z-z)	c	0.49	4200.7	0.926	1.107	0.584
Torsional TF	c	0.49	9623.611	0.612	0.788	0.778
						Nb,Rd
						2968.588
						2968.588
						2003.342
						2003.342
						2670.478
MOMENT DESIGN						
	Med	Med,span	Mm,Ed	Meq,Ed		
	Moment	Moment	Moment	Moment		
Major (y-y)	0.	0.	0.	0.		
Minor (z-z)	0.	0.	0.	0.		
	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd		
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity		
Major (y-y)	401.762	401.762	271.09	351.744		
Minor (z-z)	188.048	188.048	178.598			
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw
LTB	b	0.34	0.519	0.689	0.876	1.132E-06
						Mcr
						1563.466
	kw	Psi	C2	C3		
Factors	1.	1.75	0.	0.941		
	za	zs	zg	zz	zj	
	0.14	0.	0.14	0.	0.	
	kyy	kyz	kzy	kzz		
Factors	1.159	1.119	0.915	1.864		
SHEAR DESIGN						
	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status	
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check	
Major (z)	0.	0.	615.881	0.	OK	
Minor (y)	0.	0.	1593.459	0.	OK	
	Vp1,Rd	Eta	LambdabarW			
Reduction	615.881	1.	0.286			
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS						
	P	P				
	Comp	Tens				
Axial	-1382.76	0.				

5.8.2.4 Verifiche nei confronti degli stati limiti ultimi idraulici

5.8.2.4.1 Sollevamento del fondo scavo (UPL)

L’opera geotecnica è stata verificata nei confronti del possibile stato limite di sollevamento. La verifica è stata condotta secondo quanto previsto dalle NTC 2018 al paragrafo 6.2.4.2, adottando i coefficienti di sicurezza sotto riportati:

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_1 (o γ_2)	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti G_2	Favorevole	γ_{G2}	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0
	Sfavorevole		1,5

**Tabella 5.6: Coefficienti di sicurezza per la verifica a sollevamento – NTC
2018**

Verifica UPLIFT del fondo di scavo

γ_w	9.81	kN/m ³	W	2700.62	kN
γ_{terreno}	25	kN/m ³	s	128.7072	kN/m ²
hw	13.12	m s.l.m	S	1572.802	kN
p	37.5	kN	P	458.25	kN
M	12.22	m	γ_{Gfav}	0.9	
N	1	m	γ_{Gsfav}	1.1	
A	12.22	m ²			
H	8.84	m	FS	1.64	

γ_w : peso dell'acqua

γ_{terreno} : peso del terreno

hw: altezza di falda

P: peso della soletta di fondazione

M: dimensione maggiore fondazione

N: dimensione minore fondazione

A: area della fondazione

W: peso del terreno resistente $W = g_{\text{terreno}} \times H \times A$

s: spinta idrostatica agente sull'area della fondazione $s = g_w \times h_w$

S: risultante spinta idrostatica $S = s \times A$

La verifica viene soddisfatta con un fattore di sicurezza (FS) pari a 1.64.

5.8.3 Caratteristiche dell'opera

Dalle verifiche effettuate si può concludere che la struttura soddisfa i requisiti di resistenza e funzionalità previsti allo SLU e SLE, con opportuno margine di sicurezza.

Dovrà essere posta attenzione alle effettive misure dello stato di fatto in modo da posizionare la struttura in oggetto in maniera conforme alle indicazioni di progetto.

Dai calcoli eseguiti si determinano le seguenti caratteristiche dell'opera:

Armature Sezione A-A:

Pali perimetrali:

- gabbia 1 (lunghezza = 6 m): 20 \varnothing 26 + 20 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio)
- gabbia 2 (lunghezza = 6 m): 32 \varnothing 26 + 32 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio); nelle zone interferenti con TBM, le barre in acciaio vengono sostituite con vetroresina.
- gabbia 3 (lunghezza = 11 m): 24 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 12/ 10 cm

Incidenza armature (in acciaio) = 345 kg/m³

Barre longitudinali in VTR: 56 \varnothing 30 per palo (lunghezza=6m); Staffe in VTR \varnothing 12/20cm (lunghezza staffa esterna=2.25m, lunghezza staffa interna=2.05 cm)

Pali CSP:

- gabbia 1 (lunghezza = 12 m): 12 \varnothing 20 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 10 cm (in acciaio); nelle zone interferenti con microtunneling, le barre in acciaio vengono sostituite con vetroresina.
- gabbia 2 (lunghezza = 11 m): 10 \varnothing 20 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio).

Incidenza armature (in acciaio) = 80 kg/m³

Barre longitudinali in VTR: 12 \varnothing 20 per palo(lunghezza=3m); Staffe in VTR \varnothing 12/20cm (lunghezza staffa esterna=2.25m, lunghezza staffa interna=2.05 cm)

Puntoni:

Puntoni interni d’angolo HEB 280 + travi perimetrali HEM600

6 TURANO 1

Il presente capitolo ha come oggetto il Progetto Definitivo delle opere di sostegno in corrispondenza del manufatto Turano1 Monte (pozzo di spinta). L'area di studio della nuova opera rientra nell'ambito del territorio della Provincia di Rieti interessando la Valle del Turano.

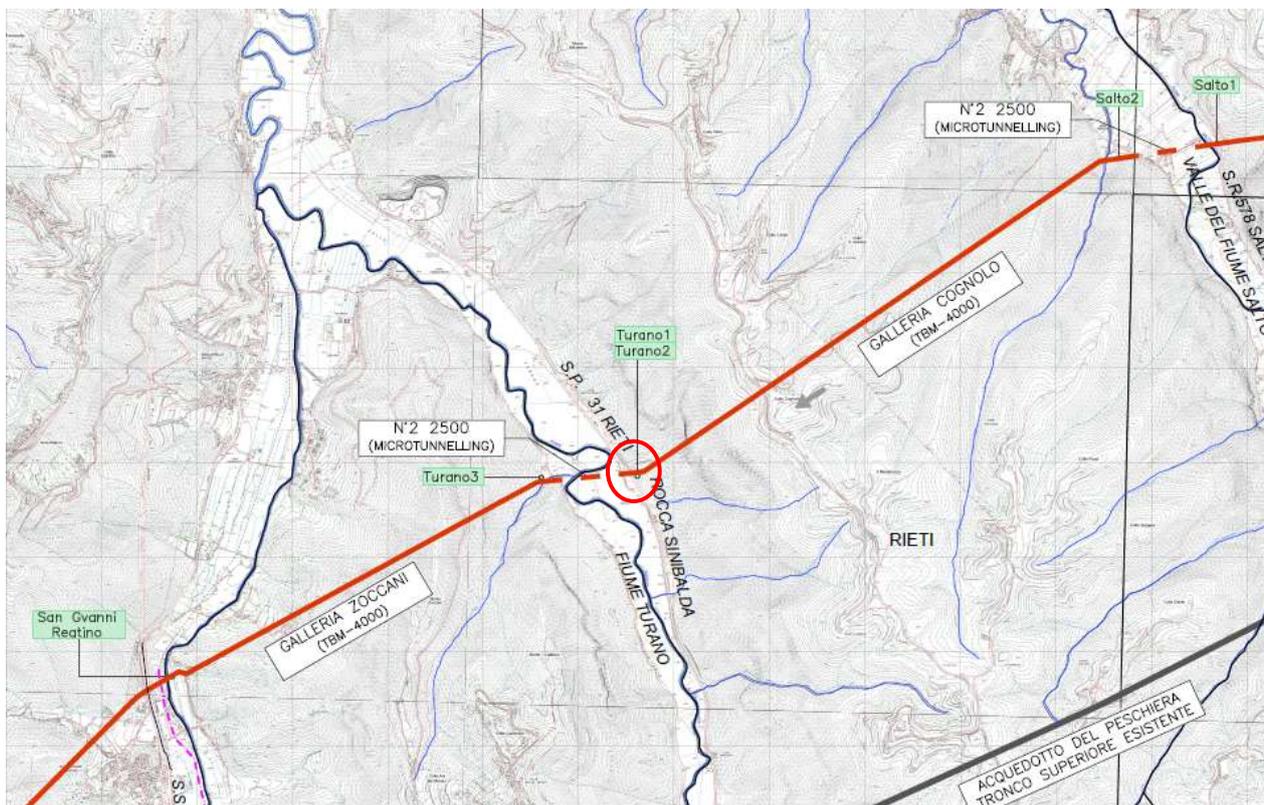


Figura 6-1 – Ubicazione del Manufatto Turano1 – vista planimetrica

6.1 Software di calcolo

- 1- ParatiePlus ver. 21.1 della Harpaceas per l’analisi di opere di sostegno flessibili in interazione col terreno;
- 2- RC-SEC V.2018.10.0.774 della Geostru - Licenza n° HJW8Q-EWEA3-PF2LE-6DWDC - per la verifica di sezioni di calcetsruzzo armato;



Figura 6-2 - Licenza GEO STRU

- 3- SAP 2000 Advanced versione 23.3.1 della CSI per l’analisi di strutture complesse in qualsiasi materiale:

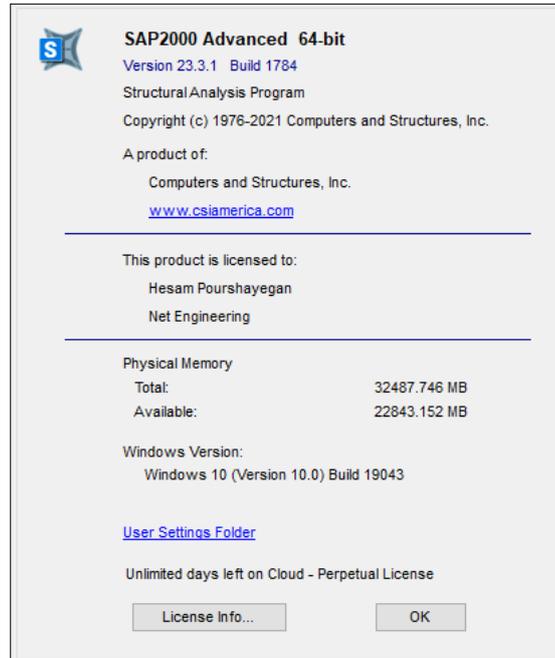


Figura 6-2 – Licenza SAP2000

6.2 Descrizione degli interventi

Al fine di sostenere lo scavo necessario per realizzare il manufatto Turano1 si prevede la realizzazione di un’opera di sostegno costituita da una paratia perimetrale di pali $\phi 800$ e una paratia interna di pali $\phi 800$ compenetrati.

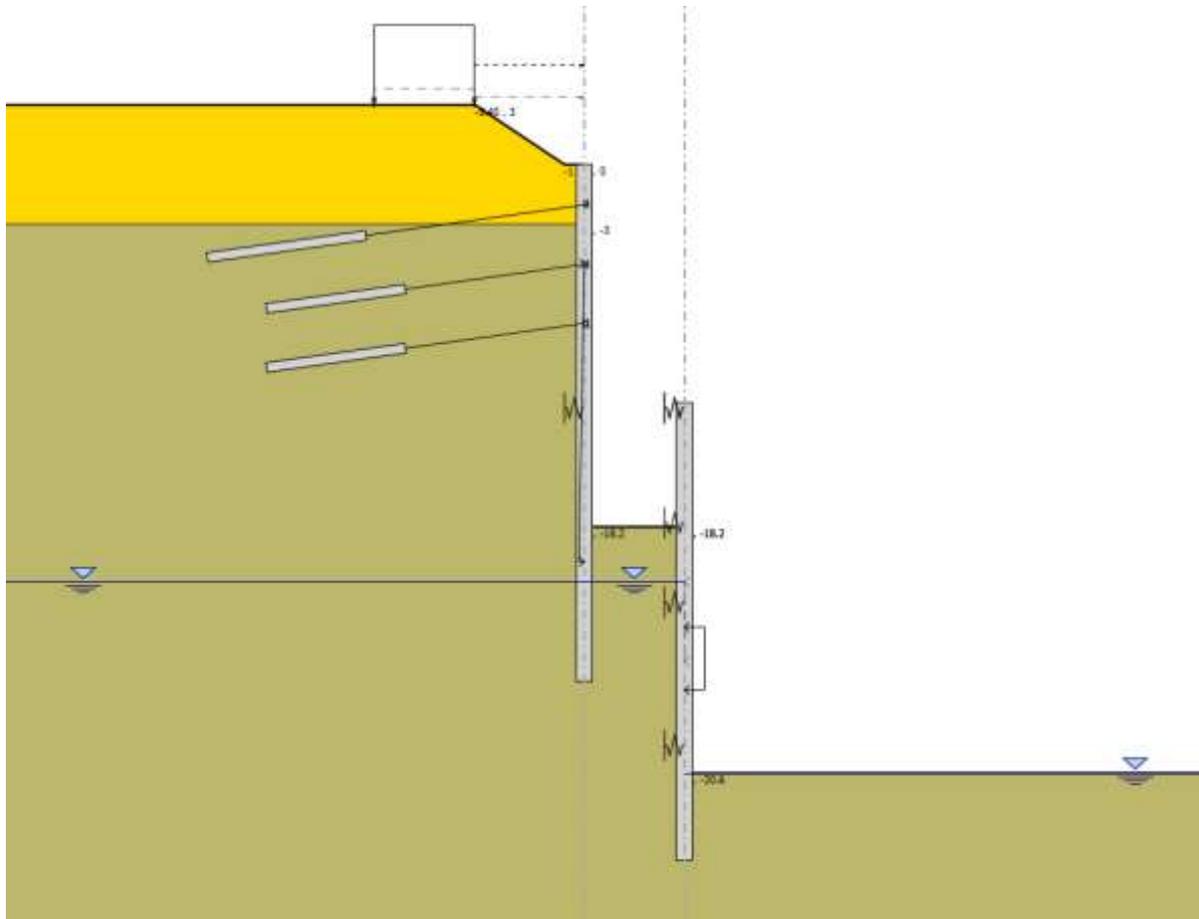


Figura 6-3 – Posizionamento delle paratie perimetrali e CSP

Per il calcolo e il dimensionamento di tali opere si è fatto riferimento ad una sezione rappresentativa, Figura 5-5, che nel seguito viene descritta.

In conformità con quanto prescritto dalle NTC 2018 al paragrafo 6.5.2.2, la profondità di scavo viene incrementata di 0.50 m. Nella tabella seguente viene riassunta l’altezza di scavo considerata nel modello di calcolo:

Sezione		Profondità di scavo da p.c.	Scavo massimo da modello
		m	m
A-A	Paratia perimetrale	17.56	18.2
	Paratia interna (CSP)	17.97	18.6

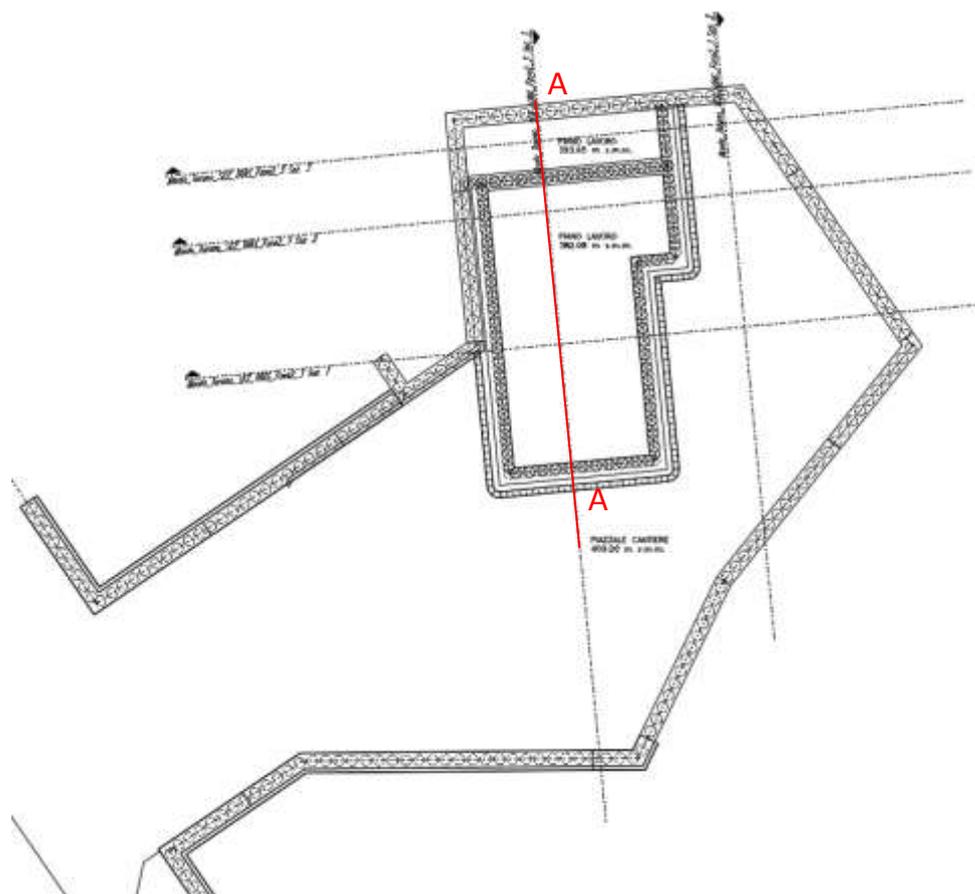


Figura 6-4 – Posizione della sezione di calcolo delle opere di sostegno

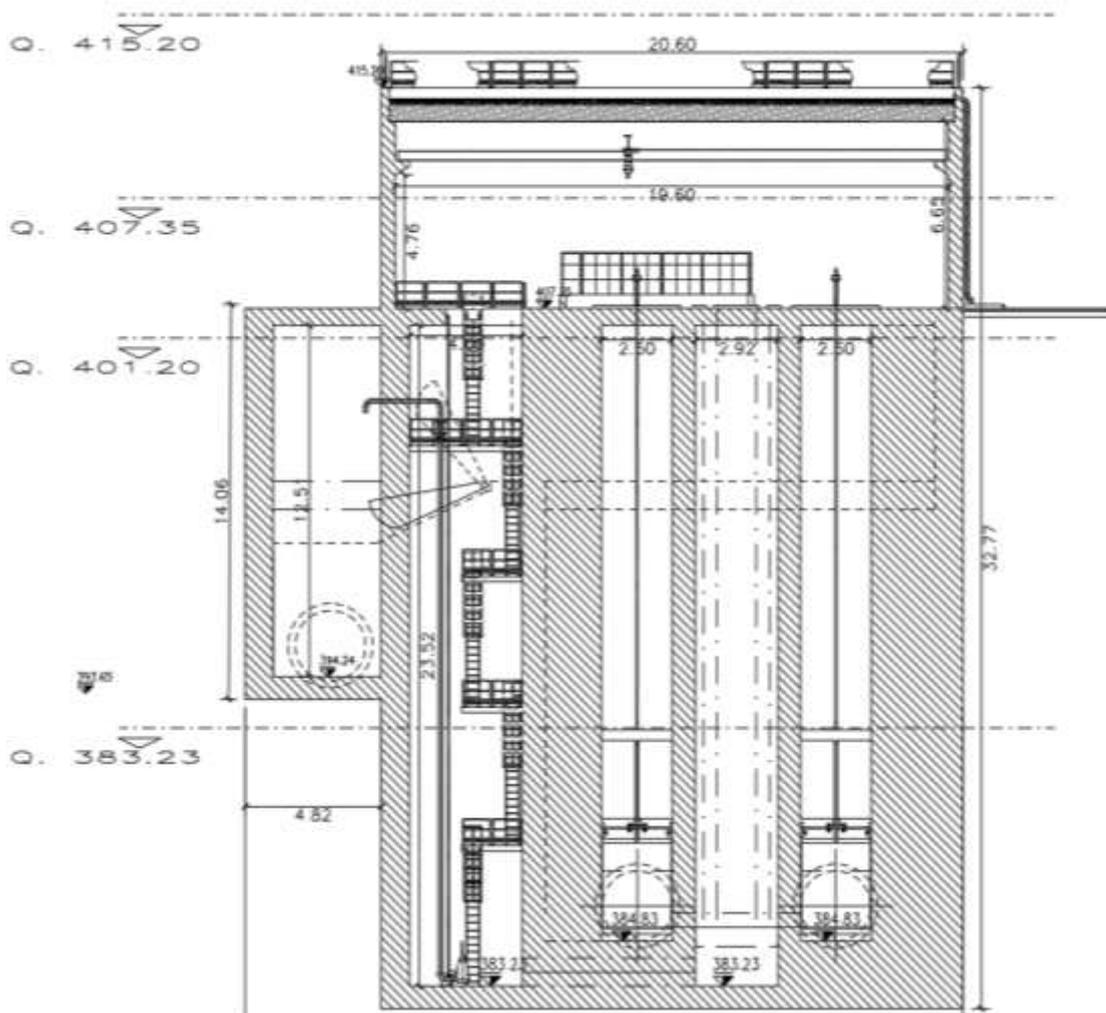


Figura 6-5 – Sezione trasversale A-A

6.2.1 Sezione A-A

In corrispondenza del Manufatto Turano1 (Monte), sezione A-A, sarà realizzata una paratia perimetrale di pali $\Phi 800$ interasse 100 cm e lunghezza 26m che prevede tre ordini di tiranti posizionati rispettivamente a -2m, -5m e -8m da piano campagna. La

paratia prevede un sistema di puntonamento, formato da travi perimetrali HEM800 e puntoni interni d’angolo HEB280 a -12.25m da p.c. nell’area dell’arrivo di microtunneling superiore. A profondità maggiore, e al fine di realizzare la parte profonda del manufatto, verrà realizzata una seconda paratia di pali compenetrati di diametro 800 mm, con interasse longitudinale 500mm, e lunghezza totale 23m. La sequenza di costruzione di pali secanti con il sistema CSP (Cased Secant Piles), prevede l’esecuzione di pali primari e secondari, in cui solo questi ultimi vengono armati. Per la paratia di pali CSP, si prevede di realizzare un sistema di puntonamento costituito da travi perimetrali HEM500 e puntoni interni d’angolo HEB280. La profondità di scavo massima viene raggiunta aggottando di volta in volta l’acqua al di fuori dello scavo (non si lavora in condizioni di scavo sommerso).

6.3 Inquadramento geotecnico

Per i parametri geotecnici si è fatto riferimento ai seguenti valori. Per i maggiori dettagli sulla descrizione di unità geotecniche si rimanda alla Relazione Geologica (A194PD R002):

Tabella 7 – Sintesi dei parametri geotecnici

Profondità (m da p.c.)	Unità Litotecnica	γ_n (kN/m ³)	ϕ' (°)	C' (kPa)	E_{op} (MPa)	E_{ed}^* (MPa)
0.0 – 3	Coltre detritica eterometrica	18.0 – 20.0	30 - 35	0 - 5	22	32
> 3	Conglomerati fortemente cementati (UGR)	19.0 – 25.0	45 - 49	75 - 100	108	125

Profondità falda = 390 m s.l.m

*** valore riferito alla frazione fine**

6.4 Analisi dei carichi

6.4.1 Peso proprio

- Peso proprio cls $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

6.4.2 Carichi accidentali

Durante le fasi di costruzione viene considerato un sovraccarico accidentale di 20 kPa dovuto alla presenza dei mezzi di cantiere.

6.4.3 Azione sismica

L’azione sismica è stata valutata prendendo in considerazione le analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) per il sito Turano Valle allo Stato Limite di Salvaguardia della vita (SLV). La massima accelerazione del suolo (PGA) a quota del baricentro di paratia risulta pari a 0.26g.

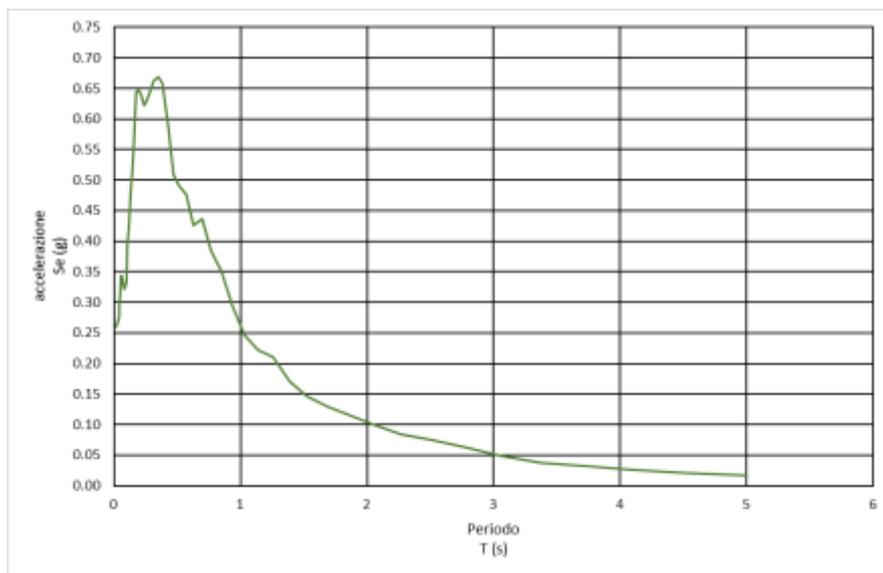


Figura 6-6 – Spettro di risposta – Stato SLV – Turano Valle

Il valore del coefficiente β è stato assunto pari a 0.62 che corrisponde ad uno spostamento (us) pari a 4.6 cm minore di $0.5\% \times H_{paratia}$ ($= 0.005 \times 26m = 13$ cm); (Par. 7.11.6.3.1 – NTC 2018).

Si precisa che l’effetto dell’azione sismica si è tenuto in considerazione esclusivamente per la paratia perimetrale che avrà una funzione strutturale definitiva.

6.4.4 Spinta del terreno

Nel modello di calcolo impiegato dal software adottato PARATIE, la spinta del terreno viene determinata investigando l’interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} \cdot (OCR)^m$$

dove:

$$K_0^{NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$).

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Attraverso valori opportuni di K_a e K_p si può tener conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo; si possono usare a questo scopo i valori desunti da NAVFAC (1986) o quelle elaborate da Caquot e Kerisel (1948). Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del software PARATIE.

6.5 Verifiche paratie di pali

6.5.1 Verifiche SLU

In accordo alle prescrizioni normative NTC 2018 al paragrafo 6.5.3.1.2, le verifiche sono state condotte secondo l’Approccio 1 considerando le seguenti combinazioni:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1);
- Combinazione 2: (A2+M2+R1).

6.5.2 Verifiche SLE

In esercizio sono stati valutati gli spostamenti orizzontali in maniera tale da confrontarli con i requisiti prestazionali dell’opera. Si assume che gli spostamenti siano accettabili se inferiori al valore limite $H/200$, dove H è l’altezza di scavo.

Le combinazioni di calcolo in esercizio vengono formulate ponendo pari all’unità i coefficienti parziali sulle azioni e utilizzando i parametri geotecnici caratteristici.

6.6 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC2018 al par.2.5.3.

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d’esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all’azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione γ delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

I valori dei coefficienti parziali da applicare alle azioni e ai parametri geotecnici del terreno sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale	EQU	(A1)	(A2)
		γ_F (o γ_E)			
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

6.7 Analisi numeriche

Di seguito sono riportate le analisi effettuate per definire il dimensionamento delle paratie di pali in corrispondenza del manufatto Turano1 (Monte). Il modello di calcolo per la paratia di pali f800 con interasse 1m e per la paratia di pali CSP f800 è stato realizzato con il programma ParatiePlus, al fine di valutare gli spostamenti orizzontali allo SLE e le sollecitazioni negli elementi strutturali in condizioni allo stato limite ultimo, in condizioni statiche e sismiche.

6.7.1 Sezione A-A

6.7.1.1 Modello di calcolo

Nella seguente tabella si riassumono i parametri geotecnici di progetto:

	Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ²]
	Detrito di versante Sabbia / Ghiaia	0	30	E _{vc} = 22000 E _{ur} = 35200
	UG2 Roccia	75	45	E _{vc} = 108000 E _{ur} = 172800

Tabella 8 – Modello geotecnico – Sezione A-A

Le fasi esecutive per l’analisi della sezione di calcolo sono le seguenti:

1. Stato geostatico iniziale.
2. Applicazione del sovraccarico di cantiere pari a 20 kPa e getto dei pali perimetrali con il diametro pari a 800 mm e interasse di 1.0 m.
3. Scavo alla quota di -3.0 m da p.c. al fine di realizzare il primo ordine dei tiranti.
4. Installazione del primo ordine dei tiranti a -2 m dalla testa paratia.
5. Scavo alla quota di -6 m da p.c. al fine di realizzare il secondo ordine dei tiranti.
6. Installazione del secondo ordine dei tiranti a -5.0 m dalla testa paratia.
7. Scavo alla quota di -9 m da p.c. al fine di realizzare il terzo ordine dei tiranti.
8. Installazione del terzo ordine dei tiranti a -8.0 m dalla testa paratia.

9. Scavo alla quota -11.95 m dal piano campagna ed applicazione di un sovraccarico pari a 150 kpa (da -5.0m a -20m dal p.c) simulante il riempimento di eventuali fessure verticali con acque piovane.
10. Realizzazione dei pali compenetrati (CSP) interni con diametro 800 mm ed interasse di 0.5m.
11. Scavo alla quota -13.25 a monte di pali CSP al fine di realizzare il sistema di puntonamento.
12. Installazione dei puntoni a quota -12.25m da p.c.
13. Raggiungimento quota fondo scavo paratia perimetrale (-18.2 m da p.c.).
14. Scavo fino a quota -14.1 m da p.c., a valle dei pali CSP, al fine di realizzare il primo ordine di puntoni.
15. Installazione il primo ordine dei puntoni a quota -12.25m da p.c (-0.3m dalla testa paratia)
16. Scavo fino a quota -19.0 m da p.c. al fine di realizzare il secondo ordine di puntoni.
17. Installazione del secondo ordine di puntoni a quota -18.0m da p.c (-6m dalla testa paratia dei pali CSP).
18. Scavo fino a quota -23.0 m da p.c. al fine di realizzare il terzo ordine di puntoni.
19. Installazione del terzo ordine di puntoni a quota -22.0m da p.c (-10m dalla testa paratia dei pali CSP).
20. Raggiungimento quota fondo scavo (-30.6 m da p.c.) ed espulsione dell’acqua dall’interno dello scavo.
21. Realizzazione della soletta di fondazione.
22. Applicazione la spinta dovuta dal microtunnelling pari a 560 kPa.
23. Abbancamento del rilevato a quota del piazzale 407.35 m s.l.m.
24. Applicazione dell’azione sismica.

Di seguito la rappresentazione grafica degli stage sopra descritti:

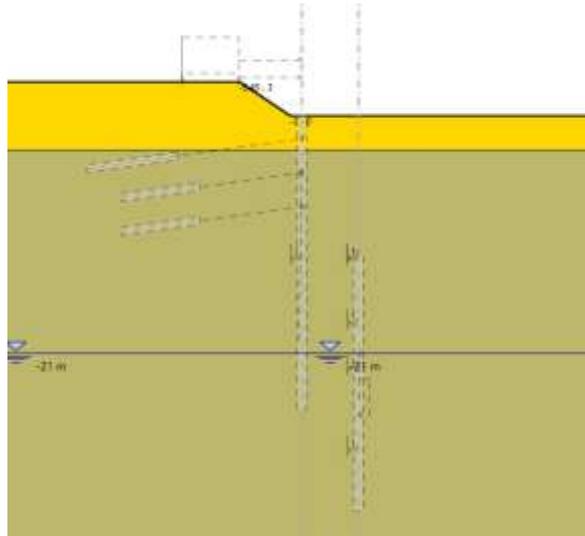


Figura 6-7 – Fase 1

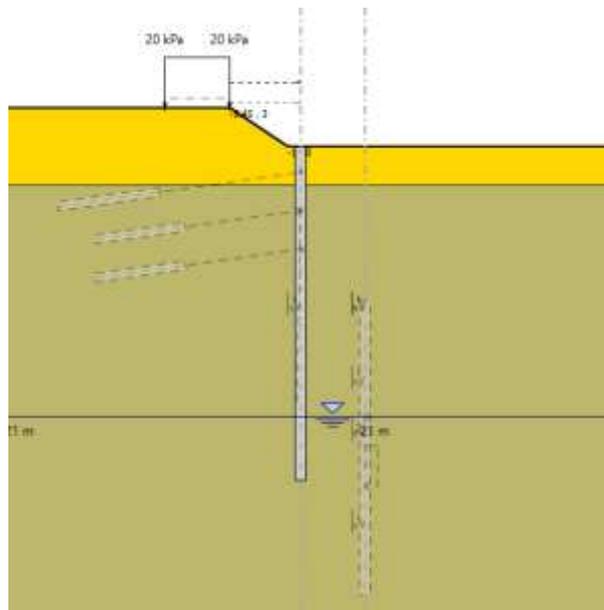


Figura 6-8 – Fase 2

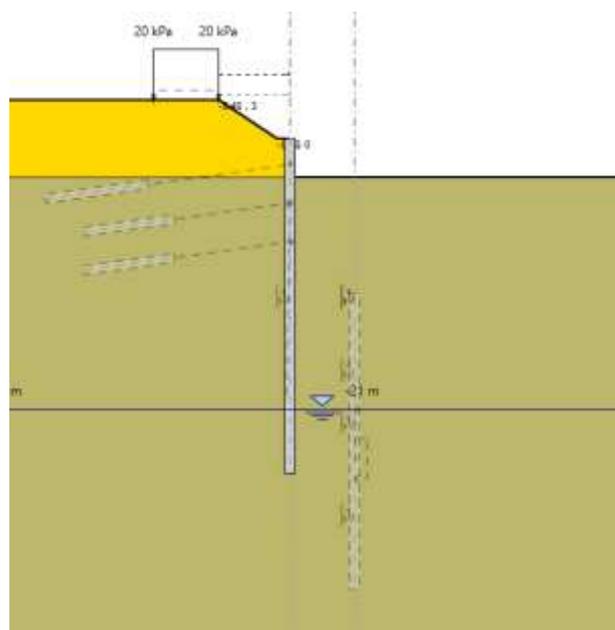


Figura 6-9 – Fase 3

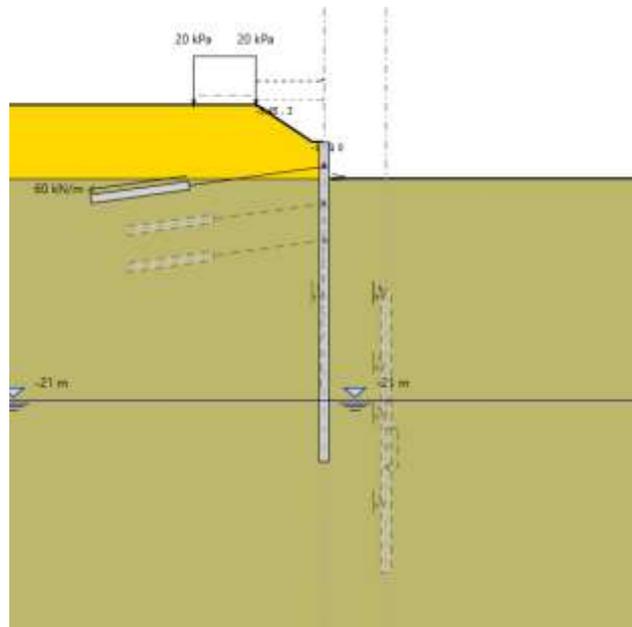


Figura 6-10 – Fase 4

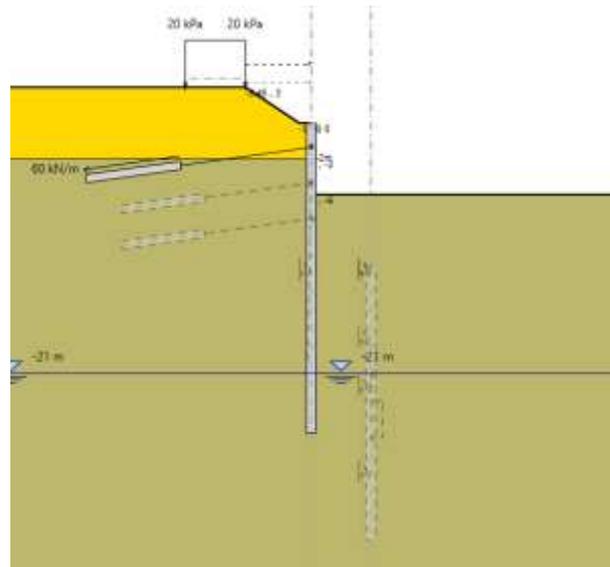


Figura 6-11 – Fase 5

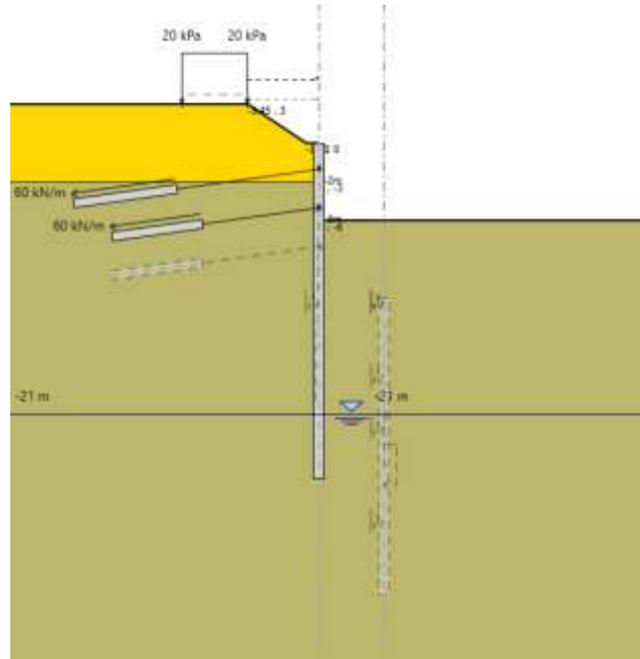


Figura 6-12 – Fase 6

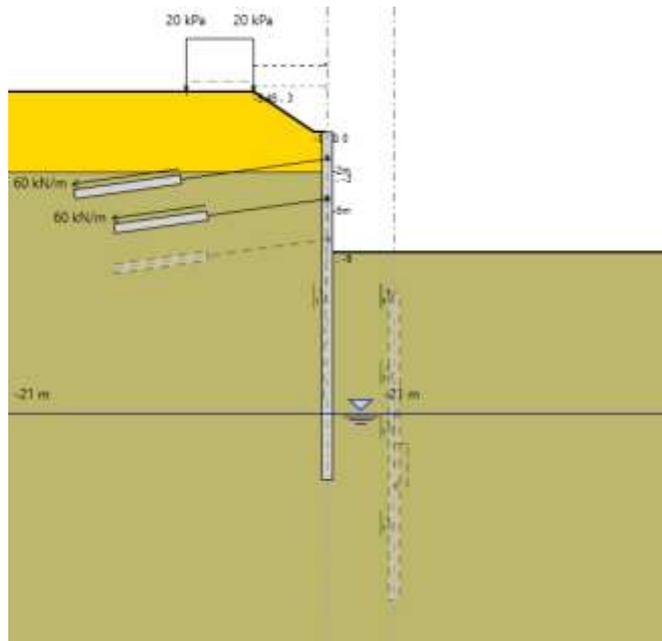


Figura 6-13 – Fase 7

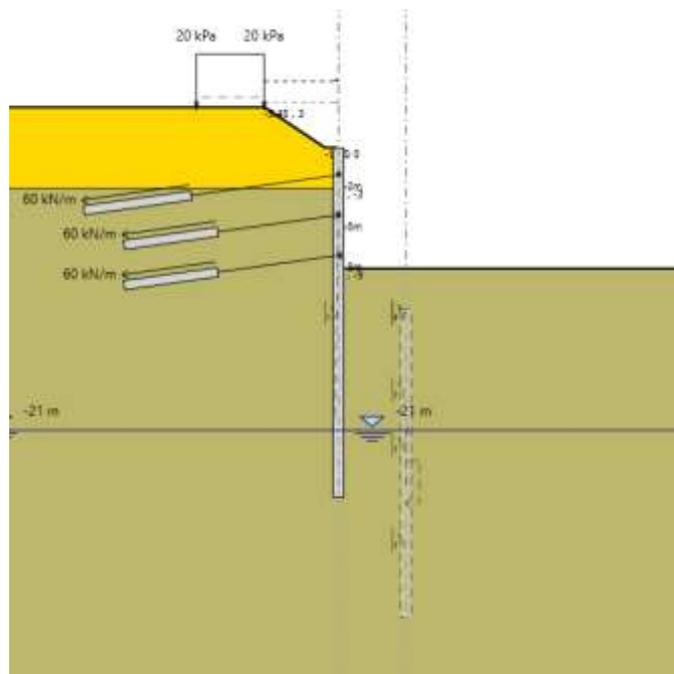


Figura 6-14 – Fase 8

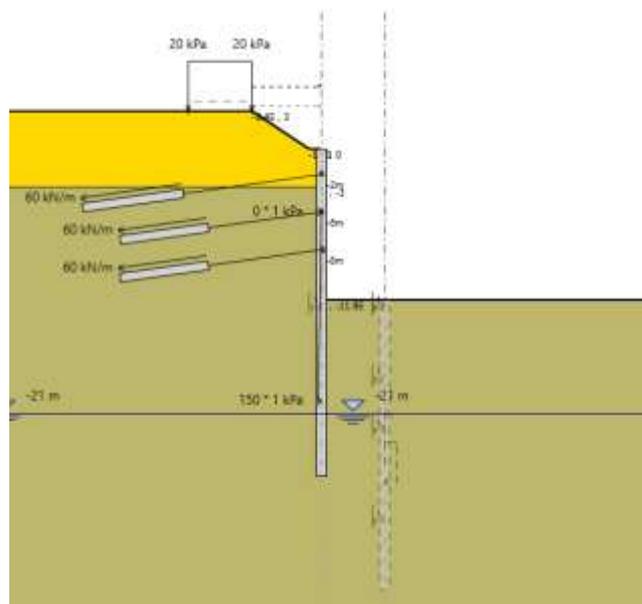


Figura 6-15 – Fase 9

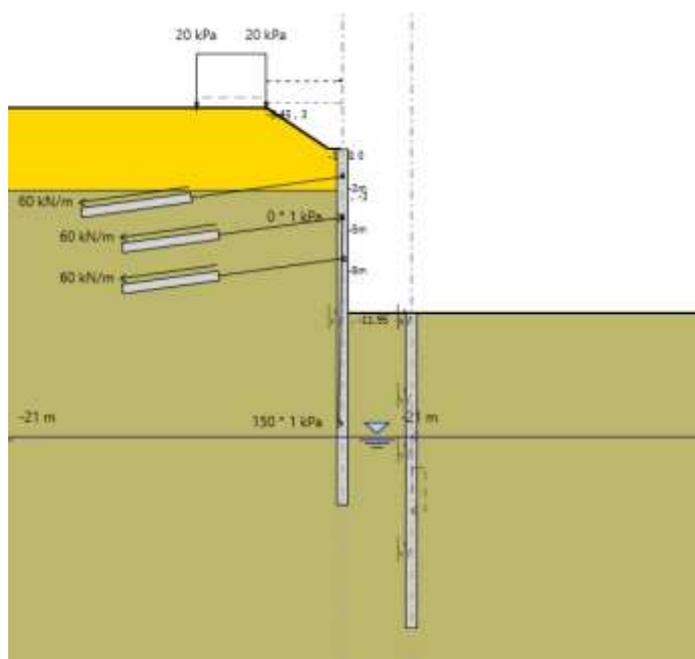


Figura 6-16 – Fase 10

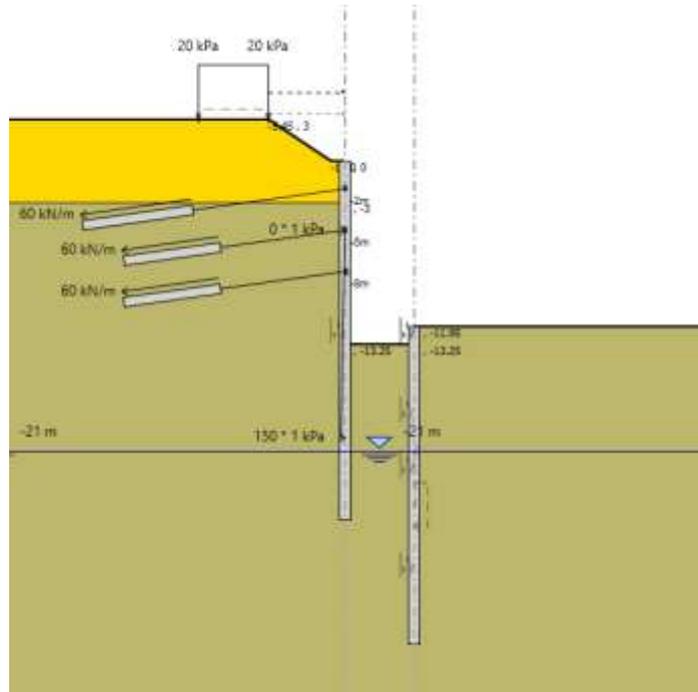


Figura 6-17 – Fase 11

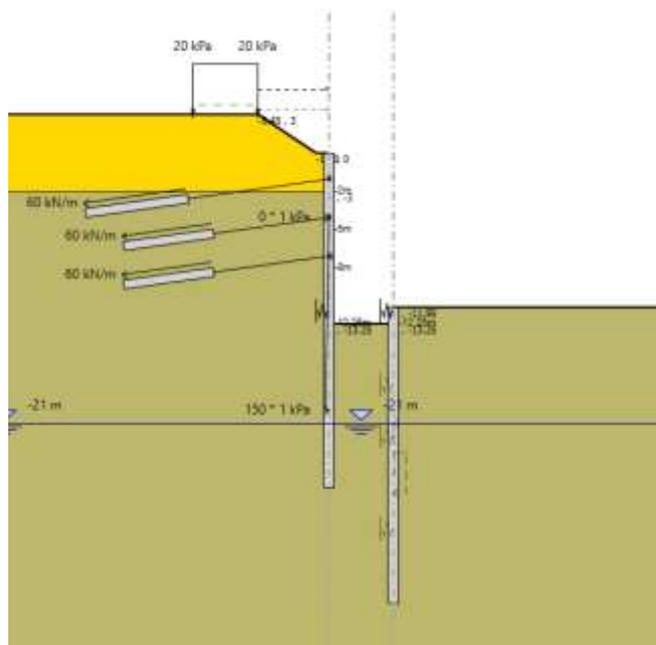


Figura 6-18 – Fase 12

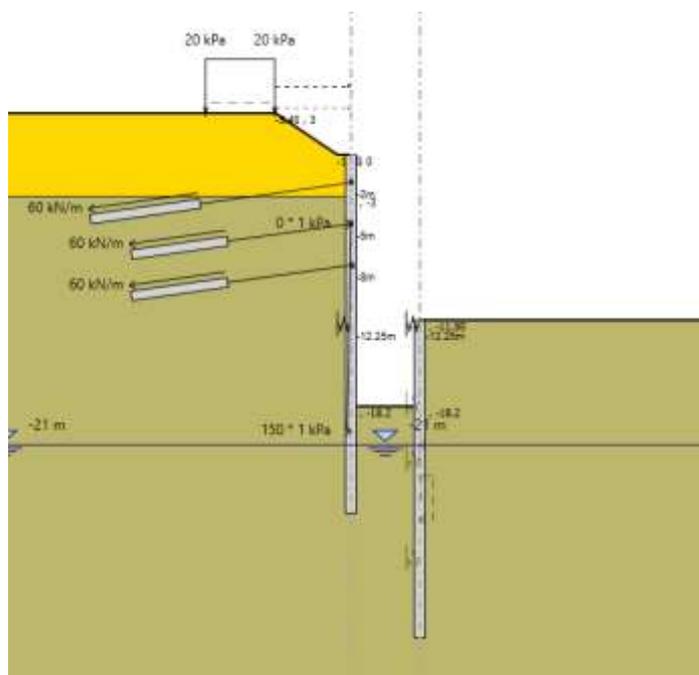


Figura 6-19 – Fase 13

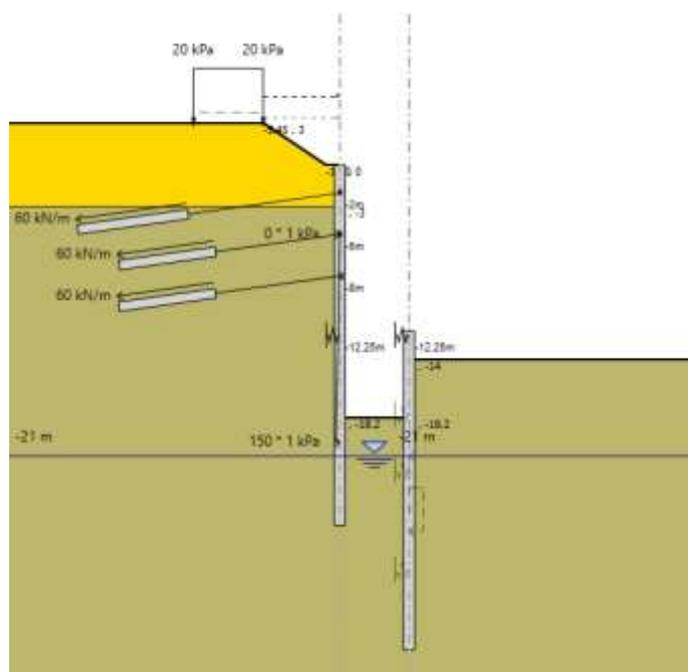


Figura 6-20 – Fase 14

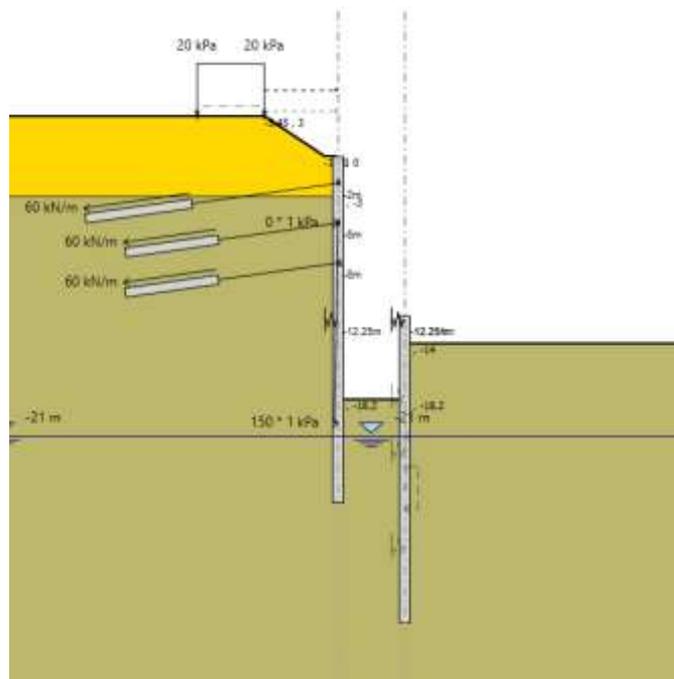


Figura 6-21 – Fase 15

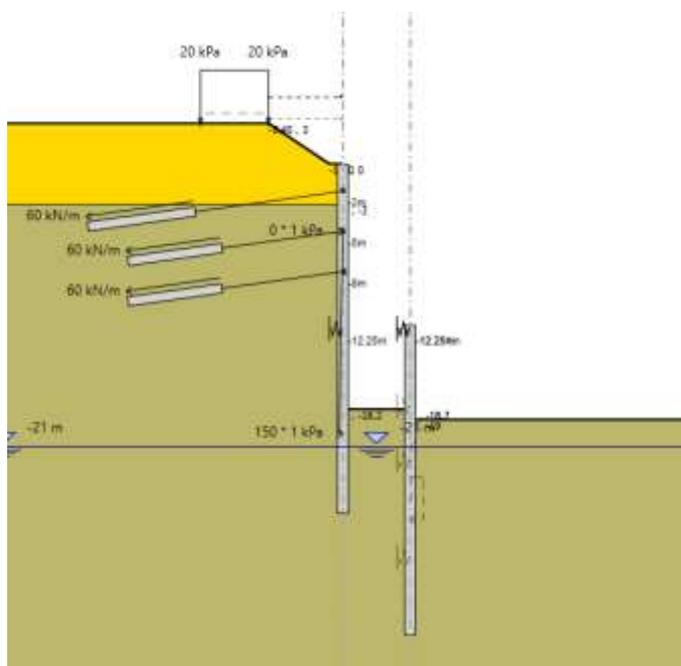


Figura 6-22 – Fase 16

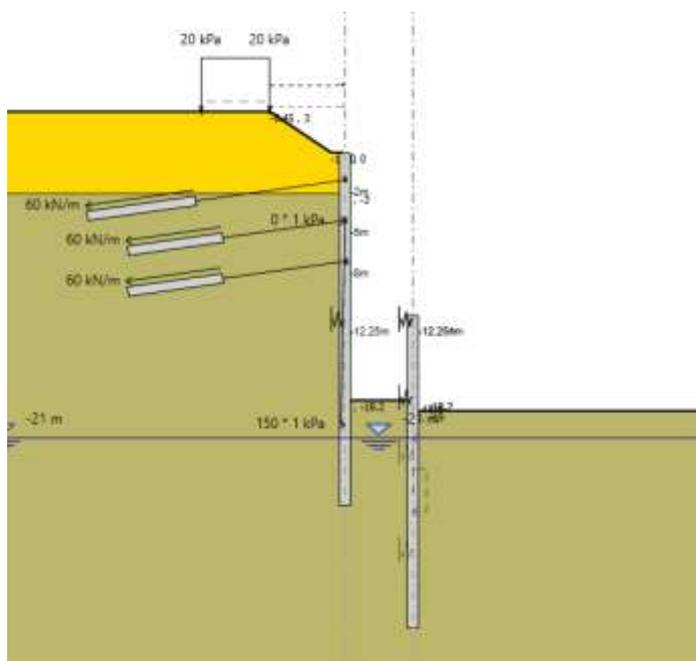


Figura 6-23 – Fase 17

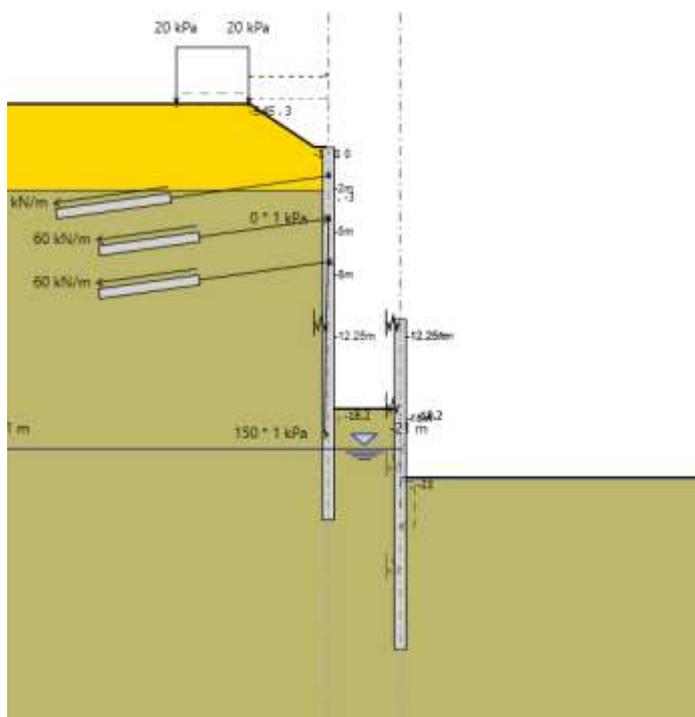


Figura 6-24 – Fase 18

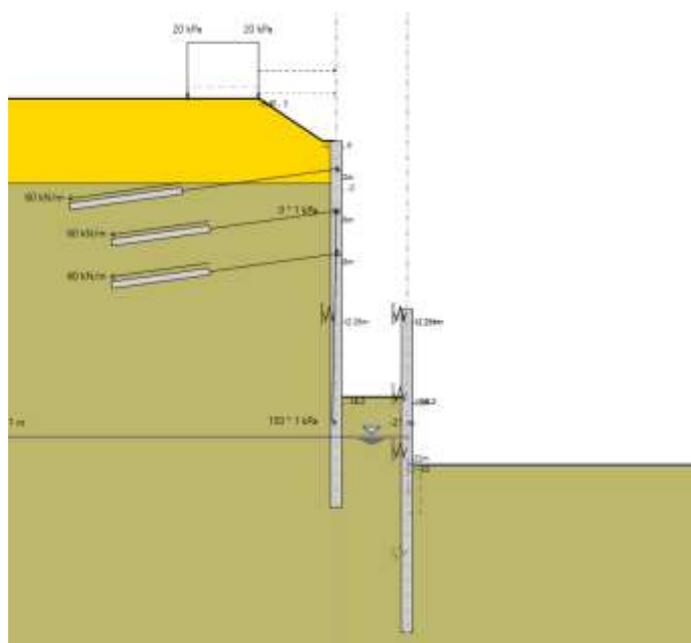


Figura 6-25 – Fase 19

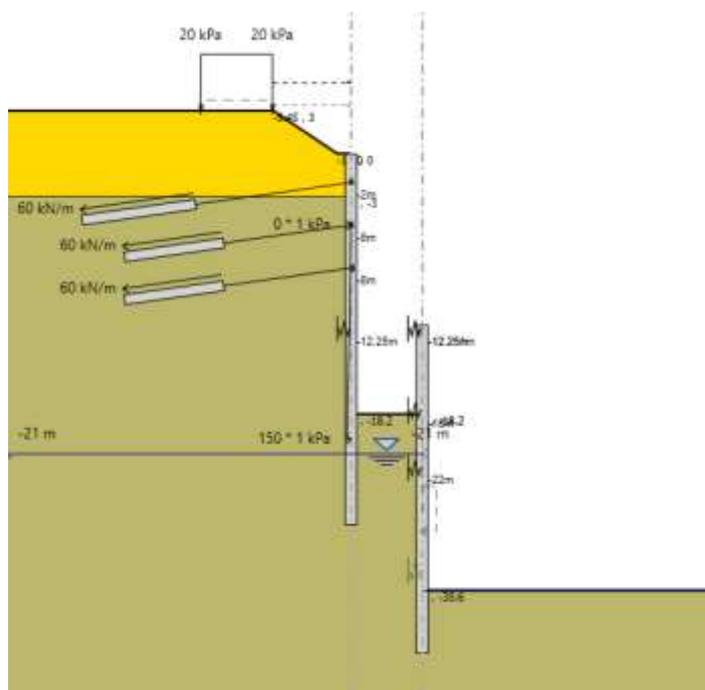


Figura 6-26 – Fase 20

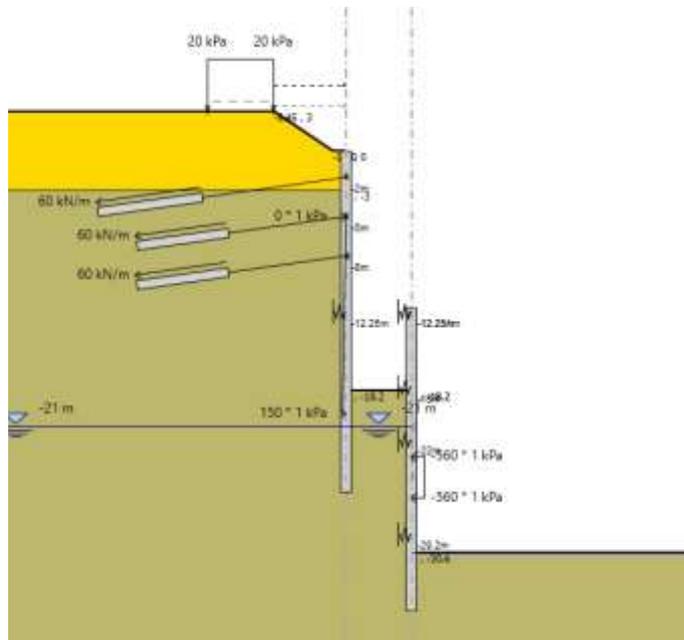


Figura 6-28 – Fase 22

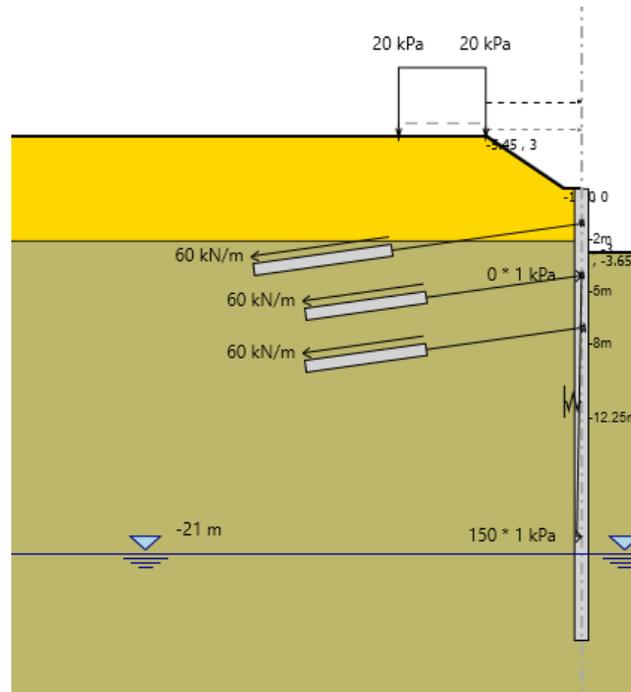


Figura 6-29 – Fase 23

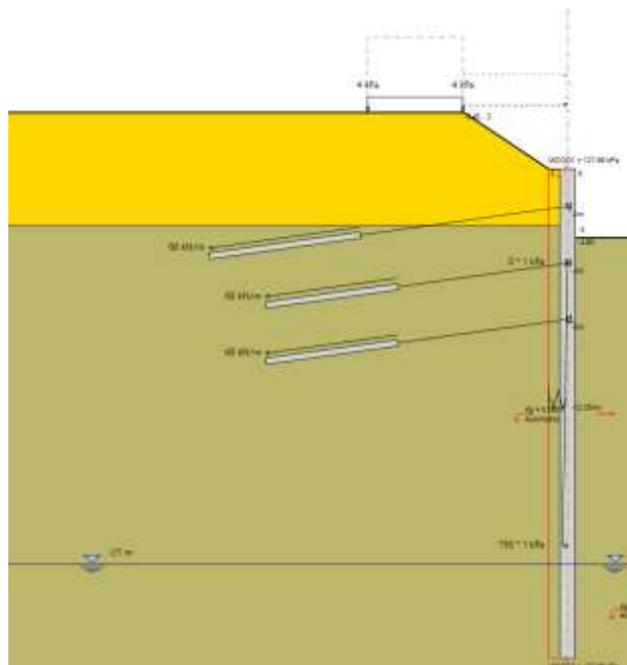


Figura 6-30 – Fase 24

6.7.1.2 Calcolo rigidezza del sistema di puntonamento

Il modello sviluppato con Paratie Plus per lo scavo profondo prevede una paratia con un ordine di puntoni. Al fine di avere libera l’area dello scavo si prevedono dei puntoni inclinati.

Per la taratura delle molle da considerare come simulazione del sistema di puntonamento, sono stati considerati due modelli di telaio di puntonamento, uno per la paratia perimetrale e uno per pali CSP.

Per la paratia perimetrale e lo scavo fino a quota 393.65 m s.l.m (arrivo microtunneling superiore) si prevedono le travi perimetrali HEM800 e puntoni interni d’angolo HEB280. La geometria del telaio è stata considerata rettangolare con dimensioni (riferite agli assi degli elementi) 13.8 m x 2.9 m:

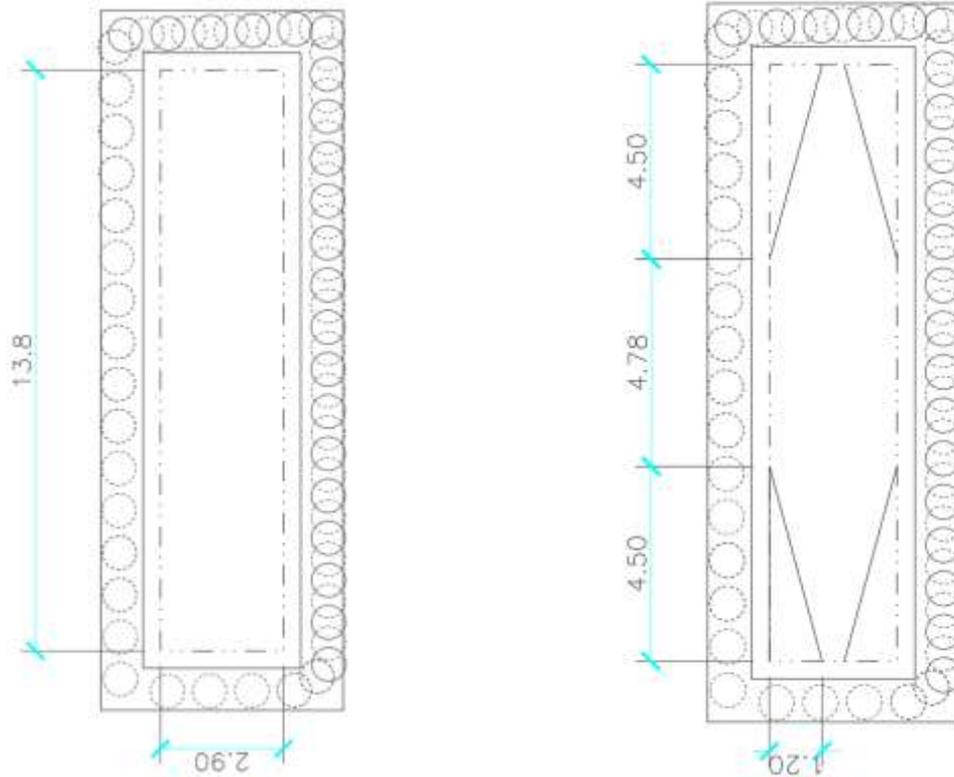


Figura 6-31 – Geometria telaio di puntonamento – paratia perimetrale

Caricando la struttura con un carico uniformemente distribuito di 1.0 kN/m, è stato valutato lo spostamento ortogonale subito dal sistema in corrispondenza del lato considerato come rappresentativo della sezione di calcolo. Invertendo tale valore è stato ricavato il valore di rigidezza equivalente da fornire al vincolo nel software Paratie.

Per il modello sviluppato, si ottiene il seguente valore di spostamento pari a 0.1448 mm; ne consegue una rigidezza $k = 6906.08$ kN/m delle molle.

