



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione



Regione Lombardia

Provincia di Milano

Legge n. 345/97

Accordo di programma quadro in materia di trasporti

Realizzazione di un sistema integrato di accessibilità ferroviaria e stradale
all'aeroporto di Malpensa 2000

(CONVENZIONE DEL 29.10.1999)

Collegamento tra la S.S.n.11 "Padana Superiore" a Magenta
e la Tangenziale ovest di Milano
Variante di Abbiategrasso sulla S.S.n.494 e adeguamento in sede
del tratto Abbiategrasso Vigevano fino al nuovo ponte sul Ticino

PROGETTO DEFINITIVO - 1° STRALCIO FUNZIONALE

D - OPERE D'ARTE MAGGIORI

TRATTA A : MAGENTA - ALBAIRATE
GA05 - Svincolo n.4 (Progr.Km 8+380)
Galleria artificiale L=490m: relazione di calcolo

Revisioni	Controllato	Approvato	Data :Dicembre 2008.....	Scala :-.....
			Agg.to :Novembre 2014.....	All.to n.D.6.3.....

Progettazione :



Società Esercizi Aeroportuali s.p.a.
20090 Aeroporto Milano Linate tel. 02/74851

Progettazione redatta da :



Il Progettista :

Il Direttore Tecnico
Dott.Ing. Alberto RINALDI

Visto
La Direzione Centrale Progettazione :
Dott. Ing. Nicola DINNELLA

Visto
Il Responsabile del Procedimento :
Dott. Ing. Domenico PETRUZZELLI

INDICE

1	PREMESSE	4
1.1	Criteri di calcolo	6
2	NORMATIVA.....	7
2.1	Normativa tecnica di riferimento	7
2.1.1	Geotecnica.....	7
2.1.2	Materiali	7
2.1.3	Costruzioni in c.a. e acciaio.....	7
2.1.4	Ponti stradali.....	7
2.1.5	Sismica	8
2.2	Normativa tecnica vigente	8
2.3	Bibliografia e altri riferimenti	8
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	9
3.1	Calcestruzzo	9
3.1.1	Calcestruzzo per pali, fondazioni, diaframmi e elevazioni.....	9
3.1.2	Calcestruzzo per soletta impalcato.....	9
3.1.3	Calcestruzzo per profili redirettivi, lastra prefabbricata elevazioni, predalles impalcato	9
3.1.4	Calcestruzzo per travi prefabbricate, puntoni prefabbricati	10
3.1.5	Miscela cementizia jet-grouting	10
3.2	Acciaio	10
3.2.1	Acciaio in barre per getti	10
3.2.2	Acciaio palancole.....	10
3.3	Durabilità dei materiali	11
3.3.1	Conglomerati cementizi	11
3.4	Resistenza al fuoco	12
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	13
4.1	Stratigrafie di riferimento.....	13
4.2	Stratigrafie di calcolo	17
5	CRITERI DI CALCOLO.....	19
5.1	Modelli strutturali galleria	19
5.1.1	Modello A-0 (Fase 0)	20
5.1.2	Modello A-1 (Fase 1)	22
5.1.3	Modello A-2 (Fase 2)	23
5.1.4	Modello A-3 (Fase 3)	23
5.1.5	Modello A-4 (Fase 4)	23
5.1.6	Modello B.....	25
5.1.7	Modello C.....	25
5.2	Modello strutturale paratie	27
5.2.1	Metodo di soluzione.....	27
5.2.2	Analisi ad elementi finiti	28
6	ANALISI DEI CARICHI	31
6.1	Azioni permanenti strutturali (G ₁).....	31
6.1.1	Peso proprio	31
6.2	Azioni permanenti non strutturali (G ₂).....	32
6.2.1	Terreno riempimento	32
6.3	Spinta del terreno (G ₃).....	32
6.4	Azione sismica (E)	32
6.4.1	Stati limite di progetto sismici	33

6.4.2	<i>Spettri di risposta</i>	33
6.4.3	<i>Masse efficaci e variabilità del moto sismico</i>	39
6.4.4	<i>Amplificazione sismica di progetto</i>	39
6.5	Ritiro del calcestruzzo (ϵ_2)	41
6.6	Variazioni termiche (ϵ_3).....	43
6.7	Cedimenti vincolari (ϵ_4)	43
6.8	Azioni accidentali da traffico veicolare (Q_1)	43
6.8.1	<i>Azioni sull'impalcato</i>	43
6.8.2	<i>Spinte sui piedritti</i>	46
6.8.3	<i>Azioni sopra la fondazione</i>	48
6.9	Azioni di frenatura (Q_3)	48
7	ANALISI GALLERIA CONCIO 12.....	50
7.1	Combinazioni di carico.....	50
7.1.1	<i>Stati Limite Ultimi</i>	50
7.1.2	<i>Combinazioni di carico delle verifiche</i>	53
7.2	Modelli di calcolo	55
7.2.1	<i>Modello A</i>	55
7.2.2	<i>Modello B</i>	57
7.3	Sollecitazioni di calcolo.....	58
7.3.1	<i>Travi impalcato</i>	58
7.3.2	<i>Galleria fase 2</i>	61
7.3.3	<i>Galleria fase 3</i>	63
7.3.4	<i>Galleria fase 4</i>	66
7.4	Verifiche degli elementi in cemento armato.....	72
7.4.1	<i>Verifiche agli Stati Limite Ultimi</i>	72
7.4.2	<i>Verifiche agli Stati Limite di Esercizio</i>	73
7.4.3	<i>Verifiche allo Stato Limite di Fessurazione</i>	73
7.4.4	<i>Verifiche strutturali travi di impalcato</i>	75
7.4.5	<i>Verifiche strutturali pali</i>	82
7.4.6	<i>Verifiche strutturali diaframmi</i>	84
7.4.7	<i>Verifiche strutturali fondazione</i>	86
7.4.8	<i>Verifiche strutturali controparete</i>	89
7.4.9	<i>Verifiche strutturali elevazioni</i>	91
7.5	Verifiche geotecniche fondazioni.....	93
7.5.1	<i>Resistenza di progetto a carichi assiali</i>	93
7.5.2	<i>Resistenza di progetto a carichi trasversali</i>	98
7.5.3	<i>Verifica dei pali di fondazione</i>	99
7.5.4	<i>Verifica dei diaframmi</i>	99
7.5.5	<i>Tabelle di verifica</i>	99
7.6	Verifiche idrauliche	102
7.6.1	<i>Verifica al sollevamento</i>	102
8	ANALISI GALLERIA CONCIO 3.....	104
8.1	Schema di calcolo.....	104
8.2	Risultati delle analisi	105
8.2.1	<i>Condizioni di carico</i>	105
8.2.2	<i>Combinazioni di carico</i>	105
8.2.3	<i>Sollecitazioni nodali</i>	107
8.2.4	<i>Spostamenti nodali</i>	109
8.3	Verifiche strutturali	110
8.3.1	<i>Verifiche pressoflessione e taglio SLU</i>	110
8.3.2	<i>Verifiche pressoflessione SLE</i>	110
8.4	Verifica geotecnica fondazione.....	112
8.4.1	<i>Verifica di capacità portante allo Stato Limite Ultimo</i>	112
8.4.2	<i>Verifica dei cedimenti allo Stato Limite di Esercizio</i>	114

9	ANALISI GALLERIA CONCIO 7	115
9.1	Schema di calcolo.....	115
9.2	Risultati delle analisi	116
9.2.1	<i>Condizioni di carico</i>	116
9.2.2	<i>Sollecitazioni nodali</i>	116
9.2.3	<i>Spostamenti nodali</i>	118
9.3	Verifiche strutturali	120
9.3.1	<i>Verifiche pressoflessione e taglio SLU</i>	120
9.3.2	<i>Verifiche pressoflessione SLE</i>	121
9.4	Verifica geotecniche fondazione.....	121
10	ANALISI PALANCOLE	122
10.1	Schema di calcolo.....	122
10.2	Risultati delle analisi	123
10.2.1	<i>Condizioni di carico</i>	123
10.2.2	<i>Sollecitazioni nodali</i>	123
10.2.3	<i>Spostamenti nodali</i>	124
10.3	Verifiche strutturali paratia	125
10.4	Verifica di stabilità globale	126
10.5	Verifiche idrauliche	126
10.5.1	<i>Verifica a sifonamento</i>	126
10.5.2	<i>Verifica al sollevamento del fondo scavo</i>	127
11	ALLEGATI DI CALCOLO.....	128

1 PREMESSE

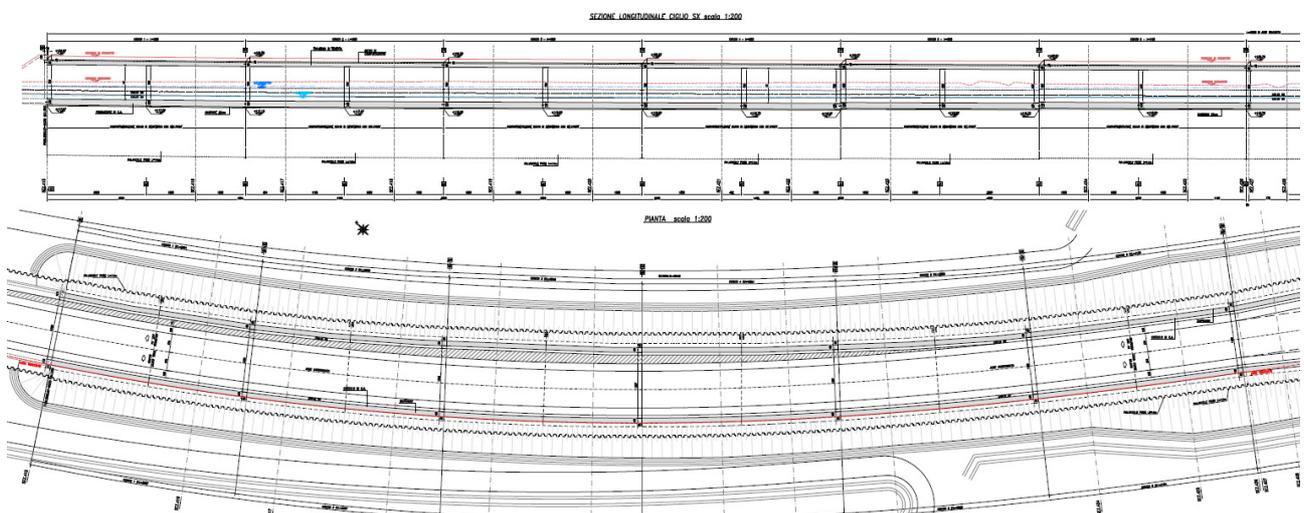
Oggetto della presente relazione sono le opere facenti parte del progetto definitivo del collegamento tra la S.S 11 "Padana Superiore" a Magenta e la Tangenziale Ovest di Milano, variante di Abbiategrasso sulla S.S. 494 e adeguamento del tratto Abbiategrasso – Vigevano fino al nuovo ponte sul Ticino.

La presente relazione è relativa all'analisi e al dimensionamento della galleria artificiale GA05, di lunghezza 490 m circa e realizzata con due modalità, un primo tratto a sezione scatolare in c.a. con scavo in aggettamento acque e un secondo tratto in diaframmi e pali trivellati con impermeabilizzazione provvisoria con tappo in jet-grouting, opere progettate in accordo con i profili di soggiacenza individuati nella documentazione geologico-geotecnica di riferimento.

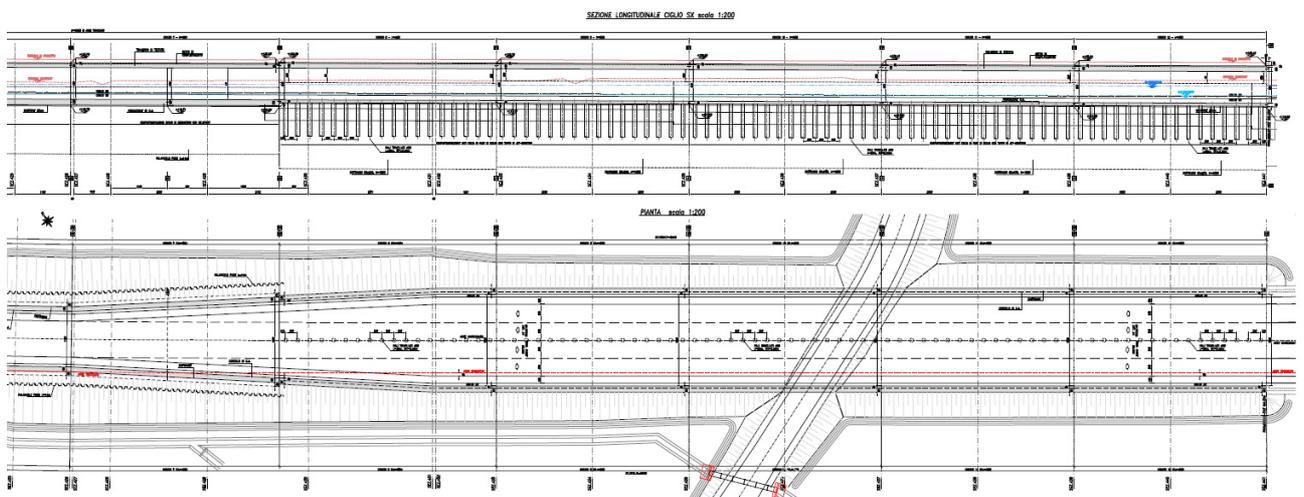
Tutta la soletta di impalcato è realizzata in elementi prefabbricati (puntoni e travi in c.a.p.) e soletta in c.a. in opera collaborante.

Gli scavi a cielo aperto sono realizzati con palancolati provvisori metallici e sono dotati di impianti di aggettamento e smaltimento delle acque in fase di cantierizzazione.

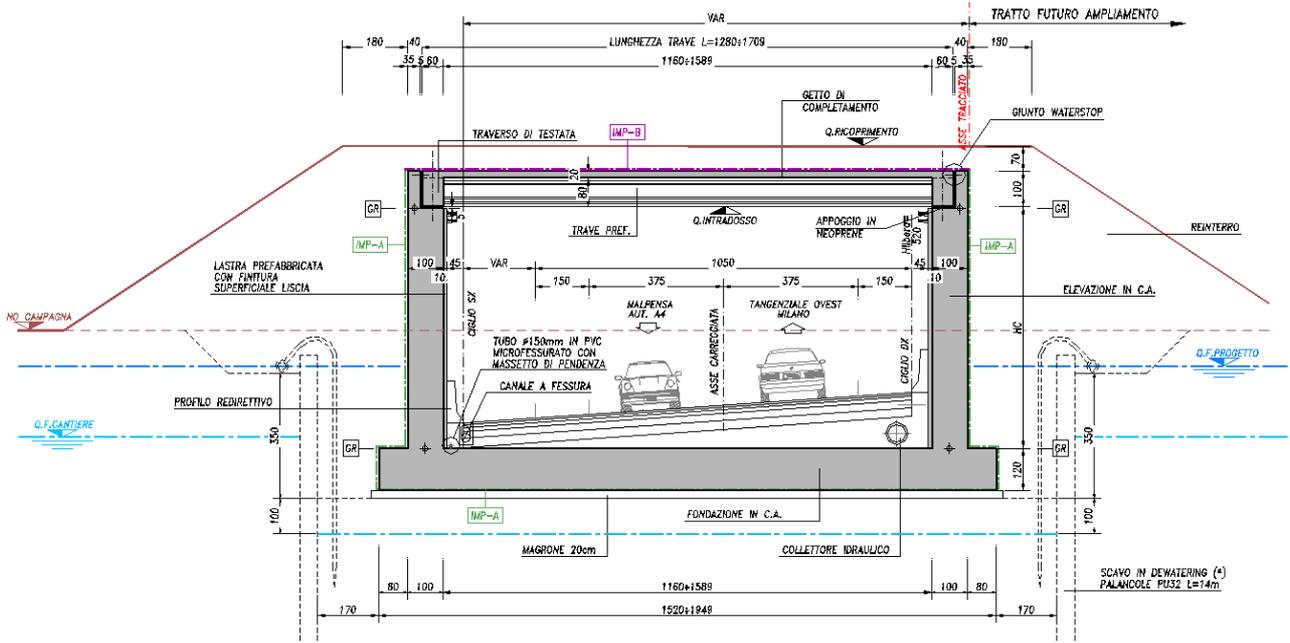
Nel seguito si riportano i metodi di calcolo, le ipotesi adottate e le principali verifiche strutturali, geotecniche e idrauliche.



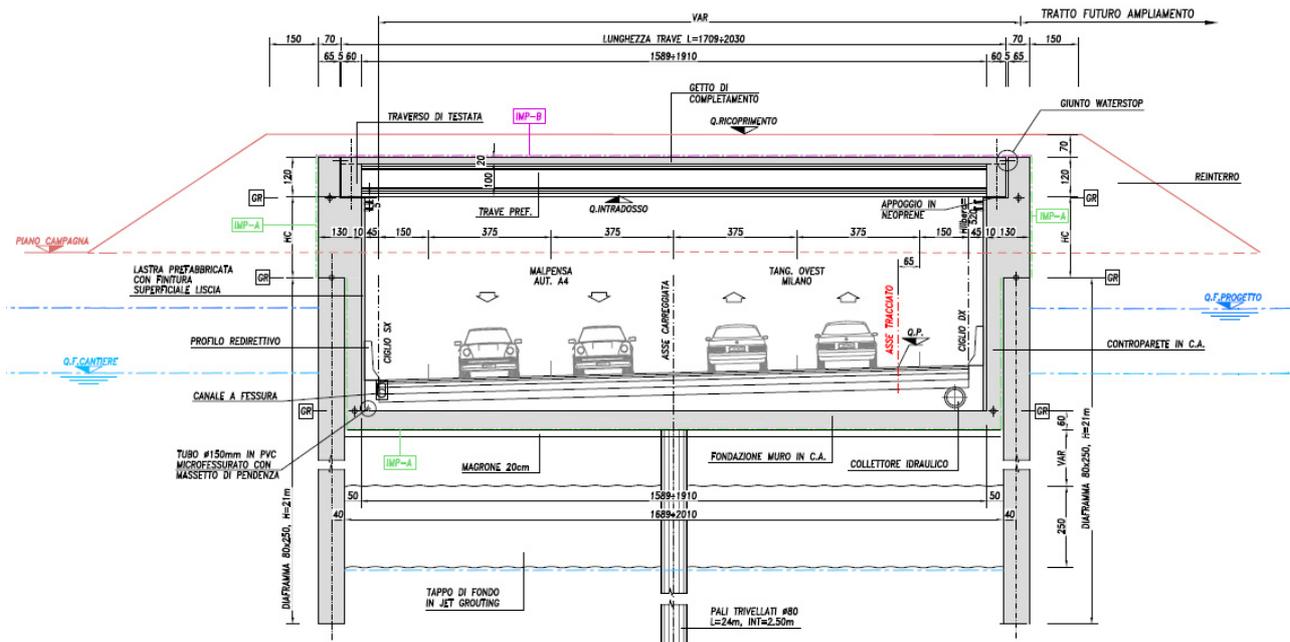
Pianta e profilo generale del primo tratto



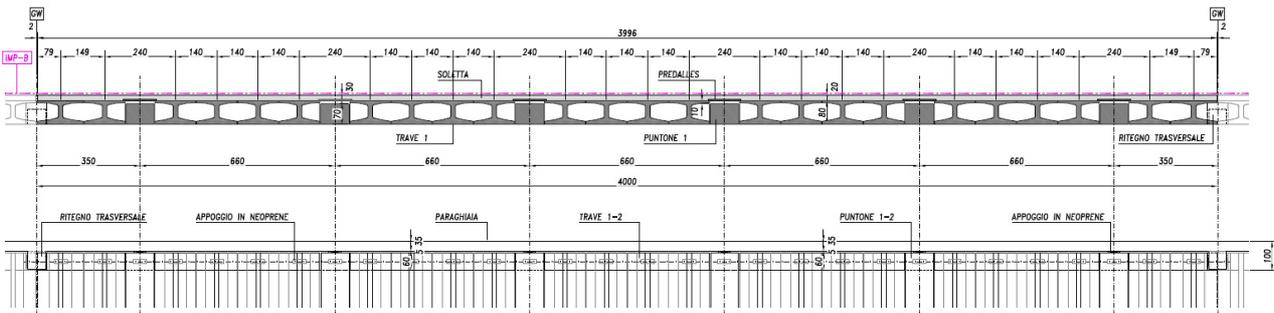
Pianta e profilo generale del secondo tratto



Sezione tipo del primo tratto



Sezione tipo del secondo tratto



Sezione trasversale tipo dell'impalcato

1.1 Criteri di calcolo

Le opere oggetto della presente relazione sono state progettate e calcolate secondo i metodi della scienza delle costruzioni, adottando per le verifiche il criterio degli stati limite (S.L.).

I criteri generali di sicurezza, le azioni di calcolo e le caratteristiche dei materiali sono stati assunti in conformità con il D.M. 14.01.2008 – “Norme tecniche per le costruzioni” e relativa circolare esplicativa (Circolare 02.02.2009 n. 617/C.S.LL.PP.).

Con riferimento alle NTC, per le opere in oggetto si considerano i seguenti parametri di calcolo:

Vita nominale	$V_N = 50$ anni (§ 2.4.1 “Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale”)
Classe d'uso	IV (§ 2.4.2, “Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l’ambiente. Reti viarie di tipo A o B e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.”)
Coefficiente d'uso	$C_U = 2.0$
Periodo di riferimento	$V_R = V_N * C_U = 100$ anni ≥ 35 anni

Le opere provvisionali, accessorie alla realizzazione delle opere in progetto, sono state sempre progettate e calcolate adottando il criterio degli stati limite (S.L.), con i seguenti parametri di calcolo:

Vita nominale	$V_N = 10$ anni (§ 2.4.1 “Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva”)
Classe d'uso	II (§ 2.4.2, “Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l’ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d’uso III o in Classe d’uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti”)
Coefficiente d'uso	$C_U = 1.0$
Periodo di riferimento	$V_R = V_N * C_U = 10$ anni ≥ 35 anni $\rightarrow 35$ anni

2 **NORMATIVA**

Si riportano nel seguito la normativa tecnica adottata per il dimensionamento delle opere strutturali.

2.1 **Normativa tecnica di riferimento**

2.1.1 **Geotecnica**

- 1) Circ. Dir. Centr. Tecn. N°97/81 "Istruzioni relative alle 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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- 2) D.M. 11.03.1988 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- 3) Raccomandazioni AICAP "Ancoraggi nei terreni e nelle rocce" ed. maggio 1993.
- 4) Associazione Geotecnica Italiana [1984] - "Raccomandazioni sui pali di fondazione"
- 5) UNI EN 1997-1 (Eurocodice 7) – Febbraio 2005: "Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali".

2.1.2 **Materiali**

- 6) UNI EN 197-1 giugno 2001 – "Cemento: composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni;
- 7) UNI EN 11104 marzo 2004 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità", Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1;
- 8) UNI EN 206-1 ottobre 2006 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità".

2.1.3 **Costruzioni in c.a. e acciaio**

- 9) Legge 5 Novembre 1971 N° 1086 – "Norme per la disciplina delle opere in calcestruzzo cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- 10) D.M. 3 Dicembre 1987 - "Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate";
- 11) D.M. 09.01.1996 - "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento normale e precompresso e per le strutture metalliche"
- 12) Circolare LL.PP. 4 Luglio 1996 n° 156 AA.GG./S.T.C. – "Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi» di cui al D.M. 16.01.1996";
- 13) Circolare LL.PP. 10 Aprile, n° 65/AA.GG. – "Istruzioni per l'applicazione delle «Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica» di cui al D.M. 16.01.1996";
- 14) D.M. 16.01.1996 - "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- 15) Istruzioni CNR-UNI 10011/97 – "Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione"
- 16) Istruzioni CNR 10030/87 – "Anime irrigidite di travi a parete piena"
- 17) Istruzioni CNR-UNI 10016/00 – "Strutture composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni"
- 18) Istruzioni CNR 10018-85 – "Apparecchi di appoggio in gomma e in PTFE nelle costruzioni"
- 19) UNI EN 1990 (Eurocodice 0) – Aprile 2006: "Criteri generali di progettazione strutturale";
- 20) UNI EN 1991 (Eurocodice 1) – Agosto 2004 – "Azioni in generale";
- 21) UNI EN 1992 (Eurocodice 2) – Novembre 2005: "Progettazione delle strutture di calcestruzzo".

2.1.4 **Ponti stradali**

- 22) D.M. 04/05/1990 - "Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, la esecuzione e il collaudo dei ponti stradali";

- 23) Ministero LL.PP. 25/02/1991 - "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali";
- 24) Istruzioni CNR-DT 207/2008 – "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni";
- 25) UNI EN 1993 (Eurocodice 3) – Ottobre 1993: "Progettazione delle strutture in acciaio".
- 26) UNI EN 1994 (Eurocodice 4) – "Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo".

2.1.5 Sismica

- 27) Legge 2 Febbraio 1974 n.64 - "Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- 28) D.M. LL.PP. 16 Gennaio 1996 - "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- 29) UNI EN 1991-2 (Eurocodice 1) – Marzo 2005 – Azioni sulle strutture - Parte 2: "Carico da traffico sui ponti";
- 30) UNI EN 1992-2 (Eurocodice 2) – Gennaio 2006 - "Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: "Ponti in calcestruzzo - progettazione e dettagli costruttivi";
- 31) Ordinanza della protezione civile n.2788 del 12/06/1998 - "Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale" GU 146 del 25/06/1998
- 32) Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei ministri – Allegato 1 – "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – Individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone"
- 33) Ordinanza 3274 del 20/03/03 del Consiglio dei ministri – Allegato 4 – "Norme Tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni"
- 34) Ordinanza n.3316 - Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.03
- 35) UNI EN 1998-1 (Eurocodice 8) – Marzo 2005: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali – Azioni sismiche e regole per gli edifici";
- 36) UNI EN 1998-2 (Eurocodice 8) – Febbraio 2006: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti";
- 37) UNI ENV 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici".

2.2 Normativa tecnica vigente

- 38) D.M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- 39) Circolare LL.PP. n°617 del 02/02/2009 - "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008";
- 40) Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Servizio Tecnico Centrale (febbraio 2008) - "Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive".

2.3 Bibliografia e altri riferimenti

- 41) Lancellotta R. [1991] " Geotecnica" – Edizioni Zanichelli.
- 42) Migliacci – F. Mola – "Progetto agli stati limite delle strutture in c.a." - Masson Italia Editori 1985
- 43) C. Cestelli Guidi - "Geotecnica e tecnica delle fondazioni" - Ulrico Hoepli Editore 1987
- 44) R. Lancellotta – "Geotecnica" - Edizioni Zanichelli 1987
- 45) Bowles J.E.: "Foundations Analysis and Design" 4th edition - McGraw-Hill – New York, 1988
- 46) Bustamante M., Ganeselli L. [1982] - "Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT" -.Pr. of the 2th European symposium on penetration testing, Amsterdam.

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per gli elementi strutturali in cemento armato è previsto l'impiego dei seguenti materiali.

3.1 Calcestruzzo

3.1.1 Calcestruzzo per pali, fondazioni, diaframmi e elevazioni

Classe minima	C25/30		
Classe di esposizione ambientale	XC2 (XC2-XF2 elevazioni)		
Resistenza caratteristica a compressione cubica a 28 gg	R_{ck}	≥ 30	MPa
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = R_{ck} \cdot 0.83 =$	24.90	MPa
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	32.90	MPa
Modulo elastico	$E_c = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} =$	31447	MPa
Valore medio di resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} =$	2.56	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	1.79	MPa
<u>Stato limite ultimo</u>			
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_C =$	1.5	
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{CC} =$	0.85	
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{CC} \cdot f_{ck} / \gamma_C =$	14.11	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.19	MPa
Valore ultimo della deformazione a compressione	$\epsilon_{cu} = 3.5$	%o	
<u>Stato limite di esercizio</u>			
Tensione max di compressione – Comb. Rara	$\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} =$	14.94	MPa
Tensione max di compressione – Comb. Quasi perm.	$\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} =$	11.21	MPa

3.1.2 Calcestruzzo per soletta impalcato

Classe minima	C28/35		
Classe di esposizione ambientale	XC2		
Resistenza caratteristica a compressione cubica a 28 gg	R_{ck}	≥ 35	MPa
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = R_{ck} \cdot 0.83 =$	29.05	MPa
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	37.05	MPa
Modulo elastico	$E_c = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} =$	32588	MPa
Valore medio di resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} =$	2.83	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	1.98	MPa
<u>Stato limite ultimo</u>			
Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_C =$	1.5	
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{CC} =$	0.85	
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{CC} \cdot f_{ck} / \gamma_C =$	16.46	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.32	MPa
Valore ultimo della deformazione a compressione	$\epsilon_{cu} = 3.5$	%o	
<u>Stato limite di esercizio</u>			
Tensione max di compressione – Comb. Rara	$\sigma_c = 0.60 \cdot f_{ck} =$	17.43	MPa
Tensione max di compressione – Comb. Quasi perm.	$\sigma_c = 0.45 \cdot f_{ck} =$	13.07	MPa

3.1.3 Calcestruzzo per profili redirettivi, lastra prefabbricata elevazioni, predalles impalcato

Classe minima	C32/40		
Classe di esposizione ambientale	XC4-XD1-XF2		
Resistenza caratteristica a compressione cubica a 28 gg	R_{ck}	≥ 40	MPa
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = R_{ck} \cdot 0.83 =$	33.20	MPa
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	41.20	MPa
Modulo elastico	$E_c = 22000 \cdot (f_{cm}/10)^{0.3} =$	33643	MPa
Valore medio di resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{2/3} =$	3.10	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctk} = 0.7 \cdot f_{ctm} =$	2.17	MPa
<u>Stato limite ultimo</u>			

Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_C =$	1.5	
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{CC} =$	0.85	
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{CC} * f_{ck} / \gamma_C =$	18.81	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.45	MPa
Valore ultimo della deformazione a compressione	$\epsilon_{cu} = 3.5 \text{ ‰}$		
<u>Stato limite di esercizio</u>			
Tensione max di compressione – Comb. Rara	$\sigma_c = 0.60 * f_{ck} =$	19.92	MPa
Tensione max di compressione – Comb. Quasi perm.	$\sigma_c = 0.45 * f_{ck} =$	14.94	MPa

3.1.4 Calcestruzzo per travi prefabbricate, puntoni prefabbricati

Classe minima	C45/55		
Classe di esposizione ambientale	XC1-XF1		
Resistenza caratteristica a compressione cubica a 28 gg	R_{ck}	≥ 55	MPa
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = R_{ck} * 0.83 =$	45.65	MPa
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8 =$	53.65	MPa
Modulo elastico	$E_c = 22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3} =$	36416	MPa
Valore medio di resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} = 0.3 * (f_{ck})^{2/3} =$	3.83	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctk} = 0.7 * f_{ctm} =$	2.68	MPa

Stato limite ultimo

Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_C =$	1.5	
Coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	$\alpha_{CC} =$	0.85	
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{CC} * f_{ck} / \gamma_C =$	25.86	MPa
Resistenza di calcolo a trazione semplice	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_C =$	1.79	MPa
Valore ultimo della deformazione a compressione	$\epsilon_{cu} = 3.5 \text{ ‰}$		
<u>Stato limite di esercizio</u>			
Tensione max di compressione – Comb. Rara	$\sigma_c = 0.60 * f_{ck} =$	27.39	MPa
Tensione max di compressione – Comb. Quasi perm.	$\sigma_c = 0.45 * f_{ck} =$	20.54	MPa

3.1.5 Miscela cementizia jet-grouting

Resistenza caratteristica a compressione cubica a 28 gg	R_{ck}	≥ 25	MPa
Peso specifico minimo colonne	$f_{ck} = R_{ck} * 0.83 =$	45.65	MPa
Resistenza media a compressione cilindrica	$\gamma_{JG} =$	22	kN/m ³

3.2 Acciaio

3.2.1 Acciaio in barre per getti

Classe	B450C		
Tensione caratteristica di rottura a trazione	$f_{tk} =$	≥ 540	MPa
Tensione caratteristica di snervamento a trazione	$f_{yk} =$	≥ 450	MPa
Modulo elastico	$E_s =$	200000	MPa

Stato limite ultimo

Coefficiente parziale di sicurezza	$\gamma_S =$	1.15	
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_S =$	391.30	MPa
Valore ultimo della deformazione a trazione	$\epsilon_{cu} = 10 \text{ ‰}$		
<u>Stato limite di esercizio</u>			
Tensione max di trazione	$\sigma_s = 0.80 * f_{yk} =$	360.00	MPa

3.2.2 Acciaio palancole

Classe per profilo aperto	S355GP		
Modulo elastico	$E_s =$	210000	MPa
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} =$	355	MPa
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} =$	480	MPa
<u>Stato limite ultimo</u>			
Coefficiente parziale sulla resistenza delle sezioni	$\gamma_{M0} =$	1.05	

Coefficiente parziale sulla resistenza delle sezioni forate	$\gamma_{M2} =$	1.25
Tensione di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} =$	338.10 MPa

3.3 Durabilità dei materiali

3.3.1 Conglomerati cementizi

Le classi di esposizione e le conseguenti limitazioni sulla composizione del calcestruzzo sono state ricavate ai sensi della normativa UNI EN 206-1 e UNI 11104, delle istruzioni contenute nella C.M. n°617 per l'applicazione delle NTC2008.

A seconda dell'esposizione ambientale, per opere con $V_N = 50$ anni la circolare al punto C4.1.6.1.3 impone il rispetto dei limiti di copriferro riportati nella tabella successiva e, per strutture con $V_N = 100$ anni, una maggiorazione di copriferro pari a $\Delta c_{dev} = 10$ mm. Per classi di resistenza inferiori a C_{min} i valori sono da aumentare di 5 mm. Nel caso in oggetto si prevede pertanto $\Delta c_{dev} = 0$ mm.

C_{min}	C_o	ambiente	barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
			$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$	$C \geq C_o$	$C_{min} \leq C < C_o$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

Copriferri minimi in mm ($V_N = 50$ anni)

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	XC0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Condizioni ambientali e classi di esposizione

Per le strutture interrato come i pali, diaframmi, e le fondazioni la classe di esposizione XC2 è determinata dal fatto che la struttura è immersa nel terreno e a contatto con le acque di falda. Anche per le elevazioni, protette sul lato interno dalla lastra prefabbricata (considerata non collaborante) e a contatto con il terreno sul lato esterno, è possibile assumere la stessa classe di esposizione XC2. La zona esposta sul lato esterno è immersa in acqua o terreno non aggressivo, mentre sul lato interno la durabilità è demandata direttamente alla lastra prefabbricata. Si hanno pertanto le seguenti limitazioni:

- Rapporto acqua/cemento < 0.60
- Classe di resistenza > C25/30
- Dosaggio cemento > 300 kg/m³

Le struttura in esame sono in ambiente ordinario, pertanto adottando copriferro minimo nominale $c = 40$ mm (inteso come spessore netto di ricoprimento) si ha:

$$c_{nom} = C_{min} + \Delta c_{dev} + 0 = 25 + 0 + 0 = 25 \text{ mm} < c = 40 \text{ mm} \quad \text{OK VERIFICATO}$$

Per la soletta di impalcato, la classe di esposizione è determinata dal fatto che la struttura è impermeabilizzata e in contatto al terreno all'estradosso, mentre è in contatto con l'ambiente interno dove avviene il transito veicolare solo all'intradosso, dove è prevista o la lastra prefabbricata o la trave prefabbricata. La zona esposta di estradosso è quindi in classe di esposizione XC2 con le seguenti limitazioni:

- Rapporto acqua/cemento < 0.60
- Classe di resistenza > C25/30
- Dosaggio cemento > 300 kg/m³

Le strutture in esame sono in ambiente ordinario, pertanto adottando copriferro minimo nominale $c = 30$ mm (inteso come spessore netto di ricoprimento) si ha:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} + 0 = 20 + 0 + 0 = 20 \text{ mm} < c = 30 \text{ mm} \quad \text{OK VERIFICATO}$$

Per la trave e i puntoni prefabbricati, la classe di esposizione è determinata dal fatto che la struttura è in contatto solo con l'ambiente interno dove avviene il transito veicolare. La zona esposta è quindi a vista, soggetta ad umidità bassa e indirettamente a contatto con acqua piovana contenente agenti disgelanti. Si considera quindi classe XC1-XF1 con le relative limitazioni:

- Rapporto acqua/cemento < 0.50
- Classe di resistenza > C32/40
- Dosaggio cemento > 320 kg/m³
- Aggregati di adeguata resistenza al gelo/disgelo (conformi alla UNI EN 12620)

Le strutture in esame sono in ambiente ordinario, pertanto adottando copriferro minimo nominale $c = 30$ mm (inteso come spessore netto di ricoprimento) per le armature ordinarie e $c = 40$ mm per le armature pretese si ha:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} + 0 = 20 + 0 + 0 = 20 \text{ mm} < c = 30 \text{ mm} \quad \text{OK VERIFICATO}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} + 0 = 30 + 0 + 0 = 30 \text{ mm} < c = 40 \text{ mm} \quad \text{OK VERIFICATO}$$

Per i profili redirettivi, le lastre prefabbricate delle elevazioni e le predalles di impalcato la classe di esposizione è determinata dal fatto che la struttura è in contatto solo con l'ambiente interno dove avviene il transito veicolare. La zona esposta è quindi a vista, soggetta ad umidità moderata con spruzzi d'acqua eventualmente contenenti cloruri e indirettamente a contatto con acqua piovana contenente agenti disgelanti. Si considera quindi classe XC4-XD1-XF2 con le relative limitazioni:

- Rapporto acqua/cemento < 0.50
- Classe di resistenza > C32/40
- Dosaggio cemento > 340 kg/m³
- Contenuto di aria > 3%
- Aggregati di adeguata resistenza al gelo/disgelo (conformi alla UNI EN 12620)

Le strutture in esame sono in ambiente aggressivo, pertanto adottando copriferro minimo nominale $c = 30$ mm (inteso come spessore netto di ricoprimento) si ha:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} + 0 = 25 + 0 + 0 = 25 \text{ mm} < c = 30 \text{ mm} \quad \text{OK VERIFICATO}$$

3.4 Resistenza al fuoco

Con riferimento al § 3.6.1.2 delle NTC, in accordo con le caratteristiche funzionali dell'opera, si assume il seguente livello prestazionale in caso di incendio:

Livello III "Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza".

Nonostante il livello di prestazione di progetto sia da concordare con le autorità competenti dei Vigili del Fuoco, si prevede una resistenza strutturale al fuoco degli elementi portanti pari a R120.

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

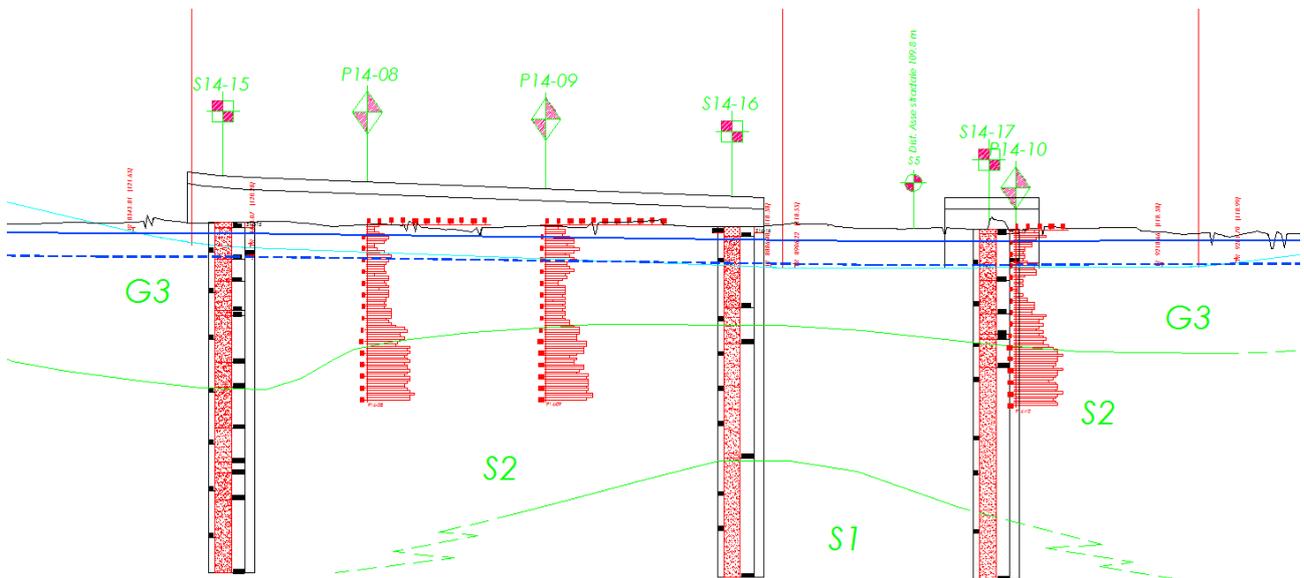
Con riferimento alla relazione geologico-geotecnica realizzata per il progetto della nuova strada, si sono desunte le caratteristiche del terreno utilizzate per il calcolo. Per informazioni di maggior dettaglio vedi direttamente la documentazione geotecnica di riferimento.

4.1 Stratigrafie di riferimento

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI						
UNITA'	γ (kN/m ³)	φ (°)	Dr (%)	E (MPa)	M (MPa)	Cu (kPa)
G3	18.5	31.7	51.6	23.5	-	-
S2	19.0	32.3	46.3	20.7	-	-

γ = peso di volume
 φ = angolo di attrito interno
 Dr = Densità relativa
 E = Modulo di Young
 cu = coesione non drenata
 M = Modulo edometrico

Parametri geotecnici del terreno di riferimento per l'opera GA05-GA06



Profilo geotecnico di riferimento per l'opera GA05-GA06

MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P. kg/cm2	T.V. kg/cm2	S.P.T.			Liv acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					N1	N2	N3		
1	40					Terreno vegetale								
2						Limo sabbioso marrone				9	14	17		
3	3.10					Sabbia limosa con ghiaia marrone							3.00	
4						Sabbia debolmente ghiaiosa marrone				10	14	20		
5	5.00					Sabbia con ghiaia								
6						Sabbia limosa debolmente ghiaiosa marrone				9	15	25		
7	7.50					Sabbia con ghiaia								
8	8.00		RI	1	8-8.40	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa marrone								
9						Sabbia con ghiaia								
10						Sabbia limosa debolmente ghiaiosa marrone				10	17	30		
11	12.00					Sabbia con ghiaia marrone								
12						Sabbia con ghiaia marrone								
13	14.10					Sabbia con ghiaia marrone								
14			RI	2	15.6-16.00	Sabbia con ghiaia marrone								
15						Sabbia con ghiaia								
16	17.60					Sabbia marrone				8	15	20		
17						Sabbia marrone								
18	20.50					Limo sabbioso debolmente ghiaioso marrone								
19	21.50		RI	3	20.6-21.00	Limo sabbioso debolmente ghiaioso marrone								
20						Sabbia con ghiaia marrone								
21	23.70					Sabbia con ghiaia marrone				11	15	31		
22						Sabbia con ghiaia marrone								
23						Sabbia con ghiaia marrone								
24						Sabbia con ghiaia marrone								
25						Sabbia con ghiaia marrone								
26						Sabbia con ghiaia marrone								
27						Sabbia limosa debolmente ghiaiosa marrone				10	13	21		
28						Sabbia limosa debolmente ghiaiosa marrone								
29	30.00					Sabbia limosa debolmente ghiaiosa marrone								

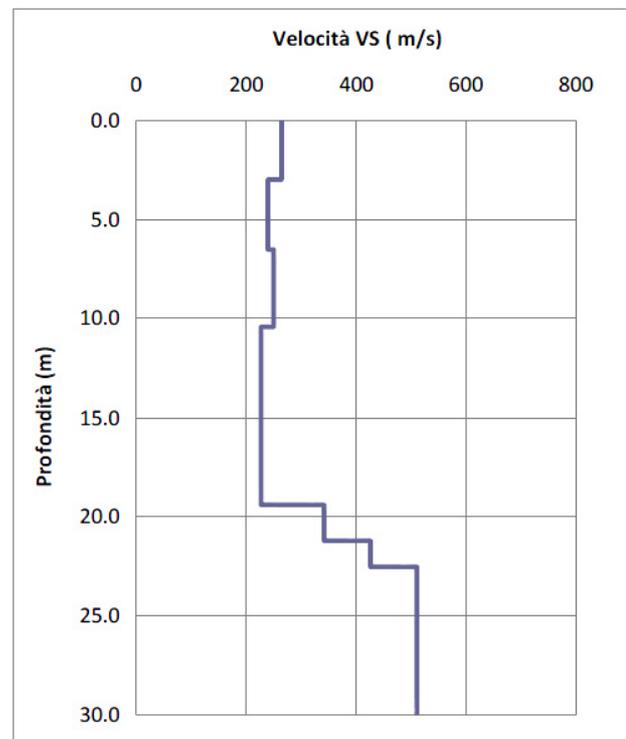
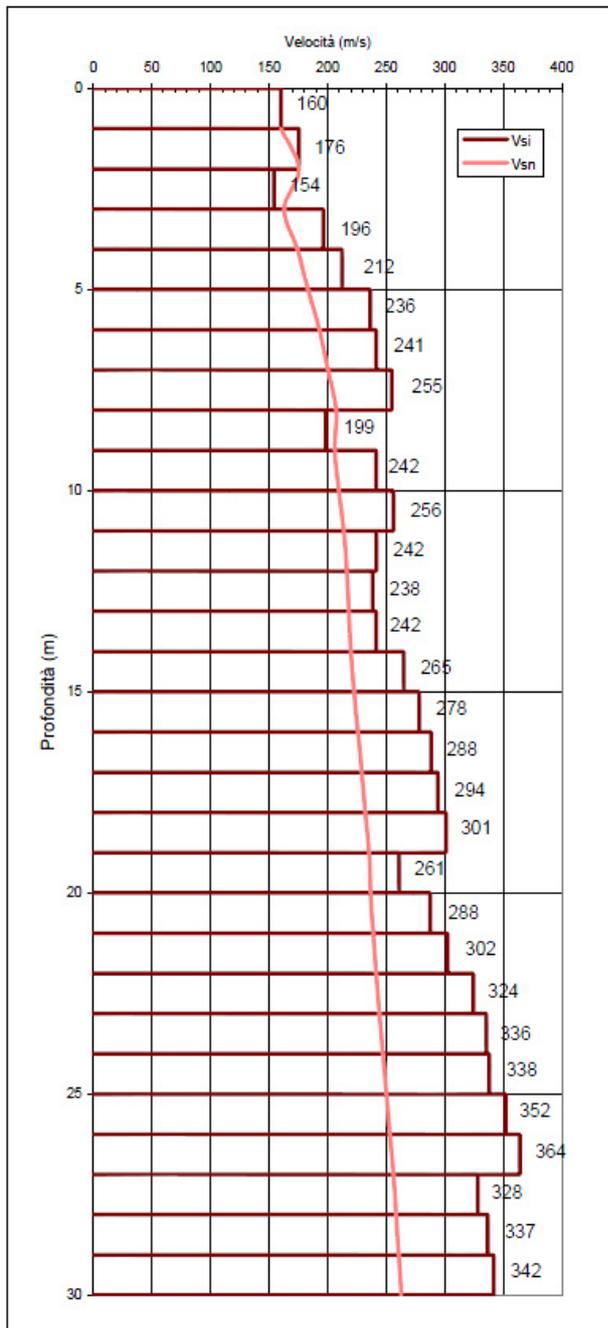
Parametri sondaggio S14-15

MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P. kg/cm2	T.V. kg/cm2	S.P.T.			Liv acqua	Piezometro	d-h
			tipo	num	PROF					N1	N2	N3			
1	80														
2															
3									7	12	16				
4															
5															
6															
7	8.00														
8			Ri	1	7.6-8.00				5	11	15				
9															
10	10.00														
11									7	12	17				
12															
13															
14									8	14	18				
15			Ri	2	14.6-15.00										
16															
17									8	18	23				
18															
19															
20	19.80														
21															
22									19	23	25				
23															
24			Ri	3	24-24.60										
25															
26									17	24	22				
27															
28															
29															
	30.00														30.00

Parametri sondaggio S14-16

MT.	QUOTA DA P.C.	SIMBO LOGIA	CAMPIONI			DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	%	P.P. kg/cm2	T.V. kg/cm2	S.P.T.			Liv. acqua	Piezometro
			tipo	num	PROF					N1	N2	N3		
1	.40					Terreno Vegetale								
2														
3						Sabbia con ghiaia marrone				7	12	19		
4	4.40													
5						Sabbia limosa debolmente ghiaiosa marrone				7	10	15		
6														
7	7.20													
8			RI	1	8-8.40	Sabbia con ghiaia marrone								
9	9.00													
10	9.40					Sabbia limosa marrone								
11			RI	2	11-11.40	Sabbia debolmente ghiaiosa				9	13	17		
12	11.80													
13										8	12	15		
14														
15														
16														
17														
18										9	12	16		
19														
20														
21						Sabbia marrone				8	13	15		
22														
23														
24														
25			RI	3	24.6-25.00									
26										8	12	17		
27														
28														
29														
	30.00													

Parametri sondaggio S14-17



Prova down-hole sondaggio S14-16 e prova sismica MASW14-4

4.2 Stratigrafie di calcolo

La stratigrafia dei terreni di fondazione adottata nel calcolo è stata ipotizzata secondo le seguenti caratteristiche geotecniche:

Da [m]	A [m]	Formazione	Descrizione
+Hril	+0 (*)	RIL	Rilevato di nuova formazione
+0 (*)	-10	G3	Ghiaie e depositi fini
> -10 (*)		S2	Sabbia e ghiaie con depositi fini

Formazione	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	Valori medi		Valori minimi		N _{SPT}
			c' (kPa)	Φ' (°)	c' (kPa)	Φ' (°)	
G3	17.5	18.5	-	31.5	-	29.0	12-15
S2	18	19	-	32.0	-	30.0	20-25

Stratigrafia di calcolo spalle

(*) La quota di zero coincide con -0.00 m dal p.c. esistente

γ_{nat} = peso di volume naturale

γ_{sat} = peso di volume saturo

Φ' = angolo di attrito

c' = intercetta di coesione / c_u = coesione non drenata

Per il materiale costituente il nuovo rilevato si considerano i seguenti parametri geotecnici:

Formazione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)
Rilevato	20	0	35

Parametri stratigrafici di calcolo del materiale di reinterro

Si considerano due scenari di calcolo, uno denominato "scenario di progetto" con quota di falda a -0.90 m da p.c. e uno denominato "scenario di cantiere" con quota di falda a -2.90 m da p.c..

5 CRITERI DI CALCOLO

La struttura principale di contenimento del terreno e della falda viene analizzata con modelli globali che comprendono tutti gli elementi strutturali (diaframmi, pali, fondazioni, elevazioni) a contatto con il terreno e un modello locale per gli elementi prefabbricati dell'impalcato di copertura. Le opere di sostegno provvisoria del terreno sono calcolate con un modello specifico per paratie.

I modelli strutturali implementati tengono conto delle fasi costruttive, in quanto le diverse parti risultano interagenti in modi diversi in base alle condizioni al contorno (spinte terreno, falda, carichi esterni) e agli schemi statici che si vengono di volta in volta a costituire (paratia libera o collegata alla vasca interna). Inoltre per gli elementi prefabbricati si tiene conto delle modalità di costruzione.

Nel modello di calcolo della galleria con diaframmi i carichi agenti sull'impalcato sono applicati agli elementi finiti dal calcolo delle travi di impalcato, mentre le spinte del terreno e i sovraccarichi sul terreno sono applicati direttamente agli elementi finiti del terreno.

I diaframmi, i pali, la fondazione e le elevazioni sono modellati come elementi trave monodimensionali immersi a contatto con elementi 2D plane-strain del tipo soil (modello costitutivo di Duncan-Chang), in grado di modellare un mezzo continuo con le proprietà non-lineari e elasto-plastiche tipiche delle terre.

Il contatto tra gli elementi di fondazione e il terreno viene realizzato con elementi di contatto non-lineari che si attivano solamente con forze di compressione e sono in grado di trasmettere anche forze tangenziali di attrito.

Nel modello di calcolo della galleria a sezione scatolare, realizzato con scavo a cielo aperto in aggettamento delle acque di falda, si analizza una sezione piana di sviluppo unitario a telaio dove i carichi sono valutati in automatico dal software e applicati direttamente agli elementi finiti strutturali.

Stessa modalità per il modello di calcolo delle palancole provvisorie.

Vengono studiate le strutture del concio 3, del concio 7 e del concio 12, in quanto costituiscono i casi limite geometrici delle due differenti sezioni tipo della galleria per due diversi livelli di soggiacenza della falda (denominata falda di cantiere e falda di progetto).

5.1 Modelli strutturali galleria

La struttura su diaframmi e pali viene schematizzata come un modello a telaio 2D, denominato Modello A, avente profondità unitaria. Tutti i carichi applicati e le rigidità del modello vengono di conseguenza adeguati in relazione agli interessi dei singoli elementi strutturali.

La struttura scatolare è anch'essa schematizzata come un modello a telaio 2D, denominato Modello C.

L'impalcato di copertura è isostatico rispetto alle sottostrutture, pertanto si adotta un modello locale della trave prefabbricata, denominato Modello B, per studiare specificatamente le fasi di costruzione in stabilimento e in esercizio.

Nel Modello A, in accordo con le fasi di costruzione previste negli elaborati di progetto, si tiene conto delle seguenti fasi e delle relative configurazioni di calcolo in condizioni di falda di cantiere:

- | | |
|---------|--|
| Fase 0) | Condizioni geostatiche a piano campagna (inizializzazione del modello di calcolo) |
| Fase 1) | Realizzazione diaframmi e pali, tappo in jet-grouting e condizioni di falda di cantiere |
| Fase 2) | Condizioni di falda di cantiere, abbassamento dello scavo fino a quota di imposta magrone |
| Fase 3) | Completamento delle elevazioni e dell'impalcato, dismissione del tappo in jet-grouting e condizioni di falda di cantiere |
| Fase 4) | Reinterro superficiale, riempimento interno sopra fondazione e completamento arredi stradali, condizioni di falda di cantiere, transito veicolare all'interno e sopra la galleria, condizioni sismiche |

Il calcolo con il Modello A viene ripetuto per studiare gli effetti dell'innalzamento della falda (quota falda di progetto):

- | | |
|---------|---|
| Fase 0) | Condizioni geostatiche a piano campagna (inizializzazione del modello di calcolo) |
| Fase 1) | Realizzazione diaframmi e pali, tappo in jet-grouting e condizioni di falda di cantiere |

- Fase 2) Condizioni di falda di cantiere, abbassamento dello scavo fino a quota di imposta magrone
- Fase 3) Completamento delle elevazioni e dell'impalcato, dismissione del tappo in jet-grouting e condizioni di falda di progetto
- Fase 4) Reinterro superficiale, riempimento interno sopra fondazione e completamento arredi stradali, varie condizioni di falda di progetto, transito veicolare all'interno e sopra la galleria, condizioni sismiche

Nel Modello B si tiene conto delle seguenti fasi costruttive di realizzazione:

- Fase 1) Costruzione in stabilimento della trave prefabbricata:
- cassetta e getto (semplice appoggio)
 - tesatura trefoli
 - ritiro e viscosità calcestruzzo, rilassamento acciaio trave (perdite tiro 1° fase)
 - taglio trefoli
 - trasporto in sito, varo travi
- Fase 2) Getto della soletta:
- ritiro e viscosità calcestruzzo, rilassamento acciaio trave (perdite tiro 2° fase)
- Fase 3) Condizioni permanenti dopo getto soletta (breve termine):
- ritiro e viscosità calcestruzzo, rilassamento acciaio trave (perdite tiro 3° fase)
- Fase 4) Condizioni permanenti (lungo termine):
- ritiro e viscosità calcestruzzo soletta (perdite tiro 4° fase)
 - azioni permanenti
- Fase 5) Condizioni accidentali (breve termine):
- azioni accidentali da traffico

Nel Modello C, in accordo con le fasi di costruzione previste negli elaborati di progetto, si tiene conto delle seguenti fasi e delle relative configurazioni di calcolo in condizioni di falda di progetto:

- Fase 0) Condizioni geostatiche a piano campagna in scavo a cielo aperto con aggettamento acque
- Fase 1) Realizzazione fondazioni, elevazioni, soletta e condizioni di falda di progetto
- Fase 2) Reinterro superficiale, riempimento interno sopra fondazione e completamento arredi stradali, condizioni di falda di progetto, transito veicolare all'interno e sopra la galleria, condizioni sismiche

5.1.1 Modello A-0 (Fase 0)

Si inizializza il modello geotecnico con le condizioni geostatiche presenti in sito prima dell'inizio degli scavi. Il modello comprende solo le spinte del terreno (G_3). La falda è quella di cantiere.

5.1.1.1 Metodo di soluzione

L'analisi della struttura è stata condotta con il software agli elementi finiti Straus® 7.2.4.6 lineare e non lineare. Si riportano nel seguito le metodologie di calcolo e le ipotesi adottate per i vari elementi strutturali.

Le verifiche si basano sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziali e considerano la famiglia di combinazioni A1-M1 (vengono incrementati le azioni permanenti e variabili con i coefficienti (γ_G , γ_Q) e vengono lasciate inalterate le caratteristiche di resistenza del terreno).

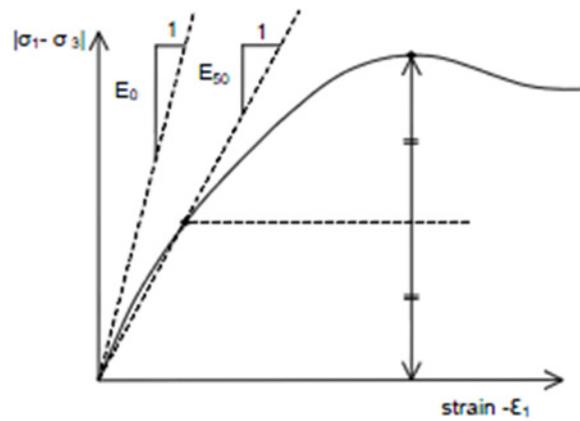
Le verifiche strutturali o geotecniche sono eseguite sulle soluzioni ottenute dalla combinazione A1-M1 per tutte le fasi costruttive e combinazioni di carico previste e illustrate nei paragrafi seguenti.

I vari moduli di deformabilità del modello costitutivo del terreno (G_0 , E_0) con sono stati valutati in base ai risultati delle onde di taglio V_s delle prove sismiche MASW e down-hole eseguite all'atto della progettazione esecutiva sui terreni in sito, mentre per il rilevato di nuova formazione si sono introdotti dei valori tipici.