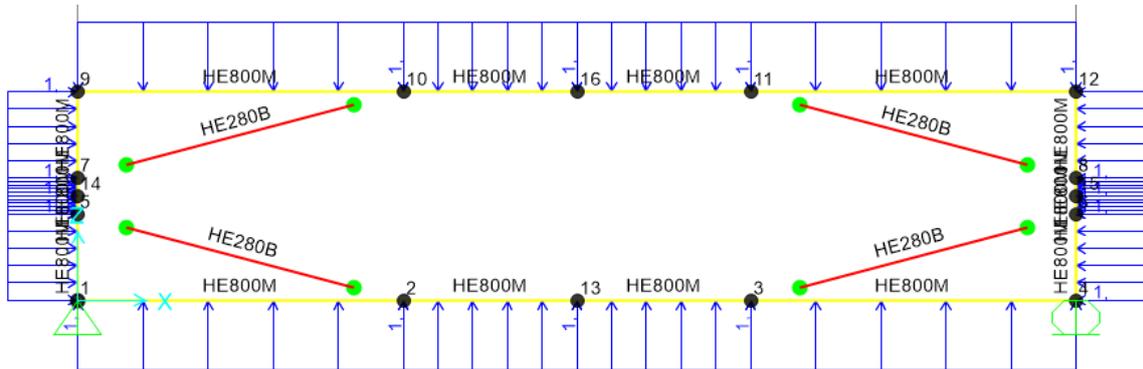


Figura 6-32 – Geometria del telaio modellata nel software SAP 2000 – paratia perimetrale

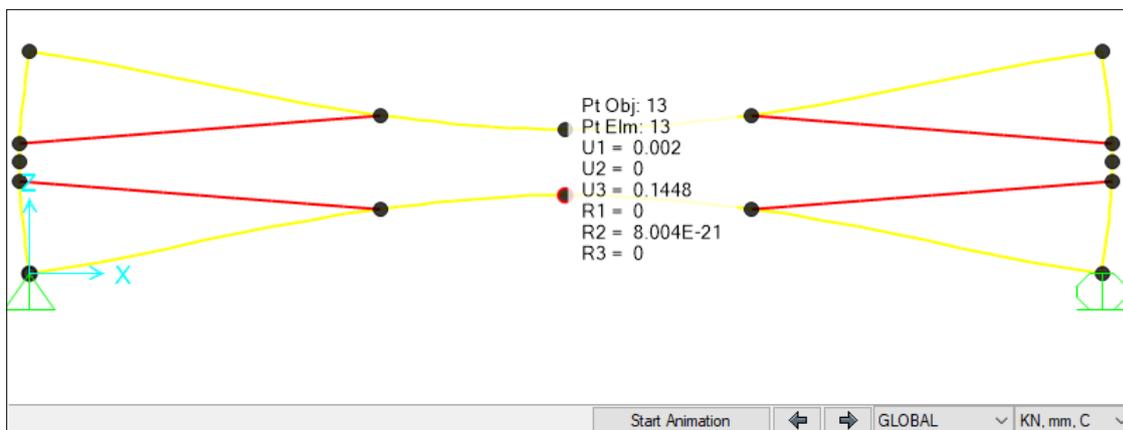


Figura 6-33 – Spostamenti ottenuti con l'applicazione di un carico uniformemente distribuito di 1.0 kN/m – paratia perimetrale

Per pali CSP, si prevedono le travi perimetrali HEM500 e puntoni interni d'angolo HEB280. La geometria del telaio è stata considerata rettangolare con dimensioni (riferite agli assi degli elementi) 9.7 m x 20.5 m:

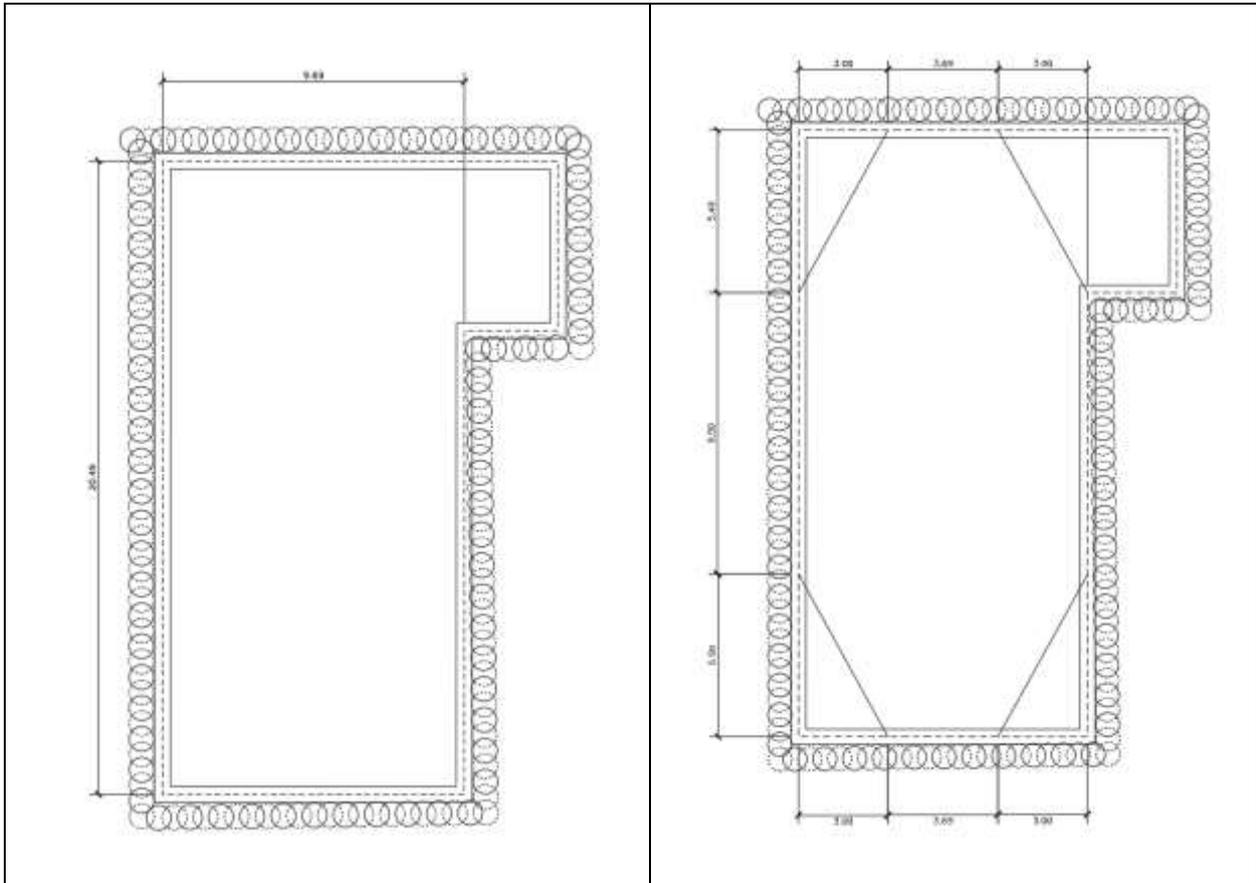


Figura 6-34 – Geometria telaio di puntonamento – pali CSP

Per il modello sviluppato, si ottiene il seguente valore di spostamento pari a 1.7633 mm; ne consegue una rigidità $k= 567.12$ kN/m delle molle.

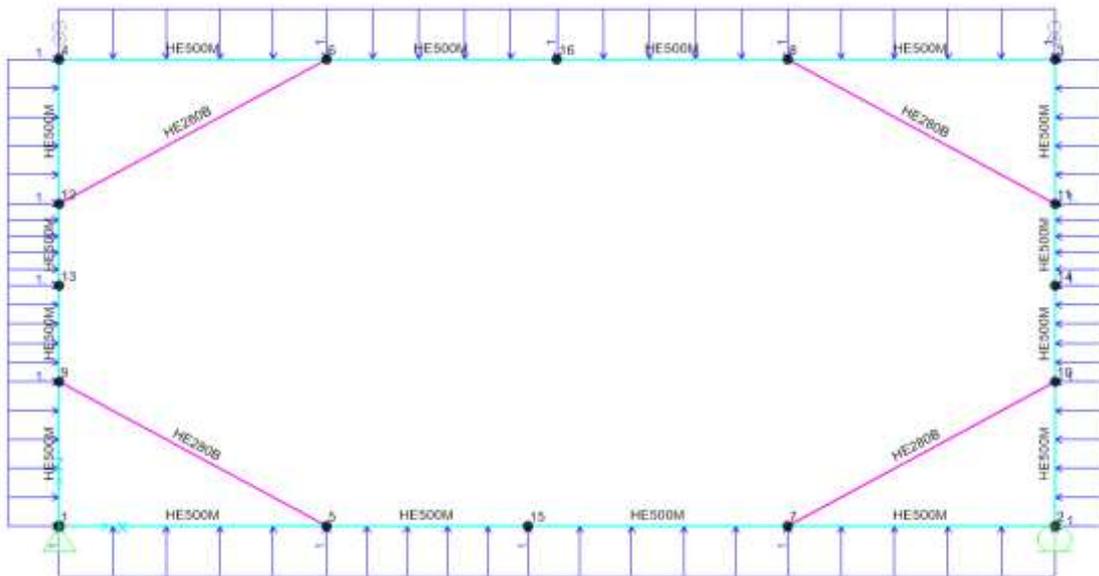


Figura 6-35 – Geometria del telaio modellata nel software SAP 2000 – pali CSP

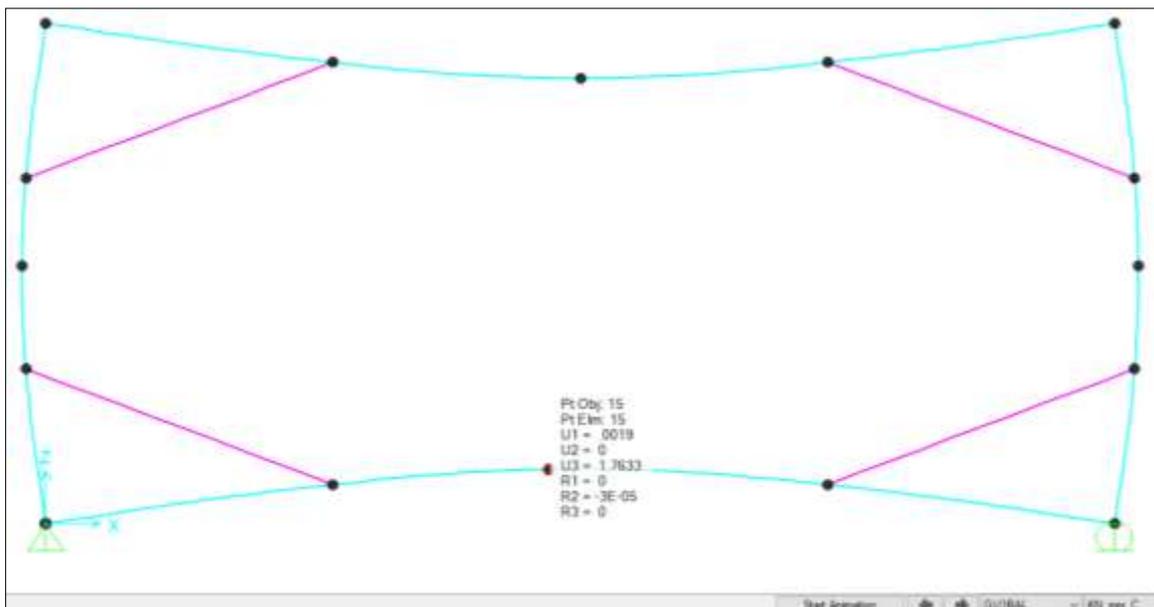


Figura 6-36 – Geometria del telaio modellata nel software SAP 2000 – pali CSP

6.8 Risultati

Nei paragrafi seguenti si riportano i risultati delle analisi condotte per il modello implementato, con le indicazioni dei valori massimi e minimi delle caratteristiche della sollecitazione e gli spostamenti massimi attesi.

I valori delle caratteristiche della sollecitazione sono per metro lineare di profondità.

Ai paragrafi successivi, viene poi riportato anche un dimensionamento degli elementi strutturali principali.

6.8.1 Sezione A-A – paratia perimetrale

6.8.1.1 Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU+SLV)

Si riportano di seguito gli involuipi delle sollecitazioni dell’analisi condotta per quanto riguarda la combinazione strutturale SLU (A1+M1+R1) ed SLV.

Il diagramma del momento flettente:

$M_{max} = 1205 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$; momento flettente massimo

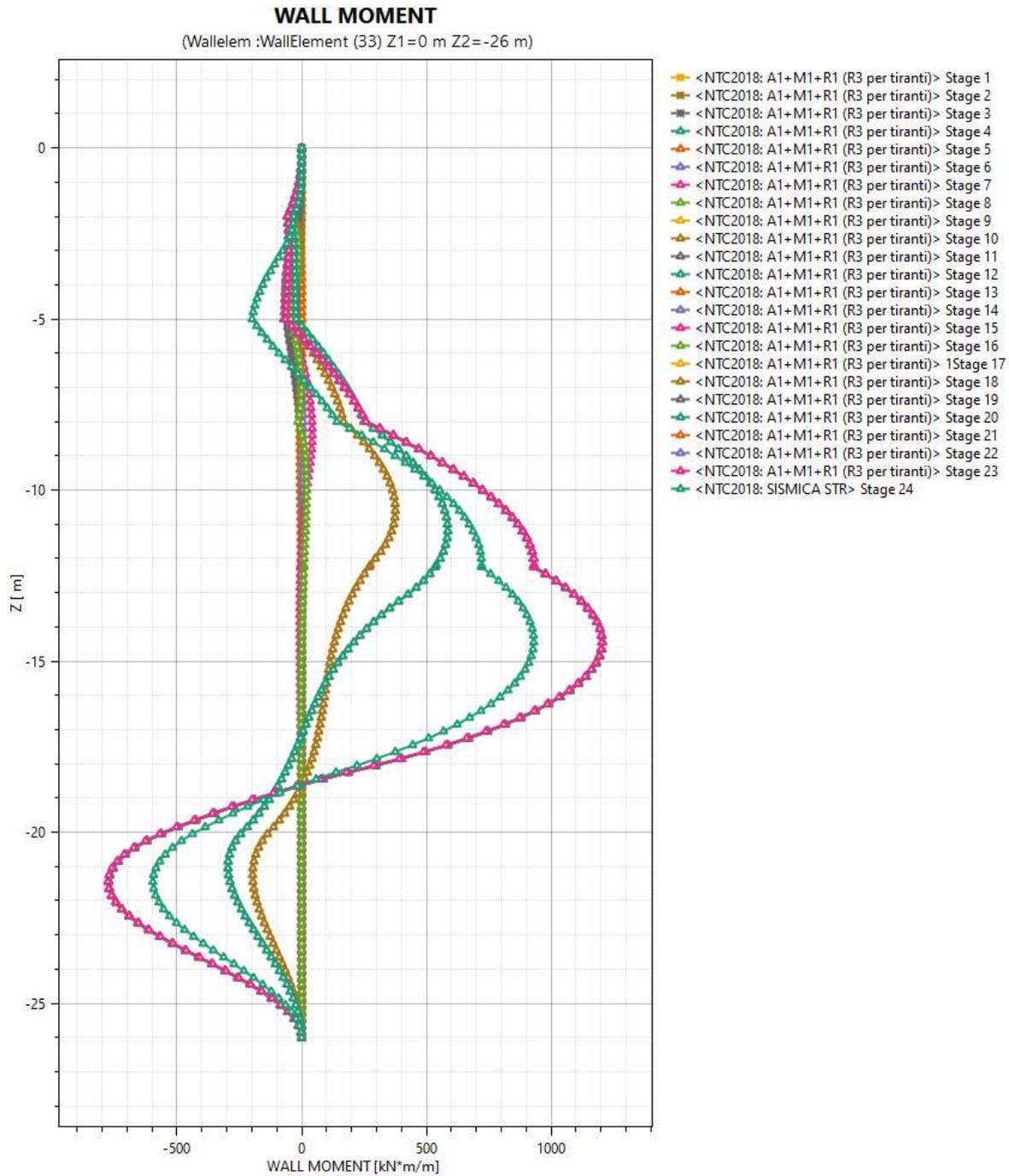


Figura 6-37 – Diagramma del momento flettente – paratia perimetrale

Il diagramma del Taglio:

$T_{max} = 549 \text{ kN/m}$; taglio massimo

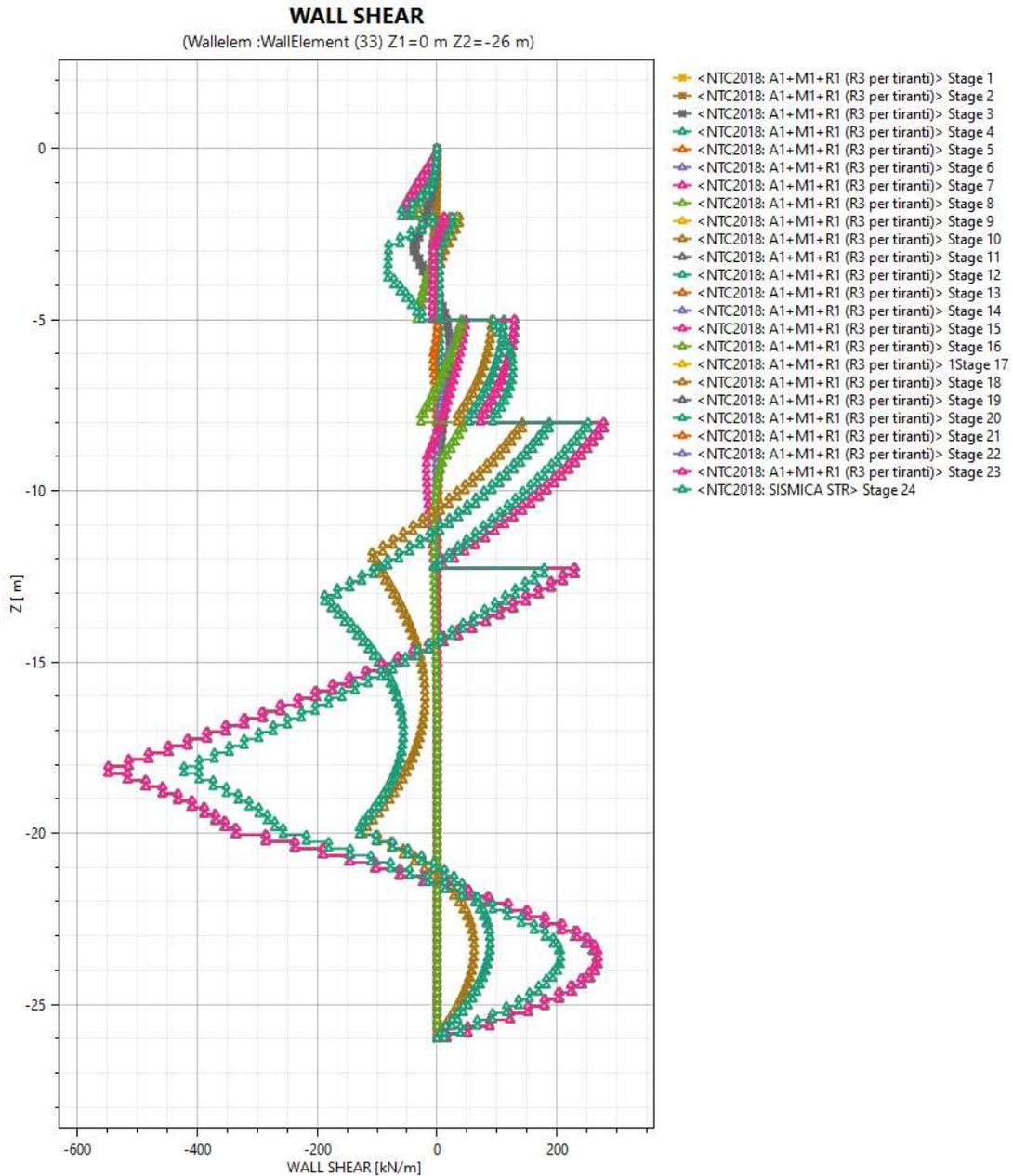


Figura 6-38 – Diagramma del taglio – paratia perimetrale

Il diagramma del momento flettente – Stato SLE:

$M_{max} = 928 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$; momento flettente massimo

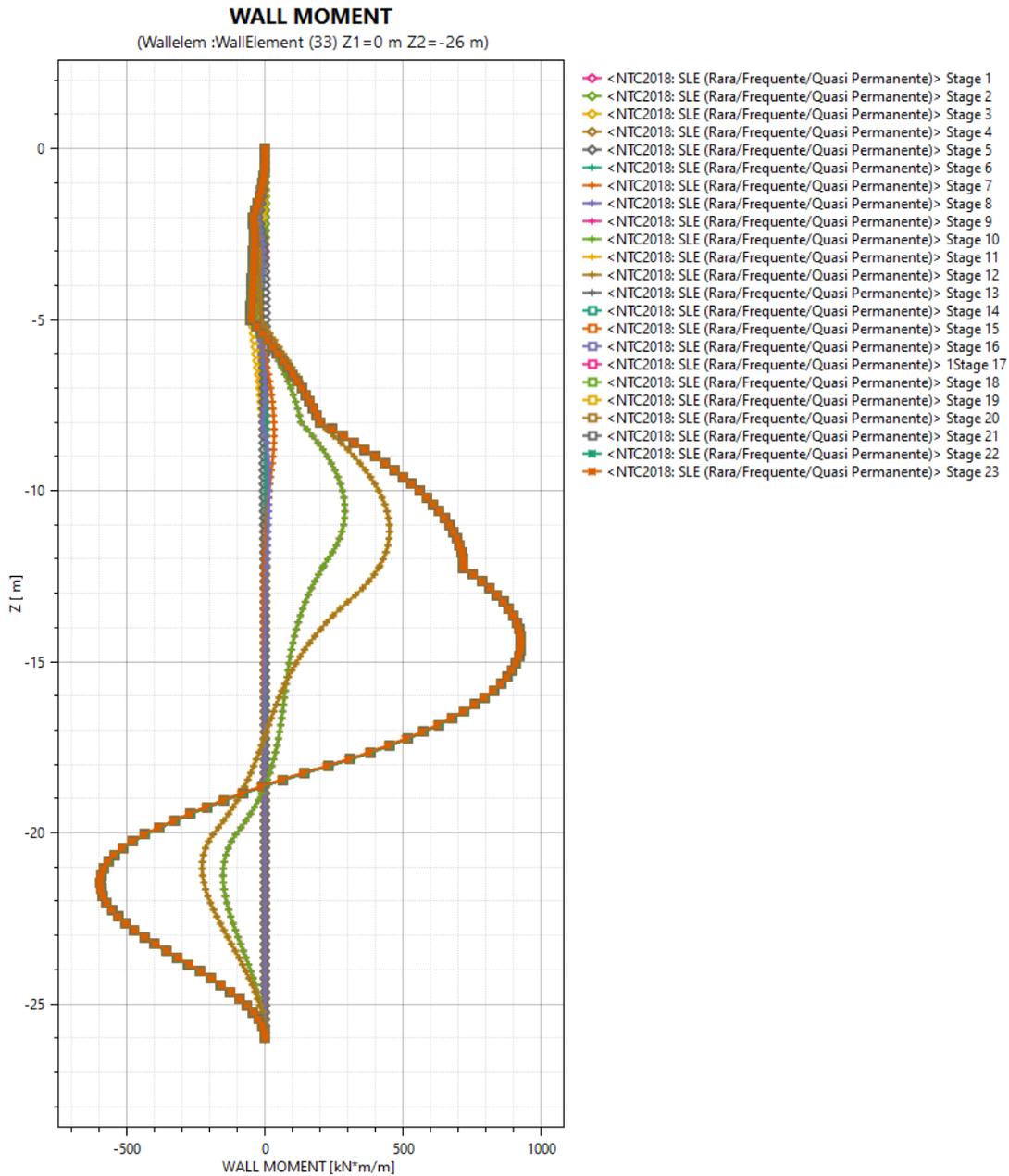


Figura 6-39 – Diagramma del momento flettente – Stato SLE – paratia perimetrale

6.8.1.2 Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)

Verifica nei confronti delle deformazioni:

Gli spostamenti orizzontali massimi agli SLE sono di circa 4.5 cm, inferiori al limite $H_{scavo}/200 = 9.1$ cm, pertanto la verifica di SLE nei confronti di deformabilità viene soddisfatta.

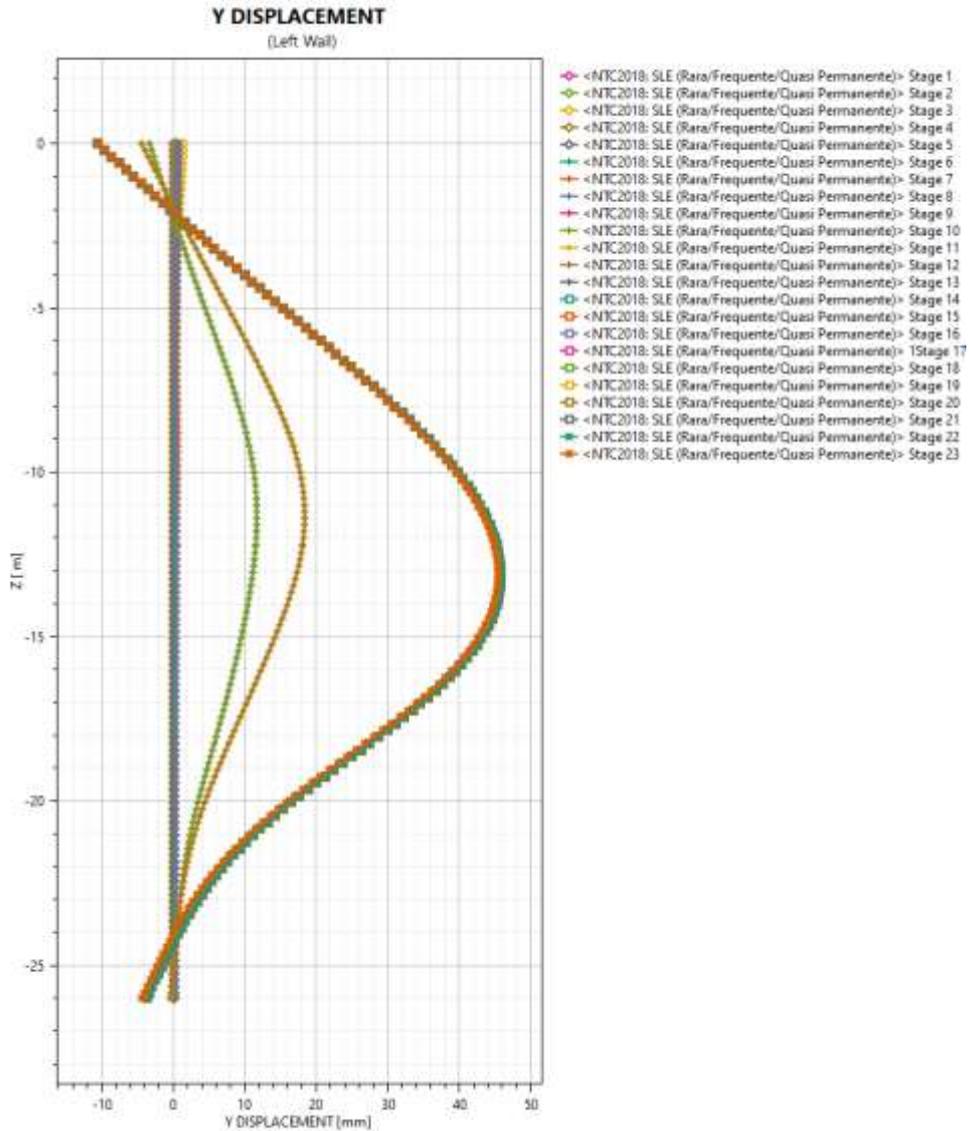


Figura 6-40 – Diagramma spostamenti – paratia perimetrale

6.8.1.3 Verifiche degli elementi strutturali – Pali perimetrali

6.8.1.3.1 Pali

Di seguito vengono riportate le verifiche allo stato limite SLU+SLV ed SLE per le gabbie di armatura. La gabbia 1 ha una lunghezza pari a 6m. La gabbia 2 ha una lunghezza pari a 12m. Le barre della gabbia 2 in corrispondenza dell’attraversamento di microtunnelling (MT) e TBM, per una lunghezza pari a 3m e 4m rispettivamente, sono state progettate in vetroresina (VTR) al fine di facilitare l’attraversamento delle macchine nella zona di scavo. La gabbia 3 ha una lunghezza pari a 8m.

	M,max [kN.m]	M,sle [kNm]	T,max [kN]	N [kN]	z [m]
Gabbia 1	200.00	70.00	-	-62.83	-5.00
	-	-	130.00	-	-8.20
Gabbia 2	1205.00	928.00	-	-181.58	-14.45
	-	-	515.00	-	-18.00
Gabbia 3	778.00	595.00	-	-272.06	-21.65
	-	-	549.00	-	-18.25

Tabella 9 – Sollecitazioni massime – Pali perimetrali

dove:

- M,max ed T,max sono le sollecitazioni di calcolo; N è lo sforzo normale.
- M,sle è il momento flettente allo stato SLE.
- z è la profondità (rispetto alla testa del palo) in corrispondenza della sollecitazione calcolata.

6.8.1.3.2 Verifica gabbia 1

Armature longitudinali: 6 \varnothing 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio)

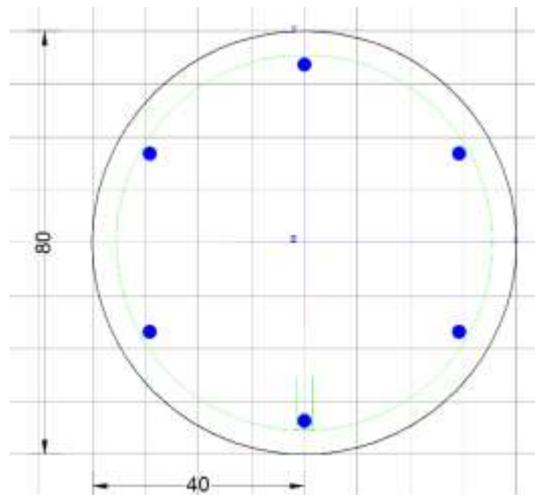


Figura 6-41 – gabbia 1

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd': 7.080	MPa		
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm	

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	33.7	6	26

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
 Passo staffe: 20.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	75.40200.00	0.00	130.00	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	75.40	70.00 0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	75.40	70.00 (164.40)0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	75.40	70.00 (164.40)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 31.1 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	75.40	200.000.00	0.00	75.46	410.58	0.002.05	0.002.05	31.9(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione

Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040	0.00216	0.0	33.7	-0.01212	0.0	33.7	

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000211968	-0.004978726	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	10 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]

A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	130.001280.27263.1066.6	60.3	63.0	1.420	1.011	3.97.9(0.0)	

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.560.0	0.0	-72.9	0.0	-33.7498	5.3		

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	2.560.0	0.0	-72.9	0.0	-33.7498	5.3		

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]

k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e sm - e cm	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
Mx fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
My fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.000410	0.500	26.0	50	0.00022 (0.00022)	585	0.128 (0.40)	164.400.00	

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°	Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S		2.560.0	0.0	-72.9	0.0	-33.7498	5.3		

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.000410	0.500	26.0	50	0.00022 (0.00022)	585	0.128 (0.30)	164.400.00	

6.8.1.3.3 Verifica gabbia 2

Armature longitudinali: 26 φ 26 + 26 φ 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe φ 10/ 15 cm (in acciaio)

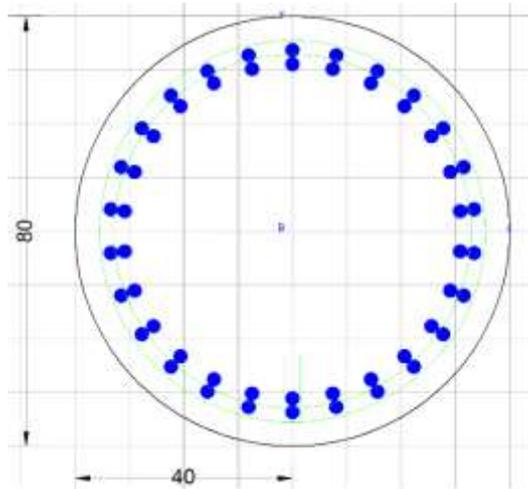


Figura 6-42 – gabbia 2

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:		Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm	

ACCIAIO - Tipo:	B450C		
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²	

Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito
 Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00
 Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50
 Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	33.726	26	
2	0.0	0.0	31.126	26	

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
 Passo staffe: 15.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	181.58	1205.00	0.00		515.000.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	181.58	928.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	181.58	928.00	(274.14)0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	181.58	928.00 (274.14)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.9 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	N	181.58	1205.00	0.00	181.32	2512.800.00	2.09	276.1

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

1 S 515.001285.15577.5861.9| 51.6 72.8 1.420 1.026 18.020.1(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1 S 10.810.0 0.0-186.8 0.0-33.7653 63.7

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1 S 10.810.0 0.0-186.8 0.0-33.7653 63.7

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]

wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi

Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]

My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cmsr max	wkMx fess	My fess
1	S	-0.001080	0.500	26.0	50	0.00081 (0.00056)	215	0.174 (0.40) 274.140.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1	S	10.810.0	0.0-186.8	0.0-33.7653	63.7
---	---	----------	-----------	-------------	------

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cmsr max	wkMx fess	My fess
1	S	-0.001080	0.500	26.0	50	0.00085 (0.00056)	215	0.183 (0.30) 274.140.00

6.8.1.3.4 Verifica gabbia 2 con armatura in VTR

Armature longitudinali: 22 φ 30 + 22 φ 30 (in VTR)

Armature trasversali: staffe φ 12/ 20 cm (in VTR)

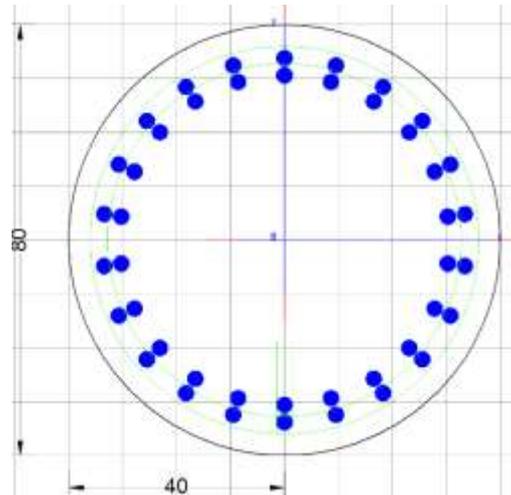


Figura 6-43 – gabbia 3 con armatura in VTR

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:		Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	

VETRORESINA - Tipo:	VTR (30)		
Resist. caratt. snervam. fyk:	531.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	600.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	462.00	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	522.00	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.014		
Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.822	30		
2	0.0 0.0	30.822	30		

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	181.581	205.00	0.00		0.000.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.7 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 5.8 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	N	181.58	1205.00		0.00	181.35	1335.280.00	1.11311.0	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00278	0.0	33.8	-0.00510	0.0	33.8	

VERIFICHE A TAGLIO

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

VETRORESINA -	Tipo:	VTR(12)		
	Resist. caratt. snervam. fyk:	335.00	MPa	
	Resist. caratt. rottura ftk:	379.00	MPa	
	Resist. snerv. di progetto fyd:	291.00	MPa	

Resist. ultima di progetto ftd:	330.00	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.007	
Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

Diam. Staffe:	12 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta- ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	584.00	1261.54	621.68	62.0	51.9	72.9	1.420	1.000	20.221.5(0.0)

6.8.1.3.5 Verifica gabbia 3

Armature longitudinali: 24 ϕ 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe ϕ 12/ 10 cm (in acciaio)

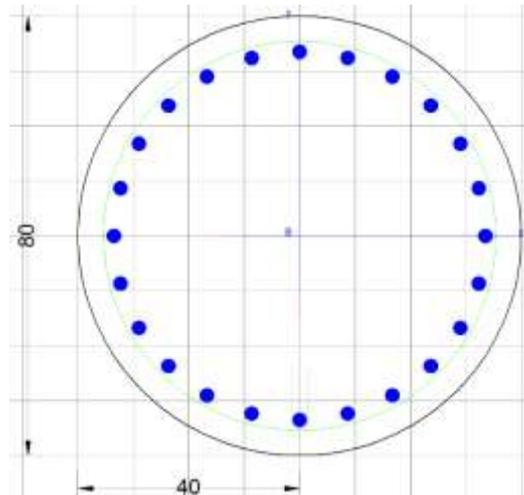


Figura 6-44 – gabbia 3

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:		C25/30	
Resis. compr. di progetto fcd:		14.160	MPa
Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:		0.0020	
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:		Parabola-Rettangolo	
Modulo Elastico Normale Ec:		31475.0	MPa
Resis. media a trazione fctm:		2.560	MPa
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:		150.00	daN/cm ²
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:		0.400	mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:		0.00	Mpa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:		0.300	mm
ACCIAIO - Tipo:		B450C	
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:		391.30	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:		391.30	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²	

Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito
 Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00
 Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50
 Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	33.524	26	

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm
 Passo staffe: 10.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia

con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	238.76778.00	0.00	549.00	0.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	272.10	595.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	272.10	595.00 (207.88)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	272.10	595.00 (207.88)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.2	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	6.1	cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata						
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)						
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia						
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia						
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)						
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia						
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia						
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000						
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]						

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	238.76	778.000.00	238.58	1350.27	0.001.74	127.4	(15.1)	

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)

1 S 549.001334.08674.4862.1| 53.7 72.2 1.420 1.034 18.422.6(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1 S 10.870.0 0.0-217.7 0.0-33.5716 26.5

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1 S 10.870.0 0.0-217.7 0.0-33.5716 26.5

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2)/(2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]

sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
 wk Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra
 parentesi
 Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.001260	0.500	26.0	52	0.00083	(0.00065)	296	0.246 (0.40)	207.880.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.870.0	0.0-217.7	0.0-33.5716	26.5				

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.001260	0.500	26.0	52	0.00092	(0.00065)	296	0.272 (0.30)	207.880.00

6.8.1.3.6 Verifica tiranti

Nella seguente tabella si riassumono le caratteristiche dei tiranti:

Tabella 10 – Caratteristiche dei tiranti di ancoraggio

Ordine	Diametro perforazione	Lunghezza Libera	Lunghezza bulbo	Passo	Inclinazione	Trefoli	Tipologia iniezione
	[m]	[m]		[m]	[°]	N.	-
1	0.2	11	8	3	8	3	IGU
2	0.2	9	7	3	8	3	IGU
3	0.2	9	7	3	8	3	IGU

La verifica geotecnica a sfilamento delle barre di ancoraggio è stata condotta secondo quanto previsto per i tiranti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei coefficienti parziali indicati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II per quanto riguarda azioni e parametri del terreno e di un coefficiente parziale sulle resistenze γ_R pari a 1.2 per tiranti permanenti (tabella 6.6.I delle NTC).

Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

Il valore della resistenza caratteristica allo sfilamento $R_{a,k}$ viene determinato dalla resistenza di calcolo $R_{a,c}$ (considerando il suo valor medio) attraverso il fattore di correlazione (ξ_{a3} in funzione del numero di verticali di indagine ($\xi_{a3} = 1.8$ nel caso in esame avendo a disposizione 1 verticale di indagine):

$$R_{a,k} = R_{a,c} / \xi_{a3}$$

Tab. 6.6.III - Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine

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

Il valore della resistenza di calcolo $R_{a,c}$ viene determinato come segue:

$$R_{a,c} = D \cdot \alpha \cdot p \cdot L \cdot \tau_s$$

Dove:

D = diametro di perforazione

α = coefficiente di maggiorazione del diametro di perforazione, funzione del tipo di terreno e di iniezione, assunto pari a 1.10 nel caso in esame per le unità geotecniche attraversate dai tiranti. È stata adottata la tecnica di iniezione globale unica (IGU);

L = lunghezza del bulbo di ancoraggio

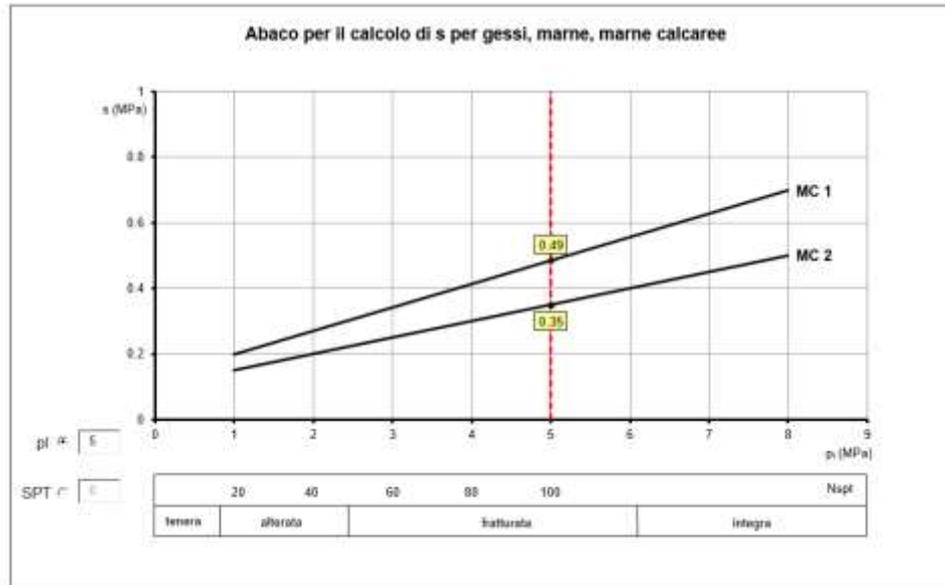
τ_s = tensione limite di aderenza fra bulbo e terreno

Tipo di terreno	Coefficiente α	
	IRS*	IGU**
Ghiaia	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 grossolana	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Sabbia fine	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	1.2
Marna	1.8	1.1 - 1.2
Marna calcarea	1.8	1.1 - 1.2
Arenaria alterata o fratturata	1.8	1.1 - 1.2
Roccia alterata o fratturata	1.2	1.1

IRS: Iniezione ripetuta selettiva
IGU: Iniezione globale unica

Per la stima della tensione limite di aderenza tra bulbo e terreno si è fatto riferimento alle indicazioni di Bustamante e Doix (1985) per le iniezioni IGU relative a terreni incoerenti.

Dalle indagini in-situ si è ottenuto un valore di pressione limite pari a 5 Mpa, da cui $\tau_s = 350$ kPa per lo strato in esame “conglomerati fortemente cementati”.



*S = τ_s

*MC2 = IGU

Il valore della resistenza di progetto allo sfilamento del bulbo $R_{a,d}$ si ottiene applicando alla resistenza caratteristica $R_{a,k}$ il coefficiente parziale sulle resistenze γ_R precedentemente definito:

$$R_{a,d} = R_{a,k} / \gamma_R = R_{a,c} / (\xi a_3 \cdot \gamma_R)$$

La verifica allo sfilamento risulta soddisfatta quando:

$$R_{a,d} > E_d \text{ (sollecitazione)}$$

La resistenza a trazione di progetto delle barre in acciaio si determina fattorizzando la tensione di snervamento caratteristica con il coefficiente parziale $\gamma_s = 1.15$. La verifica strutturale del tirante risulta soddisfatta quando:

$$R_{t,d} = f_{yk} / \gamma_s \cdot \text{Acciaio} > E_d$$

Infine va rispettata la gerarchia delle resistenze ovvero la resistenza a trazione di progetto delle barre in acciaio deve essere maggiore della resistenza a sfilamento:

$$R_{t,d} > R_{a,d}$$

Di seguito si riportano le verifiche dei tiranti effettuate internamente al software paratie:

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tranti) ▾

Tranti	Puntoni	Travi di Ripartizione in Acciaio	Travi di Ripartizione in Calcestruzzo					
Trante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Tieback	Stage 4	234	895.92	1367.9	0.261	0.171	✓	✓
Tieback	Stage 5	236.23	895.92	1367.9	0.264	0.173	✓	✓
Tieback	Stage 6	234.53	895.92	1367.9	0.262	0.171	✓	✓
Tieback	Stage 7	233.53	895.92	1367.9	0.261	0.171	✓	✓
Tieback	Stage 8	234.04	895.92	1367.9	0.261	0.171	✓	✓
Tieback	Stage 9	227.98	895.92	1367.9	0.254	0.167	✓	✓
Tieback	Stage 10	227.98	895.92	1367.9	0.254	0.167	✓	✓
Tieback	Stage 11	234.59	895.92	1367.9	0.262	0.171	✓	✓
Tieback	Stage 12	234.59	895.92	1367.9	0.262	0.171	✓	✓
Tieback	Stage 13	226.96	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 14	227.01	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 15	227.01	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 16	227.01	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 17	227.01	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 18	227.01	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 19	227.01	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 20	227.01	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 21	227.01	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 22	227.01	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 23	227.29	895.92	1367.9	0.254	0.166	✓	✓
Tieback	Stage 24	226.56	895.92	1367.9	0.253	0.166	✓	✓
Tieback_New	Stage 6	234	783.95	1367.9	0.298	0.171	✓	✓
Tieback_New	Stage 7	236.29	783.95	1367.9	0.301	0.173	✓	✓
Tieback_New	Stage 8	234.62	783.95	1367.9	0.299	0.172	✓	✓
Tieback_New	Stage 9	285.75	783.95	1367.9	0.365	0.209	✓	✓
Tieback_New	Stage 10	285.75	783.95	1367.9	0.365	0.209	✓	✓
Tieback_New	Stage 11	324.42	783.95	1367.9	0.414	0.237	✓	✓
Tieback_New	Stage 12	324.42	783.95	1367.9	0.414	0.237	✓	✓
Tieback_New	Stage 13	416.15	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 14	416.19	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 15	416.2	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 16	416.2	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 17	416.2	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 18	416.2	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 19	416.2	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 20	416.2	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 21	416.2	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 22	416.2	783.95	1367.9	0.531	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 23	415.37	783.95	1367.9	0.53	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 24	415.18	783.95	1367.9	0.53	0.304	✓	✓
Tieback_New	Stage 8	234	783.95	1367.9	0.298	0.171	✓	✓
Tieback_New	Stage 9	353.09	783.95	1367.9	0.45	0.258	✓	✓
Tieback_New	Stage 10	353.09	783.95	1367.9	0.45	0.258	✓	✓
Tieback_New	Stage 11	427.19	783.95	1367.9	0.545	0.312	✓	✓
Tieback_New	Stage 12	427.19	783.95	1367.9	0.545	0.312	✓	✓
Tieback_New	Stage 13	648.1	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 14	648.11	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 15	648.13	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 16	648.13	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 17	648.13	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 18	648.13	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 19	648.13	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 20	648.13	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 21	648.13	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 22	648.13	783.95	1367.9	0.827	0.474	✓	✓
Tieback_New	Stage 23	645.36	783.95	1367.9	0.823	0.472	✓	✓
Tieback_New	Stage 24	645.3	783.95	1367.9	0.823	0.472	✓	✓

Figura 6-45 – Verifiche tiranti

Le verifiche risultano soddisfatte ai sensi delle NTC 2018.

6.8.1.3.7 Verifica trave di ripartizione

Di seguito si riportano le verifiche strutturali dei profili HEB 180 in acciaio S275 utilizzati come travi di ripartizione per il primo e il secondo ordine dei tiranti, e il profilo HEB 220 per il terzo ordine dei tiranti.



Figura 6-46 - Inserimento trave di ripartizione in Paratie

La verifica è eseguita internamente al software Paratie e di seguito se ne riportano gli esiti:

Verifiche Elementi Strutturali

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tronco) ▾

Travi | Puntoni | Travi di Ripartizione in Acciaio | Travi di Ripartizione in Calcestruzzo

Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)	Struttament o Momento	Struttament o Taglie	Instabilità
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 4	78	0	0.406	0.265	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 5	78.743	0	0.41	0.268	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 6	78.176	0	0.407	0.266	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 6	78	0	0.406	0.265	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 7	77.644	0	0.405	0.265	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 7	78.763	0	0.41	0.268	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 8	78.014	0	0.406	0.265	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 8	78.208	0	0.407	0.266	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 8	78	0	0.238	0.191	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 9	75.993	0	0.395	0.258	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 9	95.251	0	0.496	0.324	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 9	117.7	0	0.359	0.288	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 10	75.993	0	0.395	0.258	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 10	95.251	0	0.496	0.324	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 10	117.7	0	0.359	0.288	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 11	78.197	0	0.407	0.266	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 11	108.14	0	0.563	0.368	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 11	142.4	0	0.434	0.348	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 12	78.197	0	0.407	0.266	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 12	108.14	0	0.563	0.368	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 12	142.4	0	0.434	0.348	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 13	75.653	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 13	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 13	216.03	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 14	75.669	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 14	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 14	216.04	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 15	75.67	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 15	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 15	216.04	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 16	75.671	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 16	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 16	216.04	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	15Stage 17	75.671	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	15Stage 17	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	15Stage 17	216.04	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 18	75.671	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 18	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 18	216.04	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 19	75.671	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 19	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 19	216.04	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 20	75.671	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 20	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 20	216.04	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 21	75.671	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 21	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 21	216.04	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 22	75.671	0	0.394	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 22	138.73	0	0.722	0.472	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 22	216.04	0	0.659	0.528	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 23	75.765	0	0.394	0.258	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 23	138.46	0	0.721	0.471	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 23	215.12	0	0.656	0.526	0
Default Water	Tieback	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 24	75.52	0	0.393	0.257	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 1808	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 24	138.39	0	0.72	0.47	0
Default Water	Tieback_New, J	HE 2208	S275	3	NTC2018: A1+M1+R1	Stage 24	215.1	0	0.656	0.525	0

Figura 6-47 - Verifiche trave di ripartizione

Le verifiche risultano soddisfatte.

6.8.1.3.8 Puntoni

Il sistema di puntonamento è realizzato da un telaio in acciaio formato da travi perimetrali HEM800 e puntoni interni d'angolo HEB280. La reazione sui puntoni, ovvero sulle molle inserite nel software di calcolo paratie, definisce il valore del carico da applicare sul sistema di puntonamento al fine di effettuarne le verifiche. La reazione massima vale 244.73 kN/m. Tale valore viene applicato al sistema di puntonamento:

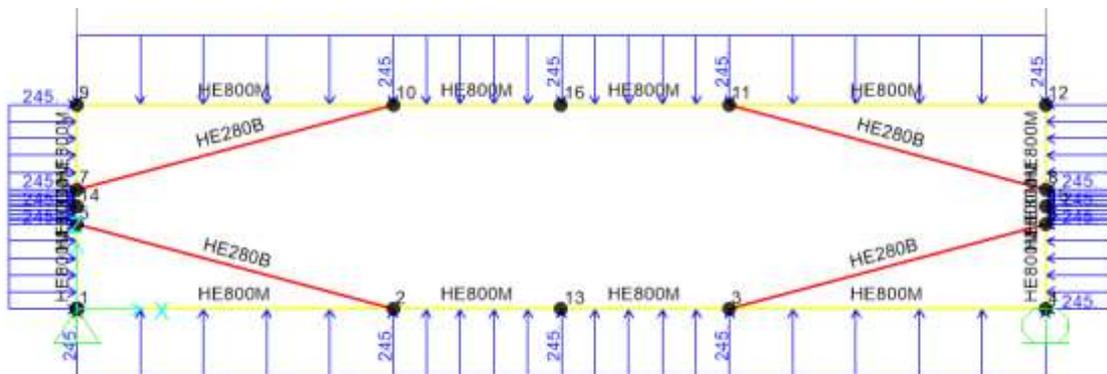


Figura 6-48 – Applicazione del carico sul sistema di puntonamento – paratia perimetrale

Le sollecitazioni agenti nel piano sono le seguenti:

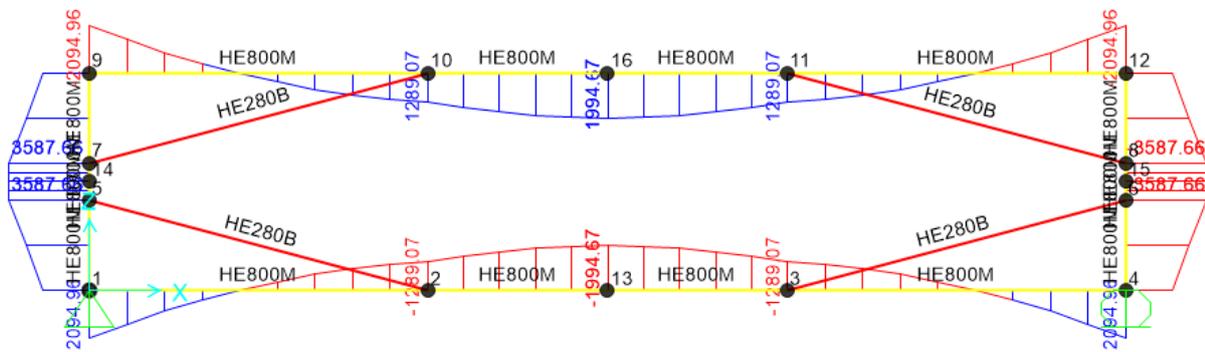


Figura 6-49 – Diagramma del momento flettente

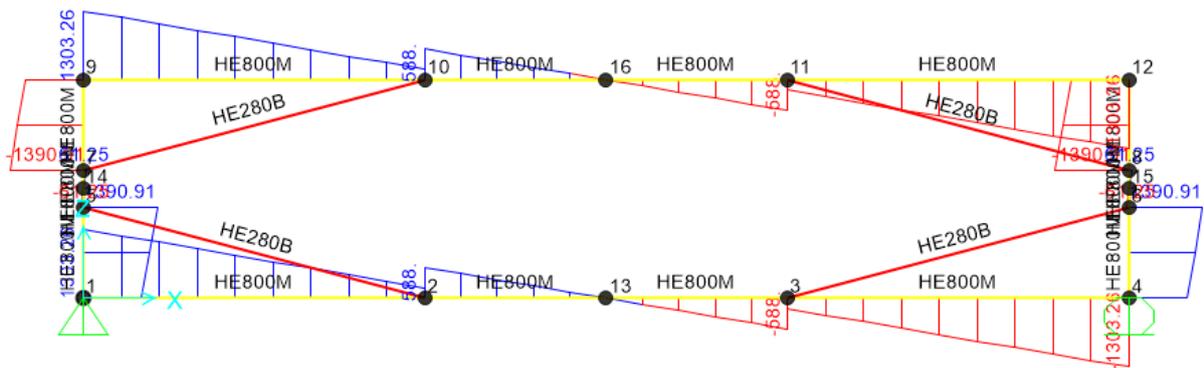


Figura 6-50 – Diagramma del taglio

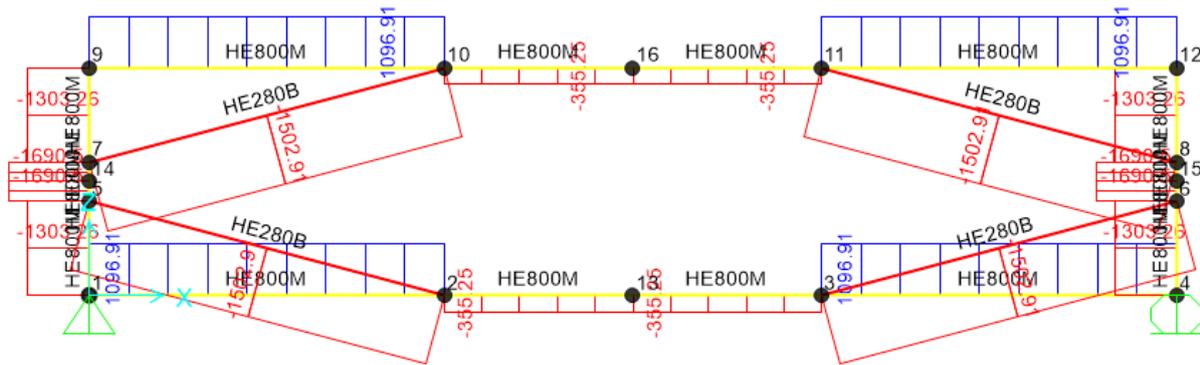


Figura 6-51 – Diagramma dello sforzo assiale

Le verifiche sul sistema di puntonamento sono svolte in accordo alle indicazioni normative al paragrafo 4.2.4 delle NTC 2018 e della circolare esplicativa 2019. Di seguito sono riportati i tassi di lavoro degli elementi strutturali:

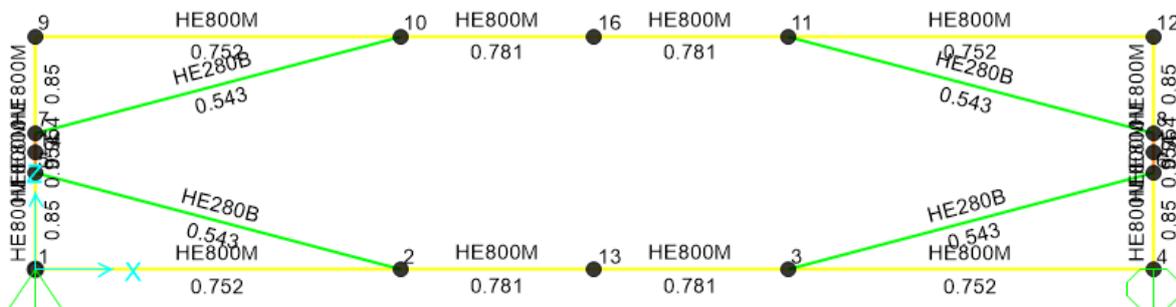


Figura 6-52 – Tasso di sfruttamento degli elementi

I fattori di sicurezza sono tutti minori dell’unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte. Il tasso di lavoro maggiore si registra per le travi perimetrali HEM 800 (FS=0.78<1) per cui si riportano le verifiche in dettaglio:

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)							
Units : KN, m, C							
Frame : 23	X Mid: 8.1	Combo: SLU 1	Design Type: Beam				
Length: 2.4	Y Mid: 0.	Shape: HE800M	Frame Type: Non Dissipative				
Loc : 2.4	Z Mid: 2.9	Class: Class 1	Rolled : Yes				
Interaction=Method B		MultiResponse=Envelopes		P-Delta Done? No			
Consider Torsion? No							
GammaM0=1.05	GammaM1=1.05	GammaM2=1.25					
An/Ag=1.	RLLF=1.	PLLF=0.75	D/C Lim=0.95				
Aeff=0.04	eNy=0.	eNz=0.					
A=0.04	Iyy=0.004	iyy=0.331	Wel,yy=0.011	Weff,yy=0.011			
It=1.657E-05	Izz=1.863E-04	izz=0.068	Wel,zz=0.001	Weff,zz=0.001			
Iw=2.790E-05	Iyz=0.	h=0.814	Wpl,yy=0.012	Av,y=0.025			
E=210000000.	fy=355000.	fu=510000.	Wpl,zz=0.002	Av,z=0.019			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS							
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted	
2.4	-355.25	1994.668	0.	0.	0.	0.	
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)							
D/C Ratio:	0.781 = 0.04 + 0.741 + 0. < 0.95			OK			
	= NEd/(Chi_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)						
AXIAL FORCE DESIGN							
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd				
	Force	Capacity	Capacity				
Axial	-355.25	13659.048	13659.048				
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag		
	13659.048	14834.88	33708.268	33708.265	1.		
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	a	0.21	48169.515	0.546	0.685	0.909	12422.485
MajorB (y-y)	a	0.21	48169.515	0.546	0.685	0.909	12422.485
Minor (z-z)	b	0.34	16759.051	0.925	1.051	0.645	8810.608
MinorB (z-z)	b	0.34	16759.051	0.925	1.051	0.645	8810.608
Torsional TF	b	0.34	33708.265	0.652	0.79	0.81	11063.223
MOMENT DESIGN							
	Med	Med,span	Mm,Ed	Meq,Ed			
	Moment	Moment	Moment	Moment			
Major (y-y)	1994.668	1994.668	1754.764	1994.668			
Minor (z-z)	0.	0.	0.	0.			
	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd			
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity			
Major (y-y)	4222.81	4222.81	4222.81	2677.65			
Minor (z-z)	652.524	652.524	652.524				
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Mcr
LTB	c	0.49	0.845	1.015	0.634	2.790E-05	6213.237
	Factors	kw	Psi	C2	C3		
		1.	1.132	0.459	0.525		
		za	zs	zg	zz	zj	
		0.407	0.	0.407	0.	0.	
		kyy	kyz	kzy	kzz		
Factors		0.936	0.63	0.994	1.05		
SHEAR DESIGN							
	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status		
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check		
Major (z)	0.	0.	3786.866	0.	OK		
Minor (y)	0.	0.	4877.249	0.	OK		
	Vpl,Rd	Eta	LambdaBarW				
Reduction	3786.866	1.	0.448				
CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS							
	VMajor	VMajor					
	Left	Right					
Major (V2)	588.	0.					

6.8.2 Sezione A-A – Pali CSP

6.8.2.1 Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU)

Si riportano di seguito gli involuipi delle sollecitazioni dell’analisi condotta per quanto riguarda la combinazione strutturale SLU (A1+M1+R1).

Il diagramma del momento flettente:

$M_{max} = 1432.2 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$; momento flettente massimo

WALL MOMENT

(Wallelem :WallElement New (270721) Z1=-11.95 m Z2=-34.95 m)

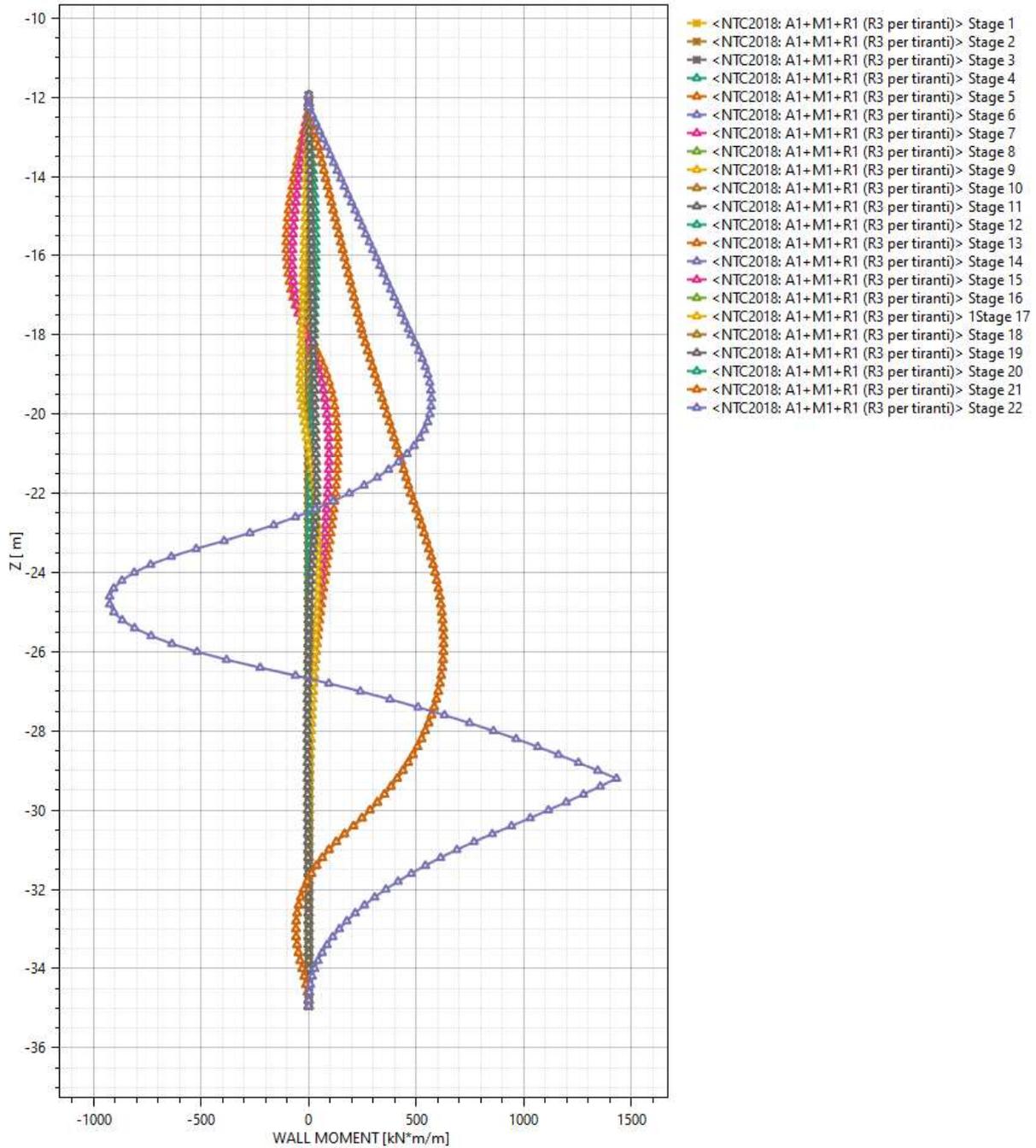


Figura 6-53 – Diagramma del momento flettente – pali CSP

Il diagramma del Taglio:

$T_{max} = 821 \text{ kN/m}$; taglio massimo

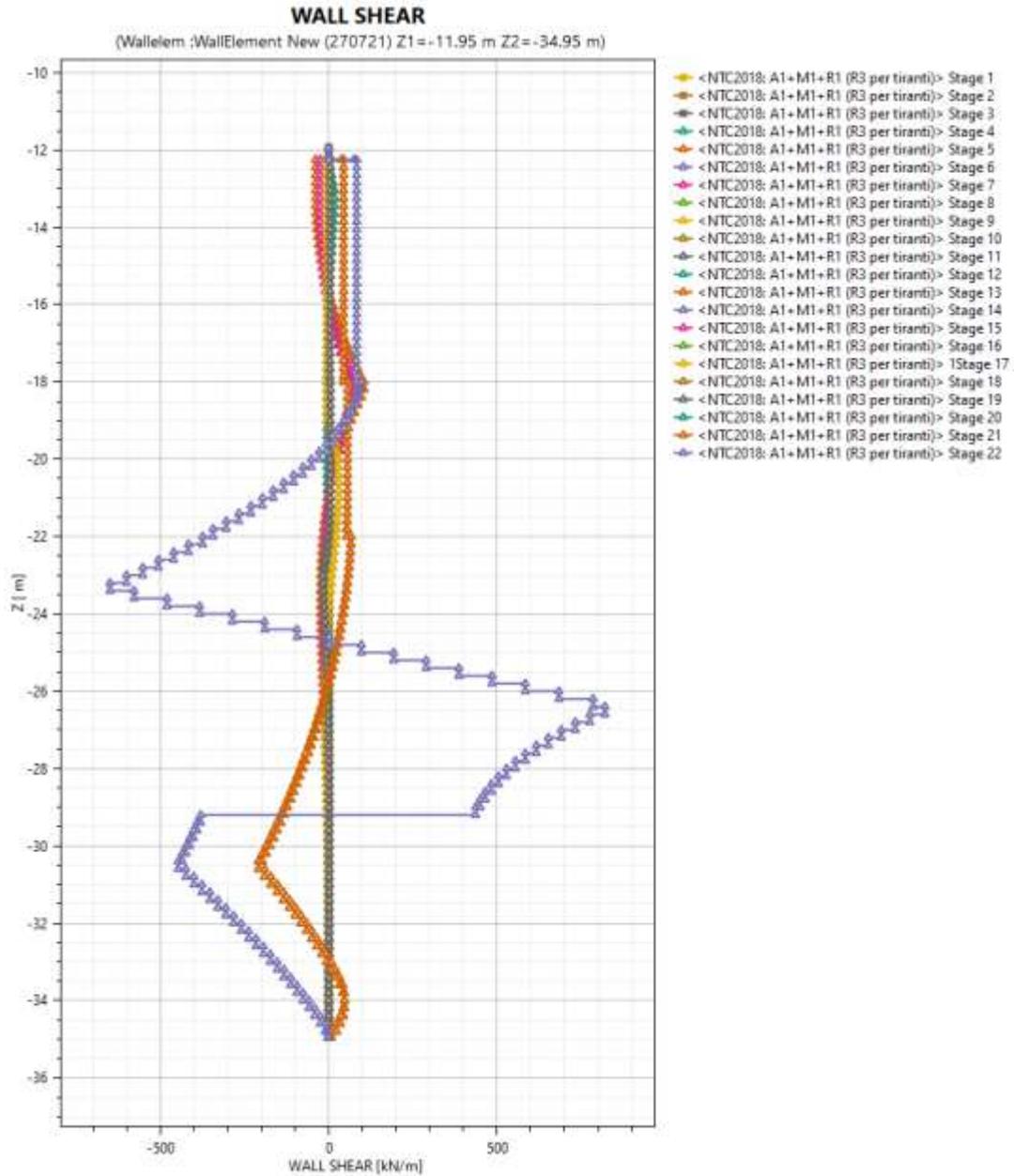


Figura 6-54 – Diagramma del taglio – Pali CSP

6.8.2.2 Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)

Verifica nei confronti delle deformazioni:

Gli spostamenti orizzontali massimi agli SLE sono di circa 2.0 cm, inferiori al limite $H_{scavo}/200 = 9.3$ cm, pertanto la verifica di SLE nei confronti di deformabilità viene soddisfatta.