	V_s (m/sec)	G_0 (MPa)	G (MPa)	γ (kN/m ³)	c (MPa)	φ (°)	P_{atmos} (MPa)	ν
RIL	400,0	326,2	228,3	20	0	35	0,101	0,30
UNITA G3	250,0	117,9	82,5	18,5	0	31,5	0,101	0,25
UNITA S2	400,0	309,9	216,9	19	0	32	0,101	0,25

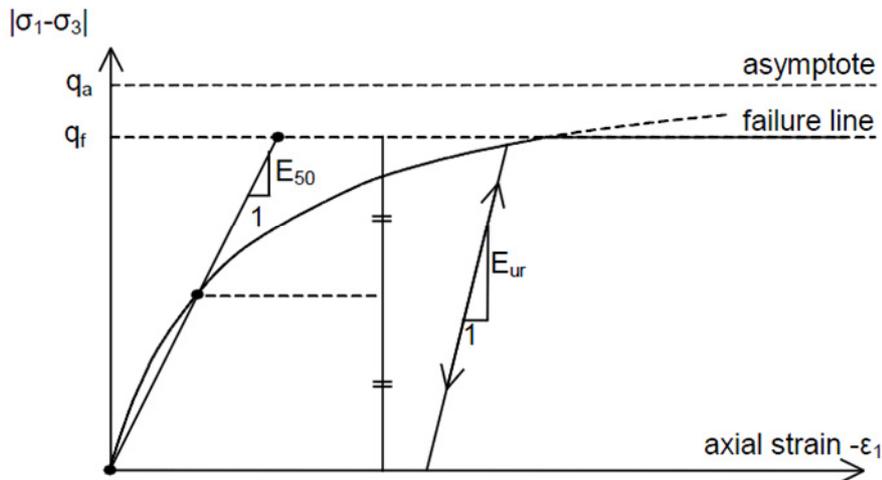
	Fail ratio	$E_{50} = E_{oed}$ (MPa)	$E_0 = E_i$ (MPa)	K (1/MPa)	$E_{ur,soil}$ (MPa)	K_{ur} (MPa)	n	E_{min} (MPa)	E_{op} (MPa)
RIL	0,9	65,3	118,7	1176	195,9	1940	0	5,9	11,9
UNITA G3	0,9	22,7	41,3	408	68,1	674	0	2,1	4,1
UNITA S2	0,9	59,7	108,5	1074	179,0	1772	0	5,4	10,8

Parametri del modello costitutivo terreno utilizzati nelle analisi

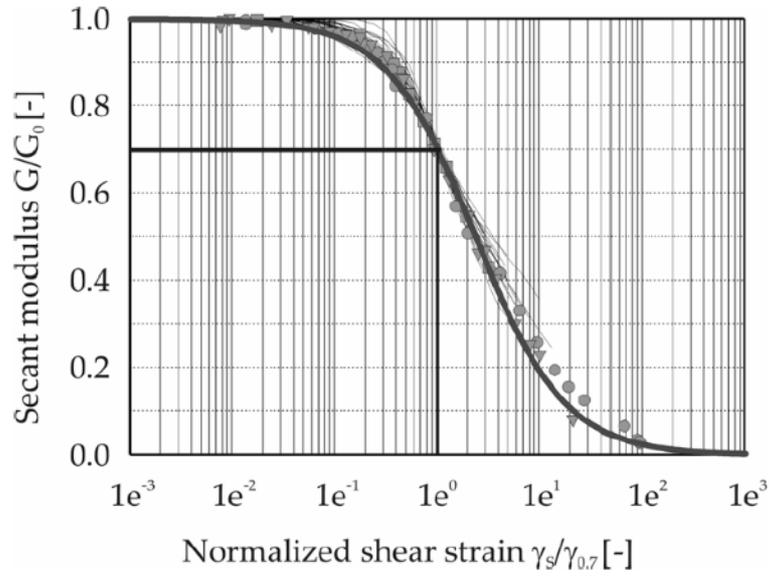


Curva tipica e parametri desunti dalla prova di compressione triassiale drenata

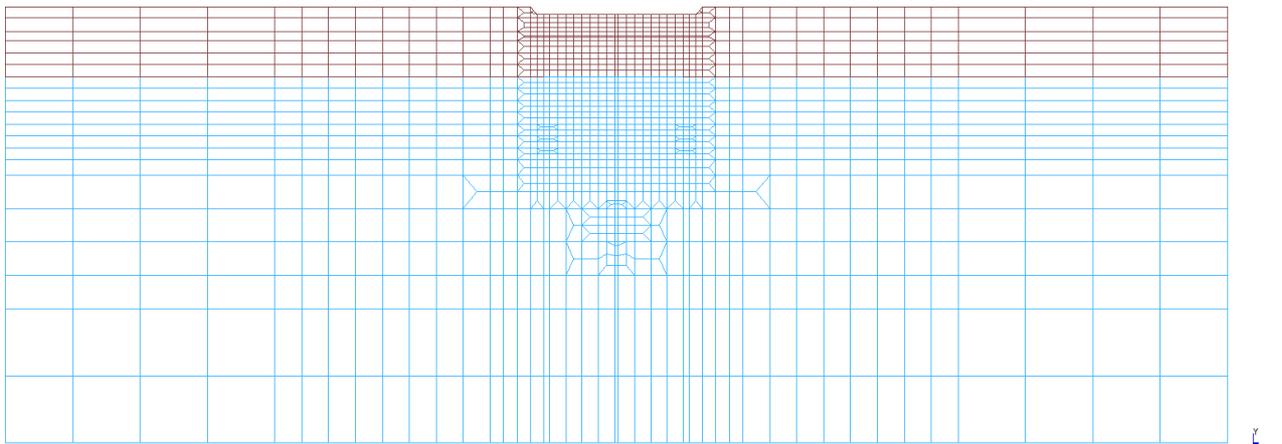
deviatoric stress



Modello costitutivo del terreno (Duncan-Chang modificato)



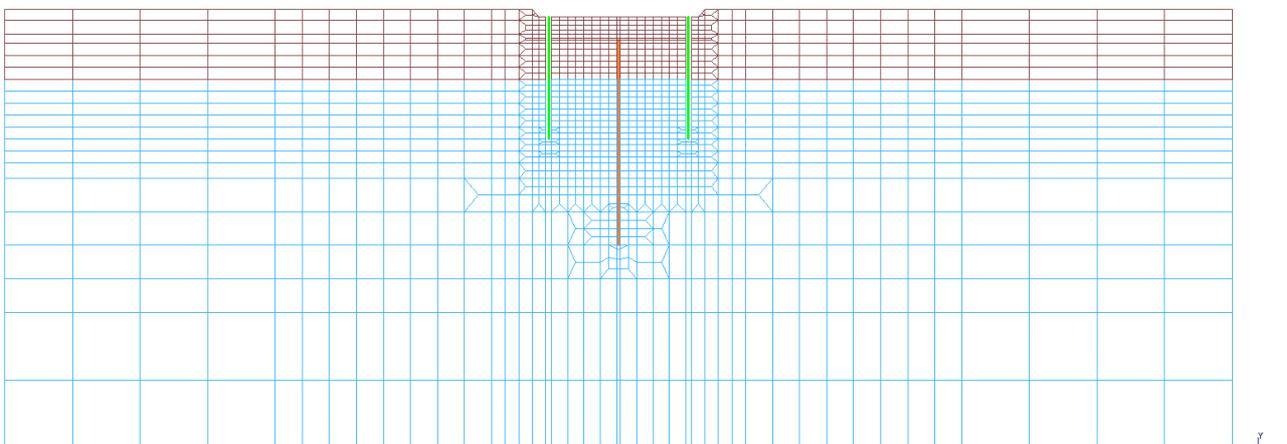
Riduzione del modulo G_0 in funzione di γ



Modello A-0 – Vista piana

5.1.2 Modello A-1 (Fase 1)

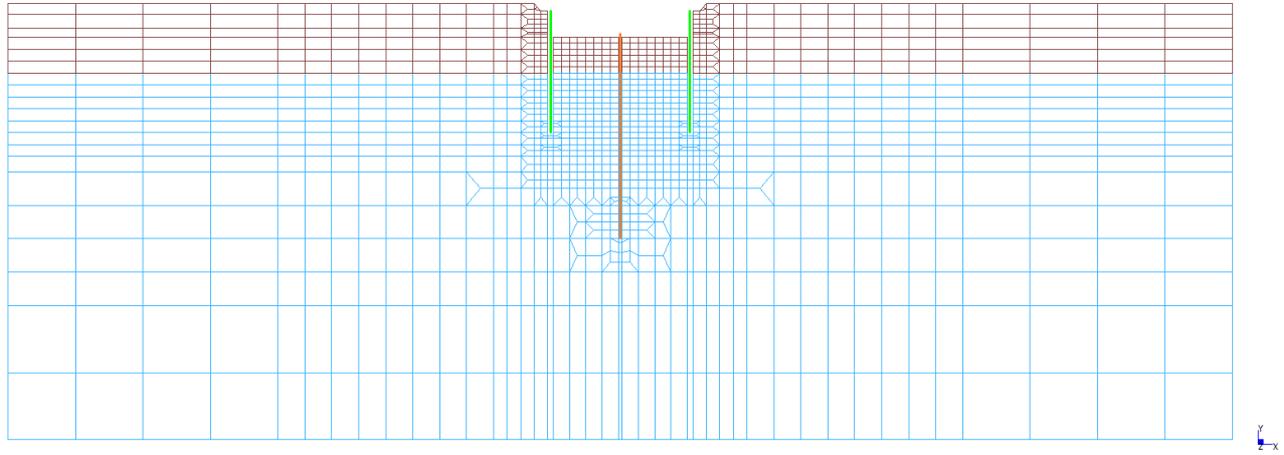
Il modello comprende lo scavo dei diaframmi laterali e dei pali e viene caricato con i pesi propri strutturali (G_1) e le spinte del terreno (G_3). La falda è quella di cantiere.



Modello A-1 – Vista piana

5.1.3 Modello A-2 (Fase 2)

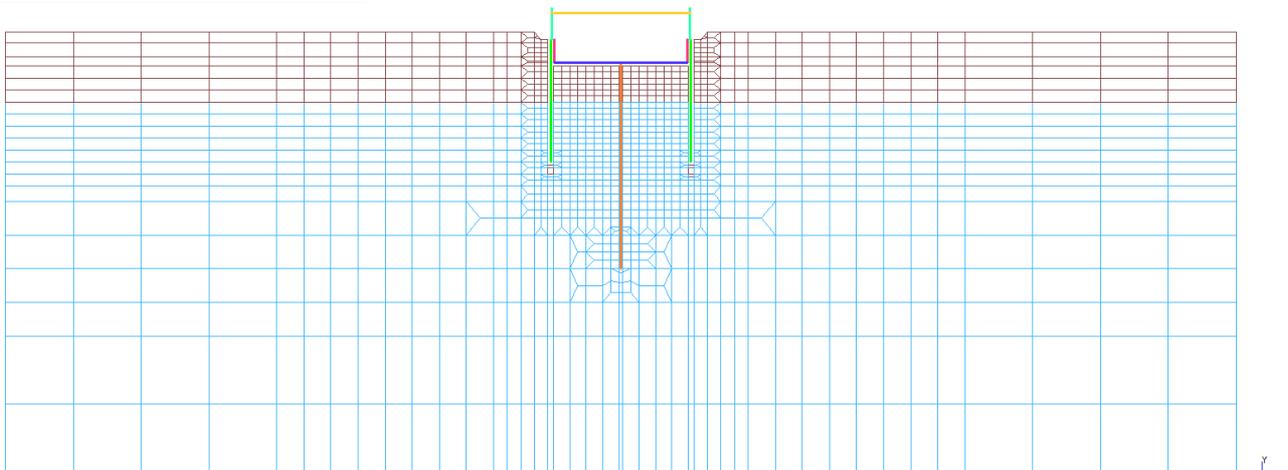
Il modello comprende lo scavo all'interno dei diaframmi laterali fino alla quota di imposta del magrone di fondazione, e viene caricato con i pesi propri strutturali (G_1), le spinte del terreno (G_3) e i sovraccarichi in fase di cantiere (Q_1). La falda è quella di cantiere.



Modello A-2 – Vista piana

5.1.4 Modello A-3 (Fase 3)

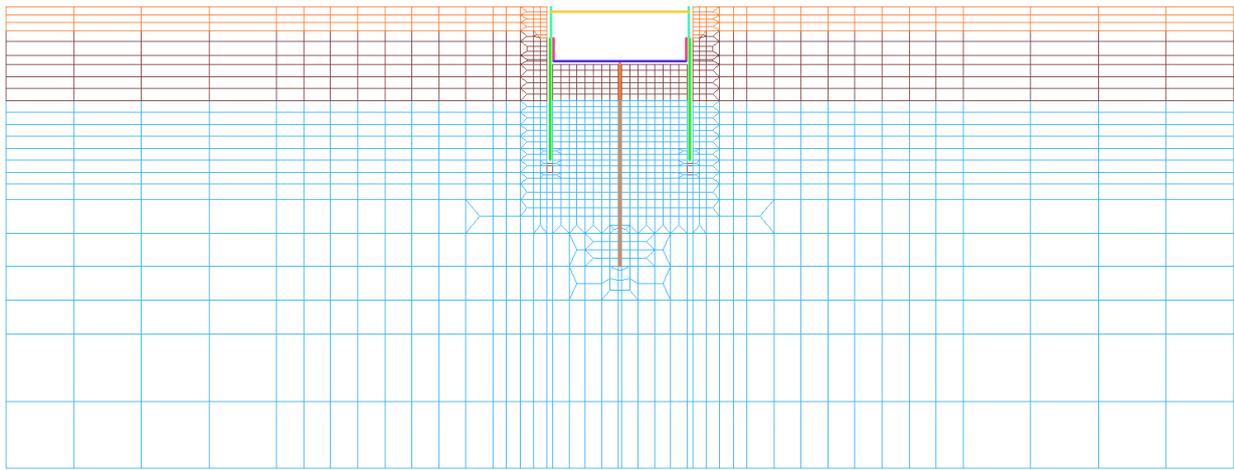
Il modello comprende la struttura completa (diaframmi, pali, fondazioni, elevazioni, puntone di soletta) e viene caricato con i pesi propri strutturali (G_1), le spinte del terreno (G_3) e i sovraccarichi in fase di cantiere (Q_1). La falda può essere quella di cantiere o quella di progetto.



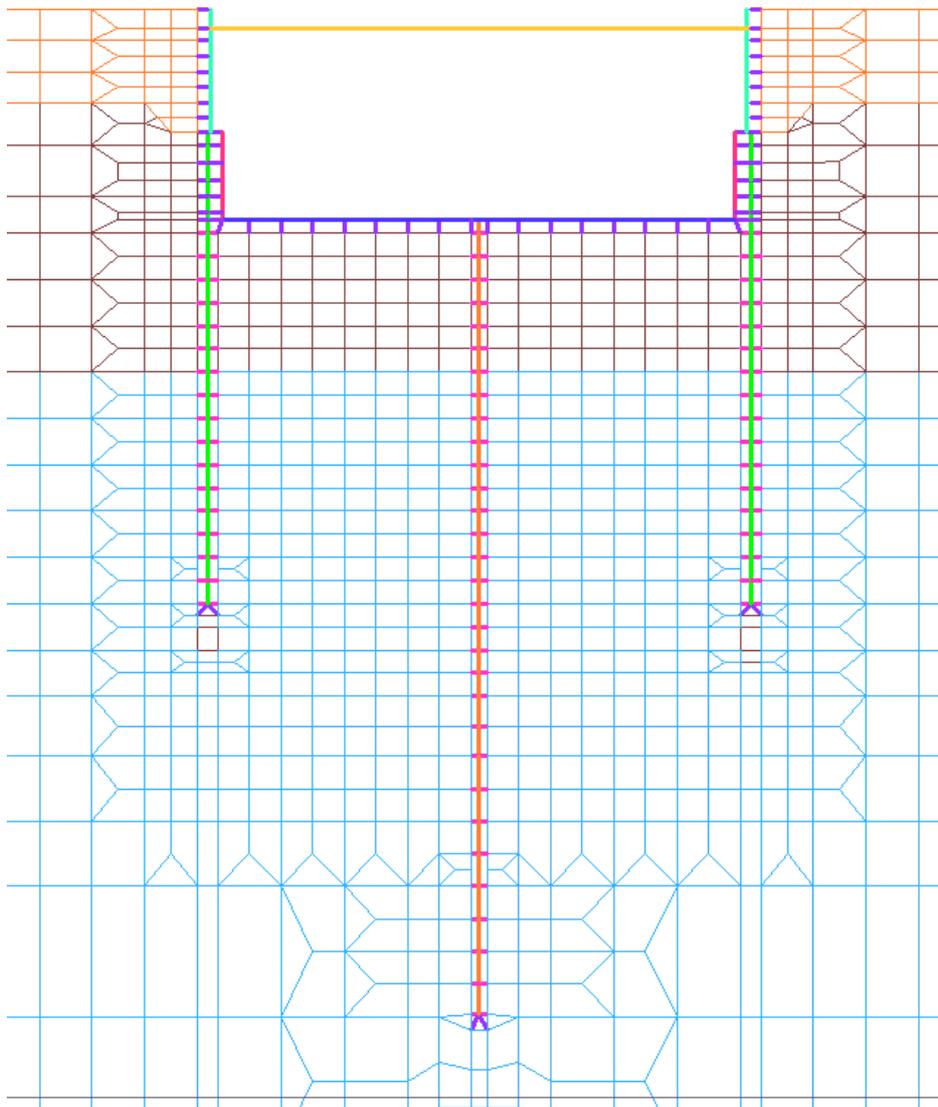
Modello A-3 – Vista piana (il modello con falda di progetto è analogo)

5.1.5 Modello A-4 (Fase 4)

Il modello comprende la struttura completa con l'aggiunta del reinterro di progetto e viene caricato con i pesi propri strutturali (G_1), le spinte del terreno (G_3), le azioni mobili (Q_1), le azioni permanenti (G_2), le azioni sismiche (E). La falda può essere quella di cantiere o quella di progetto.



Modello A-4 – Vista piana (il modello con falda di progetto è analogo)



Modello A-4 – Particolare delle strutture di galleria

5.1.6 Modello B

Il modello strutturale degli elementi prefabbricati di impalcato è sempre uno schema isostatico in semplice appoggio, dove le azioni sollecitanti dei pesi propri strutturali (G_1), le azioni permanenti (G_2), le distorsioni da ritiro (ϵ_2), le azioni mobili (Q_1) sono agenti nelle singole fasi di costruzione come descritto nei paragrafi precedenti.

5.1.7 Modello C

Il modello strutturale della sezione scatolare è stato condotto con il programma SCAT 10.0 della Aztec Informatica, nella forma originale commercializzata senza alcuna modifica apportata da parte dell'utente. Il software è dedicato all'analisi e al calcolo di strutture scatolari interrato.

Le verifiche si basano sul concetto dei coefficienti di sicurezza parziali e considerano due famiglie di combinazioni:

- caso A1-M1: vengono incrementati le azioni permanenti e variabili con i coefficienti (γ_G, γ_Q) e vengono lasciate inalterate le caratteristiche di resistenza del terreno. Le combinazioni ottenute sono rilevanti per stabilire la capacità strutturale delle opere che interagiscono con il terreno;
- caso A2-M2: vengono incrementati i carichi variabili e vengono ridotte le caratteristiche di resistenza del terreno ($\tan(\phi), c', c_u$) secondo i coefficienti parziali ($\gamma_{\tan\phi}, \gamma_{c'}, \gamma_{c_u}, \gamma_{q_u}$) definiti da normativa. Le combinazioni ottenute sono rilevanti per il dimensionamento geotecnico.

Le verifiche strutturali o geotecniche sono eseguite sulle soluzioni ottenute dalle combinazioni A1-M1 e A2-M2, per tutte le fasi costruttive e combinazioni di carico previste e illustrate nei paragrafi seguenti.

Il modello comprende la struttura completa con l'aggiunta del reinterro di progetto e viene caricato con i pesi propri strutturali (G_1), le spinte del terreno (G_3), le azioni mobili (Q_1), le azioni permanenti (G_2), le azioni sismiche (E). Dato che la condizione risulta quella più sfavorevole, la falda è quella di progetto.

5.1.7.1 Metodo di soluzione

A partire dal tipo di terreno, dalla geometria e dai sovraccarichi agenti il programma è in grado di conoscere tutti i carichi agenti sulla struttura per ogni combinazione di carico.

La struttura scatolare viene schematizzata come un telaio piano e viene risolta mediante il metodo degli elementi finiti (FEM). Più dettagliatamente il telaio viene discretizzato in una serie di elementi connessi fra di loro nei nodi.

Il terreno di rinfianco e di fondazione viene invece schematizzato con una serie di elementi molle non reagenti a trazione (modello di Winkler). L'area della singola molla è direttamente proporzionale alla costante di Winkler del terreno di base (per le molle in fondazione) o del terreno di rinfianco (per le molle sui piedritti) e all'area di influenza della molla stessa. E' possibile pertanto escludere la resistenza del terreno sui piedritti azzerando la costante di Winkler dello strato di rinfianco.

A partire dalla matrice di rigidezza del singolo elemento, K_e , si assembla la matrice di rigidezza di tutta la struttura K . Tutti i carichi agenti sulla struttura vengono trasformati in carichi nodali (reazioni di incastro perfetto) ed inseriti nel vettore dei carichi nodali p .

Indicando con u il vettore degli spostamenti nodali incogniti, la relazione risolutiva è la seguente:

$$K \cdot u = p$$

Viene effettuata quindi l'analisi al passo per tener conto delle molle che devono essere eliminate (molle in trazione) dalla matrice globale. L'analisi così condotta fornisce gli spostamenti incogniti u :

$$u = K^{-1} \cdot p$$

Noti gli spostamenti nodali è possibile risalire alle sollecitazioni nodali, alle sollecitazioni sugli elementi ed alle pressioni sul terreno.

La soluzione del sistema viene fatta per ogni combinazione di carico agente sullo scatolare. Il successivo calcolo delle armature nei vari elementi viene condotto tenendo conto delle condizioni più gravose che si possono verificare nelle sezioni fra tutte le combinazioni di carico.

5.1.7.2 Modulo di sottofondo

Si stima la costante di sottofondo k_s da utilizzare per simulare la risposta elastica del terreno secondo il procedimento di Bowles (1988) per fondazioni superficiali. Tale teoria utilizza le seguenti relazioni:

$$k_s = \frac{q}{\Delta H}, \quad k_s = \frac{E_s}{B' \cdot (1 - \mu^2) \cdot I_s \cdot I_F}$$

- q carico agente sul terreno;
- ΔH cedimento al di sotto del piano fondazione;
- E_s modulo elastico medio del terreno di fondazione;
- B' minima dimensione della fondazione;
- N coefficiente di Poisson del terreno di fondazione.

Utilizzando il metodo di Newmark, si calcola un k_s in corrispondenza del centro della fondazione e un k_s in corrispondenza dello spigolo e si mediano infine i valori calcolati. Il procedimento di Newmark si basa sulla distribuzione degli incrementi di sforzo nel terreno secondo Boussinesq e il calcolo dei cedimenti di uno spigolo di area rettangolare. Pertanto si discretizza l'area di partenza in $m=4$ rettangoli al fine di individuare lo stato di sforzi e di cedimenti al centro della stessa.

Per il calcolo in corrispondenza del centro il termine B' è pari alla metà della base totale B , mentre per il calcolo in corrispondenza dello spigolo si ha che B' è pari alla larghezza totale della fondazione B .

Il valore del coefficiente di influenza I_s è stato calcolato attraverso la seguente equazione:

$$I_s = I_1 + \frac{1 - 2 \cdot \mu}{1 - \mu} \cdot I_2$$

- I_1, I_2 coefficienti dipendenti dai rapporti $M=L/B$ e $N=H/B'$;
- $H=5B$ altezza dello strato compressibile;
- B' parametro dipendente dal punto in cui si vuole calcolare la costante elastica;
- L sviluppo longitudinale della fondazione.

Il valore del coefficiente di influenza I_F , che corregge il valore in luce della profondità di posa in base al rapporto D/B , è estrapolato in base ai valori diagrammati riportati in Bowles (1988).

La media dei valori è effettuata considerando la costante al centro in misura maggiore rispetto a quella sullo spigolo secondo la seguente media pesata suggerita dall'autore:

$$k_{s\text{-media}} = \frac{4 \cdot k_{s\text{-centro}} + k_{s\text{-spigolo}}}{5}$$

CALCOLO MODULO SOTTOFONDO k_s (BOWLES, 1988)

DATI			
B = 17,20 m	Larghezza fondazione	$I_1 = \frac{1}{\pi} \left[M \cdot \ln \left(\frac{(1 + \sqrt{M^2 + 1}) \cdot \sqrt{M^2 + N^2}}{M \cdot (\sqrt{M^2 + 1} + \sqrt{1 + N^2})} \right) + \ln \left(\frac{M + \sqrt{M^2 + 1}}{M \cdot \sqrt{M^2 + N^2}} \right) \right]$	
D = 5,20 m	Approfondimento intradosso fondazione	$I_2 = \frac{N}{2\pi} \arctan \left(\frac{M}{N \cdot \sqrt{M^2 + N^2 + 1}} \right)$	
L = 20,00 m	Lunghezza fondazione		
v = 0,30	Coefficiente di Poisson terreno di fondazione		
$E_s = 117500$ kPa	Modulo elastico medio terreno di fondazione		

CALCOLO COEFFICIENTI			
	Centro	Spigolo	
H = 5B = 86,00	86,00 m	86,00 m	Altezza strato compressibile
B* = 8,60	17,20 m		Punto di calcolo (B/2, B)
D/B = 0,302			
M = L/B = 1,163			
N = H/B* = 10,000			
$I_1 = 0,531$	0,460		
$I_2 = 0,018$	0,035		
$I_s = 0,541$	0,481		
$I_F = 0,80$	0,80		
m = 4	1		
$k_s = 8672$	19525 kN/m ³		

$k_{s, media} = 10843 \text{ kN/m}^3$

$k_s = \frac{E_s}{B \sqrt{1 + v^2} \cdot m \cdot I_s \cdot I_F}$
 $k_{s, media} = \frac{4 \cdot k_{s, centro} + k_{s, spigolo}}{5}$

Si adotta un valore della costante di sottofondo $k_s = 10800 \text{ kN/m}^3$ per le molle di fondazione e, restando a favore di sicurezza, $k_s = 5400 \text{ kN/m}^3$ per le molle dei piedritti.

5.2 Modello strutturale paratie

Il calcolo delle paratie in oggetto viene effettuato attraverso l'utilizzo del software di calcolo PAC 10.0 della ditta AZTEC Informatica, nella forma originale commercializzata dall'azienda.

La valutazione dei coefficienti di spinta attiva e passiva per lo stato di sollecitazione statica è effettuata a partire dai parametri geotecnici di progetto, facendo ricorso alla teoria di Muller - Breslau, nell'ipotesi di un angolo di attrito (δ) tra la struttura e il terreno come descritto nei paragrafi seguenti.

Secondo i metodi esposti nei paragrafi successivi, la spinta in condizioni sismiche è modellata sommando le sovraspinte inerziali aggiuntive del tratto fuori terra alle spinte statiche calcolate con i parametri geotecnici di progetto.

5.2.1 Metodo di soluzione

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

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

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

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

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

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte

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

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

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

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

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

Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione si può agire con tre modalità :

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

5.2.2 Analisi ad elementi finiti

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

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

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

5.2.2.1 Schematizzazione del terreno

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidezza della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (costante di Winkler). La costante di sottofondo, k , è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo $[F/L^3]$. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se (m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale ($b=100$ cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m , della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidezza, si esprime come

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

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

5.2.2.2 Modalità di analisi e comportamento elasto - plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma PAC). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max} ; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max} . Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidezza, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali).

$$Ku = p$$

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

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

5.2.2.3 Analisi per fasi di scavo

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

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

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

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

In accordo con le fasi di costruzione previste negli elaborati di progetto, si tiene conto delle seguenti fasi e delle relative configurazioni di calcolo in condizioni di falda di cantiere:

- Fase 0) Condizioni geostatiche a prescavo del piano campagna (inizializzazione modello di calcolo)
- Fase 1) Realizzazione palancole e condizioni di falda di cantiere
- Fase 2) Condizioni di falda di cantiere, abbassamento dello scavo fino a quota di imposta magrone, aggotamento acque e abbassamento livello di falda a valle fino a -1.00 da fondo scavo
- Fase 3) Condizioni di falda di cantiere, sovraccarico automezzi, condizioni sismiche

6 ANALISI DEI CARICHI

Si riporta di seguito l'analisi dei carichi agenti sulla struttura oggetto della presente relazione.

6.1 Azioni permanenti strutturali (G₁)

6.1.1 Peso proprio

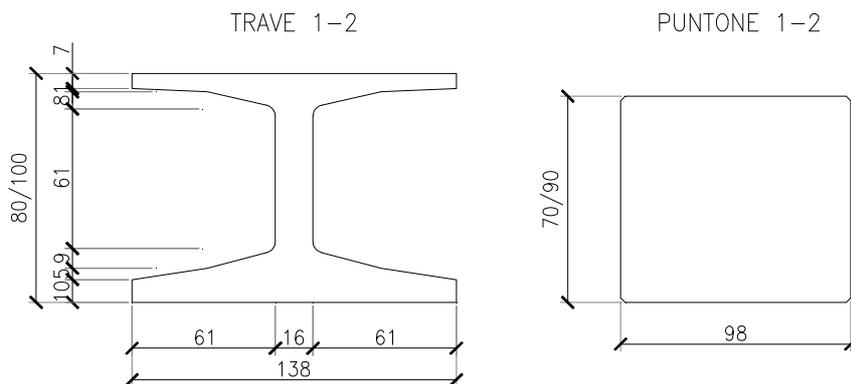
Per gli elementi in c.a. si considera un peso specifico $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$. Nel modello dello scatolare i pesi sono calcolati automaticamente dal software di calcolo.

$$g_1 = 0.20 \cdot \gamma_c = 5.00 \text{ kN/m}^2$$

Peso soletta

$$g_1 = 0.60 \cdot \gamma_c = 15.00 \text{ kN/m}^2$$

Peso fondazione concio 12



Sezione	A (cm ²)	I _x (cm ⁴)	p (kN/m)
Trave 1	4313	4499537	10.78
Trave 2	4633	6829485	11.58
Puntone 1	6852	5471596	17.13
Puntone 2	8812	7040249	22.03

Geometria delle sezioni adottate nel calcolo



Modello A – Concio 12 - Schema di carico Peso proprio

6.2 Azioni permanenti non strutturali (G₂)

6.2.1 Terreno riempimento

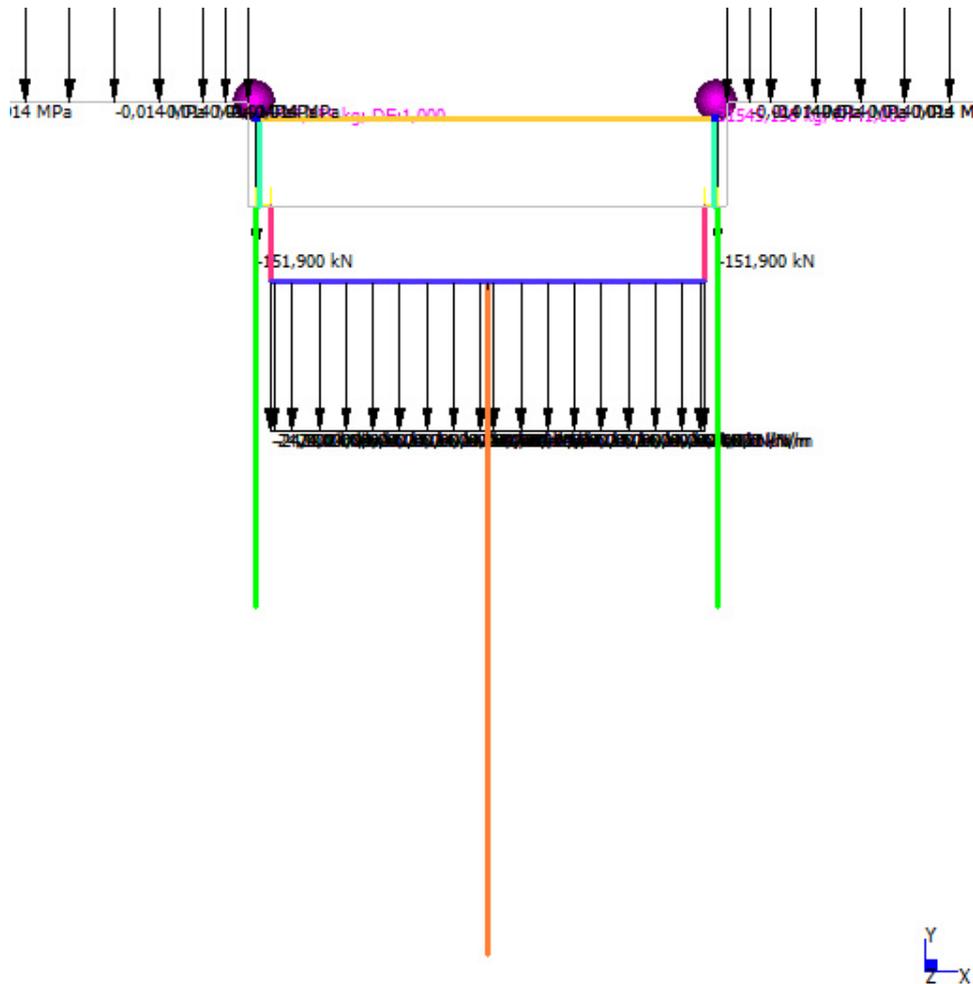
Si considera il carico distribuito medio del terreno di riinterro e del riempimento interno medio sopra la fondazione, comprensivo del pacchetto di pavimentazione.

$$g_2 = 0.70 \cdot 20 = 14.00 \text{ kN/m}^2$$

Reinterro impalcato

$$g_3 = 1.20 \cdot 20 = 24.00 \text{ kN/m}^2$$

Riempimento interno



Modello A – Concio 12 - Schema di carico Permanente

6.3 Spinta del terreno (G₃)

Partendo dallo stato iniziale geostatico di spinta a riposo, le strutture di contenimento del terreno e della falda durante le fasi di scavo subiscono spostamenti in condizioni di spinta attiva o passiva lungo le superfici a contatto, il quale meccanismo consente di garantire l'equilibrio.

Le spinte sono pertanto calcolate ed applicate in automatico dal software di calcolo sugli elementi finiti della struttura di contenimento interna.

Stessa modalità avviene per il software automatico nel calcolo delle palancole provvisionali.

Per il modello dello scatolare si adotta una spinta del tipo a riposo.

6.4 Azione sismica (E)

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica del sito è definita in termini di:

a_g accelerazione orizzontale massima del terreno
 F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
 T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

L'accelerazione orizzontale massima attesa a_g è riferita in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per ogni stato limite considerato.

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

6.4.1 Stati limite di progetto sismici

Nel caso in esame l'opera viene realizzata nel Comune di Albairate (MI), di coordinate geografiche:

Latitudine N: 45.4205°

Longitudine E: 8.9385°

Dato il periodo di riferimento della struttura $V_R = 100$ anni, si possono individuare i seguenti stati limite:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	60	0,022	2,546	0,194
SLD	101	0,027	2,591	0,210
SLV	949	0,050	2,731	0,304
SLC	1950	0,058	2,819	0,320

Opere definitive - Parametri sismici per i vari stati limite di progetto

Per le opere provvisionali, in cui si ha $V_R = 35$ anni, si possono individuare i seguenti stati limite:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,017	2,538	0,160
SLD	35	0,018	2,531	0,169
SLV	332	0,038	2,648	0,264
SLC	682	0,046	2,697	0,295

Opere provvisionali - Parametri sismici per i vari stati limite di progetto

Con riferimento alle caratteristiche dell'opera, si è analizzato il seguente stato limite di progetto:

- Stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la struttura subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali, mentre conserva invece una parte della esistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Probabilità di superamento

$$P_{VR} = 10\%$$

Tempo di ritorno

$$T_R = -V_R / \ln(1-P_{VR}) = -100 / \ln(1-0.10) = 949 \text{ anni}$$

6.4.2 Spettri di risposta

Per il sito in esame, in base alle caratteristiche geotecniche di riferimento e dalla morfologia del terreno, il sottosuolo può essere classificato come:

Categoria sottosuolo "D"

(§ 3.2.2, Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)

Categoria topografica

“T1”

(§ 3.2.2, Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$)

Lo spettro di risposta elastico orizzontale $S_e(T)$ del sisma è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T_D \cdot T_C}{T^2} \right]$$

T periodo di vibrazione orizzontale [s]

$S_e(T)$ accelerazione spettrale orizzontale [m/s^2]

S = $S_s \cdot S_T$ coefficiente della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche

S_s coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi tabella seguente)

S_T coefficiente di amplificazione topografica (vedi tabella seguente)

$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55$ fattore che altera lo spettro elastico per smorzamento viscosi diversi dal 5%

ξ coefficiente di smorzamento viscoso [%]

F_0 fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima

$T_C = C_c \cdot T_c^*$ periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

C_c coefficiente definito nella tabella seguente

$T_B = T_C / 3$ periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante

$T_D = 4 \cdot a_g / g + 1,6$ periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.0 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.0 \leq 1.70 - 0.6 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.0 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$

Coefficienti di amplificazione stratigrafica orizzontale

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Coefficienti di amplificazione topografica

Lo spettro di risposta elastico verticale $S_{ve}(T)$ del sisma è definito dalle espressioni seguenti:

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T_D \cdot T_C}{T^2} \right]$$

T periodo di vibrazione verticale [s]
 $S_{ve}(T)$ accelerazione spettrale verticale [m/s²]
 $F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot (a_g/g)^{0,5}$ fattore che quantifica l'accelerazione spettrale massima

I parametri S_s , T_B , T_C e T_D per la definizione dello spettro verticale sono indipendenti dalla categoria di suolo e assumono i valori riportati nella tabella seguente.

Categoria sottosuolo	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1.0	0.05 s	0.15 s	1.0 s

Coefficienti di amplificazione stratigrafica verticale

Le capacità dissipative della struttura possono essere considerate nella fase di analisi attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovreresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni.

In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare è lo spettro elastico ridotto sostituendo nelle formule corrispondenti η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. Si assume comunque $S_d(T) \geq 0,2a_g$.

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

q_0 valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_w/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione

K_R fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione

Restando a favore di sicurezza, si trascura la capacità dissipativa delle strutture assumendo $q = 1.00$ sia per la componente orizzontale che verticale dello spettro di progetto.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,050 g
F_o	2,731
T_C^*	0,304 s
S_S	1,800
C_C	2,269
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,800
η	1,000
T_B	0,230 s
T_C	0,689 s
T_D	1,800 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

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

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

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

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

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,090
$T_B \leftarrow$	0,230	0,245
$T_C \leftarrow$	0,689	0,245
	0,742	0,228
	0,795	0,213
	0,847	0,199
	0,900	0,188
	0,953	0,177
	1,006	0,168
	1,059	0,160
	1,112	0,152
	1,165	0,145
	1,218	0,139
	1,271	0,133
	1,324	0,128
	1,377	0,123
	1,429	0,118
	1,482	0,114
	1,535	0,110
	1,588	0,106
	1,641	0,103
	1,694	0,100
	1,747	0,097
$T_C \leftarrow$	1,800	0,094
	1,905	0,084
	2,009	0,075
	2,114	0,068
	2,219	0,062
	2,324	0,056
	2,428	0,052
	2,533	0,047
	2,638	0,044
	2,743	0,040
	2,847	0,038
	2,952	0,035
	3,057	0,033
	3,162	0,030
	3,267	0,029
	3,371	0,027
	3,476	0,025
	3,581	0,024
	3,686	0,022
	3,790	0,021
	3,895	0,020
	4,000	0,019

Opere definitive - Parametri dello spettro di risposta orizzontale allo SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{av}	0,015 g
S_S	1,000
S_T	1,000
q	1,000
T_B	0,050 s
T_C	0,150 s
T_D	1,000 s

Parametri dipendenti

F_v	0,824
S	1,000
η	1,000

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,015
$T_B \leftarrow$	0,050	0,041
$T_C \leftarrow$	0,150	0,041
	0,235	0,026
	0,320	0,019
	0,405	0,015
	0,490	0,013
	0,575	0,011
	0,660	0,009
	0,745	0,008
	0,830	0,007
	0,915	0,007
$T_D \leftarrow$	1,000	0,006
	1,094	0,005
	1,188	0,004
	1,281	0,004
	1,375	0,003
	1,469	0,003
	1,563	0,003
	1,656	0,002
	1,750	0,002
	1,844	0,002
	1,938	0,002
	2,031	0,001
	2,125	0,001
	2,219	0,001
	2,313	0,001
	2,406	0,001
	2,500	0,001
	2,594	0,001
	2,688	0,001
	2,781	0,001
	2,875	0,001
	2,969	0,001
	3,063	0,001
	3,156	0,001
	3,250	0,001
	3,344	0,001
	3,438	0,001
	3,531	0,000
	3,625	0,000
	3,719	0,000
	3,813	0,000
	3,906	0,000
	4,000	0,000

Opere definitive - Parametri dello spettro di risposta verticale allo SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,038 g
F_o	2,648
T_C^*	0,264 s
S_S	1,800
C_C	2,433
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,800
η	1,000
T_B	0,214 s
T_C	0,642 s
T_D	1,753 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

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

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

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

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

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,069
$T_B \leftarrow$	0,214	0,182
$T_C \leftarrow$	0,642	0,182
	0,695	0,169
	0,748	0,157
	0,801	0,146
	0,854	0,137
	0,907	0,129
	0,960	0,122
	1,013	0,116
	1,065	0,110
	1,118	0,105
	1,171	0,100
	1,224	0,096
	1,277	0,092
	1,330	0,088
	1,383	0,085
	1,436	0,082
	1,489	0,079
	1,542	0,076
	1,594	0,074
	1,647	0,071
	1,700	0,069
$T_D \leftarrow$	1,753	0,067
	1,860	0,059
	1,967	0,053
	2,074	0,048
	2,181	0,043
	2,288	0,039
	2,395	0,036
	2,502	0,033
	2,609	0,030
	2,716	0,028
	2,823	0,026
	2,930	0,024
	3,037	0,022
	3,144	0,021
	3,251	0,019
	3,358	0,018
	3,465	0,017
	3,572	0,016
	3,679	0,015
	3,786	0,014
	3,893	0,014
	4,000	0,013

Opere provvisoriale - Parametri dello spettro di risposta orizzontale allo SLV

6.4.3 Masse efficaci e variabilità del moto sismico

La determinazione dell'azione sismica viene calcolata considerando il totale delle masse G associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G = G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

- G_1 masse dei pesi propri strutturali
- G_2 masse dei carichi permanenti non strutturali
- Q_{kj} masse dei carichi accidentali

Con riferimento a § 3.2.4 delle NTC, si ritiene trascurabile in fase sismica il contributo delle azioni accidentali, pertanto vengono considerati i contributi dei soli carichi permanenti.

Si è tenuto conto della variabilità del moto sismico orizzontale considerando le tre direzioni principali di oscillazione, in accordo con il §7.3.5 delle NTC, secondo le seguenti relazioni:

$$E_1 = E_x + 0.30 \cdot E_y$$

$$E_2 = 0.30 \cdot E_x + E_y$$

6.4.4 Amplificazione sismica di progetto

6.4.4.1 Galleria (Modello A, C)

Con riferimento al § 7.11.6 delle NTC si esegue l'analisi con il metodo pseudostatico, dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Le azioni inerziali E_h e E_v sugli elementi del modello strutturale sono determinati automaticamente dal software di calcolo incrementando le masse dei pesi propri G con accelerazioni verticali e orizzontali definite dai coefficienti di amplificazione dinamica k_h e k_v :

- $E_h = G \cdot k_h$ azione inerziale orizzontale
- $E_v = G \cdot k_v$ azione inerziale verticale
- $k_h = \beta_m \cdot S_S \cdot S_T \cdot a_g / g$ coefficiente sismico orizzontale
- $k_v = 0.5 \cdot \beta_m \cdot S_S \cdot S_T \cdot a_g / g$ coefficiente sismico verticale
- $\beta_m = 0.18$ coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito
- $S_S = 1.80$ coefficiente di amplificazione stratigrafica orizzontale
- $S_T = 1.00$ coefficiente di amplificazione topografica
- $a_g = 0.050g$ accelerazione massima attesa al sito per lo Stato Limite considerato
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ accelerazione di gravità
- G masse efficaci sismiche

Stato limite	K_h	K_v
SLV	0.0162	0.0081

Coefficienti di amplificazione sismica per gli stati limite considerati

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_m	β_m
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,18

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione sismica attesa in sito (NTC 2008)

Le azioni E_h e E_v vengono calcolate in automatico nel software di calcolo applicando agli elementi finiti del modello delle accelerazioni inerziali orizzontali $K_h \cdot g$ e verticali $K_v \cdot g$.

6.4.4.2 Paratie

Con riferimento al § 7.11.6 delle NTC si esegue l'analisi con il metodo pseudostatico, dove l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente orizzontale pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Le sovraspinte sismiche ΔS_h sono calcolate in automatico dal software di calcolo applicando agli elementi finiti del modello del terreno le accelerazioni inerziali orizzontali $K_h \cdot g$ e verticali $K_v \cdot g$.

I coefficienti di amplificazione dinamica k_h sono ricavate secondo le seguenti relazioni:

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot S_S \cdot S_T \cdot a_g / g \quad \text{coefficiente sismico orizzontale}$$

$$k_v = 0 \quad \text{coefficiente sismico verticale}$$

α coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni
(calcolato automaticamente dal programma in funzione di H)

β coefficiente della capacità di subire spostamenti senza cadute di resistenza
(calcolato automaticamente dal programma in funzione di H)

$u_s \leq 0.005 \cdot H$ massimo spostamento ammissibile in funzione dell'altezza paratia H

S_S coefficiente di amplificazione stratigrafica orizzontale

S_T coefficiente di amplificazione topografica

$a_g = 0.038g$ accelerazione massima attesa al sito per lo Stato Limite considerato

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ accelerazione di gravità

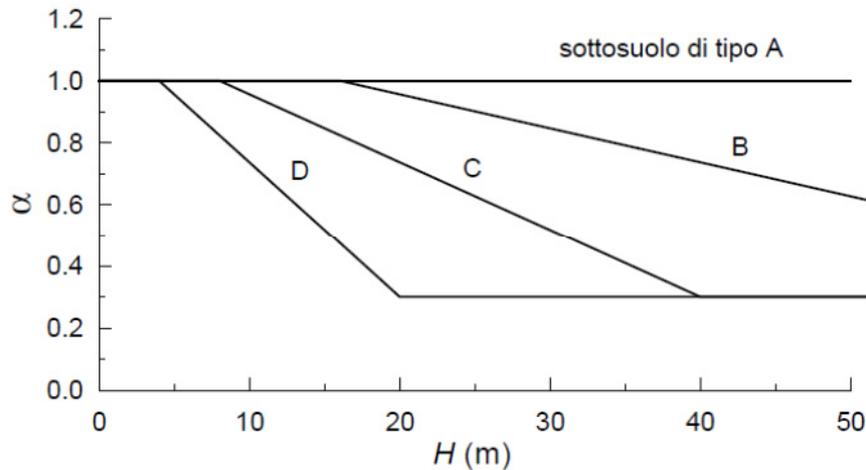


Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

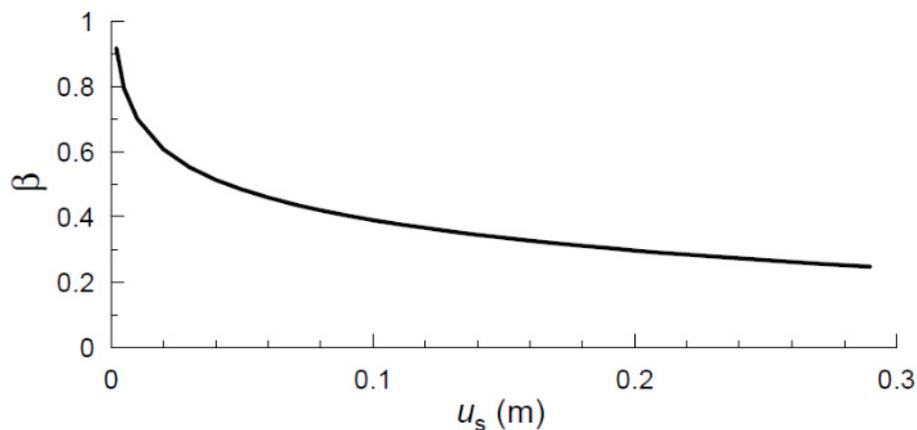
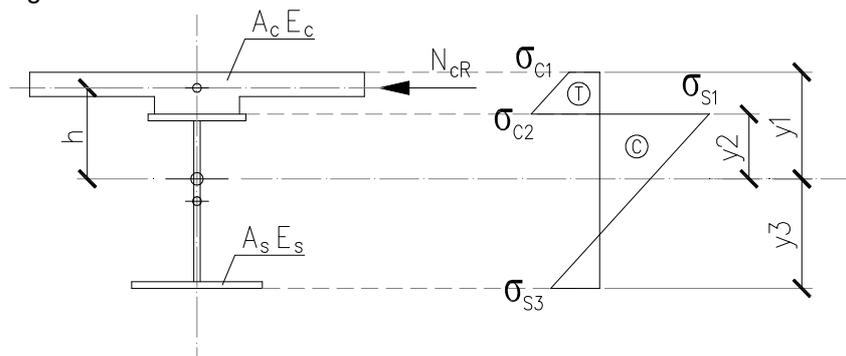


Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

6.5 Ritiro del calcestruzzo (ϵ_2)

Dato che il ritiro dipende dal tempo di maturazione del calcestruzzo, dalla sua resistenza e dalle condizioni ambientali, gli effetti possono evidenziarsi sia in fase di costruzione sulla sezione mista acciaio-calcestruzzo (ritiro primario) sia a lungo termine sulla statica globale dell'impalcato (ritiro secondario).

Nel primo caso l'accorciamento primario della soletta determina l'insorgenza di tensioni di scorrimento all'interfaccia soletta-trave e uno stato di pressoflessione della sezione mista che può essere schematizzata come nella figura seguente.

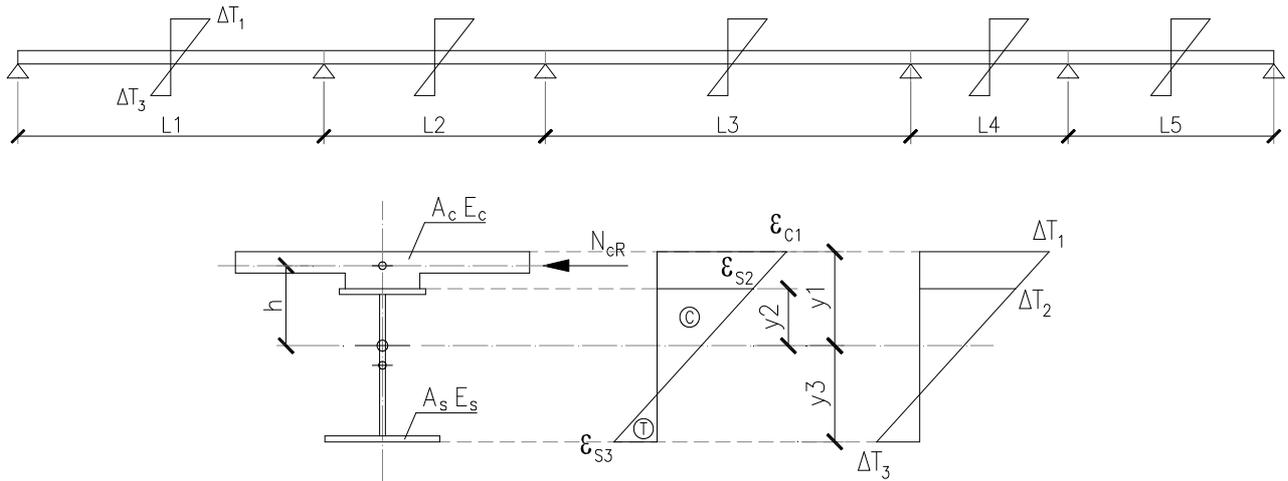


Schema delle tensioni di ritiro primario sulla sezione mista acciaio-calcestruzzo

N'_{cR}	Azione assiale equivalente di ritiro primario
A_c	Area sezione di calcestruzzo
A_s	Area sezione di acciaio
E_c	Modulo elastico calcestruzzo
E_s	Modulo elastico acciaio
$A = n \cdot A_c + A_s$	Area sezione mista omogeneizzata all'acciaio
$E = E_s = n \cdot E_c$	Modulo elastico sezione mista omogeneizzata all'acciaio
$I = n \cdot I_c + I_s$	Momento d'inerzia sezione mista omogeneizzata
$n = E_s/E_c$	Rapporto omogeneizzazione acciaio - calcestruzzo
$\sigma_{c1} = - N'_{cR}/(n \cdot A) - N'_{cR} \cdot h/(n \cdot I) \cdot y_1 + N'_{cR}/A_c$	Tensione ritiro primario calcestruzzo
$\sigma_{c2} = - N'_{cR}/(n \cdot A) - N'_{cR} \cdot h/(n \cdot I) \cdot y_2 + N'_{cR}/A_c$	
$\sigma_{s2} = - N'_{cR}/A - N'_{cR} \cdot h/I \cdot y_2$	Tensione ritiro primario acciaio
$\sigma_{s3} = - N'_{cR}/A - N'_{cR} \cdot h/I \cdot y_3$	

Nel secondo caso l'accorciamento secondario della soletta determina l'insorgenza di reazioni iperstatiche sulla statica globale dell'impalcato. Il calcolo consiste nel caricare la trave continua con dei carichi di distorsione geometrica, quali quelli termici, come riportato nello schema di calcolo seguente.

Nel caso in cui l'impalcato presenti uno schema isostatico, il ritiro secondario viene interamente assorbito dalle sezioni resistenti longitudinali con l'insorgenza di sole deformazioni cinematiche e nessuna tensione aggiuntiva.



Schema di calcolo delle iperstatiche di ritiro secondario

N''_{cR}

$\alpha = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T_1 = -N''_{cR}/(\alpha \cdot A \cdot E) - N''_{cR} \cdot h/(\alpha \cdot I \cdot E) \cdot y_1$

$\Delta T_3 = -N''_{cR}/(\alpha \cdot A \cdot E) - N''_{cR} \cdot h/(\alpha \cdot I \cdot E) \cdot y_3$

Azione assiale equivalente di ritiro secondario

Coefficiente di dilatazione termica sezione mista

Carico termico equivalente sezione mista ritiro secondario

6.5.1.1 Trave prefabbricata

Nel caso in oggetto l'impalcato presenta uno schema isostatico, pertanto il ritiro secondario viene interamente assorbito dalle sezioni resistenti longitudinali con l'insorgenza di sole deformazioni cinematiche e nessuna tensione aggiuntiva (come nel caso del ritiro primario).

La deformazione totale da ritiro ϵ_{cs} secondo § 11.2.10.6 delle NTC risulta dal calcolo seguente:

UR = 60%

$f_{ck} = 45.65 \text{ MPa}$

$\epsilon_{c0} = -0.390 \text{ } \text{‰}$

umidità relativa

resistenza caratteristica calcestruzzo a 28 giorni

$f_{ck} \text{ [MPa]}$	Umidità relativa (%)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0.62	-0.58	-0.49	-0.30	-0.17	+0.00
40	-0.48	-0.46	-0.38	-0.24	-0.13	+0.00
60	-0.38	-0.36	-0.30	-0.19	-0.10	+0.00
80	-0.30	-0.28	-0.24	-0.15	-0.07	+0.00

Valori del parametro ϵ_{c0} (‰)

$h_0 \text{ [mm]}$	k_h
100	1.00
200	0.85
300	0.75
≥ 500	0.70

Valori del parametro k_h

$u = 5.40 \text{ m}$

$A_c = 0.4633 \text{ m}^2$

$h_0 = 2 \cdot A_c / u = 2 \cdot 0.4633 / 5.40 = 0.172 \text{ m}$

$k_h = 0.95$

perimetro sezione in calcestruzzo esposta all'aria

area sezione in calcestruzzo

dimensione fittizia

$\epsilon_{cd} = \epsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \epsilon_{c0} = -0.371 \text{ ‰}$	deformazione per ritiro da essiccamento
$\epsilon_{ca} = \epsilon_{ca,\infty} = -2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = -0.089 \text{ ‰}$	deformazione per ritiro autogeno
$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = -0.460 \text{ ‰}$	deformazione totale da ritiro

6.5.1.2 Soletta

La deformazione totale da ritiro ϵ_{cs} secondo § 11.2.10.6 delle NTC risulta dal calcolo seguente:

UR = 60%	umidità relativa
$f_{ck} = 29.05 \text{ MPa}$	resistenza caratteristica calcestruzzo a 28 giorni
$\epsilon_{c0} = -0.440 \text{ ‰}$	
u = 1.40 m	perimetro sezione in calcestruzzo esposta all'aria
$A_c = 0.20 \cdot 1.40 = 0.28 \text{ m}^2$	area sezione in calcestruzzo
$h_0 = 2 \cdot A_c / u = 2 \cdot 0.28 / 1.40 = 0.400 \text{ m}$	dimensione fittizia
$k_h = 0.725$	
$\epsilon_{cd} = \epsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \epsilon_{c0} = -0.319 \text{ ‰}$	deformazione per ritiro da essiccamento
$\epsilon_{ca} = \epsilon_{ca,\infty} = -2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = -0.048 \text{ ‰}$	deformazione per ritiro autogeno
$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = -0.367 \text{ ‰}$	deformazione totale da ritiro

Le deformazioni differenziali primarie sono trattate direttamente nel calcolo della trave prefabbricata.

6.6 Variazioni termiche (ϵ_3)

Dato anche lo schema isostatico della copertura, non si considerano variazioni termiche differenziali sugli elementi strutturali della galleria.

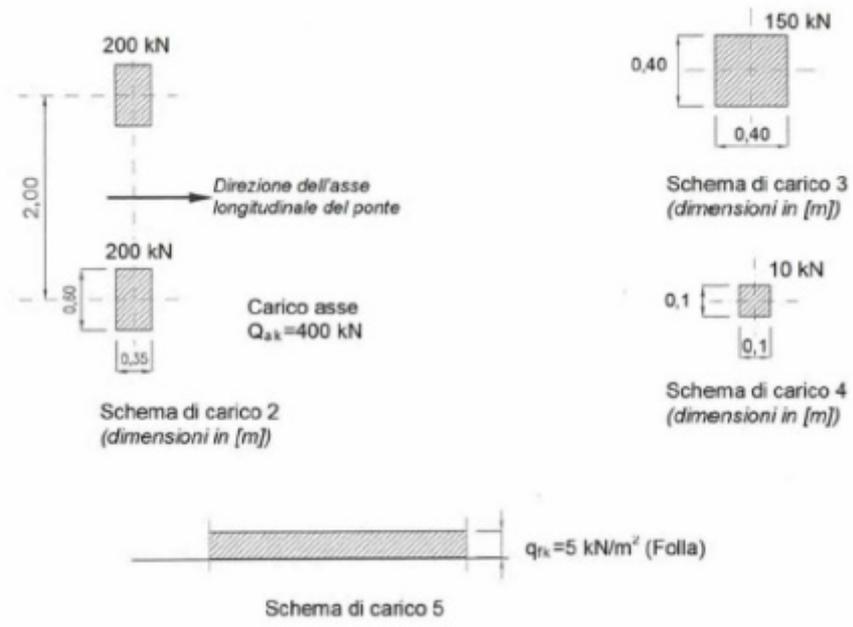
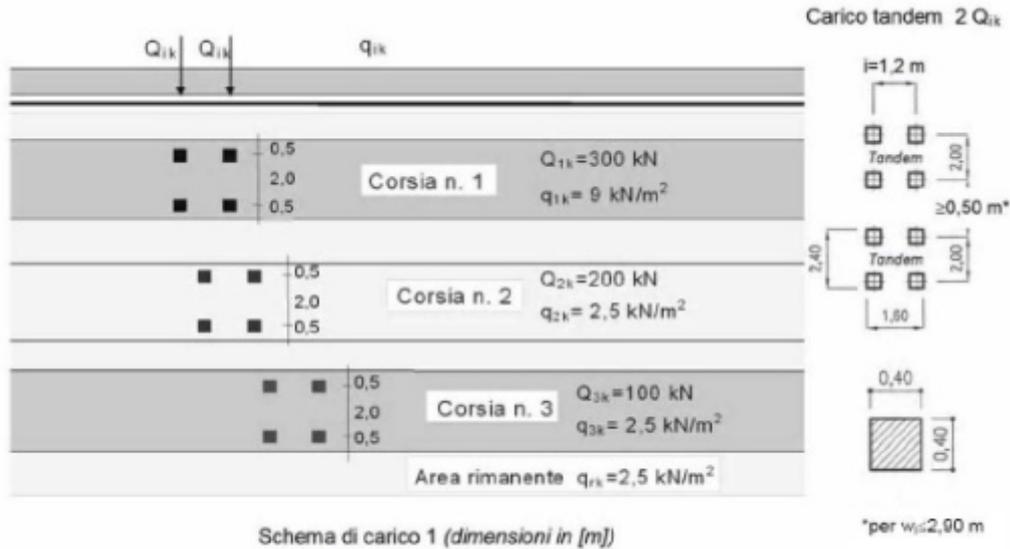
6.7 Cedimenti vincolari (ϵ_4)

Non si prevedono cedimenti differenziali addizionali.

6.8 Azioni accidentali da traffico veicolare (Q_1)

6.8.1 Azioni sull'impalcato

Coerentemente con quanto indicato al par.5.1.3.3 delle Norme Tecniche, le azioni variabili del traffico, comprensive degli effetti dinamici, sono definite dai seguenti schemi di carico:



Schemi di carico secondo NTC 2008

I carichi tandem Q_{1k} vengono posizionati ortogonalmente all'asse della galleria, diffusi sia in direzione longitudinale che trasversale e trattati come pressioni uniformemente distribuite sulla soletta superiore. Assumendo una diffusione con inclinazione 30° nel terreno e 45° nella soletta, si hanno le seguenti pressioni distribuite:

$$q_{\text{tandem}} = 2 \cdot Q_{1k} / (L_T \cdot L_L) = 2 \cdot 300 / (3.41 \cdot 2.61) = 66.89 \text{ kN/m}^2$$

Pressione carico tandem Q_{1k}

$$H = 0.70 \text{ m}$$

spessore del rinterro

$$s = 0.20 \text{ m}$$

spessore soletta

$$D = H \cdot \tan 30^\circ + s/2 = 0.50 \text{ m}$$

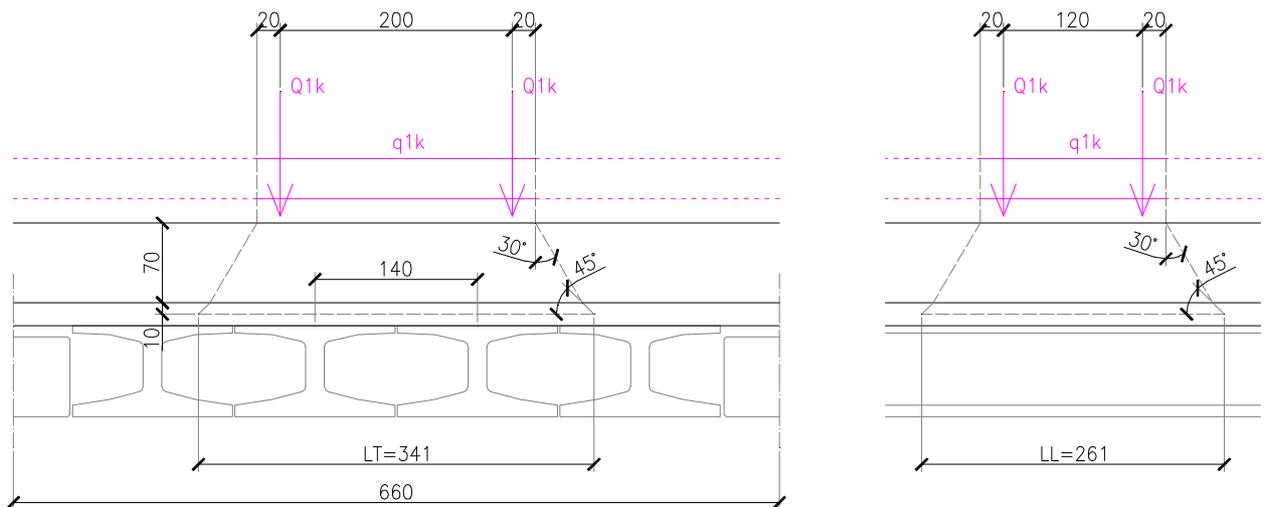
diffusione laterale trasversale o longitudinale

$$L_T = 1.60 + 2 \cdot D = 2.61 \text{ m}$$

larghezza trasversale di diffusione

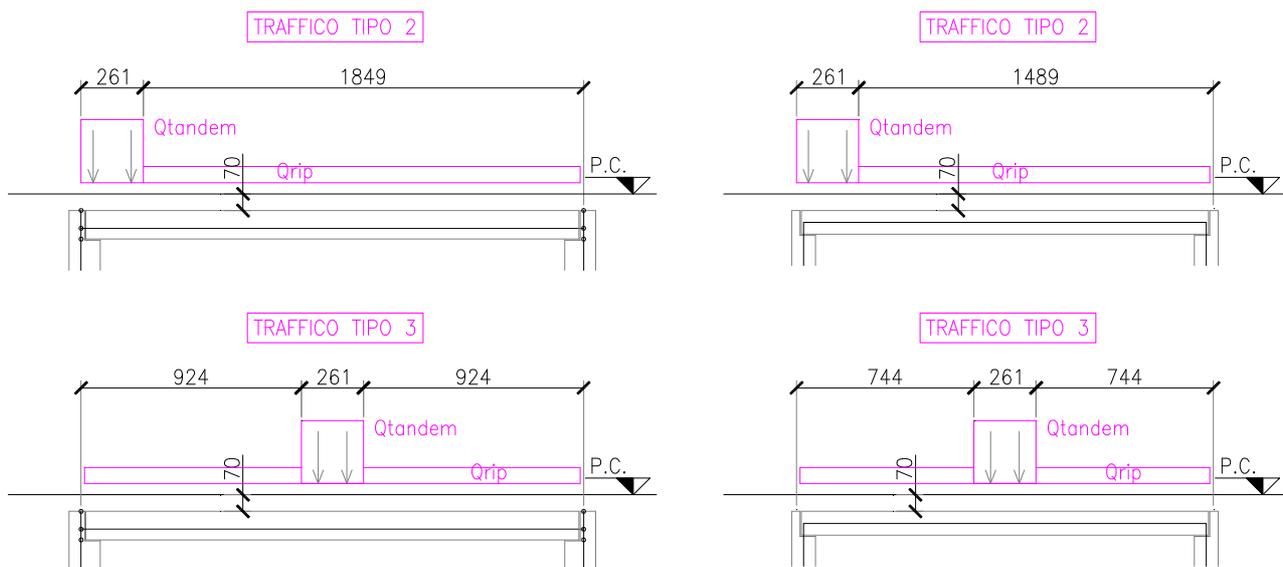
$$L_L = 2.40 + 2 \cdot D = 3.41 \text{ m}$$

lunghezza longitudinale di diffusione

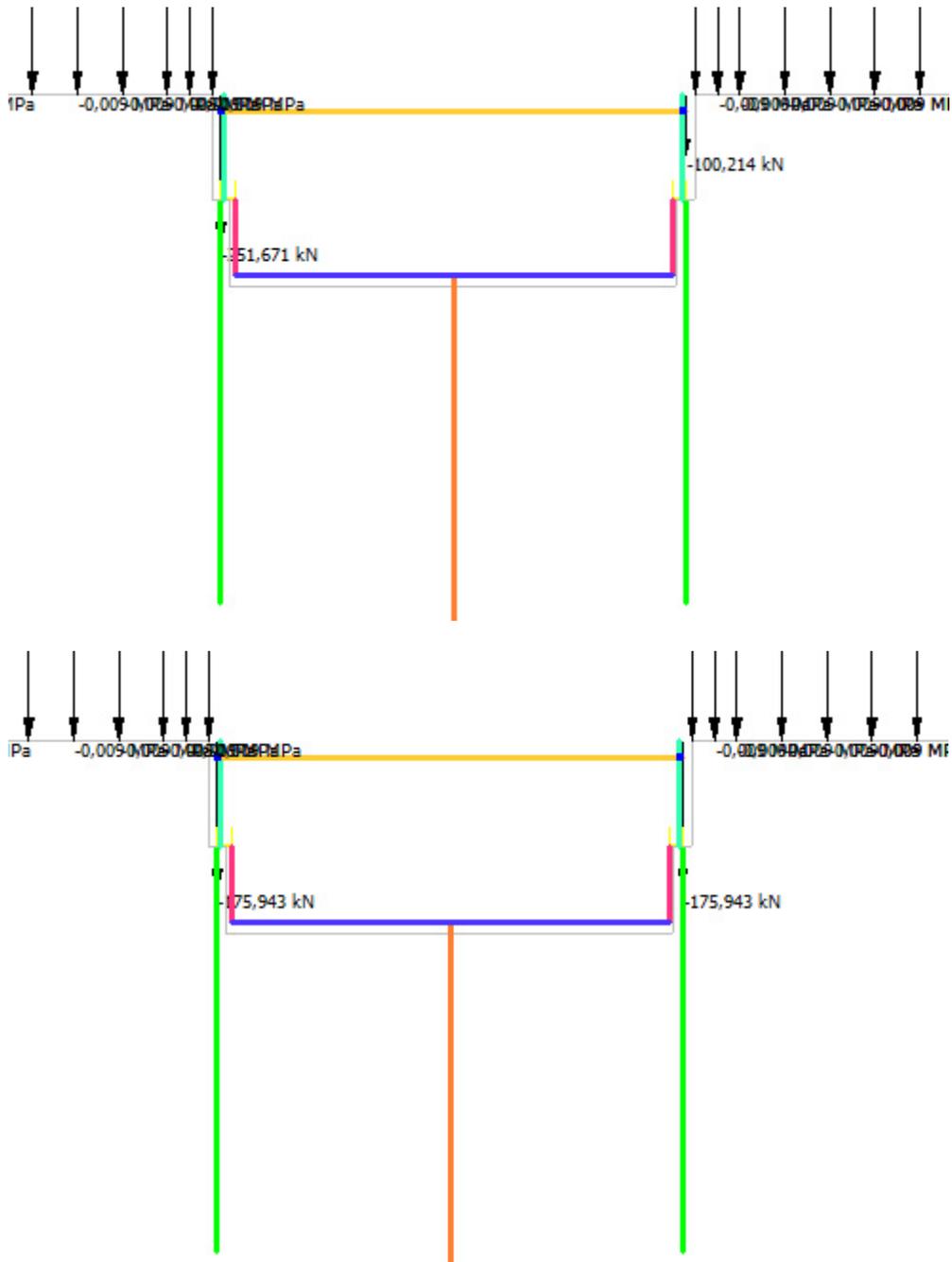


Schema e reazioni sulle travi di carico da Traffico 2, 3

Nel modello strutturale si prevede uno schema di carico longitudinale di massimo taglio e uno di massimo momento in mezzeria (vedi figura seguente) con pressione totali $q_{tandem} = 66.89 + 9 = 75.89$ kPa e $q_{rip} = 9.00$ kPa.



Concio 12 e Concio 7 – Schemi di sovraccarichi accidentali Traffico 2, 3 applicate al modello B



Modello A – Concio 12 - Schema di carico Traffico 2 e Traffico 3

6.8.2 Spinte sui piedritti

Nel Modello A, le spinte sono calcolate ed applicate in automatico dal software di calcolo sugli elementi finiti della struttura di contenimento interna.

Nel Modello C, si assume che sui piedritti la spinta del terreno generata dai sovraccarichi stradali sia in condizioni a riposo. Il coefficiente di spinta attiva K_e , la pressione orizzontale $\sigma_h(z)$ alla generica quota z e la spinta totale sulla parete S_h sono espressi dalle relazioni:

K_0 coefficiente di spinta a riposo

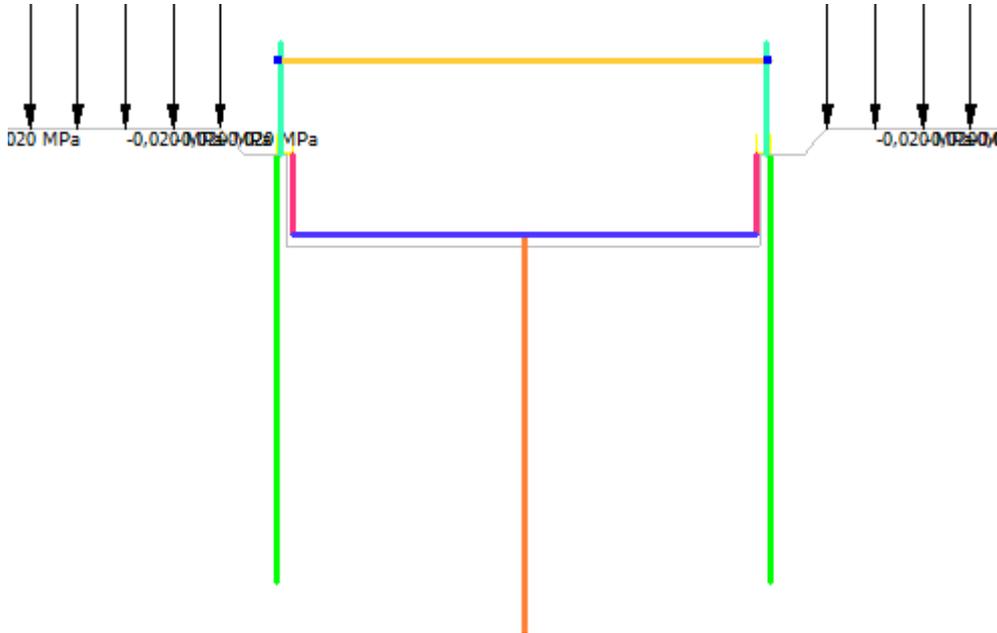
$$\sigma_h = \sigma_v \cdot K_0 = q_3 \cdot K_0$$

$$S_h = \sigma_v \cdot K_0 \cdot H = q_3 \cdot K_0 \cdot H$$

$\sigma_v = q_3$ pressione verticale data dai sovraccarichi

H altezza della parete di spinta
 φ angolo attrito del terreno di rinfiaccio

Per tutte le elevazioni, restando a favore di sicurezza, si adotta un carico ripartito superficiale sul profilo del terreno di monte pari a 20 kN/m².

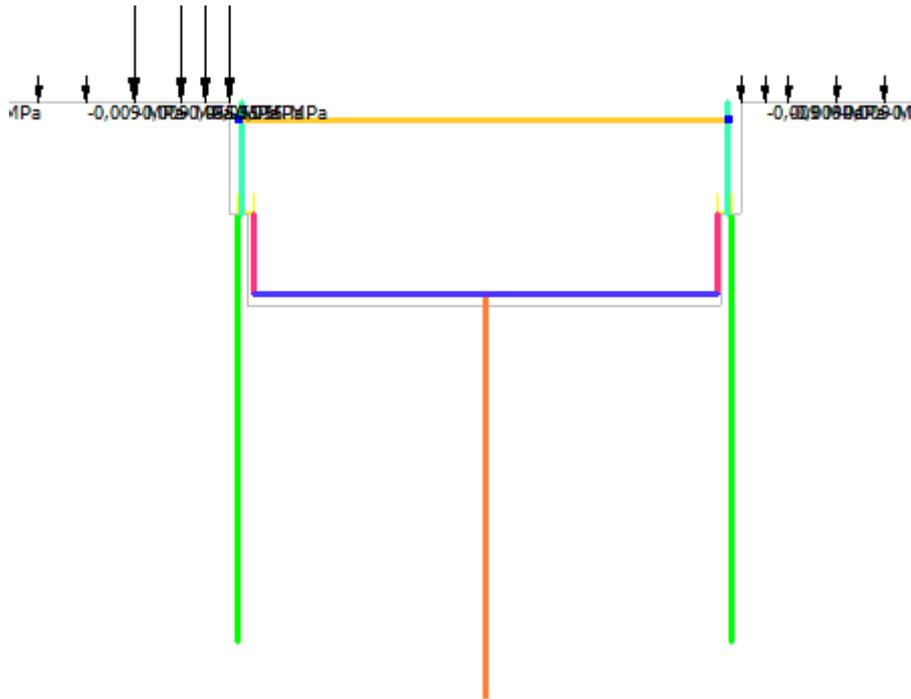


Modello A – Concio 12 - Schema di carico Traffico 1

In fase finale si prevede un carico tandem applicato a livello superficiale a tergo dell'elevazione. Si hanno le seguenti pressioni distribuite sul profilo:

$q_{\text{tandem}} = 2 \cdot Q_{1k} / (L_T \cdot L_L) = 2 \cdot 300 / (3.22 \cdot 4.02) = 46.44 \text{ kN/m}^2$	Pressione carico tandem Q_{1k}
$H = 0.70 + 0.70 = 1.40 \text{ m}$	spessore del rinterro
$D = H \cdot \tan 30^\circ = 0.81 \text{ m}$	diffusione laterale trasversale o longitudinale
$L_T = 1.60 + 2 \cdot D = 3.22 \text{ m}$	larghezza trasversale di diffusione
$L_L = 2.40 + 2 \cdot D = 4.02 \text{ m}$	lunghezza longitudinale di diffusione

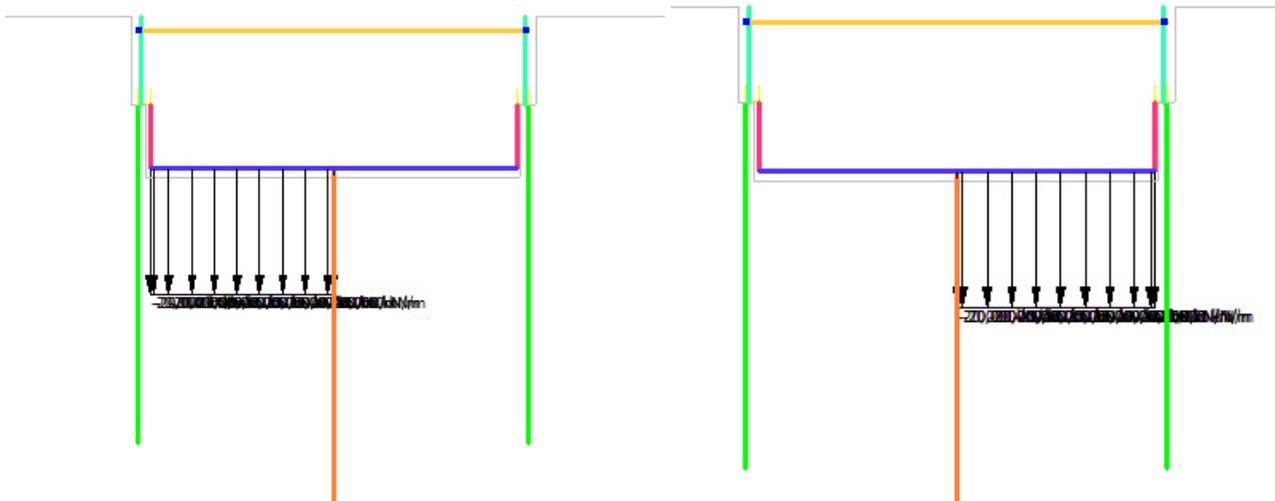
Nel modello strutturale si prevede una distribuzione di pressioni totali $q_{\text{tandem}} = 46.44 + 9 = 55.44 \text{ kPa}$ e $q_{\text{rip}} = 9.00 \text{ kPa}$.



Modello A – Concio 12 - Schema di carico Traffico 4

6.8.3 Azioni sopra la fondazione

Si assumono applicate agli elementi della fondazione le pressioni verticali derivanti dal transito veicolare all'interno della galleria. Restando a favore di sicurezza, si adotta un carico ripartito superficiale pari a 20 kN/m².



Modello A – Concio 12 - Schema di carico Traffico 5 e Traffico 6

6.9 Azioni di frenatura (Q₃)

Secondo quanto riportato in § 5.1.3.5 delle NTC, la forza di frenamento o di accelerazione è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n°1:

$$q_3 = 0.6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 0.6 \cdot (2 \cdot 300) + 0.10 \cdot 9 \cdot 3.00 \cdot 15.60 = 402.12 \text{ kN}$$

Concio 3

$$q_3 = 0.6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 0.6 \cdot (2 \cdot 300) + 0.10 \cdot 9 \cdot 3.00 \cdot 17.10 = 406.17 \text{ kN}$$

Concio 7

$$q_3 = 0.6 \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.10 \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L = 0.6 \cdot (2 \cdot 300) + 0.10 \cdot 9 \cdot 3.00 \cdot 21.10 = 416.97 \text{ kN}$$

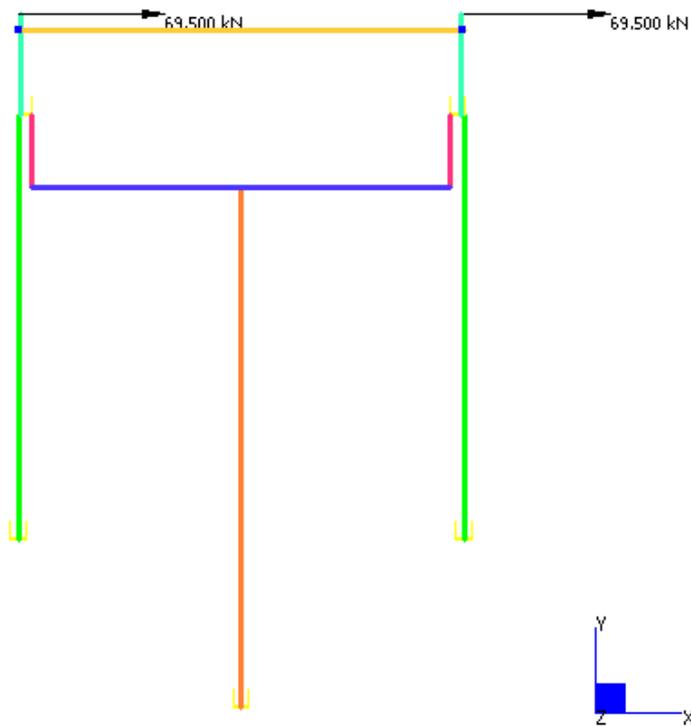
Concio 12

$$180 \text{ kN} \leq q_3 \leq 900 \text{ kN}$$

$w_1 = 3.00 \text{ m}$	larghezza della corsia convenzionale
$L = 15.60 \text{ m}$	lunghezza della zona caricata concio 3
$L = 17.10 \text{ m}$	lunghezza della zona caricata concio 7
$L = 21.10 \text{ m}$	lunghezza della zona caricata concio 12

L'azione risultante di frenatura viene modellata come azione concentrata in testa diaframma nel punto di appoggio del puntone di soletta.

$FREN = q_3/w_1/2 = 402.12/3.00/2 = 62.02 \text{ kN/m}$	Concio 3
$FREN = q_3/w_1/2 = 406.17/3.00/2 = 67.70 \text{ kN/m}$	Concio 7
$FREN = q_3/w_1/2 = 416.97/3.00/2 = 69.50 \text{ kN/m}$	Concio 12



Modello A – Concio 12 - Schema di carico Frenatura

7 ANALISI GALLERIA CONCIO 12

7.1 Combinazioni di carico

Come riportato al § 2.5.3 delle NTC, si sono considerate le seguenti combinazioni delle azioni:

$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \sum_{j=3}^n \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$	Comb. fondamentale SLU
$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \sum_{j=3}^n \psi_{0j} \cdot Q_{kj}$	Comb. caratteristica rara SLE
$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$	Combinazione frequente SLE
$G_1 + G_2 + P + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$	Comb. quasi permanente SLE
$E + G_1 + G_2 + P + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$	Combinazione sismica SLE e SLU
$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$	Combinazione eccezionale SLU

G_1	masse dei pesi propri strutturali
G_2	masse dei carichi permanenti non strutturali
P	precompressione e pretensione
Q_{kj}	masse dei carichi accidentali
E	azione sismica
A_d	azione eccezionale

I coefficienti di contemporaneità delle azioni e i coefficienti parziali da adottare per gli SLU sono riportati nelle tabelle seguenti.

7.1.1 Stati Limite Ultimi

7.1.1.1 Stati Limite Ultimi strutturali

Come riportato al § 2.3 delle NTC, per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$E_d \leq R_d$	
$E_d = E(\gamma_F \cdot F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d)$	valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
$R_d = R(\gamma_F \cdot F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d)$	valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico
$\gamma_F \cdot F_k$	azioni di progetto
X_k / γ_M	proprietà del materiale di progetto
a_d	geometria di progetto
γ_M	coefficiente parziale di sicurezza del materiale

7.1.1.2 Stati Limite di Esercizio strutturali e geotecnici

Come riportato al § 6.2.3.3 e § 5.1.4.2 delle NTC, La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale. Si dovrà verificare che sia:

$E_d \leq C_d$	
$E_d = E(\gamma_F \cdot F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d)$	valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
$C_d = C(\gamma_F \cdot F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d)$	valore nominale o funzione di certe proprietà dei materiali legate agli effetti progettuali delle azioni considerate

7.1.1.3 Stati Limite Ultimi geotecnici

Come riportato al § 6.2.3.1 delle NTC, per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$E_d \leq R_d$	
$E_d = E(\gamma_F \cdot F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d)$	valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
$R_d = 1/\gamma_R \cdot R(\gamma_F \cdot F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d)$	valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico
$\gamma_F \cdot F_k$	azioni di progetto

X_k/γ_M parametri di progetto
 a_d geometria di progetto
 γ_R coefficiente parziale di sicurezza sulla resistenza di progetto

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

7.1.1.4 Azioni di calcolo

Tabella 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

Gruppo di azioni	Carichi sulla carreggiata					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura q_3	Forza centrifuga q_4	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m ²
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 ^(*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²
4 ^(**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m ²
5 ^(***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

^(*) Ponti di 3^a categoria
^(**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
^(***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Tipologie di combinazioni di calcolo per azioni da traffico di tipo stradale (NTC 2008)

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Q3}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{c2}, \gamma_{c3}, \gamma_{c4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
Vento q_3	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_5	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

Coefficienti parziali di sicurezza allo SLU per azioni da traffico di tipo stradale (NTC 2008)

7.1.1.5 Resistenze di calcolo

Per le verifiche geotecniche si considerano i seguenti coefficienti parziali di sicurezza sulle resistenze del terreno.

Tabella 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
Coestione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{dk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0

Coefficienti parziali di sicurezza allo SLU per i parametri di resistenza del terreno (NTC 2008)

7.1.2 Combinazioni di carico delle verifiche

	ENV QP ENV RA ENV STR		
	QP	RA 1	STR 1
Peso proprio	1	1	1,35
Permanenti	1	1	1,5
Terreno	1	1	1,35
Ritiro			
Traffico 1		1	1,35
Traffico 2			
Traffico 3			
Traffico 4			
Traffico 5			
Frenatura			
Sisma X			
Sisma Y			

Modello A – Fasi 1-2-3 (scavo intermedio) - Combinazioni di carico SLE-SLU adottate nel calcolo

	ENV QP		ENV RA					
	QP	RA 1	RA 2	RA 3	RA 4	RA 5	RA 6	
Peso proprio	1	1	1	1	1	1	1	
Permanenti	1	1	1	1	1	1	1	
Terreno	1	1	1	1	1	1	1	
Ritiro								
Traffico 1								
Traffico 2		1				0,75		
Traffico 3			1				0,75	
Traffico 4				1				
Traffico 5		0,75	0,75	0,75	1			
Frenatura						1	1	
Sisma X								
Sisma Y								

Modello A – Fase 4 (finale) - Combinazioni di carico SLE adottate nel calcolo

	ENV STR							ENV SISM		
	STR 1	STR 2	STR 3	STR 4	STR 5	STR 6	STR 7	SISM 1	SISM 2	SISM 3
Peso proprio	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1	1	1
Permanenti	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1	1	1
Terreno	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1	1	1
Ritiro										
Traffico 1										
Traffico 2		1,35					1,01			
Traffico 3			1,35					1,01		
Traffico 4				1,35						
Traffico 5		1,01	1,01	1,01	1,35					
Frenatura						1,35	1,35			
Sisma X								1	0,3	0,3
Sisma Y								0,3	1	-1

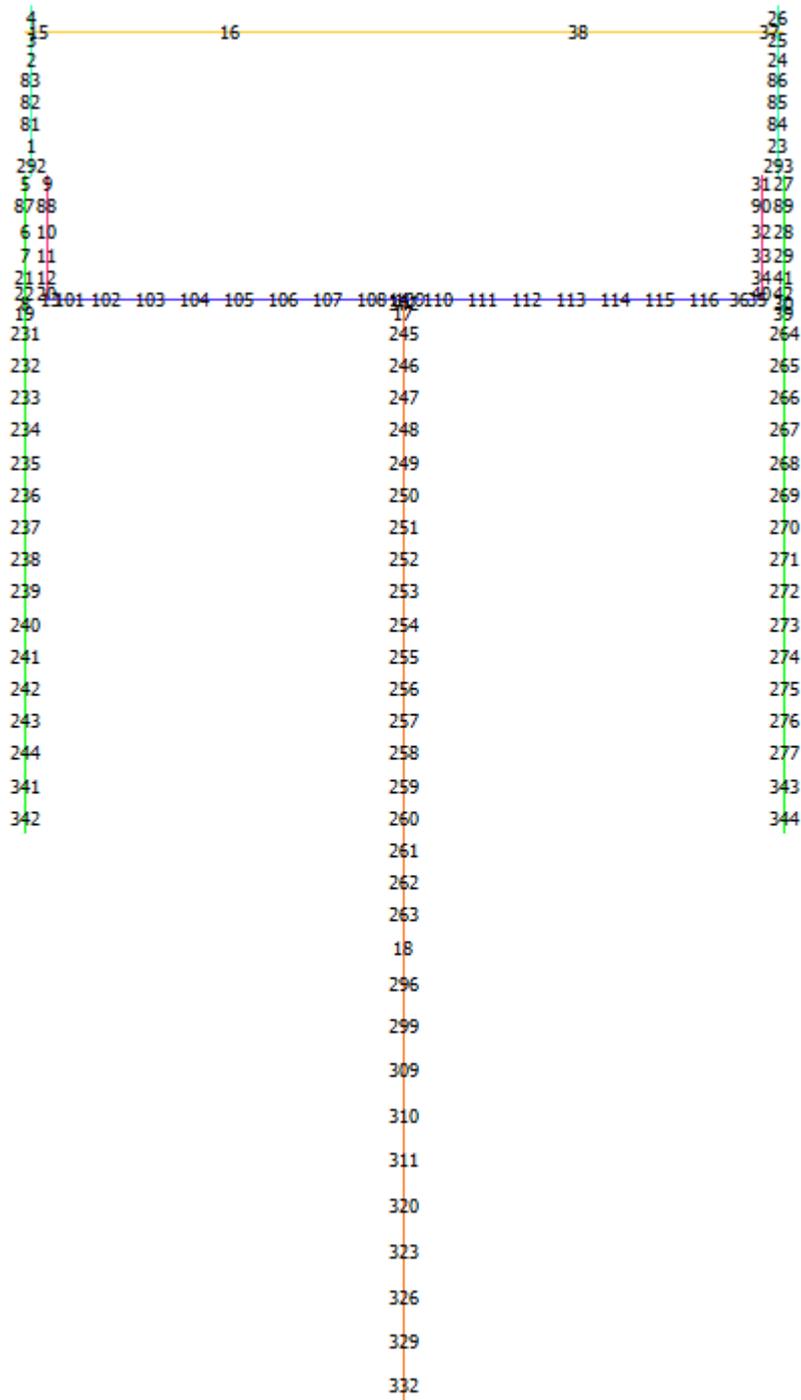
Modello A – Fase 4 (finale) - Combinazioni di carico SLE adottate nel calcolo

	ENV QP	ENV RA		ENV STR	
	QP	RA 1	RA 2	STR 1	STR 2
Peso proprio	1	1	1	1,35	1,35
Permanenti	1	1	1	1,5	1,5
Terreno					
Ritiro	1	1	1	1,2	1,2
Traffico 1					
Traffico 2		1		1,35	
Traffico 3			1		1,35
Traffico 4					
Traffico 5					
Frenatura					
Sisma X					
Sisma Y					

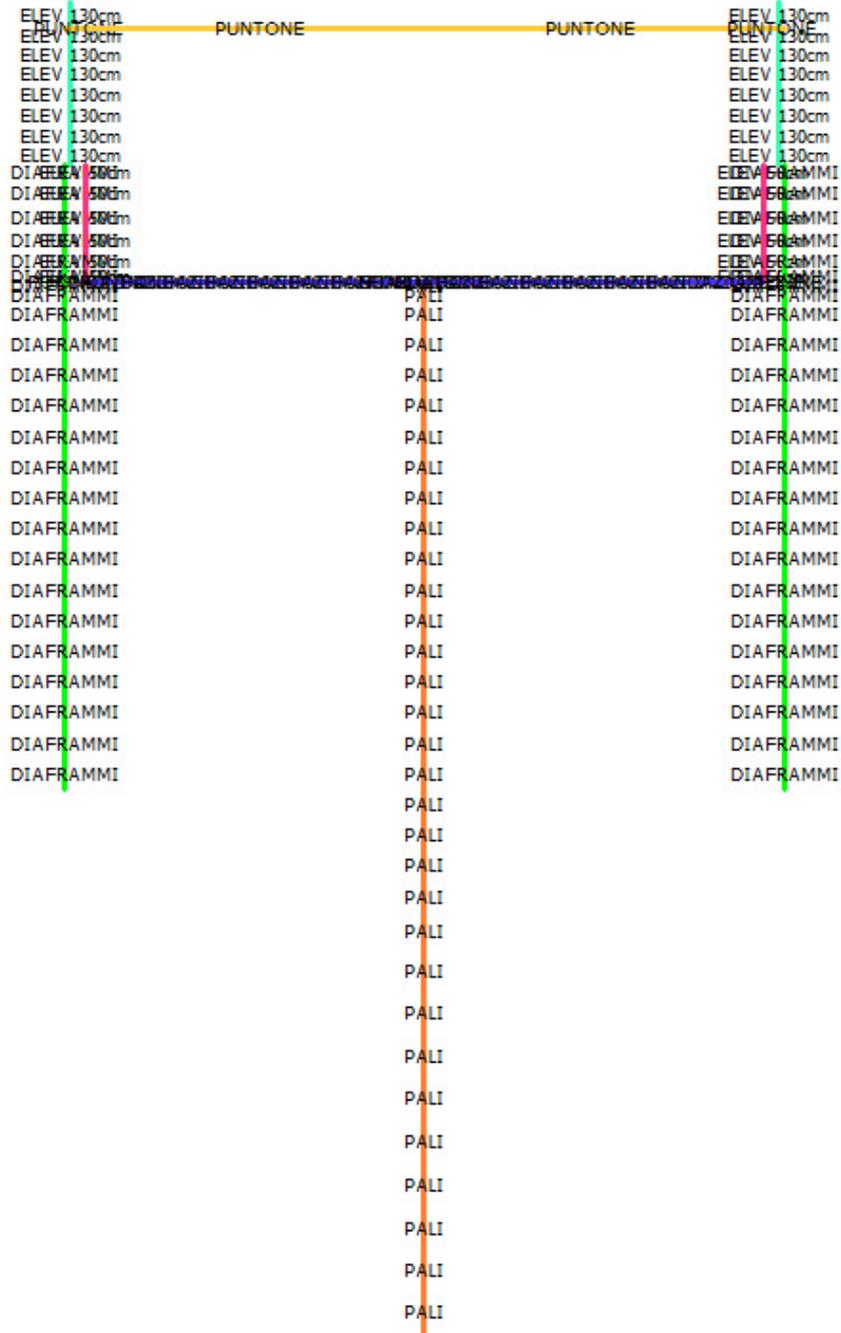
Modello B - Combinazioni di carico SLE-SLU adottate nel calcolo

7.2 Modelli di calcolo

7.2.1 Modello A

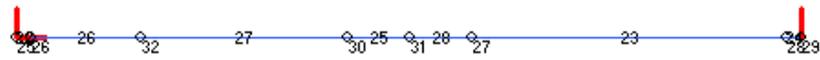
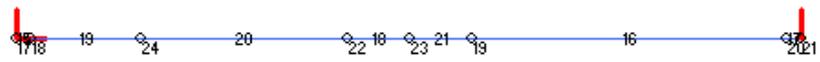
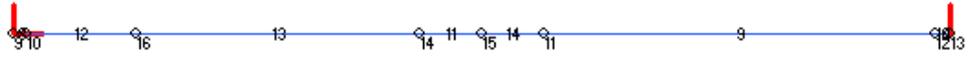
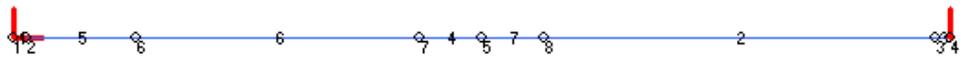


Modello A-1 – Numerazione elementi finiti



Modello A-1 – Proprietà degli elementi finiti

7.2.2 Modello B

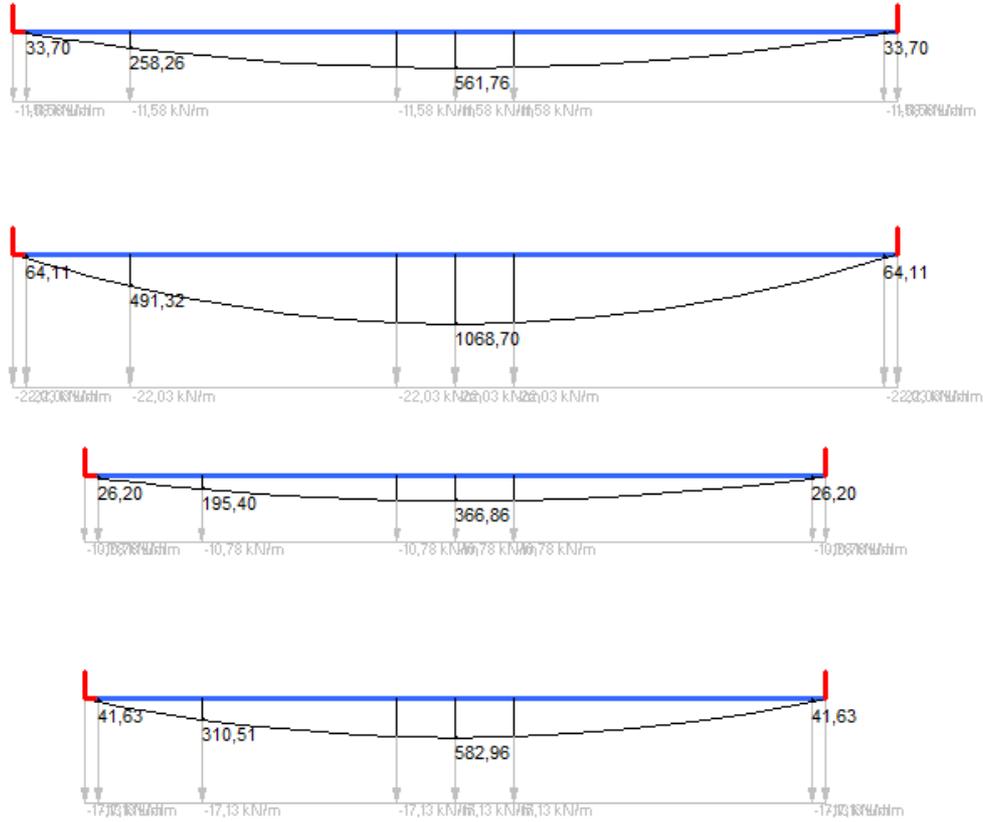


Modello B – Numerazione nodi e elementi finiti

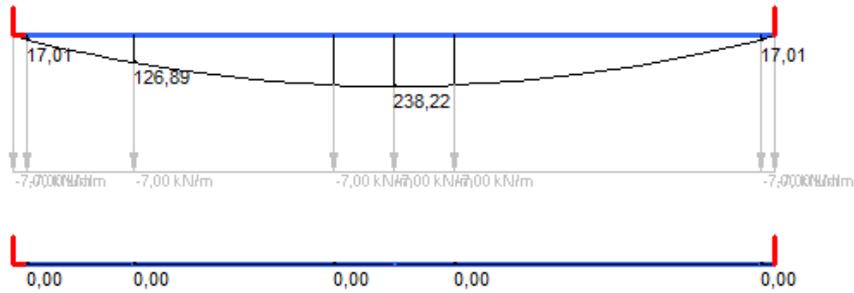
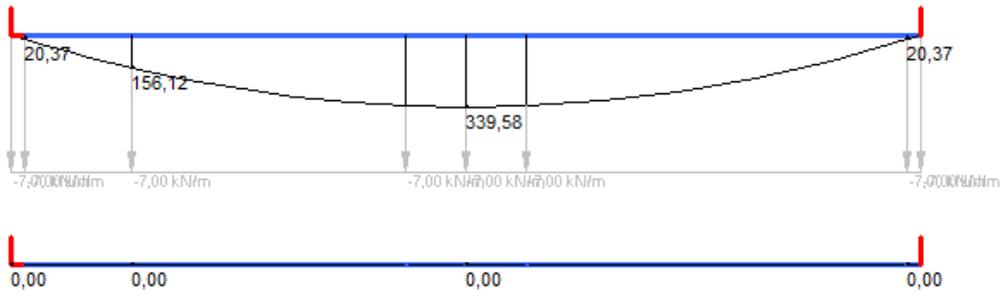
7.3 Sollecitazioni di calcolo

Si riportano di seguito i risultati relativi alle condizioni di carico e all'involuppo delle condizioni di carico considerate nelle varie fasi costruttive.

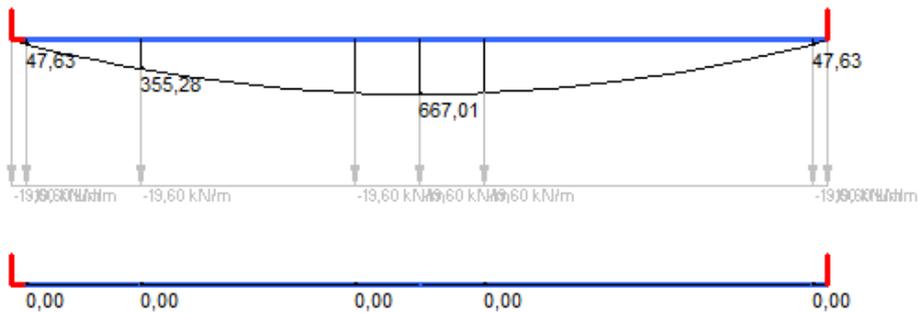
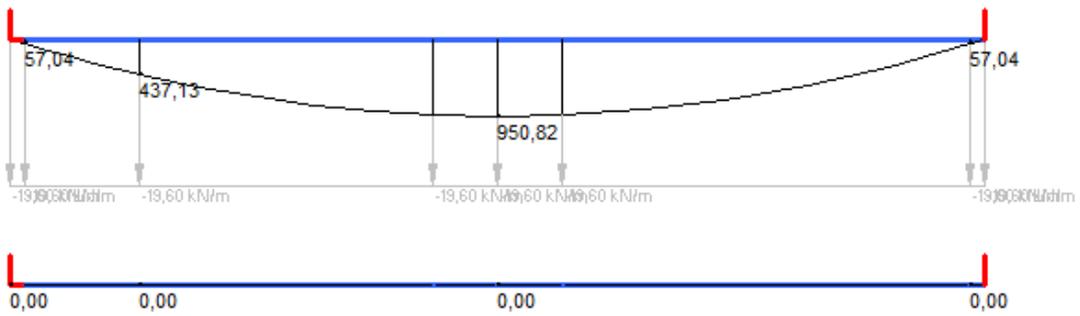
7.3.1 Travi impalcato



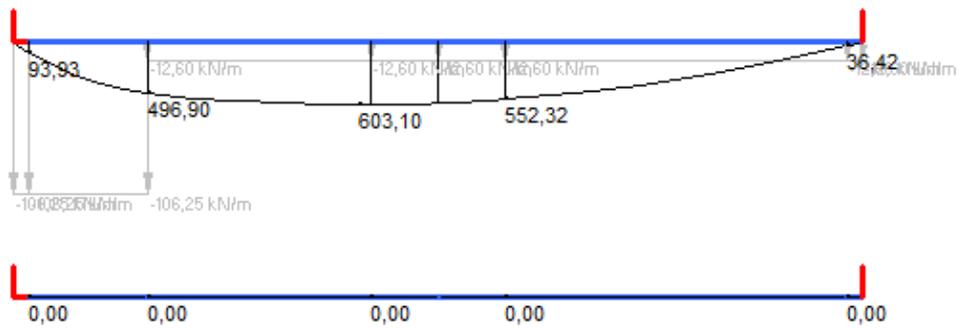
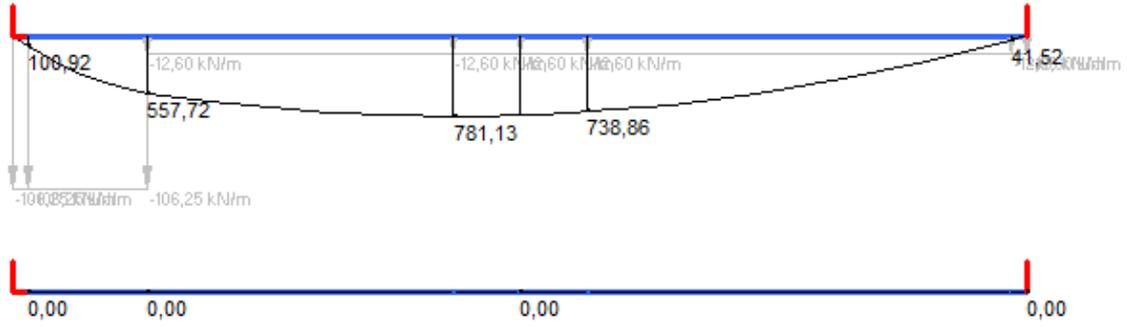
Modello B - Peso proprio – Trave 2, Puntone 2, Trave 1, Puntone 1 - Momenti flettenti (kNm)



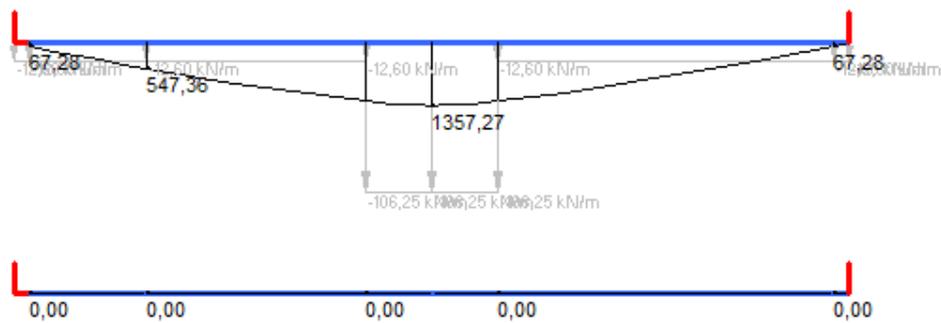
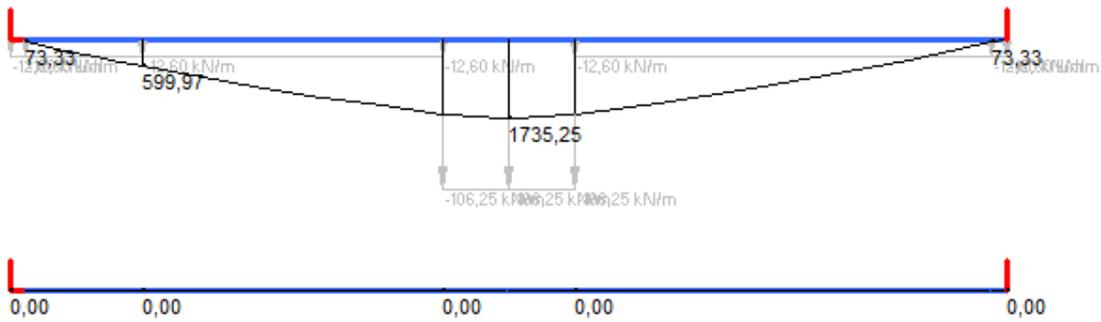
Modello B – Peso proprio soletta – Trave 2, Puntone 2, Trave 1, Puntone 1 - Momenti flettenti (kNm)



Modello B – Permanenti – Trave 2, Puntone 2, Trave 1, Puntone 1 - Momenti flettenti (kNm)

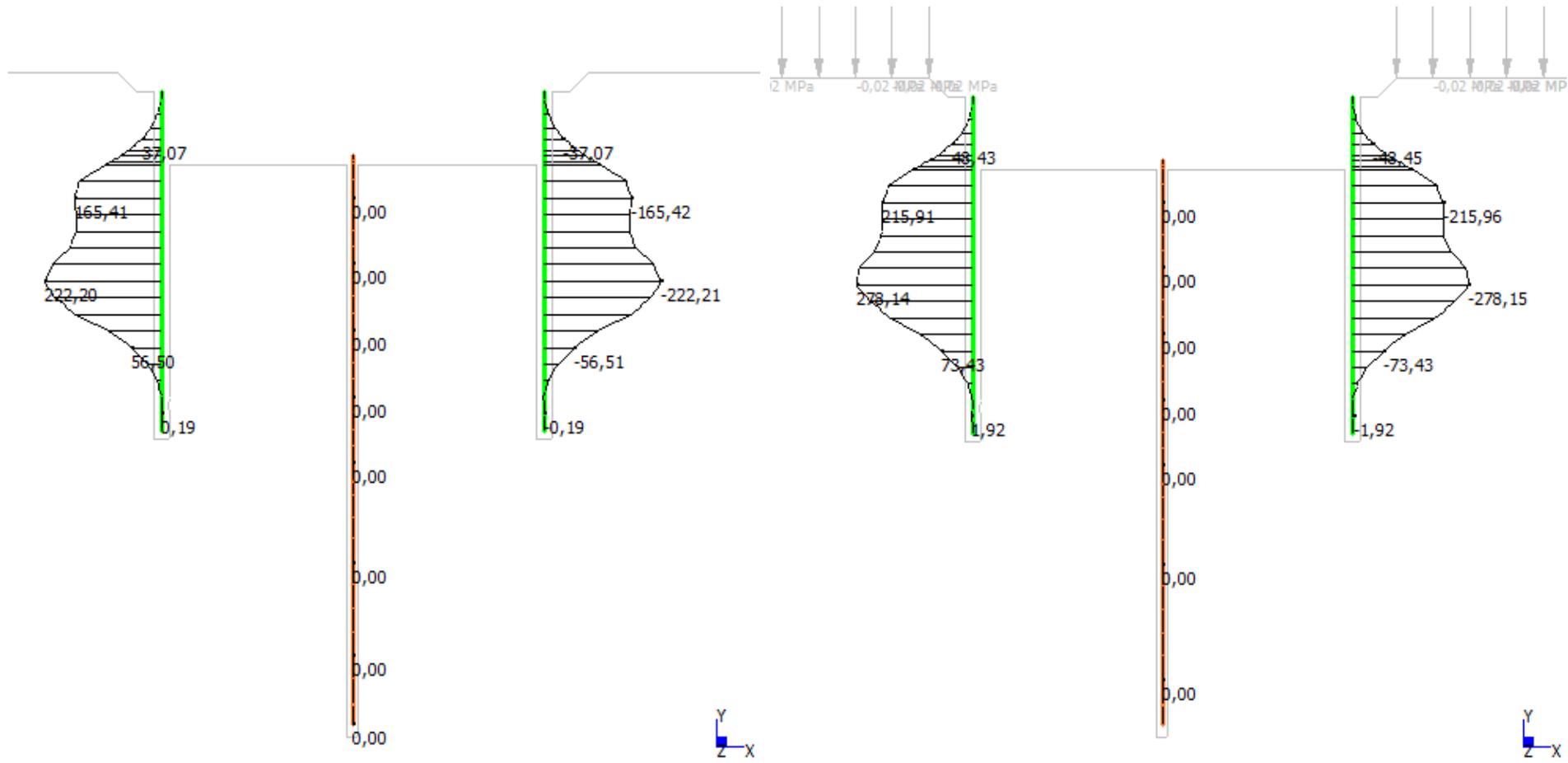


Modello B – Traffico 1 – Trave 2, Puntone 2, Trave 1, Puntone 1 - Momenti flettenti (kNm)



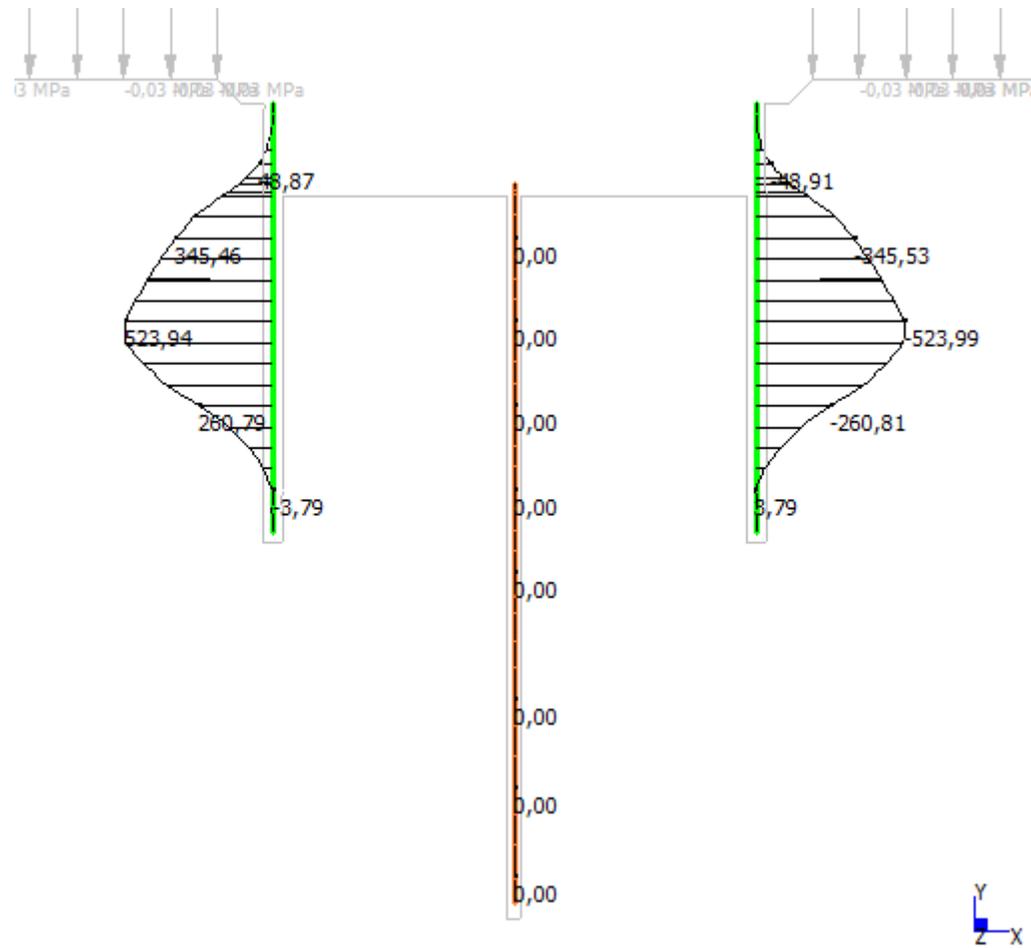
Modello B – Traffico 2 – Trave 2, Puntone 2, Trave 1, Puntone 1 - Momenti flettenti (kNm)

7.3.2 Galleria fase 2



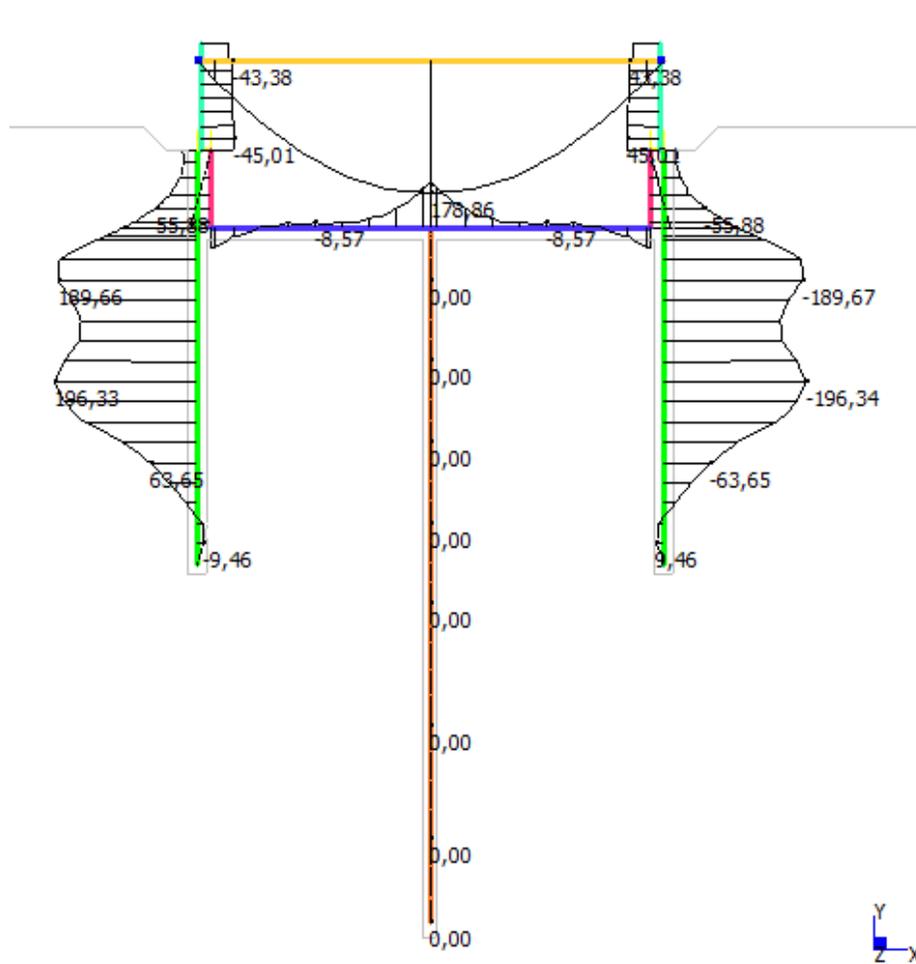
Modello A-2 – QP (falda di cantiere) – Momenti flettenti (kNm)

Modello A-2 – RA (falda di cantiere) – Momenti flettenti (kNm)

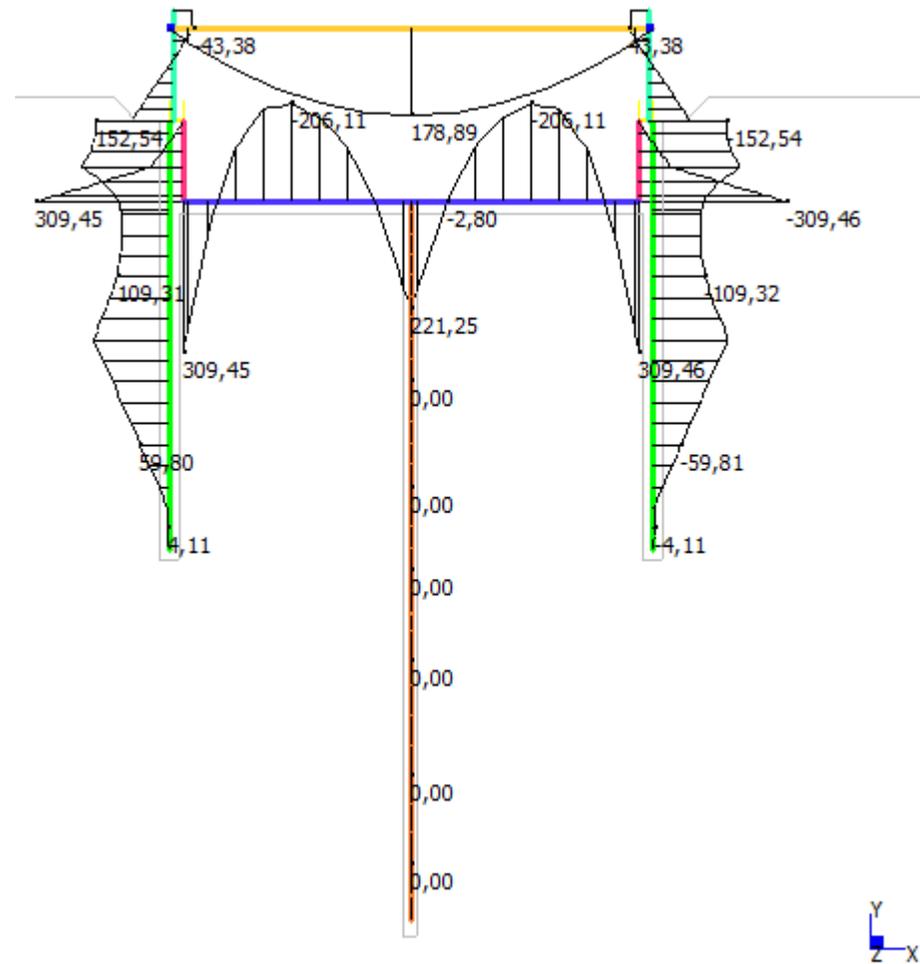


Modello A-2 – STR 1 (falda di cantiere) – Momenti flettenti (kNm)

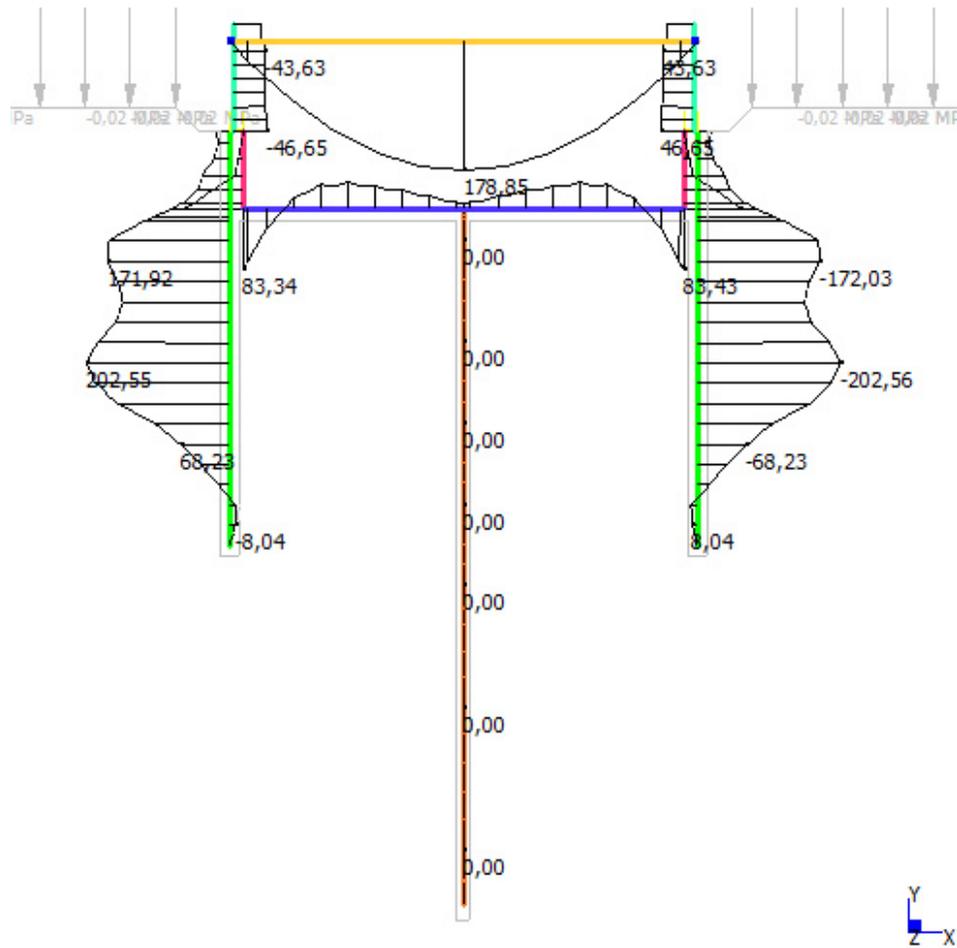
7.3.3 Galleria fase 3



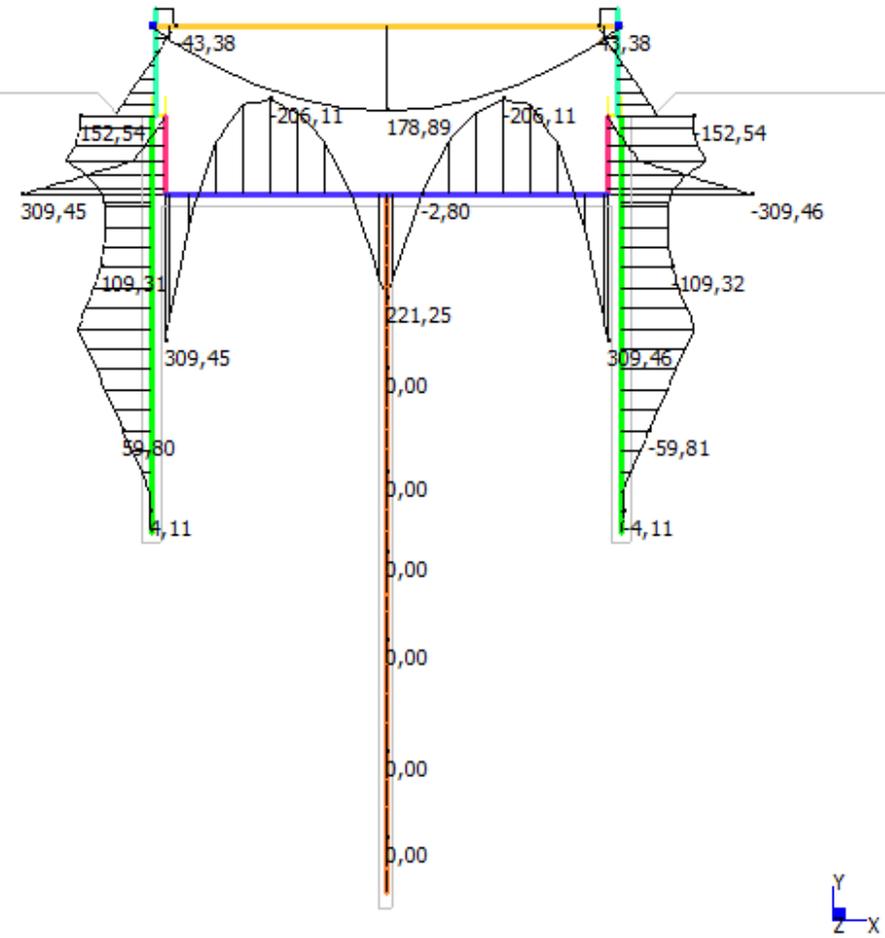
Modello A-3 – QP (falda di cantiere) – Momenti flettenti (kNm)