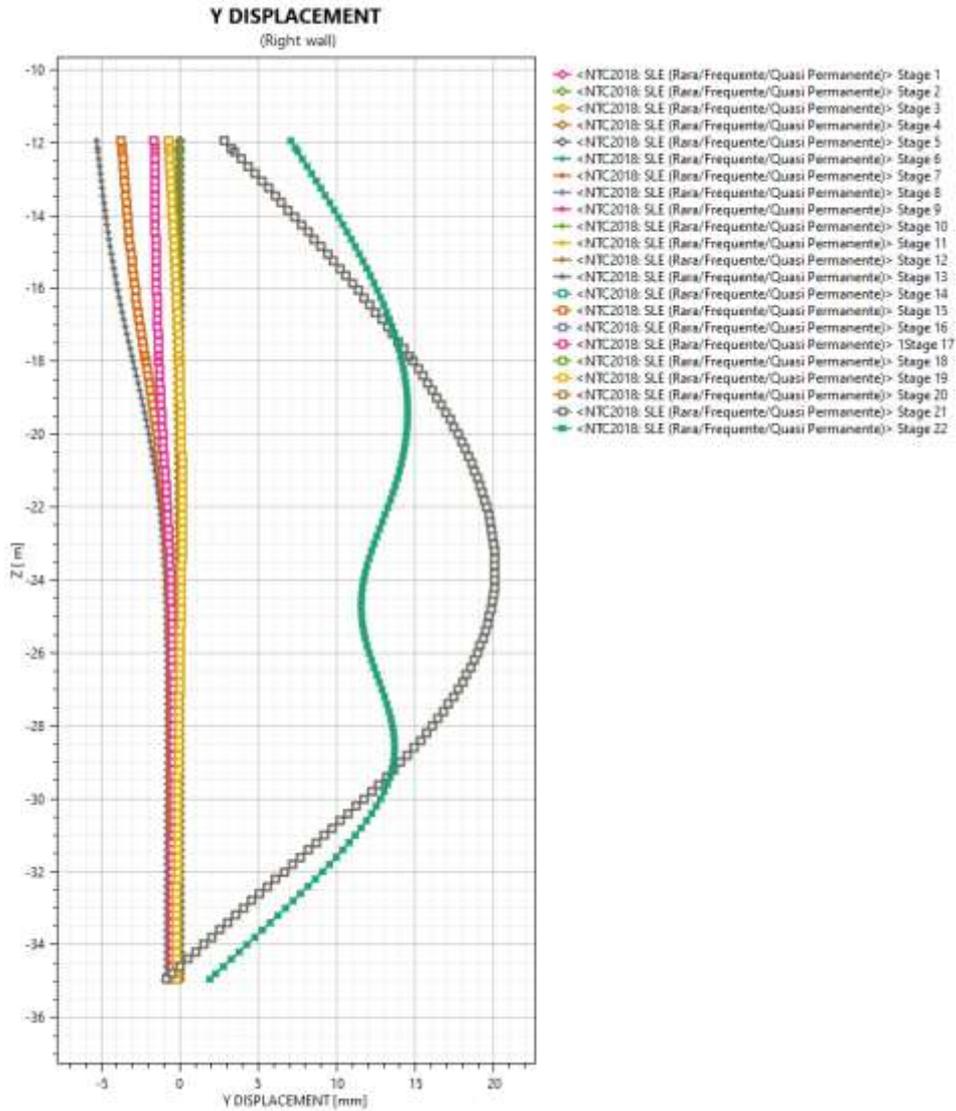


Figura 6-55 – Diagramma spostamenti – Pali CSP

6.8.2.3 Verifiche degli elementi strutturali – Pali CSP

Di seguito vengono riportate le verifiche allo stato limite SLU per le gabbie di armatura. La gabbia 1 ha una lunghezza pari a 10 m. Le barre della gabbia 2, con una lunghezza pari a 3m, sono state progettate in vetroresina (VTR) al fine di facilitare l’attraversamento della macchina del microtunneling nella zona di scavo. Nelle aree non interferenti con microtunneling, la gabbia 1 viene allungata di 3m. La gabbia 3 con una lunghezza pari a 10 m è stata dimensionata per la parte inferiore.

	M,max [kN.m]	T,max [kN]	z [m]
Gabbia 1	571.00	-	-19.60
	-	553.00	-23.00
Gabbia 2 (VTR)	927.00	-	-24.60
	-	821.00	-26.40
Gabbia 3	1432.00	-	-29.32
	-	733.00	27.00

Tabella 11 – Sollecitazioni massime – Pali CSP

dove:

- M,max ed T,max sono le sollecitazioni di calcolo.
- z è la profondità (rispetto alla testa del palo) in corrispondenza della sollecitazione calcolata.

6.8.2.3.1 Verifiche gabbia 1

Armature longitudinali: 10 \varnothing 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 12/ 10 cm (in acciaio)

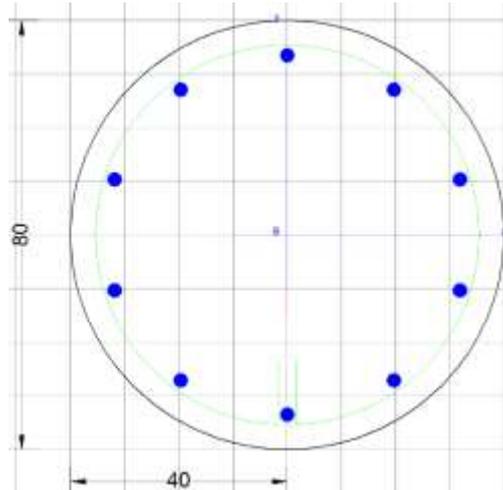


Figura 6-56 – gabbia 1

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	

ACCIAIO - Tipo:	B450C		
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.510	26		

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm
 Passo staffe: 10.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
---------	---	----	----	----	----

1 0.00571.00 0.00553.00 0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.2 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 18.1 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	571.000.00	0.00	0.00	619.76	0.001.09	53.1	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

1 0.00350 0.040.0 0.00232 0.0 33.5 -0.00985 0.0-33.5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000181601	-0.003764055		

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	553.001289	59731.2164	7 58.2	66.5	1.420	1.000	17.122	6(0.0)	

6.8.2.3.2 Verifica gabbia 2

Armature longitudinali: 20 \varnothing 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 14/ 10 cm (in acciaio)

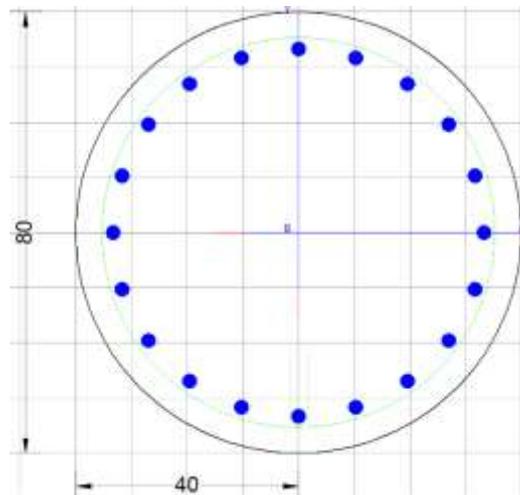


Figura 6-57 – gabbia 2

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto f_{cd} :	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta f_{cd}' :	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ϵ_{c2} :	0.0020		
Def.unit. ultima ϵ_{cu} :	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale E_c :	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione f_{ctm} :	2.560	MPa	

ACCIAIO - Tipo:	B450C		
Resist. caratt. snervam. f_{yk} :	450.00	MPa	
Resist. caratt. rottura f_{tk} :	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto f_{yd} :	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto f_{td} :	391.30	MPa	

Deform. ultima di progetto Epu: 0.068
Modulo elastico Ef 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	33.320	26	

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 14 mm
Passo staffe: 10.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00927.00	0.00821.00	0.00		

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.4 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.8 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	927.000.00	0.00	0.00	1118.62	0.001.21	106.2	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc maxes min	Xs min	Ys mines max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00253 0.0	33.3	-0.00707	0.0-33.3	

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000144174	-0.002266962		

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 14 mm
 Passo staffe: 10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con $L=lungh.legat.proietta-$
 ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°CombVer	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	821.001297.58937.9862.3	54.8	71.0	1.420	1.000	26.930.8(0.0)

6.8.2.3.3 Verifica gabbia 2 con armatura in VTR

Armature longitudinali: 14 \varnothing 30 + 14 \varnothing 30 (in VTR)

Armature trasversali: staffe \varnothing 12/ 15 cm (in VTR)

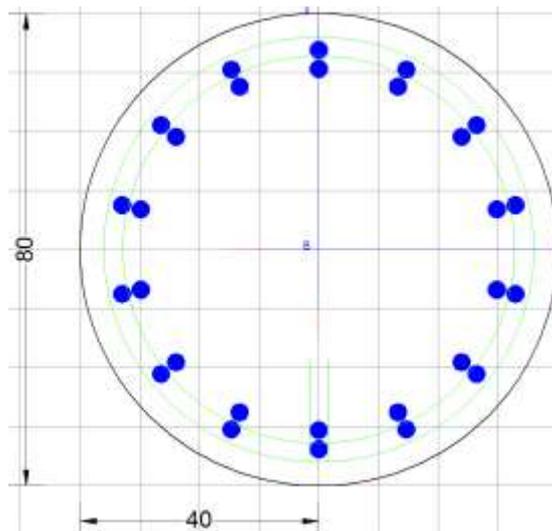


Figura 6-58 – gabbia 2 con armatura in VTR

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	

Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
VETRORESINA - Tipo:	VTR (30)	
Resist. caratt. snervam. fyk:	531.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:	600.00	MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:	462.00	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	522.00	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.014	
Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.814	30		
2	0.0 0.0	30.814	30		

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
Vy con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00927.00	0.000.00	0.000.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.7 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 10.7 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	927.000.00	0.00	0.00	1041.96	0.001.12	197.9	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)

Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc maxes min	Xs min	Ys mines max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00269 0.0	33.8	-0.00614	0.0-33.8	

VERIFICHE A TAGLIO

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

VETRORESINA - Tipo: VTR(12)

Resist. caratt. snervam. fyk:	335.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:	379.00	MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:	291.00	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	330.00	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.007	
Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	

Diam. Staffe: 12 mm
 Passo staffe: 15.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]

A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°CombVer	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	733.001299.28861.8162.4	54.0	72.2	1.420	1.000	24.428.7(0.0)

6.8.2.3.4 Verifica gabbia 3

Armature longitudinali: 30 ϕ 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe ϕ 14/ 10 cm (in acciaio)

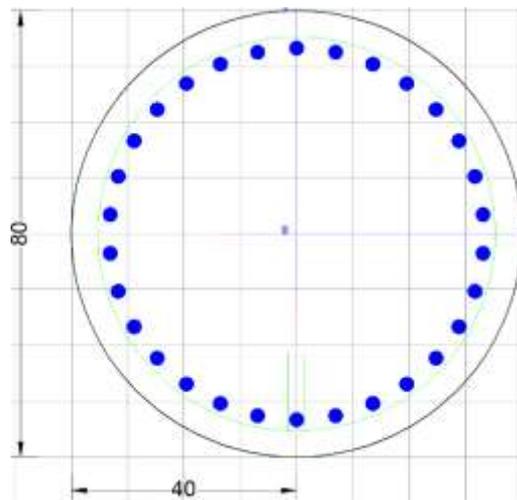


Figura 6-59 – gabbia 3

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		

Modulo Elastico Normale Ec: 31475.0 MPa
 Resis. media a trazione fctm: 2.560 MPa

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. fyk: 450.00 MPa
 Resist. caratt. rottura ftk: 450.00 MPa
 Resist. snerv. di progetto fyd: 391.30 MPa
 Resist. ultima di progetto ftd: 391.30 MPa
 Deform. ultima di progetto Epu: 0.068
 Modulo Elastico Ef 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	33.330	26	

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 14 mm
 Passo staffe: 10.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.001432.00	0.00733.00	0.00		

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.4	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	4.4	cm
Copriferro netto minimo staffe:	4.0	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm ²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	1432.00	0.00	0.00	0.00	1589.140.00	1.11159.3	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040	0.00265	0.0	33.3	-0.00585	0.0	33.3	0.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000127592	-0.001603677		

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	14 mm
Passo staffe:	10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.

Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	733.001280.19911.2761.9	53.3	72.1	1.420	1.000	24.830.8(0.0)	

6.8.2.3.5 Puntoni

Il sistema di puntonamento è realizzato da un telaio in acciaio formato da travi perimetrali HEM500 e puntoni interni d’angolo HEB280. La reazione sui puntoni, ovvero sulle molle inserite nel software di calcolo paratie, definisce il valore del carico da applicare sul sistema di puntonamento al fine di effettuarne le verifiche. La reazione massima vale 15 kN/m. Tale valore viene applicato al sistema di puntonamento:

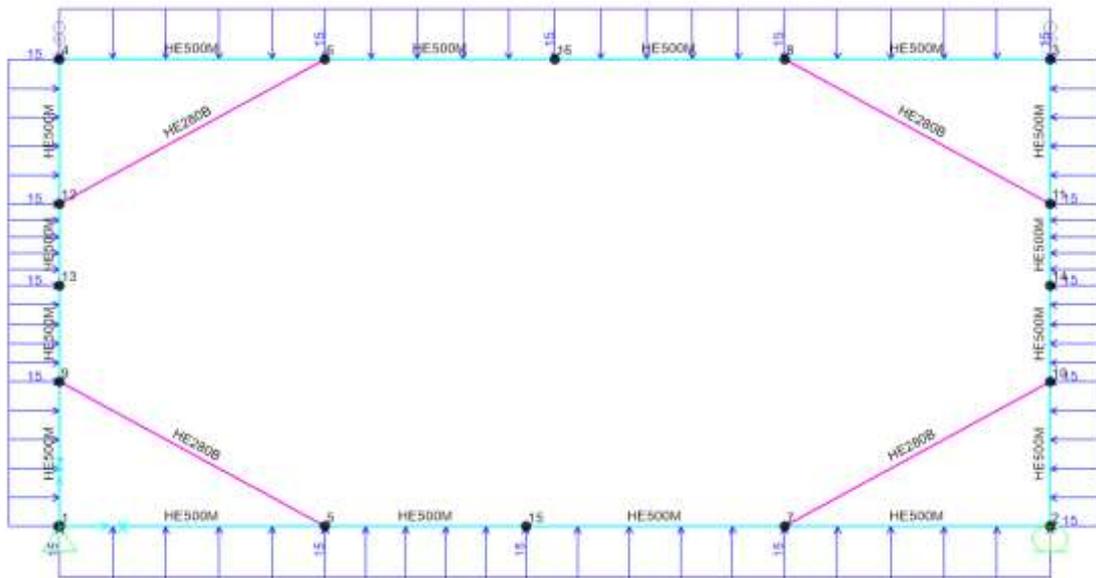


Figura 6-60 – Applicazione del carico sul sistema di puntamento

Le sollecitazioni agenti nel piano sono le seguenti:

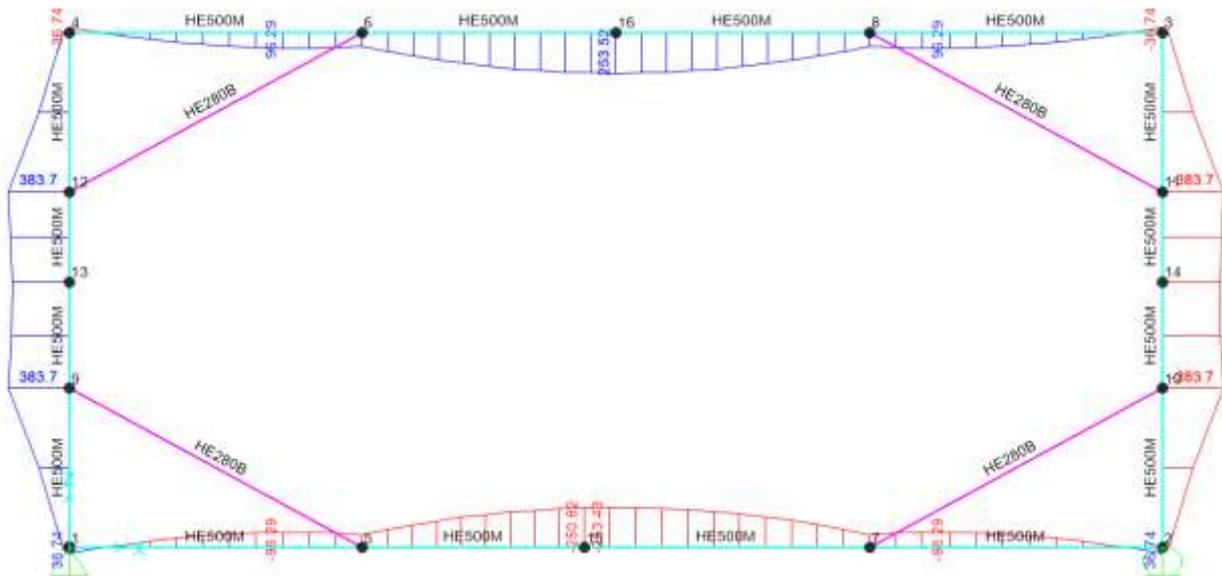


Figura 6-61 – Diagramma del momento flettente

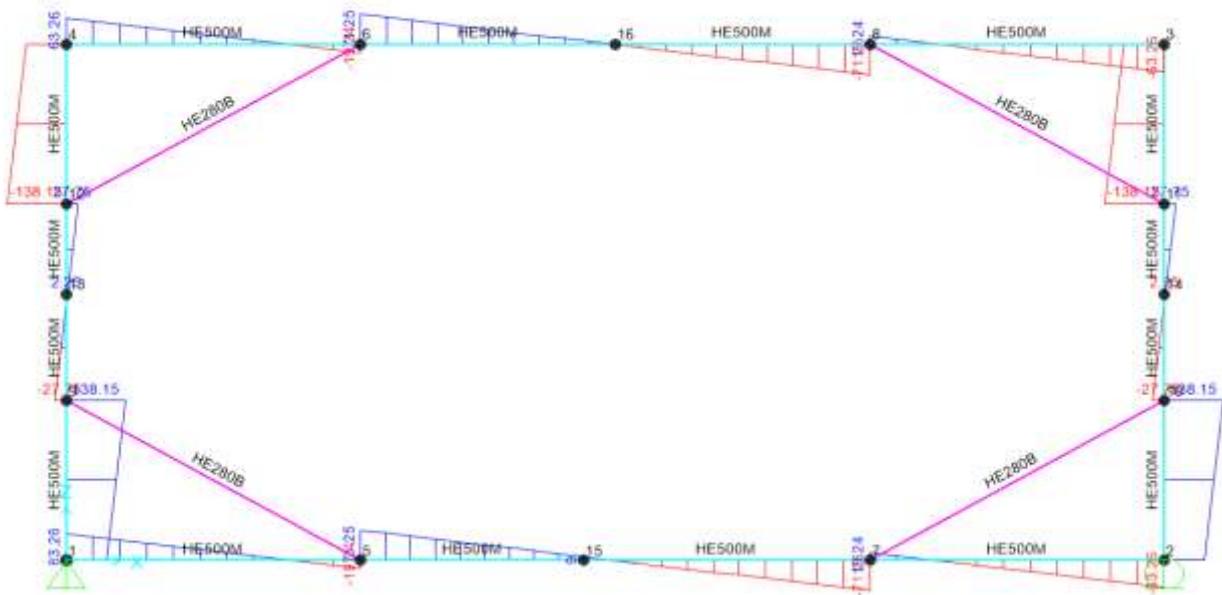


Figura 6-62 – Diagramma del taglio

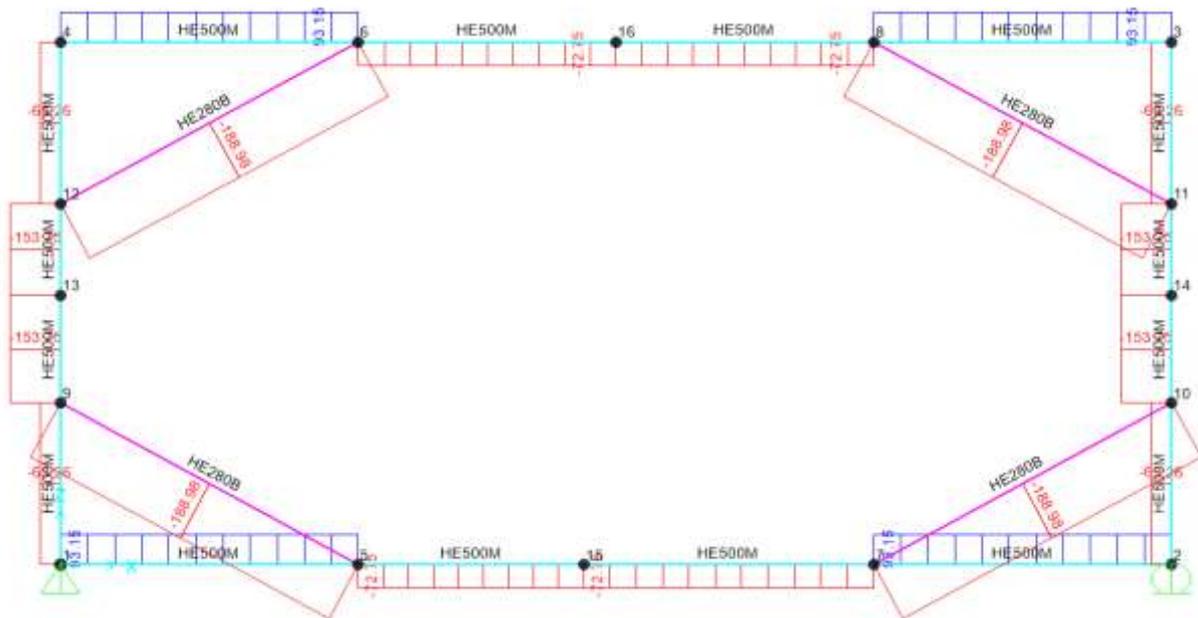


Figura 6-63 – Diagramma dello sforzo assiale

Le verifiche sul sistema di puntonamento sono svolte in accordo alle indicazioni normative al paragrafo 4.2.4 delle NTC 2018 e della circolare esplicativa 2019. Di seguito sono riportati i tassi di lavoro degli elementi strutturali:

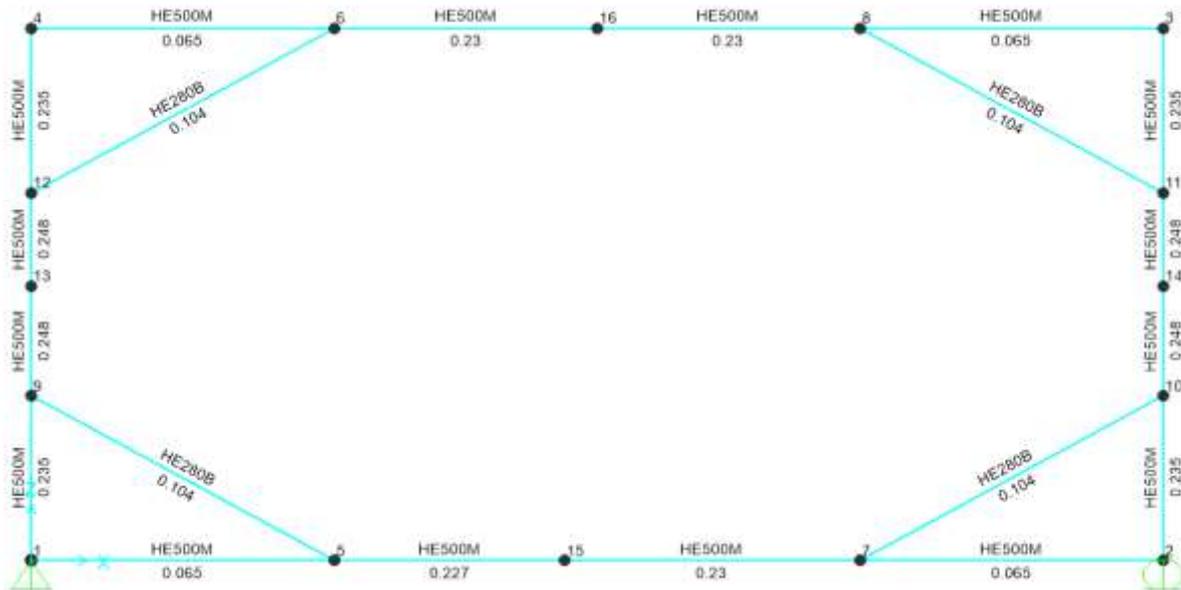


Figura 6-64 – Tasso di sfruttamento degli elementi

I fattori di sicurezza sono tutti minori dell’unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte. Il tasso di lavoro maggiore si registra per le travi perimetrali HEM 800 (FS=0.25 < 1) per cui si riportano le verifiche in dettaglio:

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : KN, m, C						
Frame : 19	X Mid: 0.	Combo: SLU 1	Design Type: Column			
Length: 2.	Y Mid: 1.	Shape: HE500M	Frame Type: Non Dissipative			
Loc : 2.	Z Mid: 4.	Class: Class 1	Rolled : Yes			
Interaction=Method B		MultiResponse=Envelopes		P-Delta Done? No		
Consider Torsion? No						
GammaM0=1.05	GammaM1=1.05	GammaM2=1.25				
An/Ag=1.	RLLF=1.	PLLF=0.75	D/C Lim=0.95			
Aeff=0.034	eNy=0.	eNz=0.				
A=0.034	Iyy=0.002	iyy=0.217	Wel,yy=0.006	Weff,yy=0.006		
It=1.544E-05	Izz=1.915E-04	izz=0.075	Wel,zz=0.001	Weff,zz=0.001		
Iw=1.122E-05	Iyz=0.	h=0.524	Wpl,yy=0.007	Av,y=0.025		
E=210000000.	fy=275000.	fu=430000.	Wpl,zz=0.002	Av,z=0.013		
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	Ned	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
2.	-153.75	383.697	0.	-27.75	0.	0.
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)						
D/C Ratio:	0.248 = 0.02 + 0.228 + 0. <			0.95 OK		
	= NEd/(Chi_z NRk/GammaM1) + kzy (My,Ed+NEd eNy)/(Chi_LT My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NEd eNz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)					
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd			
Axial	Force	Capacity	Capacity			
	-153.75	9009.524	9009.524			
	Npl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag	
	9009.524	10650.24	55955.588	55955.588	1.	
	Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi
Major (y-y)	a	0.21	245110.796	0.196	0.519	1.
MajorB (y-y)	a	0.21	245110.796	0.196	0.519	1.
Minor (z-z)	b	0.34	28992.414	0.571	0.726	0.851
MinorB (z-z)	b	0.34	28992.414	0.571	0.726	0.851
Torsional TF	b	0.34	55955.588	0.411	0.62	0.922
						Nb,Rd
						9009.524
						9009.524
						7669.291
						7669.291
						8303.323
MOMENT DESIGN						
	Med	Med,span	Mm,Ed	Meq,Ed		
	Moment	Moment	Moment	Moment		
Major (y-y)	383.697	383.697	370.947	373.497		
Minor (z-z)	0.	0.	0.	0.		
	Mc,Rd	Mv,Rd	Mn,Rd	Mb,Rd		
	Capacity	Capacity	Capacity	Capacity		
Major (y-y)	1857.952	1857.952	1857.952	1681.49		
Minor (z-z)	506.	506.	506.			
	Curve	AlphaLT	LambdaBarLT	PhiLT	ChiLT	Iw
LTB	b	0.34	0.452	0.645	0.905	1.122E-05
						Mcr
						9562.656
	kw	Psi	C2	C3		
Factors	1.	1.035	0.	0.996		
	za	zs	zg	zz	zj	
	0.262	0.	0.262	0.	0.	
	kyy	kyz	kzy	kzz		
Factors	0.973	0.607	0.998	1.011		
SHEAR DESIGN						
	Ved	Ted	Vc,Rd	Stress	Status	
	Force	Torsion	Capacity	Ratio	Check	
Major (z)	27.75	0.	1953.642	0.014	OK	
Minor (y)	0.	0.	3791.76	0.	OK	
	Vpl,Rd	Eta	LambdabarW			
Reduction	1953.642	1.	0.245			

6.8.2.4 Verifiche nei confronti degli stati limiti ultimi idraulici

6.8.2.4.1 Sollevamento del fondo scavo (UPL)

L’opera geotecnica è stata verificata nei confronti del possibile stato limite di sollevamento. La verifica è stata condotta secondo quanto previsto dalle NTC 2018 al paragrafo 6.2.4.2, adottando i coefficienti di sicurezza sotto riportati:

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_i (o γ_{if})	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(2)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0
	Sfavorevole		1,5

Tabella 6.12: Coefficienti di sicurezza per la verifica a sollevamento – NTC 2018

Verifica UPLIFT del fondo di scavo

γ_w	9.81	kN/m ³	W	2650	kN
γ_{terreno}	25	kN/m ³	s	130.473	kN/m ²
hw	13.3	m s.l.m	S	2766.028	kN
p	37.5	kN	P	795	kN
M	21.2	m	γ_{Gfav}	0.9	
N	1	m	γ_{Gsfav}	1.1	
A	21.2	m ²			
H	5	m	FS	1.02	

γ_w : peso dell'acqua

γ_{terreno} : peso del terreno

hw: altezza di falda

P: peso della soletta di fondazione

M: dimensione maggiore fondazione

N: dimensione minore fondazione

A: area della fondazione

W: peso del terreno resistente $W = \gamma_{\text{terreno}} \times H \times A$

s: spinta idrostatica agente sull'area della fondazione $s = \gamma_w \times hw$

S: risultante spinta idrostatica $S = s \times A$

La verifica viene soddisfatta con un fattore di sicurezza (FS) pari a 1.02.

6.8.3 Caratteristiche dell'opera

Dalle verifiche effettuate si può concludere che la struttura soddisfa i requisiti di resistenza e funzionalità previsti allo SLU e SLE, con opportuno margine di sicurezza.

Dovrà essere posta attenzione alle effettive misure dello stato di fatto in modo da posizionare la struttura in oggetto in maniera conforme alle indicazioni di progetto.

Dai calcoli eseguiti si determinano le seguenti caratteristiche dell'opera:

Armature Sezione A-A:

Pali perimetrali:

- gabbia 1 (lunghezza = 6 m): 6 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio)
- gabbia 2 (lunghezza = 12 m): 26 \varnothing 26 + 26 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 15 cm (in acciaio); nelle zone interferenti con microtunneling e TBM, le barre in acciaio vengono sostituite con vetroresina per una lunghezza pari a 3m e 4m rispettivamente.
- gabbia 3 (lunghezza = 8 m): 24 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 12/ 10 cm

Incidenza armature (in acciaio) = 295 kg/m³

Barre longitudinali in VTR: 44 \varnothing 30 per palo (lunghezza=4m per TBM e 3m per microtunneling); Staffe in VTR \varnothing 12/20cm (lunghezza staffa esterna=2.25m, lunghezza staffa interna=2.05 cm)

Pali CSP:

- gabbia 1 (lunghezza = 11 m): 10 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 12/ 10 cm (in acciaio);
- gabbia 2 (lunghezza = 4 m): 20 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 14/ 10 cm (in acciaio); nelle zone interferenti con microtunneling, le barre in acciaio vengono sostituite con vetroresina per una lunghezza pari a 3m.
- gabbia 3 (lunghezza = 8 m): 30 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 14/ 10 cm (in acciaio).

Incidenza armature (in acciaio) = 200 kg/m³

Barre longitudinali in VTR: 28 \varnothing 30 per palo(lunghezza=3m); Staffe in VTR \varnothing 12/15cm (lunghezza staffa esterna=2.25m, lunghezza staffa interna=2.05 cm)

Puntoni:

Paratie perimetrale: Puntoni interni d’angolo HEB280 + travi perimetrali HEM800

Pali CSP: Puntoni interni d’angolo HEB280 + travi perimetrali HEM500

7 TURANO 3

Il presente capitolo ha come oggetto il Progetto Definitivo delle opere di sostegno in corrispondenza del manufatto Turano3 Valle (pozzo di arrivo). L’area di studio della nuova opera rientra nell’ambito del territorio della Provincia di Rieti interessando la Valle del Turano.

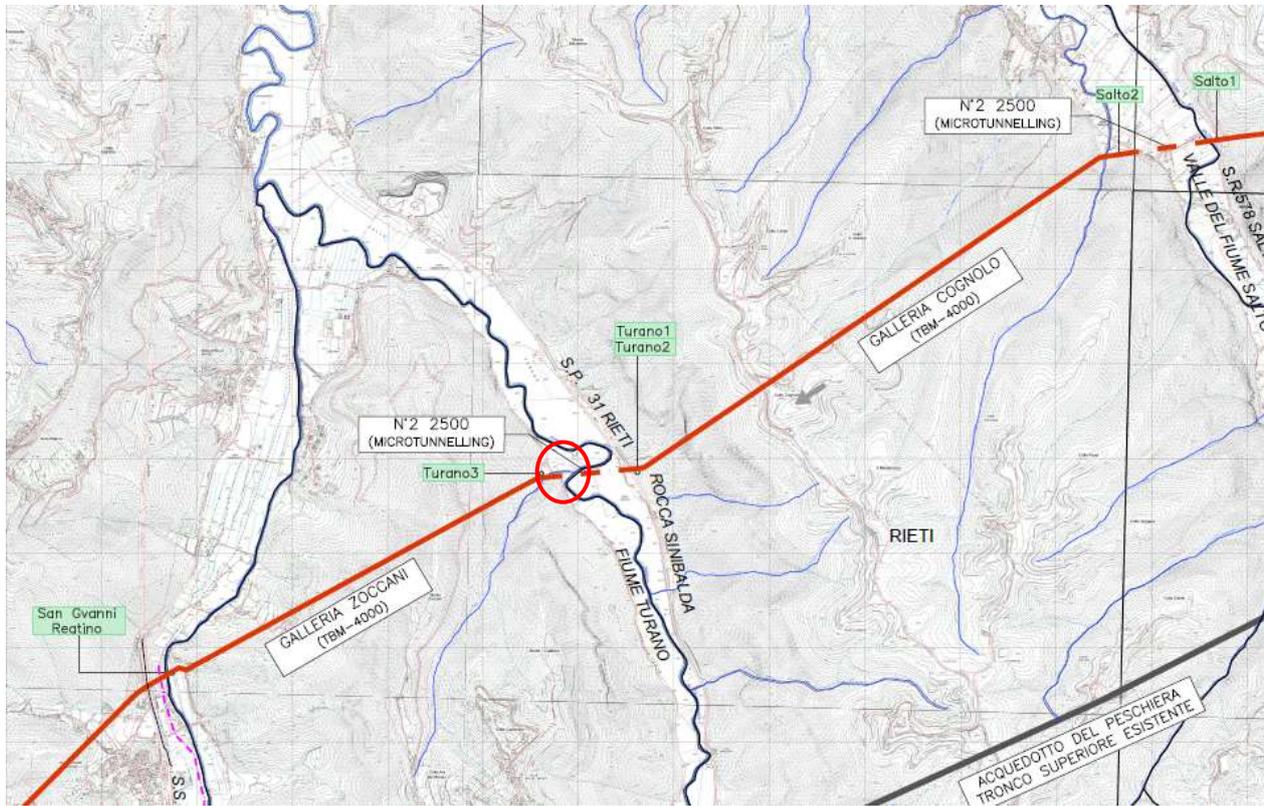


Figura 7-1 – Ubicazione del Manufatto Turano3 – vista planimetrica

7.1 Software di calcolo

- 1- ParatiePlus ver. 21.1 della Harpaceas per l’analisi di opere di sostegno flessibili in interazione col terreno;
- 2- RC-SEC V.2018.10.0.774 della Geostru - Licenza n° HJW8Q-EWEA3-PF2LE-6DWDC - per la verifica di sezioni di calcetsruzzo armato;



Figura 7-2 - Licenza GEO STRU

- 3- SAP 2000 Advanced versione 23.2.0 della CSI per l’analisi di strutture complesse in qualsiasi materiale:

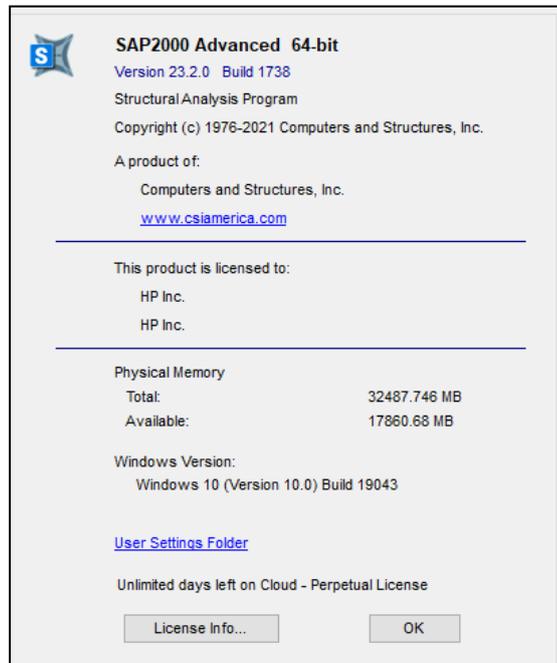


Figura 7-2 – Licenza SAP2000

4- Rocscience - Slide2D Ver. 7.0 per l’analisi di stabilità del pendio



Figura 7-4 - Slide2D

7.2 Descrizione degli interventi

Al fine di sostenere lo scavo necessario per realizzare il manufatto Turano3 si prevede la realizzazione di un'opera di sostegno costituita da una paratia perimetrale di pali $\phi 800$ e una paratia interna di pali $\phi 800$ compenetrati.

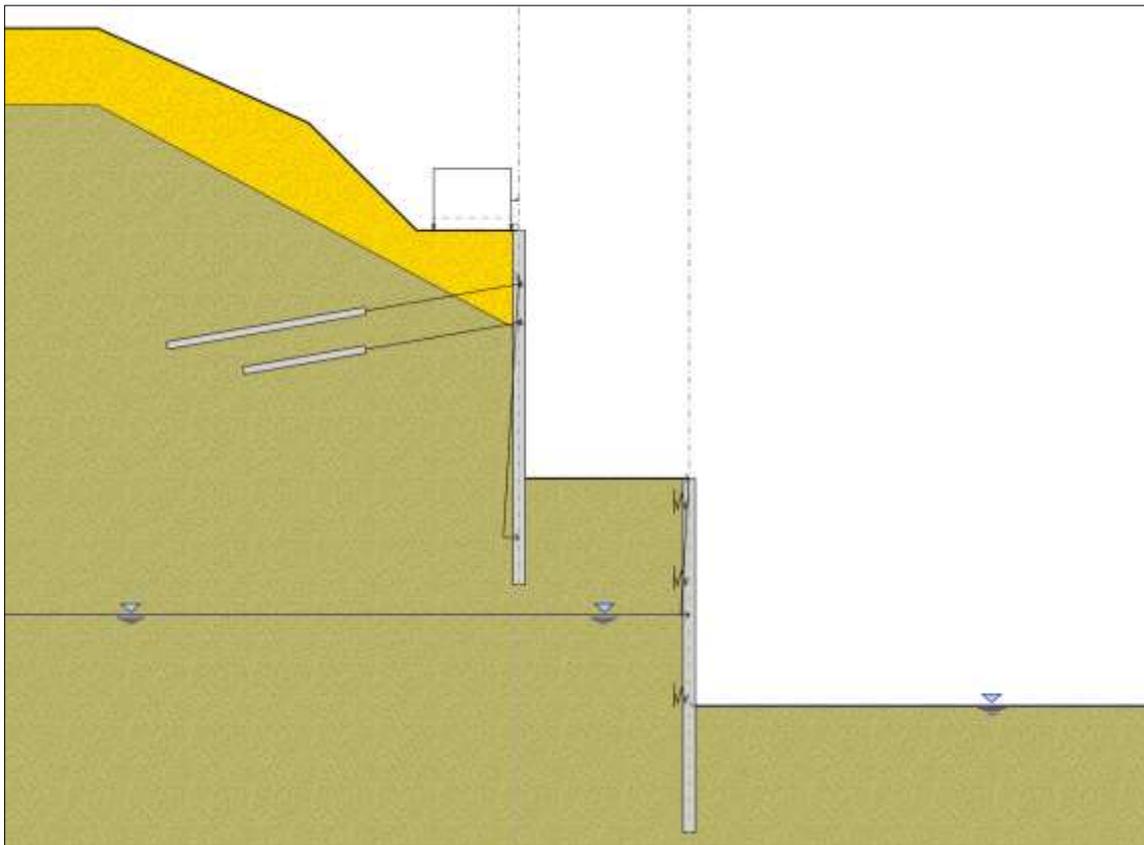


Figura 7-3 – Posizionamento delle paratie perimetrali e CSP

Per il calcolo e il dimensionamento di tali opere si è fatto riferimento ad una sezione rappresentativa, Figura 5-5, che nel seguito viene descritta.

In conformità con quanto prescritto dalle NTC 2018 al paragrafo 6.5.2.2, la profondità di scavo viene incrementata di 0.50 m. Nella tabella seguente viene riassunta l’altezza di scavo considerata nel modello di calcolo:

Sezione		Profondità di scavo da p.c.	Scavo massimo da modello
		m	m
A-A	Paratia perimetrale	15.60	16.10
	Paratia interna (CSP)	14.15	14.80

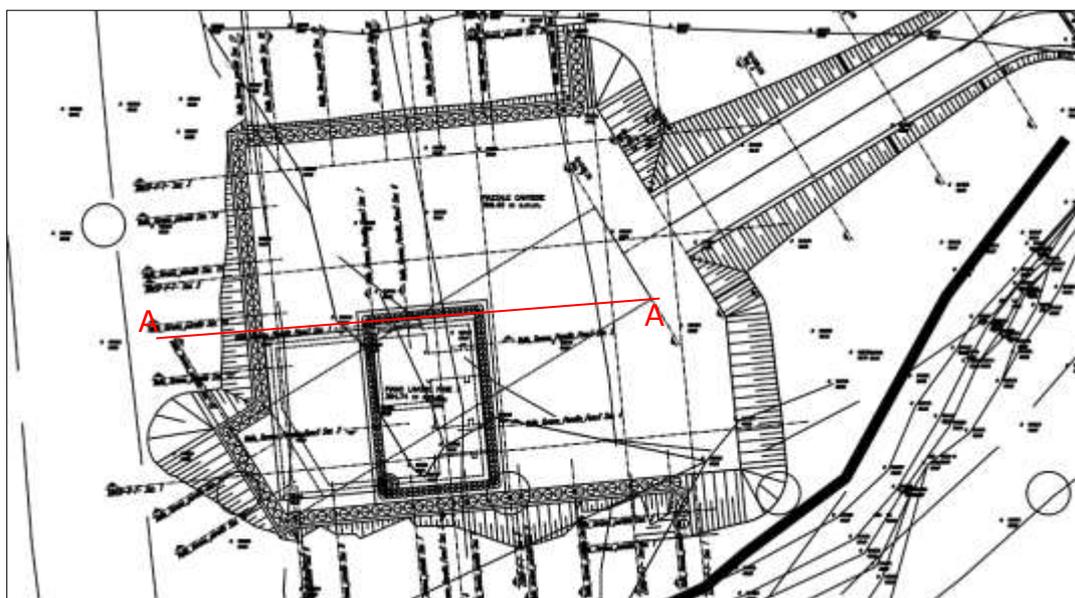


Figura 7-4 – Posizione della sezione di calcolo delle opere di sostegno

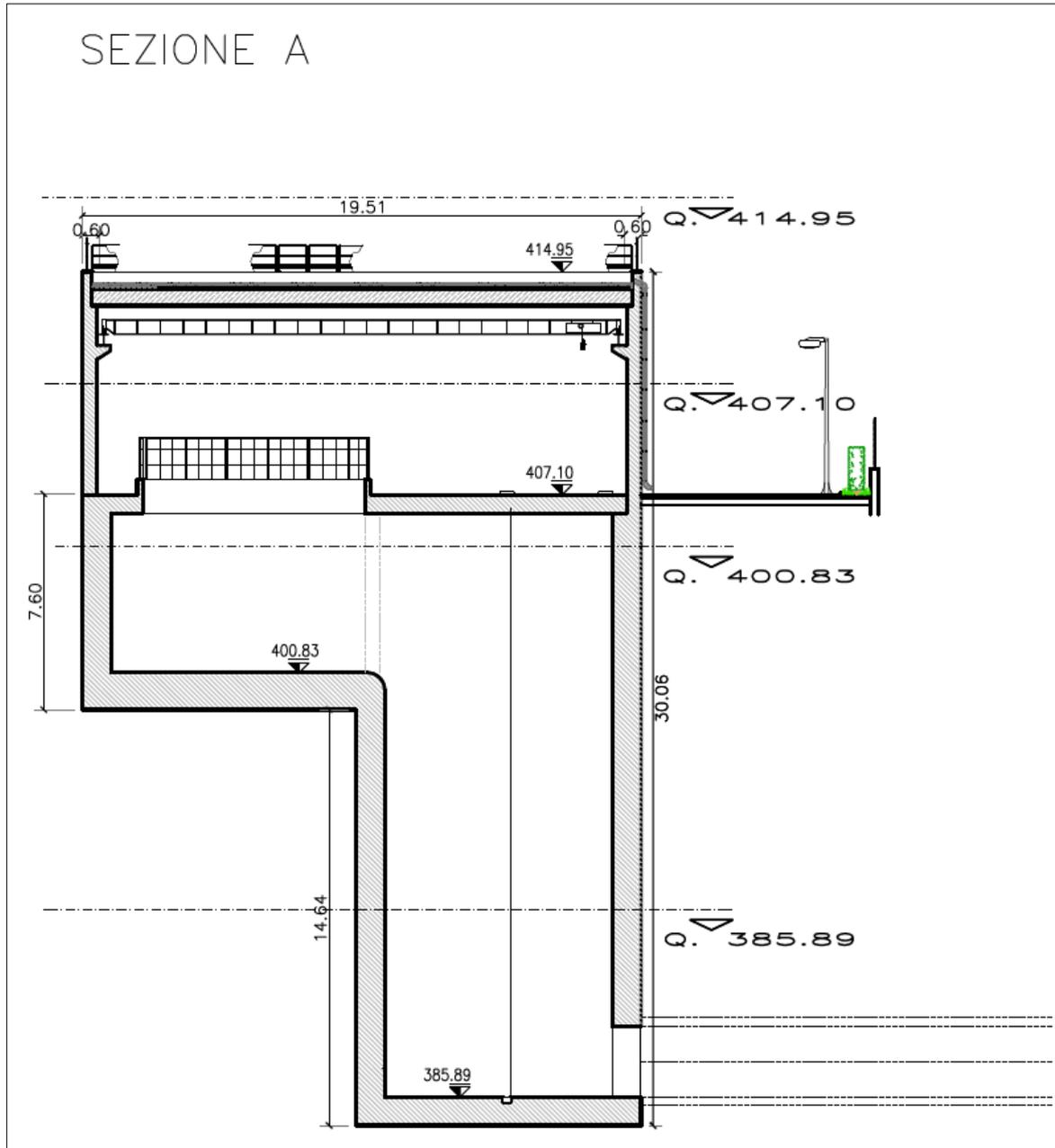


Figura 7-5 – Sezione trasversale A-A

7.2.1 Sezione A-A

In corrispondenza del Manufatto Turano3 (Valle), sezione A-A, sarà realizzata una paratia perimetrale di pali $\Phi 800$ interasse 100 cm e lunghezza 23m che prevede due ordini di tiranti posizionati rispettivamente a -3.50m e -6.00m da piano campagna. A profondità maggiore, e al fine di realizzare la parte profonda del manufatto, verrà realizzata una seconda paratia di pali compenetrati di diametro 800 mm, con interasse longitudinale 500mm, e lunghezza totale 23m. La sequenza di costruzione di pali secanti con il sistema CSP (Cased Secant Piles), prevede l’esecuzione di pali primari e secondari, in cui solo questi ultimi vengono armati. Per la paratia di pali CSP, si prevede di realizzare un sistema di puntonamento costituito da travi perimetrali HEM800 e puntoni interni d’angolo HEM600. Tale sistema verrà realizzato interamente sopra la falda freatica. La profondità di scavo massima viene raggiunta aggottando di volta in volta l’acqua al di fuori dello scavo (non si lavora in condizioni di scavo sommerso).

7.3 Inquadramento geotecnico

Per i parametri geotecnici si è fatto riferimento ai seguenti valori. Per i maggiori dettagli sulla descrizione di unità geotecniche si rimanda alla Relazione Geologica (A194PD R002):

Tabella 13 – Sintesi dei parametri geotecnici

Profondità (m da p.c.)	Unità Litotecnica	γ_n (kN/m ³)	Φ' (°)	C' (kPa)	E_{op} (MPa)	E_{ed}^* (MPa)
0.0 – 6.5	Coltre detritica eterometrica	18.0 – 20.0	33	0 - 5	15 - 16	25
>6.5	Conglomerati fortemente cementati (UGR)	18.0 – 21.0	45 - 49	75 - 100	108	125

Profondità falda = 390 m s.l.m

*** valore riferito alla frazione fine**

7.4 Analisi dei carichi

7.4.1 Peso proprio

- Peso proprio cls $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

7.4.2 Carichi accidentali

Durante le fasi di costruzione viene considerato un sovraccarico accidentale di 20 kPa dovuto alla presenza dei mezzi di cantiere.

7.4.3 Azione sismica

L'azione sismica è stata valutata prendendo in considerazione le analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) per il sito Turano Valle allo Stato Limite di Salvaguardia della vita (SLV). La massima accelerazione del suolo (PGA) a quota del baricentro di paratia risulta pari a 0.2613g.

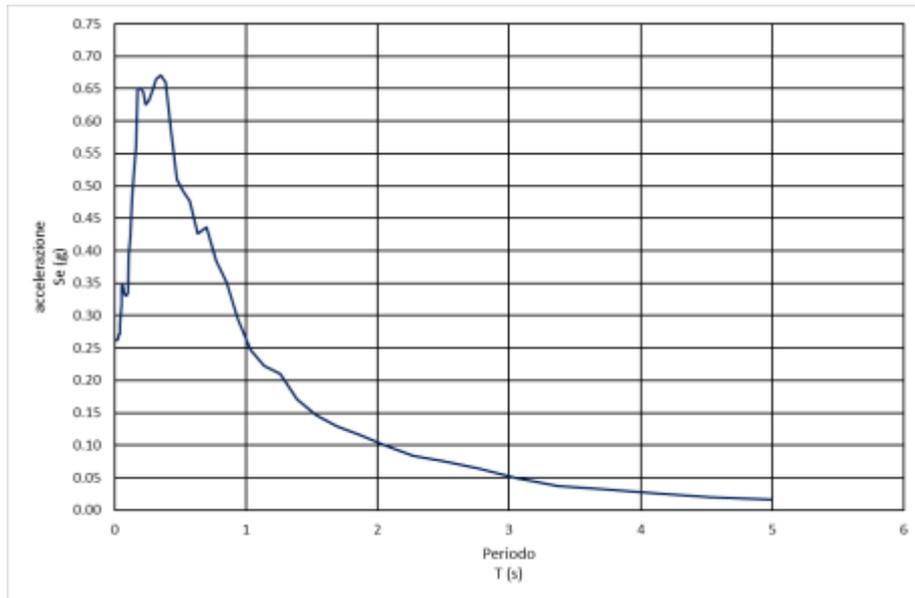


Figura 7-6 – Spettro di risposta – Stato SLV – Turano Valle

Il valore del coefficiente β è stato assunto pari a 0.60 che corrisponde ad uno spostamento (us) pari a 0.055m minore di 0.5% x Hparatia (= 0.005 x 23m = 11.5 cm); (Par. 7.11.6.3.1 – NTC 2018).

Si precisa che l’effetto dell’azione sismica si è tenuto in considerazione esclusivamente per la paratia perimetrale che avrà una funzione strutturale definitiva.

7.4.4 Spinta del terreno

Nel modello di calcolo impiegato dal software adottato PARATIE, la spinta del terreno viene determinata investigando l’interazione statica tra terreno e la struttura deformabile a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo K_0 , il coefficiente di spinta attiva K_a e il coefficiente di spinta passiva K_p .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$K_0 = K_0^{NC} \cdot (OCR)^m$$

dove:

$$K_0^{NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($OCR=1$).

I coefficienti di spinta attiva e passiva sono forniti dalla teoria di Rankine per una parete liscia dalle seguenti espressioni:

$$K_a = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Attraverso valori opportuni di K_a e K_p si può tener conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno e della pendenza del terreno a monte ed entro la luce di scavo; si possono usare a questo scopo i valori desunti da NAVFAC (1986) o quelle elaborate da Caquot e Kerisel (1948). Per maggiori dettagli si rimanda al manuale del software PARATIE.

7.5 Verifiche paratie di pali

7.5.1 Verifiche SLU

In accordo alle prescrizioni normative NTC 2018 al paragrafo 6.5.3.1.2, le verifiche sono state condotte secondo l’Approccio 1 considerando le seguenti combinazioni:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1);
- Combinazione 2: (A2+M2+R1).

7.5.2 Verifiche SLE

In esercizio sono stati valutati gli spostamenti orizzontali in maniera tale da confrontarli con i requisiti prestazionali dell’opera. Si assume che gli spostamenti siano accettabili se inferiori al valore limite $H/200$, dove H è l’altezza di scavo.

Le combinazioni di calcolo in esercizio vengono formulate ponendo pari all’unità i coefficienti parziali sulle azioni e utilizzando i parametri geotecnici caratteristici.

7.6 Combinazioni di carico

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC2018 al par.2.5.3.

Combinazione fondamentale, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d’esercizio:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

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

Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

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

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all’azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R (relativi alle resistenze dei pali soggetti a carichi assiali), nonché i coefficienti di combinazione ψ delle azioni sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

I valori dei coefficienti parziali da applicare alle azioni e ai parametri geotecnici del terreno sono riportati nelle seguenti tabelle:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l’effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell’angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell’unità di volume	γ_r	γ_γ	1,0	1,0

7.7 Verifiche di stabilità

Le verifiche di stabilità globale sono condotte secondo l’approccio 1 combinazione 2: A2 + M2 + R2; il fattore parziale sulle resistenze del terreno, i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici sono riportati nelle seguenti tabelle (corrispondenti a Tabelle 6.8.I, 6.2.I e 6.2.II delle NTC2018):

Tabella 14 – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_E	1,1

Tabella 15 – Coefficienti parziali per le azioni o per l’effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_F')	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G_1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G_2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G_2}

Tabella 16 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

7.8 Analisi numeriche

Di seguito sono riportate le analisi effettuate per definire il dimensionamento delle paratie di pali in corrispondenza del manufatto Turano3 (Valle). Il modello di calcolo per la paratia di pali $\phi 800$ con interasse 1m e per la paratia di pali CSP $\phi 800$ è stato realizzato con il programma ParatiePlus, al fine di valutare gli spostamenti orizzontali allo SLE e le sollecitazioni negli elementi strutturali in condizioni allo stato limite ultimo, in condizioni statiche e sismiche.

7.8.1 Sezione A-A

7.8.1.1 Modello di calcolo

Nella seguente tabella si riassumono i parametri geotecnici di progetto:

	Terreni	c' [kPa]	φ' [°]	Moduli Elastici [kPa] or [kN/m ²]
	UG1 Sabbia / Ghiaia	0	33	E _{vc} = 15000 E _{ur} = 24000
	UG2 Roccia	75	45	E _{vc} = 108000 E _{ur} = 172800

Tabella 17 – Modello geotecnico – Sezione A-A

Le fasi esecutive per l’analisi della sezione di calcolo sono le seguenti:

1. Stato geostatico iniziale.
2. Applicazione del sovraccarico di cantiere pari a 20 kPa e getto dei pali perimetrali con il diametro pari a 800 mm e interasse di 1.0 m.
3. Scavo alla quota di -4.0 m da p.c. al fine di realizzare il primo ordine dei tiranti.
4. Installazione del primo ordine dei tiranti a -3.5 m dalla testa paratia.
5. Scavo alla quota di -6.5 m da p.c. al fine di realizzare il secondo ordine dei tiranti.
6. Installazione del secondo ordine dei tiranti a -6.0 m dalla testa paratia.
7. Scavo alla quota 10.5 m dal piano campagna
8. Raggiungimento quota fondo scavo paratia perimetrale (-16.1 m da p.c.) ed applicazione di un sovraccarico pari a 170 kpa (da -3.0m a -20m dal p.c) simulante il riempimento di eventuali fessure verticali con acque piovane.
9. Realizzazione dei pali compenetrati (CSP) interni con diametro 800 mm ed interasse di 0.5m.
10. Scavo fino a quota -18.1 m da p.c. al fine di realizzare il primo ordine di puntoni.
11. Installazione il primo ordine dei puntoni a quota -17.6m da p.c (-1.5m dalla testa paratia)

- 12.Scavo fino a quota -23.1 m da p.c. al fine di realizzare il secondo ordine di puntoni.
- 13.Installazione del secondo ordine di puntoni a quota -22.6m da p.c (-6.5m dalla testa paratia dei pali CSP),
- 14.Raggiungimento quota fondo scavo (-30.9 m da p.c.) ed espulsione dell’acqua dall’interno dello scavo;
- 15.Realizzazione della soletta di fondazione ed attivazione di un sovraccarico pari a 89 kpa (da -16.1m a -25m dal p.c) simulante il riempimento di eventuali fessure verticali con acque piovane.
- 16.Abbancamento del rilevato a quota del piazzale 407.1 m s.l.m.
- 17.Applicazione dell’azione sismica.

Di seguito la rappresentazione grafica degli stage sopra descritti:

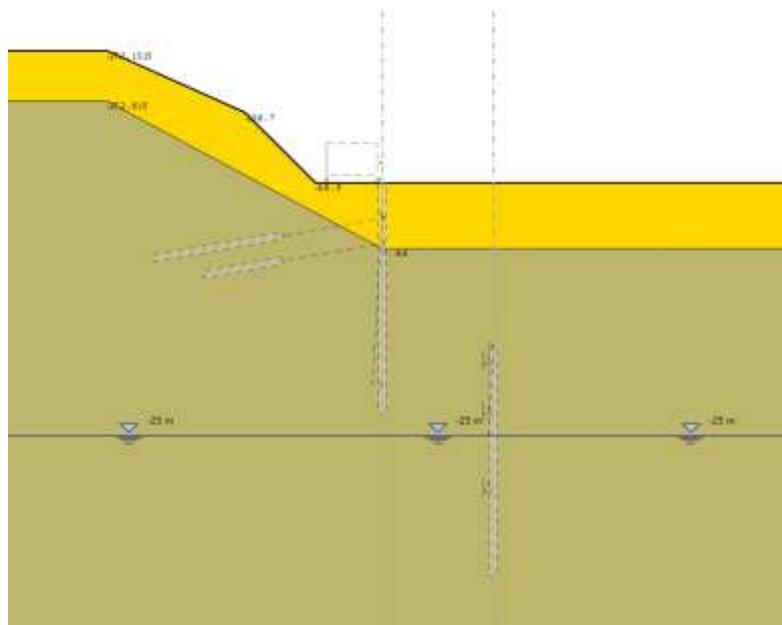


Figura 7-7 – Fase 1

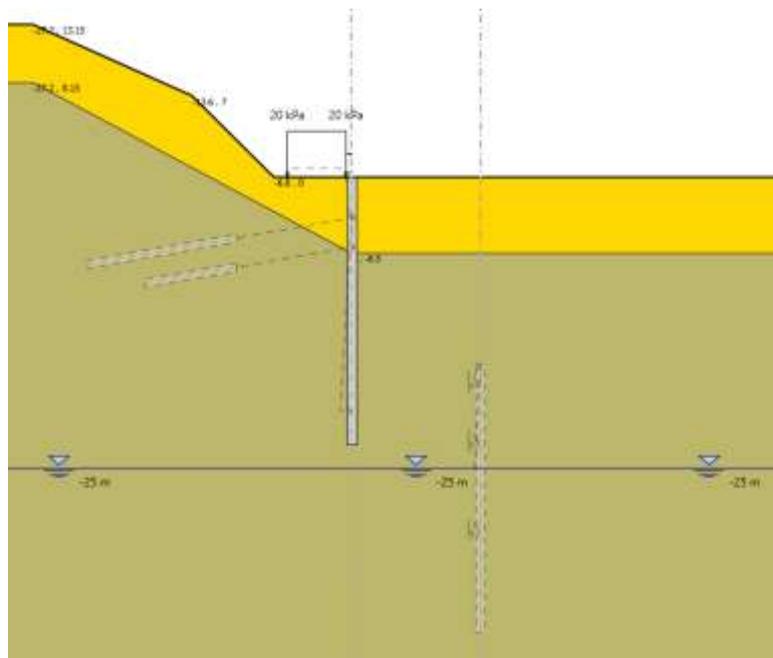


Figura 7-8 – Fase 2

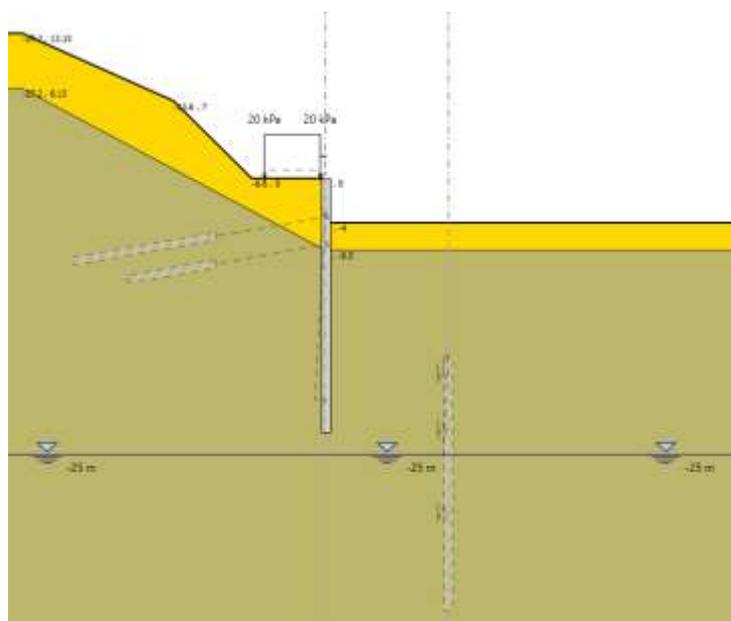


Figura 7-9 – Fase 3

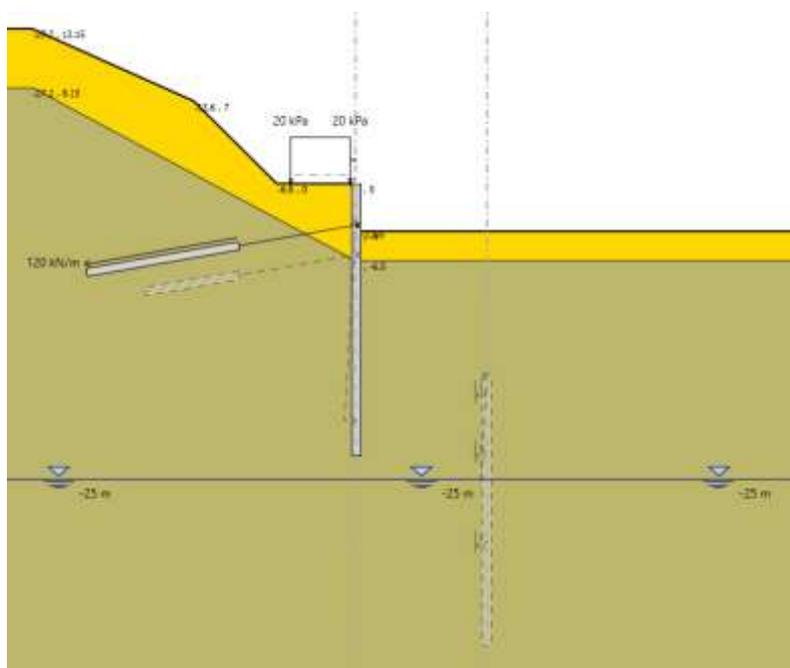


Figura 7-10 – Fase 4

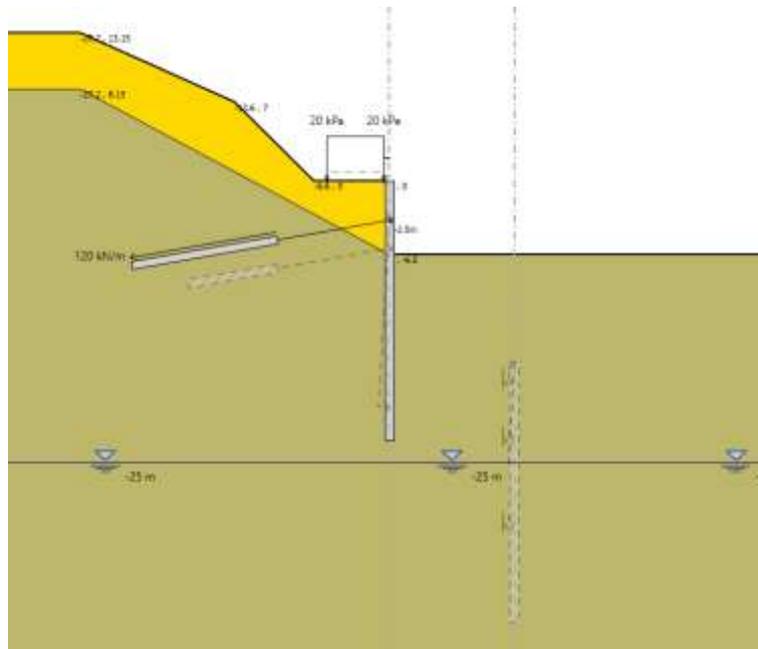


Figura 7-11 – Fase 5

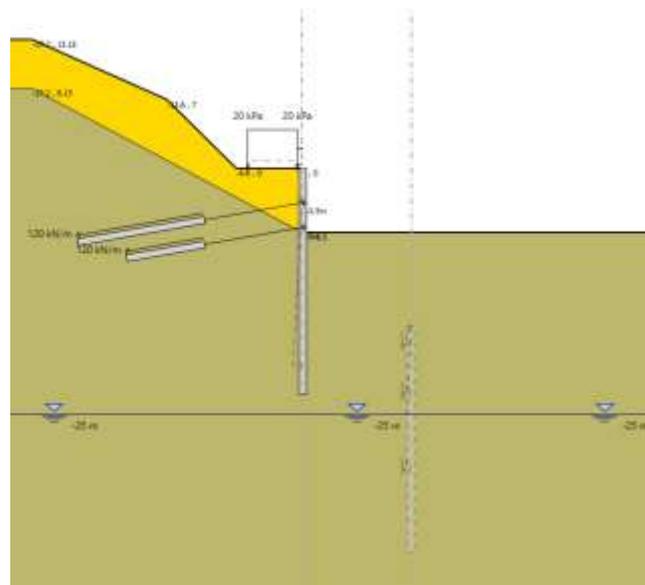


Figura 7-12 – Fase 6

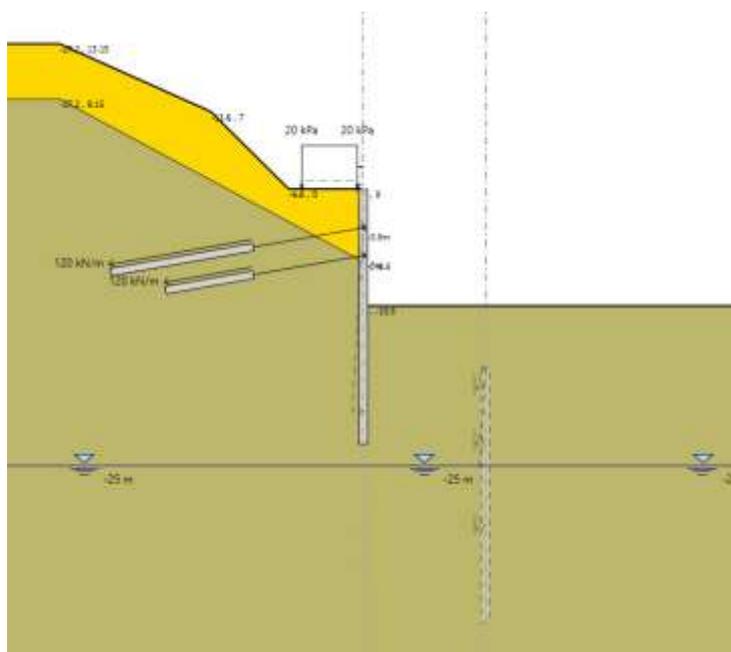


Figura 7-13 – Fase 7

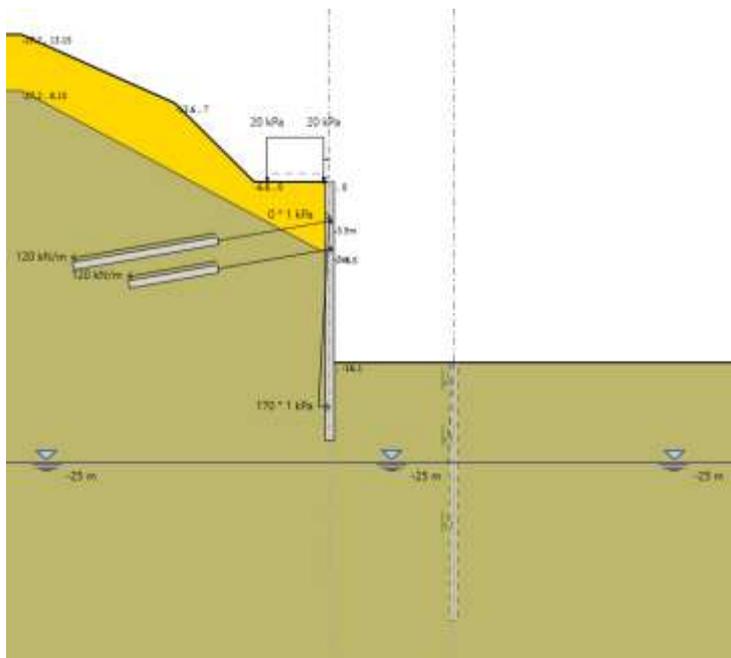


Figura 7-14 – Fase 8

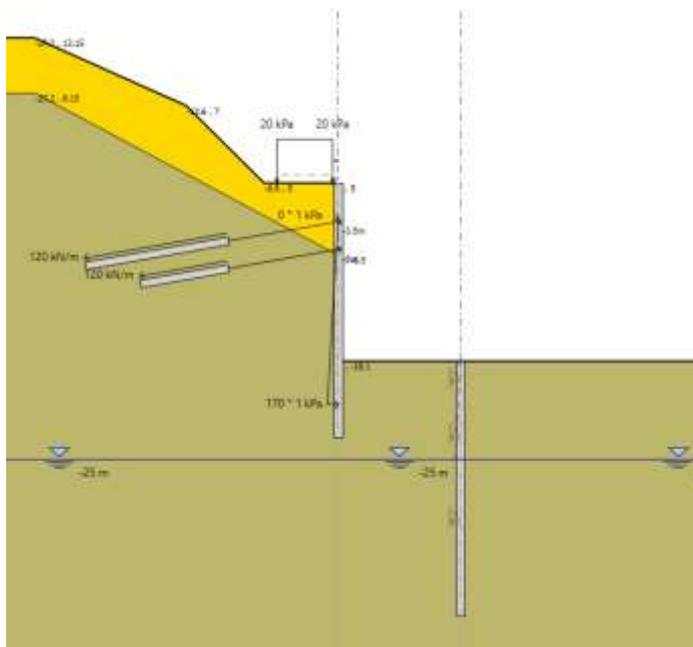


Figura 7-15 – Fase 9

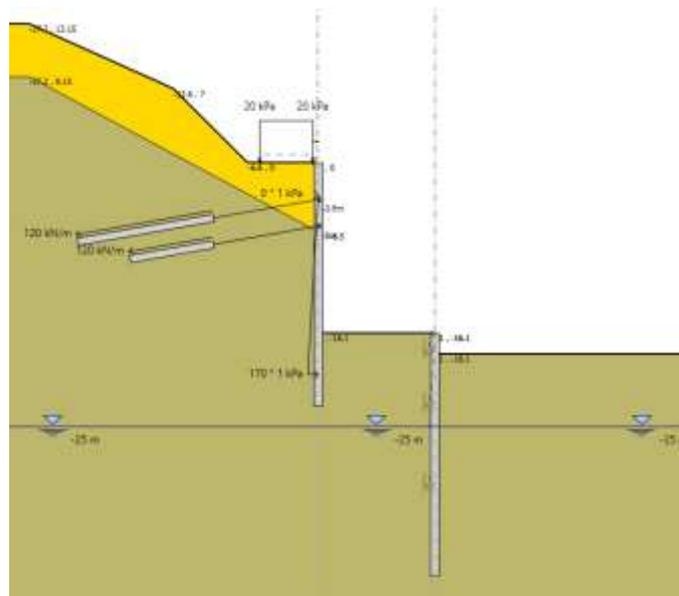


Figura 7-16 – Fase 10

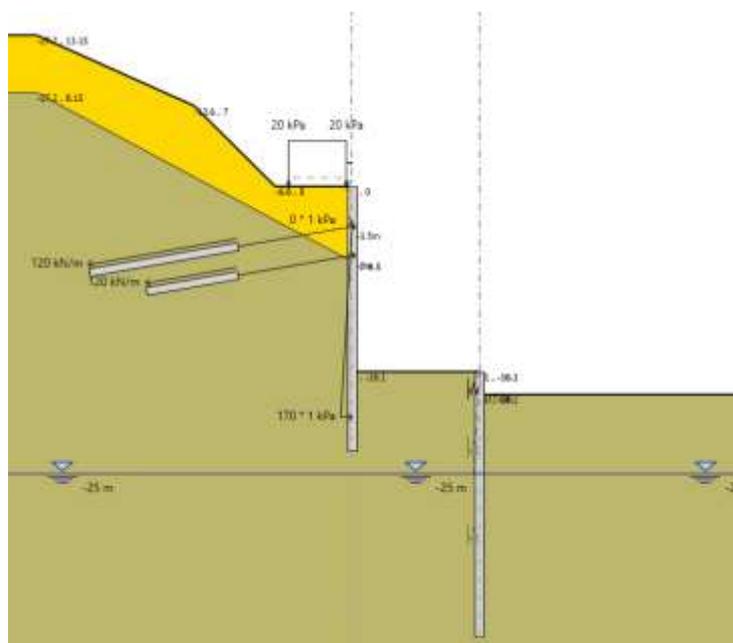


Figura 7-17 – Fase 11

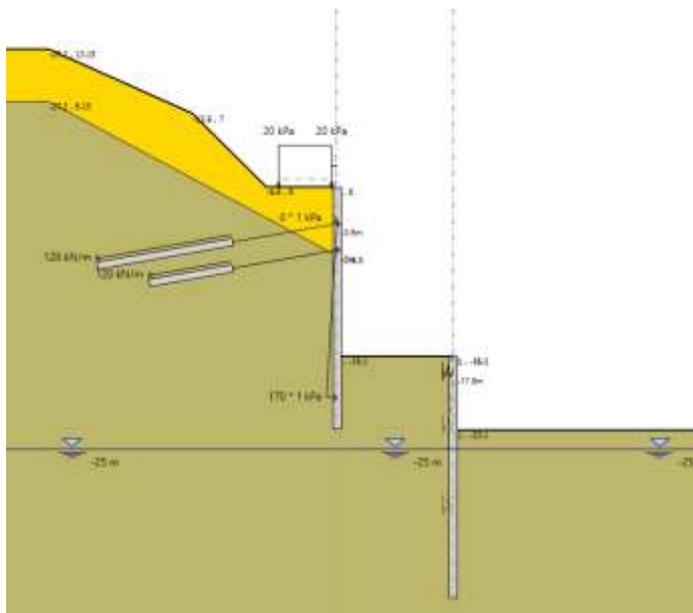


Figura 7-18 – Fase 12

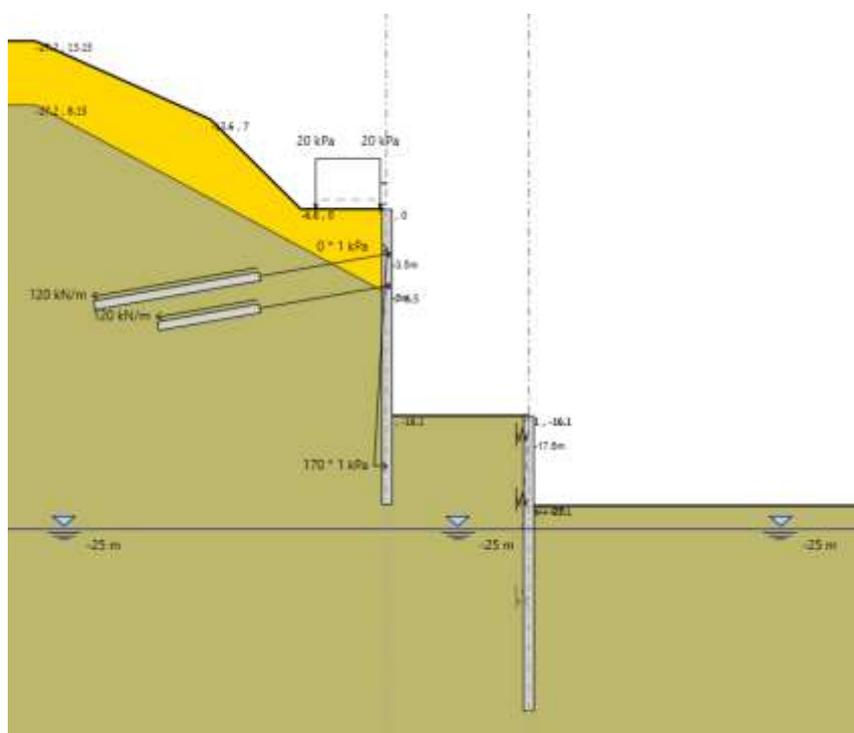


Figura 7-19 – Fase 13

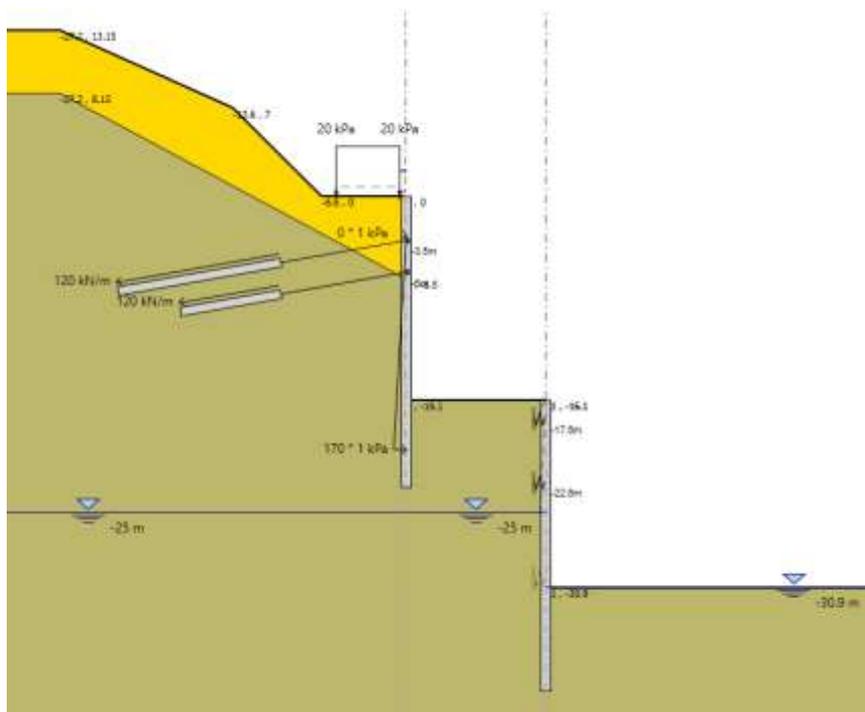


Figura 7-20 – Fase 14

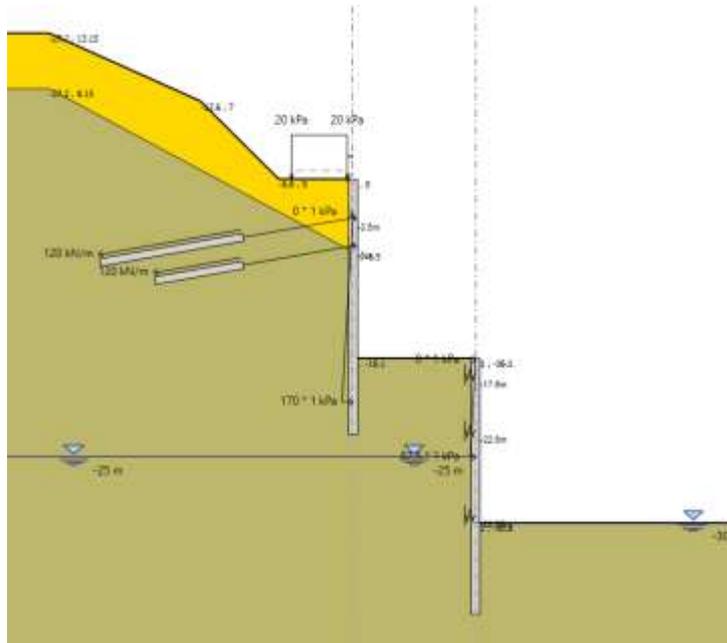


Figura 7-21 – Fase 15

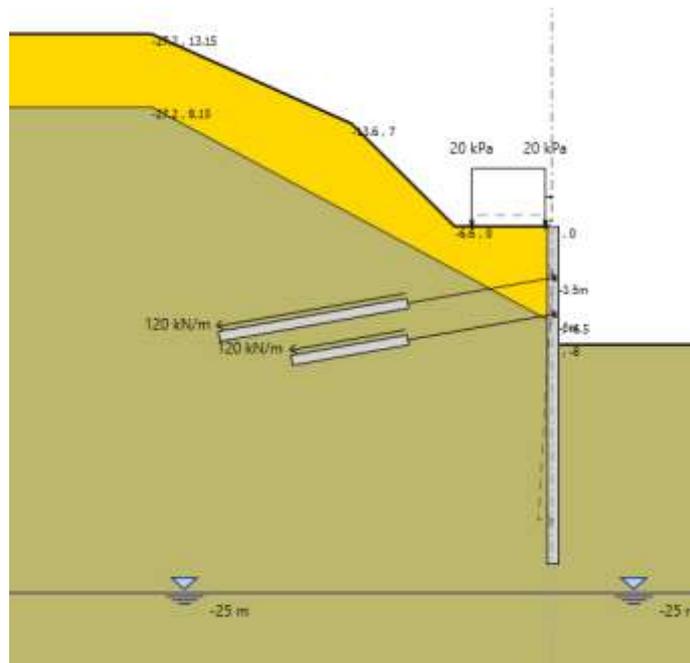


Figura 7-22 – Fase 16

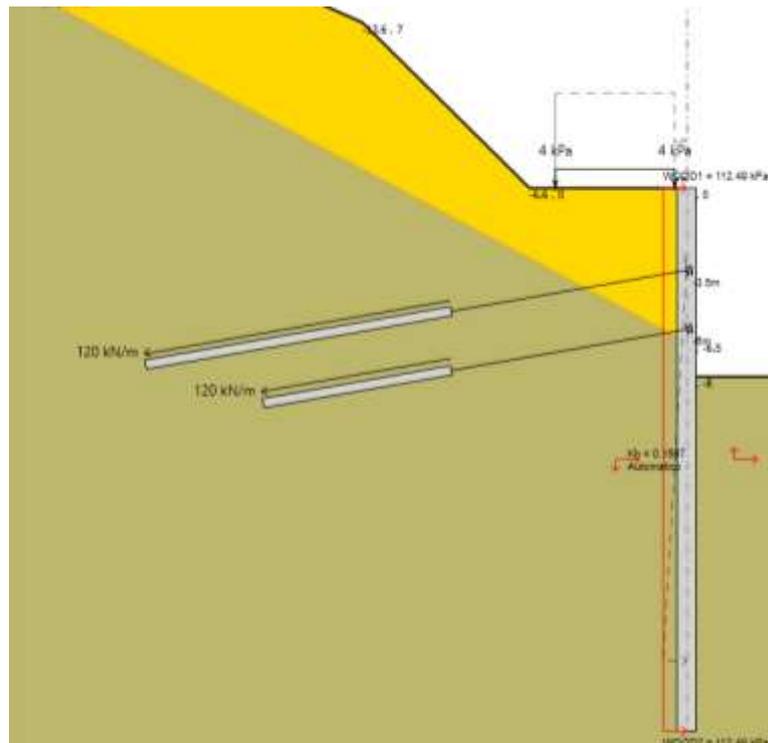


Figura 7-23 – Fase 17

7.8.1.2 Calcolo rigidità del sistema di puntone

Il modello sviluppato con Paratie Plus per lo scavo profondo prevede una paratia con due ordini di puntoni. Al fine di avere libera l’area dello scavo si prevedono dei puntoni inclinati.

Per la taratura delle molle da considerare come simulazione del sistema di puntone, è stato considerato un modello di telaio di puntone formato da travi perimetrali HEM800 e puntoni interni d’angolo HEM600. La geometria del telaio è stata considerata rettangolare con dimensioni (riferite agli assi degli elementi) 10.50m x 15.95 m:

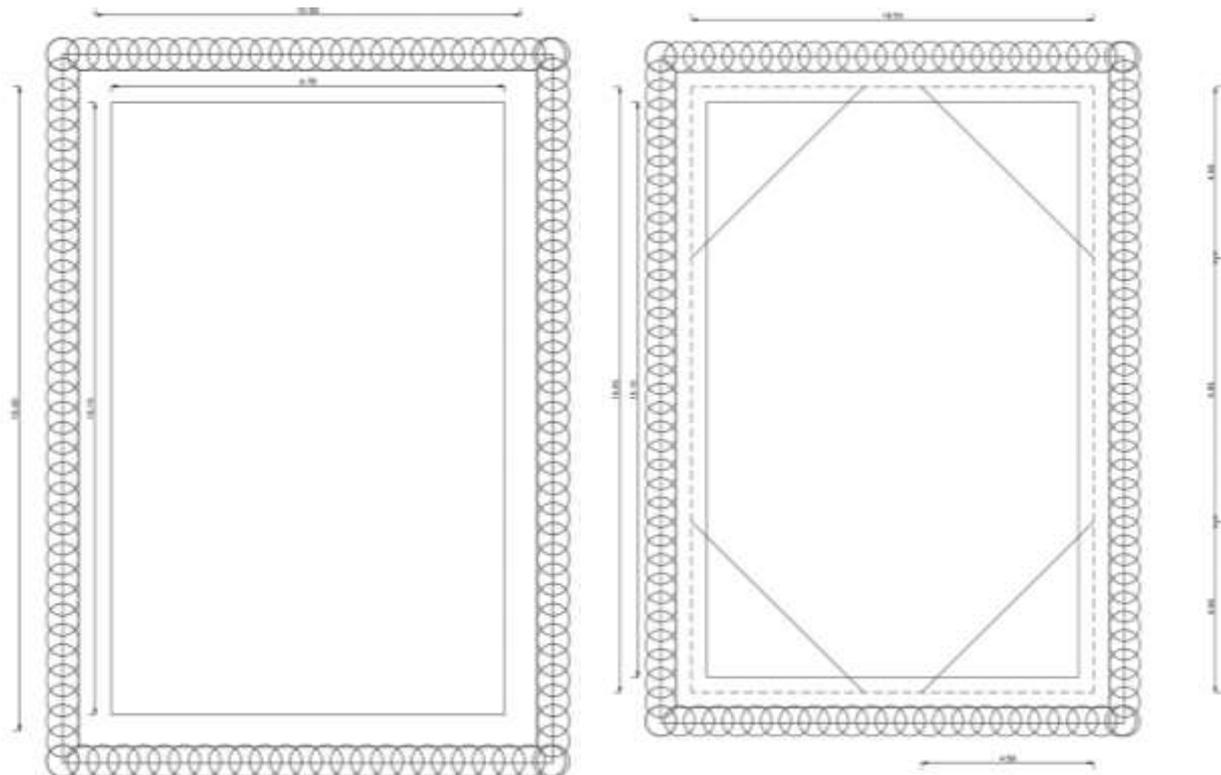


Figura 7-24 – Geometria telaio di puntonamento

Caricando la struttura con un carico uniformemente distribuito di 1.0 kN/m, è stato valutato lo spostamento ortogonale subito dal sistema in corrispondenza del lato considerato come rappresentativo della sezione di calcolo. Invertendo tale valore è stato ricavato il valore di rigidezza equivalente da fornire al vincolo nel software Paratie.

Per il modello sviluppato per il primo ordine di puntoni, si ottiene il seguente valore di spostamento pari a 0.1635 mm; ne consegue una rigidezza $k = 6116.21$ kN/m delle molle.

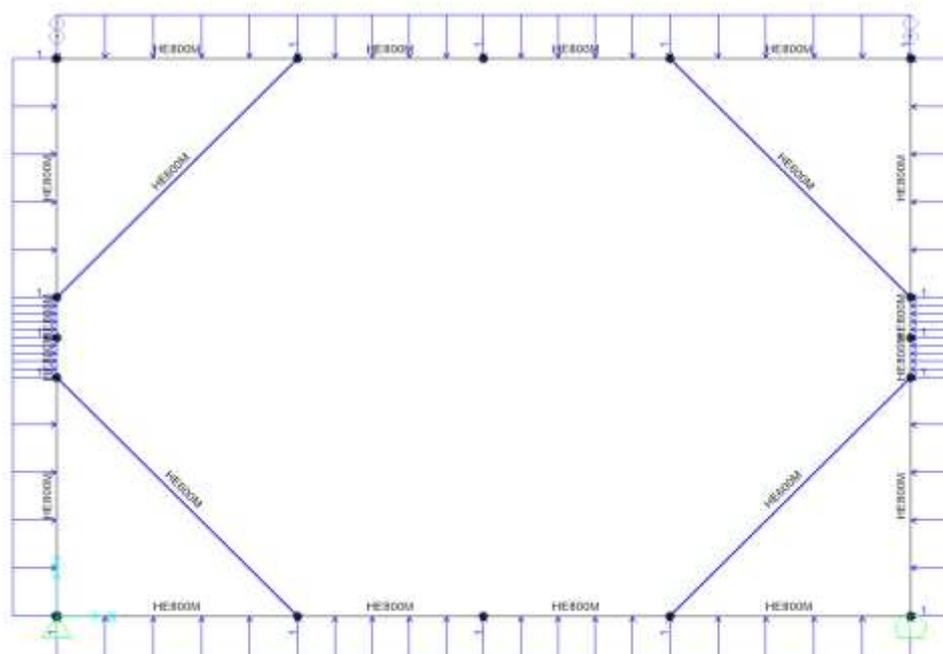


Figura 7-25 – Geometria del telaio modellata nel software SAP 2000

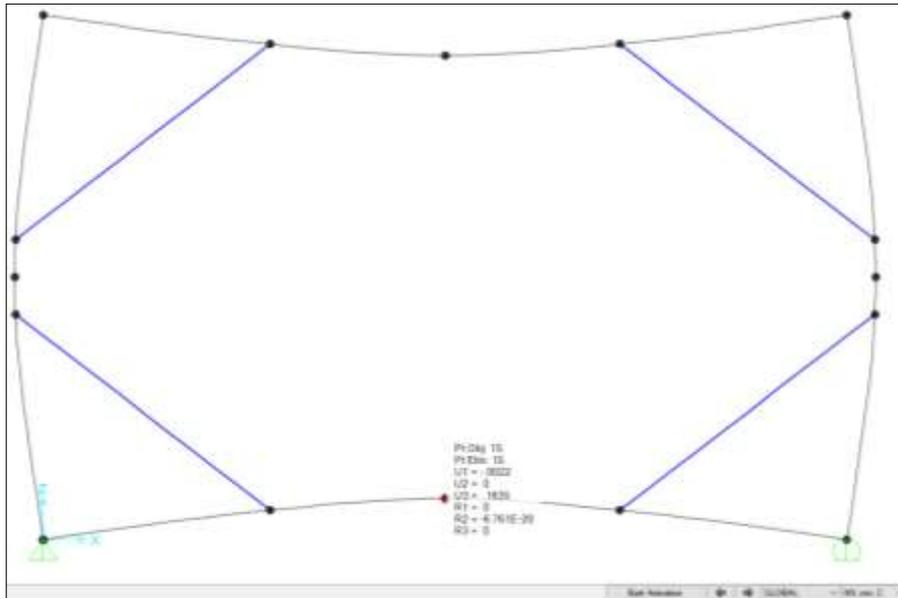


Figura 7-26 – Spostamenti ottenuti con l’applicazione di un carico uniformemente distribuito di 1.0 kN/m

7.9 Risultati

Nei paragrafi seguenti si riportano i risultati delle analisi condotte per il modello implementato, con le indicazioni dei valori massimi e minimi delle caratteristiche della sollecitazione e gli spostamenti massimi attesi.

I valori delle caratteristiche della sollecitazione sono per metro lineare di profondità.

Ai paragrafi successivi, viene poi riportato anche un dimensionamento degli elementi strutturali principali.

7.9.1 Sezione A-A – paratia perimetrale

7.9.1.1 Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU+SLV)

Si riportano di seguito gli inviluppi delle sollecitazioni dell’analisi condotta per quanto riguarda la combinazione strutturale SLU (A1+M1+R1) ed SLV.

Il diagramma del momento flettente:

$M_{max} = 1574.3 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$; momento flettente massimo

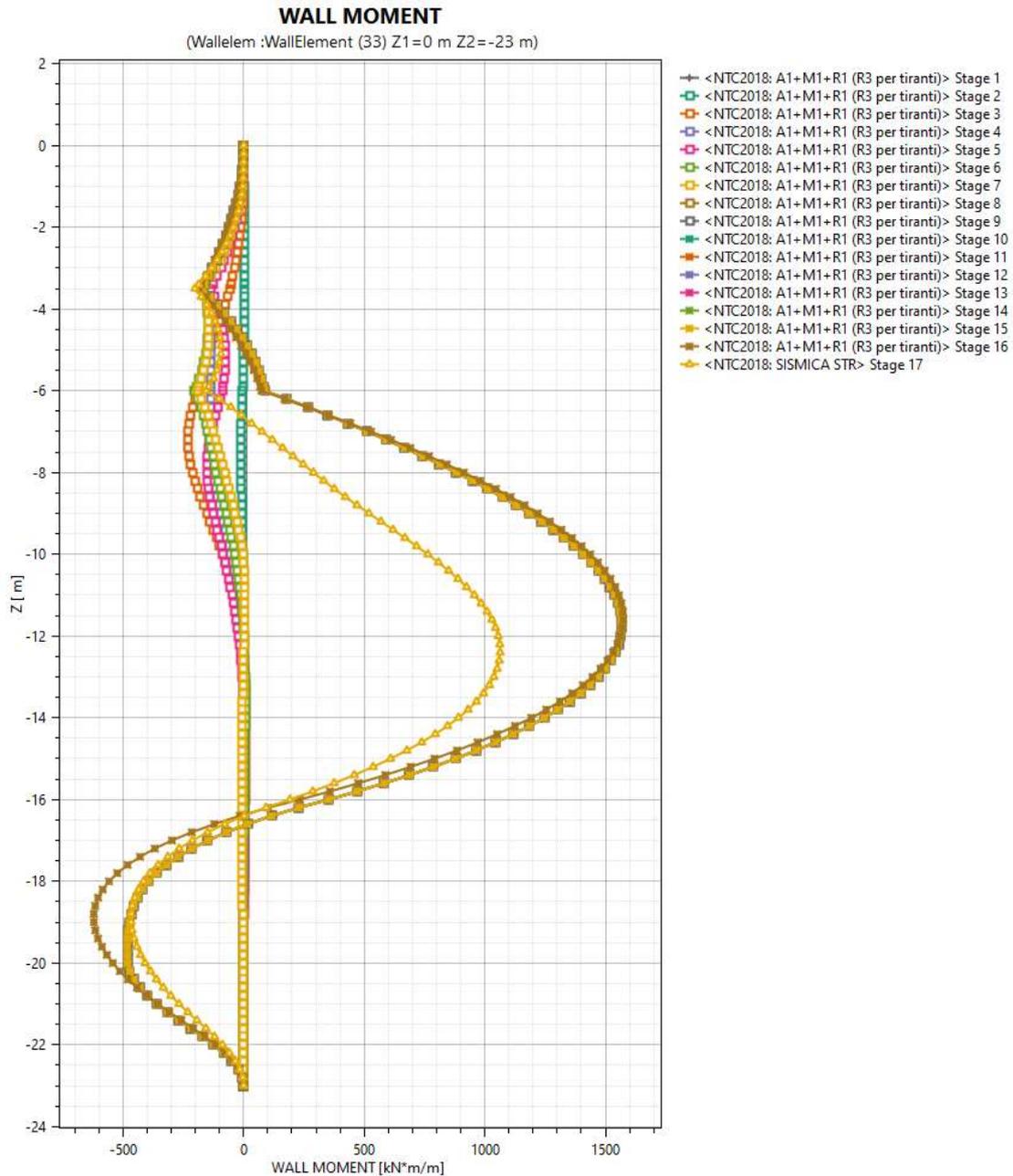


Figura 7-27 – Diagramma del momento flettente – paratia perimetrale

Il diagramma del Taglio:

$T_{max} = 656.02 \text{ kN/m}$; taglio massimo

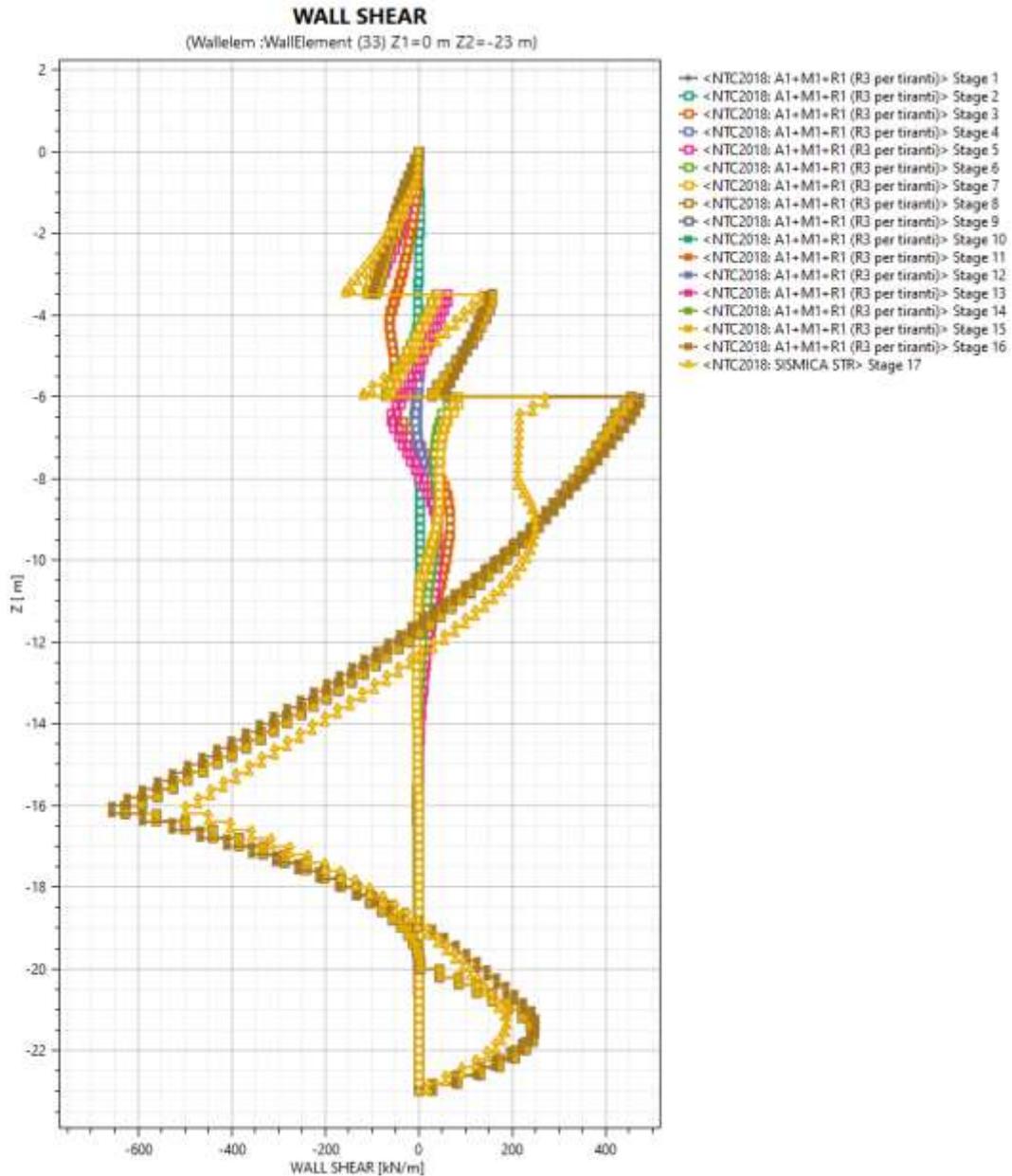


Figura 7-28 – Diagramma del taglio – paratia perimetrale

Il diagramma del momento flettente – Stato SLE:

$M_{max} = 1207.3 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$; momento flettente massimo

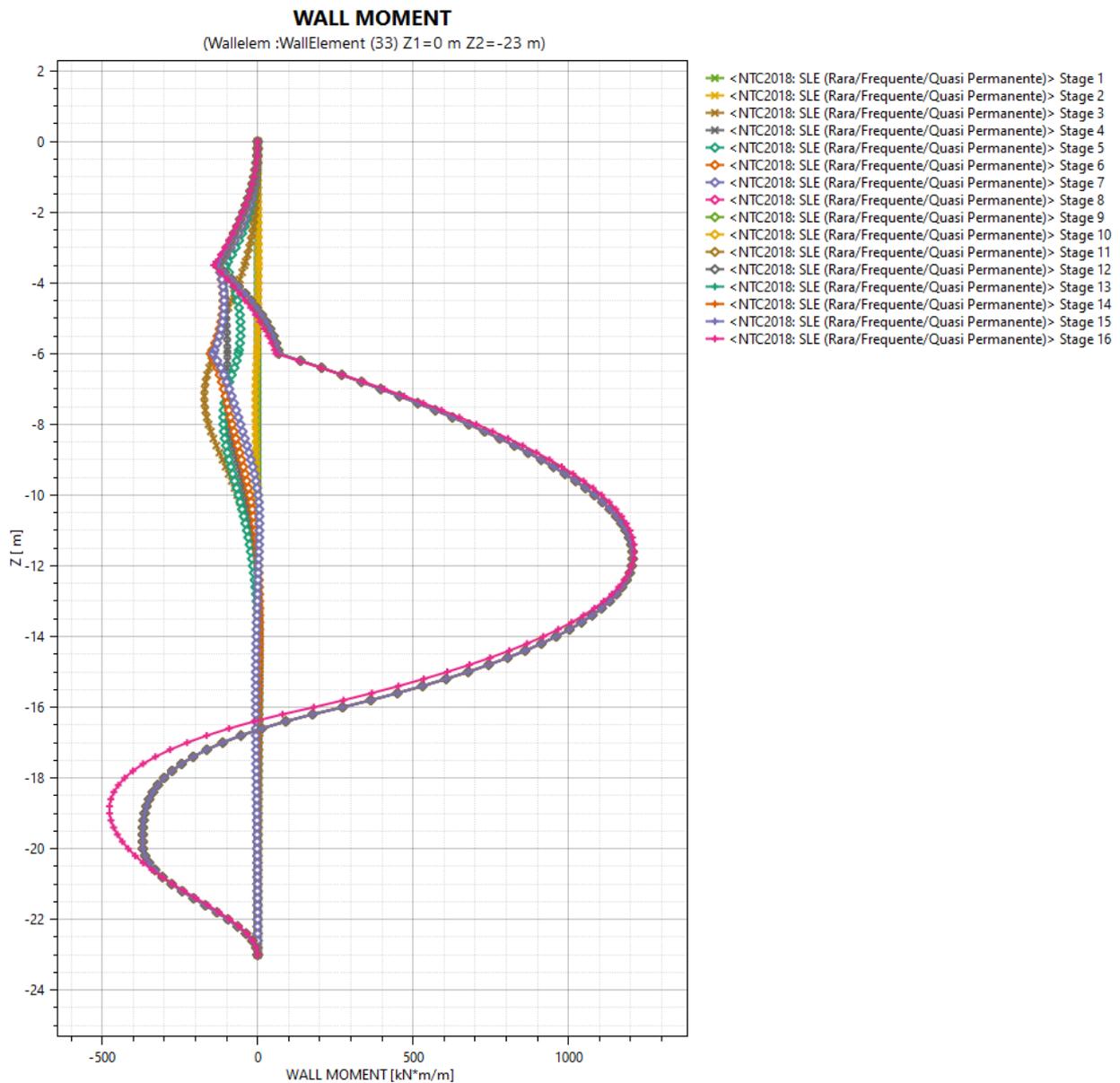


Figura 7-29 – Diagramma del momento flettente – Stato SLE – paratia perimetrale

7.9.1.2 Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)

Verifica nei confronti delle deformazioni:

Gli spostamenti orizzontali massimi agli SLE sono di circa 5.74 cm, inferiori al limite $H_{scavo}/200 = 8.05$ cm, pertanto la verifica di SLE nei confronti di deformabilità viene soddisfatta.

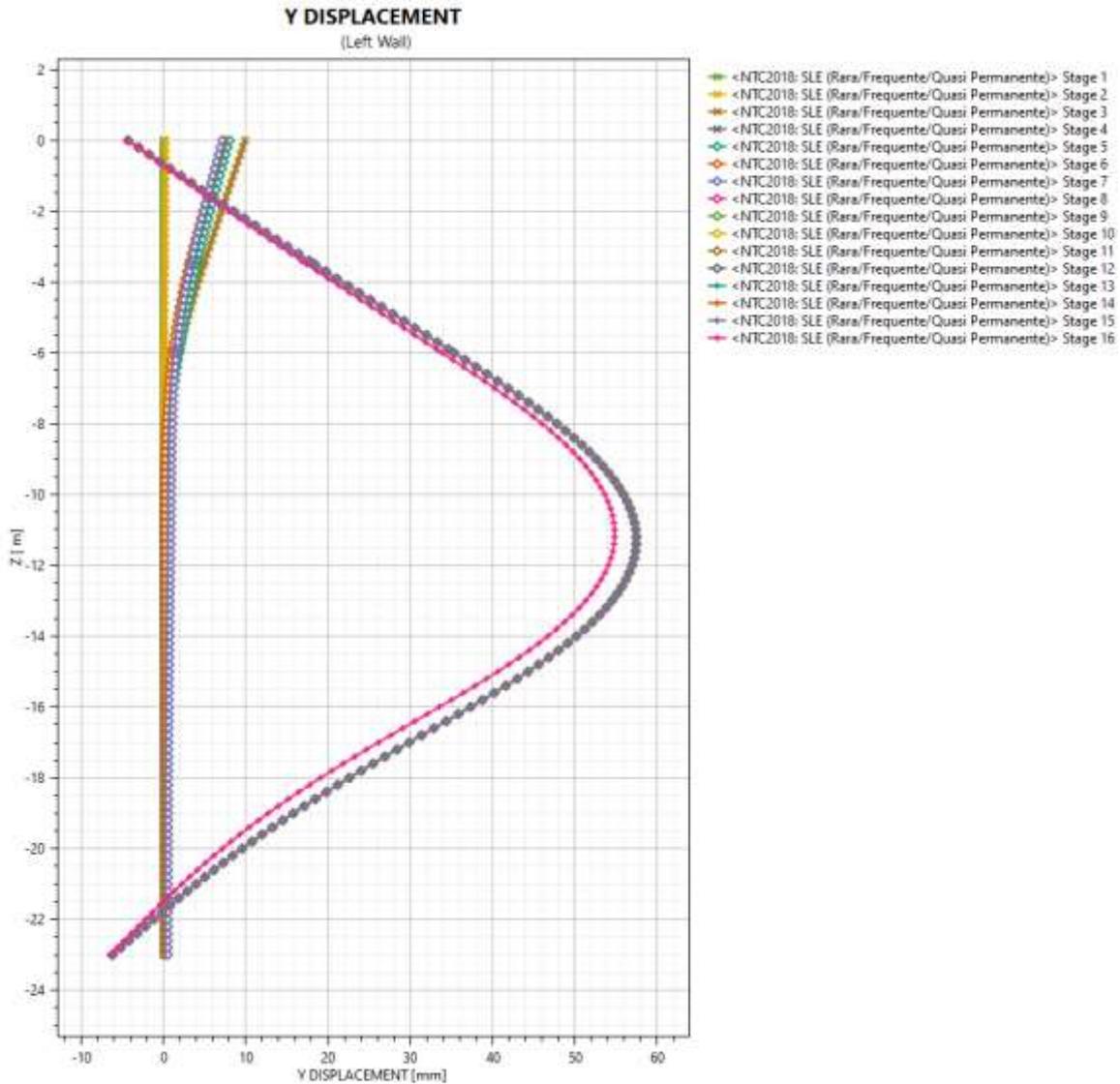


Figura 7-30 – Diagramma spostamenti – paratia perimetrale

7.9.1.3 Verifiche degli elementi strutturali – Pali perimetrali

7.9.1.3.1 Pali

Di seguito vengono riportate le verifiche allo stato limite SLU+SLV ed SLE per le gabbie di armatura. La gabbia 1 ha una lunghezza pari a 6m. La gabbia 2 ha una lunghezza pari a 4m. Le barre della gabbia 3, con una lunghezza pari a 4m, sono state progettate in vetroresina (VTR) al fine di facilitare l’attraversamento della macchina del TBM nella zona di scavo. Nelle aree non interferenti con TBM, l’armatura di gabbia 3 viene sostituita con ferri in acciaio. Le gabbie 4 e 5 hanno lunghezze pari a 3m e 6m, rispettivamente.

	M,max [kN.m]	M,sle [kNm]	T,max [kN]	N [kN]	z [m]
Gabbia 1	203.40	151.70	476.00	-75.40	-6.00
Gabbia 2	1438.00	1107.10	-	-125.66	-10.00
	-	-	476.00	-	-6.00
Gabbia 3	1574.30	1212.40	-	-145.77	-11.60
	-	-	311.00	-	-14.00
Gabbia 4	1185.00	913.00	-	-175.93	-14.00
	-	-	656.00	-	-16.20
Gabbia 5	621.30	476.77	-	-238.76	-19.00
	-	-	411.00	-	-17.00

Tabella 18 – Sollecitazioni massime – Pali perimetrali

dove:

- M,max ed T,max sono le sollecitazioni di calcolo; N è lo sforzo normale.
- M,sle è il momento flettente allo stato SLE.
- z è la profondità (rispetto alla testa del palo) in corrispondenza della sollecitazione calcolata.

7.9.1.3.2 Verifica gabbia 1

Armature longitudinali: 8 \varnothing 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 10/ 10 cm (in acciaio)

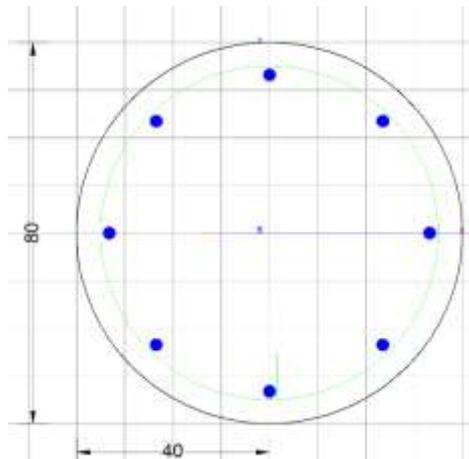


Figura 7-31 – gabbia 1

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto f_{cd} :	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta f_{cd}' : 7.080	MPa		
Def.unit. max resistenza ϵ_{c2} :	0.0020		
Def.unit. ultima ϵ_{cu} :	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale E_c :	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione f_{ctm} :	2.560	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm	

ACCIAIO -	Tipo:	B450C		
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa	
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa	
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²	
	Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1*\beta_2$:	1.00		
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:	0.50		
	Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	33.2	8	26

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
 Passo staffe: 10.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	75.40203.40	0.00476.00	0.00	0.00	

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy	
1	75.40	151.70	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy	
1	75.40	151.70 (159.41)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	75.40	151.70 (159.41)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 22.8 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 4.5 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	75.40	203.400.00	75.59	515.42	0.002.53	42.5(15.1)	

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione

	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040	0.00214	0.0	33.2	-0.01109	0.0	33.2	0.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000199322	-0.004472875	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	10 mm
Passo staffe:	10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione

Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff	
1	S	476.00	1287.06	514.71	165.8	59.0	64.8	1.420	1.011	14.515.7(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.990.0	0.0-147.0	0.0-33.2880	15.9				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.990.0	0.0-147.0	0.0-33.2880	15.9				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]

- k2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
- k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
- k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
- Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$ [eq.(7.11)EC2]
- Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
- e_{sm} - e_{cm} Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
- sr max Massima distanza tra le fessure [mm]
- wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr\ max * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
- Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
- My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e _{sm} - e _{cm}	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.000840	0.500	26.0	55	0.00044 (0.00044)	431	0.190 (0.40)	159.410.00	

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	4.990.0	0.0-147.0	0.0-33.2880	15.9				

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e _{sm} - e _{cm}	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.000840	0.500	26.0	55	0.00044 (0.00044)	431	0.190 (0.30)	159.410.00	

7.9.1.3.3 Verifica gabbia 2

Armature longitudinali: 26 φ 30 + 26 φ 30 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe φ 10/ 15 cm (in acciaio)

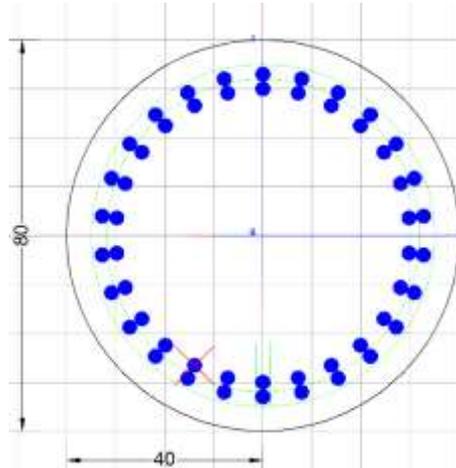


Figura 7-32 – gabbia 2

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C25/30			
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm	
ACCIAIO - Tipo: B450C			
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²	

Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito
 Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1*\beta_2$: 1.00
 Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$: 0.50
 Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	33.026	30	
2	0.0	0.0	30.026	30	

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
 Passo staffe: 15.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	125.66	1438.00	0.00		476.000.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	125.66	1107.10	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	125.66	1107.10 (308.08)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	125.66	1107.10 (308.08)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.2 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.5 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	N	125.66	1438.00	0.00	125.80	3131.730.00	2.18367.6	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc maxes min	Xs min	Ys mines max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00277 0.0	33.0	-0.00410	0.0	33.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000104078	-0.000663124	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 10 mm
Passo staffe: 15.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direzione del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
--------	-----	-----	-----	-----	-------	----	-----	-----	-----	-------

1 S 476.001239.91559.6761.2| 50.4 72.6 1.420 1.018 17.020.0(0.0)

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1 S 10.970.0 0.0-178.1 0.0-33.0653 70.7

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1 S 10.970.0 0.0-178.1 0.0-33.0653 70.7

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 sr max Massima distanza tra le fessure [mm]

wk Apertura fessure in mm calcolata = $s_r \max(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi

Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]

My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cmsr max	wkMx fess	My fess
1	S	-0.001050	0.500	30.0	55	0.00077 (0.00053)	234	0.180 (0.40) 308.080.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°CombVer Sc max Xc maxYc maxSf minXs minYs min Ac eff. As eff.

1	S	10.970.0	0.0-178.1	0.0-33.0653	70.7
---	---	----------	-----------	-------------	------

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cmsr max	wkMx fess	My fess
1	S	-0.001050	0.500	30.0	55	0.00081 (0.00053)	234	0.190 (0.30) 308.080.00

7.9.1.3.4 Verifica gabbia 3

Armature longitudinali: 30 \varnothing 30 + 30 \varnothing 30 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 10/ 15 cm (in acciaio)

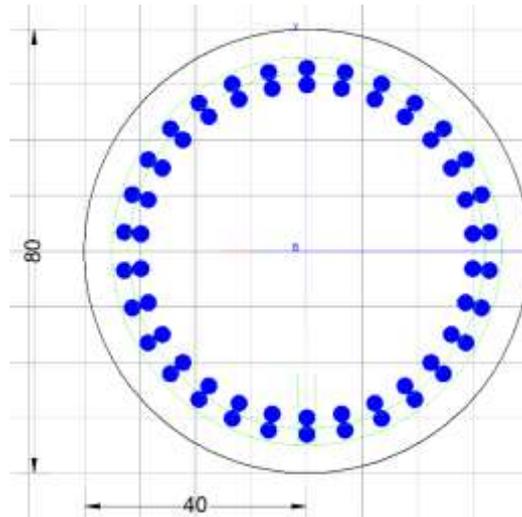


Figura 7-33 – gabbia 3

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe: C25/30			
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd':	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm	

ACCIAIO - Tipo: B450C			
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		

Modulo elastico Ef 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito
 Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00
 Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50
 Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.030	30		
2	0.0 0.0	30.030	30		

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
 Passo staffe: 15.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
Vy con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1		145.771574.00	0.00		311.000.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	145.77	1212.40	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	145.77	1212.40 (335.72)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	145.77	1212.40 (335.72)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.3 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.5 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	N	145.77	1574.00	0.00	145.95	3548.220.00	2.25424.1	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)

es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc maxes min	Xs min	Ys mines max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00279 0.0	33.0	-0.00394	0.0-33.0	

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000101917	-0.000576667	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 10 mm
 Passo staffe: 15.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	311.001239.43555.2860.9	50.0	72.9	1.420	1.020	11.220.0(0.0)	

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.850.0	0.0-170.5	0.0-33.0653	84.8				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.850.0	0.0-170.5	0.0-33.0653	84.8				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k3 = 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 k4 = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 e sm - e cm Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]

Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]

sr max Massima distanza tra le fessure [mm]

wk Apertura fessure in mm calcolata = $sr_{max} * (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi

Mx fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]

My fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.001010	0.500	30.0	55	0.00074	(0.00051)	226	0.168 (0.40)	335.720.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb Ver Sc max Xc max Yc max Sf min Xs min Ys min Ac eff. As eff.

1	S	10.850.0	0.0-170.5	0.0-33.0653	84.8
---	---	----------	-----------	-------------	------

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.001010	0.500	30.0	55	0.00078	(0.00051)	226	0.177 (0.30)	335.720.00

7.9.1.3.5 Verifica gabbia 3 con armatura in VTR

Armature longitudinali: 28 \varnothing 32 + 28 \varnothing 32 (in VTR)

Armature trasversali: staffe \varnothing 12/ 20 cm (in VTR)

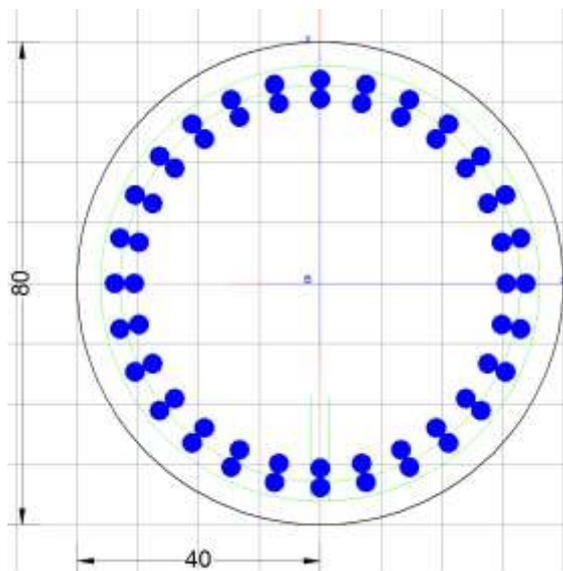


Figura 7-34 – gabbia 3 con armatura in VTR

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
VETRORESINA - Tipo:	VTR (32)		
Resist. caratt. snervam. fyk:	513.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	580.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	446.00	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	504.00	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.012		

Modulo Elastico Ef 460000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.828	32		
2	0.0 0.0	30.628	32		

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb. N Mx My Vy Vx

1 150.801574.30 0.00 0.000.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.7 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	N	150.80	1574.30		0.00	150.85	1667.950.00	1.06450.4	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00282	0.0	33.8	-0.00460	0.0	33.8	

ARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

VETRORESINA -	Tipo:	VTR(12)		
	Resist. caratt. snervam. fyk:	335.00	MPa	
	Resist. caratt. rottura ftk:	379.00	MPa	
	Resist. snerv. di progetto fyd:	291.00	MPa	
	Resist. ultima di progetto ftd:	330.00	MPa	
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.007		
	Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²	
	Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	12 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast	Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm ² /m]
A.Eff	Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm ² /m] Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature. L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta- ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	311.001261.54621.6862.0	51.9	72.9	1.420	1.000	10.821.5(0.0)	

7.9.1.3.6 Verifica gabbia 4

Armature longitudinali: 26 \varnothing 26 + 26 \varnothing 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 10/ 10 cm (in acciaio)

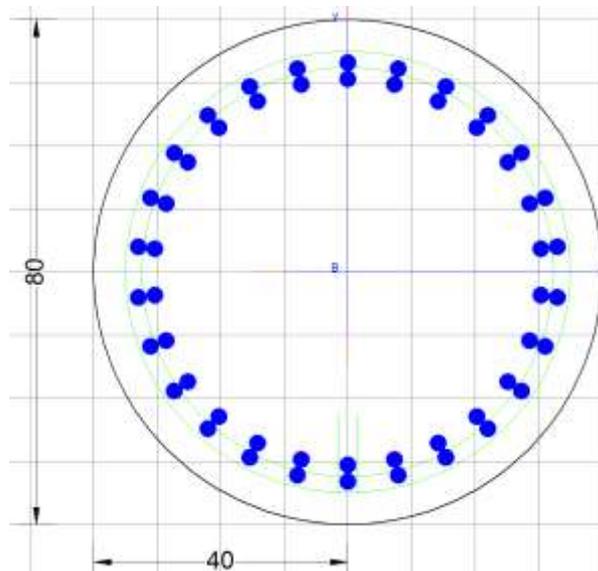


Figura 7-35 – gabbia 4

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto f_{cd} :	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta f_{cd}' :	7.080	MPa	
Def.unit. max resistenza ec_2 :	0.0020		
Def.unit. ultima ecu :	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale E_c :	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione f_{ctm} :	2.560	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm	

Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti: 0.00 Mpa
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.: 0.300 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C
Resist. caratt. snervam. fyk: 450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk: 450.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd: 391.30 MPa
Resist. ultima di progetto ftd: 391.30 MPa
Deform. ultima di progetto Epu: 0.068
Modulo Elastico Ef 2000000 daN/cm²
Diagramma tensione-deformaz.: Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.226	26		
2	0.0 0.0	30.626	26		

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
 Passo staffe: 10.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	175.931185.00	0.00			656.000.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	175.93	913.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	175.93	913.00 (269.60)0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

- N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
- Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
- My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	175.93	913.00 (269.60)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

- Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm
- Interferro netto minimo barre longitudinali: 4.8 cm
- Copriferro netto minimo staffe: 4.5 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

- Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
- N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
- Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
- My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
- N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
- Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
- My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
- Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
- As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic. As Totale
1	N	175.93	1185.00	0.00	175.63	2476.860.00	2.09276.1(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040	0.00276	0.0	33.2	-0.00447	0.0	33.2	

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000108880	-0.000855207	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	10 mm
Passo staffe:	10.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro

E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	VedVcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	656.001269.65857.3661.4	51.1	72.7	1.420	1.025	23.130.2(0.0)	

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.880.0	0.0-185.9	0.0-33.2684	63.7				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.880.0	0.0-185.9	0.0-33.2684	63.7				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata

e2	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
kt	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k2	= 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k3	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
k4	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
e _{sm} - e _{cm}	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC] Tra parentesi: valore minimo = 0.6 S _{max} / E _s [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
sr max	Massima distanza tra le fessure [mm]
wk	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e _{sm} - e _{cm}) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
M _x fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
M _y fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e _{sm} - e _{cm}	sr max	wk	M _x fess	M _y fess
1	S	-0.001090	0.500	26.0	55	0.00080 (0.00056)	234	0.187 (0.40)	269.600.00	

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	10.880.0	0.0-185.9	0.0-33.2684	63.7				

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Comb.	Ver	e1	e2	k2 Ø	Cf	e _{sm} - e _{cm}	sr max	wk	M _x fess	M _y fess
-------	-----	----	----	------	----	-----------------------------------	--------	----	---------------------	---------------------

7.9.1.3.7 Verifica gabbia 5

Armature longitudinali: 14 \varnothing 26 + 7 \varnothing 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio)

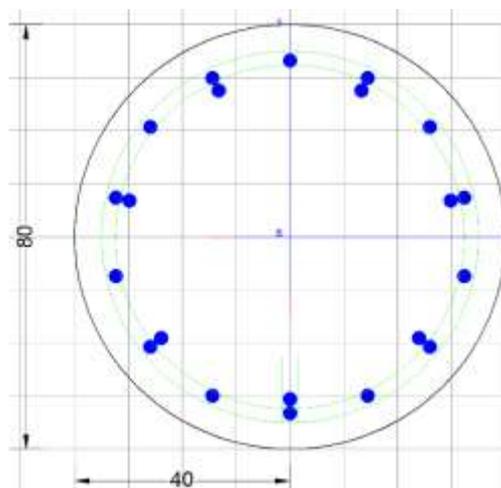


Figura 7-36 – gabbia 5

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd': 7.080	MPa		
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00		
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm ²	
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.400	mm	
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.300	mm	

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.214	26		
2	0.0 0.0	30.6 7	26		

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
Passo staffe: 20.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	238.76	621.30	0.00	411.00	0.00

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	238.76	476.77	0.00	0.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	238.76	476.77	(195.24)	0.00	(0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	MxMy
1	238.76	476.77 (195.24)0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 11.8 cm
Copriferro netto minimo staffe: 4.5 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	238.76	621.300.00		238.58	1173.81	0.001.89		111.5(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione

	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040	0.00259	0.0	33.2	-0.00635	0.0	33.2	

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000134552	-0.001882083	----	----

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe:	10 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd	Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro Braccio coppia interna [cm] Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione

Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	CtgAcw	Ast	A.Eff
1	S	411.001320.86453.4562.2	54.1	70.9	1.420	1.034	13.715.1(0.0)		

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	9.800.0	0.0-202.4	0.0-33.2748	21.2				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	9.800.0	0.0-202.4	0.0-33.2748	21.2				

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}

Ver. Esito della verifica
 e1 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 e2 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 kt = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]

	[m]	[m]		[m]	[°]	N.	-
1	0.2	10	13	2	10	4	IGU
2	0.2	10	8	2	10	4	IGU

La verifica geotecnica a sfilamento delle barre di ancoraggio è stata condotta secondo quanto previsto per i tiranti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei coefficienti parziali indicati nelle tabelle 6.2.I e 6.2.II per quanto riguarda azioni e parametri del terreno e di un coefficiente parziale sulle resistenze γ_R pari a 1.2 per tiranti permanenti (tabella 6.6.I delle NTC).

Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

Il valore della resistenza caratteristica allo sfilamento $R_{a,k}$ viene determinato dalla resistenza di calcolo $R_{a,c}$ (considerando il suo valor medio) attraverso il fattore di correlazione (ξ_{a3} in funzione del numero di verticali di indagine ($\xi_{a3} = 1.8$ nel caso in esame avendo a disposizione 1 verticale di indagine):

$$R_{a,k} = R_{a,c} / \xi_{a3}$$

Tab. 6.6.III - Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine

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

Il valore della resistenza di calcolo $R_{a,c}$ viene determinato come segue:

$$R_{a,c} = D \cdot \alpha \cdot p \cdot L \cdot \tau_s$$

Dove:

D = diametro di perforazione

α = coefficiente di maggiorazione del diametro di perforazione, funzione del tipo di terreno e di iniezione, assunto pari a 1.10 nel caso in esame per le unità geotecniche attraversate dai tiranti. È stata adottata la tecnica di iniezione globale unica (IGU);

L = lunghezza del bulbo di ancoraggio

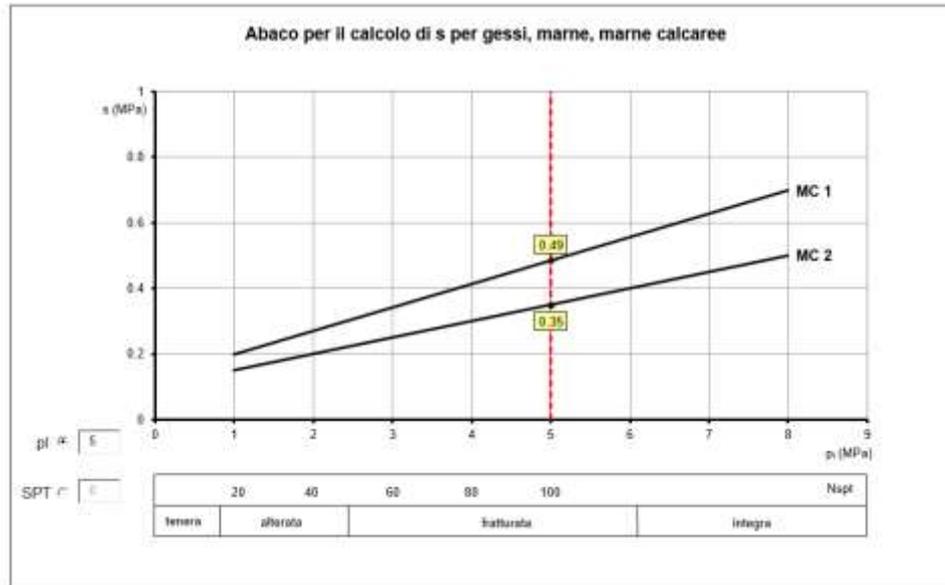
τ_s = tensione limite di aderenza fra bulbo e terreno

Tipo di terreno	Coefficiente α	
	IRS*	IGU**
Ghiaia	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 grossolana	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Sabbia fine	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	1.2
Marna	1.8	1.1 - 1.2
Marna calcarea	1.8	1.1 - 1.2
Arenaria alterata o fratturata	1.8	1.1 - 1.2
Roccia alterata o fratturata	1.2	1.1

IRS: Iniezione ripetuta selettiva
IGU: Iniezione globale unica

Per la stima della tensione limite di aderenza tra bulbo e terreno si è fatto riferimento alle indicazioni di Bustamante e Doix (1985) per le iniezioni IGU relative a terreni incoerenti.

Dalle indagini in-situ si è ottenuto un valore di pressione limite pari a 5 Mpa, da cui $\tau_s = 350$ kPa per lo strato in esame “conglomerati fortemente cementati”.



* $S = \tau_s$

*MC2 = IGU

Il valore della resistenza di progetto allo sfilamento del bulbo $R_{a,d}$ si ottiene applicando alla resistenza caratteristica $R_{a,k}$ il coefficiente parziale sulle resistenze γ_R precedentemente definito:

$$R_{a,d} = R_{a,k} / \gamma_R = R_{a,c} / (\xi a_3 \cdot \gamma_R)$$

La verifica allo sfilamento risulta soddisfatta quando:

$$R_{a,d} > E_d \text{ (sollecitazione)}$$

La resistenza a trazione di progetto delle barre in acciaio si determina fattorizzando la tensione di snervamento caratteristica con il coefficiente parziale $\gamma_s = 1.15$. La verifica strutturale del tirante risulta soddisfatta quando:

$$R_{t,d} = f_{yk} / \gamma_s \cdot \text{Acciaio} > E_d$$

Infine va rispettata la gerarchia delle resistenze ovvero la resistenza a trazione di progetto delle barre in acciaio deve essere maggiore della resistenza a sfilamento:

$$R_{t,d} > R_{a,d}$$

Di seguito si riportano le verifiche dei tiranti effettuate internamente al software paratie:

Design Assumptions: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) *									
Tiranti: Puntoni Tiranti di Ripartizione in Acciaio Tiranti di Ripartizione in Calcestruzzo									
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze	
Tieback	Stage 4	312	1455,9	1823,9	0,214	0,177	✓	✓	
Tieback	Stage 5	323,42	1455,9	1823,9	0,222	0,177	✓	✓	
Tieback	Stage 6	309,91	1455,9	1823,9	0,213	0,17	✓	✓	
Tieback	Stage 7	313,54	1455,9	1823,9	0,215	0,172	✓	✓	
Tieback	Stage 8	516,16	1455,9	1823,9	0,355	0,283	✓	✓	
Tieback	Stage 9	516,16	1455,9	1823,9	0,355	0,283	✓	✓	
Tieback	Stage 10	516,16	1455,9	1823,9	0,355	0,283	✓	✓	
Tieback	Stage 11	516,16	1455,9	1823,9	0,355	0,283	✓	✓	
Tieback	Stage 12	516,16	1455,9	1823,9	0,355	0,283	✓	✓	
Tieback	Stage 13	516,16	1455,9	1823,9	0,355	0,283	✓	✓	
Tieback	Stage 14	516,16	1455,9	1823,9	0,355	0,283	✓	✓	
Tieback	Stage 15	516,16	1455,9	1823,9	0,355	0,283	✓	✓	
Tieback	Stage 16	502,98	1455,9	1823,9	0,345	0,276	✓	✓	
Tieback	Stage 17	499,09	1455,9	1823,9	0,343	0,274	✓	✓	
Tieback 2	Stage 6	312	895,93	1823,9	0,348	0,171	✓	✓	
Tieback 2	Stage 7	322,03	895,93	1823,9	0,359	0,177	✓	✓	
Tieback 2	Stage 8	891,32	895,93	1823,9	0,995	0,489	✓	✓	
Tieback 2	Stage 9	891,32	895,93	1823,9	0,995	0,489	✓	✓	
Tieback 2	Stage 10	891,32	895,93	1823,9	0,995	0,489	✓	✓	
Tieback 2	Stage 11	891,32	895,93	1823,9	0,995	0,489	✓	✓	
Tieback 2	Stage 12	891,32	895,93	1823,9	0,995	0,489	✓	✓	
Tieback 2	Stage 13	891,32	895,93	1823,9	0,995	0,489	✓	✓	
Tieback 2	Stage 14	891,32	895,93	1823,9	0,995	0,489	✓	✓	
Tieback 2	Stage 15	891,32	895,93	1823,9	0,995	0,489	✓	✓	
Tieback 2	Stage 16	866,59	895,93	1823,9	0,967	0,475	✓	✓	
Tieback 2	Stage 17	864,04	895,93	1823,9	0,964	0,474	✓	✓	

Figura 7-37 – Verifiche tiranti

Le verifiche risultano soddisfatte ai sensi delle NTC 2018.

7.9.1.3.9 Verifica trave di ripartizione

Di seguito si riportano le verifiche strutturali dei profili HEB 200 in acciaio S275 utilizzati come travi di ripartizione delle reazioni dei tiranti.



Figura 7-38 - Inserimento trave di ripartizione in Paratie

La verifica è eseguita internamente al software Paratie e di seguito se ne riportano gli esiti:

Verifiche Elementi Strutturali

Design Assumption: NTC2018 A1+M1+R1 (R3 per travi)

Travi		Travi di Ripartizione in Acciaio			Travi di Ripartizione in Calcestruzzo						
Type di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Peso orizz. (kN)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Aziore Assiale (kN)	Sfollamento Momento	Sfollamento Taglio	Instabilità
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 4	156	0	0,271	0,281	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 5	161,75	0	0,288	0,291	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 6	154,96	0	0,268	0,279	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 6	156	0	0,271	0,281	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 7	156,75	0	0,271	0,282	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 7	161,02	0	0,279	0,29	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 8	258,08	0	0,447	0,465	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 8	445,66	0	0,772	0,803	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 9	258,08	0	0,447	0,465	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 9	445,66	0	0,772	0,803	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 10	258,08	0	0,447	0,465	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 10	445,66	0	0,772	0,803	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 11	258,08	0	0,447	0,465	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 11	445,66	0	0,772	0,803	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 12	258,08	0	0,447	0,465	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 12	445,66	0	0,772	0,803	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 13	258,08	0	0,447	0,465	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 13	445,66	0	0,772	0,803	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 14	258,08	0	0,447	0,465	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 14	445,66	0	0,772	0,803	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 15	258,08	0	0,447	0,465	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 15	445,66	0	0,772	0,803	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 16	291,49	0	0,493	0,453	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 16	433,3	0	0,791	0,78	0
Default Water	Tieback	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 17	249,55	0	0,432	0,449	0
Default Water	Tieback 2	HE 200B	S275	2	NTC2018 A1+k	Stage 17	412,02	0	0,748	0,778	0

Copie negli appunti

Chiudi

Figura 7-39 - Verifiche trave di ripartizione

Le verifiche risultano soddisfatte.