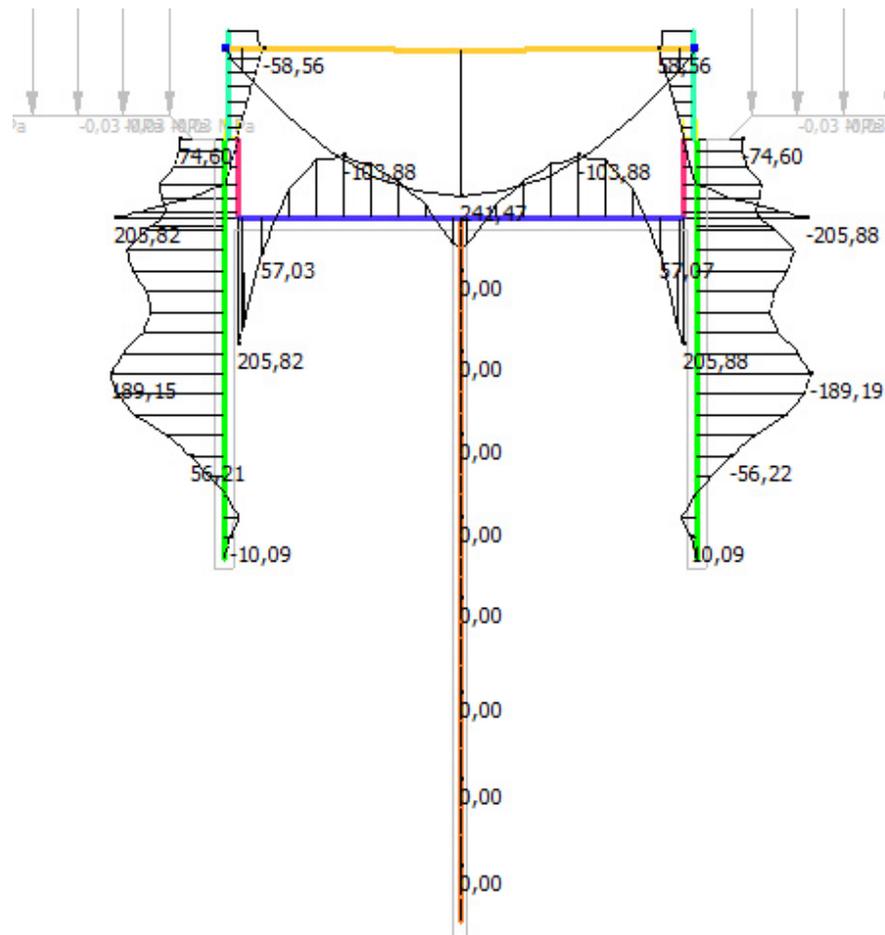
Modello A-3 – QP (falda di progetto) – Momenti flettenti (kNm)



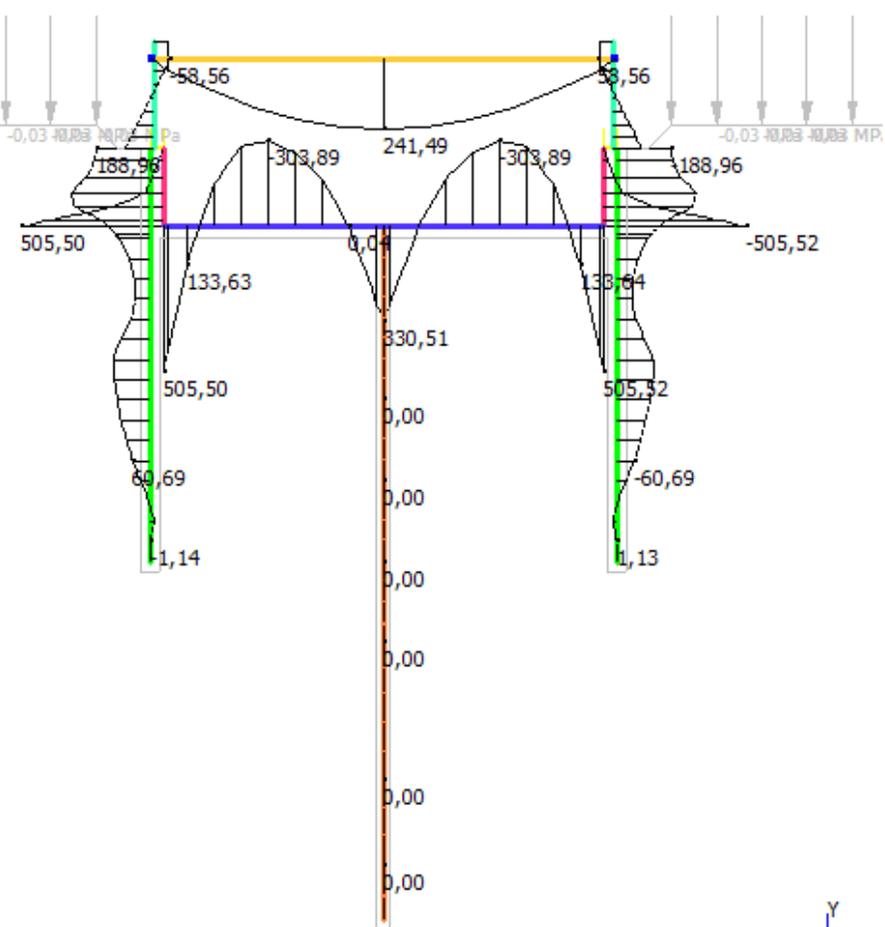
Modello A-3 - RA (falda di cantiere) - Momenti flettenti (kNm)



Modello A-3 - RA (falda di progetto) - Momenti flettenti (kNm)

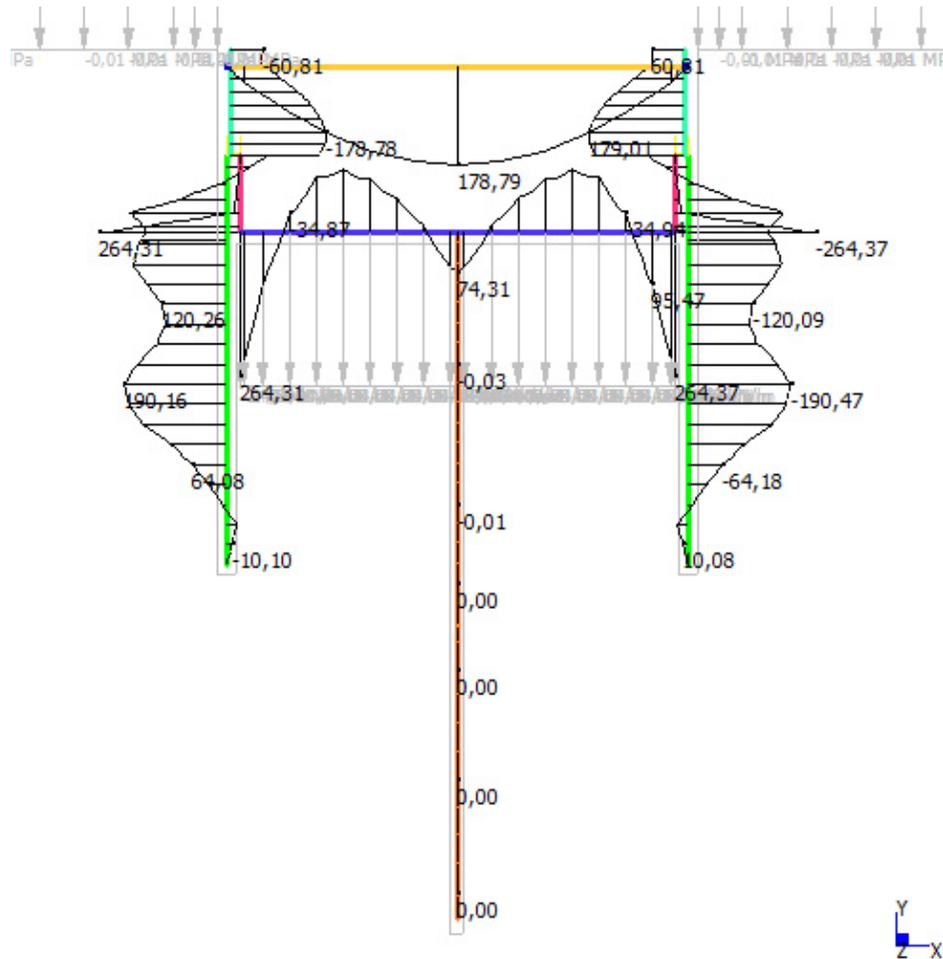


Modello A-3 - STR 1 (falda di cantiere) - Momenti flettenti (kNm)

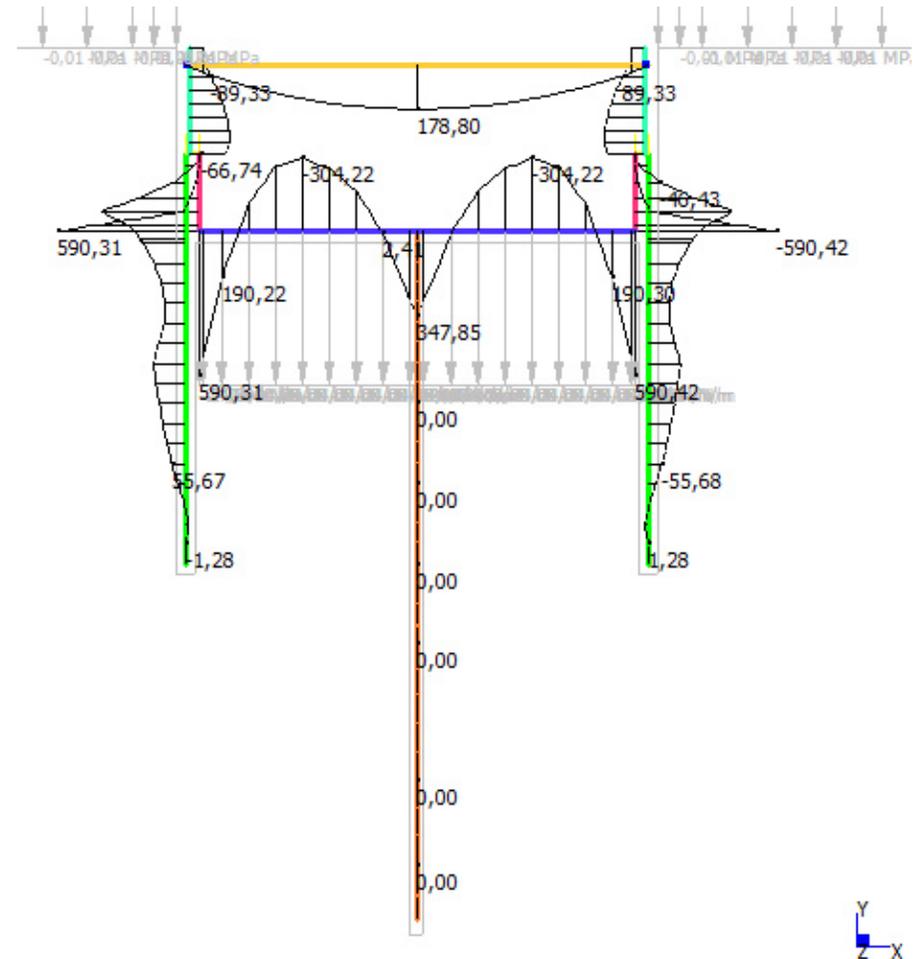


Modello A-3 - STR 1 (falda di progetto) - Momenti flettenti (kNm)

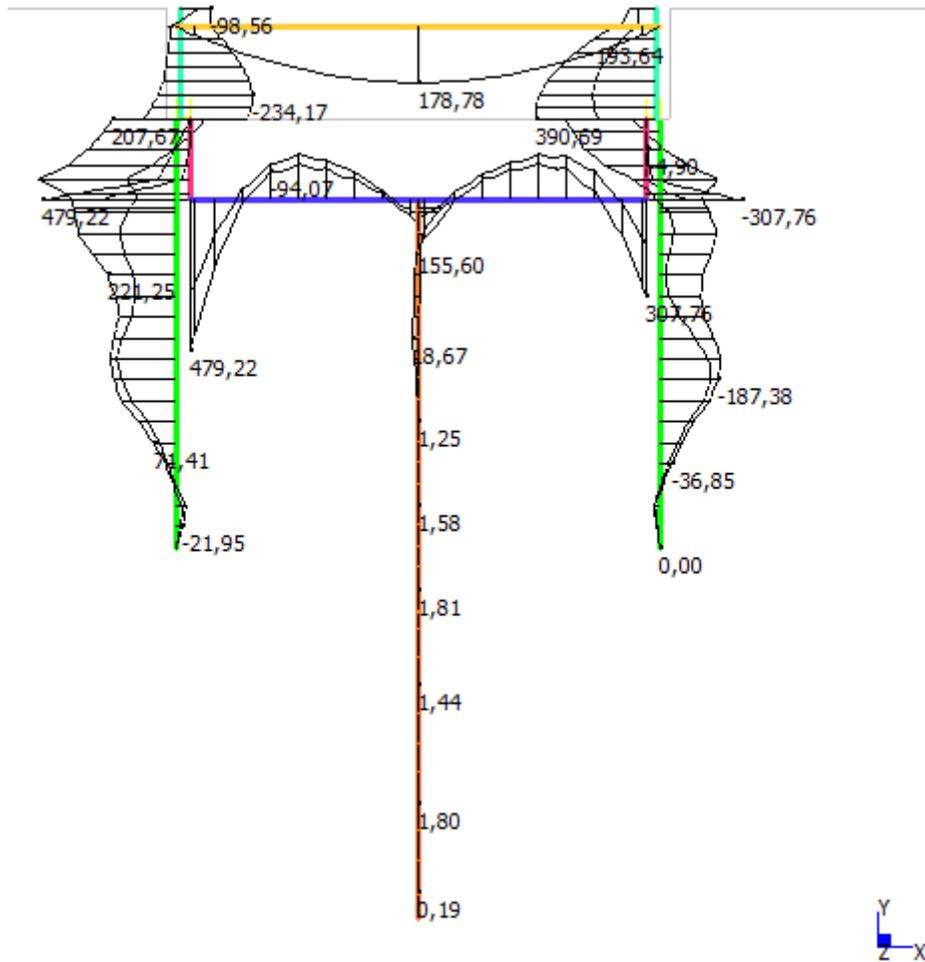
7.3.4 Galleria fase 4



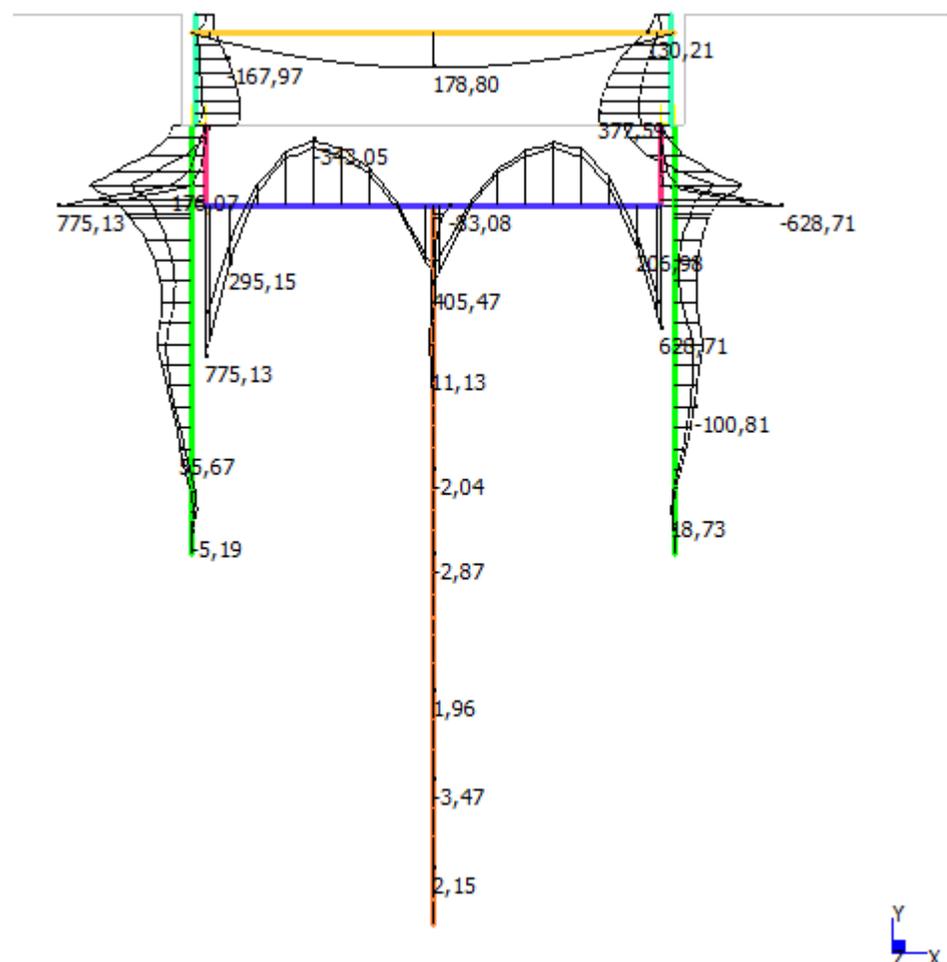
Modello A-4 – QP (falda di cantiere) – Momenti flettenti (kNm)



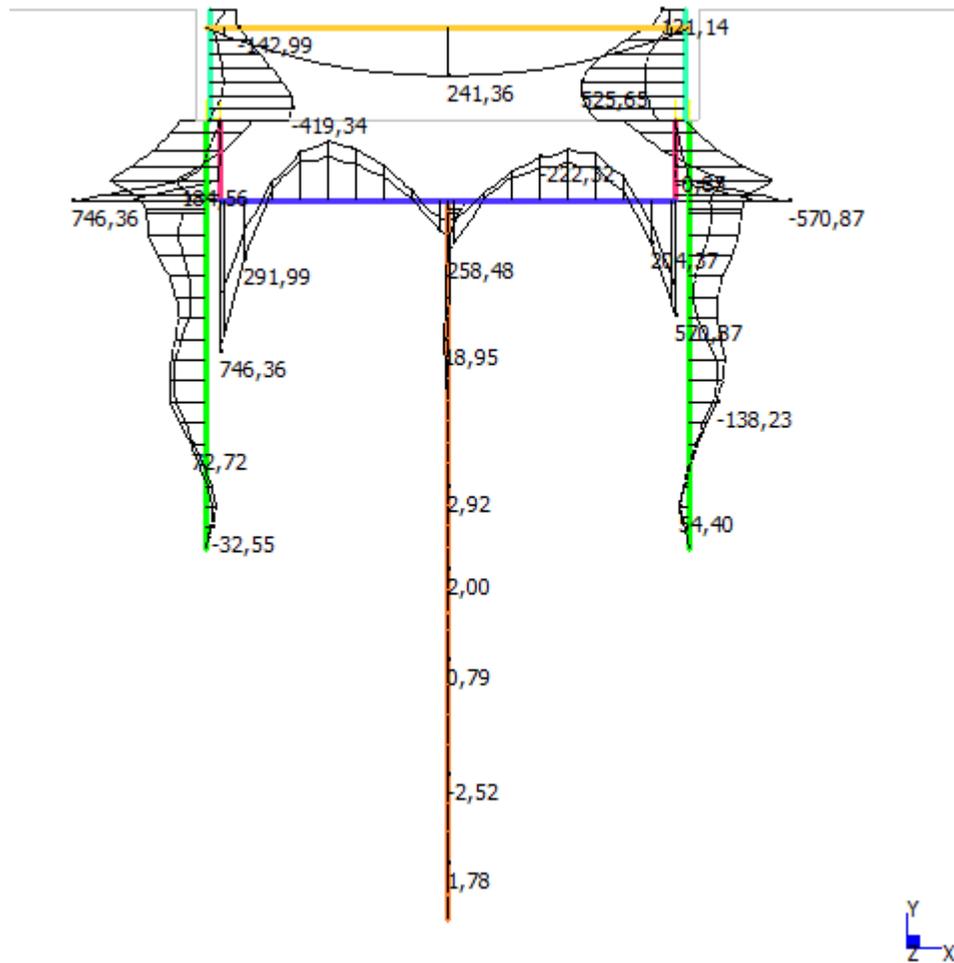
Modello A-4 – QP (falda di progetto) – Momenti flettenti (kNm)



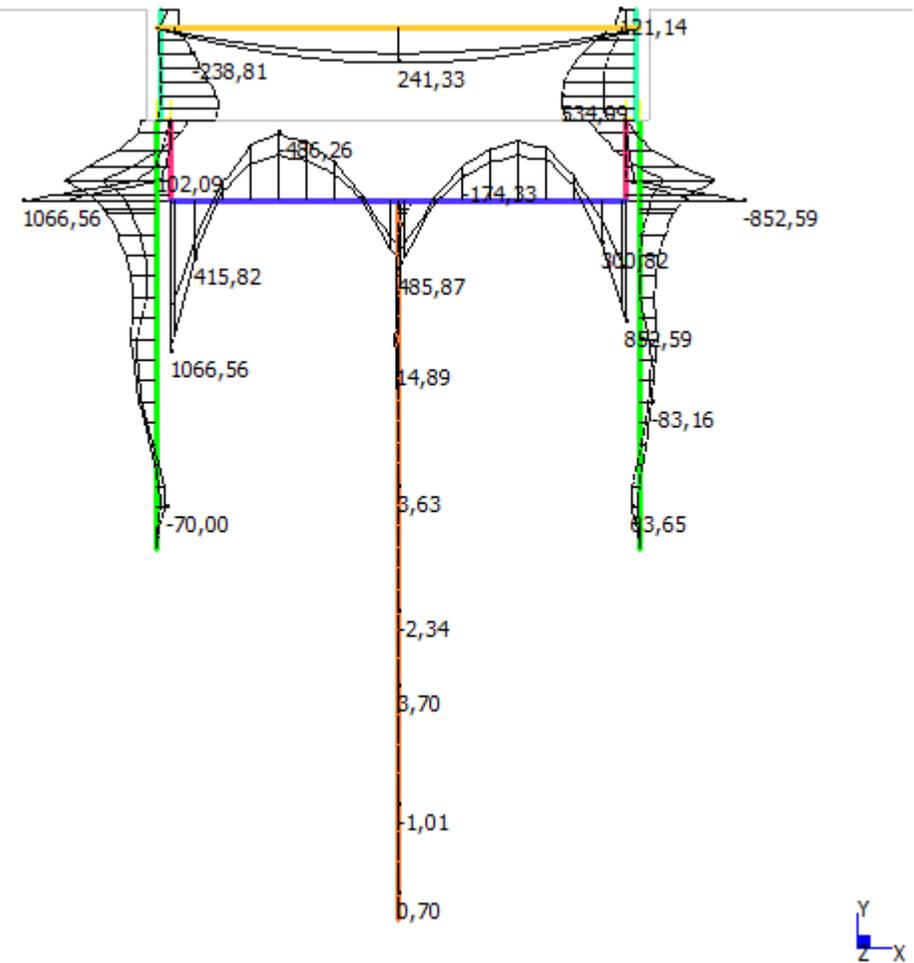
Modello A-4 – ENV RA (falda di cantiere) – Momenti flettenti (kNm)



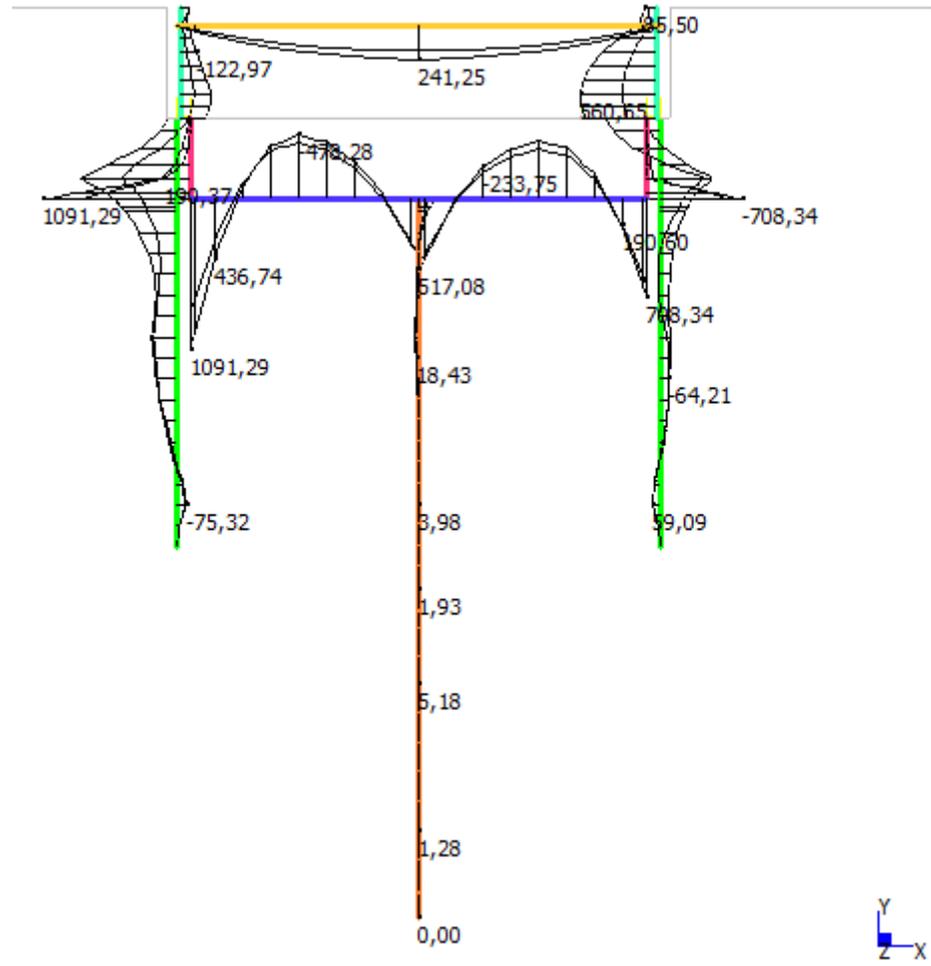
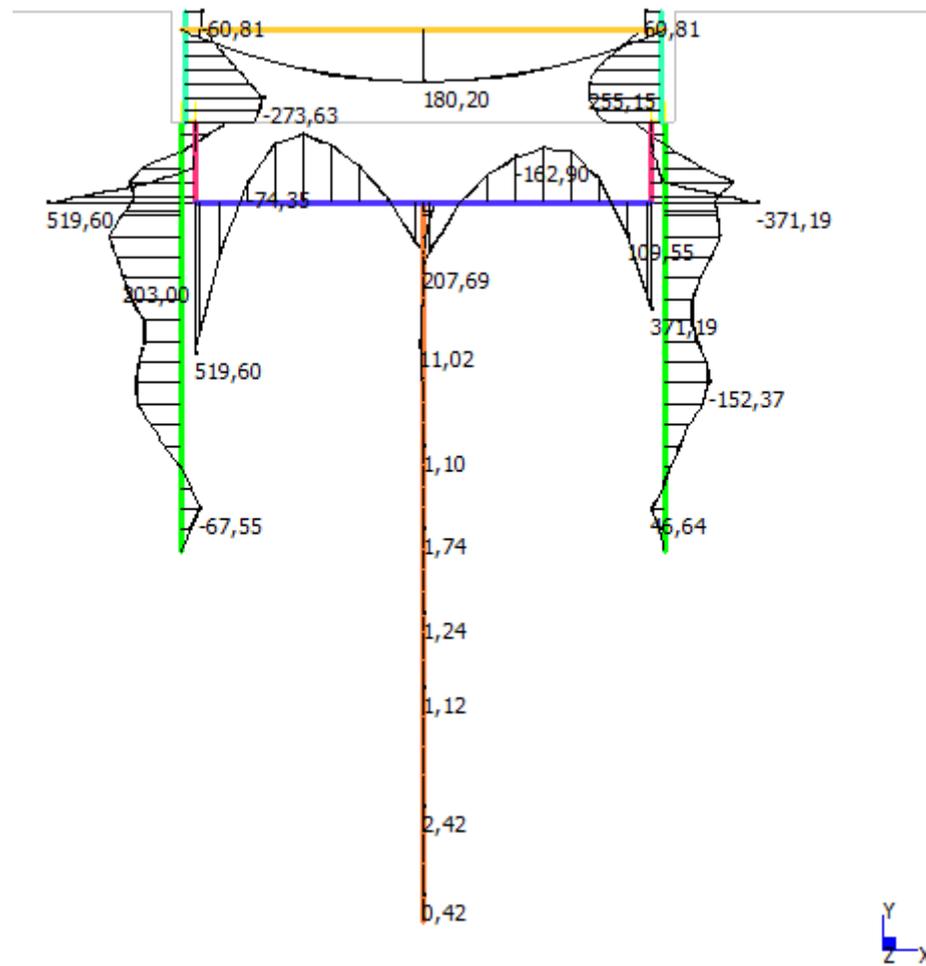
Modello A-4 – ENV RA (falda di progetto) – Momenti flettenti (kNm)

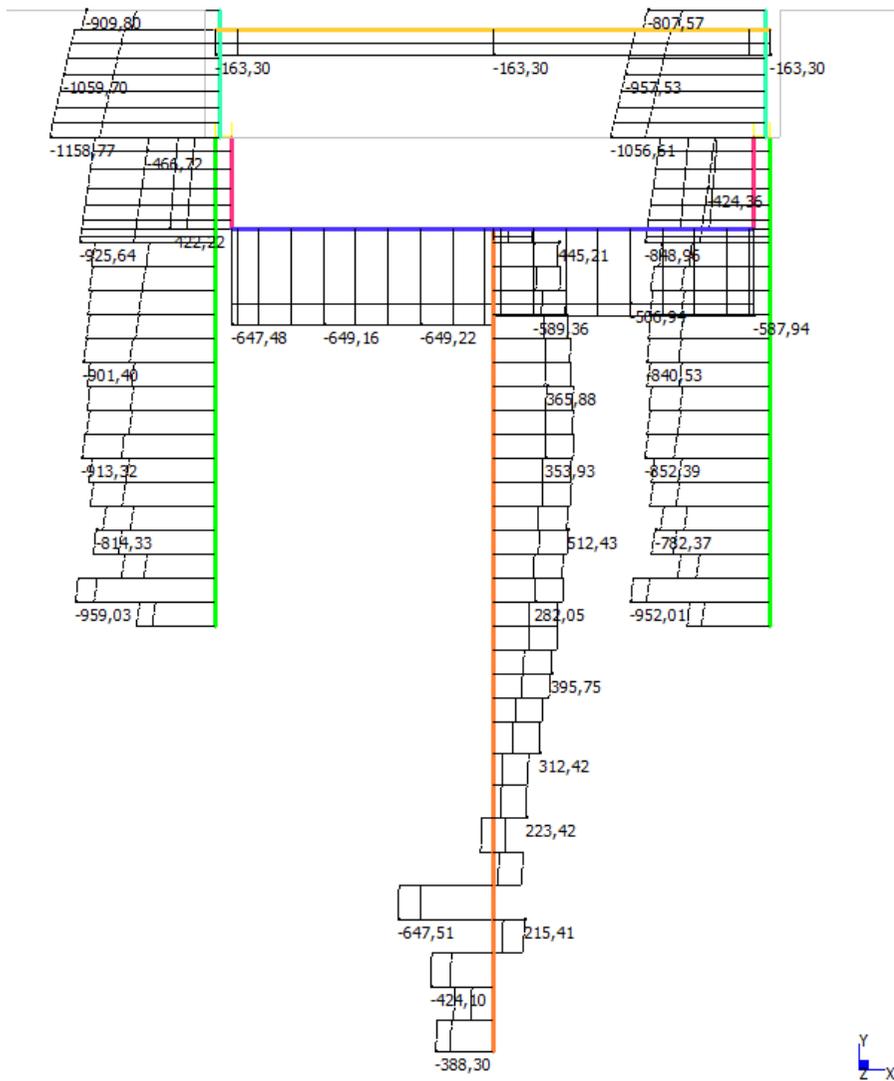


Modello A-4 – ENV STR (falda di cantiere) – Momenti flettenti (kNm)

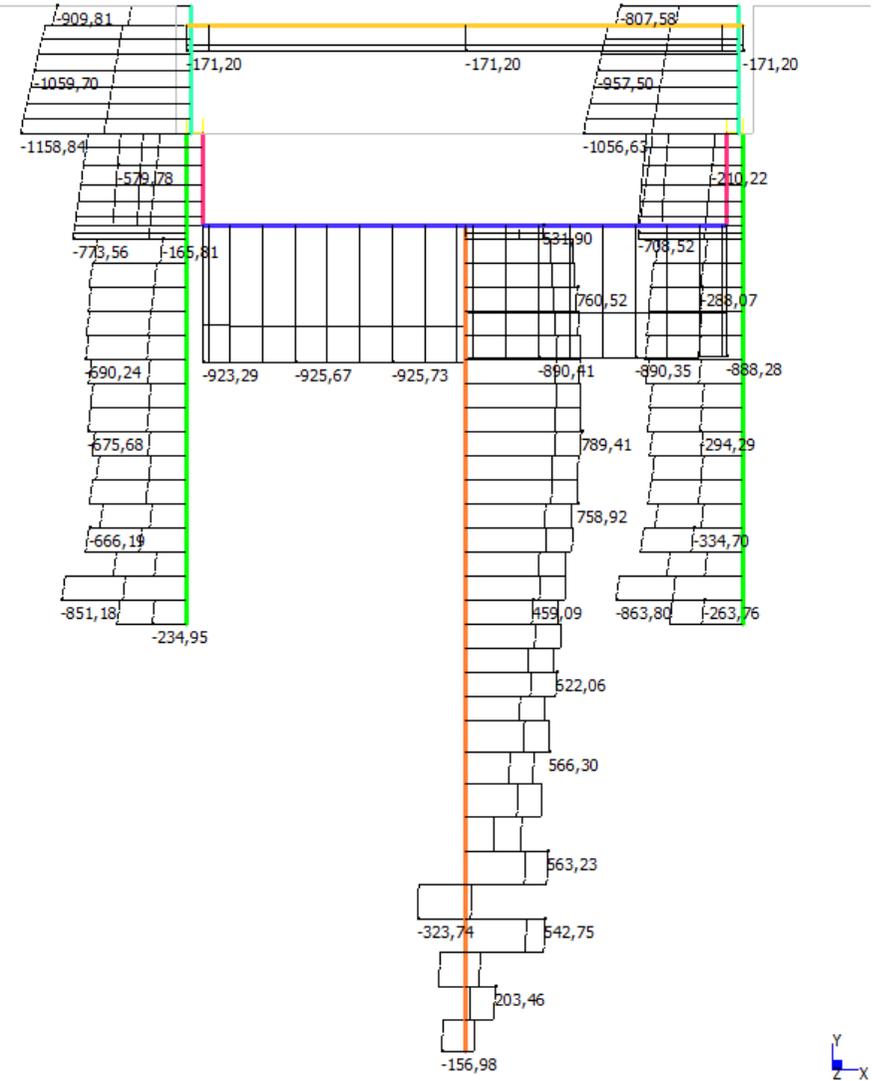


Modello A-4 – ENV STR (falda di progetto) – Momenti flettenti (kNm)

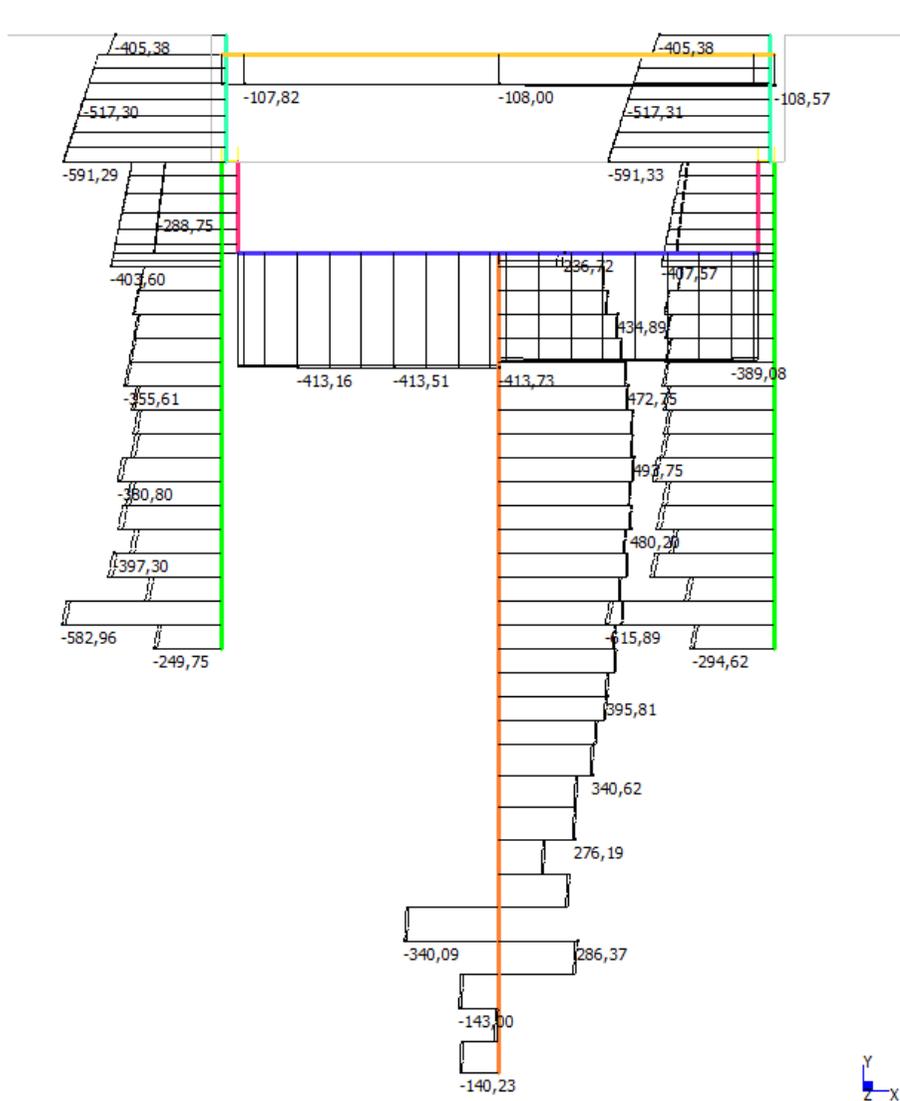




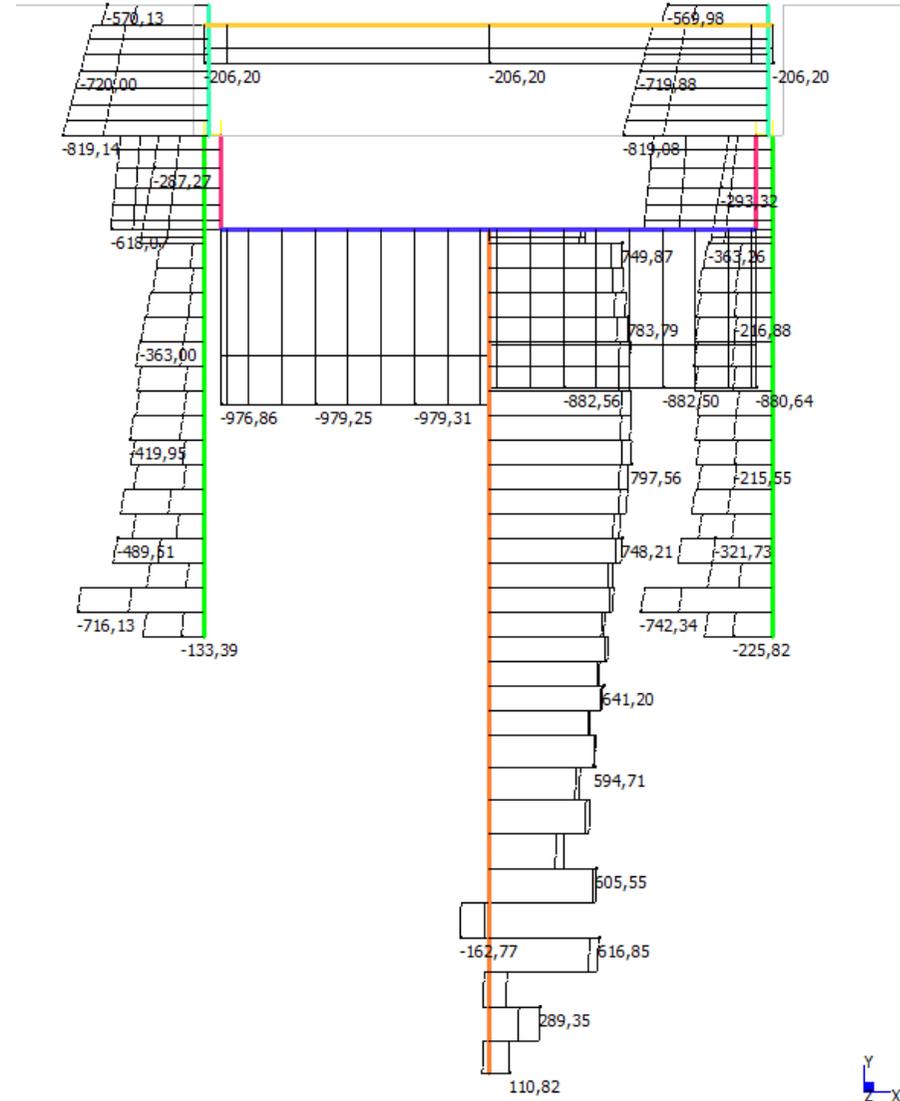
Modello A-4 – ENV STR (falda di cantiere) – Azioni assiali (kN)



Modello A-4 – ENV STR (falda di progetto) – Azioni assiali (kN)



Modello A-4 – ENV SISM (falda di cantiere) – Azioni assiali (kN)



Modello A-4 – ENV SISM (falda di progetto) – Azioni assiali (kN)

7.4 Verifiche degli elementi in cemento armato

7.4.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi

7.4.1.1 Verifica a presso/tenso-flessione

Come previsto al § 4.1.2.1.2.4 delle NTC con riferimento alla generica sezione, la verifica di resistenza allo SLU si esegue controllando che:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

M_{Rd} valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed}
 N_{Ed} valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale)
 M_{Ed} valore di calcolo della componente flettente dell'azione

7.4.1.2 Verifica per sollecitazione tagliante

Per la verifica a sollecitazione tagliante si esegue dapprima la verifica degli *elementi senza armature resistenti a taglio*, secondo quanto previsto § 4.1.2.1.3.1. delle NTC. Indicato con V_{Ed} il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente allo SLU, si verifica che risulti:

$$V_{Ed} < V_{Rd} = \max \left\{ \left(0.18 \cdot k \cdot \frac{\sqrt[3]{100 \cdot \rho_\ell \cdot f_{ck}}}{\gamma_c} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d; (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot \sqrt{k^3} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

$$\rho_\ell = \frac{A_{s\ell}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd} \quad \text{tensione media di compressione nella sezione}$$

d altezza utile della sezione [mm]

b_w larghezza minima della sezione [mm]

Qualora la verifica non andasse a buon fine è necessario ricorrere ad *elementi provvisti di armature resistenti a taglio* secondo quanto previsto al § 4.1.2.1.3.2 delle NTC. Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a taglio è data dalle relazioni seguenti:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) \quad \text{resistenza di calcolo a taglio}$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \vartheta) \cdot \sin \alpha \quad \text{resistenza a taglio-trazione}$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot \frac{\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \vartheta}{1 + \text{ctg}^2 \vartheta} \quad \text{resistenza a taglio-compressione}$$

ϑ inclinazione puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento ($1.0 \leq \text{ctg } \vartheta \leq 2.5$)

α inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento

A_{sw} area dell'armatura trasversale

s interasse tra due armature trasversali consecutive

$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$ resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima

α_c coefficiente maggiorativi pari a:

1 per membrature non compresse

$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$ per $0 \leq \sigma_{cp} < 0.25 \times f_{cd}$

1.25 per $0.25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0.5 \times f_{cd}$

$2.5 \times (1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$ per $0.5 \times f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$

7.4.2 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

Le verifiche agli SLE si risolvono nel controllare che i valori di tensione nei materiali siano inferiori ai limiti di normativa (§ 4.1.2.2.5 delle NTC).

- Calcestruzzo compresso
 - Combinazione rara $\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck}$
 - Combinazione quasi permanente $\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$
- Acciaio teso
 - Combinazione rara $\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk}$

7.4.3 Verifiche allo Stato Limite di Fessurazione

Viene eseguita la verifica allo stato limite di apertura delle fessure con riferimento al § 4.1.2.2.4 delle NTC. Prima di procedere alle verifiche a fessurazione è necessario definire delle apposite combinazioni di carico ed effettuare una valutazione relativa al grado di protezione delle armature metalliche contro la corrosione (in termini di condizioni ambientali e sensibilità delle armature stesse alla corrosione). Si distinguono i seguenti casi:

- Combinazioni di azioni
 - Frequente (FR)
 - Quasi Permanente (QP)
- Condizioni ambientali
 - Ordinarie
 - Aggressive
 - Molto Aggressive
- Sensibilità delle armature alla corrosione
 - Sensibili (acciai da precompresso)
 - Poco sensibili (acciai ordinari)
- Apertura delle fessure
 - $w_1 = 0.20 \text{ mm}$
 - $w_2 = 0.30 \text{ mm}$
 - $w_3 = 0.40 \text{ mm}$

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Condizioni ambientali e classi di esposizione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Stati limite di fessurazione

Il calcolo, condotto con riferimento alla procedura analitica prevista al § C4.1.2.2.4 della C.M. 2009 n°617, prevede i seguenti passaggi:

- Valutazione della distanza media tra le fessure (Δ_{sm});
- Valutazione della deformazione media delle barre d'armatura (ϵ_{sm});
- Valutazione dell'ampiezza delle fessure (valore medio w_m e valore di calcolo w_d).

Elemento strutturale	Classi di esposizione	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Stato limite	w_d
Pali, diaframmi, fondazioni, elevazioni	XC2	Ordinarie	Frequente	Apertura fessure	$\leq w_3 = 0.40 \text{ mm}$
			Quasi permanente	Apertura fessure	$\leq w_2 = 0.30 \text{ mm}$
Soletta	XC2	Ordinarie	Frequente	Apertura fessure	$\leq w_3 = 0.40 \text{ mm}$
			Quasi permanente	Apertura fessure	$\leq w_2 = 0.30 \text{ mm}$
Travi, puntoni	XC1-XF1	Aggressive	Frequente	Apertura fessure	$\leq w_1 = 0.20 \text{ mm}$
			Quasi permanente	Apertura fessure	decompressione

Stati limite di fessurazione degli elementi strutturali

In accordo con il quanto indicato nella C.M. 2009 n°617, il calcolo dell'apertura delle fessure può essere effettuato secondo i metodi riportati nella normativa precedente D.M. 09/01/1996 e relative circolari esplicative.

7.4.4 Verifiche strutturali travi di impalcato

Si riportano nel seguito i calcoli di dimensionamento della sezione composta pressollecitata in c.a.p. con le sollecitazioni desunte dai paragrafi precedenti e dalle ipotesi sulle fasi realizzative.

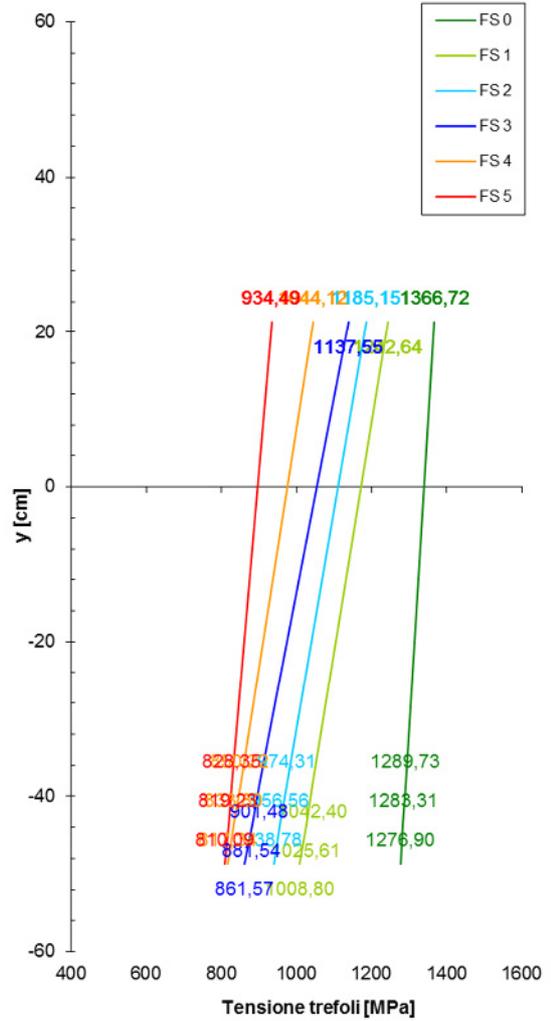
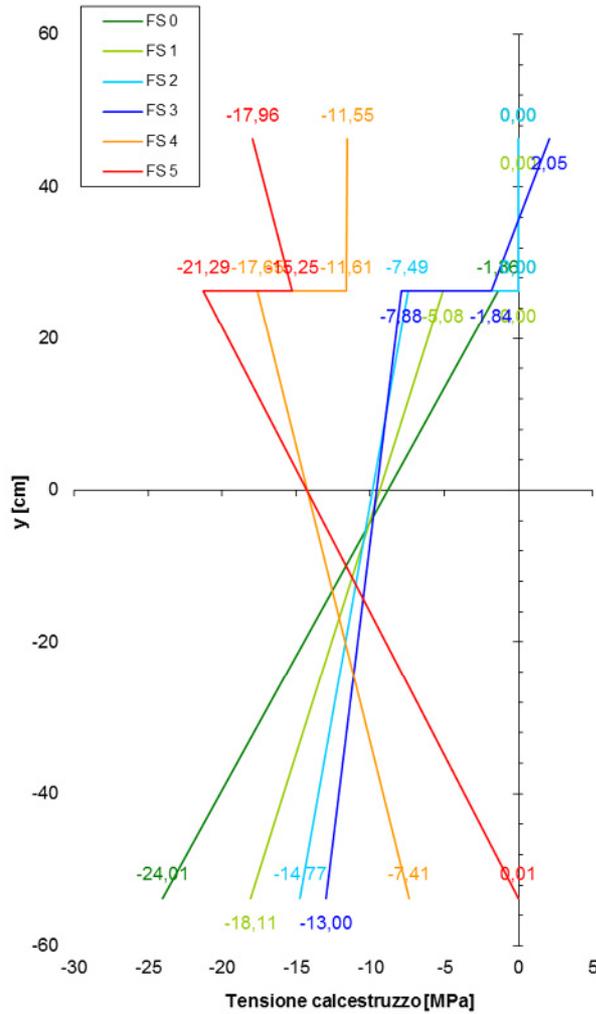
PERDITE DI TENSIONE - FASI REALIZZATIVE							
FASE REALIZZATIVE	Trave prefabbricata				Soletta		
	Rilassamento		Ritiro	Viscosità	Ritiro	Viscosità	
	α_{rit} [%]	t [ore]	α_{rit} [%]	α_{vis} [%]	α_{rit} [%]	α_{vis} [%]	
1) Tiro, getto, taglio trefoli	50%	1000	50%	50%			
2) Getto soletta	25%	5000	25%	25%			
3) Dopo getto soletta	25%	10000	25%	25%			
4) Carichi permanenti					100%		
5) Carichi accidentali					0%		

TRAVE PREFABBRICATA		SOLETTA		RILASSAMENTO ACCIAIO	
Ritiro	Viscosità	Ritiro	Viscosità	ρ_{1000} [%]	
ε_{rit} [%]	$\phi_{0,-}$	ε_{rit} [%]	$\phi_{0,-}$	2,50	
0,046%	2,20	0,037%	0,00		

Classe 2 - Trecce, filo o trefolo stabilizzato

7.4.4.1 Verifica Trave 1

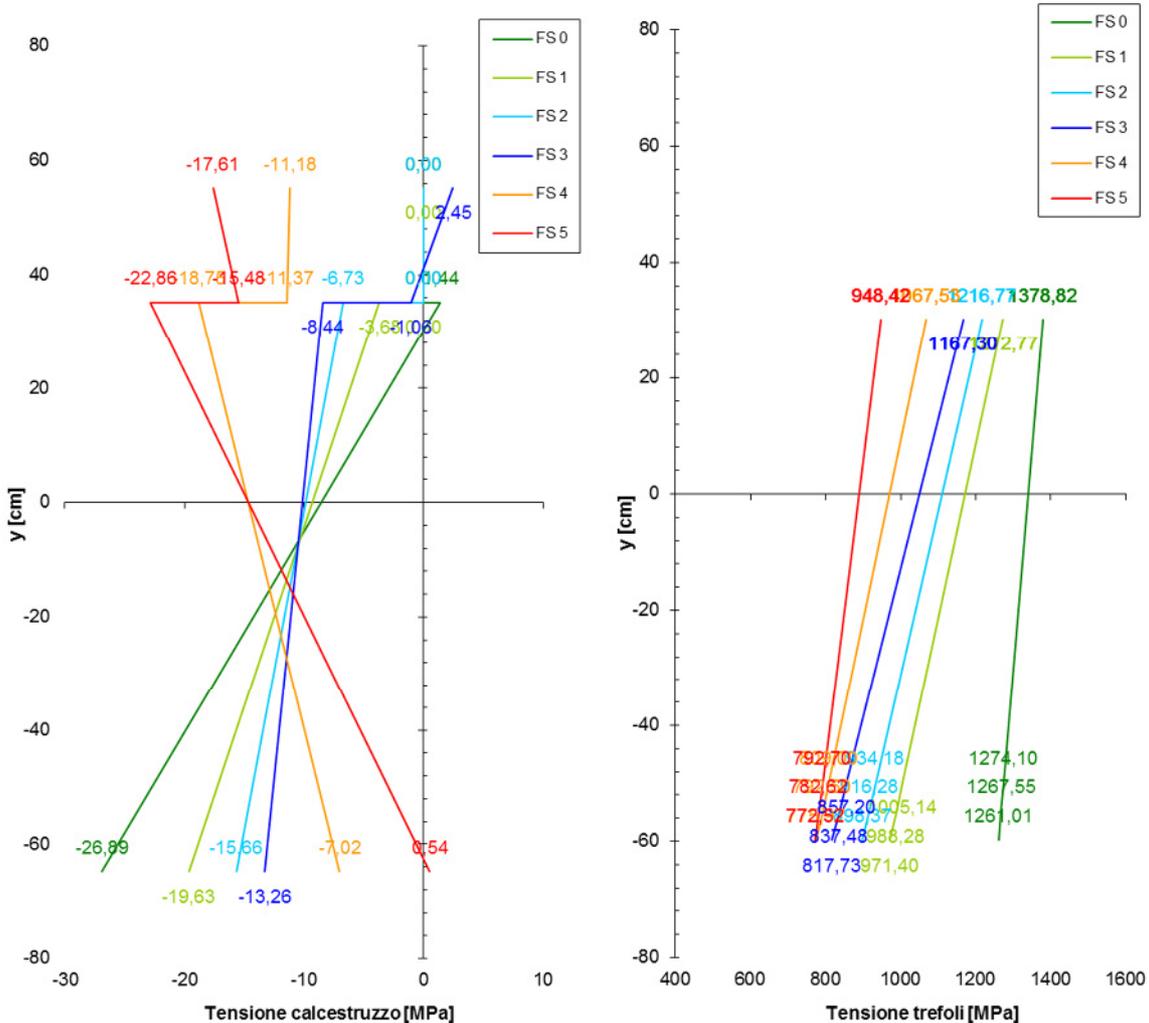
CALCESTRUZZO TRAVE				ACCIAIO ARMATURA ATTIVA			
R_{ck} [MPa]	f_{ck} [MPa]	E_{ct} [MPa]	C45/55	f_{ptk} [MPa]	$f_{p(0.1)k}$ [MPa]	E_p [MPa]	Trefoli a fili sagomati
55	45,65	36416		1860	1670	200000	
CALCESTRUZZO SOLETTA				ACCIAIO ARMATURA LENTA			
R_{ck} [MPa]	f_{ck} [MPa]	E_{cs} [MPa]	C28/35	f_k [MPa]	f_{yk} [MPa]	E_s [MPa]	B450C
35	29,05	32588		540	450	210000	
SOLLECITAZIONI DI CALCOLO							
L [m]	M_{Gk1} [kNm]	M_{Gk1s} [kNm]	M_{Gk2} [kNm]	M_{Qk1} [kNm]			
16,50	366,86	238,22	667,01	1357,27			
GEOMETRIA TRAVE							
A_p [cm ²]	I_p [cm ⁴]	y_{sp} [cm]	y_{ip} [cm]	W_{sp} [cm ³]	W_{ip} [cm ³]	h_p [cm]	G_{k1} [kN/m]
4313	4499537	44,81	35,19	100414	127864	80	10,78
GEOMETRIA SOLETTA				RAPPORTO DI OMOGENIZZAZIONE			
b_s [cm]	h [cm]	A_s [cm ²]	G_{k1s} [kN/m]	$n_s = E_{cs}/E_{ct}$	$n_p = E_p/E_{ct}$		
140	20	2800	7,00	0,895	5,492		
CARATTERISTICHE MASCHERA TREFOLI							
Fila	n°	A_{pi} [mm ²]	y_{pi} [cm]			$\sigma_{spi,0}$ [Mpa]	
1	16	139	5,00	22,24	111,2	1400	
2	13	139	10,00	18,07	180,7	1400	
3	5	139	15,00	6,95	104,25	1400	
4	3	139	75,00	4,17	312,75	1400	
	37		A_{pr} [cm ²]	51,43			
			y_{pr} [cm]	13,78			



	e [cm]	FS 0 (MPa)	FS 1 (MPa)	FS 2 (MPa)	FS 3 (MPa)	FS 4 (MPa)	FS 5 (MPa)		
Estr. soletta	46,32	0,00	0,00	0,00	2,05	-11,55	-17,96		
Intr. soletta	26,32	0,00	0,00	0,00	-1,84	-11,61	-15,25		
Estr. trave	26,32	-1,36	-5,08	-7,49	-7,88	-17,65	-21,29		
Intr. trave	-53,68	-24,01	-18,11	-14,77	-13,00	-7,41	0,01		
				σ_c [MPa] =	17,65	$< 0,45 \cdot f_{ck} =$	20,54 MPa		
				σ_c [MPa] =		$21,29 < 0,6 \cdot f_{ck} =$	27,39 MPa		
	e [cm]	FS 0 (MPa)	FS 1 (MPa)	FS 2 (MPa)	FS 3 (MPa)	FS 4 (MPa)	FS 5 (MPa)		
Estr. soletta	46,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Trefolo 1	-48,68	1276,90	1008,80	938,78	861,57	817,34	810,09		
Trefolo 2	-43,68	1283,31	1025,61	956,56	881,54	833,80	819,23		
Trefolo 3	-38,68	1289,73	1042,40	974,31	901,48	850,22	828,35		
Trefolo 4	21,32	1366,72	1242,64	1185,15	1137,55	1044,12	934,49		
Trefolo 5	21,32	1366,72	1242,64	1185,15	1137,55	1044,12	934,49		
Trefolo 6	21,32	1366,72	1242,64	1185,15	1137,55	1044,12	934,49		
Trefolo 7	21,32	1366,72	1242,64	1185,15	1137,55	1044,12	934,49		
Trefolo 8	21,32	1366,72	1242,64	1185,15	1137,55	1044,12	934,49		
Trefolo 9	21,32	1366,72	1242,64	1185,15	1137,55	1044,12	934,49		
Trefolo 10	21,32	1366,72	1242,64	1185,15	1137,55	1044,12	934,49		
		σ_{spi} [MPa] =	1366,72	$< 0,9 \cdot f_{p(0,1)k} =$	1503 MPa	σ_{sp} [MPa] =	934,49	$< 0,6 \cdot f_{ptk} =$	1116 MPa