7.9.2 Sezione A-A – Pali CSP

7.9.2.1 Sollecitazioni allo stato limite ultimo (SLU)

Si riportano di seguito gli involuipi delle sollecitazioni dell’analisi condotta per quanto riguarda la combinazione strutturale SLU (A1+M1+R1).

Il diagramma del momento flettente:

$M_{max} = 742.95 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}$; momento flettente massimo

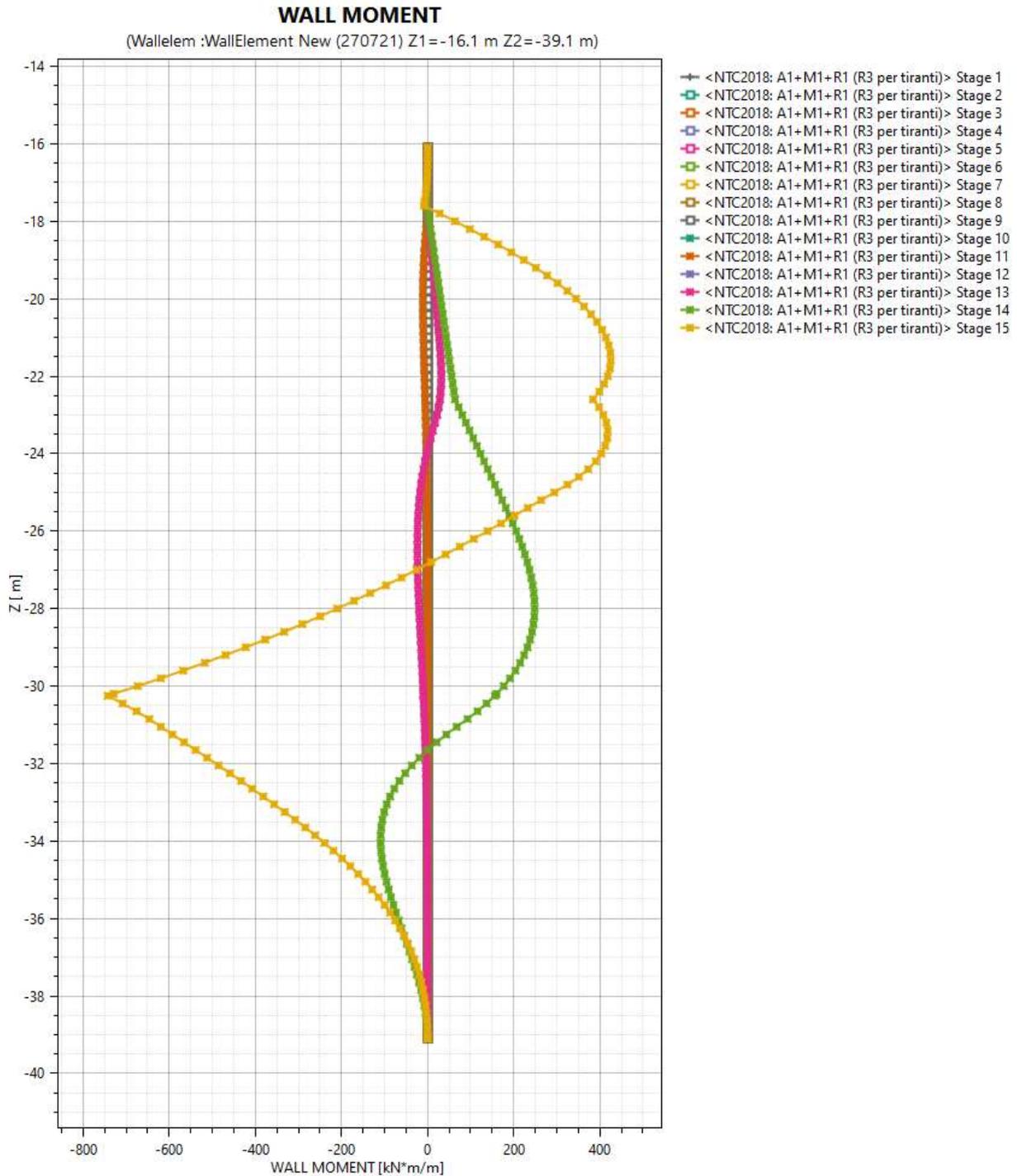


Figura 7-40 – Diagramma del momento flettente – pali CSP

Il diagramma del Taglio:

$T_{max} = 284.22 \text{ kN/m}$; taglio massimo

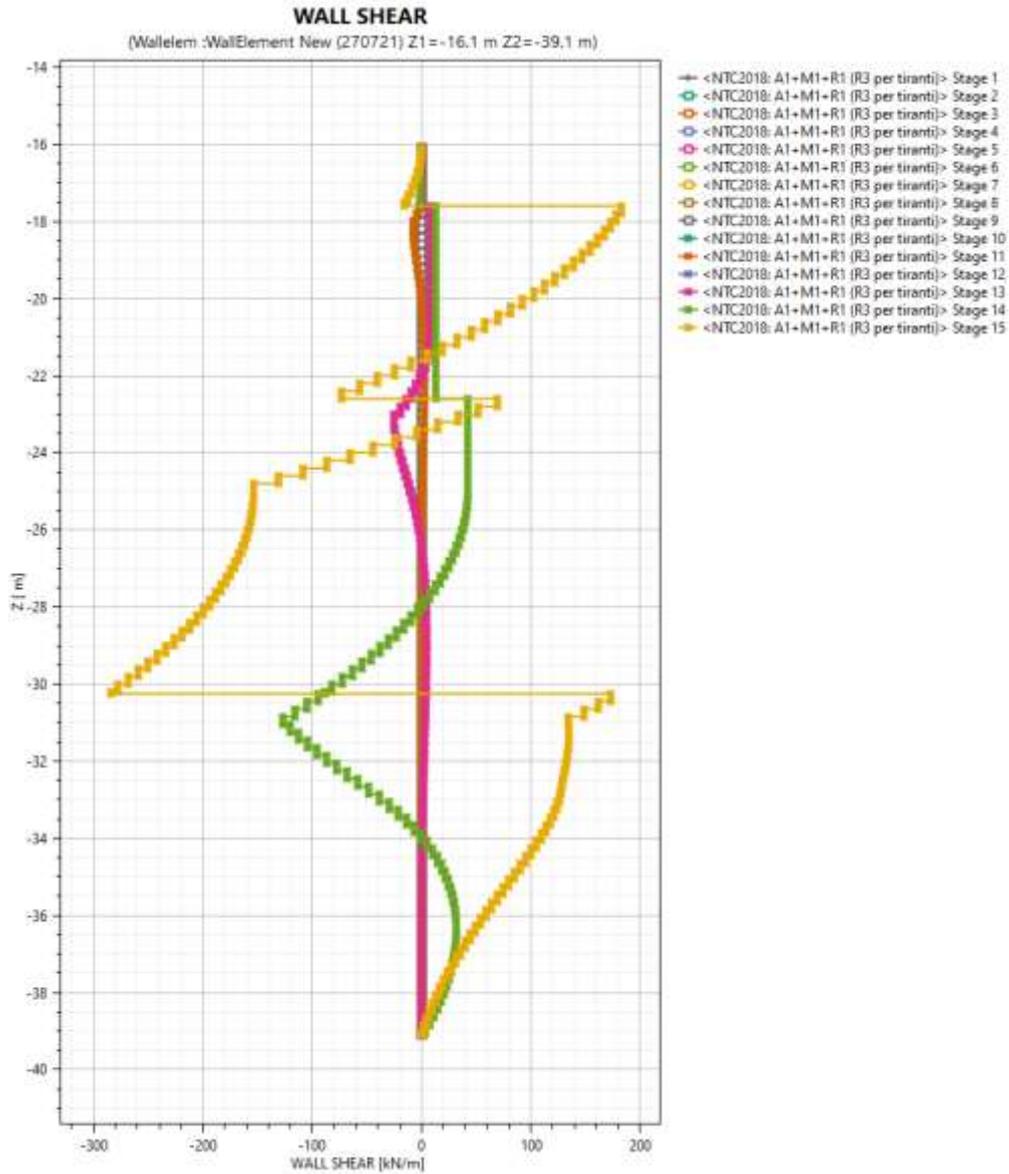


Figura 7-41 – Diagramma del taglio – Pali CSP

7.9.2.2 Verifiche allo stato limite di esercizio (SLE)

Verifica nei confronti delle deformazioni:

Gli spostamenti orizzontali massimi agli SLE sono di circa 2.62 cm, inferiori al limite $H_{scavo}/200 = 7.4$ cm, pertanto la verifica di SLE nei confronti di deformabilità viene soddisfatta.

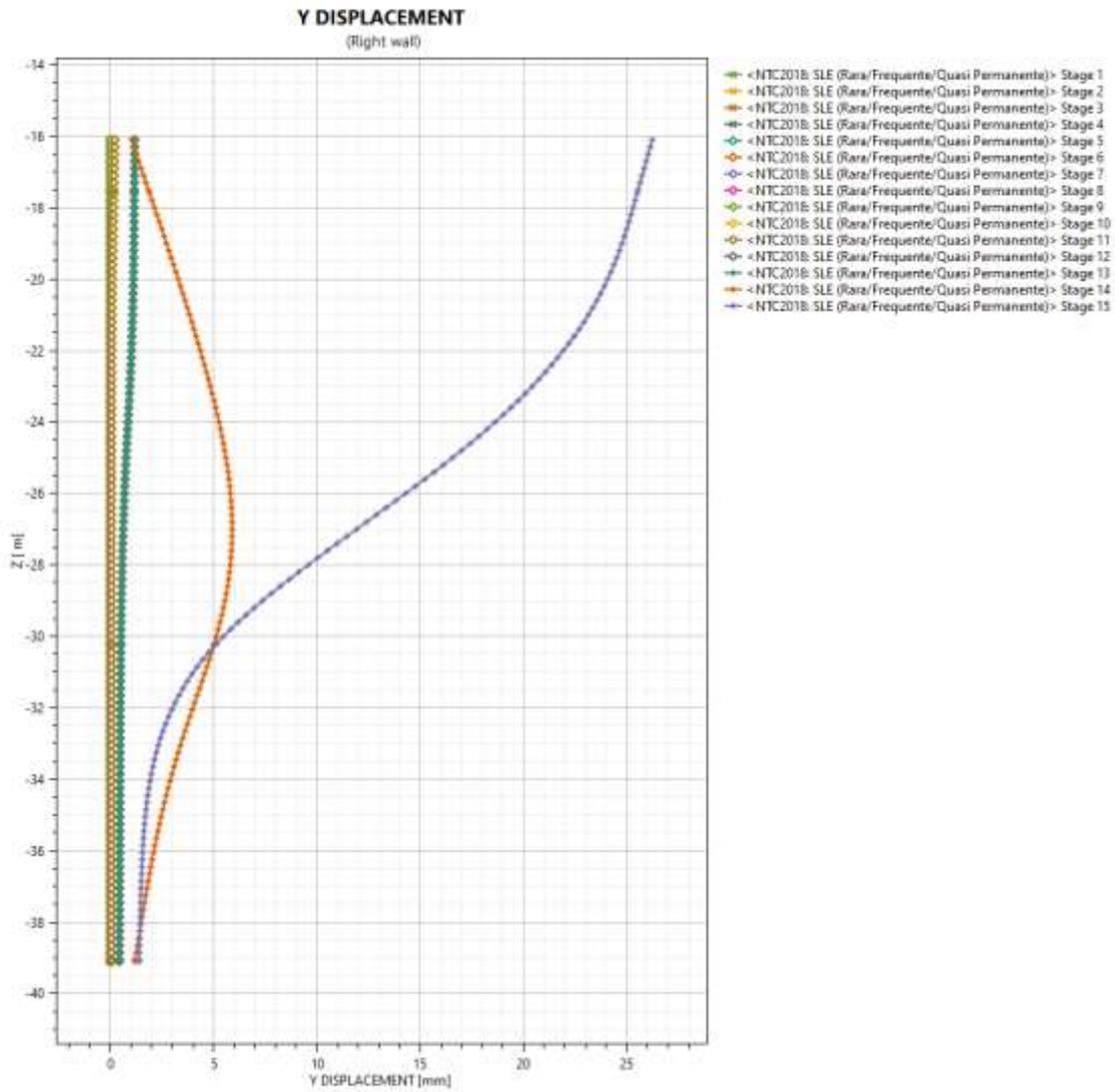


Figura 7-42 – Diagramma spostamenti – Pali CSP

7.9.2.3 Verifiche degli elementi strutturali – Pali CSP

Di seguito vengono riportate le verifiche allo stato limite SLU per le gabbie di armatura. La gabbia 1 ha una lunghezza pari a 10 m. Le barre della gabbia 2, con una lunghezza pari a 3m, sono state progettate in vetroresina (VTR) al fine di facilitare l’attraversamento della macchina del microtunneling nella zona di scavo. Nelle aree non interferenti con microtunneling, la gabbia 1 viene allungata di 3m. La gabbia 3 con una lunghezza pari a 10 m è stata dimensionata per la parte inferiore.

	M,max [kN.m]	T,max [kN]	z [m]
Gabbia 1	517.50	-	-29.40
	-	242.10	-29.40
Gabbia 2 (VTR)	517.50	-	-29.40
	-	242.10	-29.40
Gabbia 3	743.00	-	-30.25
	-	284.22	-30.25

Tabella 20 – Sollecitazioni massime – Pali CSP

dove:

- M,max ed T,max sono le sollecitazioni di calcolo.
- z è la profondità (rispetto alla testa del palo)in corrispondenza della sollecitazione calcolata.

7.9.2.3.1 Verifiche gabbia 1

Armature longitudinali: 10 \varnothing 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio)

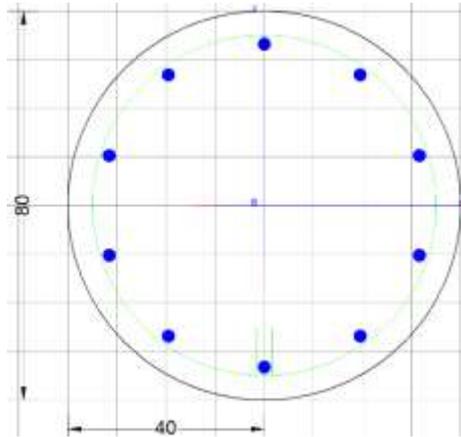


Figura 7-43 – gabbia 1

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd': 7.080	MPa		
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	

ACCIAIO - Tipo:	B450C		
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm

X centro circ.:0.0 cm
Y centro circ.:0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.210	26		

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
Passo staffe: 20.0 cm
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00517.50	0.00242.10	0.00		

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 5.5 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 17.9 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 4.5 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
 As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	0.00	517.500.00	0.00	0.00	616.47	0.001.19	53.1	(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 Xc max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00227	0.0	33.2	-0.00974	0.0	33.2	-0.00974

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000180865	-0.003734587		

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 10 mm
 Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
 Ved Taglio di progetto [kN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
 Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
 Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
 d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
 bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e D_{med} .
 Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
 Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
 Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
 A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lunghezza legatura proiettata sulla direzione del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direzione del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	242.101282	0.8252	4864.7	57.9	66.5	1.420	1.000	7.57	9(0.0)

7.9.2.3.2 Verifica gabbia 2 con armatura in VTR

Armature longitudinali: 18 ϕ 20 (in VTR)

Armature trasversali: staffe ϕ 12/ 20 cm (in VTR)

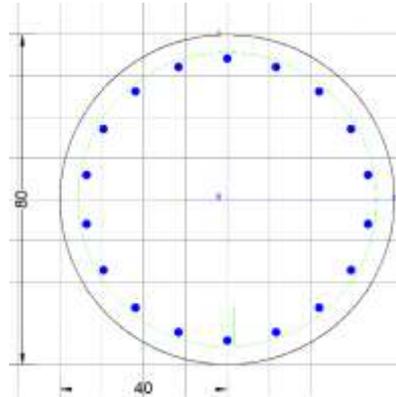


Figura 7-44 – gabbia 2 con armatura in VTR

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	

VETRORESINA - Tipo:	VTR (20)		
Resist. caratt. snervam. fyk:	690.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	780.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	600.00	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	678.00	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.018		
Modulo Elastico Ef	460000	daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
X centro circ.: 0.0 cm
Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro	Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Ycentro	Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
Raggio	Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
N°Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
Ø	Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	34.218	20	

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00517.50	0.000.00	0.000.00	0.00	

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	9.9 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata

N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000
As Totale Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic. As Totale
1	S	0.00	517.500.00	0.00	575.88	0.001.11	56.5(15.1)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.040.0	0.00244	0.0	34.2	-0.01000	0.0-34.2		

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

VETRORESINA - Tipo: VTR(12)
Resist. caratt. snervam. fyk: 335.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk: 379.00 MPa
Resist. snerv. di progetto fyd: 291.00 MPa
Resist. ultima di progetto ftd: 330.00 MPa
Deform. ultima di progetto Epu: 0.007
Modulo Elastico Ef 460000 daN/cm²

Diagramma tensione-deformaz.:

Bilineare finito

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 12 mm
Passo staffe: 20.0 cm [Passo massimo di normativa = 24.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_{max} con L =lungh.legat.proietta-
ta sulla direz. del taglio e d_{max} = massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	242.101293	45376.1765	7	59.9	64.8	1.420	1.000	7.311	3(0.0)

7.9.2.3.3 Verifica gabbia 3

Armature longitudinali: 14 ϕ 26 (in acciaio)

Armature trasversali: staffe ϕ 10/ 15 cm (in acciaio)

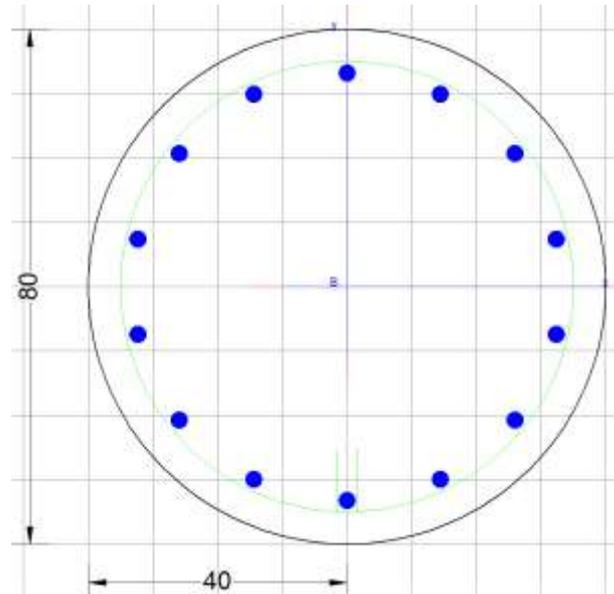


Figura 7-45 – gabbia 3

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO - Classe:	C25/30		
Resis. compr. di progetto fcd:	14.160	MPa	
Resis. compr. ridotta fcd': 7.080	MPa		
Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020		
Def.unit. ultima ecu:	0.0035		
Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo		
Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa	
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa	

ACCIAIO - Tipo:	B450C		
Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa	
Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa	
Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa	
Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa	
Deform. ultima di progetto Epu:	0.068		
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²	
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito		

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circ.: 40.0 cm
 X centro circ.: 0.0 cm
 Y centro circ.: 0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre generate
 Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate
 N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza
 Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0 0.0	33.214	26		

ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 10 mm
 Passo staffe: 15.0 cm
 Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia
 con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
---------	---	----	----	----	----

1 0.00350 0.040.0 0.00240 0.0 33.2 -0.00839 0.0-33.2

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000162436	-0.002997430		

VERIFICHE A TAGLIO

Diam. Staffe: 10 mm
Passo staffe: 15.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved Taglio di progetto [kN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vcd Taglio resistente ultimo [kN] lato conglomerato compresso [(4.1.28) NTC]
Vwd Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d | z Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro | Braccio coppia interna [cm]
 Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.
 I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro
 E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Ctg Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Ast Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]
A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm²/m]
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d_max con L=lungh.legat.proietta-
 ta sulla direz. del taglio e d_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff	
1	S	284.22	1284.16	329.25	63.4	56.6	68.1	1.420	1.000	9.0	10.5(0.0)

Puntoni

Il sistema di puntonamento è realizzato da un telaio in acciaio formato da travi perimetrali HEM800 e puntoni interni d’angolo HEM600. La reazione sui puntoni, ovvero sulle molle inserite nel software di calcolo paratie, definisce il valore del carico da applicare sul sistema di puntonamento al fine di effettuarne le verifiche. La reazione massima vale 182.87 kN/m. Tale valore viene applicato al sistema di puntonamento:

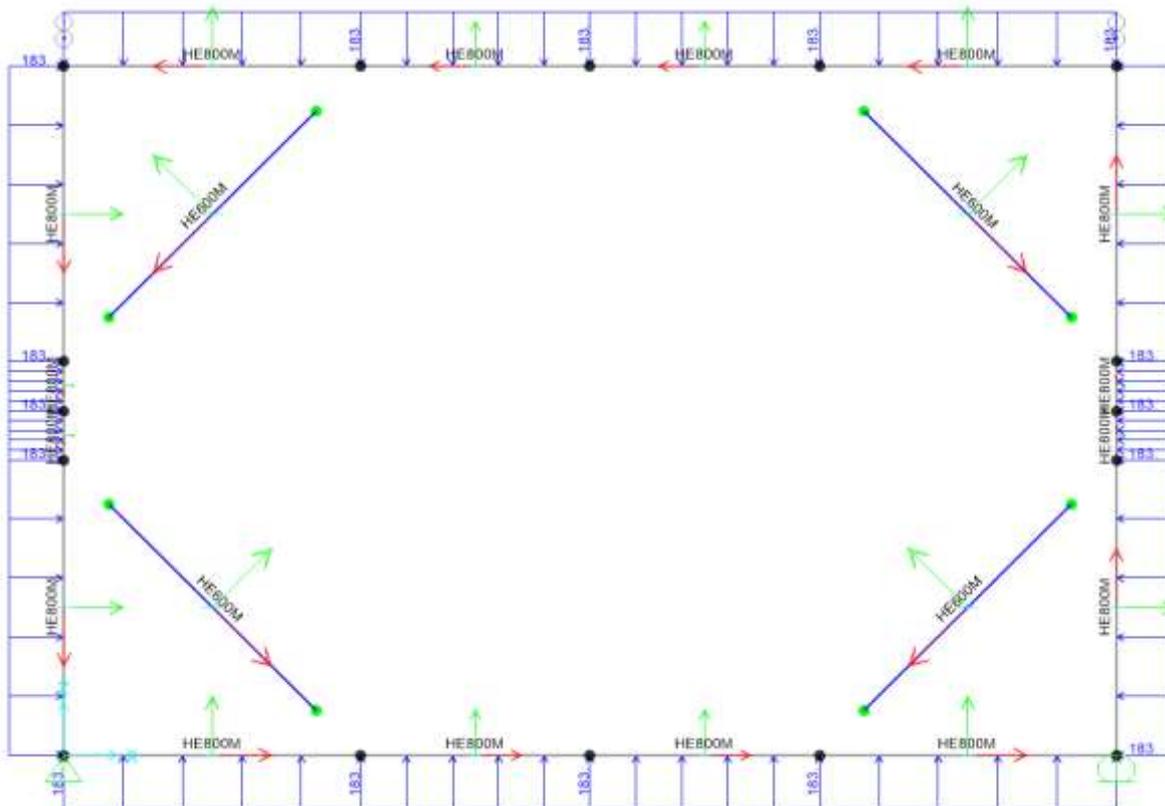


Figura 7-46 – Applicazione del carico sul sistema di puntonamento

Le sollecitazioni agenti nel piano sono le seguenti:

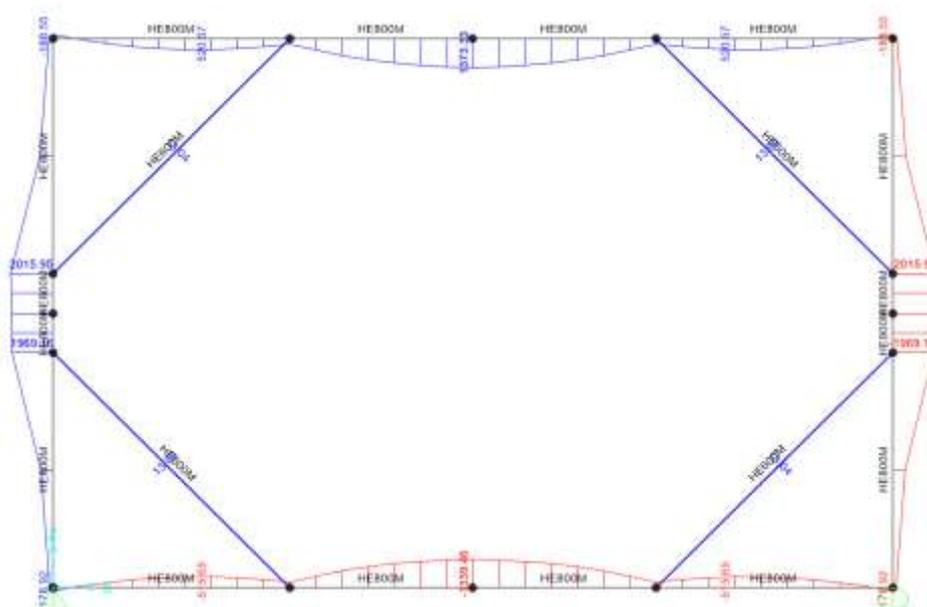


Figura 7-47 – Diagramma del momento flettente

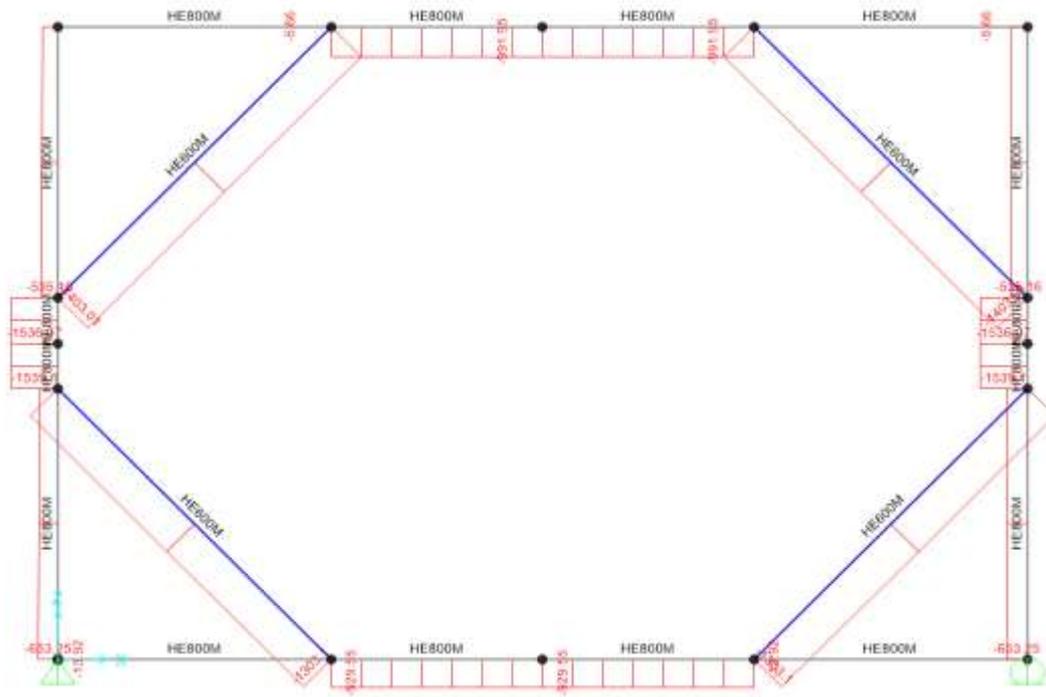


Figura 7-49 – Diagramma dello sforzo assiale

Le verifiche sul sistema di puntonamento sono svolte in accordo alle indicazioni normative al paragrafo 4.2.4 delle NTC 2018 e della circolare esplicativa 2019. Di seguito sono riportati i tassi di lavoro degli elementi strutturali:

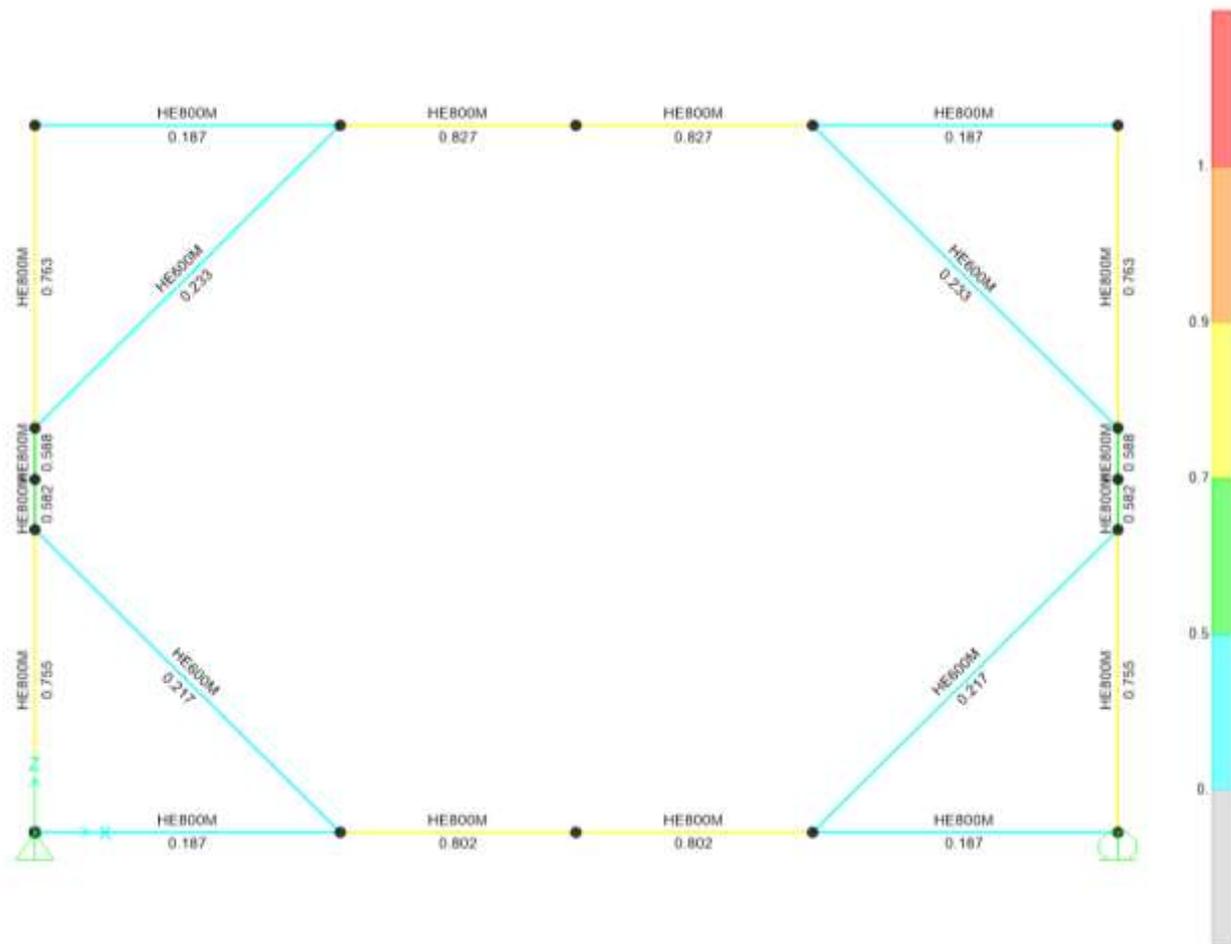


Figura 7-50 – Tasso di sfruttamento degli elementi

I fattori di sicurezza sono tutti minori dell’unità e pertanto le verifiche risultano soddisfatte. Il tasso di lavoro maggiore si registra per le travi perimetrali HEM 800 (FS=0.827<1) per cui si riportano le verifiche in dettaglio:

Italian NTC 2018 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 24 X Mid: 6.238 Combo: SLU 1 Design Type: Beam
Length: 3.475 Y Mid: 1. Shape: HEB300M Frame Type: Non Dissipative
Loc : 3.475 Z Mid: 10.5 Class: Class 1 Rolled : Yes

Interaction=Method B MultiResponse=Envelopes E-Delta Done? No
Consider Torsion? No

GammaM0=1.05 GammaM1=1.05 GammaM2=1.25
An/Ag=1. RLLP=1. RLLP=0.79 D/C Lim=0.95

Weff=0.04 eMy=0. eMz=0.
A=0.04 Iyy=0.004 Izz=0.331 Wel,yy=0.011 Weff,yy=0.011
Iw=1.637E-05 Ixx=1.863E-04 Izz=0.068 Wel,zz=0.001 Weff,zz=0.001
Dw=2.790E-05 Iyy=0. b=0.814 Wpl,yy=0.012 Av,y=0.025
E=210000000. fy=355000. fuz=610000. Wpl,zz=0.002 Av,z=0.019

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Location	Med	Med,yy	Med,zz	Ved,z	Ved,y	Ted
3.475	-591.945	244.006	0.	649.973	0.	0.

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (Governing Equation NTC Eq C4.2.38)
D/C Ratio: 0.827 = 0.178 + 0.65 + 0. < 0.95 OK
= NEd/(Chi_z NEd/GammaM1) + kyy (My,Ed+NEd eMy)/(Chi_LI My,Rk/GammaM1) + kzz (Mz,Ed+NEd eMz)/(Mz,Rk/GammaM1) (NTC Eq C4.2.38)

AXIAL FORCE DESIGN

	Med Force	Mc,Rd Capacity	Mt,Rd Capacity
Axial	-591.945	13659.048	13659.048

	Wpl,Rd	Nu,Rd	Ncr,T	Ncr,TF	An/Ag
	13659.048	14834.88	22209.748	22209.747	1.

Curve	Alpha	Ncr	LambdaBar	Phi	Chi	Nb,Rd
Major (y-y)	a	189915.688	0.275	0.546	0.563	13431.133
MajorB (y-y)	a	189915.688	0.275	0.546	0.563	13431.133
Minor (z-z)	b	7992.966	1.339	1.591	0.408	5577.634
MinorB (z-z)	b	7992.966	1.339	1.591	0.408	5577.634
Torsional TF	b	22209.747	0.804	0.505	0.722	9865.083

MOMENT DESIGN

	Med Moment	Med,span Moment	Mn,Ed Moment	Meq,Ed Moment
Major (y-y)	244.006	1373.334	993.06	1290.965
Minor (z-z)	0.	0.	0.	0.

	Mc,Rd Capacity	Mv,Rd Capacity	Mn,Rd Capacity	Mb,Rd Capacity
Major (y-y)	4222.81	4222.81	4222.81	2045.789
Minor (z-z)	652.524	652.524	652.524	

LTB	Curve	AlphaLT	LambdaSerLT	PhiLT	ChiLT	Iw	Ncr
	c	0.45	1.058	1.323	0.485	2.790E-05	3679.001

Factors	kw	Psi	CS	CS	ss	sj
	1.	1.120	0.455	0.525		
	ss	ss	sg	ss	sj	
	0.407	0.	0.407	0.	0.	

Factors	kyy	kzz	kyy	kzz
	0.837	0.745	0.565	1.245

SHEAR DESIGN

	Ved Force	Ted Torsion	Vc,Rd Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major (z)	649.973	0.	3786.866	0.172	OK
Minor (y)	0.	0.	4877.249	0.	OK

Reduction	Vpl,Rd	Eta	LambdaBarW
	3786.866	1.	0.462

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

Major (V1)	VMajor Left	VMajor Right
	0.	649.973

7.9.2.4 Verifiche nei confronti degli stati limiti ultimi idraulici

7.9.2.4.1 Sollevamento del fondo scavo (UPL)

L’opera geotecnica è stata verificata nei confronti del possibile stato limite di sollevamento. La verifica è stata condotta secondo quanto previsto dalle NTC 2018 al paragrafo 6.2.4.2, adottando i coefficienti di sicurezza sotto riportati:

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_i (o γ_{if})	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(2)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0
	Sfavorevole		1,5

Tabella 21: Coefficienti di sicurezza per la verifica a sollevamento – NTC 2018

Verifica UPLIFT del fondo di scavo

γ_w	9.81	kN/m ³	W	3389.38	kN
γ_{terreno}	25	kN/m ³	s	138.321	kN/m ²
hw	14.1	m s.l.m	S	2206.22	kN
P	0	kN	P	0	kN
M	15.95	m	γ_{Gfav}	0.9	
N	1	m	γ_{Gsfav}	1.1	
A	15.95	m ²			
H	8.5	m	FS	1.26	

γ_w : peso dell'acqua

γ_{terreno} : peso del terreno

hw: altezza di falda

P: peso della soletta di fondazione (da non considerare a favore di sicurezza)

M: dimensione maggiore fondazione

N: dimensione minore fondazione

A: area della fondazione

W: peso del terreno resistente $W = \gamma_{\text{terreno}} \times H \times A$

s: spinta idrostatica agente sull'area della fondazione $s = \gamma_w \times hw$

S: risultate spinta idrostatica $S = s \times A$

La verifica viene soddisfatta con un fattore di sicurezza (FS) pari a 1.26.

7.9.3 Verifiche di stabilità globale – risultati

Le verifiche di stabilità globale del fronte di scavo a monte della prateria perimetrale con un’altezza pari a 7 m e l’inclinazione di 45° sono state svolte con il codice di calcolo Slide (Rosscience, ver. 7.0) con riferimento al metodo dell’equilibrio limite in cui l’ammasso di terreno, delimitato da una superficie di scorrimento circolare, viene suddiviso in conci.

Il software determina la superficie di scorrimento critica caratterizzata dal valore minimo del coefficiente di sicurezza, definito come il rapporto tra la resistenza di progetto del sistema R_d (momenti stabilizzanti) e l’azione di progetto E_d (momenti ribaltanti). Il programma riduce la resistenza con il fattore parziale sulle resistenze del terreno $\gamma_R = 1.1$, pertanto le verifiche sono soddisfatte se il coefficiente di sicurezza F è maggiore di 1. Sono state verificate numerose superfici di scivolamento circolari utilizzando il metodo di Janbu corretto (1967).

Il criterio di resistenza dei terreni utilizzato è quello di Mohr-Coulomb, e quindi i coefficienti di sicurezza si applicano a tali indicazioni.

Al fine di limitare i movimenti del terreno vengono realizzati due ordini dei chiodi passivi autopeforanti Sirive con le seguenti caratteristiche:

Tabella 21 – Caratteristiche chiodi passivi

Lunghezza libera	Lunghezza bulbo	Diametro di perforazione	Passo	Inclinazione	Barra autopeforante Sirive	Tipologia iniezione
[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	-	-
8.5	7.5	0.125	3	15	R51*	IGU

*Caratteristiche dell’autoperforante Sirive di tipo R51:

- Area nominale della sezione trasversale = 1170 mm²
- Valore nominale della tensione di snervamento = 460 Mpa

Nella figura seguente vengono mostrate i risultati delle analisi numeriche:

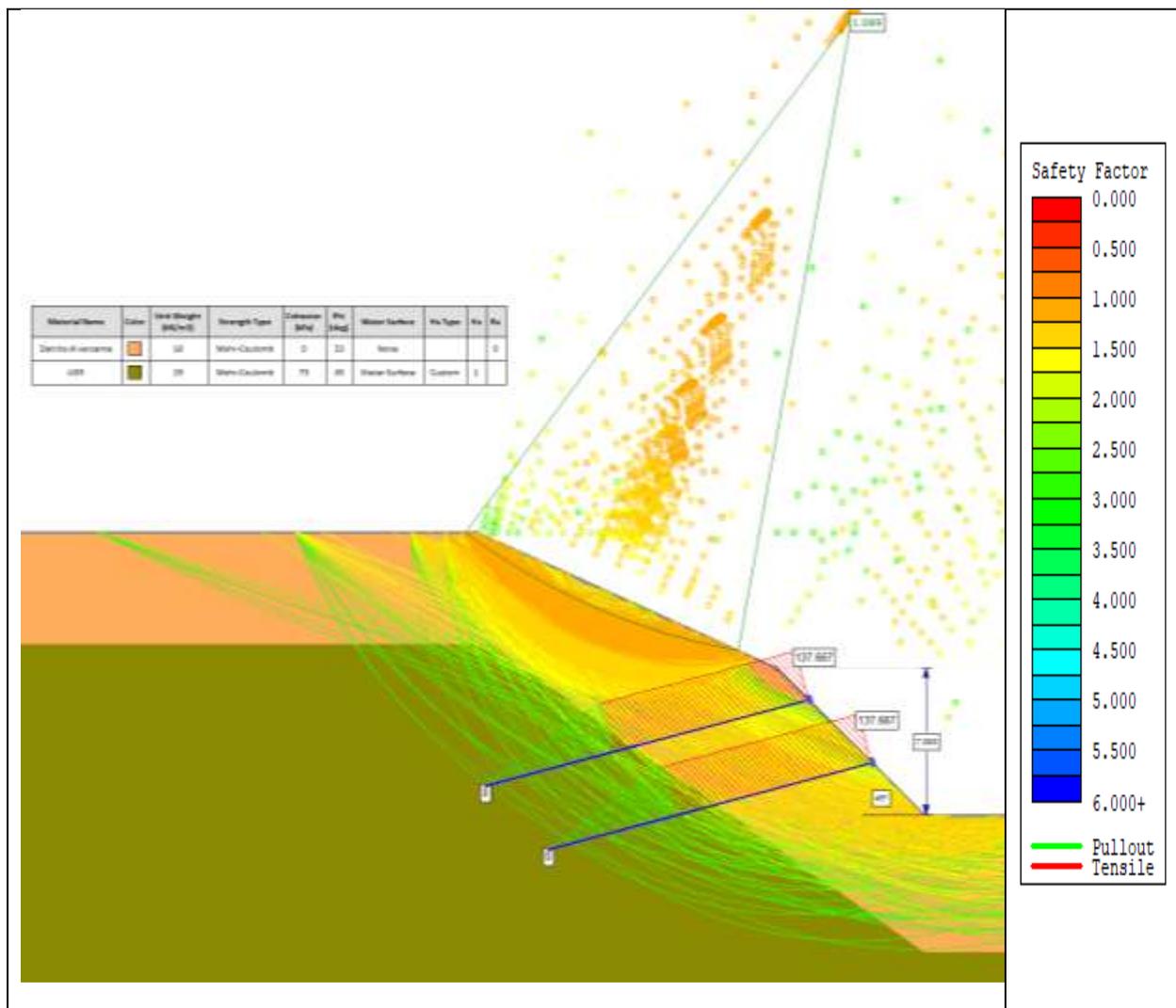


Figura 7-51 - Superficie di scorrimento critica - (Approccio A2+M2+R2 NTC 2018)

I risultati mostrano che la superficie di scorrimento più critica che coinvolge il pendio risulta ad avere il fattore di sicurezza pari a 1.089, pertanto la verifica della scarpata nei confronti di stabilità globale risulta soddisfatta.

7.9.4 Caratteristiche dell’opera

Dalle verifiche effettuate si può concludere che la struttura soddisfa i requisiti di resistenza e funzionalità previsti allo SLU e SLE, con opportuno margine di sicurezza.

Dovrà essere posta attenzione alle effettive misure dello stato di fatto in modo da posizionare la struttura in oggetto in maniera conforme alle indicazioni di progetto.

Dai calcoli eseguiti si determinano le seguenti caratteristiche dell’opera:

Armature Sezione A-A:

Pali perimetrali:

- gabbia 1 (lunghezza = 6 m): 8 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 10 cm (in acciaio)
- gabbia 2 (lunghezza = 4 m): 26 \varnothing 30 + 26 \varnothing 30 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 15 cm (in acciaio)
- gabbia 3 (lunghezza = 4 m): 30 \varnothing 30 + 30 \varnothing 30 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 15 cm (in acciaio)
- gabbia 4 (lunghezza = 3 m): 26 \varnothing 26 + 26 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 10 cm (in acciaio)
- gabbia 5 (lunghezza = 6 m): 14 \varnothing 26 + 7 \varnothing 26 (in acciaio); staffe \varnothing 10/ 20 cm (in acciaio)

Incidenza armature (in acciaio) = 340 kg/m³

Barre longitudinali in VTR: 56φ32 per palo(lunghezza=3m); Staffe in VTR φ12/20cm (lunghezza staffa =2.25m)

Pali CSP:

- gabbia 1 (lunghezza = 10 m): 10 φ 26 (in acciaio); staffe φ 10/ 20 cm (in acciaio); *la lunghezza della gabbia 1 è pari a 13m per le zone non interferenti con microtunneling.
- gabbia 3 (lunghezza = 10 m): 14 φ 26 (in acciaio); staffe φ 10/ 15 cm (in acciaio)

Incidenza armature (in acciaio) = 115 kg/m³

Barre longitudinali in VTR: 18φ20 per palo(lunghezza=3m); Staffe in VTR φ12/20cm (lunghezza staffa =2.25m)

Puntoni:

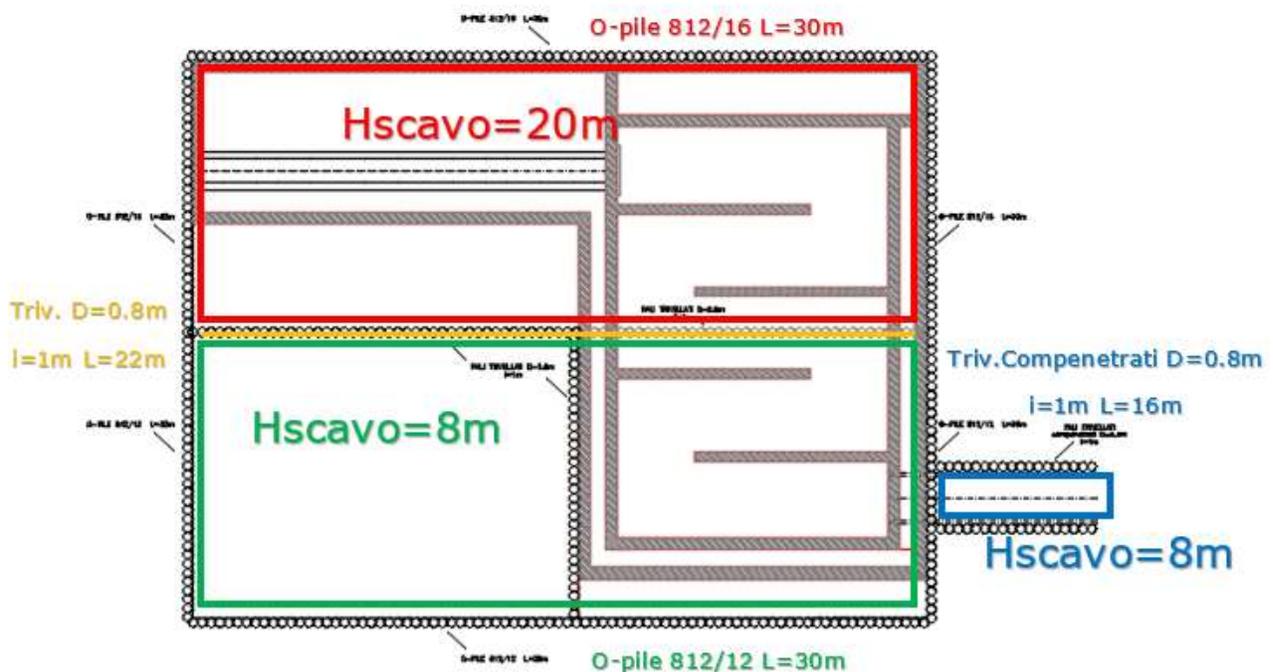
Puntoni interni d’angolo HEM600 + travi perimetrali HEM800

8 MANUFATTO SAN GIOVANNI REATINO

Nel presente capitolo vengono illustrate le verifiche geotecniche delle opere di sostegno necessarie per realizzare i pozzi di partenza per l’esecuzione delle gallerie Montevecchio e Zoccani e per la realizzazione del manufatto di disconnessione tra le due condotte.

Le opere consistono in uno scavo di dimensioni circa 65x50m sostenuto principalmente da O-Pile. Inoltre, il sostegno dello scavo per la realizzazione del tratto iniziale di condotta della galleria Zoccani verranno utilizzati pali trivellati. Di seguito si riportano le fasi di lavoro con relative caratteristiche dei pali:

1. Realizzazione O-Pile perimetrali 812/16mm L=30m per il sostegno
 - a. O-Pile 812/16mm L=30m per la porzione di scavo con 20m di altezza di scavo
 - b. O-Pile 812/12mm L=30m per la porzione di scavo con 8m di altezza di scavo
2. Scavo fino a -8m dal P.C.
3. Realizzazione Pali trivellati D=0.8m i=1m L=22m interni allo scavo per il sostegno della porzione con 20m di altezza di scavo
4. Scavo fino a -20m dal P.C. la porzione di pozzo propedeutica allo scavo della galleria Montevecchio
5. Realizzazione Pali trivellati compenetrati D=0.8m i=1m (riferito ai pali principali) L=16m
6. Scavo fino a -8m dal P.C. per la realizzazione del tratto iniziale di condotta della galleria Zoccani



8.1 Software utilizzati

Per il dimensionamento della lunghezza della paratia e degli elementi di vincolo quali tiranti, è stato utilizzato il software Midas GTS NX V.2.1.

Il software analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l'accento sull'aspetto dell'interazione "locale" fra parete e terreno.

Scopo preciso è quindi il calcolo delle azioni flettenti e taglianti e delle deformazioni laterali della parete di sostegno, e la valutazione di tutte quelle grandezze a queste connesse. Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione

FEM del reale: il programma fornisce una soluzione che permette di riprodurre abbastanza realisticamente l’effettivo comportamento dell’opera di sostegno.

La simulazione numerica è quella offerta dal metodo degli elementi finiti.

La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

- si analizza un problema piano (nel piano Y-Z)
- la parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali connessi al terreno previo l’utilizzo di un’interfaccia;
- il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso una modellazione FEM bidimensionale.
- i tiranti, sono schematizzati tramite elementi finiti BEAM convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM e nodi del terreno.

8.2 Legami costitutivi

Viene di seguito proposta, la caratterizzazione geologico – tecnica e sismica dei suoli di fondazione di riferimento per le verifiche progettuali. Per maggiori informazioni sui materiali di fondazione e a contatto con i manufatti, si rimanda alla relazione geologica.

Da 0,0 a circa -25 m dal p.c.- Alluvioni del Fosso Ariana:

- peso dell’unità di volume (γ) = 18 kN/m³;
- coesione (c') = 28.5 kPa;

- angolo di resistenza al taglio (φ') = 27°;
- modulo edometrico (Ed) = 10 MPa a pressione di riferimento 196kPa (derivante da prova edometrica di laboratorio).

Da -25 m dal p.c.- Calcari e calcari marnosi di colore bianco:

- peso dell’unità di volume (γ) = 25.8 kN/m³;
- coesione (c') = 283 kPa (derivante da caratterizzazione dell’ammasso roccioso);
- angolo di resistenza al taglio (φ') = 43° (derivante da caratterizzazione dell’ammasso roccioso);
- modulo di Young (Ey) = 1.203 GPa (derivante da caratterizzazione dell’ammasso roccioso);

Quota superficie di falda: piano campagna

Caratterizzazione sismica

- Categoria del suolo: C
- Categoria topografica: T1

8.2.1 Alluvioni del Fosso Ariana

Per descrivere in maniera appropriata il comportamento fortemente non lineare di questo litotipo si è utilizzato un legame costitutivo di tipo Isotropic Modified Mohr-Coulomb di cui si riportano le caratteristiche:

ID Name Color

Model Type Structure

General Porous Non-Linear Thermal

Elastic Modulus(E) kN/m² ...

Inc. of Elastic Modulus kN/m³

Inc. of Elastic Modulus Ref. Height m

Poisson's Ratio(ν)

Unit Weight(γ) kN/m³

Initial Stress Parameters

Ko Determination

Automatic
 Manual

Anisotropy ...

ID Name Color

Model Type Structure

General Porous Non-Linear Thermal

Secant Elastic modulus in Shear Hardening(Eg,p)	<input type="text" value="10000"/>	kN/m ²	
Tangential Stiffness Primary Oedometer Test Loading(Eoedref)	<input type="text" value="10000"/>	kN/m ²	
Elastic Modulus at Unloading(Eurref)	<input type="text" value="30000"/>	kN/m ²	
Failure Ratio(Rf)	<input type="text" value="0.9"/>		
Reference Pressure(Pref)	<input type="text" value="196"/>	kN/m ²	
Power of Stress Level Dependency	<input type="text" value="0.5"/>		
Porosity(n)	<input type="text" value="0.6"/>		
Friction Angle at shear(Φ)	<input type="text" value="27"/>	[deg]	...
K0nc	<input type="text" value="0.5460095"/>		
Ultimate Dilatancy Angle(Ψ)	<input type="text" value="5"/>	[deg]	
Cohesion(C)	<input type="text" value="28,5"/>	kN/m ²	...

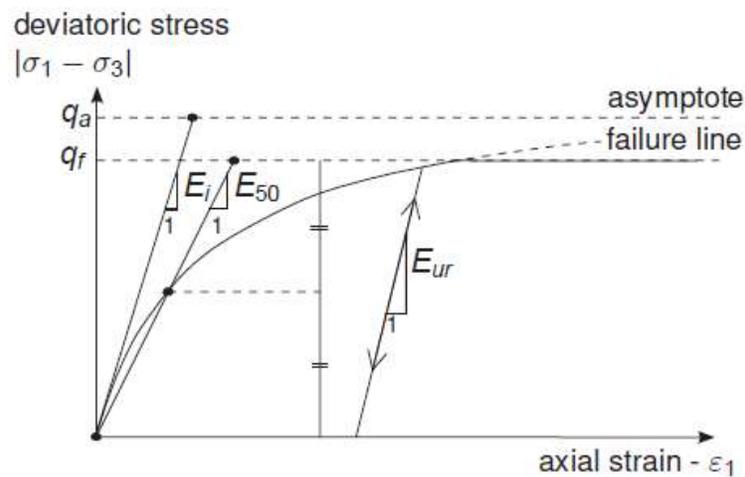


Figure 6.1 Hyperbolic stress-strain relation in primary loading for a standard drained triaxial test

8.2.2 Calcari e calcari marnosi di colore bianco

Per descrivere in maniera appropriata il comportamento di questo litotipo si è utilizzato un legame costitutivo di tipo Isotropic Mohr-Coulomb le cui caratteristiche sono state ricavate da una caratterizzazione dell'ammasso roccioso:

Dati di input

Caratteristiche fisiche Unità Geologico-Tecniche

$$\gamma = 25.8 \frac{kN}{m^3} \quad \text{Peso dell'unità di volume ammasso}$$

$$\sigma_c = 85.10 \text{ MPa} \quad \text{Resistenza a compressione monoassiale}$$

$$m_1 = 7 \quad \text{Costante fisica adimensionale}$$

$$GSI = 51 \quad \text{Geological Strength Index}$$

$$D = 1 \quad \text{Fattore di disturbo (Versanti, Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile con usi di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)}$$

$$H = 20 \text{ m} \quad \text{Copertura}$$

Applicazione = "Versanti" Gallerie o Versanti

Determinazione dei parametri di resistenza di ammasso

$$m_b = m_1 \cdot e^{\frac{GSI - 100}{28 - 14 \cdot D}} = 0.211$$

$$s_b = e^{\frac{GSI - 100}{9 - 3 \cdot D}} = 2.84 \cdot 10^{-4}$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{GSI}{15}} - e^{\frac{20}{3}} \right) = 0.505$$

$$\sigma_{cm} = \sigma_c \cdot \frac{(m_b + 4 \cdot s_b - a \cdot (m_b - 8 \cdot s_b)) \cdot \left(\frac{m_b}{4} + s_b \right)^{a-1}}{2 \cdot (1 + a) \cdot (2 + a)} = 5.148 \text{ MPa} \quad \text{resistenza globale dell'ammasso}$$

$$p_1 = \text{if}(\text{Applicazione} = \text{"Gallerie"}, 0.47, 0.72) = 0.72$$

$$p_2 = \text{if}(\text{Applicazione} = \text{"Gallerie"}, 0.94, 0.91) = 0.91$$

$$\sigma_{3,star} = p_1 \cdot \sigma_{cm} \cdot \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma \cdot H} \right)^{-p_2} = 0.457 \text{ MPa} \quad \text{massimo valore della tensione normale minima per gallerie}$$

$$\sigma_{3n} = \frac{\sigma_{1,star}}{\sigma_c} = 0.005$$

rapporto di tensioni

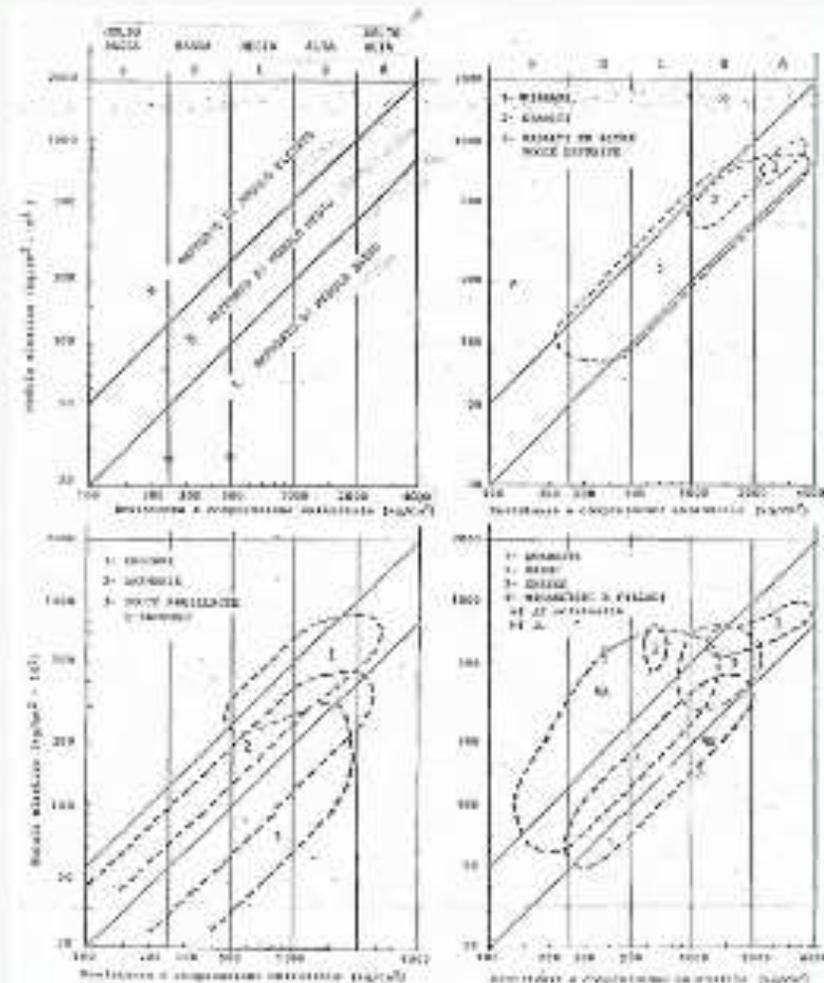
$$\phi = \arcsin \left(\frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s_b + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{2 \cdot (1+a) \cdot (2+a) + 6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s_b + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}} \right) = 43.261^\circ$$

angolo di
resistenza al taglio
equivalente

$$c = \frac{\sigma_c \cdot \left((1+2 \cdot a) \cdot s_b + (1-a) \cdot m_b \cdot \sigma_{3n} \right) \cdot (s_b + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a) \cdot (2+a) \cdot \sqrt{1 + \frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s_b + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a) \cdot (2+a)}}} = 0.283 \text{ MPa}$$

coesione
equivalente

Determinazione dei parametri di deformabilità di ammasso



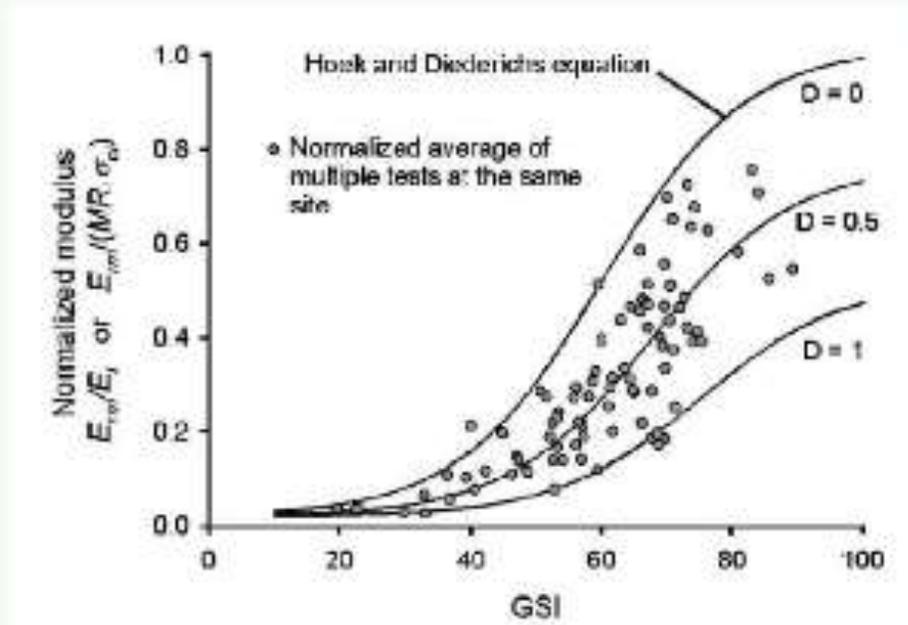
$$E_t = MR \cdot \sigma_c = 17.02 \text{ GPa} \quad \text{Modulo di Young tangente Ess}$$

$$E_1 = E_t \cdot \left(0.02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\frac{60 + 15 \cdot D - GSI}{11}}} \right) = 1.203 \text{ GPa} \quad \text{Modulo di Young ammasso roccioso}$$

In alternativa:

$$E_2 = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_c}{100} \cdot 10^{\frac{GSI - 10}{40}}} = 4.886$$

$$E_2 = E_2 \cdot \text{GPa} = 4.886 \text{ GPa} \quad \text{Modulo di Young ammasso roccioso (valida per } \sigma_c < 100 \text{ MPa)}$$



$$E_3 = 0.07 \cdot E_1 = 1.191 \text{ GPa} \quad \text{Modulo di Young ammasso roccioso}$$

$$E_{\text{mean}} = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{3} = 2.427 \text{ GPa} \quad \text{Modulo di Young ammasso roccioso medio}$$

Model Type **Mohr-Coulomb** Structure

General Porous Non-Linear Thermal Time Dependent

Elastic Modulus(E) kN/m² ...

Inc. of Elastic Modulus kN/m³

Inc. of Elastic Modulus Ref. Height m

Poisson's Ratio(ν)

Unit Weight(γ) kN/m³

Initial Stress Parameters

Ko Determination

Automatic
 Manual

Anisotropy 

Model Type **Mohr-Coulomb** Structure

General Porous Non-Linear Thermal Time Dependent

Cohesion(C) kN/m²

Inc. of Cohesion kN/m³

Inc. of Cohesion Ref. Height m

Frictional Angle(Φ) [deg]

Dilatancy Angle [deg]

Tension Cut-off

Tensile Strength kN/m²

Cut-off Yield Surface

Pressure Rankine

8.2.3 Interfaccia

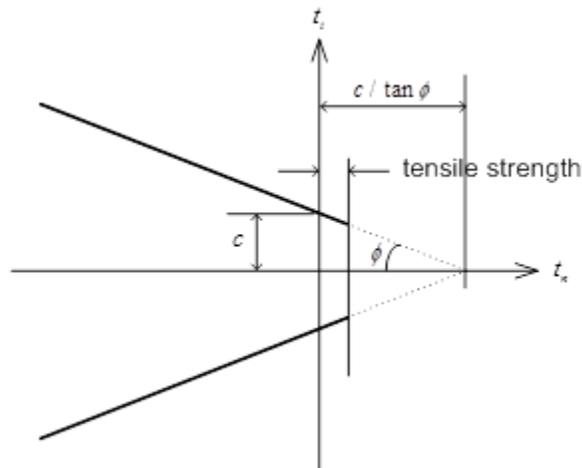
Il comportamento dell'interfaccia tra terreno e struttura si basa sulla legge di attrito di Coulomb (1785) e segue l'ipotesi che la forza di attrito di un'interfaccia sia proporzionale al coefficiente di attrito e alle forze confinanti perpendicolari alla direzione normale che agisce sull'interfaccia (ϕ_{int} , C_{int}). Inoltre tale interfaccia è collegata alla mesh del terreno attraverso molle (perpendicolari e trasversali alla faccia dell'elemento strutturale) di rigidità K_n e K_t . I valori di ϕ_{int} , C_{int} , K_n , K_t sono ricavati in funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno adiacente l'elemento strutturale attraverso i coefficienti R e t_v posti rispettivamente pari a 0.65 e 0.01 così come suggerito per un contatto tra acciaio e sabbia.

$$K_n = E_{oed,i} / t_v$$

$$K_t = G_i / t_v$$

$$C_i = R \times C_{soil}$$

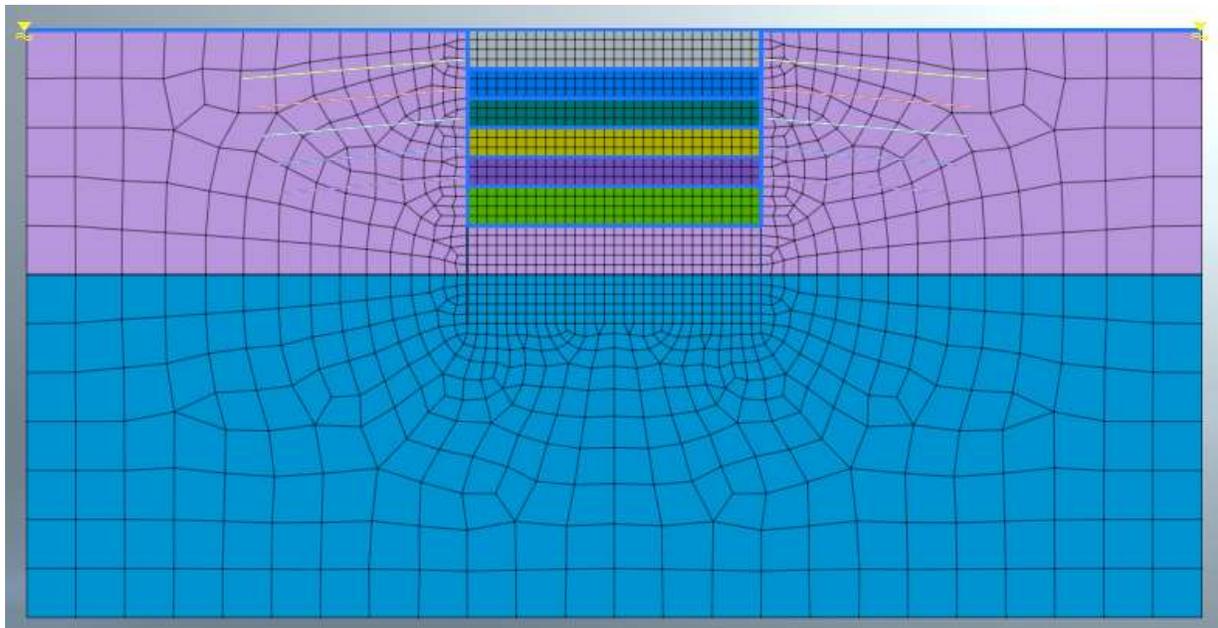
$$\phi_i = \tan^{-1} (R \times \tan(\phi_{soil}))$$



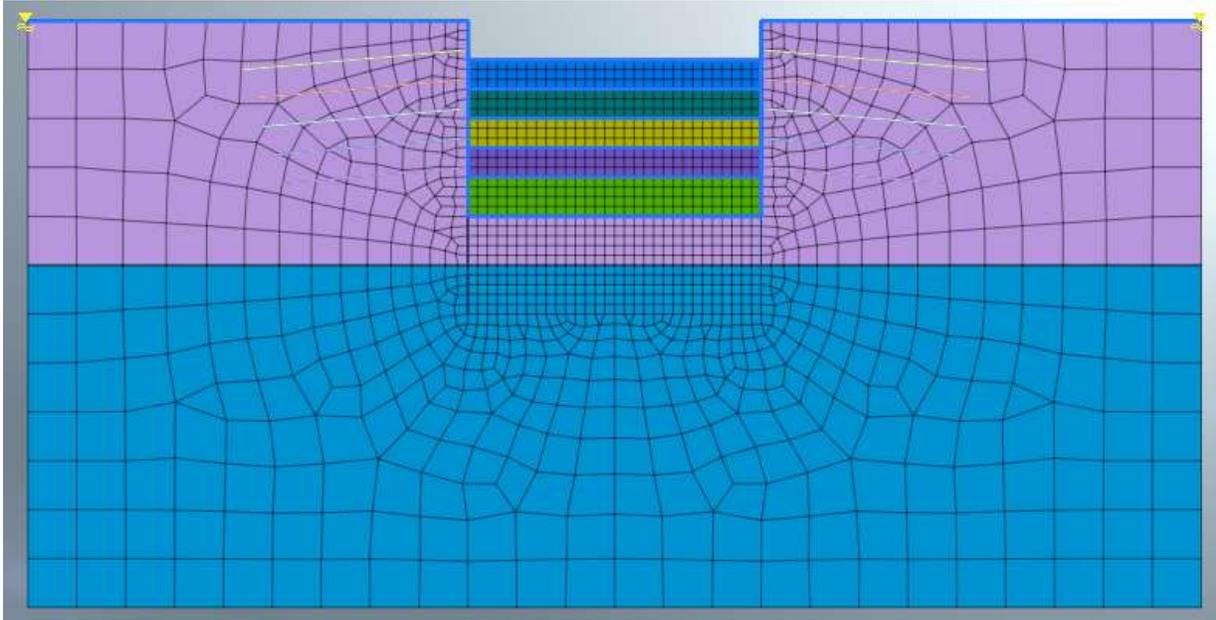
8.3 Verifica O-Pile perimetrali 812/16mm L=30m

8.3.1 Fasi di calcolo

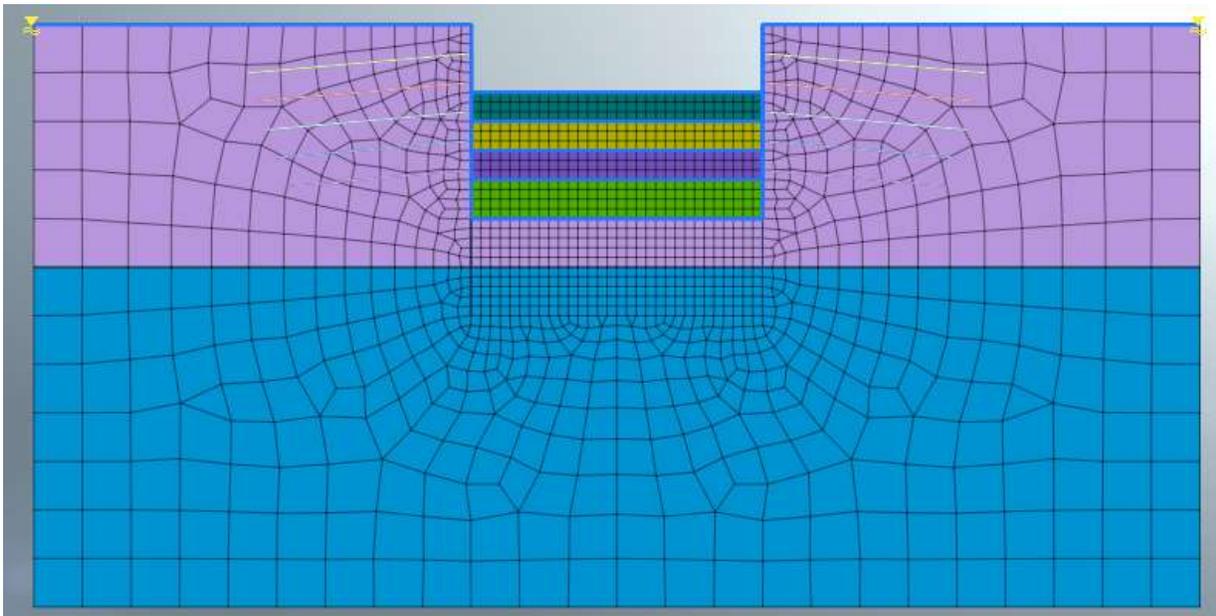
Fase Litostatica



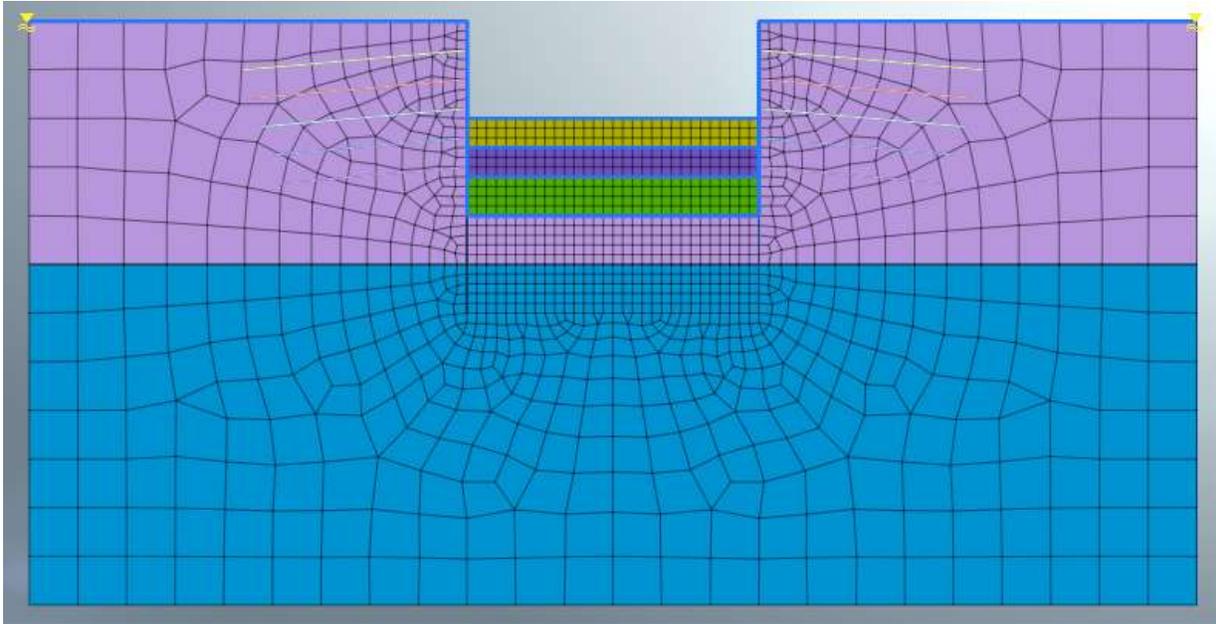
Stage 1 (Scavo 4m da p.c. + installazione primo ordine di tiranti)



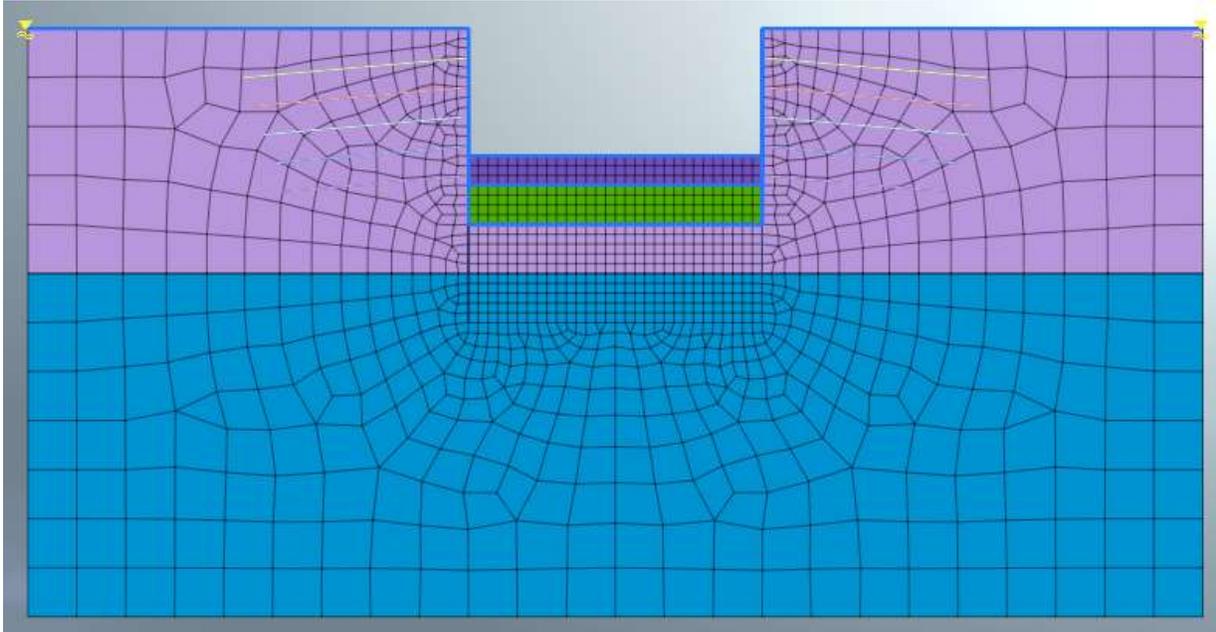
Stage 2 (Scavo 7m da p.c. + installazione secondo ordine di tiranti)



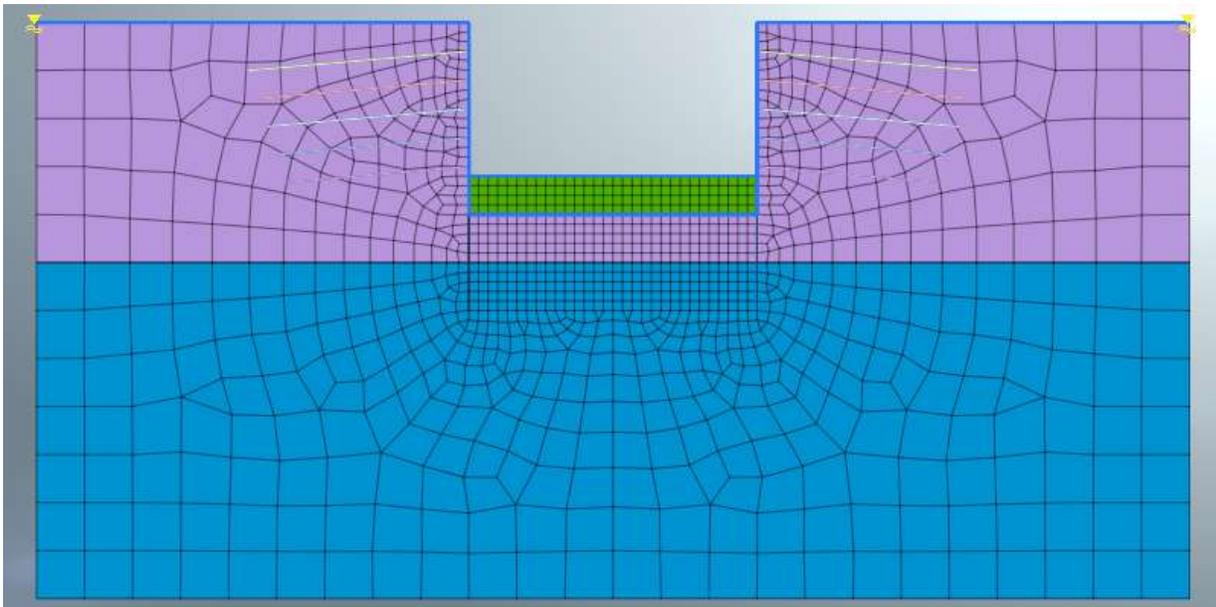
Stage 3 (Scavo 10m da p.c. + installazione terzo ordine di tiranti)



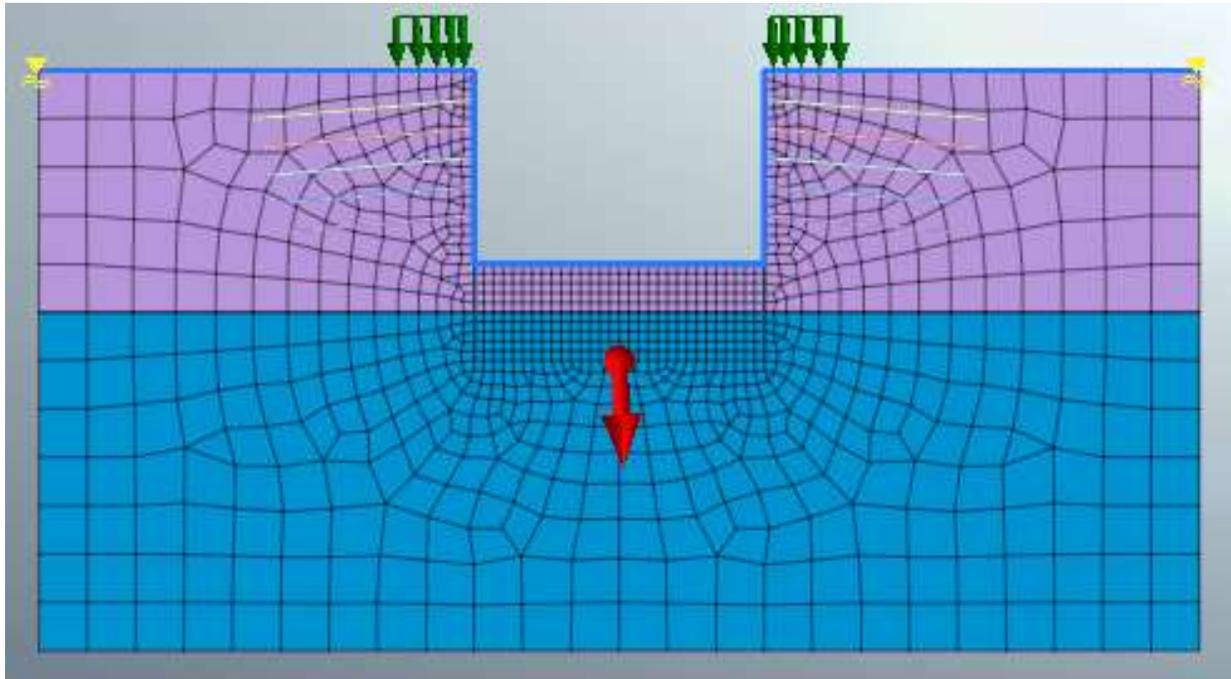
Stage 4 (Scavo 13m da p.c. + installazione quarto ordine di tiranti)



Stage 5 (Scavo 16m da p.c. + installazione quinto ordine di tiranti)



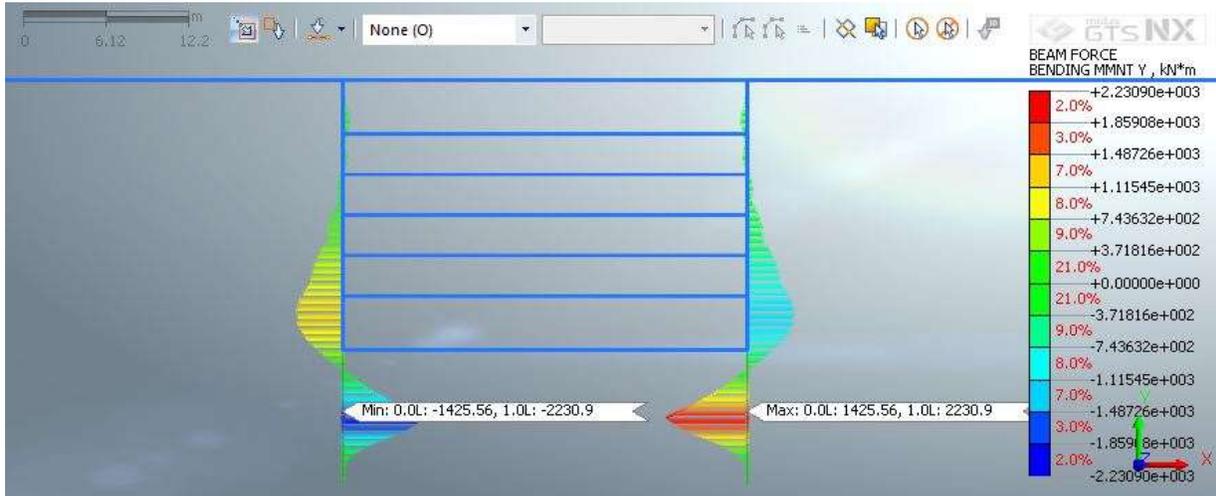
Final Stage (Scavo 20m da p.c.)



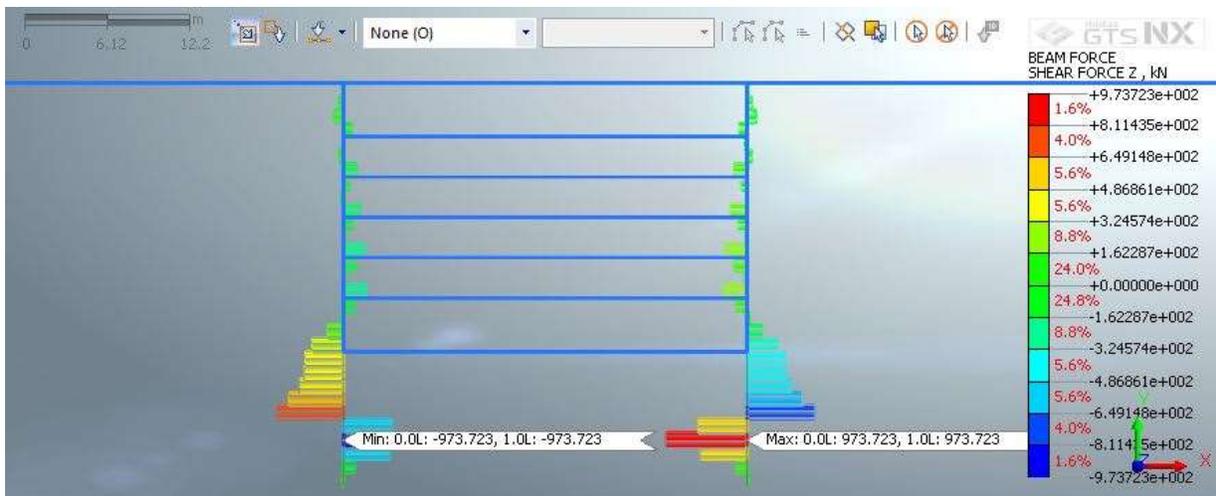
8.3.2 Risultati analisi

Di seguito si riporta la distribuzione del taglio e del momento flettente lungo la paratia e dello sforzo normale nei tiranti d’ancoraggio. Il sovraccarico accidentale è stato considerato pari a 20 kpa con impronta di carico pari a 5m a tergo della paratia.

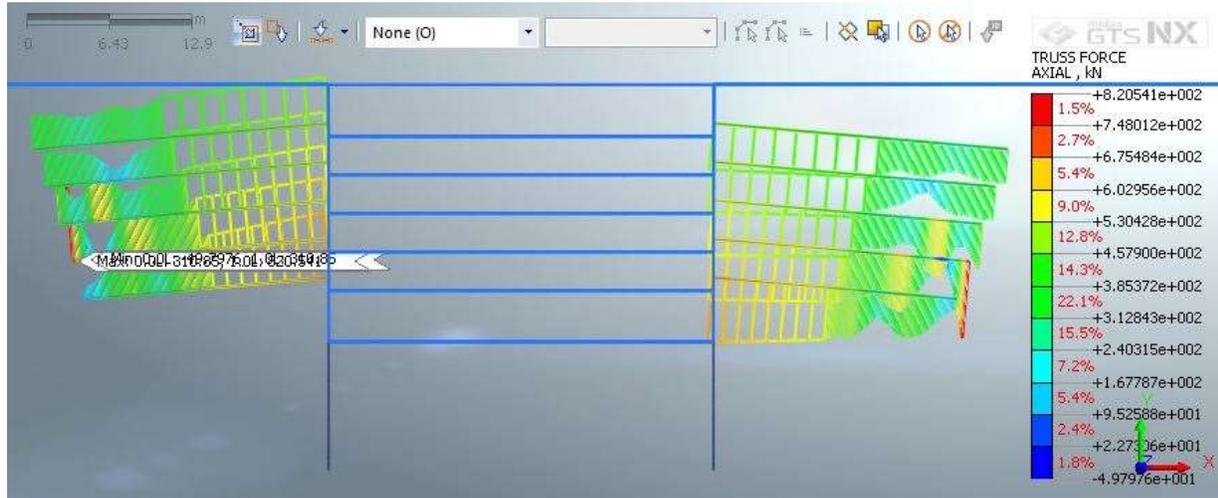
Momento Flettente ($M_{max}=2216*1.3+14+1.3=2901$ kNm)



Taglio ($T_{max} = 964 \cdot 1.3 + 9 \cdot 1.5 = 1266$ kN)



S.Assiale tiranti ($N_{max} = 365$ kN (trascurabile l’incremento dovuto a q))



8.3.3 Verifica SLU-STR paratia

Di seguito si riportano le verifiche strutturali (SLU-STR) della paratia condotte secondo A1+M1+R1.

Qualità acciaio:	UNI EN 10210 S 275 H	Diametro esterno	Spessore	Classe della sezione	Area sezione trasversale	Momento inerzia	Raggio giratore inerzia	Modulo resistente elastico	Modulo resistente plastico	massa per unità di lunghezza	Superf. per unità di lunghezza	Lunghezza per tonnellata
f_{yk}	275 [Mpa]	D	T	I	A	I	i	W _{el}	W _{pl}	M	As	L/1t
f_{tk}	490 [Mpa]	[mm]	[mm]		[cm ²]	[cm ⁴]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[kg/m]	[m ² /m]	[m]
		813.0	20.0		498.26	391909.33	28.05	9641.07	12579.65	891.13	2.55	2.56
Geometria sezione		Verifiche secondo NTC2018 - §4.2										
D =	813.0 [mm]	Verifica a trazione (4.2.4.1.2.1)			$N_{s,d}$	13049.58	$N_{s,d} / N_{yk}$					
t =	20.0 [mm]											
Lunghezza e vincoli asta		Verifica a compressione (4.2.4.1.2.2)			$N_{s,d}$	13049.58	$N_{s,d} / N_{yk}$	0.06	verifica soddisfatta			
L =	30.00 [m]											
β	1.00 [-]											
Sollecitazioni agenti		Verifica a flessione retta (4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6)			$M_{s,d}$	3294.67	$M_{s,d} / M_{yk}$	0.88	verifica soddisfatta			
$N_{s,d}$	-840.00 [kN]											
$V_{s,d}$	1266.00 [kN]	Verifica a taglio (4.2.4.1.2.4)			$V_{s,d}$	4796.41	$V_{s,d} / V_{yk}$	0.26	verifica soddisfatta			
$M_{s,d}$	2901.00 [kNm]	Verifica a presso/tenso-flessione retta (4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.9)			Sez. Classe 1-2 $M_{s,d}$	3294.67	$M_{s,d} / M_{yk}$	0.88	verifica soddisfatta			
ψ	0.00 [kNm]				Sez. Classe 3 [$\sigma_{s,d}$]		f_{yk}					
		Verifica stabilità membrature compresse (4.2.4.1.3.1)			$N_{s,d}$	6655.99	$N_{s,d} / N_{yk}$	0.13	verifica soddisfatta			
		Verifica stabilità membrature presso-inflesse (4.2.4.1.3.3)			$\frac{N_{s,d} \cdot \gamma_{M0}}{\gamma_{M0} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{s,d,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{s,d}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{s,d,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_{yk} \cdot W_x \cdot \left(1 - \frac{N_{s,d}}{N_{cr,x}}\right)} = 0.85$			verifica soddisfatta				

8.3.4 Verifica SLU-STR tiranti d’ancoraggio

Di seguito si riporta un prospetto riepilogativo dei tiranti d’ancoraggio e la relativa verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio più sollecitato

O-PILE L=30m										
ORDINE	Quota da P.C.	DIAMETRO (mm2)	n° Trefoli	L passiva(m)	L attiva(m)	E (kPa)	L'(m)	i (m)	K(kN/m/m)	inc
1	-3	140	5	13	10	210000000	18	1.6	5104.17	5°
2	-6	140	5	12	10	210000000	17	1.6	5404.41	5°
3	-9	140	5	11	10	210000000	16	1.6	5742.19	5°
4	-12	140	5	10	10	210000000	15	1.6	6125.00	5°
5	-15	140	5	9	10	210000000	14	1.6	6562.50	5°

TIRANTI DI ANCORAGGIO

LAVORO: Piana Delle Molette

DATI DI INPUT:

Terreno: ALL (Fosso Ariana)

Tirante tipo: Bulbo iniettato

Diametro trefolo: $d_{tre} =$ 15.24 (mm)

Numero trefoli: $n =$ 5

Area singolo trefolo A_t : 140 (mm²)

Area complessiva dell'acciaio ($A = n \cdot A_t$): 700 (mm²)

Diametro equivalente dei trefoli $Deq = (A \cdot 4/\pi)^{0.5}$ $Deq =$ 29.85 (mm)

Tensione caratteristica di rottura dell'acciaio (f_{pk}) 1860 (Mpa)

Tensione caratt. all'1% di deformazione dell'acciaio ($f_{p(1)k}$) 1670 (Mpa)

coefficienti parziali		Azioni		Terreno
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ_a
		γ_G	γ_Q	
Stato limite ultimo permanenti	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.20
Stato limite ultimo temporanei	<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.30	1.10
Tensioni ammissibili (permanenti)	<input type="radio"/>	1.00	1.00	2.50
Tensioni ammissibili (temporanei)	<input type="radio"/>	1.00	1.00	2.00
definiti dal progettista	<input type="radio"/>	1.10	1.20	1.30

n	1	2	3	4	≥ 5	T.A.	altro
	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
ξ_3	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60	1.00	1.27
ξ_4	1.80	1.70	1.65	1.60	1.55	1.00	1.12

N_G Azione permanente sul tirante: 365 kN

N_Q Azione variabile sul tirante: 0 kN

N_t Azione di calcolo ($N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$): 365 kN

Aderenza Malta - Terreno $L = Nt / (Ds \cdot p \cdot s_d)$

D (cm) Diametro della perforazione =	150	(mm)
α (-) Coeff. moltiplicativo =	1.4	
Ds (cm) Diametro di calcolo ($Ds = \alpha \cdot D$) =	210	(mm)
s_k (MPa) tensione unitaria media di aderenza malta - terreno =	0.18	(Mpa)
s_d (MPa) tensione unitaria di progetto aderenza malta - terreno =	0.09	(Mpa)
	L =	6.09 (m)

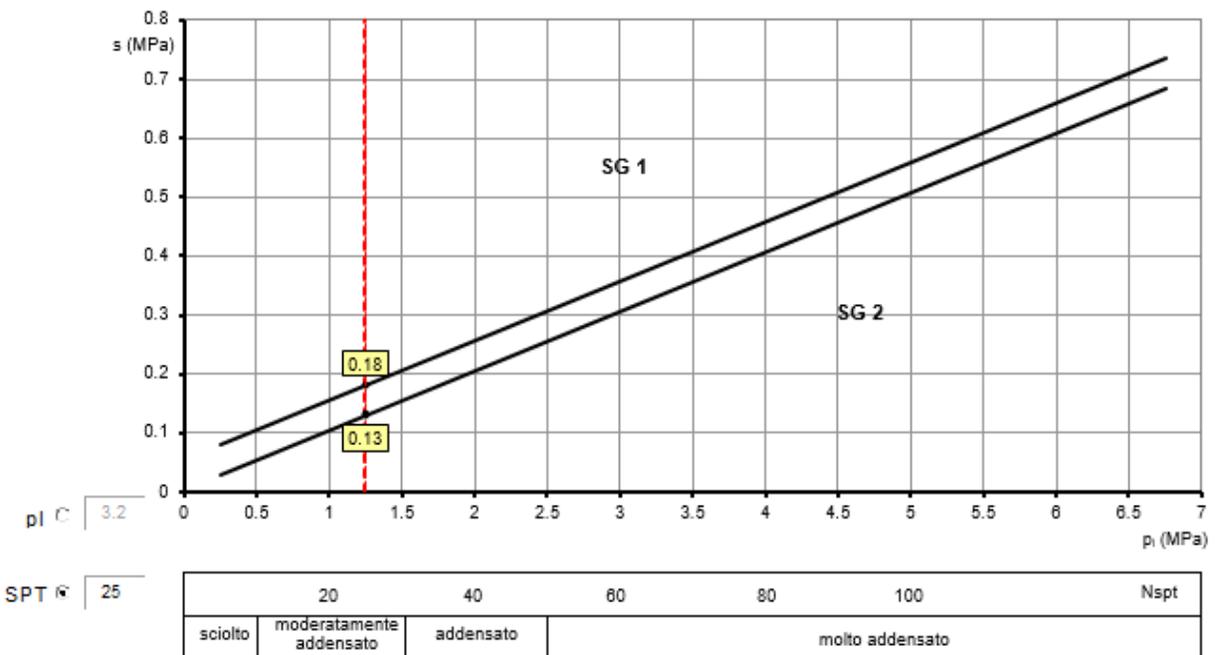
In cui s_k è ricavata dagli abachi di Bustamante e Doix per un numero di colpi (Nspt) pari 25 mentre per alfa si è posto un valore di 1.4 indicativa di un iniezione ripetuta e selettiva per sabbie limose.



Valori del coefficiente α ($V_s = L_s \cdot \pi \cdot d_s^2 / 4$)

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 V_s	1.5 V_s
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 V_s	1.5 V_s
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 V_s	1.5 V_s
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 V_s	1.5 V_s
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 V_s	1.5 V_s
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 V_s	1.5 V_s
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) V_s	1.5 V_s
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 V_s	1.5 V_s
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) V_s	(1.5 - 2) V_s
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) V_s per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) V_s o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) V_s per strati poco fratturati; 2 V_s o più per strati fratturati	

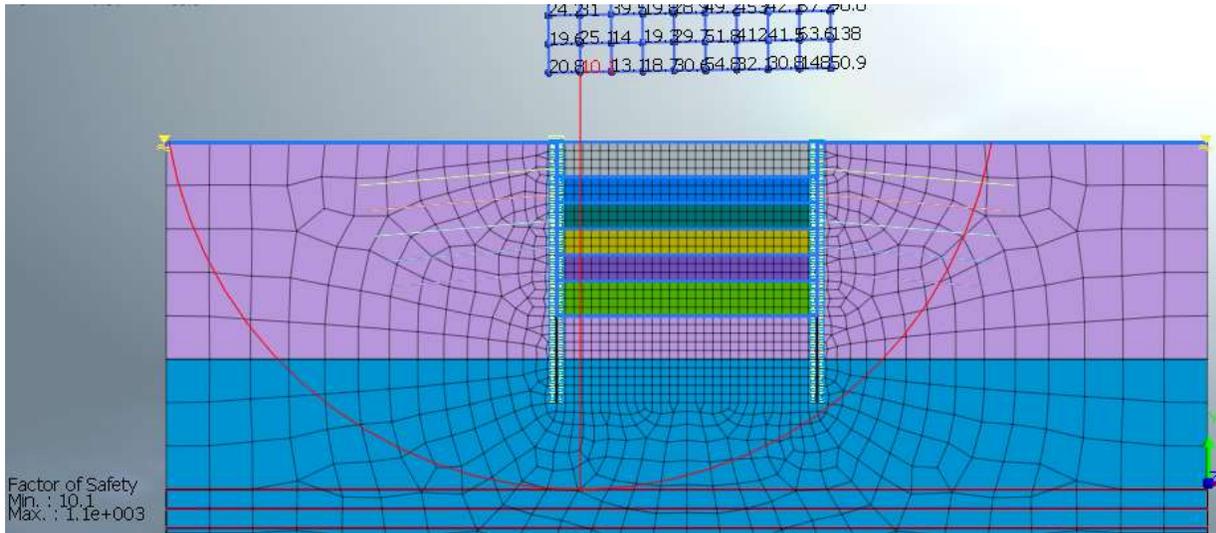
Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie



La lunghezza utilizzata è 10m dunque la verifica risulta soddisfatta.

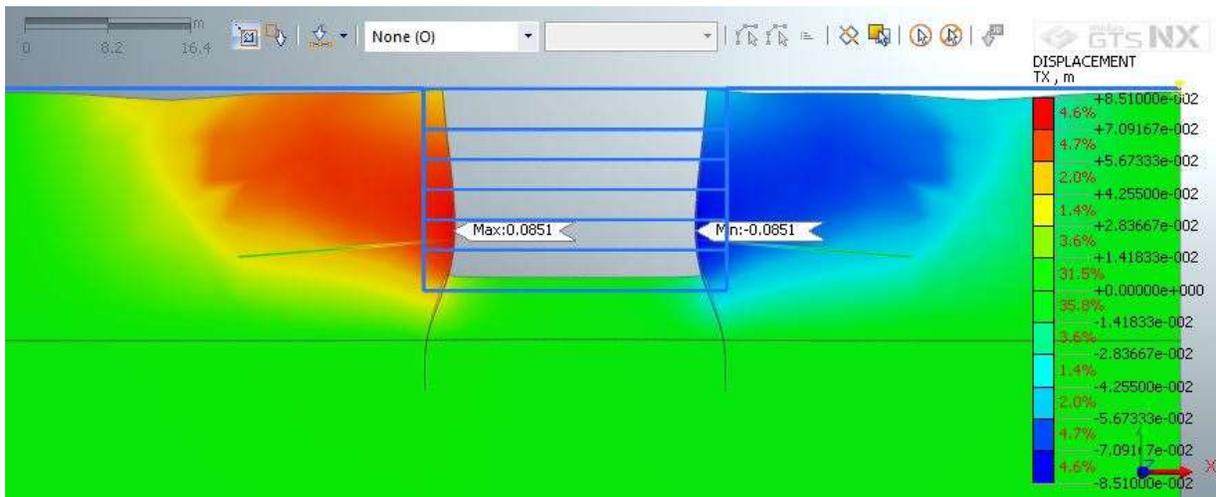
8.3.5 Verifica a stabilità globale

Nella seguente figura si mostra la superficie critica di scivolamento per la verifica alla stabilità globale. Il coefficiente di sicurezza, pari a $FS = 10.1$ è valutato secondo la combinazione A2+M2+R2 ed è superiore al minimo di normativa. La verifica è pertanto soddisfatta.



8.3.6 Verifica degli spostamenti

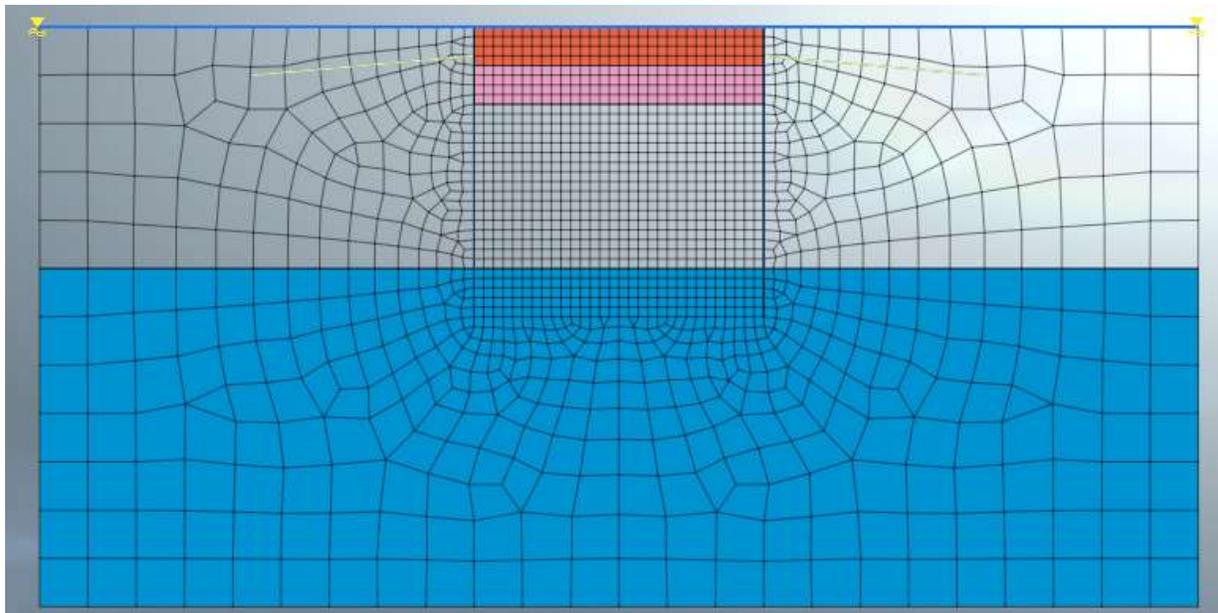
Si riporta nel seguito la deformata in condizioni SLE dell’opera. Come si nota gli spostamenti massimi sono pari a circa 8.5 cm, contenuti entro il limite di 10 cm e sono pertanto ritenuti accettabili.



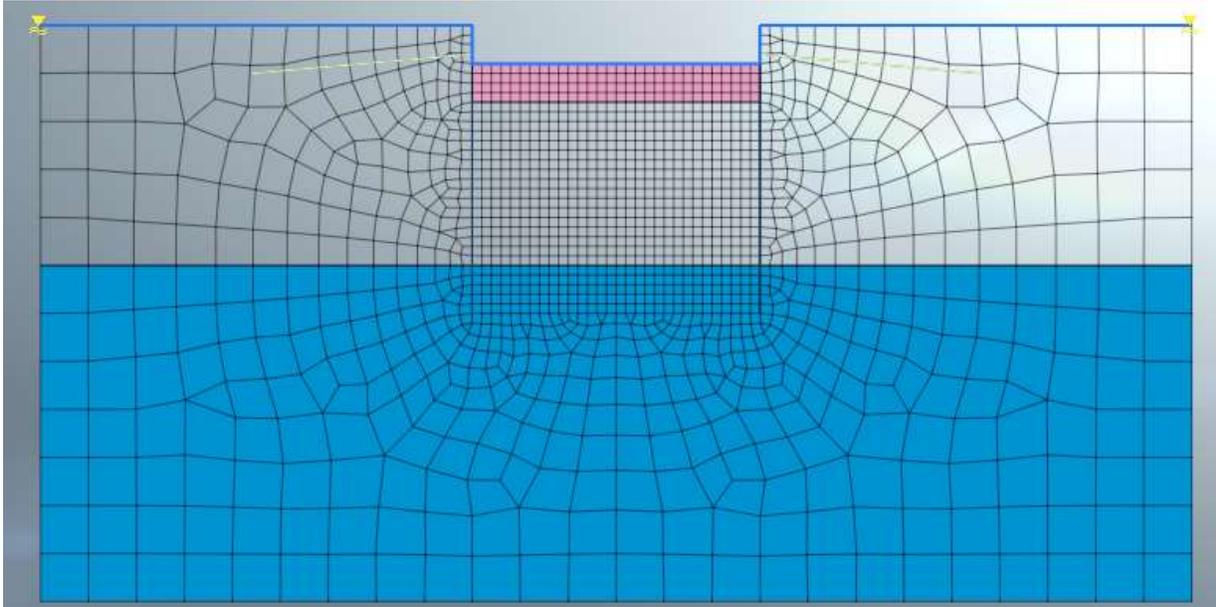
8.4 Verifica O-Pile perimetrali 812/12mm L=30m

8.4.1 Fasi di calcolo

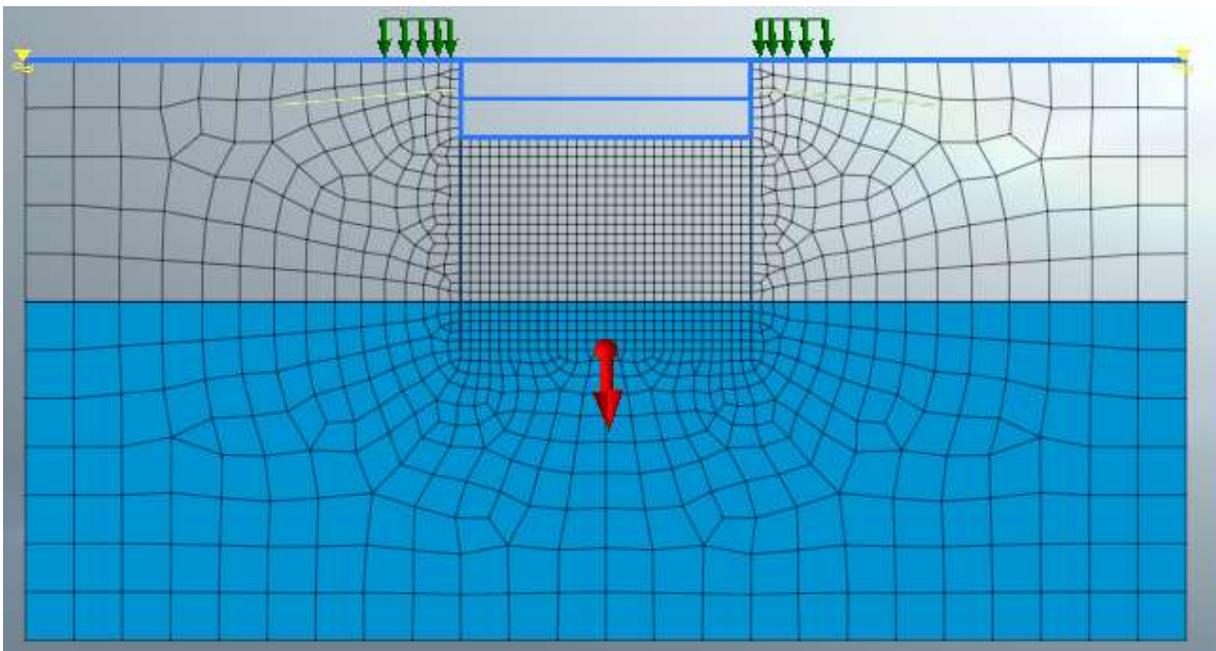
Fase Litostatica



Stage 1 (Scavo 4m da p.c. + installazione primo ordine di tiranti)



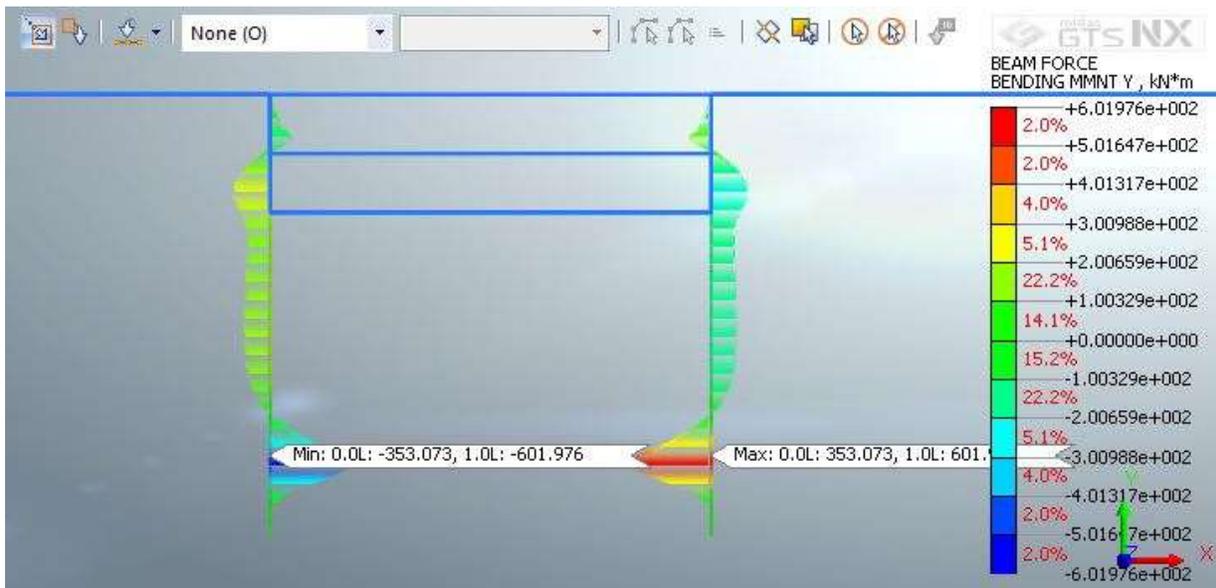
Final Stage (Scavo 8m da p.c.)



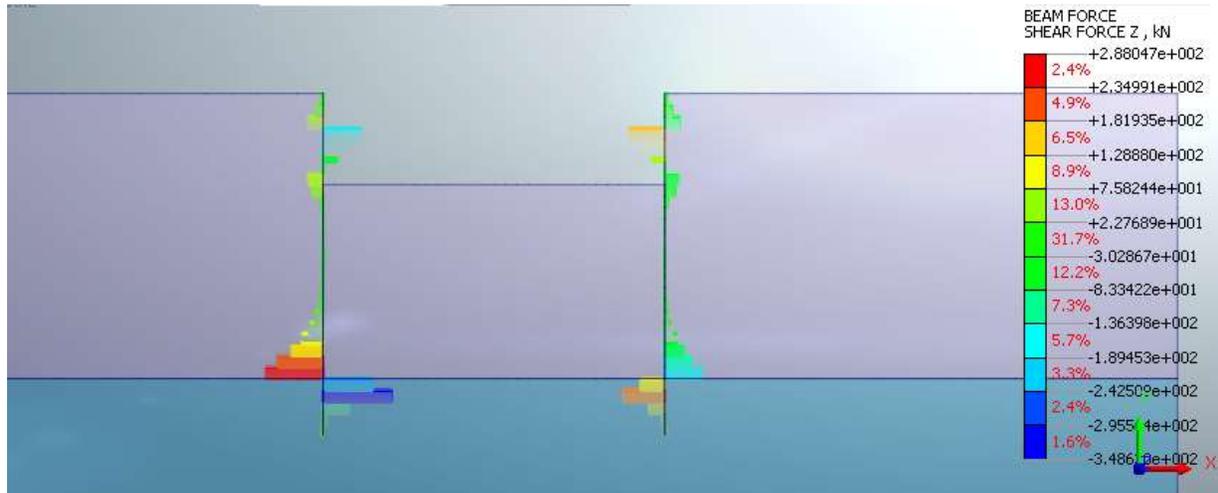
8.4.2 Risultati analisi

Di seguito si riporta la distribuzione del taglio e del momento flettente lungo la paratia e dello sforzo normale nei tiranti d’ancoraggio. Il sovraccarico accidentale è stato considerato pari a 20 kpa con impronta di carico pari a 5m a tergo della paratia.

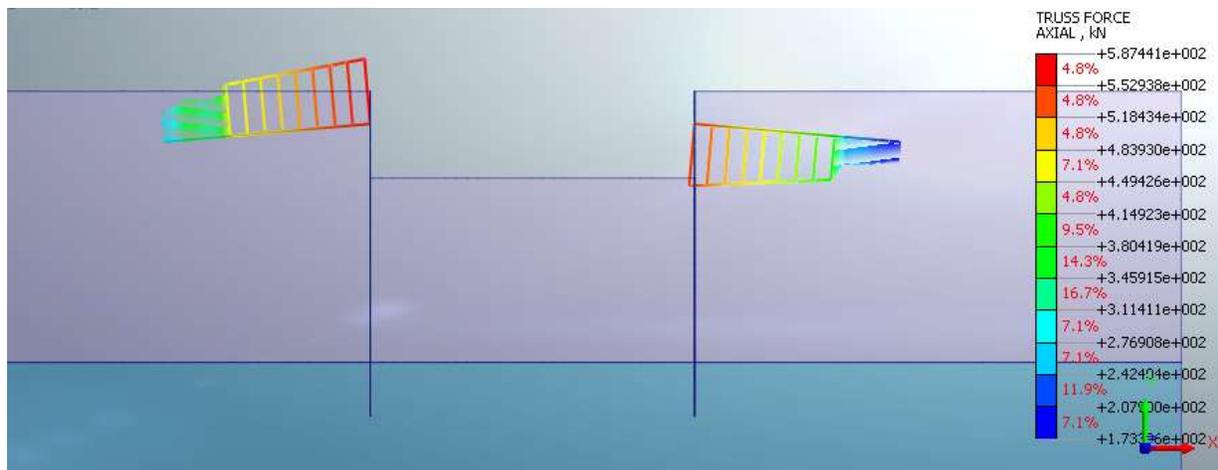
Mom. Flettente ($M_{max}=601 \cdot 1.3=781$ kNm (trascurabile l’incremento dovuto a q))



Taglio ($T_{max}=284 \cdot 1.3=369$ kN (trascurabile l’incremento dovuto a q))



S.Assiale tiranti (Nmax=475kN (trascurabile l’incremento dovuto a q))



8.4.3 Verifica SLU-STR paratia

Di seguito si riportano le verifiche strutturali (SLU-STR) della paratia condotte secondo A1+M1+R1.

VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITA' PER PROFILI CAVI A SEZIONE CIRCOLARE														
Dati INPUT				Dati OUTPUT										
Caratteristiche acciaio				Dati geometrici										
Qualità acciaio:	UNI EN 10210			Diametro esterno	Spessore	Classe della sezione	Area sezione trasversale	Momento inerzia	Raggio giratore inerzia	Modulo resistente elastico	Modulo resistente plastico	massa per unità di lunghezza	Superf. per unità di lunghezza	Lunghezza per tonnellata
	S 275 H			D	T	3	A	I	i	W _{el}	W _{pl}	M	A _x	U _t
f _{yk} =	275	[Mpa]		[mm]	[mm]		[cm ²]	[cm ⁴]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[kg/m]	[m ² /m]	[m]
f _{tk} =	430	[Mpa]		813.0	12.0		301.97	242234.58	28.32	5959.03	7699.79	237.05	2.95	4.22
Geometria sezione				Verifiche secondo NTC2018 - §4.2										
D =	813.0	[mm]		Verifica a trazione (4.2.4.1.2.1)			N _{td,td} =	7908.74	N _{td} / N _{td,td} =					
t =	12.0	[mm]		Verifica a compressione (4.2.4.1.2.2)			N _{td,cd} =	-7908.74	N _{td} / N _{td,cd} =		0.02		verifica soddisfatta	
Lunghezza e vincoli asta				Verifica a flessione retta (4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6)			M _{td,td} =	1560.70	M _{td,td} / M _{td,td} =		0.51		verifica soddisfatta	
L =	30.00	[m]		Verifica a taglio (4.2.4.1.2.4)			V _{td,td} =	2906.88	V _{td} / V _{td,td} =		0.14		verifica soddisfatta	
B =	1.00	[-]		Verifica a presso/tenso-flessione retta (4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.9)			M _{td,td} =		M _{td} / M _{td,td} =					
Sollecitazioni agenti				Verifica stabilità membratura compresse (4.2.4.1.3.1)			N _{td,td} =	4092.38	N _{td} / N _{td,td} =		0.04		verifica soddisfatta	
N _{td} =	-177.00	[kN]		Verifica stabilità membrature presso-inflesse (4.2.4.1.3.3)			$\frac{N_{td} \cdot T_{td}}{T_{td} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{td,td} \cdot T_{td}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{td}}{N_{td,td}}\right)} + \frac{M_{td,td} \cdot T_{td}}{f_{yk} \cdot W_x \cdot \left(1 - \frac{N_{td}}{N_{td,td}}\right)} =$		0.43			verifica soddisfatta		
V _{td} =	397.00	[kN]												
M _{td,td} =	789.00	[kNm]												
ψ =	0.00	[kNm]												

8.4.4 Verifica SLU-STR tiranti d'ancoraggio

Di seguito si riporta un prospetto riepilogativo dei tiranti d'ancoraggio e la relativa verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio più sollecitato

O-PILE L=30m											
ORDINE	Quota da P.C.	DIAMETRO (mm2)	n° Trefoli	L passiva(m)	L attiva(m)	E (kPa)	L'(m)	i (m)	K(kN/m/m)	inc	
1	-3	140	5	13	10	21000000	18	1.6	5104.17	5°	

TIRANTI DI ANCORAGGIO

LAVORO: Piana Delle Molette

DATI DI INPUT:

Terreno:	ALL (Fosso Ariana)		
Tirante tipo:	Bulbo iniettato		
Diametro trefolo:	$d_{tre} =$	15.24	(mm)
Numero trefoli:	$n =$	5	
Area singolo trefolo A_t :		140	(mm ²)
Area complessiva dell'acciaio ($A = n \cdot A_t$):		700	(mm ²)
Diametro equivalente dei trefoli $Deq = (A \cdot 4/\pi)^{0.5}$	$Deq =$	29.85	(mm)
Tensione caratteristica di rottura dell'acciaio (f_{ptk})		1860	(Mpa)
Tensione caratt. all'1% di deformazione dell'acciaio ($f_{p(1,k)}$)		1670	(Mpa)

coefficienti parziali		Azioni		Terreno
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ_s
		γ_G	γ_Q	
Stato limite ultimo permanenti	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.20
Stato limite ultimo temporanei	<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.30	1.10
Tensioni ammissibili (permanenti)	<input type="radio"/>	1.00	1.00	2.50
Tensioni ammissibili (temporanei)	<input type="radio"/>	1.00	1.00	2.00
definiti dal progettista	<input type="radio"/>	1.10	1.20	1.30

n	1	2	3	4	≥ 5	T.A.	altro
	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>				
ξ_3	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60	1.00	1.27
ξ_4	1.80	1.70	1.65	1.60	1.55	1.00	1.12

N_G Azione permanente sul tirante: 475 kN

N_Q Azione variabile sul tirante: 0 kN

N_t Azione di calcolo ($N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$): 475 kN

Aderenza Malta -Terreno $L = Nt / (Ds \cdot p \cdot s_d)$

D (cm) Diametro della perforazione =	150	(mm)
α (-) Coeff. moltiplicativo =	1.4	
Ds (cm) Diametro di calcolo ($Ds = \alpha \cdot D$) =	210	(mm)
s_k (MPa) tensione unitaria media di aderenza malta - terreno =	0.18	(Mpa)
s_d (MPa) tensione unitaria di progetto aderenza malta - terreno =	0.09	(Mpa)
	L =	7.70 (m)

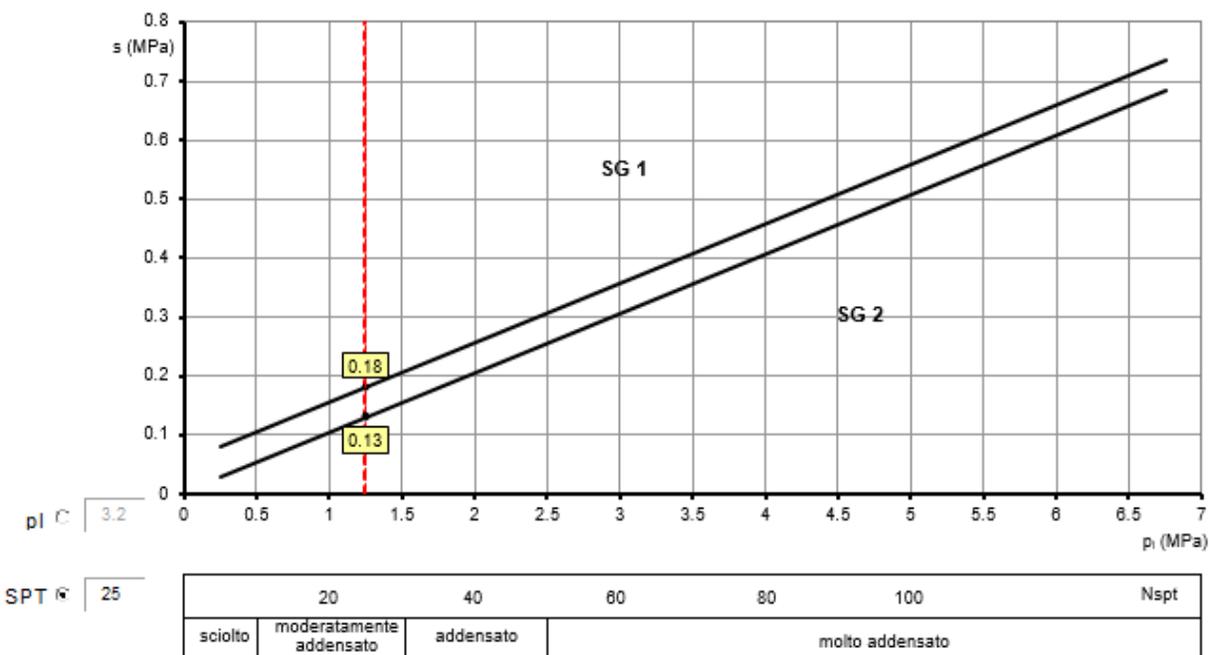
In cui s_k è ricavata dagli abachi di Bustamante e Doix per un numero di colpi (N_{spt}) pari 25 mentre per alfa si è posto un valore di 1.4 indicativa di un iniezione ripetuta e selettiva per sabbie limose.



Valori del coefficiente α ($V_s = L_s \cdot \pi \cdot d_s^2 / 4$)

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 Vs	1.5 Vs
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 Vs	1.5 Vs
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs	1.5 Vs
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 Vs	1.5 Vs
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) Vs	(1.5 - 2) Vs
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) Vs per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) Vs o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) Vs per strati poco fratturati; 2 Vs o più per strati fratturati	

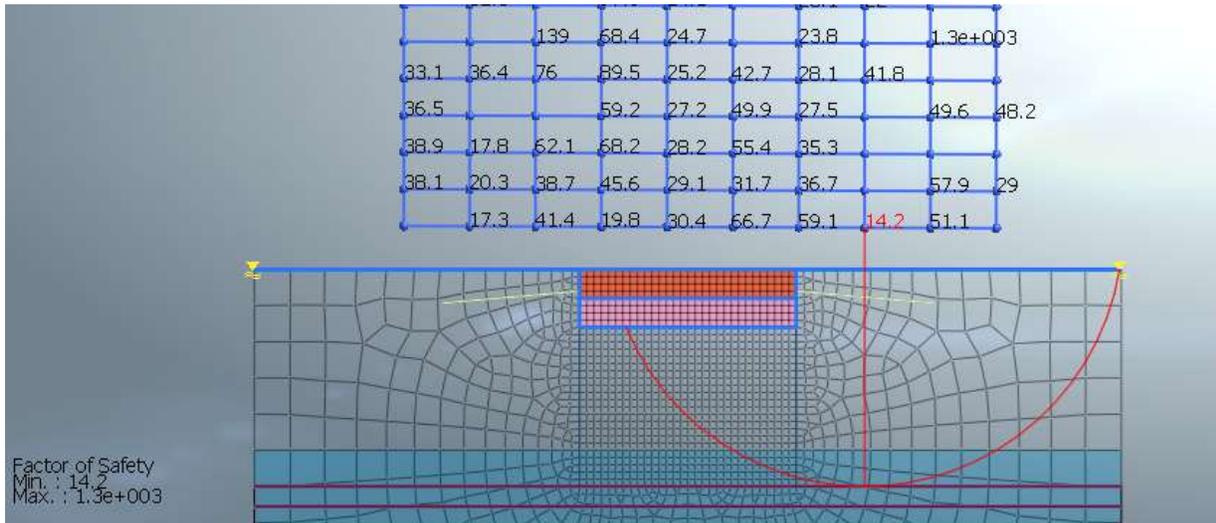
Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie



La lunghezza utilizzata è 10m dunque la verifica risulta soddisfatta.

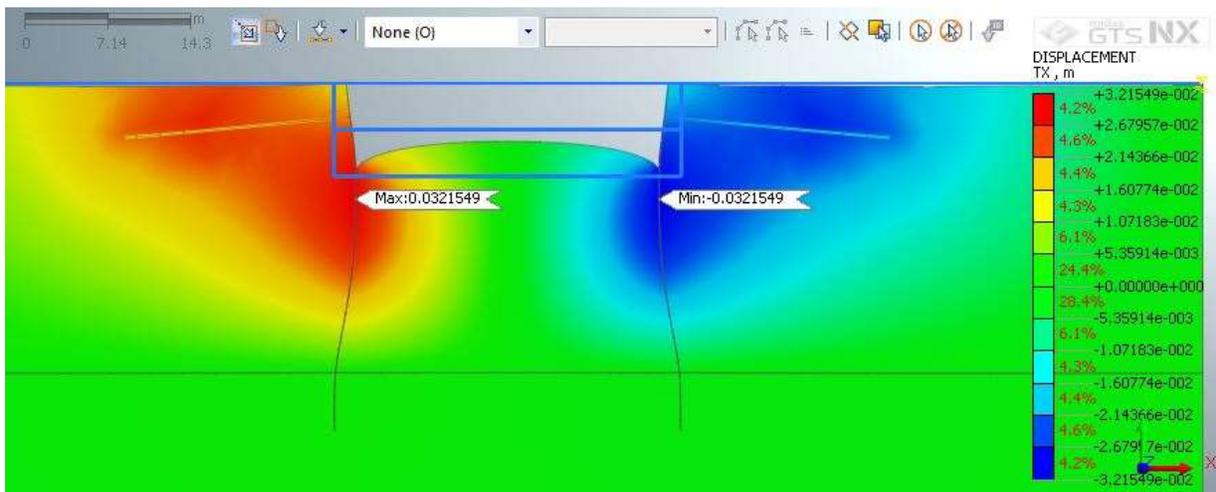
8.4.5 Verifica a stabilità globale

Nella seguente figura si mostra la superficie critica di scivolamento per la verifica alla stabilità globale. Il coefficiente di sicurezza, pari a $FS = 14.2$ è valutato secondo la combinazione A2+M2+R2 ed è superiore al minimo di normativa. La verifica è pertanto soddisfatta.



8.4.6 Verifica degli spostamenti

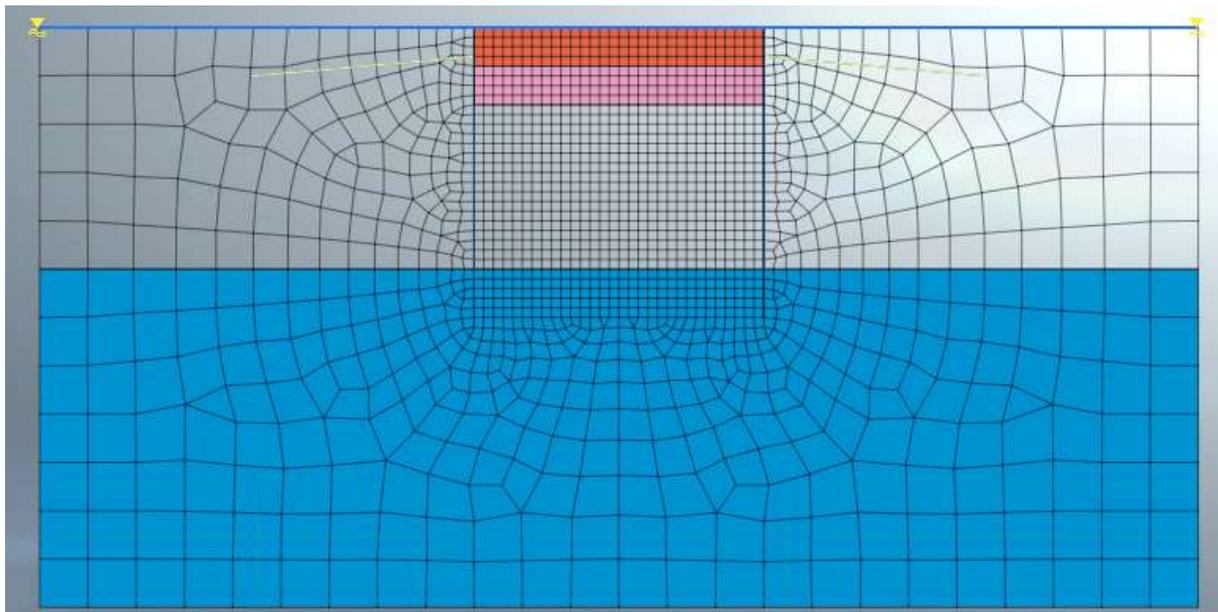
Si riporta nel seguito la deformata in condizioni SLE dell’opera. Come si nota gli spostamenti massimi sono pari a circa 3.2 cm, contenuti entro il limite di 10 cm e sono pertanto ritenuti accettabili.