7.4.4.2 Verifica Trave 2

CALCESTRUZZO TRAVE				ACCIAIO ARMATURA ATTIVA			
R _{ck} [MPa]	f _{ck} [MPa]	E _{ct} [MPa]	C45/55	f _{yk} [MPa]	f _{yk(0.1k)} [MPa]	E _p [MPa]	Trefoli a fili sagomati
55	45,65	36416		1860	1670	200000	
CALCESTRUZZO SOLETTA				ACCIAIO ARMATURA LENTA			
R _{ck} [MPa]	f _{ck} [MPa]	E _{cs} [MPa]	C28/35	f _{yk} [MPa]	f _{yk} [MPa]	E _s [MPa]	B450C
35	29,05	32588		540	450	210000	
SOLLECITAZIONI DI CALCOLO							
L [m]	M _{Gk1} [kNm]	M _{Gk1s} [kNm]	M _{Gk2} [kNm]	M _{Gk1} [kNm]			
19,70	561,76	339,58	950,82	1735,25			
GEOMETRIA TRAVE							
A _p [cm ²]	I _p [cm ⁴]	y _{sp} [cm]	y _{ip} [cm]	W _{sp} [cm ³]	W _{ip} [cm ³]	h _p [cm]	G _{k1} [kN/m]
4633	6829485	56,14	43,86	121651	155711	100	11,58
GEOMETRIA SOLETTA				RAPPORTO DI OMOGENIZZAZIONE			
b _s [cm]	h [cm]	A _s [cm ²]	G _{k1s} [kN/m]	n _s =E _{cs} /E _{ct}	n _p =E _p /E _{ct}		
140	20	2800	7,00	0,895	5,492		
CARATTERISTICHE MASCHERA TREFOLI							
Fila	n°	A _{pi} [mm ²]	y _{pi} [cm]			σ _{spi,0} [Mpa]	
1	19	139	5,00	26,41	132,05	1400	
2	15	139	10,00	20,85	208,5	1400	
3	5	139	15,00	6,95	104,25	1400	
4	3	139	95,00	4,17	396,15	1400	
	42		A _{pr} [cm ²]	58,38			
			y _{pr} [cm]	14,40			

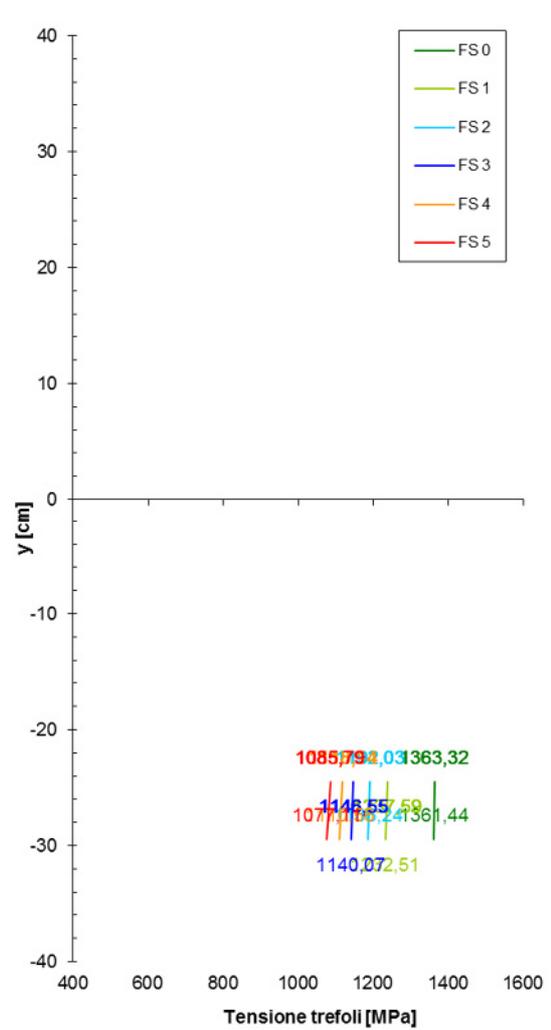
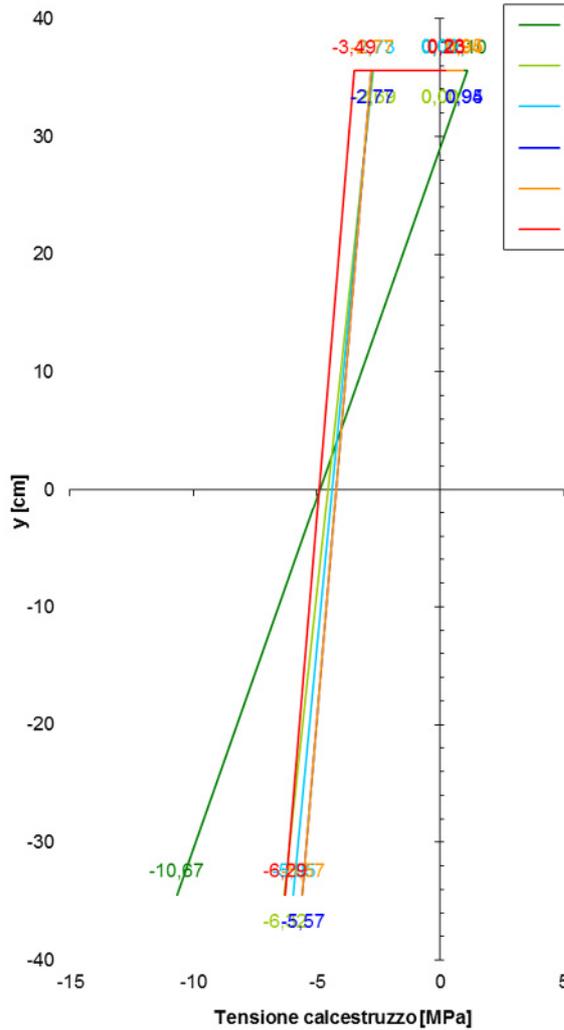


	e [cm]	FS 0 (MPa)	FS 1 (MPa)	FS 2 (MPa)	FS 3 (MPa)	FS 4 (MPa)	FS 5 (MPa)
Estr. soletta	55,19	0,00	0,00	0,00	2,45	-11,18	-17,61
Intr. soletta	35,19	0,00	0,00	0,00	-1,06	-11,37	-15,48
Estr. trave	35,19	1,44	-3,68	-6,73	-8,44	-18,75	-22,86
Intr. trave	-64,81	-26,89	-19,63	-15,66	-13,26	-7,02	0,54
				σ_c [MPa] =	18,75	< 0,45*fck =	20,54 MPa
				σ_c [MPa] =		22,86 < 0,6*fck =	27,39 MPa

	e [cm]	FS 0 (MPa)	FS 1 (MPa)	FS 2 (MPa)	FS 3 (MPa)	FS 4 (MPa)	FS 5 (MPa)
Estr. soletta	55,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Trefolo 1	-59,81	1261,01	971,40	898,37	817,73	775,97	772,52
Trefolo 2	-54,81	1267,55	988,28	916,28	837,48	792,50	782,62
Trefolo 3	-49,81	1274,10	1005,14	934,18	857,20	809,00	792,70
Trefolo 4	30,19	1378,82	1272,77	1216,77	1167,30	1067,53	948,42
Trefolo 5	30,19	1378,82	1272,77	1216,77	1167,30	1067,53	948,42
Trefolo 6	30,19	1378,82	1272,77	1216,77	1167,30	1067,53	948,42
Trefolo 7	30,19	1378,82	1272,77	1216,77	1167,30	1067,53	948,42
Trefolo 8	30,19	1378,82	1272,77	1216,77	1167,30	1067,53	948,42
Trefolo 9	30,19	1378,82	1272,77	1216,77	1167,30	1067,53	948,42
Trefolo 10	30,19	1378,82	1272,77	1216,77	1167,30	1067,53	948,42
		σ_{spi} [MPa] =	1378,82 < 0,9*fp(0,1)k=1503 MPa		σ_{sp} [MPa] =	948,42 < 0,6*fpk=1116 MPa	

7.4.4.3 Verifica Puntone 1

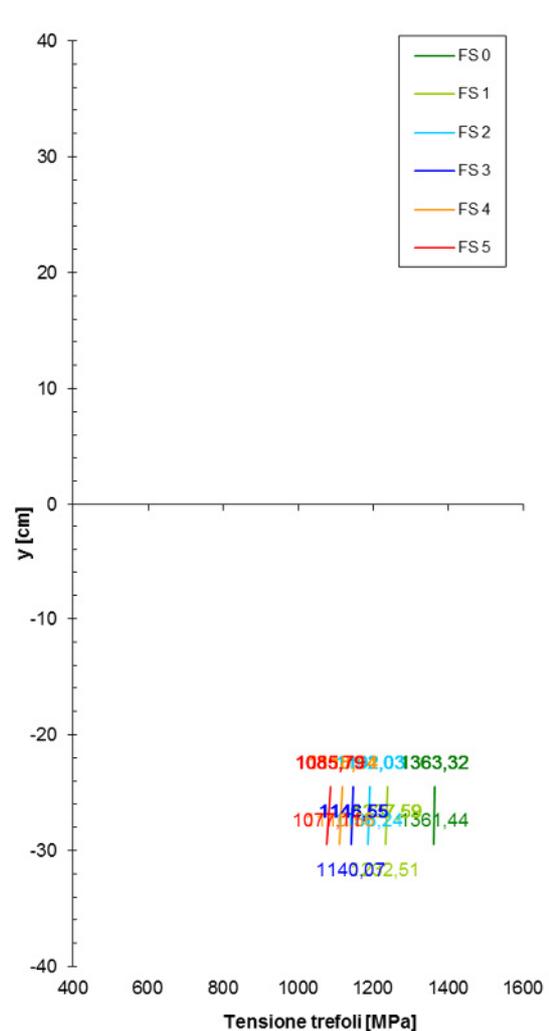
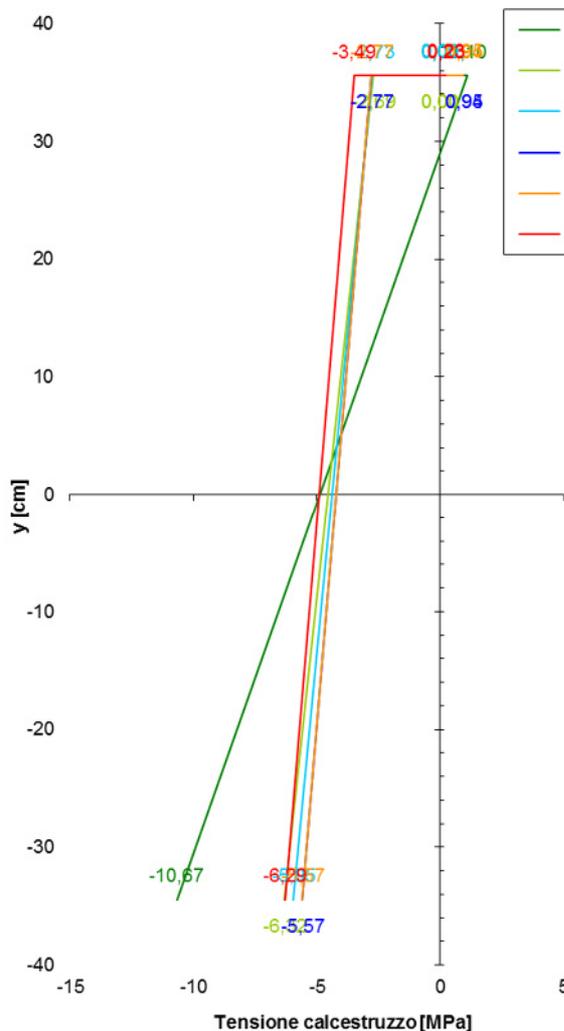
CALCESTRUZZO TRAVE				ACCIAIO ARMATURA ATTIVA			
R _{ck} [MPa]	f _{ck} [MPa]	E _{ct} [MPa]	C45/55	f _{ptk} [MPa]	f _{p(0.1)k} [MPa]	E _p [MPa]	Trefoli a fili sagomati
55	45,65	36416		1860	1670	200000	
CALCESTRUZZO SOLETTA				ACCIAIO ARMATURA LENTA			
R _{ck} [MPa]	f _{ck} [MPa]	E _{cs} [MPa]	C28/35	f _{tk} [MPa]	f _{yk} [MPa]	E _s [MPa]	B450C
35	29,05	32588		540	450	210000	
SOLLECITAZIONI DI CALCOLO							
L [m]	M _{Gk1} [kNm]	M _{Gk1s} [kNm]	M _{Gk2} [kNm]	M _{Gk1} [kNm]	M _{Qk1} [kNm]	N _{Qk1} [kN]	
16,50	582,96	0,00	0,00	0,00	0,00	-502,13	
GEOMETRIA TRAVE							
A _p [cm ²]	I _p [cm ⁴]	y _{sp} [cm]	y _{ip} [cm]	W _{sp} [cm ³]	W _{ip} [cm ³]	h _p [cm]	G _{k1} [kN/m]
6852	5471596	35,00	35,00	156331	156331	70	17,13
GEOMETRIA SOLETTA				RAPPORTO DI OMOGENIZZAZIONE			
b _s [cm]	h [cm]	A _s [cm ²]	G _{k1s} [kN/m]	n _s =E _{cs} /E _{ct}	n _p =E _p /E _{ct}		
0	0	0	0,00	0,895	5,492		
CARATTERISTICHE MASCHERA TREFOLI							
Fila	n°	A _{pi} [mm ²]	y _{pi} [cm]			σ _{spi,0} [MPa]	
1	11	139	5,00	15,29	76,45	1400	
2	7	139	10,00	9,73	97,3	1400	
	18		A _{pr} [cm ²]	25,02			
			y _{pr} [cm]	6,94			



	e [cm]	FS 0 (MPa)	FS 1 (MPa)	FS 2 (MPa)	FS 3 (MPa)	FS 4 (MPa)	FS 5 (MPa)
Estr. soletta	35,56	0,00	0,00	0,00	0,95	0,95	0,23
Intr. soletta	35,55	0,00	0,00	0,00	0,94	0,94	0,23
Estr. trave	35,55	1,10	-2,69	-2,73	-2,77	-2,77	-3,49
Intr. trave	-34,45	-10,67	-6,32	-5,95	-5,57	-5,57	-6,29
				σ_c [MPa] =	5,57	$< 0,45 \cdot f_{ck} =$ 20,54 MPa	
				σ_c [MPa] =		$6,29 < 0,6 \cdot f_{ck} =$ 27,39 MPa	
	e [cm]	FS 0 (MPa)	FS 1 (MPa)	FS 2 (MPa)	FS 3 (MPa)	FS 4 (MPa)	FS 5 (MPa)
Estr. soletta	35,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Trefolo 1	-29,45	1361,44	1232,51	1186,24	1140,07	1110,56	1077,11
Trefolo 2	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79
Trefolo 3	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79
Trefolo 4	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79
Trefolo 5	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79
Trefolo 6	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79
Trefolo 7	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79
Trefolo 8	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79
Trefolo 9	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79
Trefolo 10	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79
		σ_{spi} [MPa] =			1363,32	$< 0,9 \cdot f_{p(0,1)k} =$ 1503 MPa	
					σ_{sp} [MPa] =	1085,79	$< 0,6 \cdot f_{ptk} =$ 1116 MPa

7.4.4.4 Verifica Puntone 2

CALCESTRUZZO TRAVE				ACCIAIO ARMATURA ATTIVA			
R_{ck} [MPa]	f_{ck} [MPa]	E_{ct} [MPa]	C45/55	f_{tik} [MPa]	$f_{p(0.1)k}$ [MPa]	E_p [MPa]	Trefoli a fili sagomati
55	45,65	36416		1860	1670	200000	
CALCESTRUZZO SOLETTA				ACCIAIO ARMATURA LENTA			
R_{ck} [MPa]	f_{ck} [MPa]	E_{cs} [MPa]	C28/35	f_{tk} [MPa]	f_{yk} [MPa]	E_s [MPa]	B450C
35	29,05	32588		540	450	210000	
SOLLECITAZIONI DI CALCOLO							
L [m]	M_{Gk1} [kNm]	M_{Gk1s} [kNm]	M_{Gk2} [kNm]	M_{Qk1} [kNm]	N_{Qk1} [kN]		
16,50	582,96	0,00	0,00	0,00	-502,13		
GEOMETRIA TRAVE							
A_p [cm ²]	I_p [cm ⁴]	y_{sp} [cm]	y_{ip} [cm]	W_{sp} [cm ³]	W_{ip} [cm ³]	h_p [cm]	G_{k1} [kN/m]
6852	5471596	35,00	35,00	156331	156331	70	17,13
GEOMETRIA SOLETTA				RAPPORTO DI OMOGENIZZAZIONE			
b_s [cm]	h [cm]	A_s [cm ²]	G_{k1s} [kN/m]	$n_s = E_{cs}/E_{ct}$	$n_p = E_p/E_{ct}$		
0	0	0	0,00	0,895	5,492		
CARATTERISTICHE MASCHERA TREFOLI							
Fila	n°	A_{pi} [mm ²]	y_{pi} [cm]			$\sigma_{spt,0}$ [Mpa]	
1	11	139	5,00	15,29	76,45	1400	
2	7	139	10,00	9,73	97,3	1400	
	18		A_{pr} [cm ²]	25,02			
			y_{pr} [cm]	6,94			



	e [cm]	FS 0 (MPa)	FS 1 (MPa)	FS 2 (MPa)	FS 3 (MPa)	FS 4 (MPa)	FS 5 (MPa)	
Estr. soletta	35,56	0,00	0,00	0,00	0,95	0,95	0,23	
Intr. soletta	35,55	0,00	0,00	0,00	0,94	0,94	0,23	
Estr. trave	35,55	1,10	-2,69	-2,73	-2,77	-2,77	-3,49	
Intr. trave	-34,45	-10,67	-6,32	-5,95	-5,57	-5,57	-6,29	
					σ_c [MPa] =	5,57	< 0,45*fck =	20,54 MPa
					σ_c [MPa] =		6,29 < 0,6*fck =	27,39 MPa
	e [cm]	FS 0 (MPa)	FS 1 (MPa)	FS 2 (MPa)	FS 3 (MPa)	FS 4 (MPa)	FS 5 (MPa)	
Estr. soletta	35,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Trefolo 1	-29,45	1361,44	1232,51	1186,24	1140,07	1110,56	1077,11	
Trefolo 2	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79	
Trefolo 3	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79	
Trefolo 4	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79	
Trefolo 5	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79	
Trefolo 6	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79	
Trefolo 7	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79	
Trefolo 8	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79	
Trefolo 9	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79	
Trefolo 10	-24,45	1363,32	1237,59	1192,03	1146,55	1118,14	1085,79	
		σ_{spi} [MPa] =	1363,32 < 0,9*fp(0,1)k=1503 MPa			σ_{sp} [MPa] =	1085,79 < 0,6*fptk=1116 MPa	

7.4.5 Verifiche strutturali pali

7.4.5.1 Pressoflessione SLU e SLE

Nome sezione: PALO TESTA
 Tipo sezione: Circolare
 Diametro: 80,0 [cm]

Caratteristiche geometriche

Area sezione: 5018,48 [cmq]
 Inerzia in direzione X: 2004169,0 [cm⁴]
 Inerzia in direzione Y: 2004169,0 [cm⁴]
 Inerzia in direzione XY: 0,0 [cm⁴]
 Ascissa baricentro sezione: X_G = 40,00 [cm]
 Ordinata baricentro sezione: Y_G = 40,00 [cm]

Elenco ferri

Simbologia adottata

Posizione riferita all'origine

N° numero d'ordine
 X Ascissa posizione ferro espresso in [cm]
 Y Ordinata posizione ferro espresso in [cm]
 d Diametro ferro espresso in [mm]
 ω Area del ferro espresso in [cmq]

N°	X	Y	d	ω
1	72,60	40,00	24	4,52
2	71,49	48,44	24	4,52
3	68,23	56,30	24	4,52
4	63,05	63,05	24	4,52
5	56,30	68,23	24	4,52
6	48,44	71,49	24	4,52
7	40,00	72,60	24	4,52
8	31,56	71,49	24	4,52
9	23,70	68,23	24	4,52
10	16,95	63,05	24	4,52
11	11,77	56,30	24	4,52
12	8,51	48,44	24	4,52
13	7,40	40,00	24	4,52
14	8,51	31,56	24	4,52
15	11,77	23,70	24	4,52
16	16,95	16,95	24	4,52
17	23,70	11,77	24	4,52
18	31,56	8,51	24	4,52
19	40,00	7,40	24	4,52
20	48,44	8,51	24	4,52
21	56,30	11,77	24	4,52
22	63,05	16,95	24	4,52
23	68,23	23,70	24	4,52
24	71,49	31,56	24	4,52

Materiale impiegato : Calcestruzzo armato

Caratteristiche calcestruzzo

Resistenza caratteristica calcestruzzo: 30,000 [MPa]
 Coeff. omogeneizzazione acciaio/calcestruzzo: 15,00
 Coeff. omogeneizzazione calcestruzzo teso/compresso: 1,00
 Forma diagramma tensione-deformazione - PARABOLA-RETTANGOLO

Caratteristiche acciaio per calcestruzzo

Tensione ammissibile acciaio: 450,000 [MPa]
 Tensione snervamento acciaio: 450,000 [MPa]
 Modulo elastico E: 205942,924 [MPa]
 Fattore di incrudimento acciaio: 1,00

Combinazioni

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 N sforzo normale espresso in [kN]
 M_y momento lungo Y espresso in [kNm]
 M_x momento lungo X espresso in [kNm]
 M_t momento torcente espresso in [kNm]
 T_y taglio lungo Y espresso in [kN]
 T_x taglio lungo X espresso in [kN]
 VD verifica di dominio
 VT verifica tensionale (SLER - Combinazione rara, SLEF - Combinazione frequente, SLEQP - Combinazione quasi permanente, TAMM - Verifica a tensioni ammissibili)

N°	N	M _y	M _x	M _t	T _y	T _x	VD	VT
1	-1466,5300	150,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP

2	-629,4000	162,6300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLER
3	-1098,2000	144,1000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO
4	-1859,8500	183,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO
5	-1367,1300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP

Risultati analisi

Caratteristiche asse neutro

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 Xc posizione asse neutro espresso in [cm]
 α inclinazione asse neutro rispetto all'orizzontale, espressa in [°]
 (xi; yi) - (xf; yf) Punti di intersezione dell'asse neutro con il perimetro della sezione, espressi in [cm]

N°	Xc	α	(xi; yi)	(xf; yf)
1	11,78	0,00	(1908,22; 91,78)	(-1828,22; 91,78)
2	14,37	0,00	(-1295,89; 65,63)	(1375,89; 65,63)
5	10000000,00	0,00	(-100,00; 10000000,00)	(100,00; 10000000,00)

Risultati tensionali

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 σ_{c-max} Tensione massima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
 σ_{c-min} Tensione minima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
 σ_{f-max} Tensione massima nel ferro espresso in [MPa]
 σ_{f-min} Tensione minima nel ferro espresso in [MPa]
 τ_c Tensione tangenziale nel calcestruzzo espresso in [MPa]

N°	σ _{c-max}	σ _{c-min}	τ _c	σ _{f-max}	σ _{f-min}
1	-2,049	0,000	0,000	-50,032	-220,113
2	2,370	0,000	0,000	17,244	-144,017
5	-8,395	0,000	0,000	-125,918	-125,918

Sollecitazioni ultime

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 N_u Sforzo normale ultimo, espresso in [kN]
 M_{Xu} Momento ultimo in direzione X, espresso in [kNm]
 M_{Yu} Momento ultimo in direzione Y, espresso in [kNm]
 FS Fattore di sicurezza

Combinazione n° 3

N _u	M _{Xu}	M _{Yu}	FS
-2978,0947	0,0000	390,7698	2,71
-3785,8841	0,0000	144,1000	3,45
-1098,2000	0,0000	908,7534	6,31

Combinazione n° 4

N _u	M _{Xu}	M _{Yu}	FS
-3219,8958	0,0000	317,1680	1,73
-3659,6084	0,0000	183,2000	1,97
-1859,8500	0,0000	708,9043	3,87

7.4.5.2 Taglio SLU

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)									
DATI SEZIONE									
b _w (m)	d (m)	N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	θ (°)	1 < cotg θ (°) < 2,5	f _{ck} (MPa)	f _{ctd} (MPa)	B450C	
0,57	0,57	1874,68	156,90	30,00	1,73	24,90	14,11		
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI									
A _{stl} (cm ²)	k	ρ _l (%)	v _{min} (MPa)	σ _{cp} (MPa)	α _c	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)	C25/30	
108,52	1,595	2,00%	0,352	-5,86	1,000	-70,00	156,90	OCCORRE ARMAT. TRASV.	
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI									
s (m)	f _{ywd} (MPa)	n _b	φ (mm)	A _{sw} (cm ²)	α (°)	V _{Rsd} (kN)	50% V _{Ed} (kN)		
Staffe	0,10	391,30	2,00	10	1,57	90	542,02	> 78,45 OK	
Ferri piegati	-	313,04	0	12	0,00	45	0,00		
						V _{Rsd} (kN)	542,02	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)
						V _{Rsd} (kN)	879,81	542,02	> 156,90 VERIFICA OK

7.4.6 Verifiche strutturali diaframmi

7.4.6.1 Flessione SLU e SLE

Nome sezione:	DIAFRAMMI	
Tipo sezione	Rettangolare	
Base	100,0	[cm]
Altezza	80,0	[cm]
Caratteristiche geometriche		
Area sezione	8000,00	[cmq]
Inerzia in direzione X	6666666,7	[cm^4]
Inerzia in direzione Y	4266666,7	[cm^4]
Inerzia in direzione XY	0,0	[cm^4]
Ascissa baricentro sezione	X _G = 50,00	[cm]
Ordinata baricentro sezione	Y _G = 40,00	[cm]

Elenco ferri

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine
X	Ascissa posizione ferro espresso in [cm]
Y	Ordinata posizione ferro espresso in [cm]
d	Diametro ferro espresso in [mm]
ω	Area del ferro espresso in [cmq]

N°	X	Y	d	ω
1	95,80	72,60	24	4,52
2	85,62	72,60	24	4,52
3	75,44	72,60	24	4,52
4	65,27	72,60	24	4,52
5	55,09	72,60	24	4,52
6	44,91	72,60	24	4,52
7	34,73	72,60	24	4,52
8	24,56	72,60	24	4,52
9	14,38	72,60	24	4,52
10	4,20	72,60	24	4,52
11	4,20	7,40	24	4,52
12	27,10	7,40	24	4,52
13	50,00	7,40	24	4,52
14	72,90	7,40	24	4,52
15	95,80	7,40	24	4,52

Materiale impiegato : Calcestruzzo armato

Caratteristiche calcestruzzo

Resistenza caratteristica calcestruzzo	30,000	[MPa]
Coeff. omogeneizzazione acciaio/calcestruzzo	15,00	
Coeff. omogeneizzazione calcestruzzo teso/compresso	1,00	
Forma diagramma tensione-deformazione - PARABOLA-RETTANGOLO		

Caratteristiche acciaio per calcestruzzo

Tensione ammissibile acciaio	450,000	[MPa]
Tensione snervamento acciaio	450,000	[MPa]
Modulo elastico E	205942,924	[MPa]
Fattore di incrudimento acciaio	1,00	

Combinazioni

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
N	sfuerzo normale espresso in [kN]
M _Y	momento lungo Y espresso in [kNm]
M _X	momento lungo X espresso in [kNm]
M _t	momento torcente espresso in [kNm]
T _Y	taglio lungo Y espresso in [kN]
T _X	taglio lungo X espresso in [kN]
VD	verifica di dominio
VT	verifica tensionale (SLER - Combinazione rara, SLEF - Combinazione frequente, SLEQP - Combinazione quasi permanente, TAMM - Verifica a tensioni ammissibili)

N°	N	M _Y	M _X	M _t	T _Y	T _X	VD	VT
1	190,4600	-222,2000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP
2	422,6000	76,1500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP
3	282,7700	302,2300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLER
4	231,5100	-554,6100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLER
5	321,7600	-706,2900	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO
6	256,2100	399,0700	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO

Risultati analisi

Caratteristiche asse neutro

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 Xc posizione asse neutro espresso in [cm]
 α inclinazione asse neutro rispetto all'orizzontale, espressa in [°]
 (xi; yi) - (xf; yf) Punti di intersezione dell'asse neutro con il perimetro della sezione, espressi in [cm]

N°	Xc	α	(xi; yi)	(xf; yf)
1	29,43	0,00	(100,00; 29,43)	(0,00; 29,43)
2	73,13	0,00	(0,00; 6,87)	(100,00; 6,87)
3	21,49	0,00	(0,00; 58,51)	(100,00; 58,51)
4	26,32	0,00	(100,00; 26,32)	(0,00; 26,32)

Risultati tensionali

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 σ_{c-max} Tensione massima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
 σ_{c-min} Tensione minima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
 σ_{f-max} Tensione massima nel ferro espresso in [MPa]
 σ_{f-min} Tensione minima nel ferro espresso in [MPa]
 τ_c Tensione tangenziale nel calcestruzzo espresso in [MPa]

N°	σ _{c-max}	σ _{c-min}	τ _c	σ _{f-max}	σ _{f-min}
1	2,609	0,000	0,000	29,298	-57,419
2	0,990	0,000	0,000	13,346	0,109
3	3,972	0,000	0,000	39,057	-141,736
4	6,307	0,000	0,000	68,006	-166,310

Sollecitazioni ultime

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 N_u Sforzo normale ultimo, espresso in [kN]
 M_{Xu} Momento ultimo in direzione X, espresso in [kNm]
 M_{Yu} Momento ultimo in direzione Y, espresso in [kNm]
 FS Fattore di sicurezza

Combinazione n° 5

N _u	M _{Xu}	M _{Yu}	FS
627,2423	0,0000	-1376,8491	1,95
10673,4040	0,0000	-706,2900	33,17
321,7600	0,0000	-1284,6123	1,82

Combinazione n° 6

N _u	M _{Xu}	M _{Yu}	FS
494,6092	0,0000	770,3981	1,93
13608,9250	0,0000	399,0700	53,12
256,2100	0,0000	691,2222	1,73

7.4.6.2 Taglio SLU

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)										
DATI SEZIONE										
b _w (m)	d (m)	N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	θ (°)	1 < cotg θ (°) < 2,5	f _{ck} (MPa)	f _{ctd} (MPa)	<input type="button" value="B450C"/>		
1,00	0,74	0,00	463,39	30,00	1,73	24,90	14,11	<input type="button" value="C25/30"/>		
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI										
A _{stl} (cm ²)	k	ρ _l (%)	v _{min} (MPa)	σ _{cp} (MPa)	α _c	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)	OCCORRE ARMAT. TRASV.		
45,22	1,520	0,61%	0,327	0,00	1,000	313,53	>	463,39		
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI										
s (m)	f _{ywd} (MPa)	n _b	φ (mm)	A _{sw} (cm ²)	α (°)	V _{Rsd} (kN)	50% V _{Ed} (kN)			
Staffe	0,10	391,30	1,60	12	1,81	90	816,81	>	231,70 OK	
Ferri piegati	-	313,04	0	12	0,00	45	0,00			
						V _{Rsd} (kN)	816,81	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)	
						V _{Rcd} (kN)	2034,57	816,81	>	463,39 VERIFICA OK

7.4.7 Verifiche strutturali fondazione

7.4.7.1 Flessione SLU e SLE

Nome sezione:	FONDAZIONE	
Tipo sezione	Rettangolare	
Base	100,0	[cm]
Altezza	60,0	[cm]
Caratteristiche geometriche		
Area sezione	6000,00	[cmq]
Inerzia in direzione X	5000000,0	[cm^4]
Inerzia in direzione Y	1800000,0	[cm^4]
Inerzia in direzione XY	0,0	[cm^4]
Ascissa baricentro sezione	X _G = 50,00	[cm]
Ordinata baricentro sezione	Y _G = 30,00	[cm]

Elenco ferri

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine
X	Ascissa posizione ferro espresso in [cm]
Y	Ordinata posizione ferro espresso in [cm]
d	Diametro ferro espresso in [mm]
ω	Area del ferro espresso in [cmq]

N°	X	Y	d	ω
1	95,80	53,40	24	4,52
2	85,62	53,40	24	4,52
3	75,44	53,40	24	4,52
4	65,27	53,40	24	4,52
5	55,09	53,40	24	4,52
6	44,91	53,40	24	4,52
7	34,73	53,40	24	4,52
8	24,56	53,40	24	4,52
9	14,38	53,40	24	4,52
10	4,20	53,40	24	4,52
11	4,20	6,60	24	4,52
12	27,10	6,60	24	4,52
13	50,00	6,60	24	4,52
14	72,90	6,60	24	4,52
15	95,80	6,60	24	4,52
16	95,80	48,40	24	4,52
17	72,90	48,40	24	4,52
18	50,00	48,40	24	4,52
19	27,10	48,40	24	4,52
20	4,20	48,40	24	4,52

Materiale impiegato : Calcestruzzo armato

Caratteristiche calcestruzzo

Resistenza caratteristica calcestruzzo	30,000	[MPa]
Coeff. omogeneizzazione acciaio/calcestruzzo	15,00	
Coeff. omogeneizzazione calcestruzzo teso/compresso	1,00	
Forma diagramma tensione-deformazione - PARABOLA-RETTANGOLO		

Caratteristiche acciaio per calcestruzzo

Tensione ammissibile acciaio	450,000	[MPa]
Tensione snervamento acciaio	450,000	[MPa]
Modulo elastico E	205942,924	[MPa]
Fattore di incrudimento acciaio	1,00	

Combinazioni

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
N	sfuerzo normale espresso in [kN]
M _y	momento lungo Y espresso in [kNm]
M _x	momento lungo X espresso in [kNm]
M _t	momento torcente espresso in [kNm]
T _y	taglio lungo Y espresso in [kN]
T _x	taglio lungo X espresso in [kN]
VD	verifica di dominio
VT	verifica tensionale (SLER - Combinazione rara, SLEF - Combinazione frequente, SLEQP - Combinazione quasi permanente, TAMM - Verifica a tensioni ammissibili)

N°	N	M _y	M _x	M _t	T _y	T _x	VD	VT
1	583,7700	-514,1300	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP
2	585,9200	304,2200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP
3	674,6600	-688,9100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEF

4	665,6600	343,0500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLER
5	975,7500	-965,9000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO
6	925,7300	486,2600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO

Risultati analisi

Caratteristiche asse neutro

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 Xc posizione asse neutro espresso in [cm]
 α inclinazione asse neutro rispetto all'orizzontale, espressa in [°]
 (xi; yi) - (xf; yf) Punti di intersezione dell'asse neutro con il perimetro della sezione, espressi in [cm]

N°	Xc	α	(xi; yi)	(xf; yf)
1	26,62	0,00	(100,00; 26,62)	(0,00; 26,62)
2	19,39	0,00	(0,00; 40,61)	(100,00; 40,61)
3	26,00	0,00	(100,00; 26,00)	(0,00; 26,00)
4	19,45	0,00	(0,00; 40,55)	(100,00; 40,55)

Risultati tensionali

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 σ_{c-max} Tensione massima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
 σ_{c-min} Tensione minima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
 σ_{f-max} Tensione massima nel ferro espresso in [MPa]
 σ_{f-min} Tensione minima nel ferro espresso in [MPa]
 τ_c Tensione tangenziale nel calcestruzzo espresso in [MPa]

N°	σ _{c-max}	σ _{c-min}	τ _c	σ _{f-max}	σ _{f-min}
1	9,319	0,000	0,000	105,135	-140,586
2	6,118	0,000	0,000	60,525	-161,028
3	12,353	0,000	0,000	138,269	-195,234
4	6,897	0,000	0,000	68,345	-180,633

Sollecitazioni ultime

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 N_u Sforzo normale ultimo, espresso in [kN]
 M_{xu} Momento ultimo in direzione X, espresso in [kNm]
 M_{yu} Momento ultimo in direzione Y, espresso in [kNm]
 FS Fattore di sicurezza

Combinazione n° 5

N _u	M _{xu}	M _{yu}	FS
1381,9663	0,0000	-1368,0156	1,42
<u>5200,7402</u>	0,0000	-965,9000	5,33
975,7500	0,0000	<u>-1333,4027</u>	1,38

Combinazione n° 6

N _u	M _{xu}	M _{yu}	FS
1504,5114	0,0000	790,2776	1,63
<u>11518,1568</u>	0,0000	486,2600	12,44
925,7300	0,0000	<u>663,8349</u>	1,37

7.4.7.2 Taglio SLU

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)									
DATI SEZIONE									
b _w (m)	d (m)	N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	θ (°)	1 < cotg θ (°) < 2,5	f _{ck} (MPa)	f _{cd} (MPa)		
1,00	0,55	0,00	679,79	30,00	1,73	24,90	14,11	B450C	
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI									
A _{stl} (cm ²)	k	ρ _l (%)	v _{min} (MPa)	σ _{cp} (MPa)	α _c	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)		
67,82	1,603	1,23%	0,354	0,00	1,000	310,60	>	679,79	OCCORRE ARMAT. TRASV.
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI									
s (m)	f _{ywd} (MPa)	n _b	φ (mm)	A _{sw} (cm ²)	α (°)	V _{Rsd} (kN)	50% V _{Ed} (kN)		
Staffe	0,10	391,30	3,00	12	3,39	90	1138,29	>	339,90 OK
Ferri piegati	-	313,04	0	12	0,00	45	0,00		
						V _{Rsd} (kN)	1138,29	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)
						V _{Rcd} (kN)	1512,18	>	679,79 VERIFICA OK

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)									
DATI SEZIONE									
b_w (m)	d (m)	N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	θ (°)	$1 < \cotg \theta$ (°) < 2,5	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)		
1,00	0,55	0,00	377,10	30,00	1,73	24,90	14,11	B450C ▼	
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI									
A_{st} (cm ²)	k	ρ_l (%)	v_{min} (MPa)	σ_{cp} (MPa)	α_c	V_{Rd} (kN)	V_{Ed} (kN)		
22,61	1,603	0,41%	0,354	0,00	1,000	215,35	377,10	OCCORRE ARMAT. TRASV.	
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI									
	s (m)	f_{ywd} (MPa)	n_b	ϕ (mm)	A_{sw} (cm ²)	α (°)	V_{Rsd} (kN)	50% V_{Ed} (kN)	
Staffe	0,20	391,30	3,00	12	3,39	90	569,15	188,55	OK
Ferri piegati	-	313,04	0	12	0,00	45	0,00		
						V_{Rsd} (kN)	569,15	V_{Rd} (kN)	V_{Ed} (kN)
						V_{Rcd} (kN)	1512,18	569,15	377,10
								>	VERIFICA OK

7.4.8 Verifiche strutturali controparete

7.4.8.1 Flessione SLU e SLE

Nome sezione:	ELEV 50cm
Tipo sezione	Rettangolare
Base	100,0 [cm]
Altezza	50,0 [cm]

Caratteristiche geometriche

Area sezione	5000,00 [cmq]
Inerzia in direzione X	4166666,7 [cm^4]
Inerzia in direzione Y	1041666,7 [cm^4]
Inerzia in direzione XY	0,0 [cm^4]
Ascissa baricentro sezione	X _G = 50,00 [cm]
Ordinata baricentro sezione	Y _G = 25,00 [cm]

Elenco ferri

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine
X	Ascissa posizione ferro espresso in [cm]
Y	Ordinata posizione ferro espresso in [cm]
d	Diametro ferro espresso in [mm]
ω	Area del ferro espresso in [cmq]

N°	X	Y	d	ω
1	95,80	43,60	24	4,52
2	85,62	43,60	24	4,52
3	75,44	43,60	24	4,52
4	65,27	43,60	24	4,52
5	55,09	43,60	24	4,52
6	44,91	43,60	24	4,52
7	34,73	43,60	24	4,52
8	24,56	43,60	24	4,52
9	14,38	43,60	24	4,52
10	4,20	43,60	24	4,52
11	4,20	6,40	24	4,52
12	27,10	6,40	24	4,52
13	50,00	6,40	24	4,52
14	72,90	6,40	24	4,52
15	95,80	6,40	24	4,52
16	95,80	38,40	24	4,52
17	72,90	38,40	24	4,52
18	50,00	38,40	24	4,52
19	27,10	38,40	24	4,52
20	4,20	38,40	24	4,52

Materiale impiegato : Calcestruzzo armato

Caratteristiche calcestruzzo

Resistenza caratteristica calcestruzzo	30,000	[MPa]
Coeff. omogeneizzazione acciaio/calcestruzzo	15,00	
Coeff. omogeneizzazione calcestruzzo teso/compresso	1,00	
Forma diagramma tensione-deformazione - PARABOLA-RETTANGOLO		

Caratteristiche acciaio per calcestruzzo

Tensione ammissibile acciaio	450,000	[MPa]
Tensione snervamento acciaio	450,000	[MPa]
Modulo elastico E	205942,924	[MPa]
Fattore di incrudimento acciaio	1,00	

Combinazioni

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
N	sfuerzo normale espresso in [kN]
M _Y	momento lungo Y espresso in [kNm]
M _X	momento lungo X espresso in [kNm]
M _t	momento torcente espresso in [kNm]
T _Y	taglio lungo Y espresso in [kN]
T _X	taglio lungo X espresso in [kN]
VD	verifica di dominio
VT	verifica tensionale (SLER - Combinazione rara, SLEF - Combinazione frequente, SLEQP - Combinazione quasi permanente, TAMM - Verifica a tensioni ammissibili)

N°	N	M _Y	M _X	M _t	T _Y	T _X	VD	VT
1	371,8500	-414,7600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP
2	444,1700	-576,7600	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLER
3	613,0400	-797,5100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO

Risultati analisi

Caratteristiche asse neutro

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 Xc posizione asse neutro espresso in [cm]
 α inclinazione asse neutro rispetto all'orizzontale, espressa in [°]
 (xi; yi) - (xf; yf) Punti di intersezione dell'asse neutro con il perimetro della sezione, espressi in [cm]

N°	Xc	α	(xi; yi)	(xf; yf)
1	21,57	0,00	(100,00; 21,57)	(0,00; 21,57)
2	21,24	0,00	(100,00; 21,24)	(0,00; 21,24)

Risultati tensionali

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 σ_{c-max} Tensione massima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
 σ_{c-min} Tensione minima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
 σ_{f-max} Tensione massima nel ferro espresso in [MPa]
 σ_{f-min} Tensione minima nel ferro espresso in [MPa]
 τ_c Tensione tangenziale nel calcestruzzo espresso in [MPa]

N°	σ_{c-max}	σ_{c-min}	τ_c	σ_{f-max}	σ_{f-min}
1	10,347	0,000	0,000	109,157	-158,513
2	14,277	0,000	0,000	149,639	-225,377

Sollecitazioni ultime

Simbologia adottata

N° numero d'ordine della combinazione
 Nu Sforzo normale ultimo, espresso in [kN]
 Mxu Momento ultimo in direzione X, espresso in [kNm]
 Myu Momento ultimo in direzione Y, espresso in [kNm]
 FS Fattore di sicurezza

Combinazione n° 3

Nu	Mxu	Myu	FS
778,7868	0,0000	-1013,1318	1,27
3536,1584	0,0000	-797,5100	5,77
613,0400	0,0000	-1001,4660	1,26

7.4.8.2 Taglio SLU

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)									
DATI SEZIONE									
b_w (m)	d (m)	N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	θ (°)	$1 < \cotg \theta$ (°) < 2,5	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)	<input type="text" value="B450C"/>	
1,00	0,45	0,00	979,38	30,00	1,73	24,90	14,11	<input type="text" value="C25/30"/>	
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI									
A_{st} (cm ²)	k	ρ_l (%)	v_{min} (MPa)	σ_{cp} (MPa)	α_c	V_{Rd} (kN)	V_{Ed} (kN)		
67,82	1,667	1,51%	0,376	0,00	1,000	282,49	> 979,38	OCCORRE ARMAT. TRASV.	
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI									
s (m)	f_{ywd} (MPa)	n_b	ϕ (mm)	A_{sw} (cm ²)	α (°)	V_{Rsd} (kN)	50% V_{Ed} (kN)		
Staffe	0,10	391,30	3,00	14	4,62	90	1267,64	>	489,69 OK
Ferri piegati	-	313,04	0	12	0,00	45	0,00		
						V_{Rsd} (kN)	1267,64	V_{Rd} (kN)	V_{Ed} (kN)
						V_{Rcd} (kN)	1237,24	>	979,38 VERIFICA OK

7.4.9 Verifiche strutturali elevazioni

7.4.9.1 Flessione SLU e SLE

Nome sezione:	ELEV 130cm
Tipo sezione	Rettangolare
Base	100,0 [cm]
Altezza	130,0 [cm]

Caratteristiche geometriche

Area sezione	13000,00 [cmq]	
Inerzia in direzione X	10833333,3	[cm^4]
Inerzia in direzione Y	18308333,3	[cm^4]
Inerzia in direzione XY	0,0	[cm^4]
Ascissa baricentro sezione	X _G = 50,00 [cm]	
Ordinata baricentro sezione	Y _G = 65,00 [cm]	

Elenco ferri

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine
X	Ascissa posizione ferro espresso in [cm]
Y	Ordinata posizione ferro espresso in [cm]
d	Diametro ferro espresso in [mm]
ω	Area del ferro espresso in [cmq]

N°	X	Y	d	ω
1	95,80	123,40	24	4,52
2	72,90	123,40	24	4,52
3	50,00	123,40	24	4,52
4	27,10	123,40	24	4,52
5	4,20	123,40	24	4,52
6	4,20	6,60	24	4,52
7	27,10	6,60	24	4,52
8	50,00	6,60	24	4,52
9	72,90	6,60	24	4,52
10	95,80	6,60	24	4,52

Materiale impiegato : Calcestruzzo armato

Caratteristiche calcestruzzo

Resistenza caratteristica calcestruzzo	30,000	[MPa]
Coeff. omogeneizzazione acciaio/calcestruzzo	15,00	
Coeff. omogeneizzazione calcestruzzo teso/compresso	1,00	
Forma diagramma tensione-deformazione - PARABOLA-RETTANGOLO		

Caratteristiche acciaio per calcestruzzo

Tensione ammissibile acciaio	450,000	[MPa]
Tensione snervamento acciaio	450,000	[MPa]
Modulo elastico E	205942,924	[MPa]
Fattore di incrudimento acciaio	1,00	

Combinazioni

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
N	sforzo normale espresso in [kN]
M _y	momento lungo Y espresso in [kNm]
M _x	momento lungo X espresso in [kNm]
M _t	momento torcente espresso in [kNm]
T _y	taglio lungo Y espresso in [kN]
T _x	taglio lungo X espresso in [kN]
VD	verifica di dominio
VT	verifica tensionale (SLER - Combinazione rara, SLEF - Combinazione frequente, SLEQP - Combinazione quasi permanente, TAMM - Verifica a tensioni ammissibili)

N°	N	M _y	M _x	M _t	T _y	T _x	VD	VT
1	589,8200	178,7800	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLEQP
2	589,7900	392,6200	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	NO	SLER
3	771,6000	560,6500	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	SI	NO

Risultati analisi

Caratteristiche asse neutro

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
Xc	posizione asse neutro espresso in [cm]
α	inclinazione asse neutro rispetto all'orizzontale, espressa in [°]
(xi; yi) - (xf; yf)	Punti di intersezione dell'asse neutro con il perimetro della sezione, espressi in [cm]

N°	Xc	α	(xi; yi)	(xf; yf)
1	110,78	0,00	(0,00; 19,22)	(100,00; 19,22)
2	53,79	0,00	(0,00; 76,21)	(100,00; 76,21)

Risultati tensionali

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
σ_{c-max}	Tensione massima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
σ_{c-min}	Tensione minima nel calcestruzzo espresso in [MPa]
σ_{f-max}	Tensione massima nel ferro espresso in [MPa]
σ_{f-min}	Tensione minima nel ferro espresso in [MPa]
τ_c	Tensione tangenziale nel calcestruzzo espresso in [MPa]

N°	σ_{c-max}	σ_{c-min}	τ_c	σ_{f-max}	σ_{f-min}
1	1,014	0,000	0,000	14,297	-1,732
2	2,315	0,000	0,000	30,460	-44,934

Sollecitazioni ultime

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della combinazione
N_u	Sforzo normale ultimo, espresso in [kN]
M_{Xu}	Momento ultimo in direzione X, espresso in [kNm]
M_{Yu}	Momento ultimo in direzione Y, espresso in [kNm]
FS	Fattore di sicurezza

Combinazione n° 3

N_u	M_{Xu}	M_{Yu}	FS
4379,0771	0,0000	3181,8683	5,68
<u>19078,0277</u>	0,0000	560,6500	24,73
771,6000	0,0000	<u>1495,1817</u>	2,67

7.4.9.2 Taglio SLU

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)									
DATI SEZIONE									
b_w (m)	d (m)	N_{Ed} (kN)	V_{Ed} (kN)	θ (°)	$1 < \cotg \theta$ (°) < 2,5	f_{ck} (MPa)	f_{ctd} (MPa)	<input type="text" value="B450C"/>	
1,00	1,25	0,00	268,30	30,00	1,73	24,90	14,11	<input type="text" value="C25/30"/>	
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI									
A_{s1} (cm ²)	k	ρ_l (%)	v_{min} (MPa)	α_{cp} (MPa)	α_c	V_{Rd} (kN)	V_{Ed} (kN)		
22,61	1,400	0,18%	0,289	0,00	1,000	361,63	> 268,30	VERIFICA OK	

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	> 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Fattori di correlazione ξ in funzione del numero di verticali d'indagine

Oltre ai coefficienti di sicurezza γ_R dei pali a elica continua, con numero di verticali di indagine pari a 1 si considera:

$$\xi_3 = 1.70$$

$$\xi_4 = 1.70$$

7.5.1.1 Calcolo della capacità portante di progetto

La resistenza di progetto di un palo soggetto a carichi assiali può essere espressa dalle seguenti relazioni:

$$R_{d,c} = R_{c,d} + R_{b,d} - W' = \frac{R_{c,cal}}{\xi \cdot \gamma_s} + \frac{R_{b,cal}}{\xi \cdot \gamma_b} - W' \quad \text{resistenza di progetto in compressione}$$

$$R_{d,c} = R_{c,t} + W' = \frac{R_{t,cal}}{\xi \cdot \gamma_t} + W' \quad \text{resistenza di progetto in trazione}$$

$R_{c,cal}$ resistenza di calcolo laterale a compressione

$R_{t,cal}$ resistenza di calcolo laterale a trazione

$R_{b,cal}$ resistenza di calcolo di base

W' peso efficace del palo

7.5.1.2 Portata laterale

La portata laterale limite di calcolo $R_{c,cal}$ viene valutata con la seguente relazione:

$$R_{c,cal} = R_{t,cal} = \pi \cdot D \cdot \sum_i \tau_{lim,i} \cdot h_i$$

D diametro palo

$\tau_{lim,i}$ tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo

h_i altezza dello strato i-esimo

Resistenza da prove SPT

Per il calcolo della capacità portante dei pali, disponendo di prove penetrometriche statiche SPT, si può fare riferimento agli studi di Reese-Wright (1977) e quanto indicato nelle raccomandazioni Agi sui pali di fondazione.

Per i terreni coesivi secondo AGI (1984), si utilizza l'equazione:

$$\tau_{lim} = \alpha \cdot c_u \leq 100 \text{ kPa}$$

c_u resistenza al taglio non drenata (kPa)

α coefficiente riduttivo, assunto per pali trivellati:

$$\alpha = 0.9 \text{ per } c_u \leq 25 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0.8 \text{ per } 25 < c_u \leq 50 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0.6 \text{ per } 50 < c_u \leq 75 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0.4 \text{ per } c_u > 75 \text{ kPa}$$

Per i terreni granulari secondo AGI (1984), l'attrito laterale è valutato mediante l'espressione:

$$\tau_{lim} = K \cdot \sigma'_v \cdot \tan(\phi) < f(N_{SPT})$$

K rapporto tra pressione orizzontale e pressione verticale efficace in prossimità del palo

σ'_v pressione geostatica verticale efficace

ϕ angolo di resistenza al taglio del terreno naturale

N_{SPT} numero di colpi/piede in prova SPT

$$f(N_{SPT}) = 3 \cdot N_{SPT} \quad \text{per } N_{SPT} \leq 53$$

$$= 142 + 0.32 \cdot N_{SPT} \quad \text{per } N_{SPT} > 53$$

Tab. 5.1 - Valori indicativi di k e μ dell'eq. |4| per terreni incoerenti

Tipo di palo		Valori di k	Valori di μ
BATTUTO	Acciaio	0,5 ÷ 1	tg 20°
	Calcestruzzo prefabbricato	1 ÷ 2	tg (3/4 φ')
	Calcestruzzo gettato in opera	1 ÷ 3	tg φ'
TRIVELLATO		0,4 ÷ 0,7 (*)	tg φ'

(*) Decrescente con la profondità.

Valori dei coefficienti k e μ secondo AGI

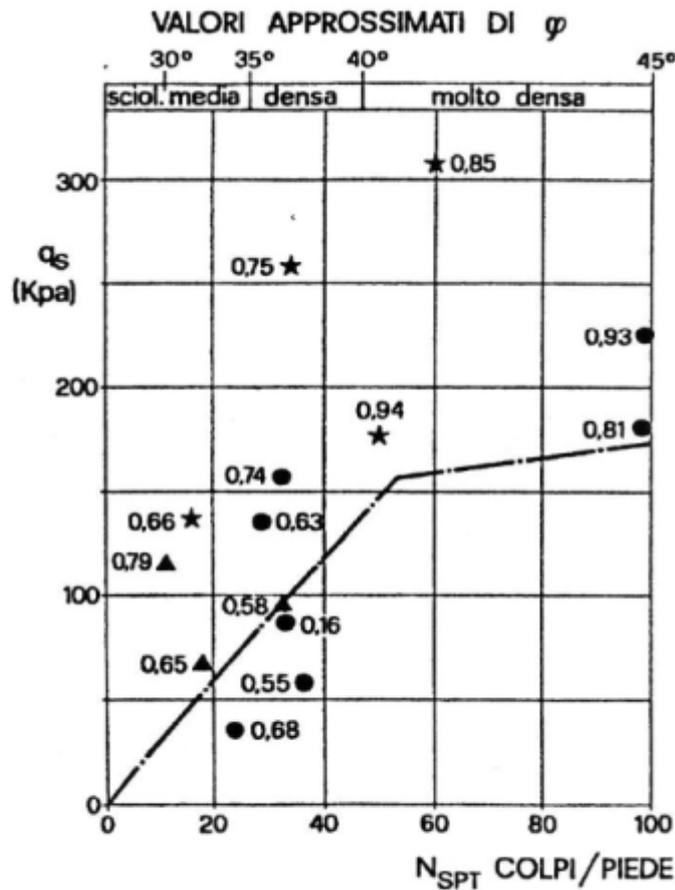


Fig. 7 - RESISTENZA LATERALE PER PALI TRIVELLATI DI GRANDE DIAMETRO (L < 25 m) IN TERRENI SABBIOSI (WRIGHT, 1977)

Valori limite di T_{lim} con indagini SPT secondo AGI

Secondo le norme AGI si raccomanda comunque di limitare cautelativamente la T_{lim} a 150-200 kPa.

7.5.1.3 Portata di base

Per la valutazione della portata di base limite $R_{b,cal}$ si impiegano le seguenti relazioni:

$$R_{b,cal} = A_b \cdot q_{b,lim}$$

A_b area della base del palo
 $q_{b,lim}$ resistenza limite specifica di base

Resistenza da prove SPT

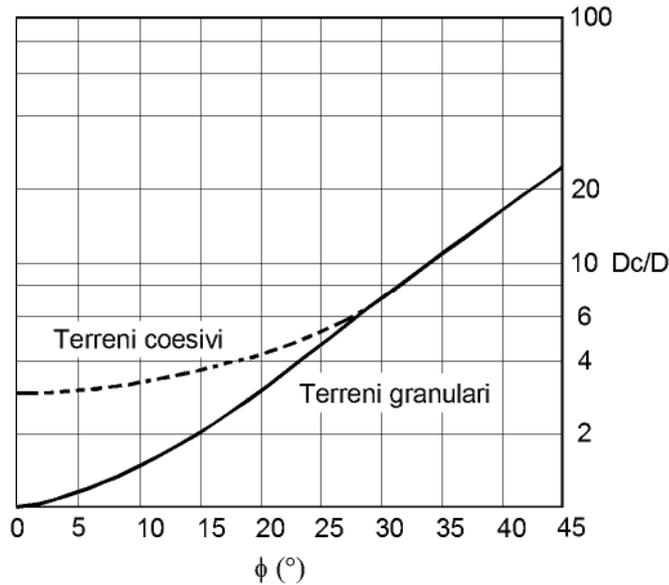
Per i terreni coesivi, la valutazione della capacità limite di base viene calcolata in condizioni non drenate mediante l'equazione:

$$q_{b,lim} = \sigma_{v0} + 9 \cdot c_u$$

c_u resistenza al taglio non drenata (kPa)

σ_{v0} pressione verticale di base

I valori di q_b sono interamente mobilizzati ad una profondità critica z_c (Meyerhof, Sastry [1978]), secondo l'espressione $z_c = m \cdot D$ con D pari al diametro del palo e m variabile tra 4 e 8.



Profondità critica $z_c/D = f(D_r)$ secondo Meyerhof (1976)

Per i terreni granulari, la valutazione della capacità limite di base viene calcolata in condizioni drenate facendo riferimento non più alle condizioni di rottura, bensì riferendosi ad una "portata critica" corrispondente ad una "condizione di servizio limite" basata su considerazioni di cedimenti ammissibili, ed in genere riferita all'insorgere di deformazioni plastiche nei terreni di fondazione.

Nel caso di pali di grande diametro soggetti ad azioni assiali, in accordo con la teoria di Berezantzev, le deformazioni plastiche alla punta (pari a circa 0.1 volte il diametro D del palo, stato limite ultimo di capacità portante) insorgono per pressioni di base pari a:

$$q_{b,lim} = N_q^* \cdot \sigma'_{v0}$$

σ'_{v0} pressione verticale di base

N_q^* coefficiente della pressione di base

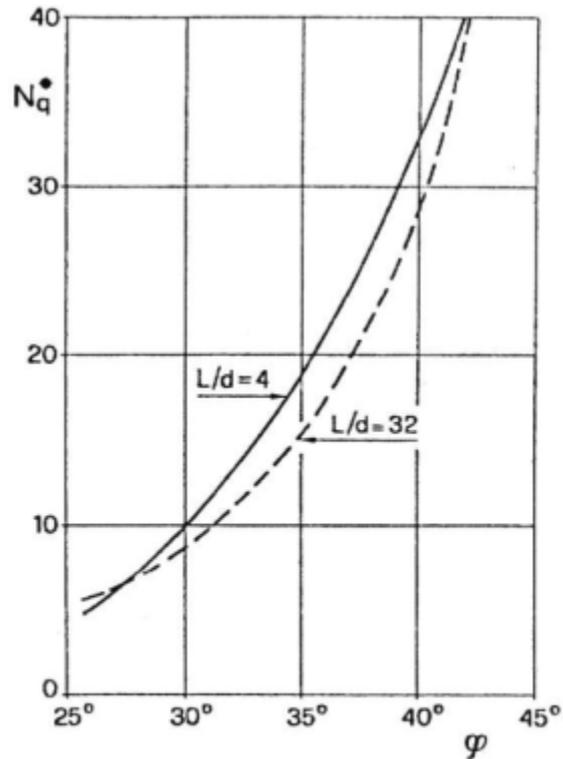


Fig. 5 - COEFFICIENTI N_q^* (BEREZANTZEV, 1965), CORRISPONDENTI ALL'INSORGERE DELLE DEFORMAZIONI PLASTICHE ALLA PUNTA

Valori limite di N_q^* secondo AGI

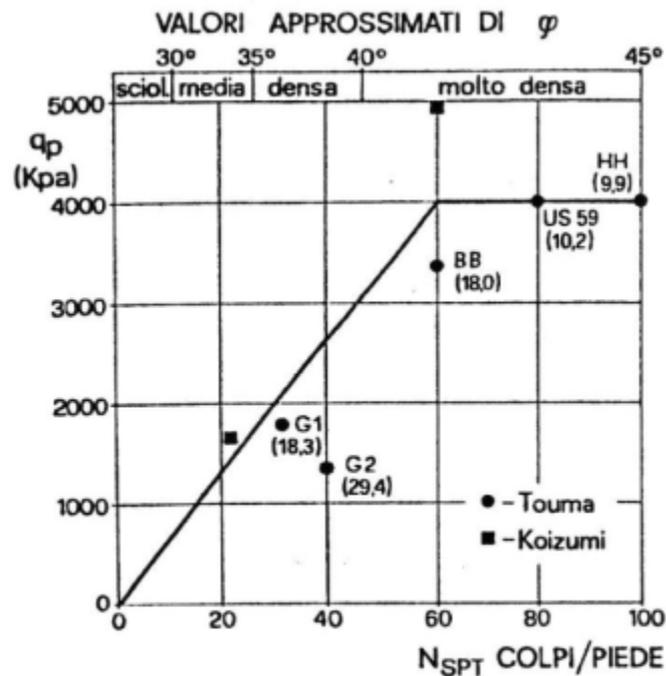


Fig. 6 - RESISTENZA ALLA PUNTA PER PALI TRIVELLATI IN SABBIE (REESE, 1978).

Valori limite di $q_{b,lim}$ con indagini SPT secondo AGI

Disponendo di prove SPT, per pali trivellati la portata critica di base massima secondo Reese-Wright et al. (1978) è data da:

$$q_{b,lim} = 66.7 \cdot N_{SPT} \leq 4000 \text{ kPa}$$

I valori di q_{cr} sono interamente mobilitati ad una "profondità critica" z_c con m variabile fra 4 e 21.

7.5.2 Resistenza di progetto a carichi trasversali

In accordo con il §6.4.3.1.2 delle NTC 2008, le resistenze trasversali di progetto $R_{tr,d}$ sono calcolate in funzione della tipologia di palo e secondo i coefficienti riportati nella tabella seguente.

$$R_{tr,d} = R_{tr,k} / \gamma_R$$

$R_{tr,k}$ valore caratteristico della resistenza trasversale

γ_T coefficienti parziali di sicurezza

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_T = 1,0$	$\gamma_T = 1,6$	$\gamma_T = 1,3$

Coefficienti parziali γ_T da applicare alle resistenze caratteristiche a carichi trasversali

I valori caratteristici delle resistenze $R_{tr,k}$ sono ottenuti applicando i fattori di correlazione ξ_3 e ξ_4 funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative, riportati nella tabella seguente, alle resistenze di calcolo R_{cal} .

$$R_{tr,k} = \text{Min}((R_{tr,cal})_{med} / \xi_3 ; (R_{tr,cal})_{min} / \xi_4)$$

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	> 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Fattori di correlazione ξ in funzione del numero di verticali d'indagine

Oltre ai coefficienti di sicurezza γ_T , con numero di verticali di indagine pari a 2 si considera:

$$\xi_3 = 1.65$$

$$\xi_4 = 1.55$$

7.5.2.1 Calcolo della resistenza trasversale di progetto

Nel caso in cui la resistenza trasversale caratteristica $R_{tr,k}$ sia valutata con metodi di calcolo analitici, bisogna applicare alle resistenze di calcolo i coefficienti riportati nella tabella precedente.

7.5.3 Verifica dei pali di fondazione

VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE				
DATI GEOMETRICI		RESISTENZE DI CALCOLO		
D =	0,80 m	$R_{c,cal,med} = R_{t,cal,med} =$	4361,12 kN	$\xi_3 = 1,65$
L =	30,00 m	$R_{c,cal,min} = R_{t,cal,min} =$	3777,23 kN	$\xi_4 = 1,55$
$A_b =$	0,50 m ²	$R_{b,cal,med} =$	1000,06 kN	
$S_{lat} =$	2,51 m	$R_{b,cal,min} =$	670,54 kN	$R_{c,k} = R_{t,k} =$ 2436,92 kN
$\eta =$	1,00	$W' =$	226,19 kN	$R_{b,k} =$ 432,61 kN
RESISTENZE DI PROGETTO				
- SLU STR [A1+M1+R3]				
	$\gamma_b = 1,35$			
	$\gamma_s = 1,15$	$R_{Rd,c} =$	2213,32 kN >	$E_{Rd,c} =$ 0,00 kN OK VERIFICATO
	$\gamma_t = 1,25$	$R_{Rd,t} =$	2175,73 kN >	$E_{Rd,t} =$ 1842,88 kN OK VERIFICATO
- SLU SISM [A1+M1+R3]				
	$\gamma_b = 1,35$			
	$\gamma_s = 1,15$	$R_{Rd,c} =$	2213,32 kN >	$E_{Rd,c} =$ 0,00 kN OK VERIFICATO
	$\gamma_t = 1,25$	$R_{Rd,t} =$	2175,73 kN >	$E_{Rd,t} =$ 1874,68 kN OK VERIFICATO

7.5.4 Verifica dei diaframmi

VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE				
DATI GEOMETRICI		RESISTENZE DI CALCOLO		
D =	m	$R_{c,cal,med} = R_{t,cal,med} =$	1081,09 kN	$\xi_3 = 1,65$
L =	13,30 m	$R_{c,cal,min} = R_{t,cal,min} =$	987,13 kN	$\xi_4 = 1,55$
$A_b =$	0,80 m ²	$R_{b,cal,med} =$	1465,24 kN	
$S_{lat} =$	2,00 m	$R_{b,cal,min} =$	1067,20 kN	$R_{c,k} = R_{t,k} =$ 636,86 kN
$\eta =$	1,00	$W' =$	156,00 kN	$R_{b,k} =$ 688,52 kN
RESISTENZE DI PROGETTO				
- SLU STR [A1+M1+R3]				
	$\gamma_b = 1,35$			
	$\gamma_s = 1,15$	$R_{Rd,c} =$	907,80 kN >	$E_{Rd,c} =$ 822,58 kN OK VERIFICATO
	$\gamma_t = 1,25$	$R_{Rd,t} =$	665,48 kN >	$E_{Rd,t} =$ 0,00 kN OK VERIFICATO
- SLU SISM [A1+M1+R3]				
	$\gamma_b = 1,35$			
	$\gamma_s = 1,15$	$R_{Rd,c} =$	907,80 kN >	$E_{Rd,c} =$ 363,26 kN OK VERIFICATO
	$\gamma_t = 1,25$	$R_{Rd,t} =$	665,48 kN >	$E_{Rd,t} =$ 0,00 kN OK VERIFICATO

7.5.5 Tabelle di verifica

Terreno	Falda	Quota (m s.l.m.)	z terreno				R _{c,cat,med}								R _{c,cat,min}								W' [kN]	
			z palo (m)	da p.c. (m)	γ' (kN/m ³)	σ' _{v0} (kPa)	φ _{med} (°)	K	T _{lim,med} (kPa)	N _{SPT,med} (n° colpi)	T _{lim,med} (kPa)	R _{c,cat,med} (kN)	φ _{min} (°)	T _{lim,min} (kPa)	N _{SPT,min} (n° colpi)	T _{lim,min} (kPa)	R _{c,cat,min} (kN)	N _{q,med}	q _{b,lim,med} (kPa)	R _{b,cat,med} (kN)	N _{q,min}	q _{b,lim,min} (kPa)		R _{b,cat,min} [kN]
G3	FALDA	-4,80	0,00	4,80	18,50	54,05	31,50	0,70	23,19	15	45,00	23,19	29,00	20,97	12	36,00	20,97	10,0	540,50	475,64	8,0	432,40	345,92	6,00
G3	FALDA		0,50	5,30	18,50	54,05	31,50	0,70	25,01	15	45,00	48,19	29,00	22,62	12	36,00	43,59	10,0	583,00	513,04	8,0	466,40	373,12	12,00
G3	FALDA		1,00	5,80	18,50	58,30	31,50	0,70	26,83	15	45,00	75,03	29,00	24,27	12	36,00	67,86	10,0	625,50	550,44	8,0	500,40	400,32	18,00
G3	FALDA		1,50	6,30	18,50	62,55	31,50	0,70	28,65	15	45,00	103,68	29,00	25,92	12	36,00	93,78	10,0	668,00	587,84	8,0	534,40	427,52	24,00
G3	FALDA		2,00	6,80	18,50	66,80	31,50	0,70	30,48	15	45,00	134,16	29,00	27,57	12	36,00	121,35	10,0	710,50	625,24	8,0	568,40	454,72	30,00
G3	FALDA		2,50	7,30	18,50	71,05	31,50	0,70	32,30	15	45,00	166,46	29,00	29,22	12	36,00	150,57	10,0	753,00	662,64	8,0	602,40	481,92	36,00
G3	FALDA		3,00	7,80	18,50	75,30	31,50	0,70	34,12	15	45,00	200,58	29,00	30,87	12	36,00	181,44	10,0	795,50	700,04	8,0	636,40	509,12	42,00
G3	FALDA		3,50	8,30	18,50	79,55	31,50	0,70	35,95	15	45,00	236,53	29,00	32,52	12	36,00	213,95	10,0	838,00	737,44	8,0	670,40	536,32	48,00
G3	FALDA		4,00	8,80	18,50	83,80	31,50	0,70	37,77	15	45,00	274,30	29,00	34,16	12	36,00	248,12	10,0	880,50	774,84	8,0	704,40	563,52	54,00
G3	FALDA		4,50	9,30	18,50	88,05	31,50	0,70	39,59	15	45,00	313,89	29,00	35,81	12	36,00	283,93	10,0	923,00	812,24	8,0	738,40	590,72	60,00
G3	FALDA		5,00	9,80	18,50	92,30	31,50	0,70	41,42	15	45,00	355,31	29,00	37,46	12	36,00	319,93	10,0	965,50	849,64	8,0	772,40	617,92	66,00
G3	FALDA	-10,30	5,50	10,30	18,50	96,55	31,50	0,70	41,42	15	45,00	355,31	29,00	37,46	12	36,00	319,93	10,0	965,50	849,64	8,0	772,40	617,92	66,00
S2	FALDA		6,00	10,80	19,00	101,05	32,00	0,60	37,89	20	60,00	393,19	30,00	35,00	15	45,00	354,94	11,0	1111,55	970,08	9,0	909,45	727,56	72,00
S2	FALDA		6,50	11,30	19,00	105,55	32,00	0,60	39,27	20	60,00	432,77	30,00	36,56	15	45,00	391,50	11,0	1161,05	1013,28	9,0	949,95	759,96	78,00
S2	FALDA		7,00	11,80	19,00	110,05	32,00	0,60	41,26	20	60,00	474,03	30,00	38,12	15	45,00	429,62	11,0	1210,55	1056,48	9,0	990,45	792,36	84,00
S2	FALDA		7,50	12,30	19,00	114,55	32,00	0,60	42,95	20	60,00	516,97	30,00	39,68	15	45,00	469,30	11,0	1260,05	1099,68	9,0	1000,50	800,40	90,00
S2	FALDA		8,00	12,80	19,00	119,05	32,00	0,60	44,63	20	60,00	561,61	30,00	41,24	15	45,00	510,54	11,0	1309,55	1142,88	9,0	1000,50	800,40	96,00
S2	FALDA		8,50	13,30	19,00	123,55	32,00	0,60	46,32	20	60,00	607,93	30,00	42,80	15	45,00	553,34	11,0	1334,00	1168,04	9,0	1000,50	800,40	102,00
S2	FALDA		9,00	13,80	19,00	128,05	32,00	0,60	48,01	20	60,00	655,94	30,00	44,36	15	45,00	597,70	11,0	1334,00	1169,64	9,0	1000,50	800,40	108,00
S2	FALDA		9,50	14,30	19,00	132,55	32,00	0,60	49,70	20	60,00	705,63	30,00	45,92	15	45,00	642,70	11,0	1334,00	1173,24	9,0	1000,50	800,40	114,00
S2	FALDA		10,00	14,80	19,00	137,05	32,00	0,60	51,38	20	60,00	757,02	30,00	47,48	15	45,00	687,70	11,0	1334,00	1176,84	9,0	1000,50	800,40	120,00
S2	FALDA		10,50	15,30	19,00	141,55	32,00	0,60	53,07	25	75,00	810,09	30,00	49,03	20	60,00	736,73	11,0	1557,05	1358,88	9,0	1273,95	1019,16	126,00
S2	FALDA		11,00	15,80	19,00	146,05	32,00	0,60	54,76	25	75,00	864,85	30,00	50,59	20	60,00	787,33	11,0	1606,55	1402,08	9,0	1314,45	1051,56	132,00
S2	FALDA		11,50	16,30	19,00	150,55	32,00	0,55	51,74	25	75,00	916,59	30,00	47,81	20	60,00	835,13	11,0	1656,05	1445,28	9,0	1334,00	1067,20	138,00
S2	FALDA		12,00	16,80	19,00	155,05	32,00	0,55	53,29	25	75,00	969,87	30,00	49,23	20	60,00	884,37	11,0	1667,50	1458,04	9,0	1334,00	1067,20	144,00
S2	FALDA		12,50	17,30	19,00	159,55	32,00	0,55	54,83	25	75,00	1024,71	30,00	50,66	20	60,00	935,03	11,0	1667,50	1461,64	9,0	1334,00	1067,20	150,00
S2	FALDA		13,00	17,80	19,00	164,05	32,00	0,55	56,38	25	75,00	1081,09	30,00	52,09	20	60,00	987,13	11,0	1667,50	1465,24	9,0	1334,00	1067,20	156,00
S2	FALDA		13,50	18,30	19,00	168,55	32,00	0,55	57,93	25	75,00	1139,01	30,00	53,52	20	60,00	1040,65	11,0	1667,50	1468,84	9,0	1334,00	1067,20	162,00
S2	FALDA		14,00	18,80	19,00	173,05	32,00	0,55	59,47	25	75,00	1198,49	30,00	54,95	20	60,00	1095,60	11,0	1667,50	1472,44	9,0	1334,00	1067,20	168,00
S2	FALDA		14,50	19,30	19,00	177,55	32,00	0,55	61,02	25	75,00	1259,51	30,00	56,38	20	60,00	1151,98	11,0	1667,50	1476,04	9,0	1334,00	1067,20	174,00
S2	FALDA		15,00	19,80	19,00	182,05	32,00	0,55	62,57	25	75,00	1322,07	30,00	57,81	20	60,00	1209,79	11,0	1667,50	1479,64	9,0	1334,00	1067,20	180,00
S2	FALDA		15,50	20,30	19,00	186,55	32,00	0,55	64,11	25	75,00	1386,19	30,00	59,24	20	60,00	1269,02	11,0	1667,50	1483,24	9,0	1334,00	1067,20	186,00
S2	FALDA		16,00	20,80	19,00	191,05	32,00	0,55	65,66	25	75,00	1451,85	30,00	60,67	20	60,00	1329,02	11,0	1667,50	1486,84	9,0	1334,00	1067,20	192,00
S2	FALDA		16,50	21,30	19,00	195,55	32,00	0,55	67,21	25	75,00	1519,05	30,00	62,10	20	60,00	1389,02	11,0	1667,50	1490,44	9,0	1334,00	1067,20	198,00
S2	FALDA		17,00	21,80	19,00	200,05	32,00	0,50	62,50	25	75,00	1581,56	30,00	57,75	20	60,00	1446,77	11,0	1667,50	1494,04	9,0	1334,00	1067,20	204,00
S2	FALDA		17,50	22,30	19,00	204,55	32,00	0,50	63,91	25	75,00	1645,46	30,00	59,05	20	60,00	1505,82	11,0	1667,50	1497,64	9,0	1334,00	1067,20	210,00
S2	FALDA		18,00	22,80	19,00	209,05	32,00	0,50	65,31	25	75,00	1710,78	30,00	60,35	20	60,00	1565,82	11,0	1667,50	1501,24	9,0	1334,00	1067,20	216,00
S2	FALDA		18,50	23,30	19,00	213,55	32,00	0,50	66,72	25	75,00	1777,50	30,00	61,65	20	60,00	1625,82	11,0	1667,50	1504,84	9,0	1334,00	1067,20	222,00
S2	FALDA		19,00	23,80	19,00	218,05	32,00	0,50	68,13	25	75,00	1845,63	30,00	62,95	20	60,00	1685,82	11,0	1667,50	1508,44	9,0	1334,00	1067,20	228,00
S2	FALDA		19,50	24,30	19,00	222,55	32,00	0,50	69,53	25	75,00	1915,16	30,00	64,24	20	60,00	1745,82	11,0	1667,50	1512,04	9,0	1334,00	1067,20	234,00
S2	FALDA		20,00	24,80	19,00	227,05	32,00	0,50	70,94	25	75,00	1986,10	30,00	65,54	20	60,00	1805,82	11,0	1667,50	1515,64	9,0	1334,00	1067,20	240,00
S2	FALDA		20,50	25,30	19,00	231,55	32,00	0,50	72,34	25	75,00	2058,44	30,00	66,84	20	60,00	1865,82	11,0	1667,50	1519,24	9,0	1334,00	1067,20	246,00
S2	FALDA		21,00	25,80	19,00	236,05	32,00	0,50	73,75	25	75,00	2132,19	30,00	68,14	20	60,00	1925,82	11,0	1667,50	1522,84	9,0	1334,00	1067,20	252,00
S2	FALDA		21,50	26,30	19,00	240,55	32,00	0,50	75,16	25	75,00	2207,19	30,00	69,44	20	60,00	1985,82	11,0	1667,50	1526,44	9,0	1334,00	1067,20	258,00

Terreno	Falda	Quota (m s.l.m.)	z terreno			γ' (kN/m ³)	σ'_{v0} (kPa)	ϕ_{med} (°)	K	$T_{lim,med}$ (kPa)	$N_{SP,T,med}$ (n° colpi)	$R_{l,cal,med}$		ϕ_{min} (°)	$T_{lim,min}$ (kPa)	$N_{SP,T,min}$ (n° colpi)	$R_{l,cal,min}$		$N'_{q,med}$	$q_{b,med}$ (kPa)	$R_{b,cal,med}$ (kN)	$N'_{q,min}$	$q_{b,min}$ (kPa)	$R_{b,cal,min}$ (kN)	W' (kN)
			z palo (m)	da p.c. (m)	σ'_{v0} (kPa)							$R_{c,cal,med}$ (kN)	$R_{c,cal,min}$ (kN)				$R_{c,cal,min}$ (kN)	$R_{b,cal,min}$ (kN)							
G3	FALDA	-4,80	0,00	4,80	49,80							0,00					0,00		0,00		0,00			0,00	0,00
G3	FALDA		0,50	5,30	18,50	54,05	31,50	0,70	23,19	15	45,00	29,14	29,00	20,97	12	36,00	26,35	10,0	540,50	298,85	8,0	432,40	217,35	3,77	
G3	FALDA		1,00	5,80	18,50	58,30	31,50	0,70	25,01	15	45,00	60,56	29,00	22,62	12	36,00	54,78	10,0	583,00	322,35	8,0	466,40	234,44	7,54	
G3	FALDA		1,50	6,30	18,50	62,55	31,50	0,70	26,83	15	45,00	94,28	29,00	24,27	12	36,00	85,28	10,0	625,50	345,85	8,0	500,40	251,53	11,31	
G3	FALDA		2,00	6,80	18,50	66,80	31,50	0,70	28,65	15	45,00	130,29	29,00	25,92	12	36,00	117,85	10,0	668,00	369,35	8,0	534,40	268,62	15,08	
G3	FALDA		2,50	7,30	18,50	71,05	31,50	0,70	30,48	15	45,00	168,59	29,00	27,57	12	36,00	152,50	10,0	710,50	392,85	8,0	568,40	285,71	18,85	
G3	FALDA		3,00	7,80	18,50	75,30	31,50	0,70	32,30	15	45,00	209,18	29,00	29,22	12	36,00	189,21	10,0	753,00	416,35	8,0	602,40	302,80	22,62	
G3	FALDA		3,50	8,30	18,50	79,55	31,50	0,70	34,12	15	45,00	252,06	29,00	30,87	12	36,00	228,00	10,0	795,50	439,85	8,0	636,40	319,89	26,39	
G3	FALDA		4,00	8,80	18,50	83,80	31,50	0,70	35,95	15	45,00	297,23	29,00	32,52	12	36,00	268,86	10,0	838,00	463,35	8,0	670,40	336,98	30,16	
G3	FALDA		4,50	9,30	18,50	88,05	31,50	0,70	37,77	15	45,00	344,69	29,00	34,16	12	36,00	311,79	10,0	880,50	486,85	8,0	704,40	354,07	33,93	
G3	FALDA		5,00	9,80	18,50	92,30	31,50	0,70	39,59	15	45,00	394,45	29,00	35,81	12	36,00	356,80	10,0	923,00	510,35	8,0	738,40	371,16	37,70	
G3	FALDA	-10,30	5,50	10,30	18,50	96,55	31,50	0,70	41,42	15	45,00	446,49	29,00	37,46	12	36,00	402,04	10,0	965,50	533,84	8,0	772,40	388,25	41,47	
S2	FALDA		6,00	10,80	19,00	101,05	32,00	0,60	37,89	20	60,00	494,10	30,00	35,00	15	45,00	446,03	11,0	1111,55	609,52	9,0	909,45	457,14	45,24	
S2	FALDA		6,50	11,30	19,00	105,55	32,00	0,60	39,57	20	60,00	543,83	30,00	36,56	15	45,00	491,97	11,0	1161,05	636,66	9,0	949,95	477,50	49,01	
S2	FALDA		7,00	11,80	19,00	110,05	32,00	0,60	41,26	20	60,00	595,68	30,00	38,12	15	45,00	539,88	11,0	1210,55	663,81	9,0	990,45	497,85	52,78	
S2	FALDA		7,50	12,30	19,00	114,55	32,00	0,60	42,95	20	60,00	649,65	30,00	39,68	15	45,00	589,74	11,0	1260,05	690,95	9,0	1000,50	502,91	56,55	
S2	FALDA		8,00	12,80	19,00	119,05	32,00	0,60	44,63	20	60,00	705,74	30,00	41,24	15	45,00	641,57	11,0	1309,55	718,09	9,0	1000,50	502,91	60,32	
S2	FALDA		8,50	13,30	19,00	123,55	32,00	0,60	46,32	20	60,00	763,95	30,00	42,80	15	45,00	695,35	11,0	1334,00	732,64	9,0	1000,50	502,91	64,09	
S2	FALDA		9,00	13,80	19,00	128,05	32,00	0,60	48,01	20	60,00	824,28	30,00	44,36	15	45,00	751,09	11,0	1334,00	734,91	9,0	1000,50	502,91	67,86	
S2	FALDA		9,50	14,30	19,00	132,55	32,00	0,60	49,70	20	60,00	886,73	30,00	45,92	15	45,00	807,64	11,0	1334,00	737,17	9,0	1000,50	502,91	71,63	
S2	FALDA		10,00	14,80	19,00	137,05	32,00	0,60	51,38	20	60,00	951,30	30,00	47,48	15	45,00	864,19	11,0	1334,00	739,43	9,0	1000,50	502,91	75,40	
S2	FALDA		10,50	15,30	19,00	141,55	32,00	0,60	53,07	25	75,00	1017,99	30,00	49,03	20	60,00	925,81	11,0	1557,05	853,81	9,0	1273,95	640,36	79,17	
S2	FALDA		11,00	15,80	19,00	146,05	32,00	0,60	54,76	25	75,00	1086,80	30,00	50,59	20	60,00	989,38	11,0	1606,55	880,95	9,0	1314,45	660,71	82,94	
S2	FALDA		11,50	16,30	19,00	150,55	32,00	0,55	51,74	25	75,00	1151,82	30,00	47,81	20	60,00	1049,46	11,0	1656,05	908,10	9,0	1334,00	670,54	86,71	
S2	FALDA		12,00	16,80	19,00	155,05	32,00	0,55	53,29	25	75,00	1218,78	30,00	49,23	20	60,00	1111,33	11,0	1667,50	916,11	9,0	1334,00	670,54	90,48	
S2	FALDA		12,50	17,30	19,00	159,55	32,00	0,55	54,83	25	75,00	1287,68	30,00	50,66	20	60,00	1175,00	11,0	1667,50	918,38	9,0	1334,00	670,54	94,25	
S2	FALDA		13,00	17,80	19,00	164,05	32,00	0,55	56,38	25	75,00	1358,53	30,00	52,09	20	60,00	1240,46	11,0	1667,50	920,64	9,0	1334,00	670,54	98,02	
S2	FALDA		13,50	18,30	19,00	168,55	32,00	0,55	57,93	25	75,00	1431,33	30,00	53,52	20	60,00	1307,72	11,0	1667,50	922,90	9,0	1334,00	670,54	101,79	
S2	FALDA		14,00	18,80	19,00	173,05	32,00	0,55	59,47	25	75,00	1506,06	30,00	54,95	20	60,00	1376,77	11,0	1667,50	925,16	9,0	1334,00	670,54	105,56	
S2	FALDA		14,50	19,30	19,00	177,55	32,00	0,55	61,02	25	75,00	1582,74	30,00	56,38	20	60,00	1447,62	11,0	1667,50	927,42	9,0	1334,00	670,54	109,33	
S2	FALDA		15,00	19,80	19,00	182,05	32,00	0,55	62,57	25	75,00	1661,37	30,00	57,81	20	60,00	1520,26	11,0	1667,50	929,69	9,0	1334,00	670,54	113,10	
S2	FALDA		15,50	20,30	19,00	186,55	32,00	0,55	64,11	25	75,00	1741,93	30,00	59,24	20	60,00	1594,70	11,0	1667,50	931,95	9,0	1334,00	670,54	116,87	
S2	FALDA		16,00	20,80	19,00	191,05	32,00	0,55	65,66	25	75,00	1824,45	30,00	60,67	20	60,00	1670,10	11,0	1667,50	934,21	9,0	1334,00	670,54	120,64	
S2	FALDA		16,50	21,30	19,00	195,55	32,00	0,55	67,21	25	75,00	1908,90	30,00	62,10	20	60,00	1745,50	11,0	1667,50	936,47	9,0	1334,00	670,54	124,41	
S2	FALDA		17,00	21,80	19,00	200,05	32,00	0,50	62,50	25	75,00	1987,44	30,00	57,75	20	60,00	1818,07	11,0	1667,50	938,73	9,0	1334,00	670,54	128,18	
S2	FALDA		17,50	22,30	19,00	204,55	32,00	0,50	63,91	25	75,00	2067,75	30,00	59,05	20	60,00	1892,27	11,0	1667,50	940,99	9,0	1334,00	670,54	131,95	
S2	FALDA		18,00	22,80	19,00	209,05	32,00	0,50	65,31	25	75,00	2149,83	30,00	60,35	20	60,00	1967,67	11,0	1667,50	943,26	9,0	1334,00	670,54	135,72	
S2	FALDA		18,50	23,30	19,00	213,55	32,00	0,50	66,72	25	75,00	2233,67	30,00	61,65	20	60,00	2043,07	11,0	1667,50	945,52	9,0	1334,00	670,54	139,49	
S2	FALDA		19,00	23,80	19,00	218,05	32,00	0,50	68,13	25	75,00	2319,28	30,00	62,95	20	60,00	2118,47	11,0	1667,50	947,78	9,0	1334,00	670,54	143,26	
S2	FALDA		19,50	24,30	19,00	222,55	32,00	0,50	69,53	25	75,00	2406,66	30,00	64,24	20	60,00	2193,86	11,0	1667,50	950,04	9,0	1334,00	670,54	147,03	
S2	FALDA		20,00	24,80	19,00	227,05	32,00	0,50	70,94	25	75,00	2495,80	30,00	65,54	20	60,00	2269,26	11,0	1667,50	952,30	9,0	1334,00	670,54	150,80	
S2	FALDA		20,50	25,30	19,00	231,55	32,00	0,50	72,34	25	75,00	2586,71	30,00	66,84	20	60,00	2344,66	11,0	1667,50	954,57	9,0	1334,00	670,54	154,57	
S2	FALDA		21,00	25,80	19,00	236,05	32,00	0,50	73,75	25	75,00	2679,39	30,00	68,14	20	60,00	2420,06	11,0	1667,50	956,83	9,0	1334,00	670,54	158,34	
S2	FALDA		21,50	26,30	19,00	240,55	32,00	0,50	75,16	25	75,00	2773,64	30,00	69,44	20	60,00	2495,46	11,0	1667,50	959,09	9,0	1334,00	670,54	162,11	
S2	FALDA		22,00	26,80	19,00	245,05	32,00	0,50	76,56	25	75,00	2867,89	30,00	70,74	20	60,00	2570,86	11,0	1667,50	961,35	9,0	1334,00	670,54	165,88	
S2	FALDA		22,50	27,30	19,00	249,55	32,00	0,45	70,17	25	75,00	2956,07	30,00	64,83	20	60,00	2646,25	11,0	1667,50	963,61	9,0	1334,00	670,54	169,65	
S2	FALDA		23,00	27,80	19,00	254,05	32,00	0,45	71,44	25	75,00	3045,84	30,00	66,00	20	60,00	2721,65	11,0	1667,50	965,88	9,0	1334,00	670,54	173,42	
S2	FALDA		23,50	28,30	19,00	258,55	32,00	0,45	72,70	25	75,00	3137,20	30,00	67,17	20	60,00	2797,05	11,0	1667,50	968,14	9,0	1334,00	670,54	177,19	
S2	FALDA		24,00	28,80	19,00	263,05	32,00	0,45	73,97	25	75,00	3230,15	30,00	68,34	20	60,00	2872,45	11,0	1667,50	970,40	9,0	1334,00</			

7.6 Verifiche idrauliche

7.6.1 Verifica al sollevamento

Alla luce delle NTC 2008 occorre verificare che il terreno posto a fondo scavo sia stabile nei confronti del sollevamento per la sottospinta della falda.

La verifica risulta superata se il valore di progetto dell'azione instabilizzante sia superiore alle azioni stabilizzanti e alle resistenze:

$$V_{inst,d} \leq G_{stb,d} + R_d$$

$$V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d}$$

$G_{inst,d}$

$Q_{inst,d}$

$G_{stb,d}$

R_d

azione instabilizzante di progetto
 azioni permanenti instabilizzanti di progetto
 azioni variabili instabilizzanti di progetto
 azioni stabilizzanti di progetto
 resistenze di progetto

Per le verifiche di stabilità al sollevamento si adottano i coefficienti parziali sulle azioni indicati nella tabella seguente, combinati in modo opportuno con quelli relativi ai parametri geotecnici (M2).

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	SOLLEVAMENTO (UPL)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0
	Sfavorevole		1,5
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

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

Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento

Con riferimento allo schema seguente, nel caso in oggetto si ha:

$$FS = G_{stb,d} / V_{inst,d} \geq 1$$

Fattore sicurezza al sollevamento

$$V_{inst,d} = G_{inst,d} + Q_{inst,d} = 1.1 \cdot H_w \cdot \gamma_w$$

$$G_{stb,d} = 0.9 \cdot H_T \cdot \gamma_T + 0.9 \cdot H_{JG} \cdot \gamma_{JG}$$

H_T

H_{JG}

H_w

γ_T

γ_{JG}

$R_d = 0$ (si trascura l'attrito tra le pareti)

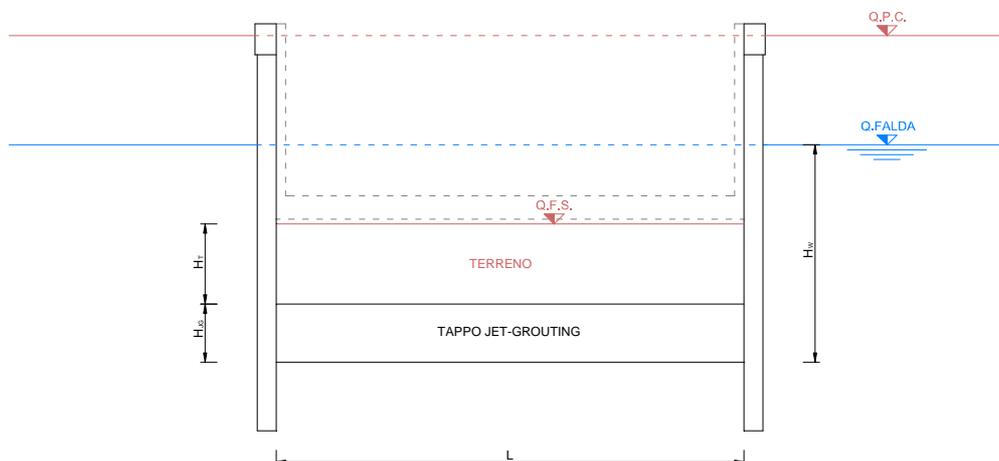
Spessore del terreno imbarcato

Spessore del tappo jet-grouting

Altezza sottospinta idraulica

Peso specifico terreno saturo

Peso specifico tappo jet-grouting



Schema di calcolo per la verifica a galleggiamento in fase provvisoria

VERIFICA A GALLEGGIAMENTO (NTC2008)							
Concio	Sezione	γ_T (kN/m ³)	γ_{JG} (kN/m ³)	γ_w (kN/m ³)	$G_{stb,d}$ (kN)	$V_{inst,d}$ (kN)	FS > 1
		18,50	22,00	10,00			
		H_T (m)	H_{JG} (m)	H_w (m)			
8	430	1,00	2,50	5,50	66,15	60,50	1,093 OK VERIFICATO
	431	1,00	2,50	5,70	66,15	62,70	1,055 OK VERIFICATO
	432	1,00	2,50	5,70	66,15	62,70	1,055 OK VERIFICATO
9	433	1,00	2,50	5,60	66,15	61,60	1,074 OK VERIFICATO
	434	1,00	2,50	5,70	66,15	62,70	1,055 OK VERIFICATO
10	435	1,50	2,50	6,30	74,48	69,30	1,075 OK VERIFICATO
	436	1,50	2,50	6,30	74,48	69,30	1,075 OK VERIFICATO
11	437	1,50	2,50	6,60	74,48	72,60	1,026 OK VERIFICATO
	438	1,50	2,50	6,40	74,48	70,40	1,058 OK VERIFICATO
12	439	1,50	2,50	6,40	74,48	70,40	1,058 OK VERIFICATO
	440	1,50	2,50	6,60	74,48	72,60	1,026 OK VERIFICATO
	441	1,50	2,50	6,50	74,48	71,50	1,042 OK VERIFICATO

8 ANALISI GALLERIA CONCIO 3

8.1 Schema di calcolo



Geometria di calcolo

Geometria scatolare

Descrizione:	Scatolare semplice	
Altezza esterna	9,20	[m]
Larghezza esterna	15,60	[m]
Lunghezza mensola di fondazione sinistra	0,80	[m]
Lunghezza mensola di fondazione destra	0,80	[m]
Spessore piedritto sinistro	1,00	[m]
Spessore piedritto destro	1,00	[m]
Spessore fondazione	1,20	[m]
Spessore traverso	1,00	[m]

Caratteristiche strati terreno

Strato di ricoprimento

Descrizione	Terreno di ricoprimento	
Spessore dello strato	0,70	[m]
Peso di volume	20,0000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20,0000	[kN/mc]
Angolo di attrito	35,00	[°]
Coesione	0,000	[MPa]

Strato di rinfianco

Descrizione	Terreno di rinfianco	
Peso di volume	20,0000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20,0000	[kN/mc]
Angolo di attrito	35,00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	0,00	[°]
Coesione	0,000	[MPa]
Costante di Winkler	0,054	[MPa/cm]

Strato di base

Descrizione	Terreno di base	
Peso di volume	18,5000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	18,5000	[kN/mc]
Angolo di attrito	31,50	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	31,50	[°]

Coesione	0,000	[MPa]
Costante di Winkler	0,108	[MPa/cm]
Tensione limite	0,200	[MPa]

Falda

Quota falda (rispetto al piano di posa)	4,40	[m]
---	------	-----

8.2 Risultati delle analisi

8.2.1 Condizioni di carico

Convenzioni adottate

Origine in corrispondenza dello spigolo inferiore sinistro della struttura
 Carichi verticali positivi se diretti verso il basso
 Carichi orizzontali positivi se diretti verso destra
 Coppie concentrate positive se antiorarie
 Ascisse X (espresse in m) positive verso destra
 Ordinate Y (espresse in m) positive verso l'alto
 Carichi concentrati espressi in kN
 Coppie concentrate espressi in kNm
 Carichi distribuiti espressi in kN/m

Simbologia adottata e unità di misura

Forze concentrate

X ascissa del punto di applicazione dei carichi verticali concentrati
 Y ordinata del punto di applicazione dei carichi orizzontali concentrati
 F_y componente Y del carico concentrato
 F_x componente X del carico concentrato
 M momento

Forze distribuite

X_i, X_f ascisse del punto iniziale e finale per carichi distribuiti verticali
 Y_i, Y_f ordinate del punto iniziale e finale per carichi distribuiti orizzontali
 V_{ni} componente normale del carico distribuito nel punto iniziale
 V_{nf} componente normale del carico distribuito nel punto finale
 V_{ti} componente tangenziale del carico distribuito nel punto iniziale
 V_{tf} componente tangenziale del carico distribuito nel punto finale
 D_{te} variazione termica lembo esterno espressa in gradi centigradi
 D_{ti} variazione termica lembo interno espressa in gradi centigradi

Condizione di carico n°1 (Peso Proprio)

Condizione di carico n°2 (Spinta terreno sinistra)

Condizione di carico n°3 (Spinta terreno destra)

Condizione di carico n°4 (Sisma da sinistra)

Condizione di carico n°5 (Sisma da destra)

Condizione di carico n°6 (Spinta falda)

Condizione di carico n° 7 (Traffico 2)

Distr	Terreno	$X_i = -9,20$	$X_f = 26,40$	$V_{ni} = 9,00$	$V_{nf} = 9,00$
Distr	Terreno	$X_i = 0,80$	$X_f = 2,40$	$V_{ni} = 156,25$	$V_{nf} = 156,25$

Condizione di carico n° 8 (Traffico 3)

Distr	Terreno	$X_i = -9,20$	$X_f = 26,40$	$V_{ni} = 9,00$	$V_{nf} = 9,00$
Distr	Terreno	$X_i = 7,80$	$X_f = 9,40$	$V_{ni} = 156,25$	$V_{nf} = 156,25$

Condizione di carico n° 9 (Traffico 4)

Distr	Terreno	$X_i = -9,20$	$X_f = 26,40$	$V_{ni} = 9,00$	$V_{nf} = 9,00$
Distr	Terreno	$X_i = -0,80$	$X_f = 0,80$	$V_{ni} = 156,25$	$V_{nf} = 156,25$

Condizione di carico n° 10 (Traffico 5)

Distr	Fondaz.	$X_i = 1,80$	$X_f = 15,40$	$V_{ni} = 20,00$	$V_{nf} = 20,00$	$V_{ti} = 0,00$ $V_{tf} = 0,00$
-------	---------	--------------	---------------	------------------	------------------	---------------------------------

Condizione di carico n° 11 (Riempimento interno)

Distr	Fondaz.	$X_i = 1,80$	$X_f = 15,40$	$V_{ni} = 24,00$	$V_{nf} = 24,00$	$V_{ti} = 0,00$ $V_{tf} = 0,00$
-------	---------	--------------	---------------	------------------	------------------	---------------------------------

Condizione di carico n° 12 (Frenatura)

Conc	Pied_S	$Y = 9,10$	$F_y = 0,00$	$F_x = 62,02$	$M = 0,00$
Conc	Pied_D	$Y = 9,10$	$F_y = 0,00$	$F_x = 62,02$	$M = 0,00$

8.2.2 Combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione
 ψ Coefficiente di combinazione della condizione
 C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Traffico 2	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Traffico 5	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Riempimento interno	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Traffico 3	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Traffico 5	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Riempimento interno	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 3 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Traffico 4	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Traffico 5	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Riempimento interno	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 4 SLU (Caso A1-M1)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30
Traffico 2	Sfavorevole	1.35	0.75	1.01
Frenatura	Sfavorevole	1.35	1.00	1.35
Riempimento interno	Sfavorevole	1.50	1.00	1.50
Spinta falda	Sfavorevole	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 5 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. positivo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 SLU (Caso A1-M1) - Sisma Vert. negativo

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Sisma da sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 2	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 5	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 2	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 SLE (Quasi Permanente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 3	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 5	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 3	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 4	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 5	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 4	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 SLE (Rara)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Traffico 2	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
Frenatura	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 SLE (Frequente)

	Effetto	γ	Ψ	C
Peso Proprio	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno sinistra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno destra	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Frenatura	Sfavorevole	1.00	0.75	0.75
Riempimento interno	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00
Spinta falda	Sfavorevole	1.00	1.00	1.00

8.2.3 Sollecitazioni nodali

Inviluppo sollecitazioni fondazione

X [m]	M_{min} [kNm]	M_{max} [kNm]	V_{min} [kN]	V_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
0,00	0,00	0,00	4,10	9,91	-17,35	-0,23
4,26	136,63	444,98	-425,76	-240,00	368,63	628,09
8,60	745,49	1262,20	-21,88	28,03	368,63	628,09
12,94	227,94	528,32	229,29	411,60	368,63	628,09

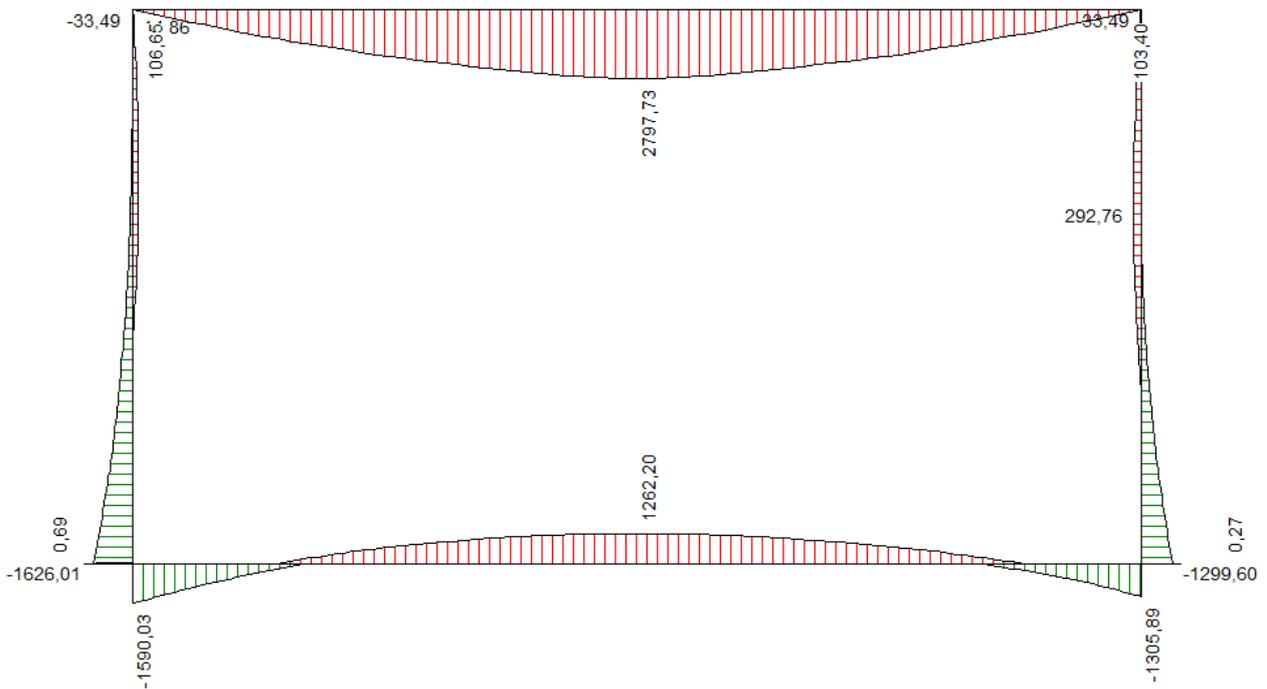
17,20 0,00 0,00 -8,74 -4,46 -0,42 16,48

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,60	-1626,01	-829,39	368,74	645,43	484,05	920,02
4,65	-252,14	109,49	71,85	158,03	383,63	788,39
8,70	-33,49	0,00	-152,80	-15,14	283,21	656,77

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

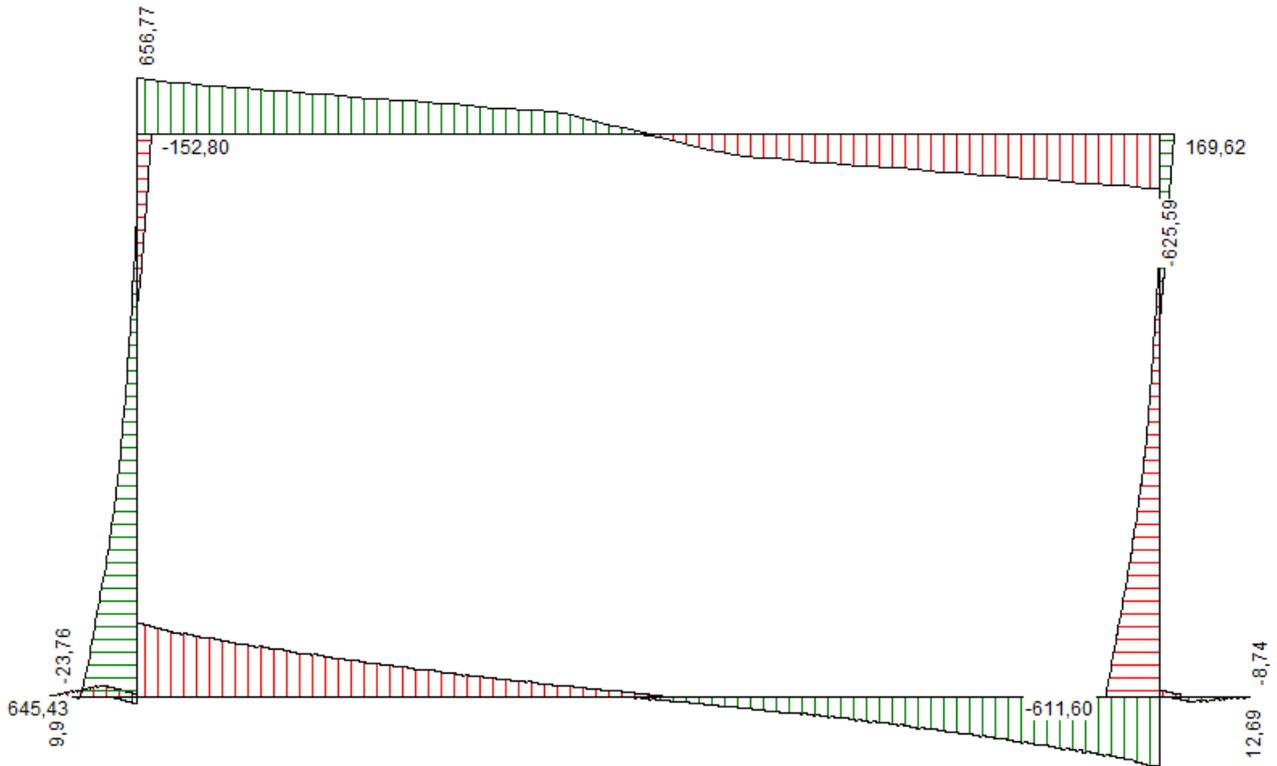
Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,60	-1299,60	-691,41	-611,60	-368,91	484,05	888,84
4,65	-78,62	239,13	-120,49	-62,35	383,63	757,21
8,70	0,00	33,49	34,98	169,62	283,21	625,59



Sollecitazioni scatolare – ENV SLU – Momento flettente (kNm)



Sollecitazioni scatolare – ENV SLU – Azione assiale (kN)



Sollecitazioni scatolare – ENV SLU - Taglio (kN)

8.2.4 Spostamenti nodali

Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	u _{xmin} [cm]	u _{xmax} [cm]	u _{ymin} [cm]	u _{ymax} [cm]
0,00	0,0065	0,4947	0,8534	2,0639
4,26	0,0036	0,4898	0,6955	1,5519
8,60	-0,0016	0,4825	0,5696	1,2044
12,94	-0,0077	0,4751	0,7108	1,4438
17,11	-0,0120	0,4701	0,9300	1,8209

Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	u _{xmin} [cm]	u _{xmax} [cm]	u _{ymin} [cm]	u _{ymax} [cm]
0,60	0,0065	0,4948	0,8212	1,9269
4,65	-0,0484	0,4401	0,8269	1,9381
8,70	-0,0531	0,5985	0,8312	1,9475

Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	u _{xmin} [cm]	u _{xmax} [cm]	u _{ymin} [cm]	u _{ymax} [cm]
0,60	-0,0120	0,4701	0,8747	1,7248
4,65	0,0210	0,4281	0,8804	1,7355
8,70	-0,0562	0,5937	0,8848	1,7446

8.3 Verifiche strutturali

8.3.1 Verifiche pressoflessione e taglio SLU

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 120,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,00	45,24	45,24	55,95
4,26	45,24	45,24	3,40
8,60	22,62	45,24	1,91
12,94	45,24	45,24	3,25
17,20	22,62	45,24	167,00

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)										
DATI SEZIONE										
b _w (m)	d (m)	N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	θ (°)	1 < cotg θ (°) < 2,5	f _{ck} (MPa)	f _{cd} (MPa)			
1,00	1,14	0,00	846,59	30,00		1,73	24,90	14,11	B450C	
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI										
A _{sl} (cm ²)	k	ρ _l (%)	v _{min} (MPa)	σ _{cp} (MPa)	α _c	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)			
67,82	1,419	0,59%	0,295	0,00	1,000	446,91	>	846,59	OCCORRE ARMAT. TRASV.	
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI										
s (m)	f _{ywd} (MPa)	n _b	φ (mm)	A _{sw} (cm ²)	α (°)	V _{Rsd} (kN)	50% V _{Ed} (kN)			
Staffe	0,20	391,30	3,00	12	3,39	90	1179,69	>	423,30 OK	
Ferri piegati	-	313,04	0	12	0,00	45	0,00			
						V _{Rsd} (kN)	1179,69	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)	
						V _{Rcd} (kN)	3134,33	1179,69	>	846,59 VERIFICA OK

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 100,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,60	15,71	67,86	1,69
4,65	15,71	45,24	7,15
8,70	15,71	45,24	20,02

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 100,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,60	15,71	67,86	2,22
4,65	15,71	45,24	8,12
8,70	15,71	45,24	15,26

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)										
DATI SEZIONE										
b _w (m)	d (m)	N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	θ (°)	1 < cotg θ (°) < 2,5	f _{ck} (MPa)	f _{cd} (MPa)			
1,00	0,94	0,00	645,43	30,00		1,73	24,90	14,11	B450C	
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI										
A _{sl} (cm ²)	k	ρ _l (%)	v _{min} (MPa)	σ _{cp} (MPa)	α _c	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)			
67,82	1,461	0,72%	0,309	0,00	1,000	404,73	>	645,43	OCCORRE ARMAT. TRASV.	
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI										
s (m)	f _{ywd} (MPa)	n _b	φ (mm)	A _{sw} (cm ²)	α (°)	V _{Rsd} (kN)	50% V _{Ed} (kN)			
Staffe	0,20	391,30	3,00	12	3,39	90	972,72	>	322,72 OK	
Ferri piegati	-	313,04	0	12	0,00	45	0,00			
						V _{Rsd} (kN)	972,72	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)	
						V _{Rcd} (kN)	2584,45	972,72	>	645,43 VERIFICA OK

8.3.2 Verifiche pressoflessione SLE

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 120,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	σ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
0,00	45,24	45,24	0,001	1,305	1,522
4,26	45,24	45,24	1,841	24,884	35,073
8,60	22,62	45,24	5,407	70,261	168,216
12,94	45,24	45,24	2,120	28,465	44,950
17,20	22,62	45,24	0,011	0,158	0,122

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 100,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	σ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
0,60	15,71	67,86	8,500	111,391	178,450
4,65	15,71	45,24	1,661	23,051	10,423
8,70	15,71	45,24	0,575	8,380	6,252

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 100,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	σ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
0,60	15,71	67,86	7,053	93,012	136,975
4,65	15,71	45,24	1,417	16,489	19,264
8,70	15,71	45,24	0,478	7,113	5,961

8.4 Verifica geotecnica fondazione

Per il dimensionamento delle fondazioni superficiali si eseguono sia verifiche agli stati limite ultimi (SLU) sia agli stati limite di esercizio (SLE). In particolare nelle verifiche allo stato limite ultimo statiche e sismiche (SLU) verrà analizzata la capacità portante della fondazione diretta, accertando che sia sempre rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

E_d valore di progetto dell'azione

R_d valore di progetto della resistenza.

Il valore di progetto della resistenza R_d viene valutato dai parametri caratteristici del terreno, diviso il valore del coefficiente parziale γ_M e tenendo conto del coefficiente parziali γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema geotecnico.

Le verifiche sono effettuate tenendo conto dei coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici, considerando uno dei due approcci (A1+M1+R1) e (A2+M2+R2) per lo stato limite ultimo in condizioni statiche (SLU) e (A2+M1+R3) per lo stato limite ultimo in condizioni sismiche (SLV).

Nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLE) verranno valutati gli spostamenti per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali delle strutture in elevazione. Le verifiche verranno condotte con riferimento ai parametri caratteristici ed i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri di resistenza sono sempre unitari.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Coefficienti di sicurezza per le verifiche geotecniche

8.4.1 Verifica di capacità portante allo Stato Limite Ultimo

La valutazione delle q_{lim} è condotta in accordo alla soluzione di Vesic (1973). Le formule utilizzate si riferiscono alla fondazione efficace equivalente ovvero quella fondazione rispetto alla quale il carico verticale N risulta centrato. La fondazione equivalente è caratterizzata dalle dimensioni B' e L' , valutate con le formule:

$$B' = B - 2 \cdot e_B = B - 2 \cdot \frac{M_B}{N} \qquad L' = L - 2 \cdot e_L = L - 2 \cdot \frac{M_L}{N}$$

La valutazione della capacità portante è svolta indipendentemente per le due direzioni; il valore di riferimento adottato come limite risulta

$$q_{lim} = \min(q_{lim,B'}; q_{lim,L'})$$

La valutazione della capacità portante limite di fondazioni superficiali in condizioni drenate avviene attraverso le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned}
 q_{lim,B'} &= q_{lim\gamma_B'} + q_{limq_B'} + q_{limc_B'} & q_{limL'} &= q_{lim\gamma_{L'}} + q_{limq_{L'}} + q_{limc_{L'}} \\
 q_{lim\gamma_B'} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma'_{cB} \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_{\gamma_B'} \cdot d_{\gamma_B'} \cdot i_{\gamma_B'} \cdot g_{\gamma_B'} \cdot b_{\gamma_B'} & q_{lim\gamma_{L'}} &= \frac{1}{2} \cdot \gamma'_{cL} \cdot L' \cdot N_\gamma \cdot s_{\gamma_{L'}} \cdot d_{\gamma_{L'}} \cdot i_{\gamma_{L'}} \cdot g_{\gamma_{L'}} \cdot b_{\gamma_{L'}} \\
 q_{limq_B'} &= q \cdot N_q \cdot s_{q_B'} \cdot d_{q_B'} \cdot i_{q_B'} \cdot g_{q_B'} \cdot b_{q_B'} & q_{limq_{L'}} &= q \cdot N_q \cdot s_{q_{L'}} \cdot d_{q_{L'}} \cdot i_{q_{L'}} \cdot g_{q_{L'}} \cdot b_{q_{L'}} \\
 q_{limc_B'} &= c' \cdot N_c \cdot s_{c_B'} \cdot d_{c_B'} \cdot i_{c_B'} \cdot g_{c_B'} \cdot b_{c_B'} & q_{limc_{L'}} &= c' \cdot N_c \cdot s_{c_{L'}} \cdot d_{c_{L'}} \cdot i_{c_{L'}} \cdot g_{c_{L'}} \cdot b_{c_{L'}}
 \end{aligned}$$

- N_γ, N_c, N_q fattori di capacità portante
- ϕ' angolo di attrito
- c' coesione efficace
- q' pressione efficace alla quota di imposta della fondazione
- B' dimensione efficace minore della fondazione

L'	dimensione efficace maggiore della fondazione
N	carico agente in direzione normale alla base della fondazione
$e_B = M_B / N$	componente dell'eccentricità della risultante dei carichi nelle direzioni parallela a B
$e_L = M_L / N$	componente dell'eccentricità della risultante dei carichi nelle direzioni parallela a L
H_B	carico agente in direzione parallela al lato minore della fondazione
H_L	carico agente in direzione parallela al lato maggiore della fondazione
β_f	angolo d'inclinazione del piano di imposta della fondazione nella direzione di B
β_p	angolo di inclinazione della scarpata del rilevato nella direzione di B
Z_w	distanza tra la quota della falda e la quota imposta della fondazione
γ'	peso di volume sommerso del terreno sotto falda
γ	peso di volume naturale del terreno sopra falda

$$\gamma'_{cB} = \gamma' + \frac{Z_w}{B'} (\gamma - \gamma') \geq \gamma' \quad \gamma'_{cL} = \gamma' + \frac{Z_w}{L'} (\gamma - \gamma') \geq \gamma' \quad \text{peso di volume del terreno}$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi' \quad \text{coefficiente di capacità portante}$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \phi'} \cdot \tan^2(45 + \phi' / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$i_{\gamma B'} = \left[1 - \frac{H_B}{N + B' \cdot L' \cdot c_a \cdot \cot \phi'} \right]^{m_{B'+1}}, \quad m_{B'} = \frac{2 + B' / L'}{1 + B' / L'}$$

$$i_{\gamma L'} = \left[1 - \frac{H_L}{N + B' \cdot L' \cdot c_a \cdot \cot \phi'} \right]^{m_{L'+1}}, \quad m_{L'} = \frac{2 + L' / B'}{1 + L' / B'}$$

$$i_{qB'} = \left[1 - \frac{H_B}{N + B' \cdot L' \cdot c_a \cdot \cot \phi'} \right]^{m_{B'}}, \quad m_{B'} = \frac{2 + B' / L'}{1 + B' / L'}$$

$$i_{qL'} = \left[1 - \frac{H_L}{N + B' \cdot L' \cdot c_a \cdot \cot \phi'} \right]^{m_{L'}}, \quad m_{L'} = \frac{2 + L' / B'}{1 + L' / B'}$$

$$i_{cB'} = i_{qB'} - \frac{1 - i_{qB'}}{N_q - 1}, \quad i_{cL'} = i_{qL'} - \frac{1 - i_{qL'}}{N_q - 1}$$

$$s_{\gamma B'} = 1 - 0.4 \cdot \frac{B'}{L'}, \quad s_{\gamma L'} = 1 - 0.4 \cdot \frac{L'}{B'} \quad \text{coefficienti di forma}$$

$$s_{qB'} = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan \phi', \quad s_{qL'} = 1 + \frac{L'}{B'} \cdot \tan \phi'$$

$$s_{cB'} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}, \quad s_{cL'} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{L'}{B'}$$

$$d_{\gamma B'} = 1, \quad d_{\gamma L'} = 1 \quad \text{coefficiente di affondamento}$$

$$d_{qB'} = \begin{cases} 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot \frac{D}{B'} \Rightarrow \text{se } \frac{D}{B'} \leq 1 \\ 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{B'} \Rightarrow \text{se } \frac{D}{B'} > 1 \end{cases}$$

$$d_{qL'} = \begin{cases} 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot \frac{D}{L'} \Rightarrow \text{se } \frac{D}{L'} \leq 1 \\ 1 + 2 \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{L'} \Rightarrow \text{se } \frac{D}{L'} > 1 \end{cases}$$

$$d_{cB'} = \begin{cases} 1 + 0.4 \cdot \frac{D}{B'} \Rightarrow \text{se } \frac{D}{B'} \leq 1 \\ 1 + 0.4 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{B'} \Rightarrow \text{se } \frac{D}{B'} > 1 \end{cases}$$

$$d_{cl'} = \begin{cases} 1 + 0.4 \cdot \frac{D}{L'} \Rightarrow \text{se } \frac{D}{L'} \leq 1 \\ 1 + 0.4 \cdot \tan^{-1} \frac{D}{L'} \Rightarrow \text{se } \frac{D}{L'} > 1 \end{cases}$$

$$g_{\gamma B'} = g_{qB'} = (1 - \tan \beta_p)^2, \quad g_{\gamma L'} = g_{qL'} = (1 - \tan \beta_p)^2 \quad \text{coefficiente di inclinazione piano campagna}$$

$$g_{cB'} = 1 - \frac{\beta_p^\circ}{147^\circ}, \quad g_{cL'} = 1 - \frac{\beta_p^\circ}{147^\circ}$$

$$b_{\gamma B'} = b_{qB'} = (1 - \beta_f \cdot \tan \phi')^2, \quad b_{\gamma L'} = b_{qL'} = (1 - \beta_f \cdot \tan \phi')^2 \quad \text{coefficiente di inclinazione base fondazione}$$

$$b_{cB'} = b_{qB'} - (1 - b_{qB'}) / (N_c \cdot \tan \phi'), \quad b_{cL'} = b_{qL'} - (1 - b_{qL'}) / (N_c \cdot \tan \phi')$$

La verifica di capacità portante risulta superata se:

$$E_d \leq R_d$$

$$E_d = q \cdot \gamma_M \quad \text{azioni sollecitanti sulla fondazione}$$

$$R_d = q_{lim} / \gamma_R \quad \text{azione resistente operata dalla fondazione}$$

$$q = \frac{N}{L' \cdot B'} \quad \text{pressione verticale massima agente sulla fondazione}$$

$$q_{lim} \quad \text{pressione verticale massima di calcolo della fondazione}$$

8.4.2 Verifica dei cedimenti allo Stato Limite di Esercizio

Dati i limitati carichi in gioco e le ottime caratteristiche del terreno di base, si effettua una valutazione indiretta dei cedimenti attesi controllando che le massime pressioni in condizioni di esercizio non eccedano il valore standard di 2 kg/cm².