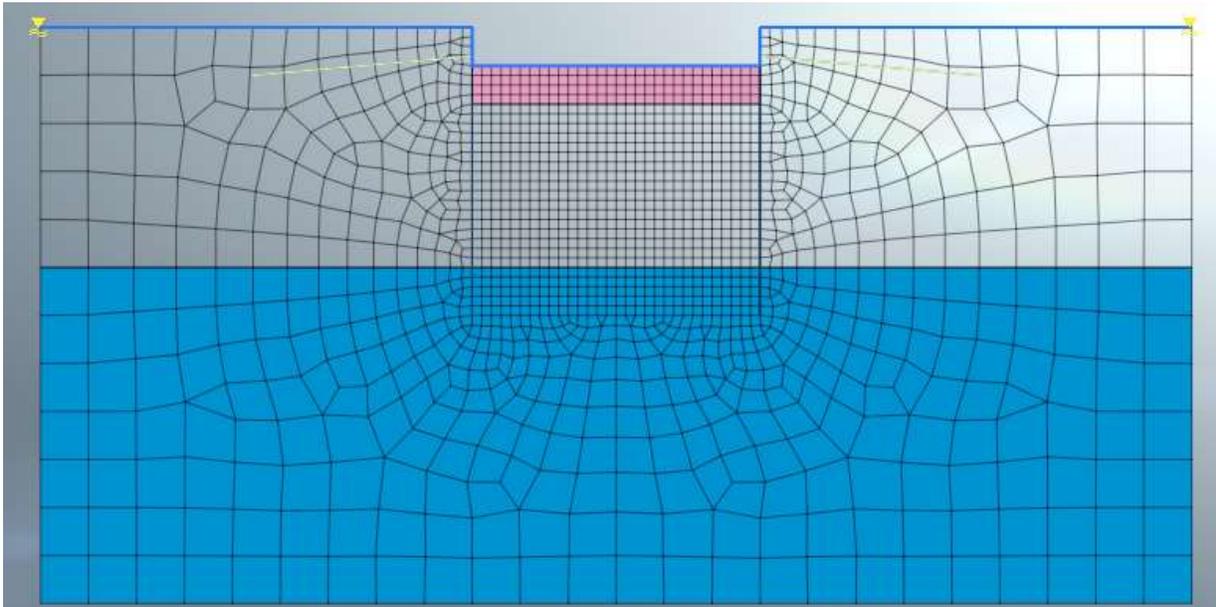
8.5 Verifica Pali trivellati D=0.8m i=1m L=22m interni allo scavo

8.5.1 Fasi di calcolo

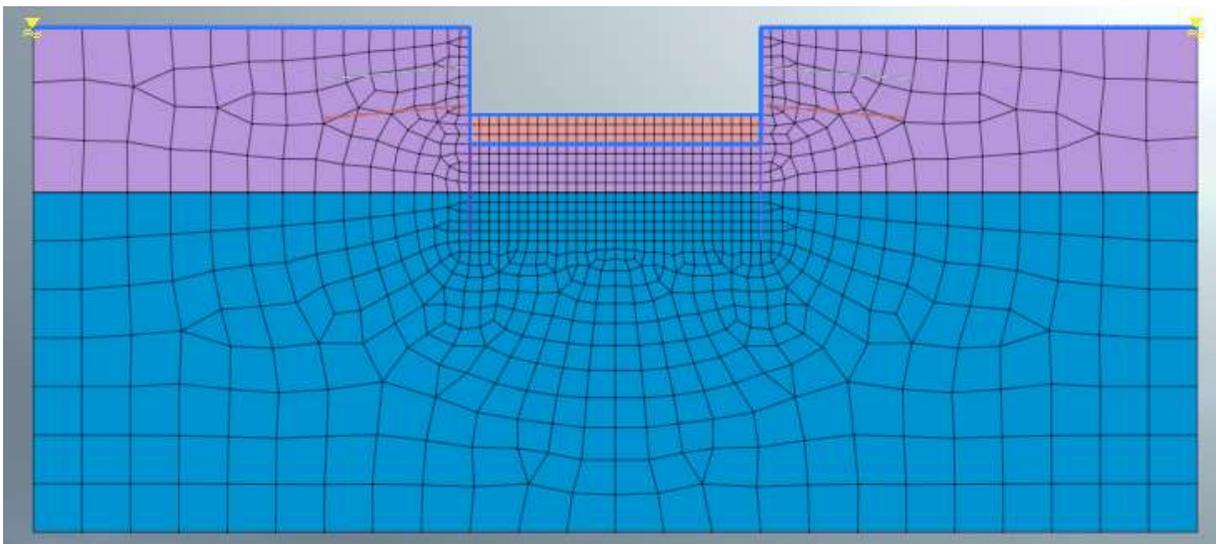
Fase Litostatica



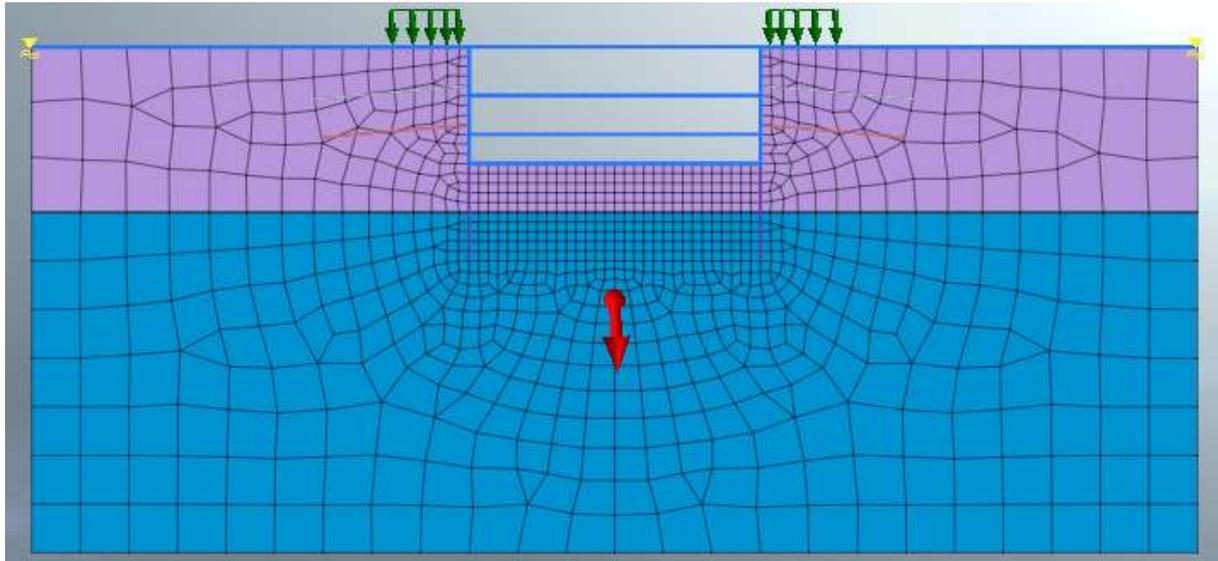
Stage 1 (Scavo 5m da p.c. + installazione primo ordine di tiranti)



Stage 2 (Scavo 9m da p.c. + installazione secondo ordine di tiranti)



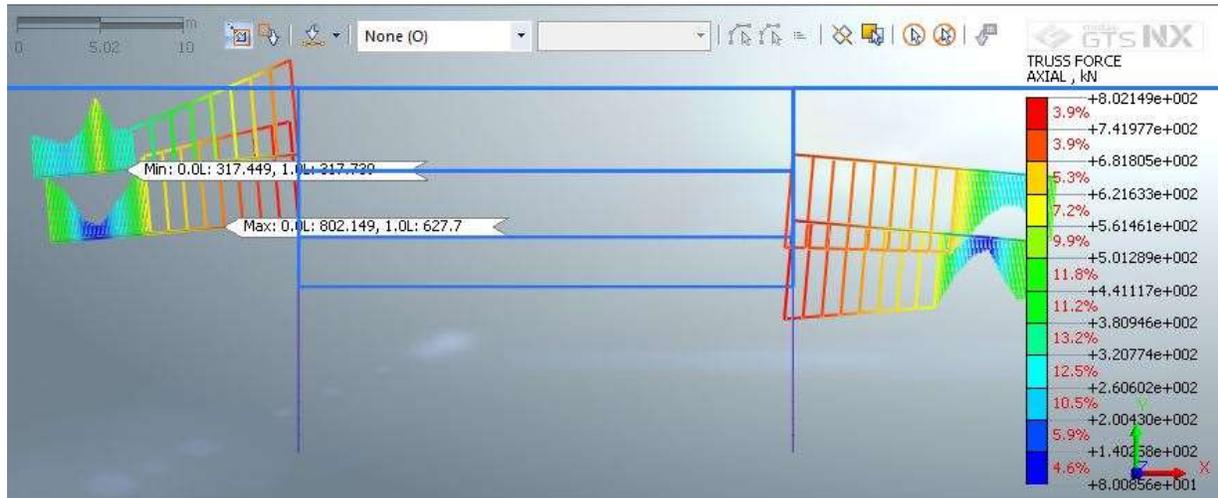
Final Stage (Scavo 12m da p.c.)



8.5.2 Risultati analisi

Di seguito si riporta la distribuzione del taglio e del momento flettente lungo la paratia e dello sforzo normale nei tiranti d’ancoraggio. Il sovraccarico accidentale è stato considerato pari a 20 kpa con impronta di carico pari a 5m a tergo della paratia.

Mom. Flettente ($M_{max}=812*1.3+9*1.5=1069$ kNm)



8.5.3 Verifica SLU-STR paratia

Di seguito si riportano le verifiche strutturali (SLU-STR) della paratia condotte secondo A1+M1+R1.

VERIFICA A MOMENTO FLETTENTE

Titolo : _____

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 40 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N° barre uguali: 24
 Diametro barre: 2.4 [cm]
 Copriferro (baric.): 5 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
 M_{xEd}: 1069 kNm
 M_{yEd}: 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali

B450C C25/30

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} : 14.17
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 9.75
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.6
 τ_{c1} : 1.829

M_{xRd}: 1,182 kN m

σ_c : -14.17 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5 ‰
 ϵ_s : 7.478 ‰
 d: 75 cm
 x: 23.91 x/d: 0.3188
 δ : 0.8385

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L₀: 0 cm Col. modello

Precompresso

VERIFICA A TAGLIO

Essendo la sezione circolare ci si è ricondotti al caso di sezione rettangolare utilizzando il metodo di Clarke e Birjandi.

Metodo di Clarke & Birjandi

r	400.00 mm	Raggio della sezione circolare.
r_s	360.00 mm	Raggio della parte confinata dall'armatura trasversale. $r_s = r - \text{copr.}$
$\sin \alpha$	0.573	$\sin \alpha = (2 r_s) / (\pi r)$.
α	0.610 rad	$\alpha = \arcsin(\sin \alpha)$.
A_{tot}	502655 mm ²	Area totale della sezione circolare. $A = \pi r^2$.
A	424079 mm ²	Area della sezione rettangolare equivalente. $A = r^2 (\pi/2 + \alpha + \sin \alpha \cos \alpha)$.

b	674 mm	Larghezza equivalente. $b = A/d$.
h	746 mm	Altezza equivalente. [°] $h = A_{\text{tot}}/b$
d	629 mm	Altezza utile equivalente. $d = r (1 + \sin \alpha)$.

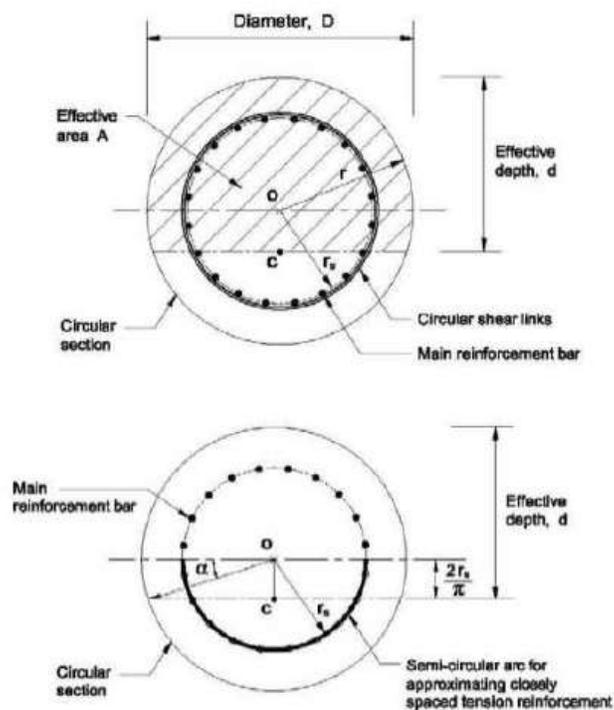


Figura - Sezione rettangolare equivalente con il metodo di Clarke-Birjandi.

DATI SEZ. CIRCOLARE		
r	400	mm
Copriferro	50	mm
r_s	350	mm
α	0.5908	rad
A_{tot}	502655	mm ²
A	419877	mm ²

SEZ. RETTANGOLARE EQUIVALENTE		
b	674	mm
h	746	mm
d	623	mm

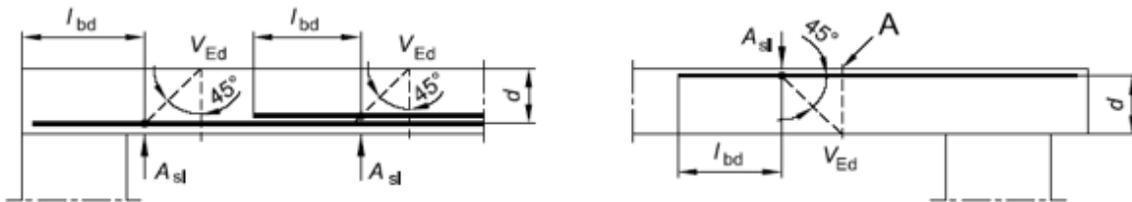
DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	746	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	674	[mm]
Copriferro	d'	123	[mm]
Altezza utile della sezione	d	623	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	4524	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	24	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	10	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	4524	[mm ²]

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE		
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO		
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	577 [kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		sì [-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0.12 [-]
Coefficiente k	k	1.57 [-]
		1.57 [-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_1	0.012928 [-]
		0.012928 [-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO		
Diametro delle staffe	f_{sw}	14 [mm]
Numero di braccia	n_b	2 [-]
Passo delle staffe	s	100 [mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	θ	45 [°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	90 [°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw}	308 [mm ²]
Braccio della coppia interna	z	560.7 [mm]
Cotangente di θ	$\cot\theta$	1.00 [-]
Cotangente di α	$\cot\alpha$	1.00 [-]
Seno di α	$\sin\alpha$	1.00 [-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	V_{Rd2}	675.49 [kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	F_{ctd}	7.08 [MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	V_{Rd1}	1338.44 [kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot\theta = 1$	$A_{sw,max}$	732.04 [mm ²]
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	675.49 [kN]

Generalmente si adotta $\theta = 45^\circ$
Generalmente si adotta $\alpha = 90^\circ$

$$A_{sw} = n_b (s \cdot f_{sw}^2) / 4 \cdot \sigma_{sw,max}$$

$$z = 0.9d$$

$$V_{Rd2} = (A_{sw} / s) z l_{wd} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha$$

$$V_{Rd1} = z b f_{ctd} (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot\theta^2)$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rd1}; V_{Rd2})$$

8.5.4 Verifica SLU-STR tiranti d'ancoraggio

Di seguito si riporta un prospetto riepilogativo dei tiranti d'ancoraggio e la relativa verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio più sollecitato

TRIVELLATI L=22m										
ORDINE	Quota da P.C.	DIAMETRO (mm2)	n° Trefoli	L passiva(m)	L attiva(m)	E (kPa)	L'(m)	i (m)	K(kN/m/m)	inc
1	-4	140	5	10	10	210000000	15	2	4900.00	5°
2	-8	140	5	9	10	210000000	14	2	5250.00	5°

TIRANTI DI ANCORAGGIO

LAVORO: Piana Delle Molette

DATI DI INPUT:

Terreno: ALL (Fosso Ariana)

Tirante tipo: Bulbo iniettato

Diametro trefolo: $d_{tre} = 15.24$ (mm)

Numero trefoli: $n = 5$

Area singolo trefolo A_t : 140 (mm²)

Area complessiva dell'acciaio ($A = n \cdot A_t$): 700 (mm²)

Diametro equivalente dei trefoli $Deq = (A \cdot 4/\pi)^{0.5}$ $Deq = 29.85$ (mm)

Tensione caratteristica di rottura dell'acciaio (f_{pk}) 1860 (Mpa)

Tensione caratt. all'1% di deformazione dell'acciaio ($f_{p(1)\%}$) 1670 (Mpa)

coefficienti parziali		Azioni		Terreno
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ_a
		γ_G	γ_Q	
Stato limite ultimo permanenti	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.20
Stato limite ultimo temporanei	<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.30	1.10
Tensioni ammissibili (permanenti)	<input type="radio"/>	1.00	1.00	2.50
Tensioni ammissibili (temporanei)	<input type="radio"/>	1.00	1.00	2.00
definiti dal progettista	<input type="radio"/>	1.10	1.20	1.30

n	1	2	3	4	≥5	T.A.	altro
	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>					
ξ_3	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60	1.00	1.27
ξ_4	1.80	1.70	1.65	1.60	1.55	1.00	1.12

N_G Azione permanente sul tirante:	340	kN
N_Q Azione variabile sul tirante:	0	kN
N_t Azione di calcolo ($N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$):	340	kN

Aderenza Malta -Terreno $L = N_t / (D_s \cdot p \cdot s_d)$

D (cm) Diametro della perforazione =	150	(mm)
α (-) Coeff. moltiplicativo =	1.4	
D_s (cm) Diametro di calcolo ($D_s = \alpha \cdot D$) =	210	(mm)
s_x (MPa) tensione unitaria media di aderenza malta - terreno =	0.18	(Mpa)
s_d (MPa) tensione unitaria di progetto aderenza malta - terreno =	0.09	(Mpa)
L =	5.67	(m)

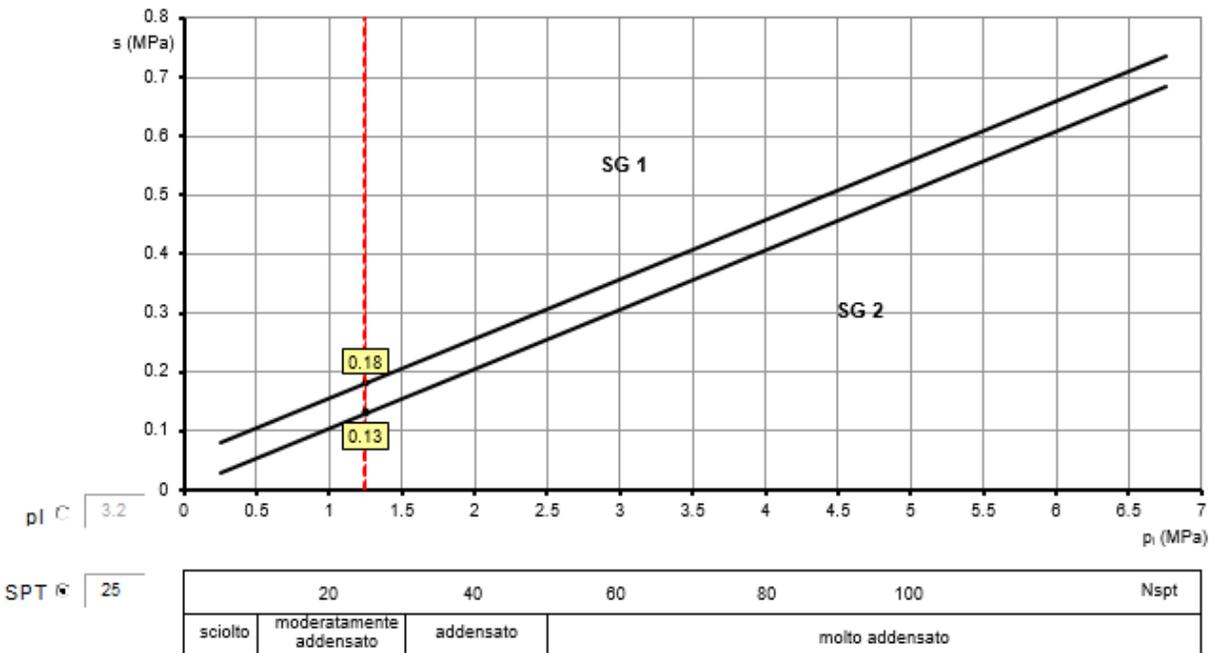
In cui s_k è ricavata dagli abachi di Bustamante e Doix per un numero di colpi (N_{spt}) pari 25 mentre per alfa si è posto un valore di 1.4 indicativa di un iniezione ripetuta e selettiva per sabbie limose.



Valori del coefficiente α ($V_s = L_s \cdot \pi \cdot d_s^2 / 4$)

TERRENO	Valori di α		Quantità minima di miscela consigliata	
	IRS	IGU	IRS	IGU
Ghiaia	1.8	1.3 - 1.4	1.5 V_s	1.5 V_s
Ghiaia sabbiosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4	1.5 V_s	1.5 V_s
sabbia ghiaiosa	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3	1.5 V_s	1.5 V_s
Sabbia grossa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 V_s	1.5 V_s
Sabbia media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 V_s	1.5 V_s
Sabbia fine	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	1.5 V_s	1.5 V_s
Sabbia limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) V_s	1.5 V_s
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2	2 V_s	1.5 V_s
Argilla	1.8 - 2.0	1.2	(2.5 - 3) V_s	(1.5 - 2) V_s
Marne	1.8	1.1 - 1.2	(1.5 - 2) V_s per strati compatti	
Calcari marnosi	1.8	1.1 - 1.2	(2 - 6) V_s o più per strati fratturati	
Calcari alterati o fratturati	1.8	1.1 - 1.2		
Roccia alterata e/o fratturata	1.2	1.1	(1.1 - 1.5) V_s per strati poco fratturati; 2 V_s o più per strati fratturati	

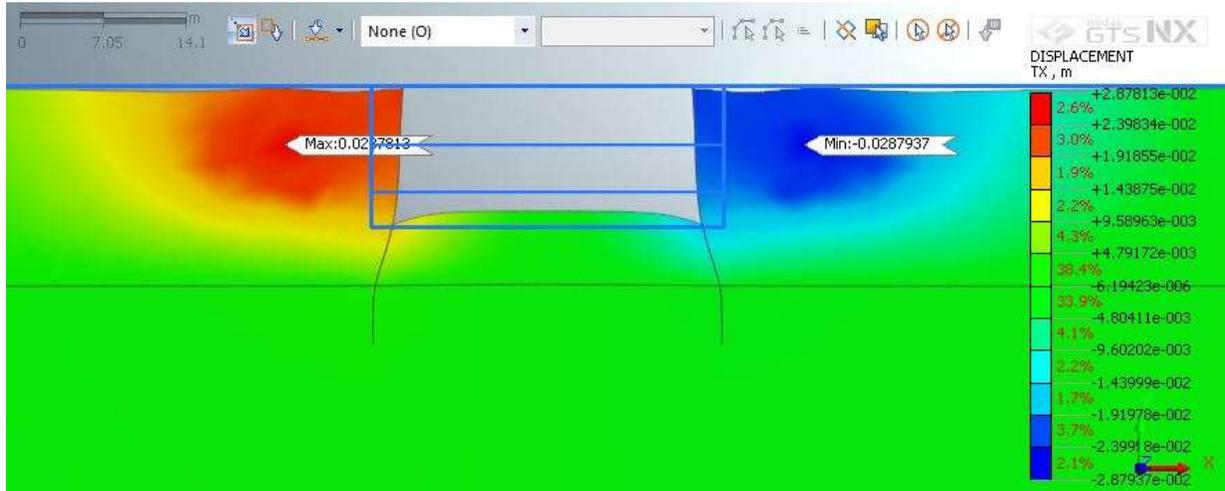
Abaco per il calcolo di s per sabbie e ghiaie



La lunghezza utilizzata è 10m dunque la verifica risulta soddisfatta.

8.5.5 Verifica degli spostamenti

Si riporta nel seguito la deformata in condizioni SLE dell’opera. Come si nota gli spostamenti massimi sono pari a circa 2.8 cm, contenuti entro il limite di 10 cm e sono pertanto ritenuti accettabili.



9 OPERE DI ACCESSO AL NUOVO ACQUEDOTTO: FINESTRA COTILIA, PARATIE

Il presente capitolo ha come oggetto la progettazione delle paratie ubicate in prossimità della “finestra Cotilia” per l’accesso al nuovo acquedotto. L’area di studio della nuova opera ricade nel territorio della Provincia di Rieti interessando il comune di Cittaducale.



Figura 9-1 – Ubicazione delle paratie

9.1 Software di calcolo

Per la modellazione, le analisi e le verifiche svolte sul manufatto in oggetto, sono stati utilizzati, oltre a fogli di calcolo excel, i seguenti software di calcolo:

- 1- **Paratie Plus** versione 21.0.1 della Ce.A.S. s.r.l per il calcolo di opere di sostegno flessibili e, più in generale, per lo studio di diverse problematiche di Ingegneria Geotecnica correlate alla progettazione di scavi a cielo aperto:



Figura 9-2 – Licenza Paratie Plus 2021

Tale software è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Il problema è visto ad un problema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria.

La modellazione numerica dell’interazione terreno-struttura è del tipo “trave su suolo elastico”: le pareti di sostegno sono rappresentate con elementi finiti trave il cui

comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno è simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

Il limite di questo schema sta nell’ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una “molla”, abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l’interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una paratia è seguita in tutte le varie fasi attraverso un’analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di puntoni applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson.

L’analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all’asse X ortogonale al piano della struttura.

9.2 Inquadramento geotecnico

I risultati delle indagini geognostiche e geofisiche, unitamente ai rilievi geomeccanici e geostrutturali di campo, alle prove di laboratorio ed ai dati geologici pregressi e disponibili circa l’assetto litostratigrafico delle aree di indagine, hanno consentito la definizione dei parametri geotecnici delle unità litotecniche incontrate, ciascuna delle quali è costituita da terreni con un simile comportamento geotecnico, geomeccanico e sismico.

Ciascuna unità litotecnica è stata definita analizzando in maniera congiunta inoltre i risultati delle prove geofisiche effettuate, definendo differenti range di valori di velocità delle onde S (derivate da prospezioni MASW e Down-Hole), ciascuna associata ad un’unità litotecnica.

Infine, per tutta la lunghezza del tracciato di progetto è stato definito il modello geologico-tecnico e sismo-stratigrafico di riferimento, attribuendo ad ogni unità litotecnica i parametri medi. Nel caso in cui alle profondità di interesse fossero disponibili risultati ottenuti da prove di laboratorio geotecnico o in situ e dalle prospezioni sismiche (MASW, HVSR e Down-Hole), si sono utilizzati tali valori puntuali per la parametrizzazione geotecnica e sismo-stratigrafica dell’unità litotecnica.

Le paratie in oggetto interessano il detrito di versante (spessore medio 5÷6 m) e si intestano nella sottostante “unità SAD”; nelle verifiche sono stati adottati i seguenti parametri geotecnici:

UNITÀ	ϕ [°]	c' [kPa]	γ [kN/m ³]	E [MPa]
Detrito Versante	30.0	0.0	20.0	4.0
SAD	54.0	224.0	25.9	4600.0

In merito alla falda, come evidenziato nella relazione geologica, è stata rilevata alla quota di circa 400 m slm, mediamente a 7m da piano campagna.

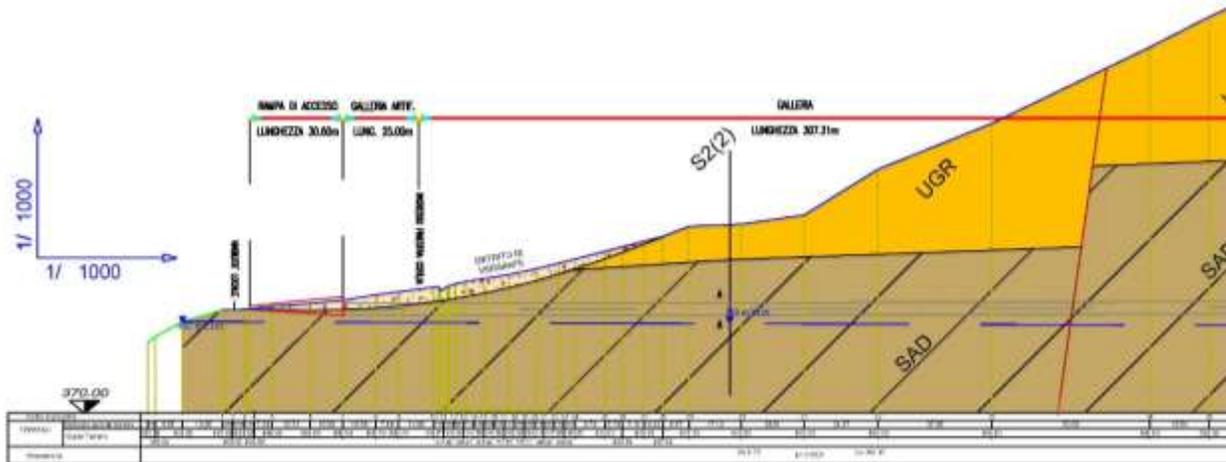


Figura 9-3 – Inserimento opera nella stratigrafia geologica di riferimento

9.3 Inquadramento sismico

In riferimento al livello di prestazione rispetto alla durabilità si assume un valore di VN pari a 100 anni. Vista la rilevanza che l’opera assume e la sua strategicità, la stessa dovrà essere progettata in classe d’uso IV. Inoltre, è opportuno segnalare come l’assunto di opera strategica, e quindi aver assegnato una classe d’uso pari a IV, conferisce all’infrastruttura acquedottista una classe di affidabilità elevata.

Per la galleria artificiale e le paratie di imbocco sono stati considerati i seguenti parametri sismici:

- Vita Nominale: 100 anni
- Classe d’uso: IV
- Zona Sismica Coordinate WGS84:
Long. Est 12.949604
Lat Est 42.378898
- Categoria Suolo A
- Categoria topografica T1

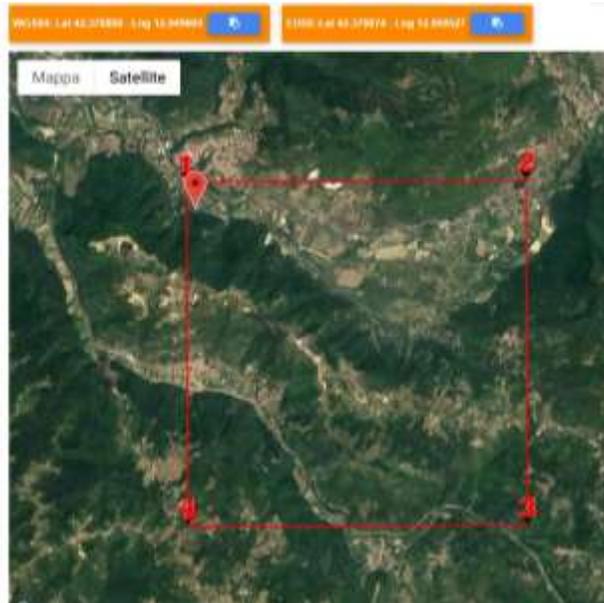


Figura 9-4 – ubicazione del manufatto e maglia di riferimento

Stati limite

Classe Edificio: IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...

Vita Normale: 100

Interpolazione: Media ponderata

CU = 2

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c [s]
Operatività (SLO)	120	0.120	2.368	0.299
Danno (SLD)	201	0.149	2.334	0.314
Salvaguardia vita (SLV)	1696	0.318	2.431	0.362
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.345	2.441	0.367
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

	SLD	SLD	SLV	SLC
SE Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz. categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Figura 9-5 – parametri sismici di base

9.4 Sezioni di verifica

Con riferimento agli elaborati di progetto sono state identificate tre sezioni di verifica:

- SEZIONE 1 tra gli spigoli 1-2 sul lato EST (11-12 sul lato OVEST): non sono presenti puntoni e le paratie EST-OVEST (distanti 4.10m) lavorano indipendentemente come semplici opere a sbalzo. In questo tratto sono opere definitive e sono state verificate anche in campo sismico.
- SEZIONE 2 tra gli spigoli 2-3-4-5 sul lato EST (8-9-10-11 sul lato OVEST): sono presenti puntoni a interasse 3.50 m tra le due paratie (distanti 8.10m). In questo tratto sono opere definitive e sono state verificate anche in campo sismico.
- SEZIONE 3 tra gli spigoli 5-6 sul lato EST (7-8 sul lato OVEST): sono presenti puntoni (interasse 3.40 m) tra le due paratie (distanti 6.50m). In questo tratto sono opere provvisoriale, necessarie per la realizzazione del tratto di circa 25m di galleria artificiale, e sono state omesse le verifiche in campo sismico (DM 17/01/2018 §2.4.1).

Di seguito sono sintetizzate le principali caratteristiche delle 3 sezioni di calcolo.

SEZ.	Tipo	H _{max} libera [m]	Puntoni	Interasse puntoni [m]	Distanza paratie est-ovest [m]	Cordolo sommitale [cm]
1	definitiva	3.50	No	-	4.10	60×50
2	definitiva	4.50	Si	3.50	8.10	60×50
3	provvisoria	8.50	Si	3.40	6.50	60×50



Figura 9-6 – Sezioni di calcolo

9.5 Analisi dei carichi

9.5.1 Spinte delle terre e dell’acqua

Le spinte delle terre sulle opere di sostegno sono valutate automaticamente da Paratie Plus, un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale, valutando la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno.

La pressione interstiziale, invece, è calcolata attraverso una legge triangolare con valore nullo alla quota della falda:

$$u(z) = \gamma_w \cdot (Z - Z_{falda})$$

9.5.2 Carichi accidentali

Il piano campagna in corrispondenza delle paratie non risulta carrabile, tuttavia, a vantaggio di sicurezza, è stata considerata l’eventuale presenza di un sovraccarico accidentale infinitamente esteso pari a **20kPa**. Tale sovraccarico è assimilato di **categoria G** (DM 17/01/2018, tab.3.1.II) e in condizioni sismiche è pari a $\psi_{2j} \cdot 20\text{kPa} = 0.3 \cdot 20\text{kPa} = \mathbf{6kPa}$.

9.5.3 Azione sismica

Così come previsto al §7.11.6.3.1, l’analisi in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudo-statici, in cui l’azione sismica è rappresentata da un’azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo.

Le componenti orizzontale e verticale k_h e k_v dell’accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l’opera e della capacità dell’opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. k_h può essere legata all’accelerazione di picco a_{\max} attesa nel volume di terreno significativo per l’opera mediante la relazione:

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{\max}$$

dove g è l’accelerazione di gravità, k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale, $\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con

l’opera e $\beta \leq 1$ è un coefficiente funzione della capacità dell’opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Per le paratie si può porre $k_v = 0$.

L’accelerazione di picco a_{max} può essere valutata come:

$$a_{max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g$$

dove S è il coefficiente che comprende l’effetto dell’amplificazione stratigrafica (S_S) e dell’amplificazione topografica (S_T) ed a_g è l’accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Il valore dei coefficienti α e β può essere ricavato dai grafici seguenti: α dipende dall’altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mentre β dal massimo spostamento permanente u_s che l’opera può tollerare.

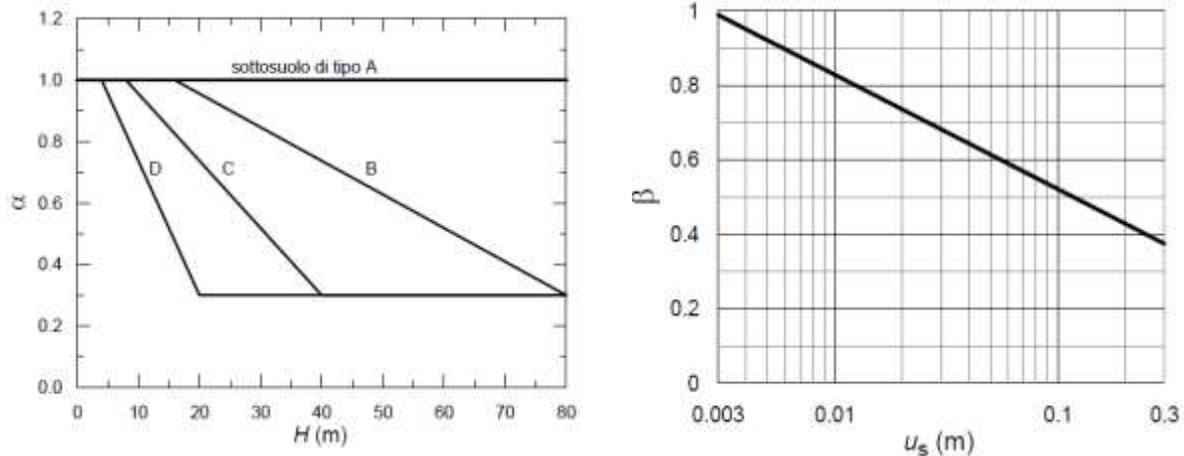


Figura 9-7 - Diagramma per la valutazione di α e β (NTC18 §7.11.6.3.1)

Nelle paratie in progetto, cautelativamente, è stato assunto $\alpha = \beta = 1 \rightarrow k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max} = 0.318$.

Nell’analisi delle paratie a sbalzo (SEZIONE 1) è stato utilizzato il **metodo di Mononobe – Okabe**: il metodo è un'estensione della teoria statica di Coulomb e le sovrappressioni sismiche sono date dagli sforzi verticali moltiplicati per il coefficiente di spinta di M-O.

Ai fini dei calcoli in condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica. Tale sovraspinta risulta in un valore al metro, distribuito uniformemente sull’altezza fuori terra della paratia.

Nell’analisi delle paratie puntonate (SEZIONE 2) l’incremento di spinta dinamico sulla struttura è stato valutato facendo riferimento alla **teoria di Wood**, utilizzata per opere di sostegno che non possono subire spostamenti o rotazioni.

La distribuzione di pressioni risultanti ha andamento costante ed è correlata al peso dell’unità di volume del terreno potenzialmente mobilitato, al coefficiente k_h e all’altezza interrata del setto H:

$$\Delta p_d (z) = k_h \gamma H$$

9.6 Combinazioni di carico

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono, in accordo con le NTC18, le seguenti combinazioni delle azioni:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):
 $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:
 $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all’azione sismica E:
 $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:
 $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$

con:

- G_1 , peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G_2 , peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- P , pretensione e precompressione (assente in questo progetto);
- Q , azioni variabili sulla struttura o sull’elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo (di lunga durata: agiscono con un’intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura; di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura).
- E , azioni sismiche derivanti dai terremoti.
- A , azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura (incendi, esplosioni, urti ed impatti).

I valori dei coefficienti parziali introdotti sono riportati nelle tabelle seguenti.

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o $\gamma_{F'}$)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Tabella 9-1 - Coefficienti parziali per le azioni o per l’effetto delle azioni. ⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I delle NTC18. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell’angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell’unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 9-2 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Le verifiche della paratia sono state condotte secondo l’**Approccio 1** considerando le due combinazioni di coefficienti:

- **Combinazione 1: (A1+M1+R1)**
- **Combinazione 2: (A2+M2+R1)**

con i valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle sovrastanti e con i coefficienti γ_R del gruppo R1 pari all’unità.

In condizioni sismiche si deve controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni ponendo pari all’unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a γ_R del gruppo R1, pari all'unità.

9.7 Sezione 1

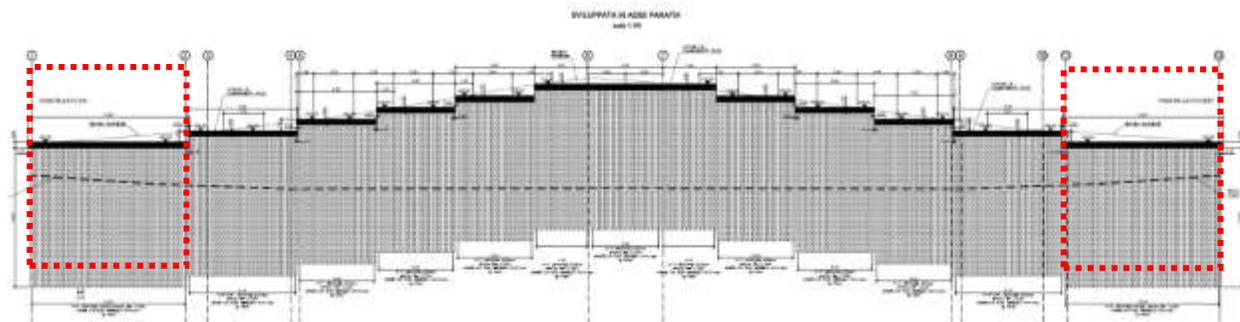


Figura 9-8 – sviluppata in asse paratia, in evidenza le sezioni tipo 1

9.7.1 Fasi realizzative

Il calcolo delle opere di sostegno è stato eseguito per fasi che possono essere così sintetizzate:

- 1) Condizioni geostatiche;
- 2) Pre scavo e realizzazione dei pali. È presente un carico accidentale (20kPa) a monte della parete;
- 3) Scavo: si considera cautelativamente un'altezza libera massima della paratia pari a 4.0 m. È presente il carico accidentale di 20 kPa a monte della parete.
- 4) Applicazione del carico da sisma (Mononobe-Okabe). Il carico accidentale a monte della parete è ridotto a 6kPa.

Di seguito si riportano le fasi adottate nei calcoli dei manufatti

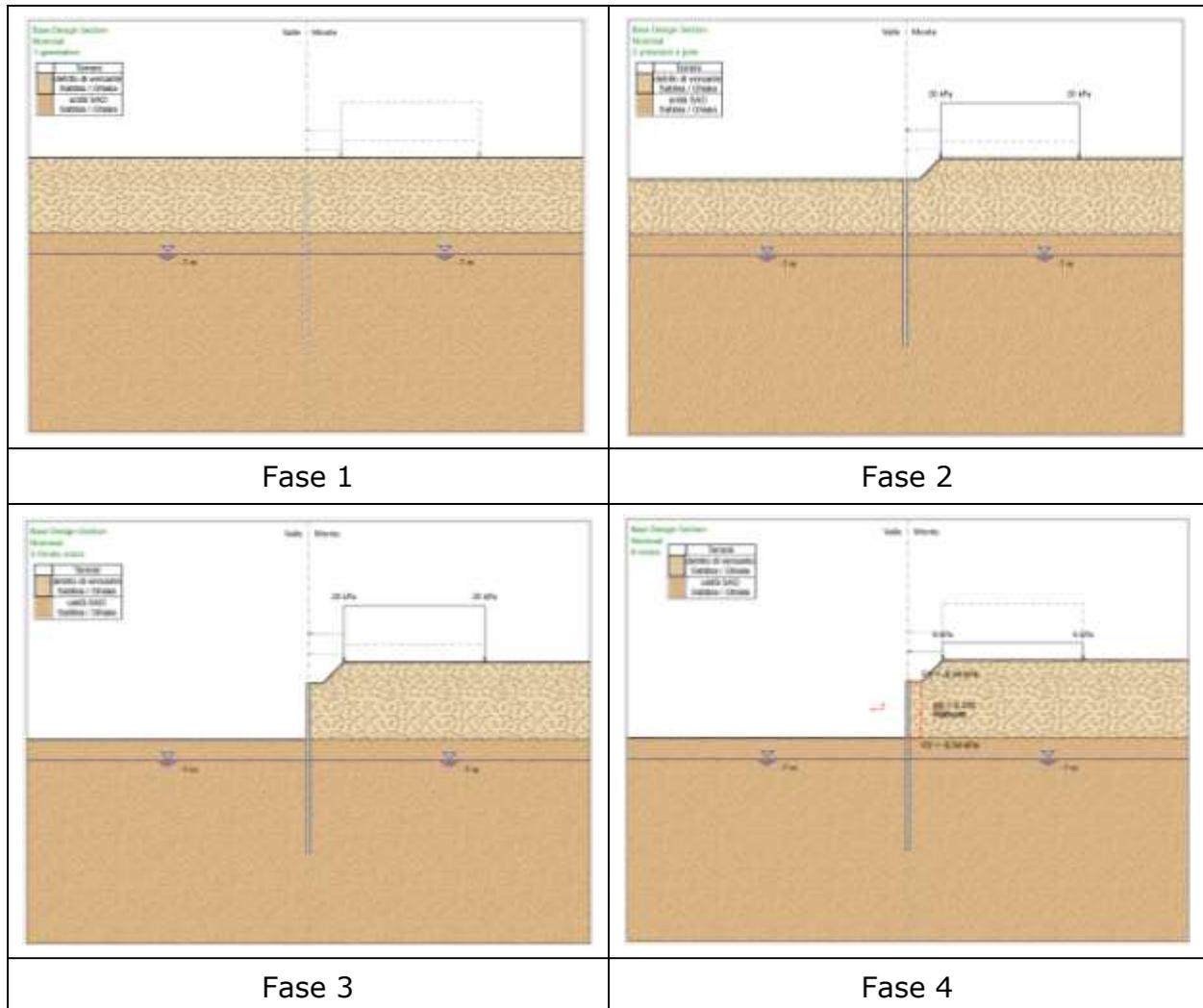


Figura 9-9 – Sezione 1, fasi di calcolo

9.7.2 Modellazione della parete

Le proprietà geometriche ed inerziali della paratia sono state desunte direttamente dalla libreria di Paratie Plus e sono sintetizzate nell’immagine di seguito.

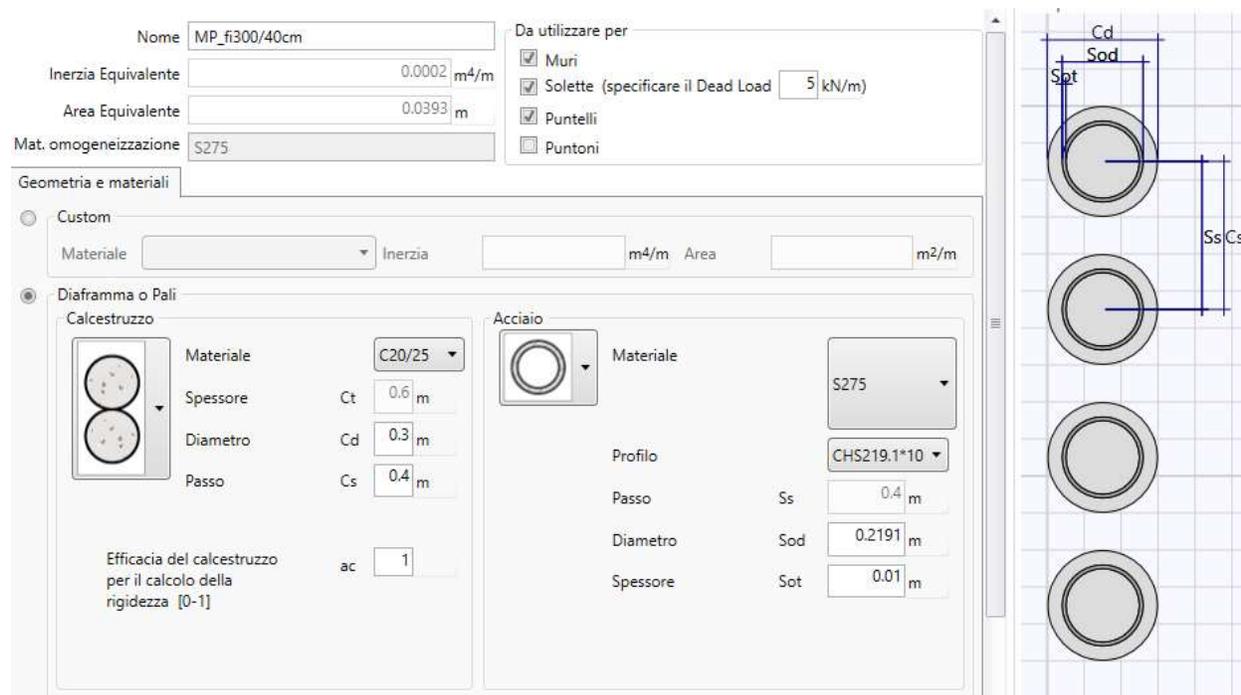


Figura 9-10 – caratteristiche geometriche della parete

9.7.3 Risultati delle analisi

Si riportano di seguito i risultati ottenuti in termini di inviluppo (SLU A1+M1+R1, SLU A2+M2+R1, SISMA STR, SISMA GEO) delle caratteristiche delle sollecitazioni.

Sulla parete		i [m]	Sul singolo palo	
M [kNm/m]	T [kN/m]		M [kNm]	T [kN]
212.08	220.90	0.4	84.83	88.36

Tabella 9-3- sintesi delle sollecitazioni massime

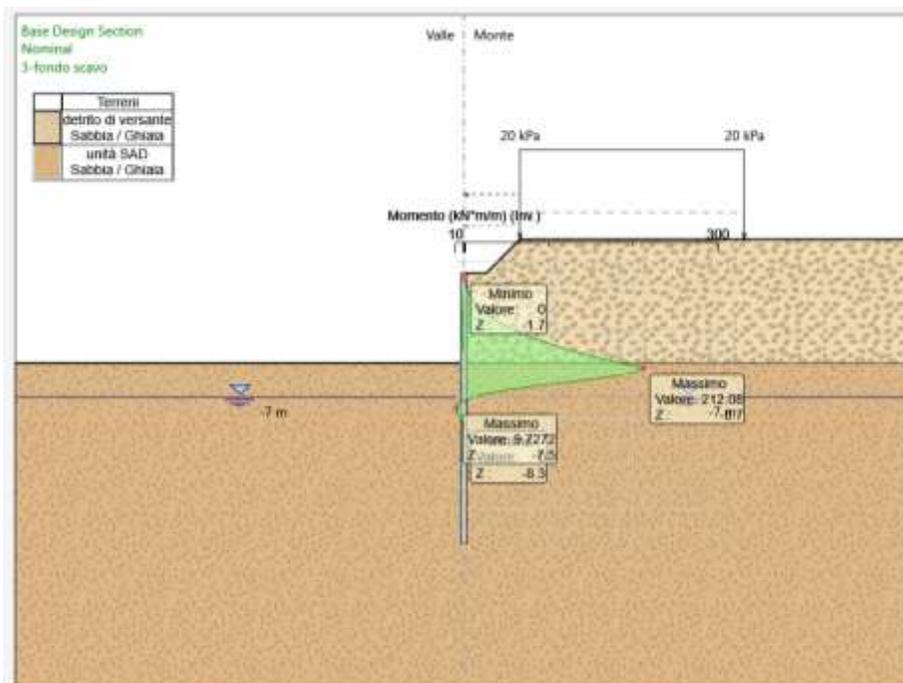


Figura 9-11 – Involuppo del momento flettente (SLU/SLV)

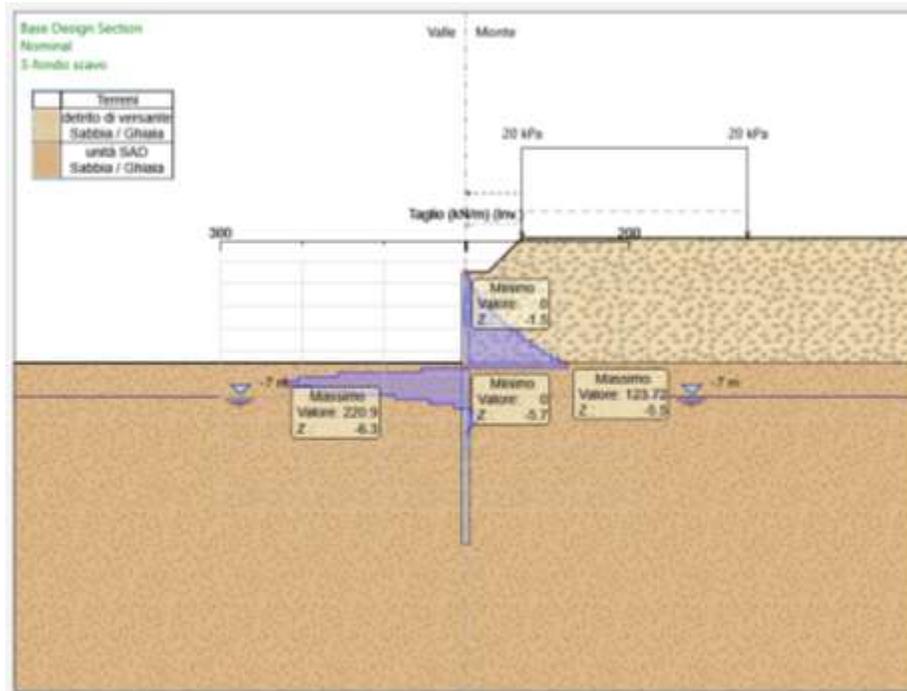


Figura 9-12 – involuppo del taglio (SLU/SLV)

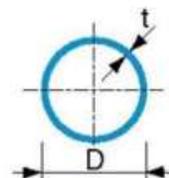
9.7.4 Verifiche SLU paratia

L'armatura prevista è un **tubolare in acciaio S275 ϕ 219.1x10**. Di seguito si riportano i risultati delle verifiche.

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

**PROFILI CAVI PER LA COSTRUZIONE FORMATI A CALDO
EN 10210**

Dimensioni e caratteristiche dei profili cavi a sezione circolare



Diametro esterno	Spessore	Massa a ml	Area della sezione	Momento d'inerzia	Raggio d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Modulo di resistenza plastico	Momento d'inerzia di torsione	Costante di torsione	Superficie esterna a ml	Lunghezza per ton
D mm	t mm	M kg/m	A cm ²	I cm ⁴	i cm	W _{el} cm ³	W _{pl} cm ³	I _t cm ⁴	C _t cm ³	m ² /m	m/t
219,1	5,0	26,4	33,6	1928	7,57	176	229	3856	352	0,688	37,9
219,1	6,0	31,5	40,2	2282	7,54	208	273	4564	417	0,688	31,7
219,1	6,3	33,1	42,1	2386	7,53	218	285	4772	436	0,688	30,2
219,1	8,0	41,6	53,1	2960	7,47	270	357	5919	540	0,688	24,0
219,1	10,0	51,6	65,7	3598	7,40	328	438	7197	657	0,688	19,4
219,1	12,0	61,3	78,1	4200	7,33	383	515	8400	767	0,688	16,3
219,1	12,5	63,7	81,1	4345	7,32	397	534	8689	793	0,688	15,7
219,1	16,0	80,1	102	5297	7,20	483	661	10593	967	0,688	12,5
219,1	20,0	98,2	125	6261	7,07	572	795	12523	1143	0,688	10,2

DATI DELLA SEZIONE:

interasse =	0.40	[m]
γ _{M0} =	1.05	[-]
f _{yk} =	275	[N/mm ²]
W _{pl} =	438	[cm ³]
	438000	[mm ³]
A =	65.70	[cm ²]
A _v =	41.83	[cm ²]
	4182.59	[mm ²]

NTC18 §4.2.4.1.2.3

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 114.71 \text{ [kNm]}$$

al metro lineare di parete = 286.79 [kNm/m]

NTC18 §4.2.4.1.2.4

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 632.45 \text{ [kN]}$$

al metro lineare di parete = 1581.13 [kN/m]

Figura 9-13 – Momento e taglio resistente del tubolare

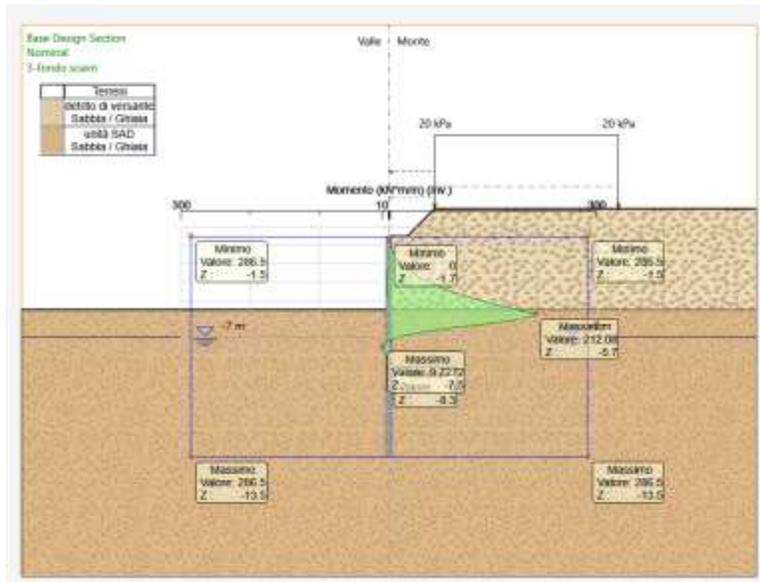


Figura 9-14 – Confronto involucro momento SLU/SLV e momento resistente

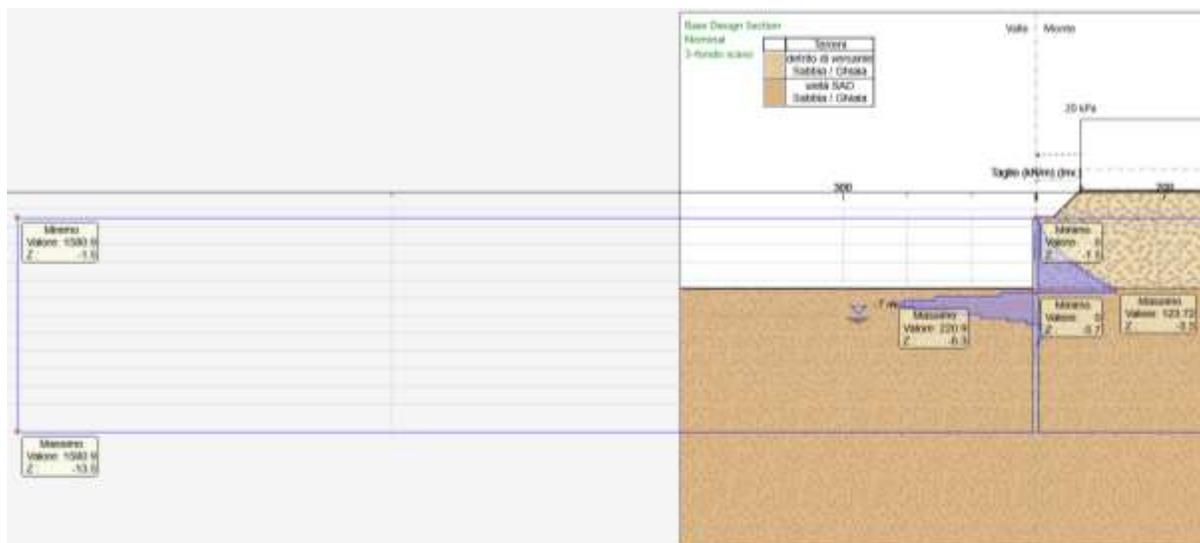


Figura 9-15 – Confronto involucro taglio SLU/SLV e taglio resistente

9.7.5 Verifiche SLE paratia

Si riportano di seguito le configurazioni deformate delle paratie nelle combinazioni SLE. Gli spostamenti dell’opera di sostegno e del terreno circostante risultano compatibili con la funzionalità dell’opera e con la sicurezza dei manufatti adiacenti, anche alla luce delle ipotesi cautelative poste alla base del calcolo.

Combinazione SLE
Δ_{max} [mm]
18.5

Tabella 9-4 – Spostamenti massimi della parte libera della parete

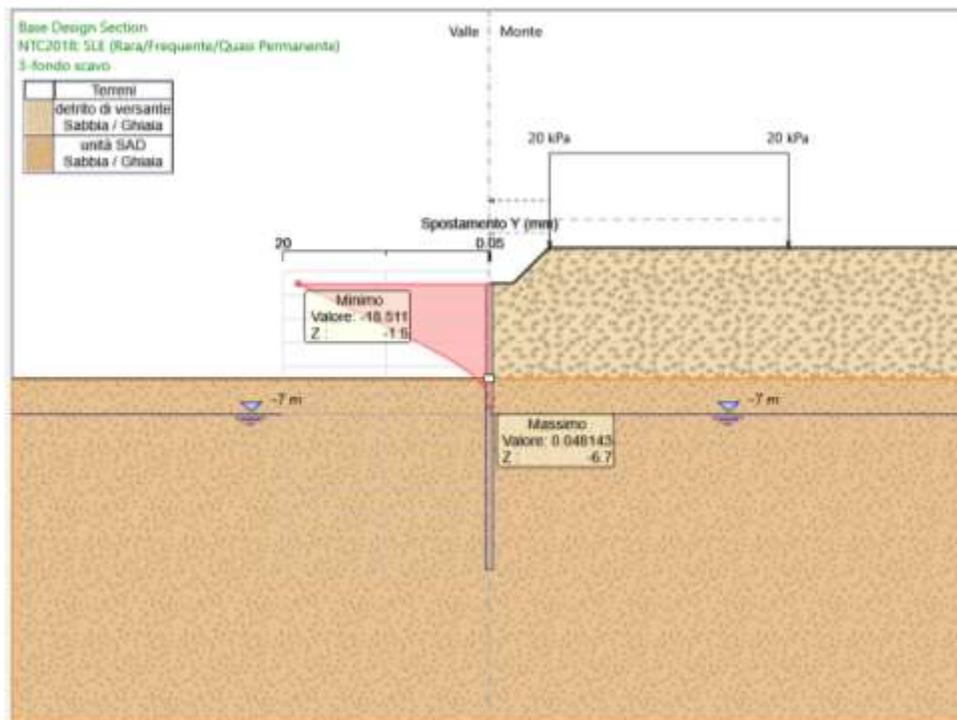


Figura 9-16 – configurazione deformata SLE

9.8 Sezione 2

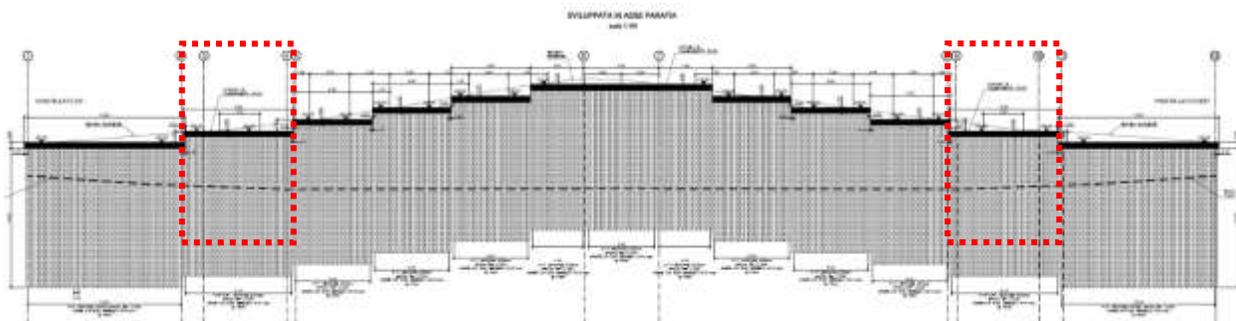


Figura 9-17 – sviluppata in asse paratia, in evidenza le sezioni tipo 2

9.8.1 Fasi realizzative

Il calcolo delle opere di sostegno è stato eseguito per fasi che possono essere così sintetizzate:

- 1) Condizioni geostatiche;
- 2) Pre scavo e realizzazione dei pali, del cordolo sommitale e dei puntoni. È presente un carico accidentale (20kPa) a monte della parete;

- 3) Scavo: si considera cautelativamente un’altezza libera massima della paratia pari a 5.0 m. È presente il carico accidentale di 20 kPa a monte della parete.
- 4) Applicazione del carico da sisma (Woods). Il carico accidentale a monte della parete è ridotto a 6kPa.

Di seguito si riportano le fasi adottate nei calcoli dei manufatti.

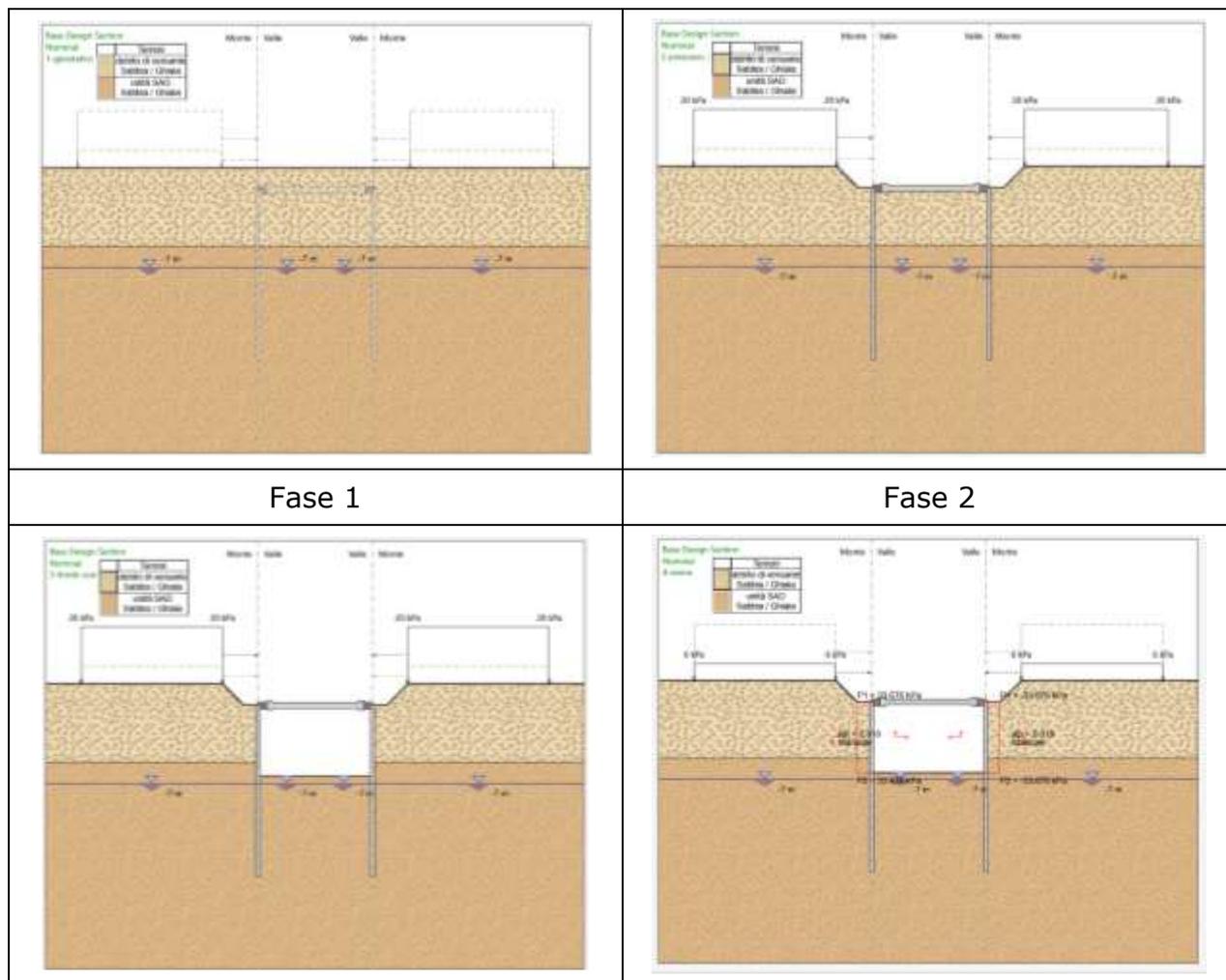




Figura 9-18 – Sezione 2, fasi di calcolo

9.8.2 Modellazione della parete e dei puntoni

Le proprietà geometriche ed inerziali della paratia e dei puntoni sono state desunte direttamente dalla libreria di Paratie Plus e sono sintetizzate nelle immagini di seguito.

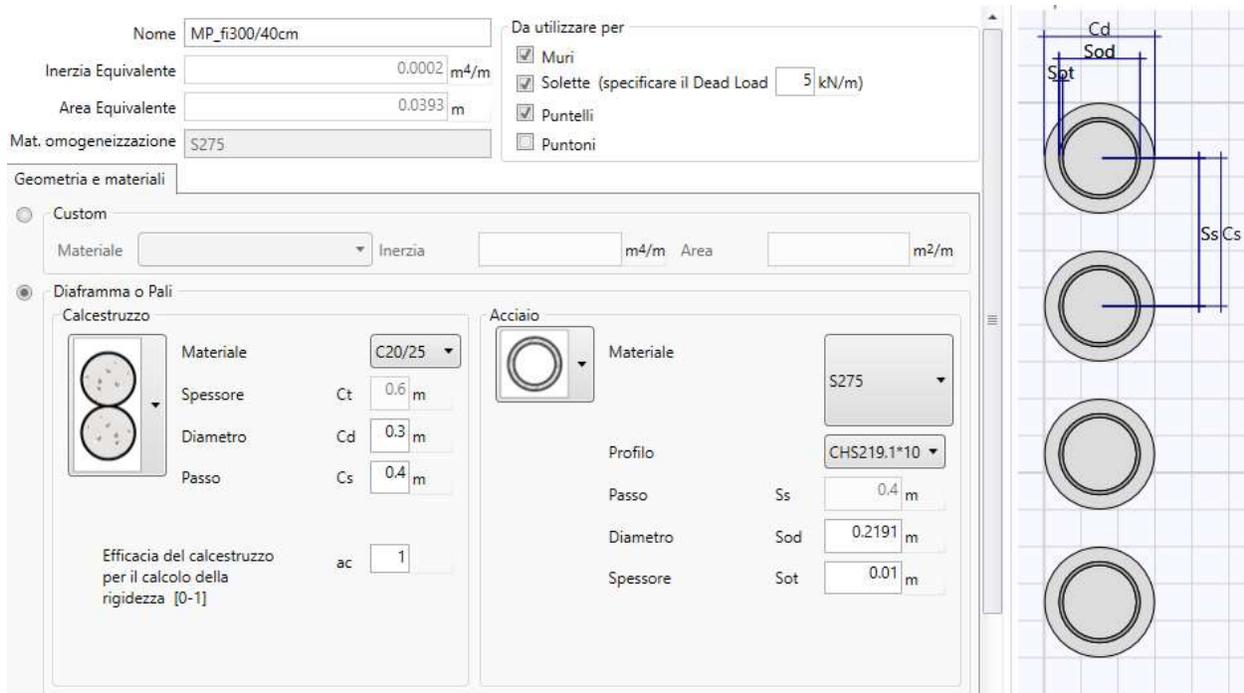


Figura 9-19 – caratteristiche geometriche della parete

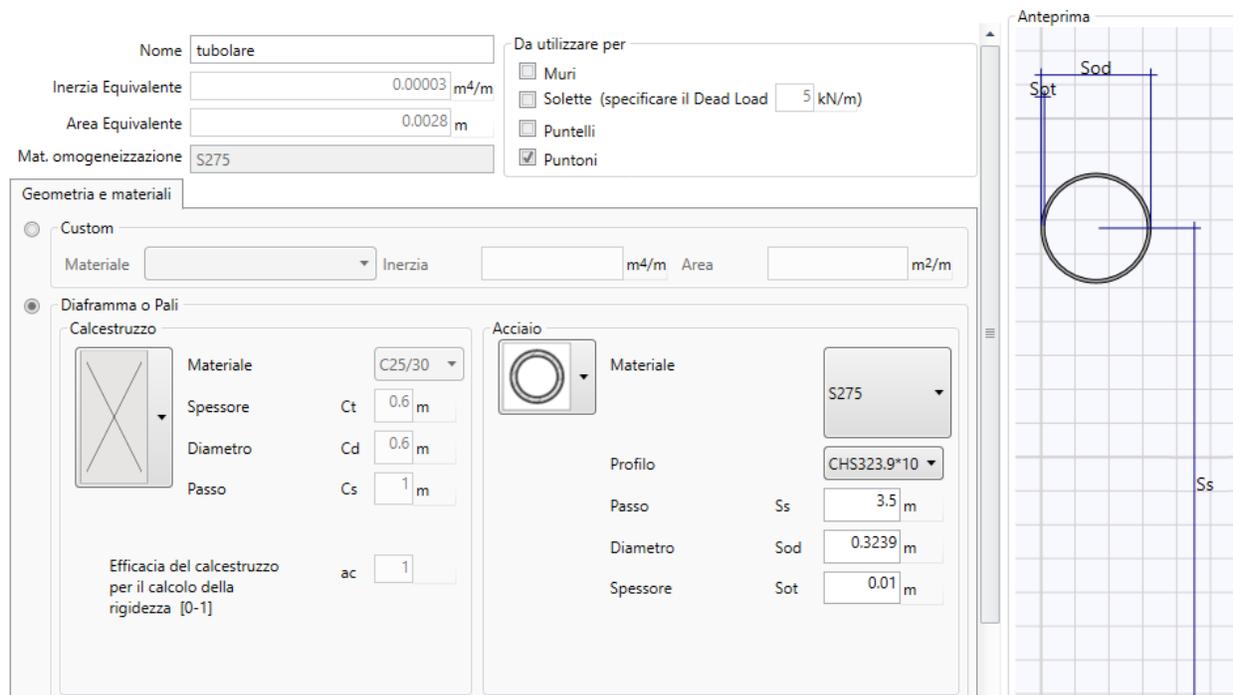


Figura 9-20 – caratteristiche geometriche dei puntoni

9.8.3 Risultati delle analisi

Si riportano di seguito i risultati ottenuti in termini di involuppo (SLU A1+M1+R1, SLU A2+M2+R1, SISMA STR, SISMA GEO) delle caratteristiche delle sollecitazioni.