Inviluppo pressioni terreno

Inviluppo pressioni sul terreno di fondazione

X [m]	σ_{tmin} [MPa]	σ_{tmax} [MPa]
0,00	0,092	0,223
4,26	0,075	0,168
8,60	0,062	0,130
12,94	0,077	0,156
17,20	0,100	0,197

Verifiche geotecniche

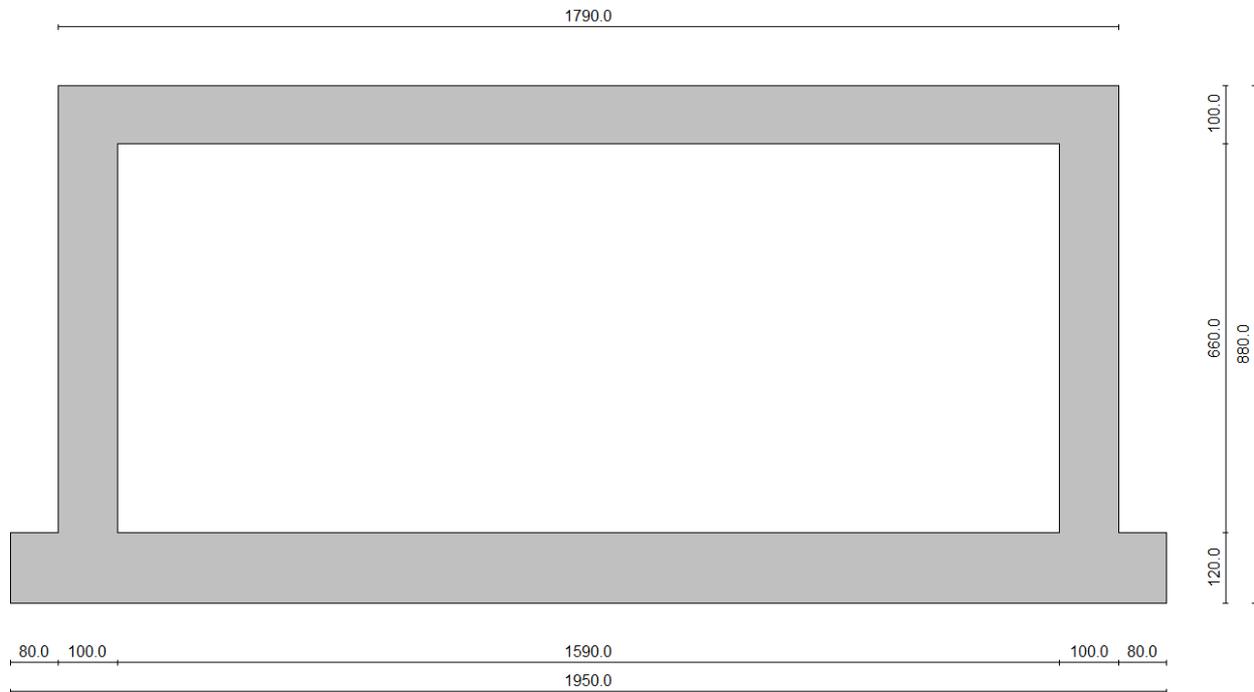
Simbologia adottata

IC	Indice della combinazione
Nc, Nq, Ny	Fattori di capacità portante
Nc, Nq, Ny	Fattori di capacità portante corretti per effetto forma, inclinazione del carico, affondamento, etc.
qu	Portanza ultima del terreno, espressa in [MPa]
QU	Portanza ultima del terreno, espressa in [kN]/m
QY	Carico verticale al piano di posa, espressa in [kN]/m
FS	Fattore di sicurezza a carico limite

IC	Nc	Nq	Ny	N'c	N'q	N'y	qu	QU	QY	FS
1	34,04	21,86	20,22	40,12	23,57	20,88	4,842	83288,51	2667,13	31,23
2	34,04	21,86	20,22	52,28	27,41	25,35	6,134	105500,42	2732,33	38,61
3	34,04	21,86	20,22	36,29	21,32	15,34	4,386	75438,68	2494,49	30,24
4	34,04	21,86	20,22	32,73	19,23	10,75	3,425	58905,52	2183,51	26,98
5	34,04	21,86	20,22	39,92	23,45	20,58	5,109	87873,80	1371,32	64,08
6	34,04	21,86	20,22	40,03	23,52	20,75	5,138	88378,84	1350,17	65,46

9 ANALISI GALLERIA CONCIO 7

9.1 Schema di calcolo



Geometria di calcolo

Geometria scatolare

Altezza esterna	8,80	[m]
Larghezza esterna	17,90	[m]
Lunghezza mensola di fondazione sinistra	0,80	[m]
Lunghezza mensola di fondazione destra	0,80	[m]
Spessore piedritto sinistro	1,00	[m]
Spessore piedritto destro	1,00	[m]
Spessore fondazione	1,20	[m]
Spessore traverso	1,00	[m]

Caratteristiche strati terreno

Strato di ricoprimento

Descrizione	Terreno di ricoprimento	
Spessore dello strato	0,70	[m]
Peso di volume	20,0000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20,0000	[kN/mc]
Angolo di attrito	35,00	[°]
Coesione	0,000	[MPa]

Strato di rinfiacco

Descrizione	Terreno di rinfiacco	
Peso di volume	20,0000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	20,0000	[kN/mc]
Angolo di attrito	35,00	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	0,00	[°]
Coesione	0,000	[MPa]
Costante di Winkler	0,054	[MPa/cm]

Strato di base

Descrizione	Terreno di base	
Peso di volume	18,5000	[kN/mc]
Peso di volume saturo	18,5000	[kN/mc]
Angolo di attrito	31,50	[°]
Angolo di attrito terreno struttura	31,50	[°]
Coesione	0,000	[MPa]

Costante di Winkler	0,108	[MPa/cm]
Tensione limite	0,200	[MPa]
Falda		
Quota falda (rispetto al piano di posa)	4,40	[m]

9.2 Risultati delle analisi

9.2.1 Condizioni di carico

Convenzioni adottate

Origine in corrispondenza dello spigolo inferiore sinistro della struttura
 Carichi verticali positivi se diretti verso il basso
 Carichi orizzontali positivi se diretti verso destra
 Coppie concentrate positive se antiorarie
 Ascisse X (espresse in m) positive verso destra
 Ordinate Y (espresse in m) positive verso l'alto
 Carichi concentrati espressi in kN
 Coppie concentrate espressi in kNm
 Carichi distribuiti espressi in kN/m

Simbologia adottata e unità di misura

Forze concentrate

X ascissa del punto di applicazione dei carichi verticali concentrati
 Y ordinata del punto di applicazione dei carichi orizzontali concentrati
 F_y componente Y del carico concentrato
 F_x componente X del carico concentrato
 M momento

Forze distribuite

X_i, X_f ascisse del punto iniziale e finale per carichi distribuiti verticali
 Y_i, Y_f ordinate del punto iniziale e finale per carichi distribuiti orizzontali
 V_{ni} componente normale del carico distribuito nel punto iniziale
 V_{nf} componente normale del carico distribuito nel punto finale
 V_{ti} componente tangenziale del carico distribuito nel punto iniziale
 V_{tf} componente tangenziale del carico distribuito nel punto finale
 D_{ie} variazione termica lembo esterno espressa in gradi centigradi
 D_{ii} variazione termica lembo interno espressa in gradi centigradi

Condizione di carico n°1 (Peso Proprio)

Condizione di carico n°2 (Spinta terreno sinistra)

Condizione di carico n°3 (Spinta terreno destra)

Condizione di carico n°4 (Sisma da sinistra)

Condizione di carico n°5 (Sisma da destra)

Condizione di carico n°6 (Spinta falda)

Condizione di carico n° 7 (Traffico 2)

Distr	Terreno	$X_i = -8,80$	$X_f = 28,30$	$V_{ni} = 9,00$	$V_{nf} = 9,00$
Distr	Terreno	$X_i = 0,80$	$X_f = 2,40$	$V_{ni} = 156,25$	$V_{nf} = 156,25$

Condizione di carico n° 8 (Traffico 3)

Distr	Terreno	$X_i = -8,80$	$X_f = 28,30$	$V_{ni} = 9,00$	$V_{nf} = 9,00$
Distr	Terreno	$X_i = 8,95$	$X_f = 10,55$	$V_{ni} = 156,25$	$V_{nf} = 156,25$

Condizione di carico n° 9 (Traffico 4)

Distr	Terreno	$X_i = -8,80$	$X_f = 28,30$	$V_{ni} = 9,00$	$V_{nf} = 9,00$
Distr	Terreno	$X_i = -0,80$	$X_f = 0,80$	$V_{ni} = 156,25$	$V_{nf} = 156,25$

Condizione di carico n° 10 (Traffico 5)

Distr	Fondaz.	$X_i = 1,80$	$X_f = 17,70$	$V_{ni} = 20,00$	$V_{nf} = 20,00$	$V_{ti} = 0,00$ $V_{tf} = 0,00$
-------	---------	--------------	---------------	------------------	------------------	---------------------------------

Condizione di carico n° 11 (Riempimento interno)

Distr	Fondaz.	$X_i = 1,80$	$X_f = 17,70$	$V_{ni} = 24,00$	$V_{nf} = 24,00$	$V_{ti} = 0,00$ $V_{tf} = 0,00$
-------	---------	--------------	---------------	------------------	------------------	---------------------------------

Condizione di carico n° 12 (Frenatura)

Conc	Pied_S	$Y = 8,70$	$F_y = 0,00$	$F_x = 67,70$	$M = 0,00$
Conc	Pied_D	$Y = 8,70$	$F_y = 0,00$	$F_x = 67,70$	$M = 0,00$

Descrizione combinazioni di carico

Vedi verifiche concio 3

9.2.2 Sollecitazioni nodali

Inviluppo sollecitazioni fondazione

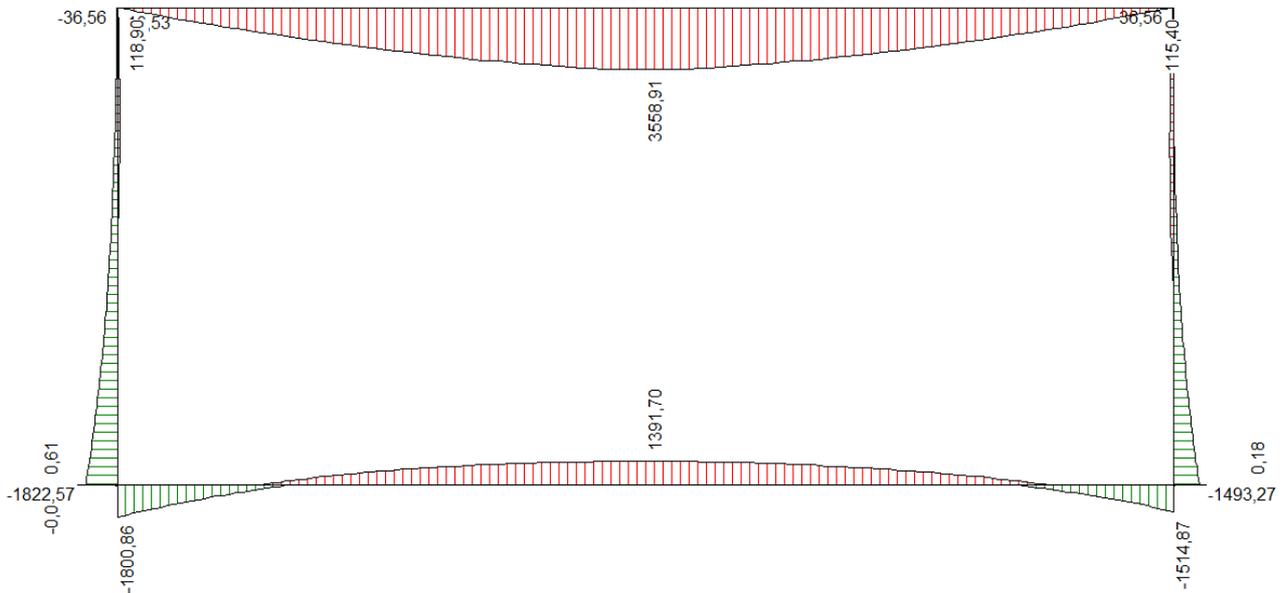
X [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,00	0,00	0,00	4,37	10,30	-17,15	-0,27
4,88	218,36	609,92	-389,23	-218,98	369,51	629,74
9,75	827,22	1391,70	-19,70	31,71	370,68	629,74
14,62	327,11	648,42	208,07	377,50	370,68	629,74
19,50	0,00	0,00	-9,20	-4,73	-0,48	16,15

Inviluppo sollecitazioni piedritto sinistro

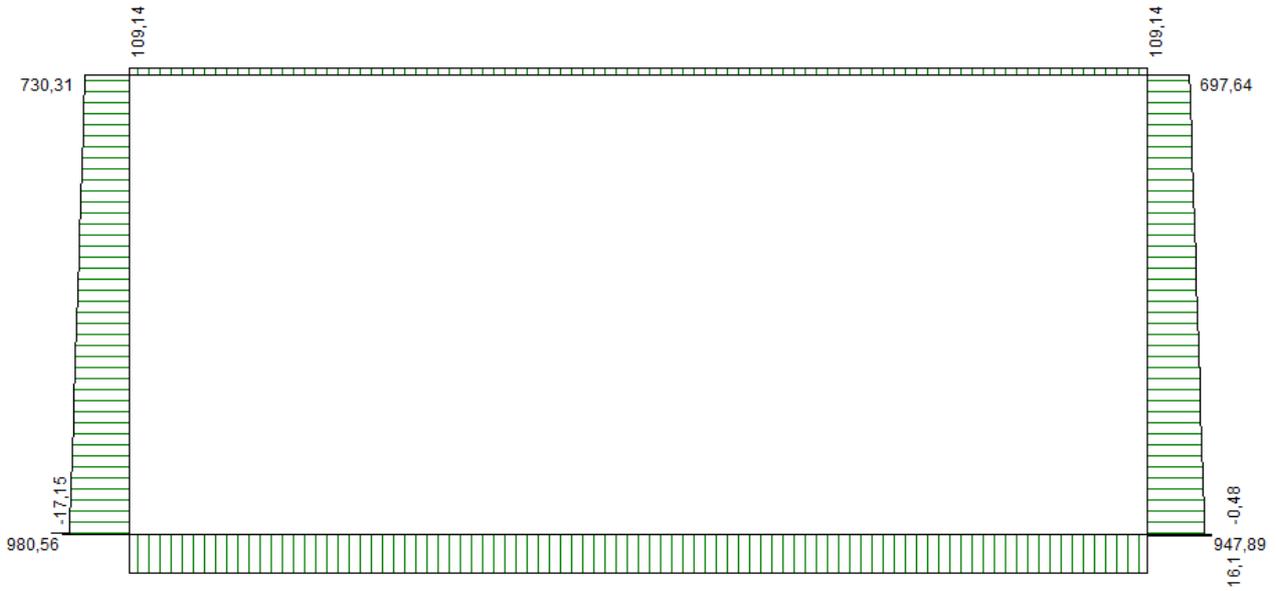
Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,60	-1822,57	-935,29	368,55	646,89	518,75	980,56
2,57	-919,30	-380,21	201,63	363,29	469,79	916,39
4,45	-419,09	-45,82	93,16	195,87	423,29	855,43
6,42	-143,59	106,93	1,61	90,39	374,33	791,26
8,30	-36,56	0,00	-109,14	30,22	327,82	730,31

Inviluppo sollecitazioni piedritto destro

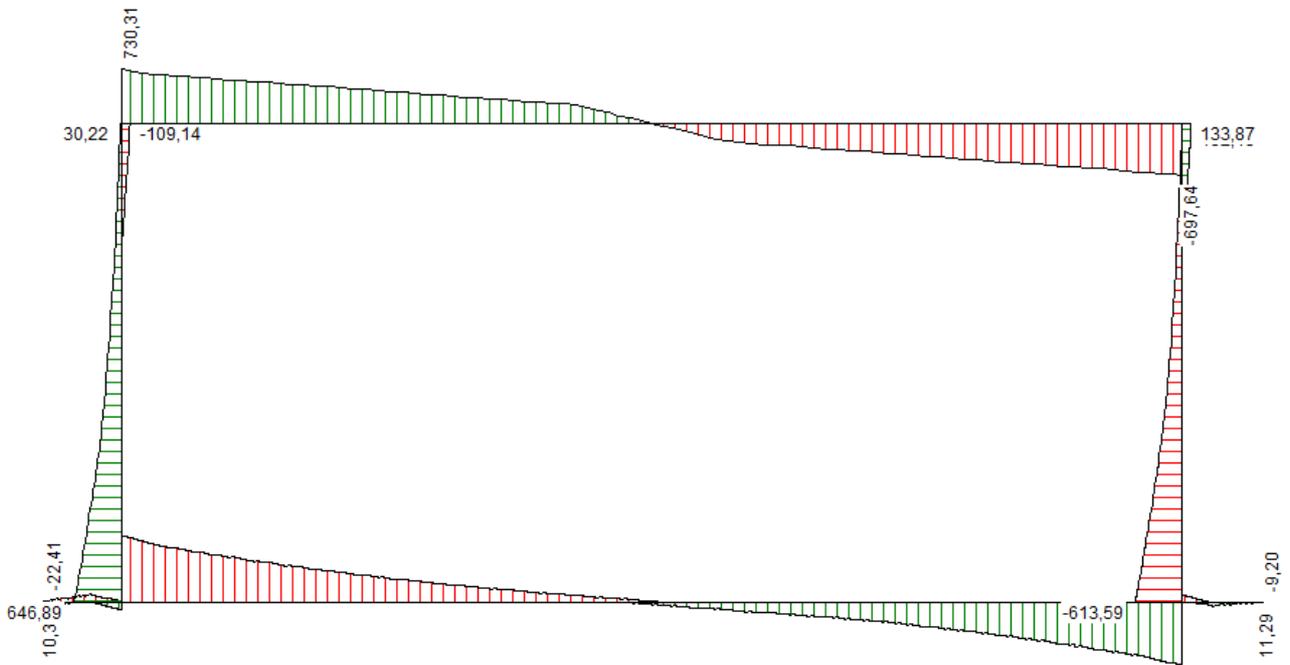
Y [m]	M _{min} [kNm]	M _{max} [kNm]	V _{min} [kN]	V _{max} [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
0,60	-1493,27	-783,81	-613,59	-371,00	518,75	947,89
2,57	-661,22	-213,47	-337,22	-203,46	469,79	883,73
4,45	-231,97	102,73	-156,37	-80,66	423,29	822,77
6,42	-35,25	192,12	-50,46	27,04	374,33	758,60
8,30	0,00	36,56	1,93	133,87	327,82	697,64



Sollecitazioni scatolare – ENV SLU – Momento flettente (kNm)



Sollecitazioni scatolare – ENV SLU – Azione assiale (kN)



Sollecitazioni scatolare – ENV SLU - Taglio (kN)

9.2.3 Spostamenti nodali

Inviluppo spostamenti fondazione

X [m]	u_{xmin} [cm]	u_{xmax} [cm]	u_{ymin} [cm]	u_{ymax} [cm]
0,00	0,0078	0,4891	0,9100	2,1456
4,88	0,0042	0,4831	0,6446	1,4468
9,75	-0,0014	0,4749	0,4523	1,0127
14,62	-0,0085	0,4666	0,6519	1,3494
19,41	-0,0137	0,4605	0,9848	1,9162

Inviluppo spostamenti piedritto sinistro

Y [m]	u_{xmin} [cm]	u_{xmax} [cm]	u_{ymin} [cm]	u_{ymax} [cm]
0,60	0,0078	0,4892	0,8611	1,9849
2,57	-0,0882	0,4010	0,8643	1,9910
4,45	-0,0843	0,3981	0,8670	1,9963

6,42	-0,0438	0,4633	0,8696	2,0016
8,30	-0,0427	0,6337	0,8717	2,0062

Inviluppo spostamenti piedritto destro

Y [m]	u_{xmin} [cm]	u_{xmax} [cm]	u_{ymin} [cm]	u_{ymax} [cm]
0,60	-0,0137	0,4605	0,9120	1,7914
2,57	0,0475	0,5010	0,9151	1,7972
4,45	0,0440	0,4669	0,9178	1,8024
6,42	0,0224	0,5243	0,9204	1,8074
8,30	-0,0438	0,6303	0,9225	1,8118

9.3 Verifiche strutturali

9.3.1 Verifiche pressoflessione e taglio SLU

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 120,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,00	22,62	45,24	58,43
4,88	45,24	45,24	2,80
9,75	22,62	45,24	1,70
14,62	45,24	45,24	2,84
19,50	22,62	45,24	191,36

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)										
DATI SEZIONE										
b _w (m)	d (m)	N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	θ (°)	1 < cotg θ (°) < 2,5	f _{ck} (MPa)	f _{cd} (MPa)			
1,00	1,14	0,00	888,75	30,00		1,73	24,90	14,11	B450C	
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI										
A _{sl} (cm ²)	k	ρ _l (%)	v _{min} (MPa)	σ _{cp} (MPa)	α _c	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)			
67,82	1,419	0,59%	0,295	0,00	1,000	446,91	>	888,75	OCCORRE ARMAT. TRASV.	
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI										
	s (m)	f _{ywd} (MPa)	n _b	φ (mm)	A _{sw} (cm ²)	α (°)	V _{Rsd} (kN)	50% V _{Ed} (kN)		
Staffe	0,20	391,30	3,00	12	3,39	90	1179,69	>	444,38 OK	
Ferri piegati	-	313,04	0	12	0,00	45	0,00			
						V _{Rsd} (kN)	1179,69	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)	
						V _{Rcd} (kN)	3134,33	1179,69	>	888,75 VERIFICA OK

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 100,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,60	22,62	67,86	1,52
2,57	22,62	67,86	2,44
4,45	22,62	45,24	4,60
6,42	22,62	45,24	11,34
8,30	22,62	45,24	18,72

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 100,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	CS
0,60	22,62	67,86	1,95
2,57	22,62	67,86	3,39
4,45	22,62	45,24	7,79
6,42	22,62	45,24	14,49
8,30	22,62	45,24	18,03

CALCOLO TAGLIO RESISTENTE (NTC 2008)										
DATI SEZIONE										
b _w (m)	d (m)	N _{Ed} (kN)	V _{Ed} (kN)	θ (°)	1 < cotg θ (°) < 2,5	f _{ck} (MPa)	f _{cd} (MPa)			
1,00	0,94	0,00	646,99	30,00		1,73	24,90	14,11	B450C	
VERIFICA SENZA ARMATURE TRASVERSALI										
A _{sl} (cm ²)	k	ρ _l (%)	v _{min} (MPa)	σ _{cp} (MPa)	α _c	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)			
67,82	1,461	0,72%	0,309	0,00	1,000	404,73	>	646,99	OCCORRE ARMAT. TRASV.	
VERIFICA CON ARMATURE TRASVERSALI										
	s (m)	f _{ywd} (MPa)	n _b	φ (mm)	A _{sw} (cm ²)	α (°)	V _{Rsd} (kN)	50% V _{Ed} (kN)		
Staffe	0,20	391,30	3,00	12	3,39	90	972,72	>	323,50 OK	
Ferri piegati	-	313,04	0	12	0,00	45	0,00			
						V _{Rsd} (kN)	972,72	V _{Rd} (kN)	V _{Ed} (kN)	
						V _{Rcd} (kN)	2584,45	972,72	>	646,99 VERIFICA OK

9.3.2 Verifiche pressoflessione SLE

Verifica sezioni fondazione (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 120,00 cm

X	A _{fi}	A _{fs}	σ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
0,00	22,62	45,24	0,000	2,598	1,491
4,88	45,24	45,24	2,467	32,822	59,280
9,75	22,62	45,24	5,927	76,862	188,002
14,62	45,24	45,24	2,578	34,260	62,750

Verifica sezioni piedritto sinistro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 100,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	σ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
0,60	22,62	67,86	9,186	119,998	200,374
2,57	22,62	67,86	4,862	64,630	84,654
4,45	22,62	45,24	2,573	34,851	32,638
6,42	22,62	45,24	1,073	15,245	10,385
8,30	22,62	45,24	0,620	9,048	7,048

Verifica sezioni piedritto destro (Inviluppo)

Base sezione B = 100 cm
 Altezza sezione H = 100,00 cm

Y	A _{fi}	A _{fs}	σ _c	σ _{fi}	σ _{fs}
0,60	22,62	67,86	7,790	102,332	158,865
2,57	22,62	67,86	3,732	50,275	52,631
4,45	22,62	45,24	1,602	22,439	10,455
6,42	22,62	45,24	1,100	10,447	15,313
8,30	22,62	45,24	0,516	7,693	6,739

9.4 Verifica geotecniche fondazione

Inviluppo pressioni terreno

Inviluppo pressioni sul terreno di fondazione

X [m]	σ _{tmin} [MPa]	σ _{tmax} [MPa]
0,00	0,098	0,232
4,88	0,070	0,156
9,75	0,049	0,109
14,62	0,070	0,146
19,50	0,106	0,207

Verifiche geotecniche

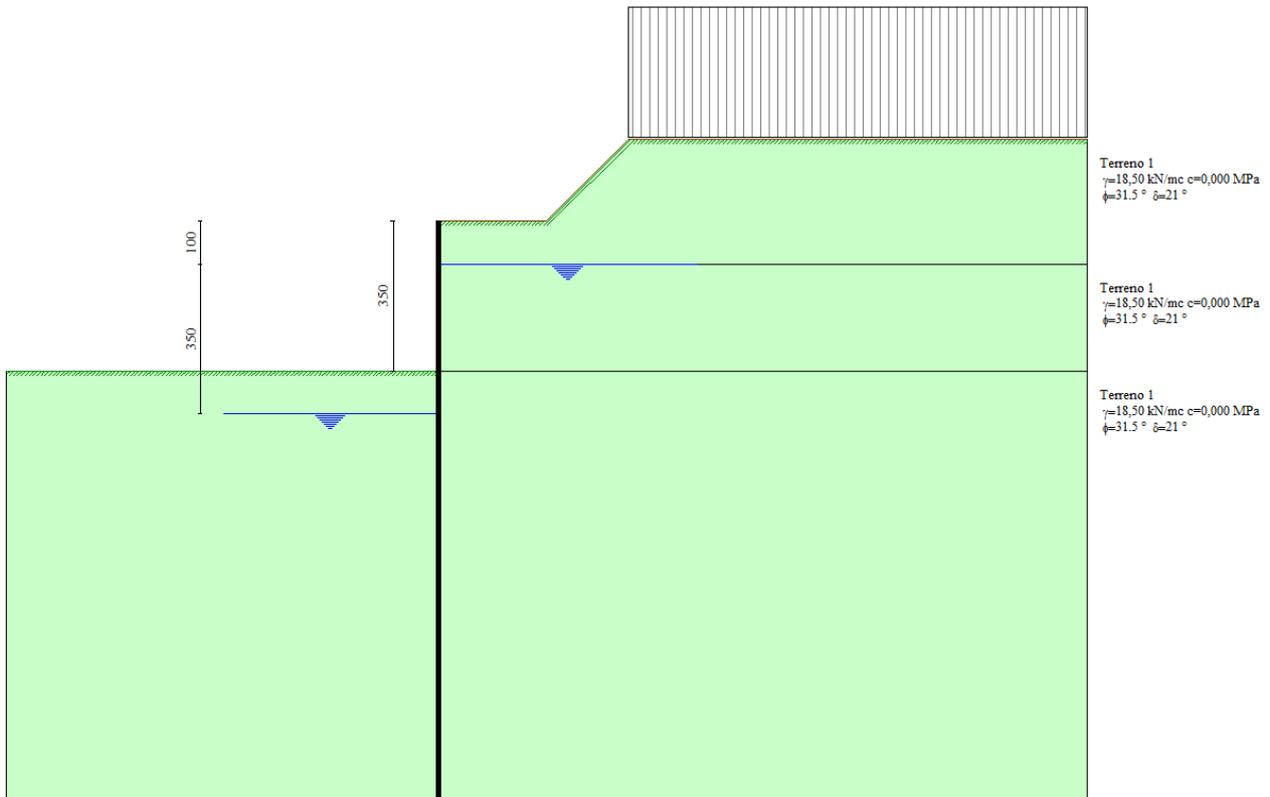
Simbologia adottata

IC Indice della combinazione
 Nc, Nq, Ny Fattori di capacità portante
 Nc, Nq, Ny Fattori di capacità portante corretti per effetto forma, inclinazione del carico, affondamento, etc.
 qu Portanza ultima del terreno, espressa in [MPa]
 Qu Portanza ultima del terreno, espressa in [kN]/m
 Q_v Carico verticale al piano di posa, espressa in [kN]/m
 FS Fattore di sicurezza a carico limite

IC	Nc	Nq	Ny	N'c	N'q	N'y	qu	Qu	Q _v	FS
1	34,04	21,86	20,22	39,13	23,27	20,68	4,812	93829,22	2874,21	32,65
2	34,04	21,86	20,22	52,38	27,45	25,39	6,178	120469,26	2939,41	40,98
3	34,04	21,86	20,22	35,68	21,21	15,60	4,413	86056,34	2701,56	31,85
4	34,04	21,86	20,22	31,73	18,87	10,43	3,387	66051,40	2321,60	28,45
5	34,04	21,86	20,22	38,90	23,13	20,33	5,070	98863,80	1454,04	67,99
6	34,04	21,86	20,22	39,00	23,19	20,47	5,094	99339,05	1431,16	69,41

10 ANALISI PALANCOLE

10.1 Schema di calcolo



Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia in acciaio con parametri definiti a metro di paratia**

Altezza fuori terra	3,50	[m]
Profondità di infissione	10,00	[m]
Altezza totale della paratia	13,50	[m]
Lunghezza paratia	1,00	[m]
Area per metro lineare di larghezza	242,00	[cm ²]
Inerzia per metro lineare di larghezza	72320,00	[cm ⁴]
Modulo di resistenza per metro lineare di larghezza	3200,00	[cm ³]
Momento ultimo della sezione per metro lineare di larghezza	1246,5600	[kNm]
Fattore di taglio	2,90	

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

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

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N	X	Y	A
2	2,50	0,00	0,00
3	4,40	1,90	45,00
4	15,00	1,90	0,00

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-10,00	-3,50	0,00
2	0,00	-3,50	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n° numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia

Descrizione Descrizione del terreno

γ peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
 γ_s peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]
 ϕ angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
 δ angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
 c coesione del terreno espressa in [MPa]

n°	Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c
1	Terreno 1	18,5000	18,5000	31,50	21,00	0,0000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

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

n°	sp	α	kw	Terreno
1	1,00	0,00	0,18	Terreno 1
2	2,50	0,00	0,81	Terreno 1
3	10,00	0,00	3,07	Terreno 1

Falda

Profondità della falda a monte rispetto alla sommità della paratia 1,00 [m]
 Profondità della falda a valle rispetto alla sommità della paratia 4,50 [m]
 Regime delle pressioni neutre: **Idrodinamico**

10.2 Risultati delle analisi

10.2.1 Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
 Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
 F_x Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle
 F_y Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso
 M Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante
 Q_i, Q_f Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kN/mq]
 V_i, V_s Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kN/mq], positivi da monte verso valle
 R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Condizione n° 1

Carico distribuito sul profilo	$X_i = 4,40$	$X_f = 15,00$	$Q_i = 20,00$	$Q_f = 20,00$
--------------------------------	--------------	---------------	---------------	---------------

Combinazioni di carico

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

Combinazione n° 1 [DA1 - A1M1]

Spinta terreno
 Condizione 1 (ACC) x 1.00

Combinazione n° 2 [DA1- A2M2]

Spinta terreno
 Condizione 1 (ACC) x 1.00

Combinazione n° 3 [DA1- A2M2]

Spinta terreno

Combinazione n° 4

Spinta terreno
 Condizione 1 (ACC) x 0.20

Combinazione n° 5

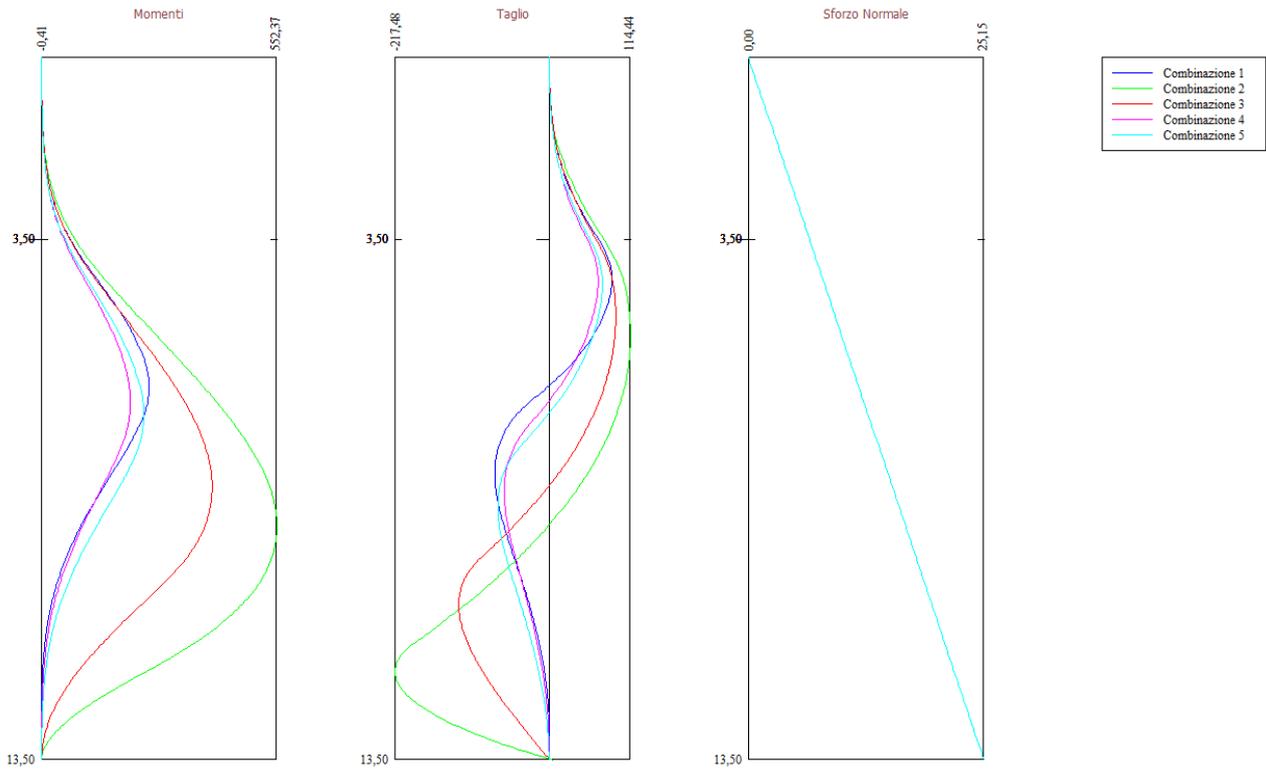
Spinta terreno
 Condizione 1 (ACC) x 1.00

10.2.2 Sollecitazioni nodali

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	M	Y _M	T	Y _T	N	Y _N	
1	[A1-M1]	252,05	6,35	88,43	4,25	25,15	13,50	MAX
--	--	-0,41	12,70	-77,00	8,00	0,00	0,00	MIN
2	[A2-M2]	552,37	9,00	114,44	5,35	25,15	13,50	MAX
--	--	0,00	0,00	-217,48	11,80	0,00	0,00	MIN
3	[A2-M2] S	400,64	8,25	93,72	4,95	25,15	13,50	MAX
--	--	0,00	0,00	-127,98	10,55	0,00	0,00	MIN
4	[SLEQ]	209,00	6,65	68,72	4,30	25,15	13,50	MAX
--	--	-0,01	13,25	-63,60	8,35	0,00	0,00	MIN
5	[SLER]	239,45	6,85	74,83	4,35	25,15	13,50	MAX
--	--	0,00	0,00	-72,57	8,65	0,00	0,00	MIN



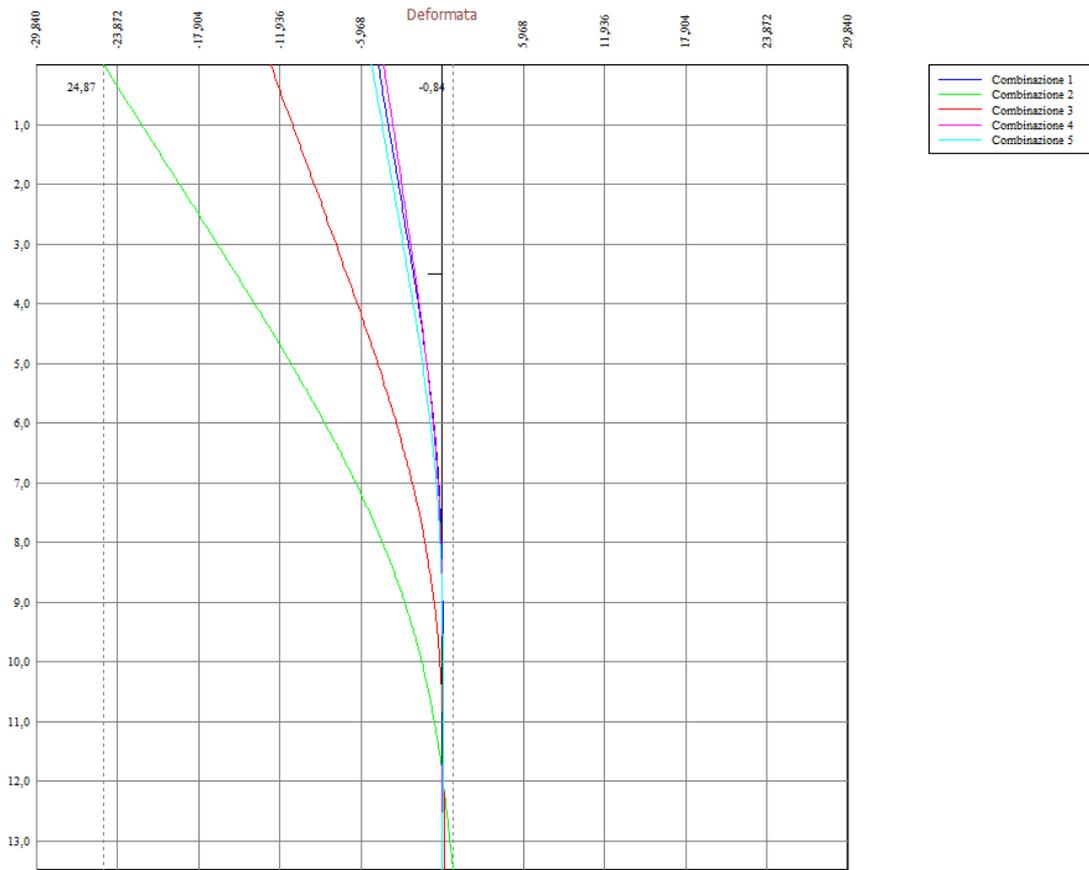
Sollecitazioni paratia - Momento flettente (kNm), taglio (kN) e sforzo normale (kN) per metro di paratia

10.2.3 Spostamenti nodali

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	U	Y _U	V	Y _V	
1	[A1-M1]	4,6928	0,00	0,0034	0,00	MAX
--	--	-0,0429	10,05	0,0000	0,00	MIN
2	[A2-M2]	24,8667	0,00	0,0034	0,00	MAX
--	--	-0,8353	13,50	0,0000	0,00	MIN
3	[A2-M2] S	12,5889	0,00	0,0034	0,00	MAX
--	--	-0,2149	13,50	0,0000	0,00	MIN
4	[SLEQ]	4,2671	0,00	0,0034	0,00	MAX
--	--	-0,0330	10,45	0,0000	0,00	MIN
5	[SLER]	5,1753	0,00	0,0034	0,00	MAX
--	--	-0,0453	10,70	0,0000	0,00	MIN



Deformata paratia – Deformazioni massime (cm)

10.3 Verifiche strutturali paratia

Simbologia adottata

- n° Indice della combinazione/fase
- Tipo Tipo della Combinazione/Fase
- Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
- M momento flettente espresso in [kNm]
- N sforzo normale espresso in [kN] (positivo di compressione)
- Mu momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
- Nu sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
- FS fattore di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)
- T taglio espresso in [kN]
- Tr taglio resistente espresso in [kN]
- FS_T fattore di sicurezza a taglio

n°	Tipo	Y	M	Mu	FS
1	[A1-M1]	6,35	252,05	1246,56	4.95
2	[A2-M2]	9,00	552,37	1246,56	2.26
3	[A2-M2] S	8,25	400,64	1246,56	3.11

n°	Tipo	Y	T	Tr	FS _T
1	[A1-M1]	4,25	88,43	1479,07	16.73
2	[A2-M2]	11,80	-217,48	1479,07	6.80
3	[A2-M2] S	10,55	-127,98	1479,07	11.56

Simbologia adottata

- n° Indice della combinazione/fase
- Tipo Tipo della Combinazione/Fase
- Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
- σ_r tensione normale nell'armatura, espressa in [MPa]
- τ_r tensione tangenziale nell'armatura, espressa in [MPa]
- σ_{id} tensione ideale (σ_{id} = (σ_r² + 3 τ_r²)^{0.5}) nella sezione del tubolare, espressa in [MPa]

n°	Tipo	σ _{rc}	Y(σ _{rc})	σ _{rt}	Y(σ _{rt})	σ _{id}	Y(σ _{id})	τ _r	Y(τ _r)
4	[SLEQ]	65,824	6,65	1,035	13,45	65,827	6,65	8,235	4,30
5	[SLER]	75,356	6,85	1,035	13,45	75,360	6,90	8,967	4,35

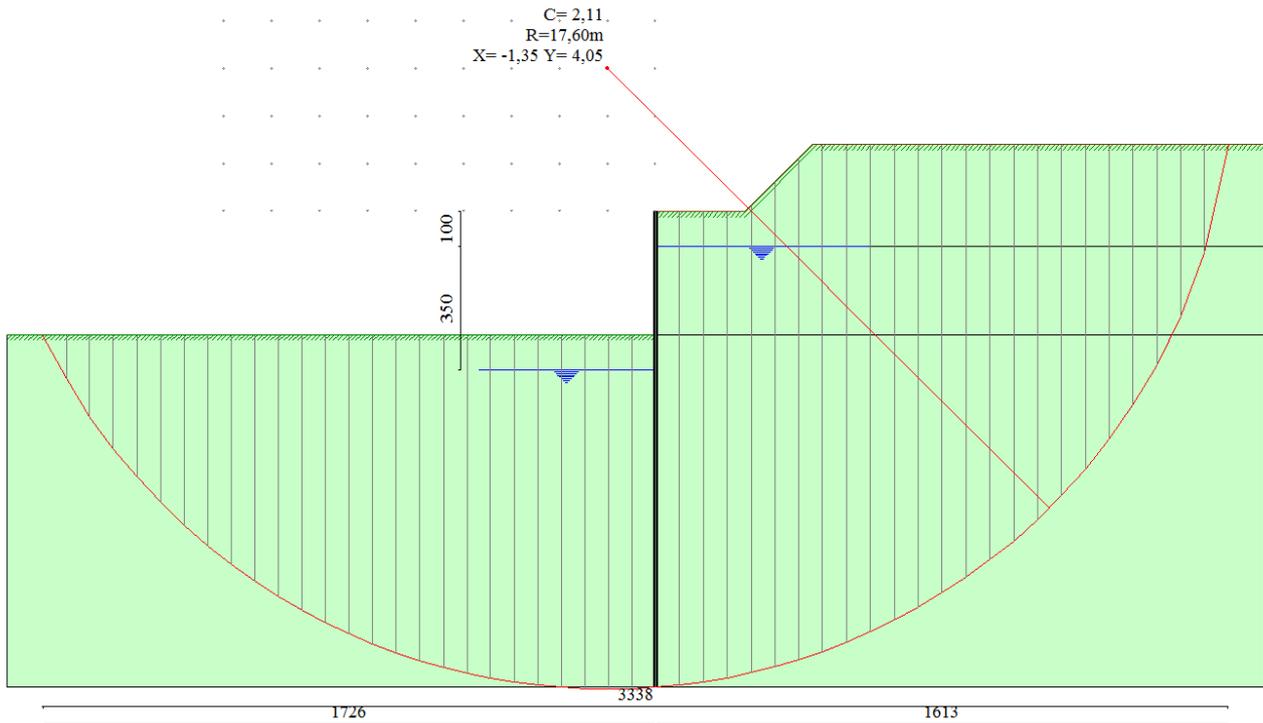
10.4 Verifica di stabilità globale

Metodo di Bishop
 Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata

- n° Indice della combinazione/fase
- Tipo Tipo della combinazione/fase
- (X_C; Y_C) Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
- R Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
- (X_V; Y_V) Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
- (X_M; Y_M) Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
- FS Coefficiente di sicurezza

n°	Tipo	(X _C , Y _C)	R	(X _V , Y _V)	(X _M , Y _M)	FS
2	[A2-M2]	(-1,35; 4,05)	17,60	(-17,26; -3,49)	(16,13; 1,90)	2,11
3	[A2-M2] S	(-1,35; 8,10)	21,64	(-19,63; -3,48)	(19,39; 1,90)	2,23



Cerchio di stabilità globale critico a minimo fattore di sicurezza

10.5 Verifiche idrauliche

10.5.1 Verifica a sifonamento

Simbologia adottata

- i_c : Indice della combinazione
- Tipo : Tipo di Combinazione/Fase
- ΔH : Perdita di carico espressa in [m]
- L : Lunghezza di filtrazione espressa in [m]
- γ_m : Peso di galleggiamento medio espresso in [kN/mc]
- i_c : Gradiente idraulico critico
- i_E : Gradiente idraulico di efflusso
- FS_{sif} : Coefficiente di sicurezza a sifonamento

Coefficiente di sicurezza a sifonamento richiesto FS_R = 3.00

i _c	Tipo	ΔH	L	γ _m	i _c	i _E	FS _{sif}
1	[A1-M1]	Verifica non effettuata (falda non affiorante al piano campagna)					
2	[A2-M2]	Verifica non effettuata (falda non affiorante al piano campagna)					
3	[A2-M2] S	Verifica non effettuata (falda non affiorante al piano campagna)					
4	[SLEQ]	Verifica non effettuata (falda non affiorante al piano campagna)					
5	[SLER]	Verifica non effettuata (falda non affiorante al piano campagna)					

10.5.2 Verifica al sollevamento del fondo scavo

Simbologia adottata

Ic : Indice della combinazione
 Tipo : Tipo della Combinazione/Fase
 ΔH : Perdita di carico espressa in [m]
 L : Lunghezza di filtrazione espressa in [m]
 i_E : Gradiente idraulico di efflusso
 I : Profondità di infissione espressa in [m]
 σ : Pressione totale al piede della paratia espressa in [MPa]
 u_w : Pressione idrica al piede della paratia espressa in [MPa]
 FS_{scavo} : Coefficiente di sicurezza a sollevamento fondo scavo

Coefficiente di sicurezza a sollevamento del fondo scavo richiesto $FS_R = 1.50$

Ic	Tipo	ΔH	L	i_E	I	σ	u_w	FS_{scavo}
1	[A1-M1]	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80
2	[A2-M2]	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80
3	[A2-M2] S	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80
4	[SLEQ]	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80
5	[SLER]	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80

11 ALLEGATI DI CALCOLO

PALANCOLE PROVVISORIALI

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia in acciaio con parametri definiti a metro di paratia**

Altezza fuori terra	3,50	[m]
Profondità di infissione	10,00	[m]
Altezza totale della paratia	13,50	[m]
Lunghezza paratia	1,00	[m]

Area per metro lineare di larghezza	242,00	[cmq]
Inerzia per metro lineare di larghezza	72320,00	[cm ⁴]
Modulo di resistenza per metro lineare di larghezza	3200,00	[cm ³]
Momento ultimo della sezione per metro lineare di larghezza	1246,5600	[kNm]
Fattore di taglio	2,90	

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

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

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

Profilo di monte

N	X	Y	A
2	2,50	0,00	0,00
3	4,40	1,90	45,00
4	15,00	1,90	0,00

Profilo di valle

N	X	Y	A
1	-10,00	-3,50	0,00
2	0,00	-3,50	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n° numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
Descrizione descrizione del terreno
γ peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_s peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]
φ angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c coesione del terreno espressa in [MPa]

n°	Descrizione	γ	γ _s	φ	δ	c
1	Terreno 1	18,5000	18,5000	31,50	21,00	0,0000

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

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

n°	sp	α	kw	Terreno
1	1,00	0,00	0,18	Terreno 1
2	2,50	0,00	0,81	Terreno 1
3	10,00	0,00	3,07	Terreno 1

Falda

Profondità della falda a monte rispetto alla sommità della paratia	1,00	[m]
Profondità della falda a valle rispetto alla sommità della paratia	4,50	[m]
Regime delle pressioni neutre:	Idrodinamico	

Caratteristiche materiali utilizzati

Tipo	Fe 510	
Tensione di snervamento f _{yk}	353,0	[MPa]

Caratteristiche acciaio cordoli in acciaio.

Tipo	Fe 360	
Tensione di snervamento f _{yk}	235,4	[MPa]

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

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

F_x Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle
F_y Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso
M Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante
Q_i, Q_s Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espressa in [kN/mq]
V_s, V_s Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espressa in [kN/mq], positivi da monte verso valle
R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Condizione n° 1

Carico distribuito sul profilo	X _i = 4,40	X _i = 15,00	Q _i = 20,00	Q _i = 20,00
--------------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	------------------------

Combinazioni di carico

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

Combinazione n° 1 [DA1 - A1M1]

Spinta terreno	
Condizione 1 (ACC)	x 1,00

Combinazione n° 2 [DA1- A2M2]

Spinta terreno	
Condizione 1 (ACC)	x 1,00

Combinazione n° 3 [DA1- A2M2]

Spinta terreno	
----------------	--

Combinazione n° 4

Spinta terreno	
Condizione 1 (ACC)	x 0,20

Combinazione n° 5

Spinta terreno	
Condizione 1 (ACC)	x 1,00

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo:

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

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

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ _{Glav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ _{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ _{Glav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ _{Gsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	γ _{tanφ}	1,00	1,25
Coesione efficace	γ _c	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ _{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniaxiale	γ _{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ _γ	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

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

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	γ_{tanv}	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniaxiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_f	1,00	1,00

TIRANTI DI ANCORAGGIOCoefficienti parziali γ_k per le verifiche dei tiranti

Resistenza	Tiranti
Laterale	γ_{st} 1,20

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.Numero di verticali indagate 1 $\xi_3=1,80$ $\xi_4=1,80$

Verifica materiali : Stato Limite Ultimo

Impostazioni di analisi**Analisi per Combinazioni di Carico.**

Rottura del terreno: Pressione passiva Spostamento limite (spostamento limite molle pari a 1.50)

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

Stabilità globale: Metodo di Bishop

Impostazioni analisi sismica**Identificazione del sito**

Latitudine 45.419605
 Longitudine 8.935588
 Comune Albairate
 Provincia Milano
 Regione Lombardia

Punti di interpolazione del reticolo 12479 - 12480 - 12258 - 12257

Tipo di opera

Tipo di costruzione Opera provvisoria
 Vita nominale 10 anni
 Classe d'uso II - Normali affollamenti e industrie non pericolose
 Vita di riferimento 10 anni

Combinazioni/Fase

	SLU	SLE
Accelerazione al suolo [m/s ²]	0.265	0.010
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.589	0.000
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_c^*	0.208	0.000
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.000	1.000
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.800	1.800
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	0.584	0.584
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U_s [m]	0.068	0.068
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.440	0.440

Coefficiente di intensità sismica (percento) 1.248 0.047
 Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv) 0.00

Influenza sisma nella spinta attiva da monte

Forma diagramma incremento sismico : Triangolare con vertice in alto.

Analisi della spinta**Pressioni terreno****Simbologia adottata**

Sono riportati i valori delle pressioni in corrispondenza delle sezioni di calcolo
 Y ordinata rispetto alla testa della paratia espressa in [m] e positiva verso il basso.
 Le pressioni sono tutte espresse in [MPa]
 σ_{sm} sigma attiva da monte
 σ_{sv} sigma attiva da valle
 σ_{pm} sigma passiva da monte
 σ_{pv} sigma passiva da valle
 δ_a inclinazione spinta attiva espressa in [°]
 δ_p inclinazione spinta passiva espressa in [°]

Combinazione n° 1

n°	Y(m)	σ_{sm}	σ_{sv}	σ_{pm}	σ_{pv}	δ_a	δ_p
1	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	21,0	0,0
11	0,98	0,00651	0,00000	0,07400	0,00000	21,0	0,0
21	1,80	0,01030	0,00000	0,14404	0,00000	21,0	0,0
31	2,80	0,02512	0,00000	0,41203	0,00000	21,0	0,0
41	3,60	0,03156	0,00071	0,70204	0,00805	21,0	0,0
51	4,60	0,03826	0,00710	0,54923	0,08072	21,0	0,0
61	5,60	0,04418	0,01065	0,57412	0,12104	21,0	0,0
71	6,60	0,04963	0,01419	0,61505	0,16136	21,0	0,0
81	7,60	0,05478	0,01774	0,55773	0,20169	21,0	0,0
91	8,60	0,05974	0,02129	0,60780	0,24201	21,0	0,0
101	9,60	0,06456	0,02483	0,65799	0,28233	21,0	0,0
111	10,60	0,06929	0,02838	0,70825	0,32266	21,0	0,0
121	11,60	0,07396	0,03193	0,75857	0,36298	21,0	0,0
131	12,60	0,07858	0,03547	0,80893	0,40330	21,0	0,0

Combinazione n° 2

n°	Y(m)	σ_{sm}	σ_{sv}	σ_{pm}	σ_{pv}	δ_a	δ_p
1	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	17,1	0,0
11	0,98	0,00618	0,00000	0,04593	0,00000	17,1	0,0
21	1,80	0,01740	0,00000	0,07508	0,00000	17,1	0,0
31	2,80	0,02531	0,00000	0,16421	0,00000	17,1	0,0
41	3,60	0,03031	0,00067	0,28023	0,00500	17,1	0,0
51	4,60	0,03558	0,00665	0,47578	0,04942	17,1	0,0
61	5,60	0,04030	0,00910	0,36471	0,06768	17,1	0,0
71	6,60	0,04467	0,01156	0,37229	0,08593	17,1	0,0
81	7,60	0,04880	0,01401	0,39140	0,10419	17,1	0,0
91	8,60	0,05279	0,01647	0,34127	0,12245	17,1	0,0
101	9,60	0,05668	0,01892	0,36736	0,14071	17,1	0,0
111	10,60	0,06049	0,02138	0,39354	0,15896	17,1	0,0
121	11,60	0,06425	0,02383	0,41978	0,17722	17,1	0,0
131	12,60	0,06796	0,02629	0,44607	0,19548	17,1	0,0

Combinazione n° 3

n°	Y(m)	σ_{sm}	σ_{sv}	σ_{pm}	σ_{pv}	δ_a	δ_p
1	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	17,1	0,0
11	0,98	0,00637	0,00000	0,04593	0,00000	17,1	0,0
21	1,80	0,00960	0,00000	0,07508	0,00000	17,1	0,0
31	2,80	0,02063	0,00000	0,16421	0,00000	17,1	0,0
41	3,60	0,02506	0,00067	0,28023	0,00500	17,1	0,0
51	4,60	0,02897	0,00665	0,25573	0,04942	17,1	0,0
61	5,60	0,03320	0,00910	0,26980	0,06768	17,1	0,0
71	6,60	0,03720	0,01156	0,29202	0,08593	17,1	0,0
81	7,60	0,04106	0,01401	0,31647	0,10419	17,1	0,0
91	8,60	0,04484	0,01647	0,34181	0,12245	17,1	0,0
101	9,60	0,04855	0,01892	0,36759	0,14071	17,1	0,0
111	10,60	0,05223	0,02138	0,39360	0,15896	17,1	0,0
121	11,60	0,05588	0,02383	0,41975	0,17722	17,1	0,0
131	12,60	0,05951	0,02629	0,44600	0,19548	17,1	0,0

Combinazione n° 4

n°	Y(m)	σ_{sm}	σ_{sv}	σ_{pm}	σ_{pv}	δ_a	δ_p
1	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	21,0	0,0
11	0,98	0,00501	0,00000	0,05692	0,00000	21,0	0,0
21	1,80	0,00750	0,00000	0,10539	0,00000	21,0	0,0
31	2,80	0,01595	0,00000	0,29674	0,00000	21,0	0,0
41	3,60	0,01986	0,00054	0,31890	0,00619	21,0	0,0
51	4,60	0,02393	0,00539	0,31849	0,06125	21,0	0,0
61	5,60	0,02755	0,00738	0,34332	0,08388	21,0	0,0
71	6,60	0,03092	0,00937	0,37280	0,10650	21,0	0,0
81	7,60	0,03414	0,01136	0,38864	0,12913	21,0	0,0
91	8,60	0,03726	0,01335	0,42117	0,15176	21,0	0,0
101	9,60	0,04031	0,01534	0,45379	0,17439	21,0	0,0
111	10,60	0,04333	0,01733	0,48647	0,19702	21,0	0,0
121	11,60	0,04631	0,01932	0,51919	0,21964	21,0	0,0
131	12,60	0,04927	0,02131	0,55193	0,24227	21,0	0,0

Combinazione n° 5

n°	Y(m)	σ_{sm}	σ_{sv}	σ_{pm}	σ_{pv}	δ_a	δ_p
1	0,00	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	21,0	0,0
11	0,98	0,00501	0,00000	0,05692	0,00000	21,0	0,0
21	1,80	0,00750	0,00000	0,10539	0,00000	21,0	0,0
31	2,80	0,01809	0,00000	0,29674	0,00000	21,0	0,0
41	3,60	0,02249	0,00054	0,49936	0,00619	21,0	0,0
51	4,60	0,02699	0,00539	0,38842	0,06125	21,0	0,0
61	5,60	0,03092	0,00738	0,40288	0,08388	21,0	0,0
71	6,60	0,03452	0,00937	0,42882	0,10650	21,0	0,0
81	7,60	0,03790	0,01136	0,38850	0,12913	21,0	0,0
91	8,60	0,04115	0,01335	0,42112	0,15176	21,0	0,0
101	9,60	0,04431	0,01534	0,45378	0,17439	21,0	0,0
111	10,60	0,04740	0,01733	0,48648	0,19702	21,0	0,0
121	11,60	0,05044	0,01932	0,51921	0,21964	21,0	0,0
131	12,60	0,05346	0,02131	0,55195	0,24227	21,0	0,0

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 70 elementi fuori terra e 200 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva oppure lo spostamento limite di 1.50 [cm] non reagiscono ad ulteriori incremento di carico.