Sulla parete		i [m]	Sul singolo palo	
M [kNm/m]	T [kN/m]		M [kNm]	T [kN]
120.88	137.18	0.4	48.35	54.87

Tabella 9-5– sintesi delle sollecitazioni massime

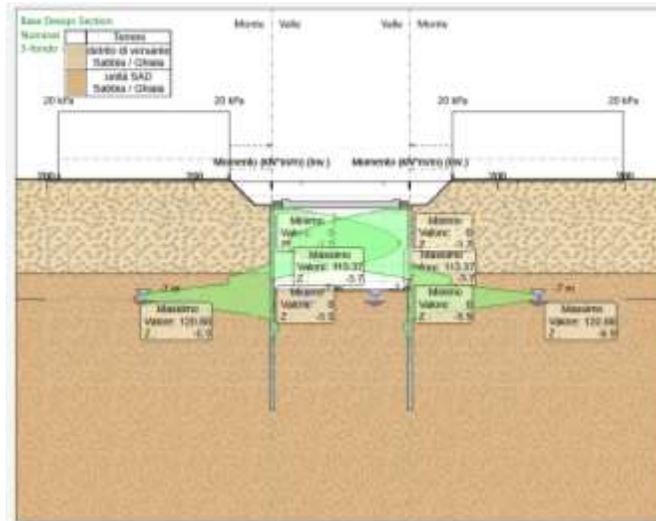


Figura 9-21 – Involuppo del momento flettente (SLU/SLV)

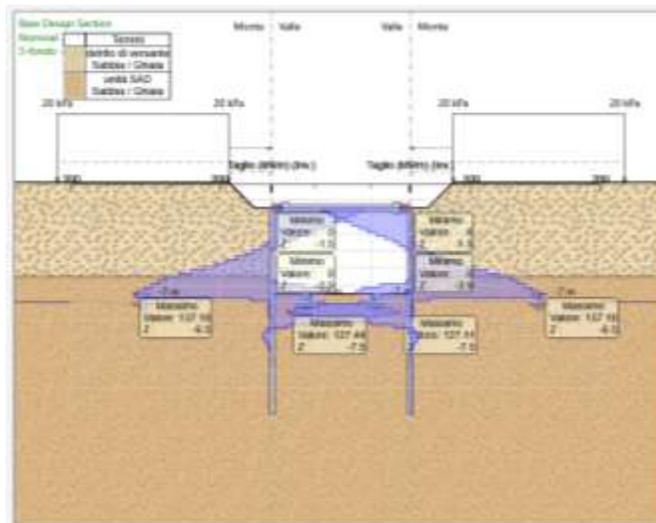


Figura 9-22 – involucro del taglio (SLU/SLV)

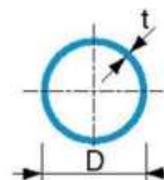
9.8.4 Verifiche SLU paratia

L'armatura prevista è un **tubolare in acciaio S275 ϕ 219.1x10**. Di seguito si riportano i risultati delle verifiche.

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

PROFILI CAVI PER LA COSTRUZIONE FORMATI A CALDO EN 10210

Dimensioni e caratteristiche dei profili cavi a sezione circolare



Diametro esterno	Spessore	Massa a ml	Area della sezione	Momento d'inerzia	Raggio d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Modulo di resistenza plastico	Momento d'inerzia di torsione	Costante di torsione	Superficie esterna a ml	Lunghezza per ton
D mm	t mm	M kg/m	A cm ²	I cm ⁴	i cm	W _{el} cm ³	W _{pl} cm ³	I _t cm ⁴	C _t cm ³	m ² /m	m/t
219,1	5,0	26,4	33,6	1928	7,57	176	229	3856	352	0,688	37,9
219,1	6,0	31,5	40,2	2282	7,54	208	273	4564	417	0,688	31,7
219,1	6,3	33,1	42,1	2386	7,53	218	285	4772	436	0,688	30,2
219,1	8,0	41,6	53,1	2960	7,47	270	357	5919	540	0,688	24,0
219,1	10,0	51,6	65,7	3598	7,40	328	438	7197	657	0,688	19,4
219,1	12,0	61,3	78,1	4200	7,33	383	515	8400	767	0,688	16,3
219,1	12,5	63,7	81,1	4345	7,32	397	534	8689	793	0,688	15,7
219,1	16,0	80,1	102	5297	7,20	483	661	10593	967	0,688	12,5
219,1	20,0	98,2	125	6261	7,07	572	795	12523	1143	0,688	10,2

DATI DELLA SEZIONE:

interasse =	0.40	[m]
γ_{M0} =	1.05	[-]
f_{yk} =	275	[N/mm ²]
W_{pl} =	438	[cm ³]
	438000	[mm ³]
A =	65.70	[cm ²]
A_v =	41.83	[cm ²]
	4182.59	[mm ²]

NTC18 §4.2.4.1.2.3

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 114.71 \text{ [kNm]}$$

$$\text{al metro lineare di parete} = 286.79 \text{ [kNm/m]}$$

NTC18 §4.2.4.1.2.4

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 632.45 \text{ [kN]}$$

$$\text{al metro lineare di parete} = 1581.13 \text{ [kN/m]}$$

Figura 9-23 – Momento e taglio resistente del tubolare

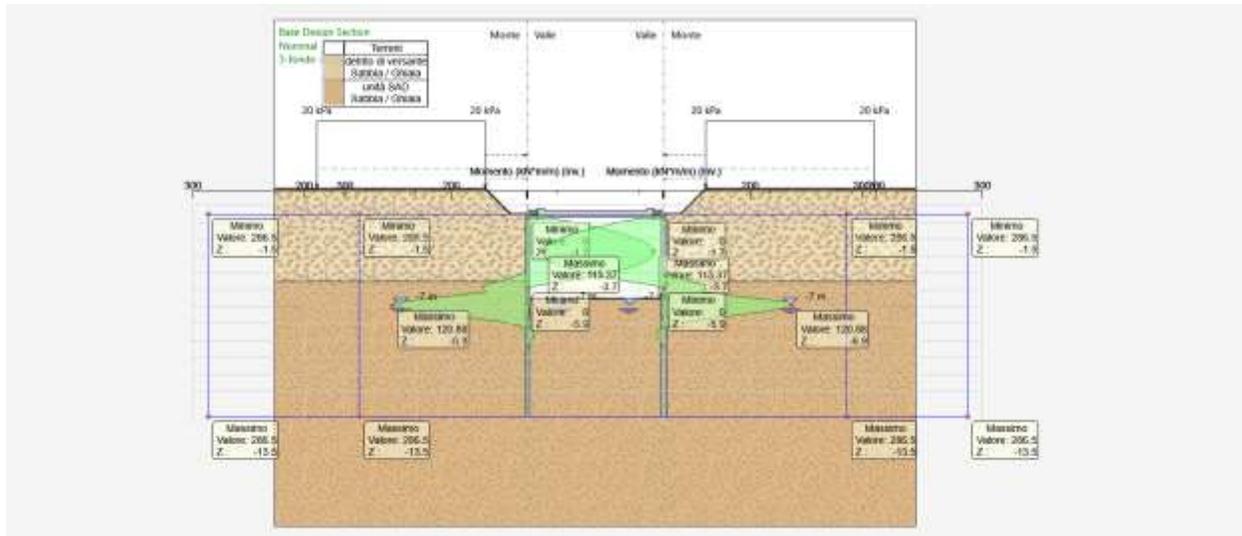


Figura 9-24 – Confronto involucro momento SLU/SLV e momento resistente

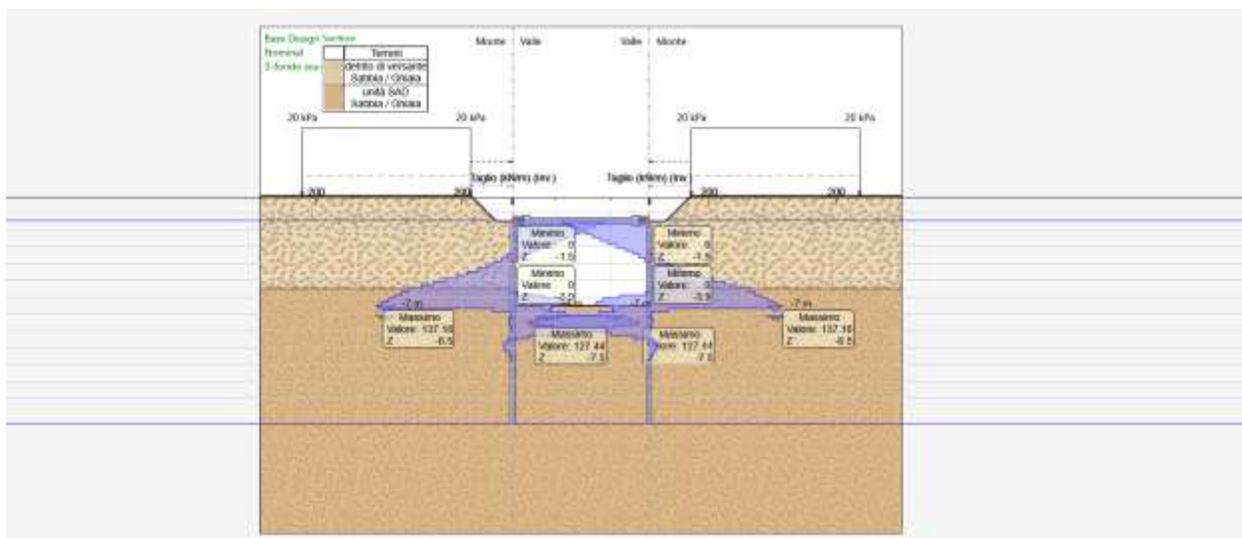


Figura 9-25 – Confronto involucro taglio SLU/SLV e taglio resistente

9.8.5 Verifiche SLE paratia

Si riportano di seguito le configurazioni deformate delle paratie nelle combinazioni SLE. Gli spostamenti dell’opera di sostegno e del terreno circostante risultano compatibili con la funzionalità dell’opera e con la sicurezza dei manufatti adiacenti, anche alla luce delle ipotesi cautelative poste alla base del calcolo.

Combinazione SLE Δ_{max} [mm]
3.17

Tabella 9-6 – Spostamenti massimi della parte libera della parete

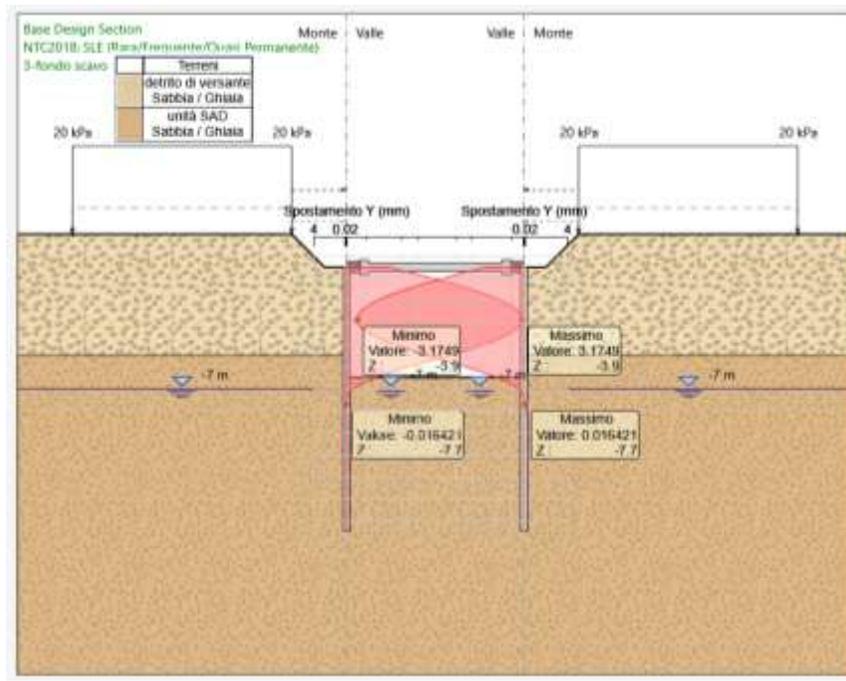


Figura 9-26 – configurazione deformata SLE

9.8.6 Considerazioni sulla presenza degli edifici a tergo

Per il calcolo degli spostamenti indotti dallo scavo si è fatto riferimento al metodo di Boone & Westland (2005) che propongono un metodo per stimare gli spostamenti sia laterali sia verticali indotti da uno scavo profondo, e lo traducono in un insieme di equazioni in forma chiusa.

Il metodo di Boone & Westland può essere riassunto nei seguenti passi:

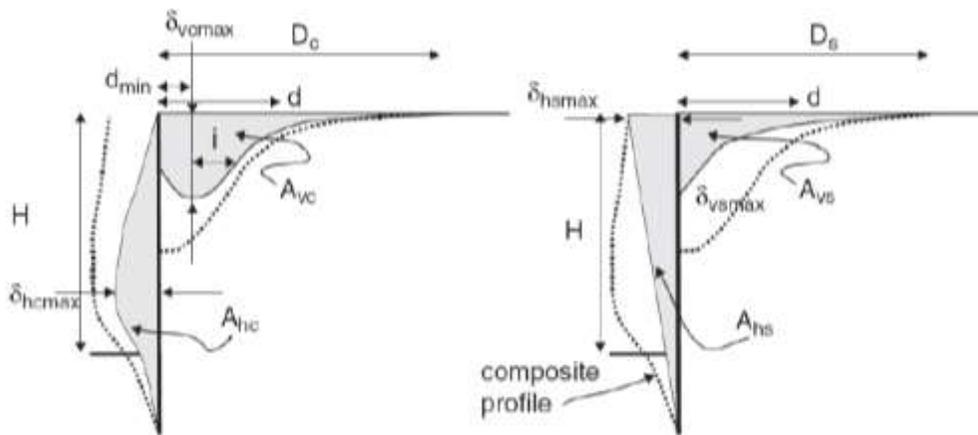


Figura 9-27 – simbologia adottata nel metodo di Boone & Westland (2005)

1. Sulla base della geometria dell'opera e delle caratteristiche del terreno, si calcolano il massimo spostamento laterale della parete δ_{hmax} e della superficie δ_{hsmx} .
2. La deformata della parete viene suddivisa in due contributi principali, ossia uno spostamento rigido (*spandrel displacement*) e una deformazione convessa legata

alla deformabilità della parete. Per ciascun contributo viene calcolata l'area sottesa al diagramma delle deformazioni (A_{hs} e A_{hc}) attraverso opportune equazioni.

3. I cedimenti verticali, a loro volta suddivisi in due contributi apportati dalle due componenti della deformata, vengono stimati a partire dal calcolo dell'area sottesa a ciascuno di essi (A_{vs} per la componente rigida e A_{vc} per quella convessa), come un'opportuna percentuale di A_{hs} o A_{hc} .
4. Noti A_{vs} e A_{vc} h , i massimi cedimenti δ_{vsmax} e δ_{vcmax} sono calcolati sulla base di andamenti noti lungo la superficie.
5. Infine, il cedimento totale, nel generico punto in superficie ad una distanza d dalla parete, è calcolato sommando i due contributi: vale a dire $\delta v(d) = \delta vs(d) + \delta vc(d)$

Il calcolo dell'estensione del bacino di subsidenza è stato effettuato per il manufatto adiacente lo scavo, utilizzando il software Paratie Plus: lo spostamento verticale massimo del piano campagna è di circa **1.6 mm**.

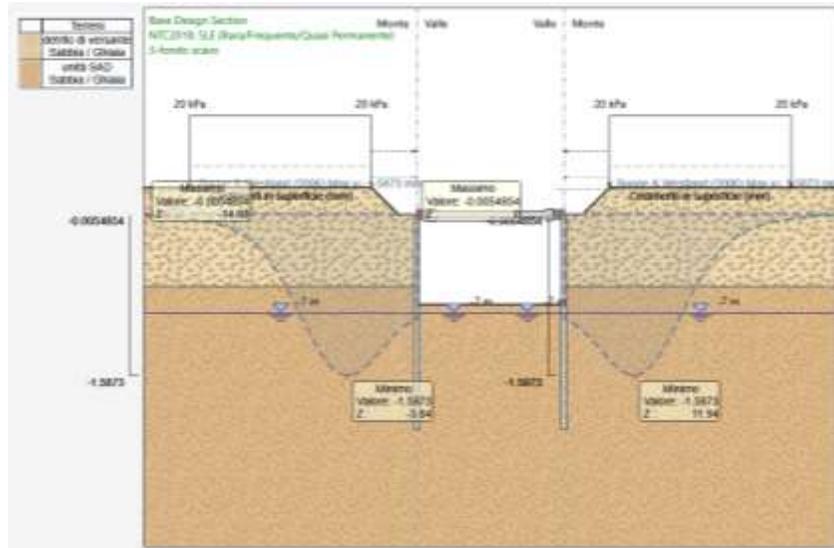


Figura 9-28 – Cedimenti superficiali in configurazione finale (Boone & Westland)

Si può quindi concludere che il cedimento del fabbricato posto in adiacenza allo scavo (distante dallo scavo almeno 5m e con piano di posa ipotizzato a 1m dal p.c.) subisca un cedimento minore rispetto al valore di soglia 10mm (Rankin, 1988; vedi schema seguente) per cui, da un’analisi preliminare, subisce un **danno trascurabile**.

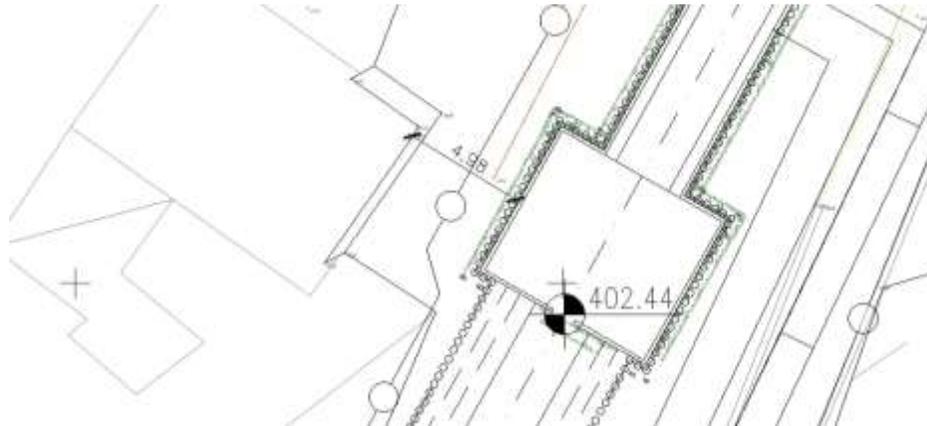


Figura 9-29 – Fabbricato adiacente allo scavo

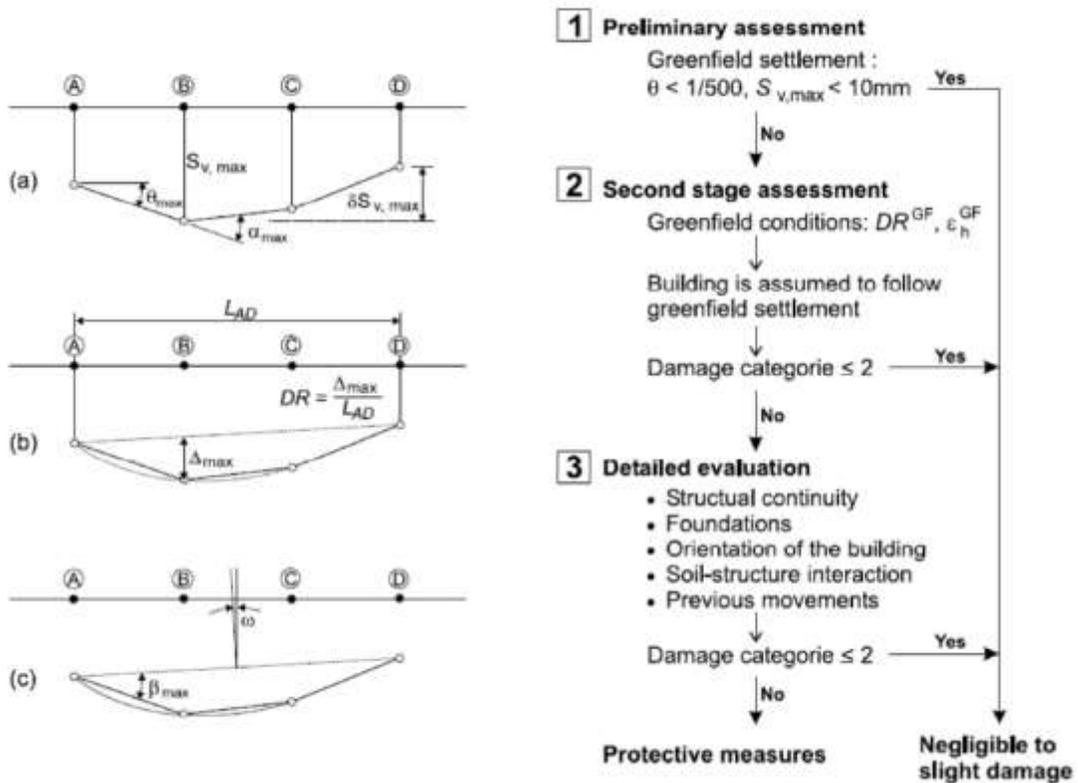


Figura 9-30 – Albero logico per la valutazione del danno

9.8.7 Verifica SLU puntoni

Le verifiche dei puntoni comprendono:

- la resistenza della sezione, aggiungendo all'azione assiale, gli effetti flettenti dovuti al peso proprio (talora non trascurabile);
- le verifiche di stabilità dell'elemento compresso, assumendo come lunghezza di libera inflessione l'interasse tra le pareti (assunzione conservativa).

Di seguito si riporta la verifica dell'elemento. Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Design Assumption: NTC2018: A2+M2+R1

Tiranti		Puntoni		Travi di Ripartizione in Acciaio		Travi di Ripartizione in Calcestruzzo		
Puntone	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	Lunghezza (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)
Strut	CHS323.9*10	S275	3.5	8.1	NTC2018: A2+M2+R1	2-prescavo, palo, puntone	-0.80568	-2.8199
Strut	CHS323.9*10	S275	3.5	8.1	NTC2018: A2+M2+R1	3.1-scavo intermedio	-27.04	-94.641
Strut	CHS323.9*10	S275	3.5	8.1	NTC2018: A2+M2+R1	3-fondo scavo	-43.589	-152.56
Strut	CHS323.9*10	S275	3.5	8.1	NTC2018: A2+M2+R1	4-sisma	-42.575	-149.01

Figura 9-31 – Sollecitazioni SLU puntone

Design Assumption:

Tiranti	Puntone	Travi di Ripartizione in Acciaio	Travi di Ripartizione in Calcestruzzo					
Puntone	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	Lunghezza (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)
Strut	CHS323.9*10	S275	3.5	8.1	NTC2018: SISMICA GE	2-prescavo, palo, puntone	-0.63576	-2.2252
Strut	CHS323.9*10	S275	3.5	8.1	NTC2018: SISMICA GE	3.1-scavo intermedio	-19.128	-66.948
Strut	CHS323.9*10	S275	3.5	8.1	NTC2018: SISMICA GE	3-fondo scavo	-30.88	-108.08
Strut	CHS323.9*10	S275	3.5	8.1	NTC2018: SISMICA GE	4-sisma	-95.126	-332.94

Figura 9-32 – Sollecitazioni SLV puntone

VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITA' PER PROFILI CAVI A SEZIONE CIRCOLARE														
Dati INPUT				Dati OUTPUT										
Caratteristiche acciaio				Dati geometrici										
Qualità acciaio:	UNI EN 10210 S 275 H			Diametro esterno	Spessore	Classe della sezione	Area sezione trasversale	Momento inerzia	Raggio giratore inerzia	Modulo resistente elastico	Modulo resistente plastico	massa per unità di lunghezza	Superf. per unità di lunghezza	Lunghezza per tonnellata
f_{yk} =	275	[Mpa]		D	T	1	A	I	i	W _{el}	W _{pl}	M	As	L/1t
f_{tk} =	430	[Mpa]		[mm]	[mm]		[cm ²]	[cm ⁴]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[kg/m]	[m ² /m]	[m]
				323.9	10.0		98.61	12158.34	11.10	750.75	985.67	77.41	1.02	12.92
Geometria sezione				Verifiche secondo NTC2018 - §4.2										
D =	323.9	[mm]		Verifica a trazione (4.2.4.1.2.1)			$N_{p,Rd}$ =	2582.76	$N_{Ed} / N_{p,Rd}$ =					
t =	10.0	[mm]		Verifica a compressione (4.2.4.1.2.2)			$N_{c,Rd}$ =	2582.76	$N_{Ed} / N_{c,Rd}$ =			0.13	verifica soddisfatta	
Lunghezza e vincoli asta				Verifica a flessione retta (4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6)			$M_{c,Rd}$ =	258.15	$M_{y,Ed} / M_{c,Rd}$ =			0.02	verifica soddisfatta	
L =	8.10	[m]		Verifica a taglio (4.2.4.1.2.4)			$V_{c,Rd}$ =	949.30	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$ =			0.00	verifica soddisfatta	
β =	1.00	[-]		Verifica a presso/tenso-flessione retta (4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.9)			Sez. Classe 1-2 $M_{N,Rd}$ =	258.15	$M_{Ed} / M_{N,Rd}$ =			0.02	verifica soddisfatta	
Sollecitazioni agenti				Verifica stabilità membrature compresse (4.2.4.1.3.1)			$N_{b,Rd}$ =	1993.61	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$ =			0.17	verifica soddisfatta	
N_{Ed} =	-333.00	[kN]		Verifica stabilità membrature presso-inflesse (4.2.4.1.3.3)			$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{F_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{F_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}}\right)} + \frac{M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{F_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}}\right)} = 0.19$						verifica soddisfatta	
V_{Ed} =	3.10	[kN]												
$M_{y,Ed}$ =	6.20	[kNm]												
ψ =	1.00													

Figura 9-33 – verifiche del puntone

9.8.8 Verifica SLU cordolo sommitale

Il passo degli elementi di contrasto definisce la luce di calcolo della trave di ripartizione. Sia q la reazione per unità di larghezza nel vincolo; la reazione complessiva Q nel puntone è quindi pari a $Q = q \cdot S$.

Il momento flettente, alle estremità 1 e 2 è pari a, rispettivamente a $M_{1,2} = \alpha_{1,2} \cdot Q \cdot S$.

Dove α_1 e α_2 sono dei parametri che permettono di regolare il valore del momento alle estremità della trave, ipotizzando un determinato schema statico di calcolo.

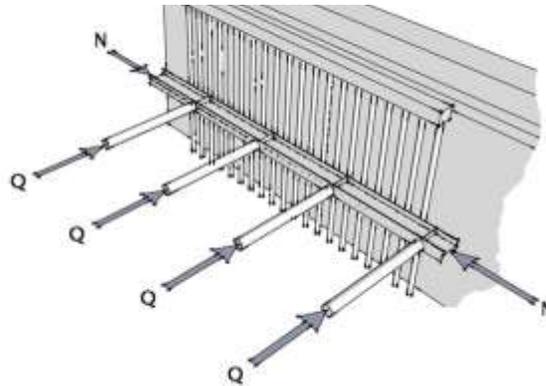


Figura 9-34 – azioni sulle travi di ripartizione (analogamente sul cordolo sommitale puntonato)

In campata, nel punto medio tra due appoggi successivi, il momento è pari a:

$$M_0 = 0.125 \cdot Q \cdot S + 0.5 \cdot (M_1 + M_2)$$

Ponendo $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ si modella la trave in semplice appoggio tra i due puntoni mentre per modellare una trave con momento negativo pari ad uno schema a doppio incastro si può assumere pone $\alpha_1 = \alpha_2 = -(1/12)$. Con tale azione sollecitante (e con eventuale azione aggiuntiva di sforzo normale N , se significativa) si verifica l’elemento.

Nel caso in esame si assume:

- $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ (trave in semplice appoggio, a vantaggio di sicurezza);
- $N = 0$ (assenza di sforzo normale, a vantaggio di sicurezza)
- $S = 3.5$ m (interasse dei puntoni)

Per il cordolo sommitale (sezione 60×50 cm) si considera: Armatura longitudinale 5 ϕ 14 superiori e inferiori, Copriferro 5cm, Armatura a taglio ϕ 10/15 a 2 bracci. Di seguito si riporta la verifica dell’elemento. Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Design Assumption: NTC2018: A2+M2+R1

Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento Momento	Sfruttamento Taglio	Area Staffe Richiesta (cm ² /m)
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: A2+M2+R1	2-prescavo, palo, puntone	-0.80568	0	0.01	0.007	7,5
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: A2+M2+R1	2-prescavo, palo, puntone	-0.80568	0	0.01	0.007	7,5
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: A2+M2+R1	3-fondo scavo	-43.589	0	0.424	0.376	7,5
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: A2+M2+R1	3-fondo scavo	-43.589	0	0.424	0.376	7,5
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: A2+M2+R1	4-sisma	-42.575	0	0.414	0.367	7,5
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: A2+M2+R1	4-sisma	-42.575	0	0.414	0.367	7,5

Figura 9-35 – Verifica SLU cordolo sommitale

Design Assumption: NTC2018: SISMICA GEO

Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento Momento	Sfruttamento Taglio	Area Staffe Richiesta (cm ² /m)
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: SISMICA GEO	2-prescavo, palo, puntone	-0.63576	0	0.01	0.005	7,5
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: SISMICA GEO	2-prescavo, palo, puntone	-0.63576	0	0.01	0.005	7,5
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: SISMICA GEO	3-fondo scavo	-30.88	0	0.3	0.266	7,5
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: SISMICA GEO	3-fondo scavo	-30.88	0	0.3	0.266	7,5
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: SISMICA GEO	4-sisma	-95.126	0	0.924	0.821	8.594
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,5	NTC2018: SISMICA GEO	4-sisma	-95.126	0	0.924	0.821	8.594

Figura 9-36 – Verifica SLV cordolo sommitale

Titolo : cordolo sommitale

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	50	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	7.70	5
2	7.70	55

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

Materiali
B450C **C25/30**
 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} 14.17 N/mm²
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
 ϵ_{syd} 1.957 ‰ $\sigma_{c,adm}$ 9.75 N/mm²
 $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm² τ_{co} 0.6 N/mm²
 τ_{c1} 1.829 N/mm²

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} kN m
 σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 34.36 ‰
d 55 cm
x 5.085 x/d 0.09245
 δ 0.7

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd

o cm Col. modello

Precompresso

Figura 9-37 – Momento resistente del cordolo sommitale

DATI SEZIONE RETTANGOLARE			
GEOMETRIA DELLA SEZIONE		MATERIALI:	
Base sezione: b=	500 mm	CALCESTRUZZO	
Altezza sezione: h =	600 mm	Classe cls	C25/30
Copriferro: c =	50 mm	fck	25 Mpa
DATI ARMATURA		fcd	14 Mpa
		γ_c	1.5
		ACCIAIO	
Armatura Longitudinale			
Diametro armatura tesa=	14 mm	fyk	450 Mpa
N° barre tese =	5	fyd	391 Mpa
Diametro armatura compressa =	14 mm	γ_s	1.15
N° barre compresse =	5		
Armatura Trasversale		AZIONI	
Diametro armatura a Taglio (// alla sezione)=	10 mm	N_{Ed} =	0.00 kN
Passo armatura a Taglio=	150 mm	V=	167.00 kN
N° bracci delle staffe=	2	γ_{Rd} =	1.00
Inclinazione staffe : α =	90 °	$V_{Ed} = V * \gamma_{Rd} =$	167.00 kN
Inclinazione puntone : θ =	45 °		

Resistenza sezioni non armate a taglio	V_{Rd}	127.46 kN
$V_{Rd} = \{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$		OCCORRE ARMATURA A TAGLIO
Resistenza sezioni armate a taglio		
Resistenza per rottura armatura a taglio	V_{Rsd}	202.73 kN
$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$		
Resistenza per sezioni armate a taglio	V_{Rcd}	876.56 kN
$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$		SEZIONE VERIFICATA
$V_{RD} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) > V_{Ed}$		202.73 kN

Figura 9-38 – Taglio resistente del cordolo sommitale

9.9 Sezione 3

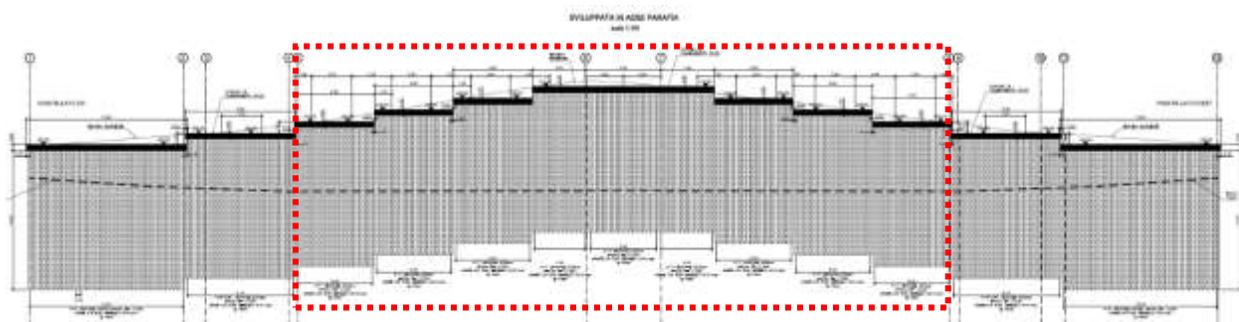


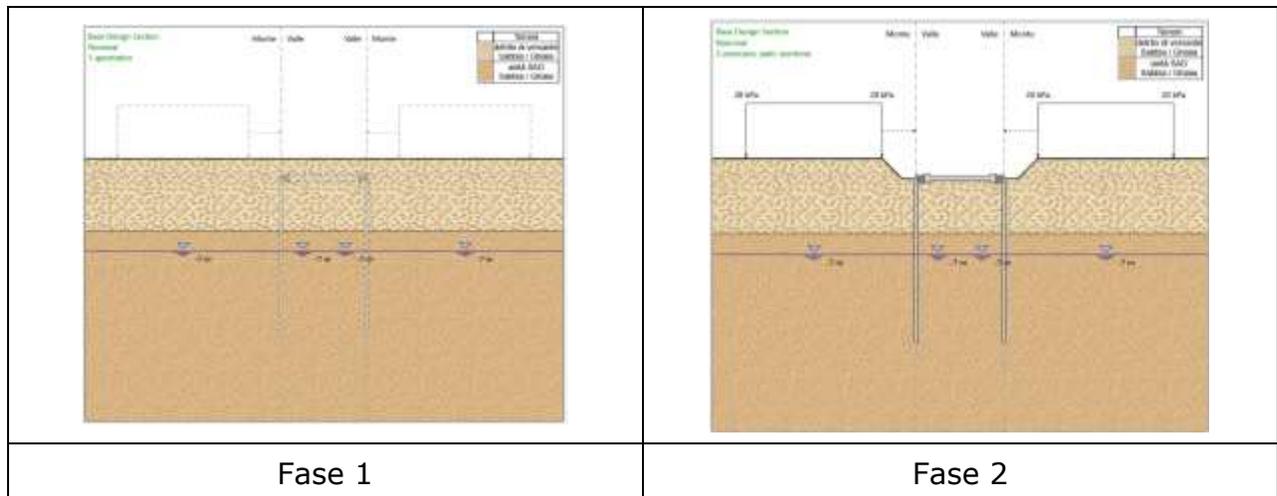
Figura 9-39 – sviluppata in asse paratia, in evidenza le sezioni tipo 3

9.9.1 Fasi realizzative

Il calcolo delle opere di sostegno è stato eseguito per fasi che possono essere così sintetizzate:

- 1) Condizioni geostatiche;
- 2) Pre scavo e realizzazione dei pali, del cordolo sommitale e dei puntoni. È presente un carico accidentale (20kPa) a monte della parete;
- 3) Fondo Scavo: si considera cautelativamente un’altezza libera massima della paratia pari a 8.5 m. È presente il carico accidentale di 20 kPa a monte della parete.

Di seguito si riportano le fasi adottate nei calcoli dei manufatti.



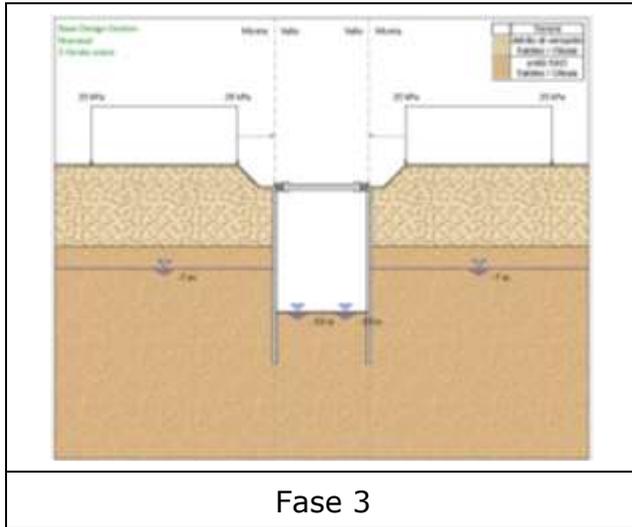
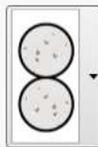


Figura 9-40 – Sezione 3, fasi di calcolo

9.9.2 Modellazione della parete e dei puntoni

Le proprietà geometriche ed inerziali della paratia e dei puntoni sono state desunte direttamente dalla libreria di Paratie Plus e sono sintetizzate nelle immagini di seguito.

Nome	MP_fi300/40cm		Da utilizzare per	<input checked="" type="checkbox"/> Muri <input checked="" type="checkbox"/> Solette (specificare il Dead Load <input type="text" value="5"/> kN/m) <input checked="" type="checkbox"/> Puntelli <input type="checkbox"/> Puntoni	
Inerzia Equivalente	<input type="text" value="0.0002"/>	m ⁴ /m			
Area Equivalente	<input type="text" value="0.0393"/>	m			
Mat. omogeneizzazione	S275				
Geometria e materiali					
<input type="radio"/> Custom Materiale <input type="text"/> Inerzia <input type="text"/> m ⁴ /m Area <input type="text"/> m ² /m					
<input checked="" type="radio"/> Diaframma o Pali					
Calcestruzzo  Materiale <input type="text" value="C20/25"/> Spessore Ct <input type="text" value="0.6"/> m Diametro Cd <input type="text" value="0.3"/> m Passo Cs <input type="text" value="0.4"/> m Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1] ac <input type="text" value="1"/>			Acciaio  Materiale <input type="text" value="S275"/> Profilo <input type="text" value="CHS219.1*10"/> Passo Ss <input type="text" value="0.4"/> m Diametro Sod <input type="text" value="0.2191"/> m Spessore Sot <input type="text" value="0.01"/> m		

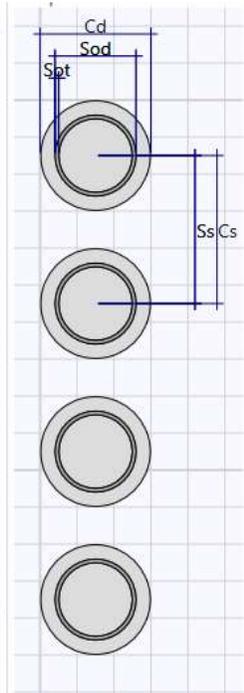


Figura 9-41 – caratteristiche geometriche della parete

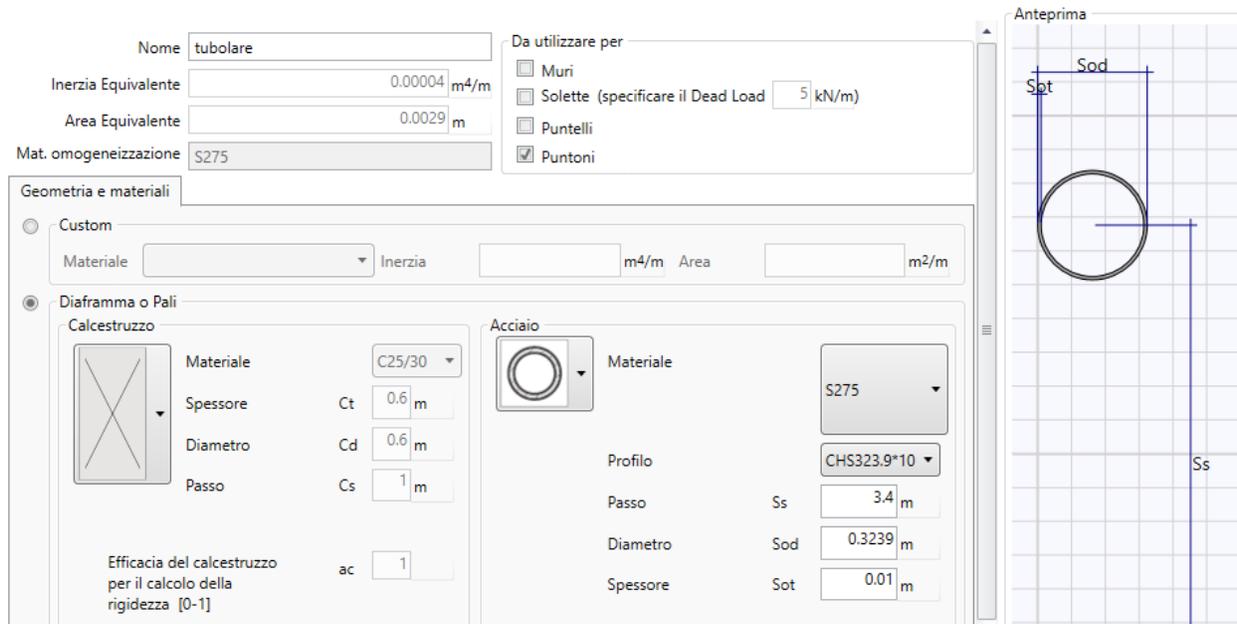


Figura 9-42 – caratteristiche geometriche dei puntoni

9.9.3 Risultati delle analisi

Si riportano di seguito i risultati ottenuti in termini di involuppo (SLU A1+M1+R1, SLU A2+M2+R1, SISMA STR, SISMA GEO) delle caratteristiche delle sollecitazioni.

Sulla parete		i [m]	Sul singolo palo	
M [kNm/m]	T [kN/m]		M [kNm]	T [kN]
147.50	159.48	0.4	59.00	63.79

Tabella 9-7– sintesi delle sollecitazioni massime

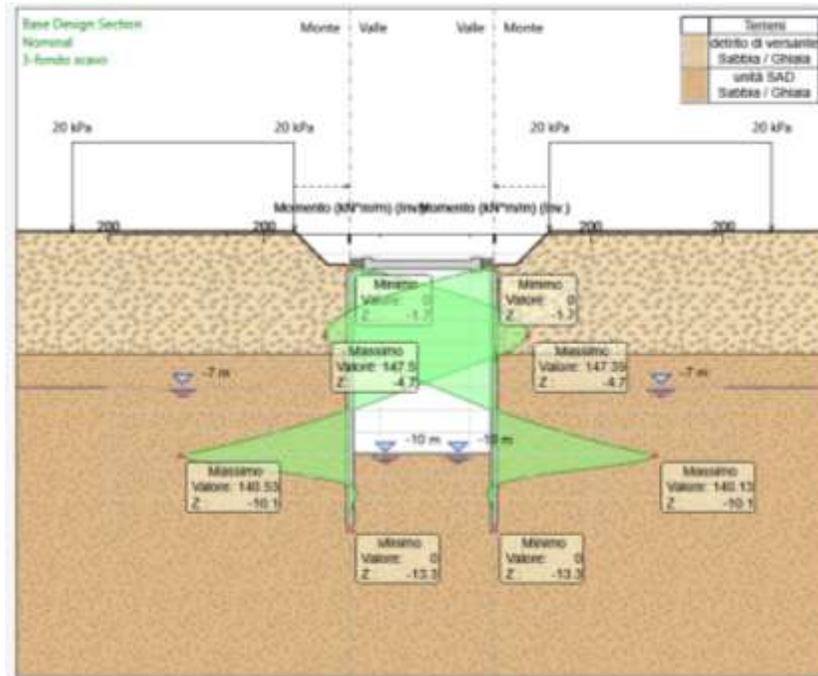


Figura 9-43 – Involuppo del momento flettente (SLU/SLV)

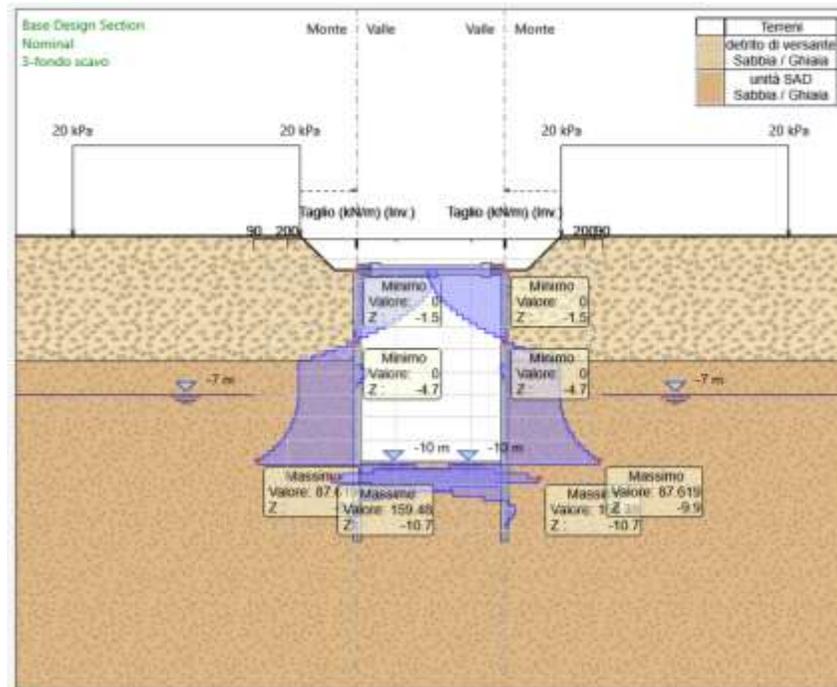


Figura 9-44 – involuppo del taglio (SLU/SLV)

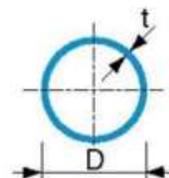
9.9.4 Verifiche SLU paratia

L'armatura prevista è un **tubolare in acciaio S275 ϕ 219.1x10**. Di seguito si riportano i risultati delle verifiche.

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

**PROFILI CAVI PER LA COSTRUZIONE FORMATI A CALDO
EN 10210**

Dimensioni e caratteristiche dei profili cavi a sezione circolare



Diametro esterno	Spessore	Massa a ml	Area della sezione	Momento d'inerzia	Raggio d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Modulo di resistenza plastico	Momento d'inerzia di torsione	Costante di torsione	Superficie esterna a ml	Lunghezza per ton
D mm	t mm	M kg/m	A cm ²	I cm ⁴	i cm	W _{el} cm ³	W _{pl} cm ³	I _t cm ⁴	C _t cm ³	m ² /m	m/t
219,1	5,0	26,4	33,6	1928	7,57	176	229	3856	352	0,688	37,9
219,1	6,0	31,5	40,2	2282	7,54	208	273	4564	417	0,688	31,7
219,1	6,3	33,1	42,1	2386	7,53	218	285	4772	436	0,688	30,2
219,1	8,0	41,6	53,1	2960	7,47	270	357	5919	540	0,688	24,0
219,1	10,0	51,6	65,7	3598	7,40	328	438	7197	657	0,688	19,4
219,1	12,0	61,3	78,1	4200	7,33	383	515	8400	767	0,688	16,3
219,1	12,5	63,7	81,1	4345	7,32	397	534	8689	793	0,688	15,7
219,1	16,0	80,1	102	5297	7,20	483	661	10593	967	0,688	12,5
219,1	20,0	98,2	125	6261	7,07	572	795	12523	1143	0,688	10,2

DATI DELLA SEZIONE:		
interasse =	0.40	[m]
Y _{M0} =	1.05	[-]
f _{yk} =	275	[N/mm ²]
W _{pl} =	438	[cm ³]
	438000	[mm ³]
A =	65.70	[cm ²]
A _v =	41.83	[cm ²]
	4182.59	[mm ²]

NTC18 §4.2.4.1.2.3	
$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} =$	114.71 [kNm]
<i>al metro lineare di parete =</i>	286.79 [kNm/m]
NTC18 §4.2.4.1.2.4	
$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} =$	632.45 [kN]
<i>al metro lineare di parete =</i>	1581.13 [kN/m]

Figura 9-45 – Momento e taglio resistente del tubolare

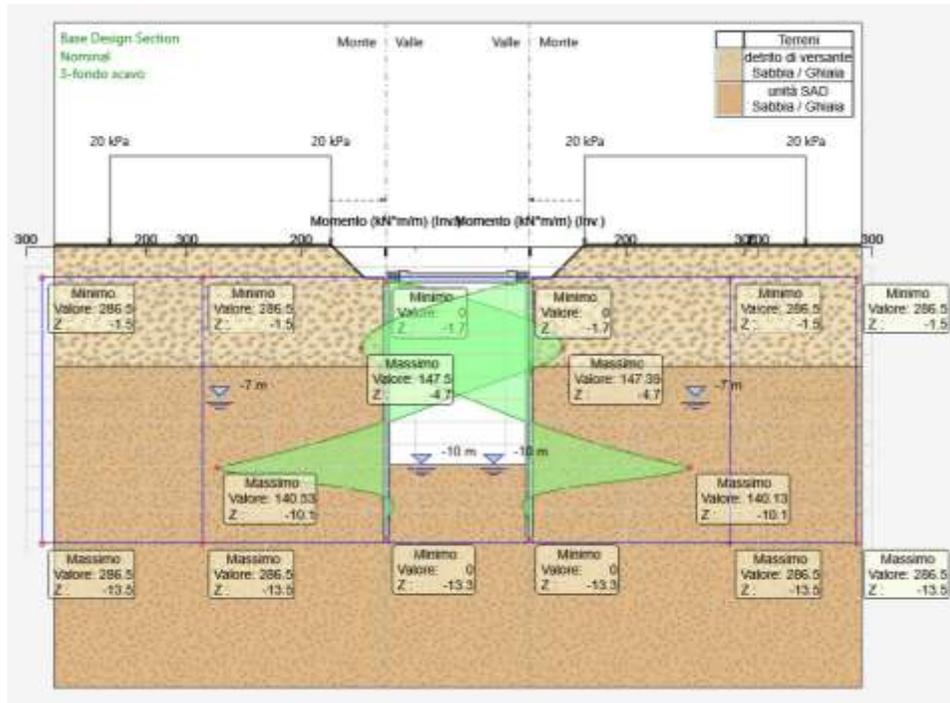


Figura 9-46 – Confronto involuppo momento SLU/SLV e momento resistente

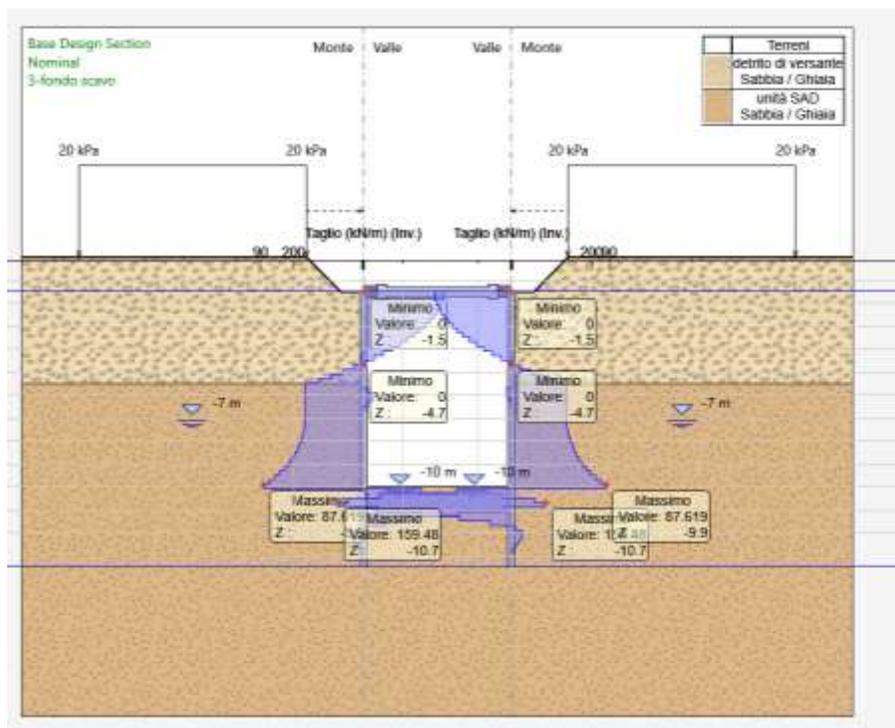


Figura 9-47 – Confronto involucro taglio SLU/SLV e taglio resistente

9.9.5 Verifiche SLE paratia

Si riportano di seguito le configurazioni deformate delle paratie nelle combinazioni SLE. Gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante risultano compatibili con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza dei manufatti adiacenti, anche alla luce delle ipotesi cautelative poste alla base del calcolo.

Combinazione SLE Δ_{max} [mm]
13.4

Tabella 9-8 – Spostamenti massimi della parte libera della parete

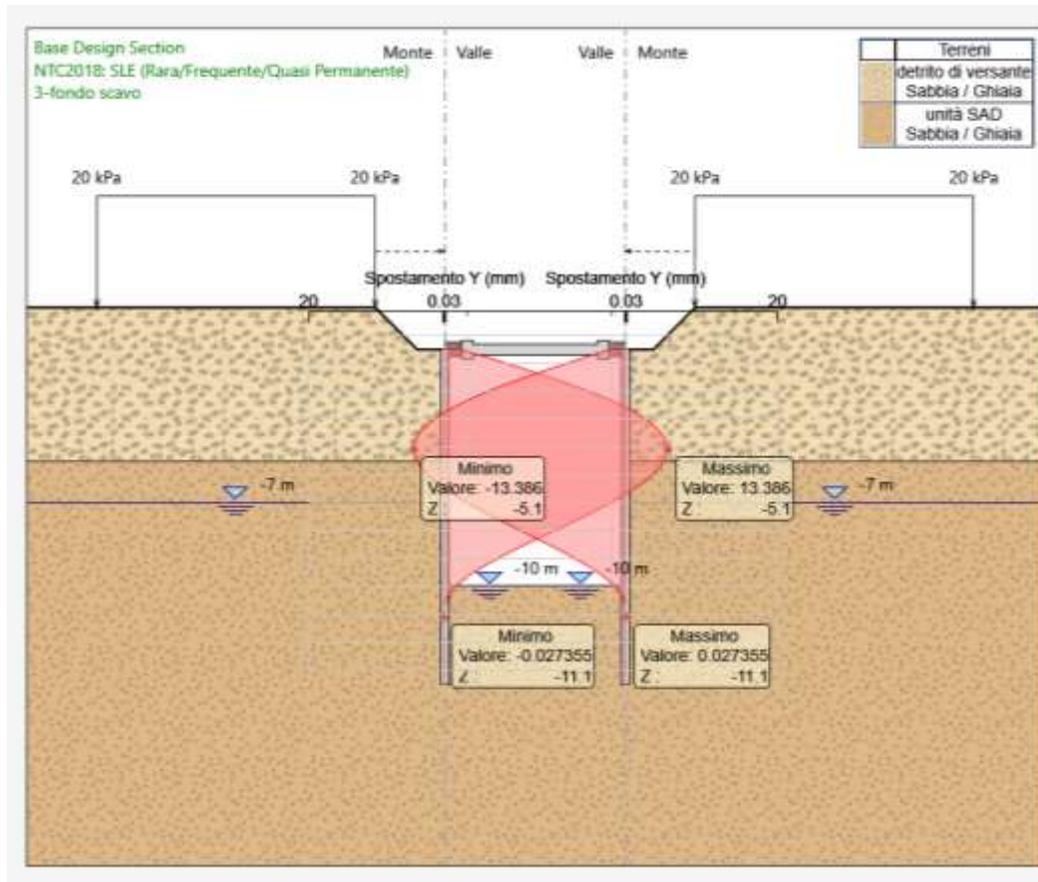


Figura 9-48 – configurazione deformata SLE

9.9.6 Verifica SLU puntoni

Le verifiche dei puntoni comprendono:

- la resistenza della sezione, aggiungendo all'azione assiale, gli effetti flettenti dovuti al peso proprio (talora non trascurabile);

- le verifiche di stabilità dell'elemento compresso, assumendo come lunghezza di libera inflessione l'interasse tra le pareti (assunzione conservativa).

Di seguito si riporta la verifica dell'elemento. Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Design Assumption: NTC2018: A2+M2+R1

Tiranti	Puntone	Travi di Ripartizione in Acciaio		Travi di Ripartizione in Calcestruzzo				
Puntone	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	Lunghezza (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)
Strut	CHS323.9*10	S275	3.4	6.5	NTC2018: A2+M2+R1	2-prescavo, palo, puntone	-1.0202	-3.4686
Strut	CHS323.9*10	S275	3.4	6.5	NTC2018: A2+M2+R1	3.1-scavo intermedio (-4)	-25.718	-87.441
Strut	CHS323.9*10	S275	3.4	6.5	NTC2018: A2+M2+R1	3.2-scavo intermedio (-8)	-56.893	-193.44
Strut	CHS323.9*10	S275	3.4	6.5	NTC2018: A2+M2+R1	3-fondo scavo	-71.031	-241.5

Figura 9-49 – Sollecitazioni SLU puntone

VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITA' PER PROFILI CAVI A SEZIONE CIRCOLARE														
Dati INPUT				Dati OUTPUT										
Caratteristiche acciaio				Dati geometrici										
Qualità acciaio:	UNI EN 10210 S 275 H			Diametro esterno	Spessore	Classe della sezione	Area sezione trasversale	Momento inerzia	Raggio giratore inerzia	Modulo resistente elastico	Modulo resistente plastico	massa per unità di lunghezza	Superf. per unità di lunghezza	Lunghezza per tonnellata
f_{yk} =	275	[Mpa]		D	T	1	A	I	i	W _{el}	W _{pl}	M	As	L/1t
f_{tk} =	430	[Mpa]		[mm]	[mm]		[cm ²]	[cm ⁴]	[cm]	[cm ³]	[cm ³]	[kg/m]	[m ² /m]	[m]
				323.9	10.0		98.61	12158.34	11.10	750.75	985.67	77.41	1.02	12.92
Geometria sezione				Verifiche secondo NTC2018 - §4.2										
D =	323.9	[mm]		Verifica a trazione (4.2.4.1.2.1)			$N_{p,Rd}$ =	2582.76	$N_{Ed} / N_{p,Rd}$ =					
t =	10.0	[mm]		Verifica a compressione (4.2.4.1.2.2)			$N_{c,Rd}$ =	2582.76	$N_{Ed} / N_{c,Rd}$ =		0.09		verifica soddisfatta	
Lunghezza e vincoli asta				Verifica a flessione retta (4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6)			$M_{c,Rd}$ =	258.15	$M_{y,Ed} / M_{c,Rd}$ =		0.02		verifica soddisfatta	
L =	6.50	[m]		Verifica a taglio (4.2.4.1.2.4)			$V_{c,Rd}$ =	949.30	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$ =		0.00		verifica soddisfatta	
β =	1.00	[-]		Verifica a presso/tenso-flessione retta (4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.9)			$M_{N,Rd}$ =	258.15	$M_{Ed} / M_{N,Rd}$ =		0.02		verifica soddisfatta	
Sollecitazioni agenti				Verifica stabilità membrature compresse (4.2.4.1.3.1)			$N_{b,Rd}$ =	2219.83	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$ =		0.11		verifica soddisfatta	
N_{Ed} =	-241.50	[kN]		Verifica stabilità membrature presso-inflesse (4.2.4.1.3.3)			$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{Z_{xx} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_{y1} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}}\right)} + \frac{M_{z,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_{z1} \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}}\right)} = 0.12$					verifica soddisfatta		
V_{Ed} =	3.30	[kN]												
$M_{y,Ed}$ =	5.20	[kNm]												
ψ =	1.00													

Figura 9-50 – verifiche del puntone

9.9.7 Verifica SLU cordolo sommitale

Il passo degli elementi di contrasto definisce la luce di calcolo della trave di ripartizione. Sia q la reazione per unità di larghezza nel vincolo; la reazione complessiva Q nel puntone è quindi pari a $Q = q \cdot S$.

Il momento flettente, alle estremità 1 e 2 è pari a, rispettivamente a $M_{1,2} = \alpha_{1,2} \cdot Q \cdot S$.

Dove α_1 e α_2 sono dei parametri che permettono di regolare il valore del momento alle estremità della trave, ipotizzando un determinato schema statico di calcolo.

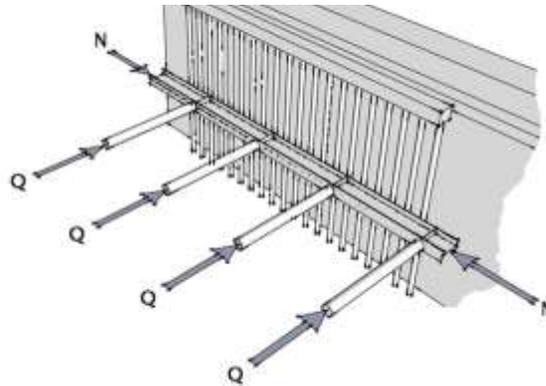


Figura 9-51 – azioni sulle travi di ripartizione (analogamente sul cordolo sommitale puntonato)

In campata, nel punto medio tra due appoggi successivi, il momento è pari a:

$$M_0 = 0.125 \cdot Q \cdot S + 0.5 \cdot (M_1 + M_2)$$

Ponendo $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ si modella la trave in semplice appoggio tra i due puntone mentre per modellare una trave con momento negativo pari ad uno schema a doppio incastro si può assumere pone $\alpha_1 = \alpha_2 = -(1/12)$. Con tale azione sollecitante (e con eventuale azione aggiuntiva di sforzo normale N , se significativa) si verifica l’elemento.

Nel caso in esame si assume:

- $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ (trave in semplice appoggio, a vantaggio di sicurezza);
- $N = 0$ (assenza di sforzo normale, a vantaggio di sicurezza)
- $S = 3.4$ m (interasse dei puntoni)

Per il cordolo sommitale (sezione 60×50 cm) si considera: Armatura longitudinale 5 ϕ 14 superiori e inferiori, Copriferro 5cm, Armatura a taglio ϕ 10/15 a 2 bracci. Di seguito si riporta la verifica dell’elemento.

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Design Assumption: NTC2018: A2+M2+R1

Tiranti | Puntoni | Travi di Ripartizione in Acciaio | Travi di Ripartizione in Calcestruzzo

Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento Momento	Sfruttamento Taglio	Area Staffe Richiesta (cm ² /m)
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,4	NTC2018: A2+M2+R1	2-prescavo, palo, puntone	-1.0202	0	0,01	0,009	7,5
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,4	NTC2018: A2+M2+R1	2-prescavo, palo, puntone	-1.0202	0	0,01	0,009	7,5
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,4	NTC2018: A2+M2+R1	3.1-scavo intermedio (-4)	-25.718	0	0,236	0,216	7,5
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,4	NTC2018: A2+M2+R1	3.1-scavo intermedio (-4)	-25.718	0	0,236	0,216	7,5
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,4	NTC2018: A2+M2+R1	3.2-scavo intermedio (-8)	-56.893	0	0,522	0,477	7,5
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,4	NTC2018: A2+M2+R1	3.2-scavo intermedio (-8)	-56.893	0	0,522	0,477	7,5
sinistra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,4	NTC2018: A2+M2+R1	3-fondo scavo	-71.031	0	0,651	0,595	7,5
destra	Strut	sezione cordolo	B450C	3,4	NTC2018: A2+M2+R1	3-fondo scavo	-71.031	0	0,651	0,595	7,5

Figura 9-52 – Verifica SLU cordolo sommitale

Titolo : cordolo sommitale

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	50	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	7.70	5
2	7.70	55

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

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

Materiali

E_{su} ‰ E_{c2} ‰
 f_{yd} N/mm² E_{cu} ‰
 E_s N/mm² f_{cd} ‰
 E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
 E_{syd} ‰ σ_{c,adm} ‰
 σ_{s,adm} N/mm² τ_{co} τ_{c1}

Tipo rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ε_c ‰
 ε_s ‰
 d cm
 x x/d
 δ

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

Tipo flessione
 Retta Deviate

N° rett.

Calcola MRd

o cm Col. modello

Precompresso

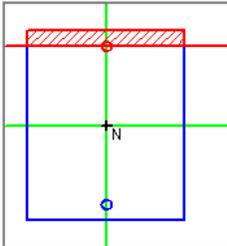


Figura 9-53 – Momento resistente del cordolo sommitale

DATI SEZIONE RETTANGOLARE			
GEOMETRIA DELLA SEZIONE		MATERIALI:	
Base sezione: b=	500 mm	CALCESTRUZZO	
Altezza sezione: h =	600 mm	Classe cls	C25/30
Copriferro: c =	50 mm	fck	25 Mpa
DATI ARMATURA		fcd	14 Mpa
		γ_c	1.5
		ACCIAIO	
Armatura Longitudinale			
Diametro armatura tesa=	14 mm	fyk	450 Mpa
N° barre tese =	5	fyd	391 Mpa
Diametro armatura compressa =	14 mm	γ_s	1.15
N° barre compresse =	5		
Armatura Trasversale		AZIONI	
Diametro armatura a Taglio (// alla sezione)=	10 mm	N_{Ed} =	0.00 kN
Passo armatura a Taglio=	150 mm	V=	167.00 kN
N° bracci delle staffe=	2	γ_{Rd} =	1.00
Inclinazione staffe : α =	90 °	$V_{Ed} = V * \gamma_{Rd} =$	167.00 kN
Inclinazione puntone : θ =	45 °		

Resistenza sezioni non armate a taglio	V_{Rd}	127.46 kN
$V_{Rd} = \{0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp}\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$		OCCORRE ARMATURA A TAGLIO
Resistenza sezioni armate a taglio		
Resistenza per rottura armatura a taglio	V_{Rsd}	202.73 kN
$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha$		
Resistenza per sezioni armate a taglio	V_{Rcd}	876.56 kN
$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta)$		SEZIONE VERIFICATA
$V_{RD} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) > V_{Ed}$		202.73 kN

Figura 9-54 – Taglio resistente del cordolo sommitale

9.10 Riepilogo incidenze

Si riporta di seguito un riepilogo delle incidenze per i vari elementi strutturali:

Elemento	Dim.	Punitario [Kg/m]	L _{tot} [m]	V _{cls} [m ³]	Incidenza [kg/m ³]	P _{tot_acciaio} [kg]
TUBOLARI MICROPALI	φ323.9 x10	77.4	257.12m = 3084 m	-	-	238'702
PUNTONI	φ219.1 x10	51.6	7.5.9m + 2.7.5m + 2.3.84m = 63.98 m	-	-	3'301
CORDOLO	Cls 50x60	-	102.3	31	90	2'790