Altezza fuori terra della paratia	3,50	[m]
Profondità di infissione	10,00	[m]
Altezza totale della paratia	13,50	[m]

Forze agenti sulla paratia

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

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	Pa	Y _{Pa}	Is	Y _{Is}	Pw	Y _{Pw}	Pp	Y _{Pp}	Pc	Y _{Pc}
1	[A1-M1]	49,74	2,59	--	--	179,60	6,33	-263,67	6,16	34,33	10,43
2	[A2-M2]	60,63	2,59	--	--	179,60	6,33	-453,16	8,94	212,92	12,94
3	[A2-M2] S	45,04	2,56	1,64	2,33	179,60	6,33	-340,95	7,87	114,67	12,44
4	[SLEQ]	30,77	2,50	--	--	179,60	6,33	-236,59	6,34	26,22	10,86
5	[SLER]	35,55	2,56	--	--	179,60	6,33	-253,60	6,53	38,44	11,12

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	Rc	Y _{Rc}	Rt	Y _{Rt}	Rv	Y _{Rv}	Rp	Y _{Rp}
1	[A1-M1]	0,00	0,00	--	--	--	--	--	--
2	[A2-M2]	0,00	0,00	--	--	--	--	--	--
3	[A2-M2] S	0,00	0,00	--	--	--	--	--	--
4	[SLEQ]	0,00	0,00	--	--	--	--	--	--
5	[SLER]	0,00	0,00	--	--	--	--	--	--

Simbologia adottata

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

1	[A1-M1]	3,91	6,55	8,60	30,85	8,17
2	[A2-M2]	4,17	11,25	11,86	77,61	56,51
3	[A2-M2] S	4,05	9,55	10,72	60,70	29,46
4	[SLEQ]	3,83	7,05	9,04	35,82	10,52
5	[SLER]	3,88	7,40	9,18	39,30	11,62

Pressioni orizzontali agenti sulla paratia

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione espressa in [m]
P	pressione sulla paratia espressa in [MPa] positiva da monte verso valle

Combinazione n° 1

N°	Y	P
1	0,00	0,0000
6	0,25	1,5742
11	0,50	3,1484
16	0,75	4,7226
21	1,00	6,2860
26	1,25	7,3335
31	1,50	8,3703
36	1,75	9,4071
41	2,00	10,4439
46	2,25	14,0079
51	2,50	20,8671
56	2,75	23,0341
61	3,00	25,0569
66	3,25	26,9498
71	3,50	28,7437
76	3,70	14,7720
11	4,00	-6,2740
16	4,25	-23,8857
21	4,50	-40,6423
26	4,75	-50,1775
31	5,00	-58,8444
36	5,25	-67,5494
41	5,50	-76,2858
46	5,75	-85,0519
51	6,00	-93,8421
56	6,25	-102,6558
61	6,50	-111,4888
66	6,75	-98,0331
71	7,00	-76,5325
76	7,25	-57,9842
81	7,50	-42,2060
86	7,75	-28,9852
91	8,00	-18,0907
96	8,25	-9,2824
101	8,50	-2,3199
106	8,75	3,0318
111	9,00	6,9972
116	9,25	9,7863
121	9,50	11,5926
126	9,75	12,5912
131	10,00	12,9381

136	10,25	12,7698
141	10,50	12,2040
146	10,75	11,3401
151	11,00	10,2602
156	11,25	9,0307
161	11,50	7,7036
166	11,75	6,3179
171	12,00	4,9016
176	12,25	3,4734
181	12,50	2,0441
186	12,75	0,6188
191	13,00	-0,8017
196	13,25	-2,2187
201	13,50	-3,6346

Combinazione n° 2

N°	Y	P
1	0,00	0,0000
6	0,25	1,5295
11	0,50	3,0591
16	0,75	4,5886
21	1,00	6,1045
26	1,25	6,9688
31	1,50	15,8571
36	1,75	16,1755
41	2,00	18,3601
46	2,25	20,3421
51	2,50	22,1728
56	2,75	23,8692
61	3,00	25,4627
66	3,25	26,9630
71	3,50	28,3927
76	3,70	19,9664
16	4,25	-3,3774
21	4,50	-13,3237
26	4,75	-17,4397
31	5,00	-20,8529
36	5,25	-24,2946
41	5,50	-27,7599
46	5,75	-31,2477
51	6,00	-34,7541
56	6,25	-38,2783
61	6,50	-41,8171
66	6,75	-45,3707
71	7,00	-48,9360
76	7,25	-52,5130
81	7,50	-56,0996
86	7,75	-59,6962
91	8,00	-63,3003
96	8,25	-66,9129
101	8,50	-70,5320
106	8,75	-74,1574
111	9,00	-77,7888
116	9,25	-81,4256
121	9,50	-85,0673
126	9,75	-88,7133
131	10,00	-92,3635
136	10,25	-96,0178
141	10,50	-99,6755
146	10,75	-103,3367
151	11,00	-107,0002
156	11,25	-110,6674
161	11,50	-65,5258
166	11,75	-18,8671
171	12,00	24,5459
176	12,25	65,3955
181	12,50	104,3411
186	12,75	141,9874
191	13,00	178,8547
196	13,25	215,3487
201	13,50	251,7329

Combinazione n° 3

N°	Y	P
1	0,00	0,0000

6	0,25	1,5762
11	0,50	3,1525
16	0,75	4,7287
21	1,00	6,2914
26	1,25	7,2024
31	1,50	8,0999
36	1,75	8,9973
41	2,00	13,1864
46	2,25	16,3439
51	2,50	17,9421
56	2,75	19,4283
61	3,00	20,8310
66	3,25	22,1602
71	3,50	23,4345
76	3,70	14,8973
16	4,25	-9,5008
21	4,50	-19,5922
26	4,75	-23,8424
31	5,00	-27,3798
36	5,25	-30,9364
41	5,50	-34,5087
46	5,75	-38,0956
51	6,00	-41,6943
56	6,25	-45,3044
61	6,50	-48,9235
66	6,75	-52,5518
71	7,00	-56,1873
76	7,25	-59,8295
81	7,50	-63,4778
86	7,75	-67,1315
91	8,00	-70,7899
96	8,25	-74,4529
101	8,50	-78,1195
106	8,75	-81,7901
111	9,00	-85,4637
116	9,25	-89,1402
121	9,50	-92,8195
126	9,75	-96,2003
131	10,00	-51,4494
136	10,25	-30,4762
141	10,50	-12,8979
146	10,75	1,6846
151	11,00	13,6734
156	11,25	23,4627
161	11,50	31,4298
166	11,75	37,9282
171	12,00	43,2816
176	12,25	47,7793
181	12,50	51,6729
186	12,75	55,1732
191	13,00	58,4475
196	13,25	61,6177
201	13,50	64,7584

Combinazione n° 4

N°	Y	P
1	0,00	0,0000
6	0,25	1,2109
11	0,50	2,4218
16	0,75	3,6327
21	1,00	4,8329
26	1,25	5,5172
31	1,50	6,1907
36	1,75	6,8642
41	2,00	7,5377
46	2,25	8,2112
51	2,50	8,8847
56	2,75	14,1583
61	3,00	15,8678
66	3,25	17,0172
71	3,50	18,1050
76	3,70	7,1345
11	4,00	-9,3743
16	4,25	-23,1749
21	4,50	-36,0977
26	4,75	-41,7773

31	5,00	-46,5708
36	5,25	-51,3855
41	5,50	-56,2172
46	5,75	-61,0647
51	6,00	-65,9254
56	6,25	-70,7982
61	6,50	-75,6809
66	6,75	-80,5733
71	7,00	-85,4736
76	7,25	-73,0491
81	7,50	-56,5482
86	7,75	-42,4052
91	8,00	-30,4540
96	8,25	-20,5091
101	8,50	-12,3746
106	8,75	-5,8516
111	9,00	-0,7436
116	9,25	3,1388
121	9,50	5,9741
126	9,75	7,9280
131	10,00	9,1513
136	10,25	9,7794
141	10,50	9,9313
146	10,75	9,7107
151	11,00	9,2054
156	11,25	8,4890
161	11,50	7,6213
166	11,75	6,6498
171	12,00	5,6111
176	12,25	4,5318
181	12,50	3,4306
186	12,75	2,3193
191	13,00	1,2046
196	13,25	0,0893
201	13,50	-1,0259

Combinazione n° 5

N°	Y	P
1	0,00	0,0000
6	0,25	1,2109
11	0,50	2,4218
16	0,75	3,6327
21	1,00	4,8329
26	1,25	5,5172
31	1,50	6,1907
36	1,75	6,8642
41	2,00	7,5377
46	2,25	9,5448
51	2,50	15,0998
56	2,75	16,6006
61	3,00	17,9917
66	3,25	19,2850
71	3,50	20,5053
76	3,70	9,6309
11	4,00	-6,7451
16	4,25	-20,4453
21	4,50	-33,2758
26	4,75	-38,8709
31	5,00	-43,5866
36	5,25	-48,3295
41	5,50	-53,0951
46	5,75	-57,8818
51	6,00	-62,6857
56	6,25	-67,5063
61	6,50	-72,3406
66	6,75	-77,1878
71	7,00	-82,0461
76	7,25	-86,9147
81	7,50	-82,3286
86	7,75	-63,2325
91	8,00	-46,8523
96	8,25	-33,0017
101	8,50	-21,4713
106	8,75	-12,0383
111	9,00	-4,4754
116	9,25	1,4426

121	9,50	5,9331
126	9,75	9,2021
131	10,00	11,4407
136	10,25	12,8235
141	10,50	13,5074
146	10,75	13,6311
151	11,00	13,3149
156	11,25	12,6615
161	11,50	11,7571
166	11,75	10,6720
171	12,00	9,4620
176	12,25	8,1705
181	12,50	6,8294
186	12,75	5,4609
191	13,00	4,0794
196	13,25	2,6933
201	13,50	1,3061

Sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente espresso in [kNm]
N	sforzo normale espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio espresso in [kN]

Combinazione n° 1

n°	Y	M	N	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,25	0,0167	0,4657	0,1967
11	0,50	0,1318	0,9315	0,7870
16	0,75	0,4437	1,3972	1,7709
21	1,00	1,0502	1,8630	3,1396
26	1,25	2,0658	2,3287	5,1056
31	1,50	3,6683	2,7945	7,8382
36	1,75	6,0505	3,2602	11,3432
41	2,00	9,4055	3,7260	15,6205
46	2,25	13,9312	4,1917	20,7806
51	2,50	20,0078	4,6575	28,1998
56	2,75	28,1399	5,1232	37,0261
61	3,00	38,6089	5,5890	46,8888
66	3,25	51,6695	6,0547	57,7536
71	3,50	67,5678	6,5205	69,5822
76	3,75	86,3212	6,9862	79,8773
81	4,00	107,1864	7,4520	86,2285
86	4,25	129,2022	7,9177	88,4336
91	4,50	151,3937	8,3835	86,8089
96	4,75	172,8651	8,8492	82,2349
101	5,00	192,9474	9,3150	75,2759
106	5,25	211,0479	9,7807	65,9448
111	5,50	226,5727	10,2465	54,2331
116	5,75	238,9260	10,7122	40,1332
121	6,00	247,5100	11,1780	23,6386
126	6,25	251,7254	11,6437	4,7433
131	6,50	250,9714	12,1095	-16,5579
136	6,75	244,7520	12,5752	-37,7648
141	7,00	233,7476	13,0410	-53,6991
146	7,25	219,2423	13,5067	-64,9039
151	7,50	202,3463	13,9725	-72,0907
156	7,75	183,9970	14,4382	-75,9206
161	8,00	164,9720	14,9040	-76,9985
166	8,25	145,9034	15,3697	-75,8702
171	8,50	127,2931	15,8355	-73,0210
176	8,75	109,5275	16,3012	-68,8769
181	9,00	92,8924	16,7670	-63,8068
186	9,25	77,5868	17,2327	-58,1253
191	9,50	63,7360	17,6985	-52,0973
196	9,75	51,4039	18,1642	-45,9417
201	10,00	40,6039	18,6300	-39,8367
206	10,25	31,3084	19,0957	-33,9243
211	10,50	23,4576	19,5615	-28,3154
216	10,75	16,9667	20,0272	-23,0940
221	11,00	11,7322	20,4930	-18,3220
226	11,25	7,6372	20,9587	-14,0431

231	11,50	4,5551	21,4245	-10,2868
236	11,75	2,3534	21,8902	-7,0712
241	12,00	0,8955	22,3560	-4,4067
246	12,25	0,0433	22,8217	-2,2978
251	12,50	-0,3423	23,2875	-0,7459
256	12,75	-0,4007	23,7532	0,2497
261	13,00	-0,2707	24,2190	0,6901
266	13,25	-0,0909	24,6847	0,5764
271	13,50	0,0000	25,1505	-0,0909

Combinazione n° 2

n°	Y	M	N	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,25	0,0163	0,4657	0,1912
11	0,50	0,1281	0,9315	0,7648
16	0,75	0,4311	1,3972	1,7208
21	1,00	1,0205	1,8630	3,0507
26	1,25	2,0061	2,3287	4,9479
31	1,50	3,6078	2,7945	8,3376
36	1,75	6,3389	3,2602	13,5927
41	2,00	10,4806	3,7260	19,7101
46	2,25	16,2817	4,1917	26,8605
51	2,50	23,9949	4,6575	35,0001
56	2,75	33,8628	5,1232	44,0931
61	3,00	46,1200	5,5890	54,1102
66	3,25	60,9944	6,0547	65,0269
71	3,50	78,7077	6,5205	76,8149
76	3,75	99,3391	6,9862	87,9272
81	4,00	122,4938	7,4520	96,9691
86	4,25	147,6421	7,9177	103,7635
91	4,50	174,2485	8,3835	108,3006
96	4,75	201,8317	8,8492	111,3823
101	5,00	230,0718	9,3150	113,3959
106	5,25	258,7047	9,7807	114,3522
111	5,50	287,4655	10,2465	114,2449
116	5,75	316,0877	10,7122	113,0683
121	6,00	344,3034	11,1780	110,8174
126	6,25	371,8435	11,6437	107,4876
131	6,50	398,4381	12,1095	103,0750
136	6,75	423,8159	12,5752	97,5758
141	7,00	447,7050	13,0410	90,9870
146	7,25	469,8327	13,5067	83,3054
151	7,50	489,9255	13,9725	74,5286
156	7,75	507,7094	14,4382	64,6541
161	8,00	522,9097	14,9040	53,6796
166	8,25	535,2513	15,3697	41,6033
171	8,50	544,4585	15,8355	28,4234
176	8,75	550,2553	16,3012	14,1381
181	9,00	552,3650	16,7670	-1,2540
186	9,25	550,5110	17,2327	-17,7543
191	9,50	544,4159	17,6985	-35,3642
196	9,75	533,8024	18,1642	-54,0846
201	10,00	518,3926	18,6300	-73,9168
206	10,25	497,9085	19,0957	-94,8617
211	10,50	472,0719	19,5615	-116,9203
216	10,75	440,6042	20,0272	-140,0933
221	11,00	403,2267	20,4930	-164,3816
226	11,25	359,6606	20,9587	-189,7859
231	11,50	310,0441	21,4245	-209,4438
236	11,75	256,7116	21,8902	-217,2581
241	12,00	202,5330	22,3560	-214,1077
246	12,25	150,1750	22,8217	-200,7017
251	12,50	102,1442	23,2875	-177,5812
256	12,75	60,8278	23,7532	-145,1301
261	13,00	28,5314	24,2190	-103,5932
266	13,25	7,5114	24,6847	-53,1019
271	13,50	0,0000	25,1505	6,2933

Combinazione n° 3

n°	Y	M	N	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,25	0,0167	0,4657	0,1970
11	0,50	0,1320	0,9315	0,7882
16	0,75	0,4443	1,3972	1,7733
21	1,00	1,0517	1,8630	3,1441

26	1,25	2,0670	2,3287	5,0939
31	1,50	3,6610	2,7945	7,7765
36	1,75	6,0179	3,2602	11,1965
41	2,00	9,3365	3,7260	15,6027
46	2,25	13,9759	4,1917	21,7134
51	2,50	20,2748	4,6575	28,8240
56	2,75	28,4642	5,1232	36,8327
61	3,00	38,7654	5,5890	45,7153
66	3,25	51,3945	6,0547	55,4523
71	3,50	66,5624	6,5205	66,0210
76	3,75	84,3388	6,9862	75,8755
81	4,00	104,3200	7,4520	83,6279
86	4,25	125,9583	7,9177	88,8428
91	4,50	148,6799	8,3835	91,8271
96	4,75	171,9866	8,8492	93,3213
101	5,00	195,5501	9,3150	93,7154
106	5,25	219,0986	9,7807	93,0226
111	5,50	242,3599	10,2465	91,2387
116	5,75	265,0607	10,7122	88,3599
121	6,00	286,9272	11,1780	84,3830
126	6,25	307,6844	11,6437	79,3052
131	6,50	327,0568	12,1095	73,1238
136	6,75	344,7684	12,5752	65,8368
141	7,00	360,5425	13,0410	57,4420
146	7,25	374,1020	13,5067	47,9377
151	7,50	385,1693	13,9725	37,3225
156	7,75	393,4667	14,4382	25,5947
161	8,00	398,7158	14,9040	12,7533
166	8,25	400,6380	15,3697	-1,2031
171	8,50	398,9546	15,8355	-16,2753
176	8,75	393,3865	16,3012	-32,4643
181	9,00	383,6545	16,7670	-49,7709
186	9,25	369,4789	17,2327	-68,1960
191	9,50	350,5802	17,6985	-87,7401
196	9,75	326,7624	18,1642	-106,2291
201	10,00	298,9232	18,6300	-118,5937
206	10,25	268,5480	19,0957	-125,5443
211	10,50	236,8997	19,5615	-127,9682
216	10,75	205,0289	20,0272	-126,6545
221	11,00	173,7992	20,4930	-122,2918
226	11,25	143,9120	20,9587	-115,4691
231	11,50	115,9311	21,4245	-106,6793
236	11,75	90,3063	21,8902	-96,3244
241	12,00	67,3956	22,3560	-84,7224
246	12,25	47,4850	22,8217	-72,1153
251	12,50	30,8071	23,2875	-58,6786
256	12,75	17,5563	23,7532	-44,5309
261	13,00	7,9024	24,2190	-29,7444
266	13,25	2,0008	24,6847	-14,3565
271	13,50	0,0000	25,1505	1,6190

Combinazione n° 4

n°	Y	M	N	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,25	0,0129	0,4657	0,1514
11	0,50	0,1014	0,9315	0,6055
16	0,75	0,3413	1,3972	1,3623
21	1,00	0,8079	1,8630	2,4152
26	1,25	1,5928	2,3287	3,9707
31	1,50	2,8510	2,7945	6,2039
36	1,75	4,7527	3,2602	9,1187
41	2,00	7,4683	3,7260	12,7150
46	2,25	11,1681	4,1917	16,9929
51	2,50	16,0226	4,6575	21,9522
56	2,75	22,2470	5,1232	28,1546
61	3,00	30,2244	5,5890	35,8060
66	3,25	40,2191	6,0547	44,2798
71	3,50	52,4313	6,5205	53,5403
76	3,75	66,8855	6,9862	61,6657
81	4,00	83,0190	7,4520	66,6691
86	4,25	100,1056	7,9177	68,6706
91	4,50	117,4125	8,3835	67,7985
96	4,75	134,2834	8,8492	64,9389
101	5,00	150,2904	9,3150	60,6608
106	5,25	165,0828	9,7807	54,9815
111	5,50	178,3100	10,2465	47,8964

116	5,75	189,6200	10,7122	39,4014
121	6,00	198,6600	11,1780	29,4930
126	6,25	205,0762	11,6437	18,1679
131	6,50	208,5144	12,1095	5,4236
136	6,75	208,6193	12,5752	-8,7425
141	7,00	205,0354	13,0410	-24,3324
146	7,25	197,5035	13,5067	-39,2752
151	7,50	186,6447	13,9725	-50,1245
156	7,75	173,4372	14,4382	-57,4050
161	8,00	158,7158	14,9040	-61,6815
166	8,25	143,1786	15,3697	-63,4746
171	8,50	127,3983	15,8355	-63,2565
176	8,75	111,8342	16,3012	-61,4501
181	9,00	96,8452	16,7670	-58,4287
186	9,25	82,7017	17,2327	-54,5173
191	9,50	69,5972	17,6985	-49,9953
196	9,75	57,6599	18,1642	-45,0995
201	10,00	46,9628	18,6300	-40,0272
206	10,25	37,5331	19,0957	-34,9405
211	10,50	29,3609	19,5615	-29,9700
216	10,75	22,4061	20,0272	-25,2188
221	11,00	16,6056	20,4930	-20,7667
226	11,25	11,8783	20,9587	-16,6734
231	11,50	8,1299	21,4245	-12,9826
236	11,75	5,2563	21,8902	-9,7246
241	12,00	3,1473	22,3560	-6,9198
246	12,25	1,6881	22,8217	-4,5808
251	12,50	0,7614	23,2875	-2,7147
256	12,75	0,2487	23,7532	-1,3252
261	13,00	0,0306	24,2190	-0,4137
266	13,25	-0,0124	24,6847	0,0195
271	13,50	0,0000	25,1505	-0,0256

Combinazione n° 5

n°	Y	M	N	T
1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,25	0,0129	0,4657	0,1514
11	0,50	0,1014	0,9315	0,6055
16	0,75	0,3413	1,3972	1,3623
21	1,00	0,8079	1,8630	2,4152
26	1,25	1,5928	2,3287	3,9707
31	1,50	2,8510	2,7945	6,2040
36	1,75	4,7527	3,2602	9,1187
41	2,00	7,4683	3,7260	12,7150
46	2,25	11,1690	4,1917	17,0262
51	2,50	16,1445	4,6575	23,0982
56	2,75	22,8138	5,1232	30,3988
61	3,00	31,4182	5,5890	38,5736
66	3,25	42,1727	6,0547	47,5967
71	3,50	55,2864	6,5205	57,4402
76	3,75	70,7920	6,9862	66,1814
81	4,00	88,1353	7,4520	71,8990
86	4,25	106,5961	7,9177	74,5730
91	4,50	125,4477	8,3835	74,3973
96	4,75	144,0397	8,8492	72,2560
101	5,00	161,9495	9,3150	68,7163
106	5,25	178,8312	9,7807	63,7940
111	5,50	194,3385	10,2465	57,4829
116	5,75	208,1238	10,7122	49,7777
121	6,00	219,8380	11,1780	40,6735
126	6,25	229,1310	11,6437	30,1663
131	6,50	235,6515	12,1095	18,2523
136	6,75	239,0476	12,5752	4,9282
141	7,00	238,9664	13,0410	-9,8090
146	7,25	235,0544	13,5067	-25,9619
151	7,50	226,9683	13,9725	-42,8432
156	7,75	214,9874	14,4382	-55,8154
161	8,00	200,1884	14,9040	-64,6239
166	8,25	183,5460	15,3697	-69,9203
171	8,50	165,8771	15,8355	-72,3061
176	8,75	147,8535	16,3012	-72,3279
181	9,00	130,0161	16,7670	-70,4761
186	9,25	112,7887	17,2327	-67,1843
191	9,50	96,4925	17,6985	-62,8309
196	9,75	81,3593	18,1642	-57,7417
201	10,00	67,5443	18,6300	-52,1930

206	10,25	55,1386	19,0957	-46,4159
211	10,50	44,1794	19,5615	-40,6005
216	10,75	34,6603	20,0272	-34,9002
221	11,00	26,5398	20,4930	-29,4368
226	11,25	19,7486	20,9587	-24,3045
231	11,50	14,1965	21,4245	-19,5743
236	11,75	9,7775	21,8902	-15,2981
241	12,00	6,3741	22,3560	-11,5124
246	12,25	3,8609	22,8217	-8,2418
251	12,50	2,1077	23,2875	-5,5016
256	12,75	0,9807	23,7532	-3,3007
261	13,00	0,3446	24,2190	-1,6437
266	13,25	0,0632	24,6847	-0,5324
271	13,50	0,0000	25,1505	0,0327

Spostamenti della paratia

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
u	spostamento orizzontale espresso in [cm] positivo verso valle
v	spostamento verticale espresso in [cm] positivo verso il basso

Combinazione n° 1

N°	Y	u	v
1	0,00	4,69277	0,00341
6	0,25	4,50590	0,00341
11	0,50	4,31903	0,00340
16	0,75	4,13217	0,00340
21	1,00	3,94532	0,00339
26	1,25	3,75853	0,00338
31	1,50	3,57182	0,00336
36	1,75	3,38526	0,00335
41	2,00	3,19897	0,00333
46	2,25	3,01307	0,00331
51	2,50	2,82776	0,00329
56	2,75	2,64330	0,00326
61	3,00	2,46003	0,00324
66	3,25	2,27839	0,00321
71	3,50	2,09893	0,00318
76	3,75	1,92231	0,00314
81	4,00	1,74932	0,00311
86	4,25	1,58083	0,00307
91	4,50	1,41777	0,00303
96	4,75	1,26106	0,00298
101	5,00	1,11159	0,00294
106	5,25	0,97021	0,00289
111	5,50	0,83769	0,00284
116	5,75	0,71465	0,00279
121	6,00	0,60163	0,00273
126	6,25	0,49898	0,00268
131	6,50	0,40688	0,00262
136	6,75	0,32528	0,00255
141	7,00	0,25394	0,00249
146	7,25	0,19240	0,00242
151	7,50	0,14004	0,00235
156	7,75	0,09618	0,00228
161	8,00	0,06003	0,00221
166	8,25	0,03080	0,00213
171	8,50	0,00770	0,00206
176	8,75	-0,01006	0,00198
181	9,00	-0,02322	0,00189
186	9,25	-0,03247	0,00181
191	9,50	-0,03847	0,00172
196	9,75	-0,04178	0,00163
201	10,00	-0,04293	0,00154
206	10,25	-0,04237	0,00144
211	10,50	-0,04049	0,00135
216	10,75	-0,03763	0,00125
221	11,00	-0,03404	0,00114
226	11,25	-0,02996	0,00104
231	11,50	-0,02556	0,00093
236	11,75	-0,02096	0,00083
241	12,00	-0,01626	0,00071
246	12,25	-0,01152	0,00060

251	12,50	-0,00678	0,00049
256	12,75	-0,00205	0,00037
261	13,00	0,00266	0,00025
266	13,25	0,00736	0,00012
271	13,50	0,01206	0,00000

Combinazione n° 2

N°	Y	u	v
1	0,00	24,86672	0,00341
6	0,25	24,17030	0,00341
11	0,50	23,47388	0,00340
16	0,75	22,77746	0,00340
21	1,00	22,08107	0,00339
26	1,25	21,38471	0,00338
31	1,50	20,68845	0,00336
36	1,75	19,99234	0,00335
41	2,00	19,29650	0,00333
46	2,25	18,60110	0,00331
51	2,50	17,90640	0,00329
56	2,75	17,21271	0,00326
61	3,00	16,52045	0,00324
66	3,25	15,83013	0,00321
71	3,50	15,14239	0,00318
76	3,75	14,45795	0,00314
81	4,00	13,77770	0,00311
86	4,25	13,10259	0,00307
91	4,50	12,43368	0,00303
96	4,75	11,77209	0,00298
101	5,00	11,11897	0,00294
106	5,25	10,47550	0,00289
111	5,50	9,84289	0,00284
116	5,75	9,22235	0,00279
121	6,00	8,61506	0,00273
126	6,25	8,02223	0,00268
131	6,50	7,44499	0,00262
136	6,75	6,88447	0,00255
141	7,00	6,34172	0,00249
146	7,25	5,81776	0,00242
151	7,50	5,31351	0,00236
156	7,75	4,82981	0,00228
161	8,00	4,36740	0,00221
166	8,25	3,92692	0,00213
171	8,50	3,50890	0,00206
176	8,75	3,11371	0,00198
181	9,00	2,74160	0,00189
186	9,25	2,39265	0,00181
191	9,50	2,06679	0,00172
196	9,75	1,76376	0,00163
201	10,00	1,48311	0,00154
206	10,25	1,22419	0,00144
211	10,50	0,98615	0,00135
216	10,75	0,76790	0,00125
221	11,00	0,56812	0,00114
226	11,25	0,38523	0,00104
231	11,50	0,21742	0,00093
236	11,75	0,06260	0,00083
241	12,00	-0,08145	0,00071
246	12,25	-0,21699	0,00060
251	12,50	-0,34621	0,00049
256	12,75	-0,47113	0,00037
261	13,00	-0,59345	0,00025
266	13,25	-0,71454	0,00012
271	13,50	-0,83527	0,00000

Combinazione n° 3

N°	Y	u	v
1	0,00	12,58890	0,00341
6	0,25	12,18790	0,00341
11	0,50	11,78690	0,00340
16	0,75	11,38590	0,00340
21	1,00	10,98493	0,00339
26	1,25	10,58400	0,00338
31	1,50	10,18316	0,00336
36	1,75	9,78248	0,00335
41	2,00	9,38205	0,00333

46	2,25	8,98202	0,00331
51	2,50	8,58258	0,00329
56	2,75	8,18400	0,00326
61	3,00	7,78662	0,00324
66	3,25	7,39088	0,00321
71	3,50	6,99730	0,00318
76	3,75	6,60652	0,00314
81	4,00	6,21929	0,00311
86	4,25	5,83645	0,00307
91	4,50	5,45889	0,00303
96	4,75	5,08757	0,00298
101	5,00	4,72348	0,00294
106	5,25	4,36759	0,00289
111	5,50	4,02089	0,00284
116	5,75	3,68436	0,00279
121	6,00	3,35894	0,00273
126	6,25	3,04557	0,00268
131	6,50	2,74510	0,00262
136	6,75	2,45835	0,00255
141	7,00	2,18606	0,00249
146	7,25	1,92889	0,00242
151	7,50	1,68741	0,00235
156	7,75	1,46209	0,00228
161	8,00	1,25326	0,00221
166	8,25	1,06116	0,00213
171	8,50	0,88585	0,00206
176	8,75	0,72727	0,00198
181	9,00	0,58518	0,00189
186	9,25	0,45918	0,00181
191	9,50	0,34866	0,00172
196	9,75	0,25284	0,00163
201	10,00	0,17071	0,00154
206	10,25	0,10112	0,00144
211	10,50	0,04280	0,00135
216	10,75	-0,00559	0,00125
221	11,00	-0,04537	0,00114
226	11,25	-0,07785	0,00104
231	11,50	-0,10429	0,00093
236	11,75	-0,12585	0,00083
241	12,00	-0,14361	0,00071
246	12,25	-0,15854	0,00060
251	12,50	-0,17145	0,00049
256	12,75	-0,18307	0,00037
261	13,00	-0,19393	0,00025
266	13,25	-0,20445	0,00012
271	13,50	-0,21487	0,00000

Combinazione n° 4

N°	Y	u	v
1	0,00	4,26714	0,00341
6	0,25	4,10338	0,00341
11	0,50	3,93963	0,00340
16	0,75	3,77588	0,00340
21	1,00	3,61214	0,00339
26	1,25	3,44844	0,00338
31	1,50	3,28481	0,00336
36	1,75	3,12130	0,00335
41	2,00	2,95799	0,00333
46	2,25	2,79500	0,00331
51	2,50	2,63248	0,00329
56	2,75	2,47064	0,00326
61	3,00	2,30974	0,00324
66	3,25	2,15012	0,00321
71	3,50	1,99219	0,00318
76	3,75	1,83646	0,00314
81	4,00	1,68356	0,00311
86	4,25	1,53413	0,00307
91	4,50	1,38891	0,00303
96	4,75	1,24862	0,00298
101	5,00	1,11395	0,00294
106	5,25	0,98559	0,00289
111	5,50	0,86415	0,00284
116	5,75	0,75018	0,00279
121	6,00	0,64417	0,00273
126	6,25	0,54648	0,00268
131	6,50	0,45738	0,00262

136	6,75	0,37703	0,00255
141	7,00	0,30541	0,00249
146	7,25	0,24238	0,00242
151	7,50	0,18763	0,00235
156	7,75	0,14070	0,00228
161	8,00	0,10105	0,00221
166	8,25	0,06805	0,00213
171	8,50	0,04106	0,00206
176	8,75	0,01942	0,00198
181	9,00	0,00247	0,00189
186	9,25	-0,01041	0,00181
191	9,50	-0,01982	0,00172
196	9,75	-0,02631	0,00163
201	10,00	-0,03036	0,00154
206	10,25	-0,03245	0,00144
211	10,50	-0,03295	0,00135
216	10,75	-0,03222	0,00125
221	11,00	-0,03054	0,00114
226	11,25	-0,02817	0,00104
231	11,50	-0,02529	0,00093
236	11,75	-0,02206	0,00083
241	12,00	-0,01862	0,00071
246	12,25	-0,01504	0,00060
251	12,50	-0,01138	0,00049
256	12,75	-0,00770	0,00037
261	13,00	-0,00400	0,00025
266	13,25	-0,00030	0,00012
271	13,50	0,00340	0,00000

Combinazione n° 5

N°	Y	u	v
1	0,00	5,17528	0,00341
6	0,25	4,98188	0,00341
11	0,50	4,78849	0,00340
16	0,75	4,59510	0,00340
21	1,00	4,40173	0,00339
26	1,25	4,20839	0,00338
31	1,50	4,01512	0,00336
36	1,75	3,82197	0,00335
41	2,00	3,62902	0,00333
46	2,25	3,43639	0,00331
51	2,50	3,24424	0,00329
56	2,75	3,05277	0,00326
61	3,00	2,86226	0,00324
66	3,25	2,67307	0,00321
71	3,50	2,48567	0,00318
76	3,75	2,30059	0,00314
81	4,00	2,11850	0,00311
86	4,25	1,94010	0,00307
91	4,50	1,76618	0,00303
96	4,75	1,59752	0,00298
101	5,00	1,43490	0,00294
106	5,25	1,27907	0,00289
111	5,50	1,13075	0,00284
116	5,75	0,99057	0,00279
121	6,00	0,85912	0,00273
126	6,25	0,73688	0,00268
131	6,50	0,62425	0,00262
136	6,75	0,52150	0,00255
141	7,00	0,42877	0,00249
146	7,25	0,34605	0,00242
151	7,50	0,27317	0,00235
156	7,75	0,20981	0,00228
161	8,00	0,15546	0,00221
166	8,25	0,10950	0,00213
171	8,50	0,07124	0,00206
176	8,75	0,03994	0,00198
181	9,00	0,01485	0,00189
186	9,25	-0,00479	0,00181
191	9,50	-0,01969	0,00172
196	9,75	-0,03053	0,00163
201	10,00	-0,03796	0,00154
206	10,25	-0,04255	0,00144
211	10,50	-0,04482	0,00135
216	10,75	-0,04523	0,00125
221	11,00	-0,04418	0,00114

226	11,25	-0,04201	0,00104
231	11,50	-0,03901	0,00093
236	11,75	-0,03541	0,00083
241	12,00	-0,03140	0,00071
246	12,25	-0,02711	0,00060
251	12,50	-0,02266	0,00049
256	12,75	-0,01812	0,00037
261	13,00	-0,01354	0,00025
266	13,25	-0,00894	0,00012
271	13,50	-0,00433	0,00000

Stabilità globale

Metodo di Bishop
Numero di cerchi analizzati 100

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	(X _c , Y _c)	R	(X _v , Y _v)	(X _m , Y _m)	FS
2	[A2-M2]	(-1,35; 4,05)	17,60	(-17,26; -3,49)	(16,13; 1,90)	2,11
3	[A2-M2] S	(-1,35; 8,10)	21,64	(-19,63; -3,48)	(19,39; 1,90)	2,23

Combinazione n° 2

Numero di strisce 50

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [MPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] (L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [MPa]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

Caratteristiche delle strisce

N°	W	α(°)	Wsinα	L	φ	c	u	(Ctn; Ctt)
1	7,6020	-62,32	-686,48	1,43	26,12	0,0000	0,0000	(0,00; 0,00)
2	21,8822	-57,96	-1891,45	1,25	26,12	0,0000	0,0077	(0,00; 0,00)
3	34,0187	-54,08	-2809,29	1,13	26,12	0,0000	0,0174	(0,00; 0,00)
4	44,5944	-50,54	-3510,81	1,04	26,12	0,0000	0,0258	(0,00; 0,00)
5	53,9526	-47,25	-4039,80	0,98	26,12	0,0000	0,0333	(0,00; 0,00)
6	62,3165	-44,15	-4426,18	0,93	26,12	0,0000	0,0400	(0,00; 0,00)
7	69,8409	-41,21	-4691,83	0,88	26,12	0,0000	0,0460	(0,00; 0,00)
8	76,6384	-38,39	-4853,59	0,85	26,12	0,0000	0,0514	(0,00; 0,00)
9	82,7942	-35,69	-4924,91	0,82	26,12	0,0000	0,0563	(0,00; 0,00)
10	88,3739	-33,07	-4916,83	0,79	26,12	0,0000	0,0608	(0,00; 0,00)
11	93,4295	-30,52	-4838,71	0,77	26,12	0,0000	0,0648	(0,00; 0,00)
12	98,0029	-28,05	-4698,60	0,75	26,12	0,0000	0,0685	(0,00; 0,00)
13	102,1281	-25,62	-4503,55	0,74	26,12	0,0000	0,0718	(0,00; 0,00)
14	105,8332	-23,25	-4259,88	0,72	26,12	0,0000	0,0747	(0,00; 0,00)
15	109,1413	-20,92	-3973,26	0,71	26,12	0,0000	0,0774	(0,00; 0,00)
16	112,0717	-18,62	-3648,91	0,70	26,12	0,0000	0,0797	(0,00; 0,00)
17	114,6405	-16,35	-3291,65	0,69	26,12	0,0000	0,0818	(0,00; 0,00)
18	116,8609	-14,11	-2905,97	0,68	26,12	0,0000	0,0835	(0,00; 0,00)
19	118,7441	-11,90	-2496,13	0,68	26,12	0,0000	0,0850	(0,00; 0,00)
20	120,2988	-9,70	-2066,16	0,67	26,12	0,0000	0,0863	(0,00; 0,00)
21	121,5324	-7,51	-1619,96	0,67	26,12	0,0000	0,0873	(0,00; 0,00)
22	122,4503	-5,34	-1161,28	0,67	26,12	0,0000	0,0880	(0,00; 0,00)
23	123,0566	-3,17	-693,79	0,66	26,12	0,0000	0,0885	(0,00; 0,00)
24	123,3539	-1,01	-221,08	0,66	26,12	0,0000	0,0887	(0,00; 0,00)
25	123,3435	1,15	253,29	0,66	26,12	0,0000	0,0887	(0,00; 0,00)

26	123,0252	3,32	725,76	0,66	26,12	0,0000	0,0884	(0,00; 0,00)
27	167,4180	5,50	1635,49	0,68	26,12	0,0000	0,1223	(0,00; 0,00)
28	166,4514	7,70	2274,12	0,68	26,12	0,0000	0,1215	(0,00; 0,00)
29	165,1567	9,91	2899,46	0,68	26,12	0,0000	0,1205	(0,00; 0,00)
30	163,8544	12,14	3514,57	0,69	26,12	0,0000	0,1192	(0,00; 0,00)
31	168,0691	14,39	4259,35	0,69	26,12	0,0000	0,1176	(0,00; 0,00)
32	174,1006	16,66	5090,09	0,70	26,12	0,0000	0,1158	(0,00; 0,00)
33	186,8112	18,96	6189,08	0,71	26,12	0,0000	0,1137	(0,00; 0,00)
34	194,5790	21,29	7204,07	0,72	26,12	0,0000	0,1113	(0,00; 0,00)
35	191,1218	23,66	7820,26	0,73	26,12	0,0000	0,1086	(0,00; 0,00)
36	187,2488	26,07	8390,92	0,75	26,12	0,0000	0,1055	(0,00; 0,00)
37	182,9348	28,53	8909,97	0,76	26,12	0,0000	0,1021	(0,00; 0,00)
38	178,1493	31,05	9370,65	0,78	26,12	0,0000	0,0983	(0,00; 0,00)
39	172,8549	33,64	9765,35	0,81	26,12	0,0000	0,0941	(0,00; 0,00)
40	167,0057	36,32	10085,36	0,83	26,12	0,0000	0,0895	(0,00; 0,00)
41	160,5441	39,08	10320,50	0,87	26,12	0,0000	0,0844	(0,00; 0,00)
42	153,3966	41,96	10458,62	0,90	26,12	0,0000	0,0788	(0,00; 0,00)
43	145,4676	44,98	10484,84	0,95	26,12	0,0000	0,0725	(0,00; 0,00)
44	136,6288	48,16	10380,28	1,01	26,12	0,0000	0,0656	(0,00; 0,00)
45	126,7006	51,56	10120,03	1,08	26,12	0,0000	0,0577	(0,00; 0,00)
46	115,4191	55,24	9669,31	1,18	26,12	0,0000	0,0488	(0,00; 0,00)
47	102,3651	59,30	8975,65	1,32	26,12	0,0000	0,0385	(0,00; 0,00)
48	86,7907	63,94	7950,07	1,53	26,12	0,0000	0,0262	(0,00; 0,00)
49	55,2179	69,56	5276,05	1,92	26,12	0,0000	0,0107	(0,00; 0,00)
50	19,1841	77,72	1911,43	3,16	26,12	0,0000	0,0000	(0,00; 0,00)

Resistenza a taglio paratia= 0,0000 [kN]
 $\Sigma W_i = 5937,3969$ [kN]
 $\Sigma W_i \sin \alpha_i = 949,3425$ [kN]
 $\Sigma W_i \tan \phi_i = 2910,7532$ [kN]
 $\Sigma \tan \alpha_i \phi_i = 3.84$

Verifiche idrauliche

Verifica a sifonamento

Simbologia adottata

ic : Indice della combinazione
 Tipo : Tipo di Combinazione/Fase
 ΔH : Perdita di carico espressa in [m]
 L : Lunghezza di filtrazione espressa in [m]
 γ_m : Peso di galleggiamento medio espresso in [kN/mc]
 ic : Gradiente idraulico critico
 ie : Gradiente idraulico di efflusso
 FS_{sif} : Coefficiente di sicurezza a sifonamento

Coefficiente di sicurezza a sifonamento richiesto $FS_R = 3.00$

ic	Tipo	ΔH	L	γ_m	ic	ie	FS_{sif}
1	[A1-M1]						
2	[A2-M2]						
3	[A2-M2] S						
4	[SLEQ]						
5	[SLEP]						

Verifica al sollevamento del fondo scavo

Simbologia adottata

ic : Indice della combinazione
 Tipo : Tipo della Combinazione/Fase
 ΔH : Perdita di carico espressa in [m]
 L : Lunghezza di filtrazione espressa in [m]
 ie : Gradiente idraulico di efflusso
 I : Profondità di infissione espressa in [m]
 σ_t : Pressione totale al piede della paratia espressa in [MPa]
 u_w : Pressione idrica al piede della paratia espressa in [MPa]
 FS_{scavo} : Coefficiente di sicurezza a sollevamento fondo scavo

Coefficiente di sicurezza a sollevamento del fondo scavo richiesto $FS_R = 1.50$

ic	Tipo	ΔH	L	ie	I	σ_t	u_w	FS_{scavo}
1	[A1-M1]	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80
2	[A2-M2]	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80
3	[A2-M2] S	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80
4	[SLEQ]	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80
5	[SLEP]	3,50	21,50	0,16	10,00	1850,000	1026,294	1,80

Descrizione armatura caratteristiche sezione

Area della sezione	242,00	cmq
Inerzia della sezione	72320,00	cm ⁴
Modulo di resistenza	3200,00	cm ³
Fattore di taglio	2,90	

Verifica armatura paratia (Inviluppo)

Simbologia adottata

n° : Indice della Combinazione/Fase
 Tipo : Tipo della Combinazione/Fase
 Y : ordinata della sezione con fattore di sicurezza minimo, espressa in [m]
 M : momento flettente, espresso in [kNm]
 N : sforzo normale, espresso in [kN] (positivo di compressione)
 Mu : momento ultimo di riferimento, espresso in [kNm]
 Nu : sforzo normale ultimo di riferimento, espresso in [kN]
 FS : fattore di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)
 T : taglio, espresso in [kN]
 Tr : Taglio resistente, espresso in [kN]
 FS_t : fattore di sicurezza a taglio

n°	Tipo	Y	M	Mu	FS	T	Tr	FS _t
1	[A1-M1]	0,00	0,00	1246,56	1000,00	0,00	0,00	10000,00
3	[A2-M2] S	0,25	0,02	1246,56	74423,67	0,20	1479,07	7506,15
3	[A2-M2] S	0,50	0,13	1246,56	9442,32	0,79	1479,07	1876,62
3	[A2-M2] S	0,75	0,44	1246,56	2805,53	1,77	1479,07	834,07
3	[A2-M2] S	1,00	1,05	1246,56	1185,32	3,14	1479,07	470,42
3	[A2-M2] S	1,25	2,07	1246,56	603,08	5,11	1479,07	289,70
1	[A1-M1]	1,50	3,67	1246,56	339,82	8,34	1479,07	177,40
2	[A2-M2]	1,75	6,34	1246,56	196,65	13,59	1479,07	108,81
2	[A2-M2]	2,00	10,48	1246,56	118,94	19,71	1479,07	75,04
2	[A2-M2]	2,25	16,28	1246,56	76,56	26,86	1479,07	55,06
2	[A2-M2]	2,50	23,99	1246,56	51,95	35,00	1479,07	42,26
2	[A2-M2]	2,75	33,86	1246,56	36,81	44,09	1479,07	33,54
2	[A2-M2]	3,00	46,12	1246,56	27,03	54,11	1479,07	27,33
2	[A2-M2]	3,25	60,99	1246,56	20,44	65,03	1479,07	22,75
2	[A2-M2]	3,50	78,71	1246,56	15,84	76,81	1479,07	19,26
2	[A2-M2]	3,75	99,34	1246,56	12,55	87,93	1479,07	16,82
2	[A2-M2]	4,00	122,49	1246,56	10,18	96,97	1479,07	15,25
2	[A2-M2]	4,25	147,64	1246,56	8,44	103,76	1479,07	14,25
2	[A2-M2]	4,50	174,25	1246,56	7,15	108,30	1479,07	13,66
2	[A2-M2]	4,75	201,83	1246,56	6,18	111,38	1479,07	13,28
2	[A2-M2]	5,00	230,07	1246,56	5,42	113,40	1479,07	13,04
2	[A2-M2]	5,25	258,70	1246,56	4,82	114,35	1479,07	12,93
2	[A2-M2]	5,50	287,47	1246,56	4,34	114,24	1479,07	12,95
2	[A2-M2]	5,75	316,09	1246,56	3,94	113,07	1479,07	13,08
2	[A2-M2]	6,00	344,30	1246,56	3,62	110,82	1479,07	13,35
2	[A2-M2]	6,25	371,84	1246,56	3,35	107,49	1479,07	13,76
2	[A2-M2]	6,50	398,44	1246,56	3,13	103,07	1479,07	14,35
2	[A2-M2]	6,75	423,82	1246,56	2,94	97,58	1479,07	15,16
2	[A2-M2]	7,00	447,70	1246,56	2,78	90,99	1479,07	16,26
2	[A2-M2]	7,25	469,83	1246,56	2,65	83,31	1479,07	17,75
2	[A2-M2]	7,50	489,93	1246,56	2,54	74,53	1479,07	19,85
2	[A2-M2]	7,75	507,71	1246,56	2,46	-75,92	1479,07	19,48
2	[A2-M2]	8,00	522,91	1246,56	2,38	-77,00	1479,07	19,21
2	[A2-M2]	8,25	535,25	1246,56	2,33	-75,87	1479,07	19,49
2	[A2-M2]	8,50	544,46	1246,56	2,29	-73,02	1479,07	20,26
2	[A2-M2]	8,75	550,26	1246,56	2,27	-68,88	1479,07	21,47
2	[A2-M2]	9,00	552,37	1246,56	2,26	-63,81	1479,07	23,18
2	[A2-M2]	9,25	550,51	1246,56	2,26	-68,20	1479,07	21,69
2	[A2-M2]	9,50	544,42	1246,56	2,29	-87,74	1479,07	16,86
2	[A2-M2]	9,75	533,80	1246,56	2,34	-106,23	1479,07	13,92
2	[A2-M2]	10,00	518,39	1246,56	2,40	-118,59	1479,07	12,47
2	[A2-M2]	10,25	497,91	1246,56	2,50	-125,54	1479,07	11,78
2	[A2-M2]	10,50	472,07	1246,56	2,64	-127,97	1479,07	11,56
2	[A2-M2]	10,75	440,60	1246,56	2,83	-140,09	1479,07	10,56
2	[A2-M2]	11,00	403,23	1246,56	3,09	-164,38	1479,07	9,00
2	[A2-M2]	11,25	359,66	1246,56	3,47	-189,79	1479,07	7,79
2	[A2-M2]	11,50	310,04	1246,56	4,02	-209,44	1479,07	7,06
2	[A2-M2]	11,75	256,71	1246,56	4,86	-217,26	1479,07	6,81
2	[A2-M2]	12,00	202,53	1246,56	6,15	-214,11	1479,07	6,91
2	[A2-M2]	12,25	150,18	1246,56	8,30	-200,70	1479,07	7,37
2	[A2-M2]	12,50	102,14	1246,56	12,20	-177,58	1479,07	8,33
2	[A2-M2]	12,75	60,83	1246,56	20,49	-145,13	1479,07	10,19

2	[A2-M2]	13,00	28,53	1246,56	43,69	-103,59	1479,07	14,28
2	[A2-M2]	13,25	7,51	1246,56	165,96	-53,10	1479,07	27,85

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione, espressa in [m]
σ_c	tensione ideale nell'acciaio, espressa in [MPa]
σ_t	tensione normale in [MPa]
τ_t	tensione tangenziale in [MPa]

Y	σ_c	n° - Tipo	σ_t	n° - Tipo	σ_{id}	n° - Tipo	τ_t	n° - Tipo
0,00	0,000	4 - [SLEQ]	0,000	5 - [SLER]	0,000	5 - [SLER]	0,000	5 - [SLER]
0,25	0,023	5 - [SLER]	0,015	4 - [SLEQ]	0,039	5 - [SLER]	0,018	5 - [SLER]
0,50	0,070	5 - [SLER]	0,007	4 - [SLEQ]	0,144	5 - [SLER]	0,073	5 - [SLER]
0,75	0,164	5 - [SLER]	-0,049	4 - [SLEQ]	0,327	5 - [SLER]	0,163	5 - [SLER]
1,00	0,329	5 - [SLER]	-0,175	4 - [SLEQ]	0,600	5 - [SLER]	0,289	5 - [SLER]
1,25	0,594	5 - [SLER]	-0,402	4 - [SLEQ]	1,016	5 - [SLER]	0,476	5 - [SLER]
1,50	1,006	5 - [SLER]	-0,775	4 - [SLEQ]	1,634	5 - [SLER]	0,743	5 - [SLER]
1,75	1,620	5 - [SLER]	-1,350	4 - [SLEQ]	2,491	5 - [SLER]	1,093	5 - [SLER]
2,00	2,488	5 - [SLER]	-2,180	4 - [SLEQ]	3,627	5 - [SLER]	1,524	5 - [SLER]
2,25	3,664	5 - [SLER]	-3,317	4 - [SLEQ]	5,090	5 - [SLER]	2,040	5 - [SLER]
2,50	5,238	5 - [SLER]	-4,815	4 - [SLEQ]	7,101	5 - [SLER]	2,768	5 - [SLER]
2,75	7,341	5 - [SLER]	-6,740	4 - [SLEQ]	9,680	5 - [SLER]	3,643	5 - [SLER]
3,00	10,049	5 - [SLER]	-9,214	4 - [SLEQ]	12,849	5 - [SLER]	4,622	5 - [SLER]
3,25	13,429	5 - [SLER]	-12,318	4 - [SLEQ]	16,672	5 - [SLER]	5,704	5 - [SLER]
3,50	17,546	5 - [SLER]	-16,115	4 - [SLEQ]	21,214	5 - [SLER]	6,883	5 - [SLER]
3,75	22,411	5 - [SLER]	-20,613	4 - [SLEQ]	26,286	5 - [SLER]	7,931	5 - [SLER]
4,00	27,850	5 - [SLER]	-25,636	4 - [SLEQ]	31,597	5 - [SLER]	8,616	5 - [SLER]
4,25	33,638	5 - [SLER]	-30,956	4 - [SLEQ]	37,029	5 - [SLER]	8,936	5 - [SLER]
4,50	39,549	5 - [SLER]	-36,345	4 - [SLEQ]	42,457	5 - [SLER]	8,915	5 - [SLER]
4,75	45,378	5 - [SLER]	-41,598	4 - [SLEQ]	47,792	5 - [SLER]	8,659	5 - [SLER]
5,00	50,994	5 - [SLER]	-46,581	4 - [SLEQ]	52,951	5 - [SLER]	8,235	5 - [SLER]
5,25	56,289	5 - [SLER]	-51,184	4 - [SLEQ]	57,825	5 - [SLER]	7,645	5 - [SLER]
5,50	61,154	5 - [SLER]	-55,298	4 - [SLEQ]	62,307	5 - [SLER]	6,888	5 - [SLER]
5,75	65,481	5 - [SLER]	-58,814	4 - [SLEQ]	66,291	5 - [SLER]	5,965	5 - [SLER]
6,00	69,161	5 - [SLER]	-61,619	4 - [SLEQ]	69,675	5 - [SLER]	4,874	5 - [SLER]
6,25	72,085	5 - [SLER]	-63,605	4 - [SLEQ]	72,356	5 - [SLER]	3,615	5 - [SLER]
6,50	74,141	5 - [SLER]	-64,660	4 - [SLEQ]	74,238	5 - [SLER]	2,187	5 - [SLER]
6,75	75,222	5 - [SLER]	-64,674	4 - [SLEQ]	75,229	5 - [SLER]	1,048	4 - [SLEQ]
7,00	75,216	5 - [SLER]	-63,535	4 - [SLEQ]	75,243	5 - [SLER]	2,916	4 - [SLEQ]
7,25	74,013	5 - [SLER]	-61,162	4 - [SLEQ]	74,209	5 - [SLER]	4,707	4 - [SLEQ]
7,50	71,505	5 - [SLER]	-57,749	4 - [SLEQ]	72,056	5 - [SLER]	6,007	4 - [SLEQ]
7,75	67,780	5 - [SLER]	-53,602	4 - [SLEQ]	68,763	5 - [SLER]	6,879	4 - [SLEQ]
8,00	63,175	5 - [SLER]	-48,983	4 - [SLEQ]	64,583	5 - [SLER]	7,744	5 - [SLER]
8,25	57,993	5 - [SLER]	-44,108	4 - [SLEQ]	59,782	5 - [SLER]	8,379	5 - [SLER]
8,50	52,491	5 - [SLER]	-39,158	4 - [SLEQ]	54,594	5 - [SLER]	8,665	5 - [SLER]
8,75	46,878	5 - [SLER]	-34,275	4 - [SLEQ]	49,223	5 - [SLER]	8,667	5 - [SLER]
9,00	41,323	5 - [SLER]	-29,571	4 - [SLEQ]	43,836	5 - [SLER]	8,445	5 - [SLER]
9,25	35,959	5 - [SLER]	-25,132	4 - [SLEQ]	38,568	5 - [SLER]	8,051	5 - [SLER]
9,50	30,885	5 - [SLER]	-21,018	4 - [SLEQ]	33,526	5 - [SLER]	7,529	5 - [SLER]
9,75	26,175	5 - [SLER]	-17,268	4 - [SLEQ]	28,789	5 - [SLER]	6,919	5 - [SLER]
10,00	21,877	5 - [SLER]	-13,906	4 - [SLEQ]	24,413	5 - [SLER]	6,255	5 - [SLER]
10,25	18,020	5 - [SLER]	-10,940	4 - [SLEQ]	20,434	5 - [SLER]	5,562	5 - [SLER]
10,50	14,614	5 - [SLER]	-8,367	4 - [SLEQ]	16,870	5 - [SLER]	4,865	5 - [SLER]
10,75	11,659	5 - [SLER]	-6,174	4 - [SLEQ]	13,726	5 - [SLER]	4,182	5 - [SLER]
11,00	9,141	5 - [SLER]	-4,342	4 - [SLEQ]	10,995	5 - [SLER]	3,528	5 - [SLER]
11,25	7,038	5 - [SLER]	-2,846	4 - [SLEQ]	8,659	5 - [SLER]	2,913	5 - [SLER]
11,50	5,322	5 - [SLER]	-1,655	4 - [SLEQ]	6,695	5 - [SLER]	2,346	5 - [SLER]
11,75	3,960	5 - [SLER]	-0,738	4 - [SLEQ]	5,076	5 - [SLER]	1,833	5 - [SLER]
12,00	2,916	5 - [SLER]	-0,060	4 - [SLEQ]	3,770	5 - [SLER]	1,380	5 - [SLER]
12,25	2,150	5 - [SLER]	0,416	4 - [SLEQ]	2,747	5 - [SLER]	0,988	5 - [SLER]
12,50	1,621	5 - [SLER]	0,724	4 - [SLEQ]	1,983	5 - [SLER]	0,659	5 - [SLER]
12,75	1,288	5 - [SLER]	0,904	4 - [SLEQ]	1,459	5 - [SLER]	0,396	5 - [SLER]
13,00	1,108	5 - [SLER]	0,991	4 - [SLEQ]	1,160	5 - [SLER]	0,197	5 - [SLER]
13,25	1,040	5 - [SLER]	1,016	4 - [SLEQ]	1,046	5 - [SLER]	0,064	5 - [SLER]

Verifica sezione in acciaio (per un metro di larghezza)**Simbologia adottata**

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ_c	tensione di compressione nell'acciaio espressa in [MPa]
σ_t	tensione di trazione nell'acciaio espressa in [MPa]
σ_{id}	tensione ideale espressa in [MPa]

τ_t	tensione tangenziale in [MPa]
M	momento flettente espresso in [kNm]
M_u	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
C_s	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)
T	taglio agente espresso in [kN]
T_r	taglio resistente, espresso in [kN]
CS_T	coefficiente di sicurezza a taglio

Combinazione n° 1

n°	Y	M	M_u	C_s	T	T_r	CS_T
1	0,00	0,0000	1246,5600	1000,000	0,00	1479,07	647727112,157
6	0,25	0,0167	1246,5600	74543,250	0,20	1479,07	7517,638
11	0,50	0,1318	1246,5600	9456,087	0,79	1479,07	1879,271
16	0,75	0,4437	1246,5600	2809,480	1,77	1479,07	835,213
21	1,00	1,0502	1246,5600	1186,971	3,14	1479,07	471,099
26	1,25	2,0658	1246,5600	603,434	5,11	1479,07	289,696
31	1,50	3,6683	1246,5600	339,819	7,84	1479,07	188,700
36	1,75	6,0505	1246,5600	206,025	11,34	1479,07	130,393
41	2,00	9,4055	1246,5600	132,535	15,62	1479,07	94,688
46	2,25	13,9312	1246,5600	89,480	20,78	1479,07	71,176
51	2,50	20,0078	1246,5600	62,304	28,20	1479,07	52,450
56	2,75	28,1399	1246,5600	44,299	37,03	1479,07	39,947
61	3,00	38,6089	1246,5600	32,287	46,89	1479,07	31,544
66	3,25	51,6695	1246,5600	24,126	57,75	1479,07	25,610
71	3,50	67,5678	1246,5600	18,449	69,58	1479,07	21,256
76	3,75	86,3212	1246,5600	14,441	79,88	1479,07	18,517
81	4,00	107,1864	1246,5600	11,630	86,23	1479,07	17,153
86	4,25	129,2022	1246,5600	9,648	88,43	1479,07	16,725
91	4,50	151,3937	1246,5600	8,234	86,81	1479,07	17,038
96	4,75	172,8651	1246,5600	7,211	82,23	1479,07	17,986
101	5,00	192,9474	1246,5600	6,461	75,28	1479,07	19,649
106	5,25	211,0479	1246,5600	5,907	65,94	1479,07	22,429
111	5,50	226,5727	1246,5600	5,502	54,23	1479,07	27,272
116	5,75	238,9260	1246,5600	5,217	40,13	1479,07	36,854
121	6,00	247,5100	1246,5600	5,036	23,64	1479,07	62,570
126	6,25	251,7254	1246,5600	4,952	4,74	1479,07	311,822
131	6,50	250,9714	1246,5600	4,967	-16,56	1479,07	89,327
136	6,75	244,7520	1246,5600	5,093	-37,76	1479,07	39,165
141	7,00	233,7476	1246,5600	5,333	-53,70	1479,07	27,544
146	7,25	219,2423	1246,5600	5,686	-64,90	1479,07	22,789
151	7,50	202,3463	1246,5600	6,161	-72,09	1479,07	20,517
156	7,75	183,9970	1246,5600	6,775	-75,92	1479,07	19,482
161	8,00	164,9720	1246,5600	7,556	-77,00	1479,07	19,209
166	8,25	145,9034	1246,5600	8,544	-75,87	1479,07	19,495
171	8,50	127,2931	1246,5600	9,793	-73,02	1479,07	20,255
176	8,75	109,5275	1246,5600	11,381	-68,88	1479,07	21,474
181	9,00	92,8924	1246,5600	13,419	-63,81	1479,07	23,180
186	9,25	77,5868	1246,5600	16,067	-58,13	1479,07	25,446
191	9,50	63,7360	1246,5600	19,558	-52,10	1479,07	28,391
196	9,75	51,4039	1246,5600	24,250	-45,94	1479,07	32,195
201	10,00	40,6039	1246,5600	30,701	-39,84	1479,07	37,128
206	10,25	31,3084	1246,5600	39,816	-33,92	1479,07	43,599
211	10,50	23,4576	1246,5600	53,141	-28,32	1479,07	52,236
216	10,75	16,9667	1246,5600	73,471	-23,09	1479,07	64,046
221	11,00	11,7322	1246,5600	106,251	-18,32	1479,07	80,727
226	11,25	7,6372	1246,5600	163,222	-14,04	1479,07	105,323
231	11,50	4,5551	1246,5600	273,660	-10,29	1479,07	143,784
236	11,75	2,3534	1246,5600	529,692	-7,07	1479,07	209,168
241	12,00	0,8955	1246,5600	1391,976	-4,41	1479,07	335,645
246	12,25	0,0433	1246,5600	28769,670	-2,30	1479,07	643,687
251	12,50	-0,3423	1246,5600	3641,236	-0,75	1479,07	1982,941
256	12,75	-0,4007	1246,5600	3111,068	0,25	1479,07	5923,904
261	13,00	-0,2707	1246,5600	4605,643	0,69	1479,07	2143,236
266	13,25	-0,0909	1246,5600	13707,257	0,58	1479,07	2565,943
271	13,50	0,0000	1246,5600	1000,000	-0,09	1479,07	16277,831

Combinazione n° 2

n°	Y	M	M_u	C_s	T	T_r	CS_T
1	0,00	0,0000	1246,5600	1000,000	0,00	1479,07	835491215,531
6	0,25	0,0163	1246,5600	76699,699	0,19	1479,07	7735,619
11	0,50	0,1281	1246,5600	9730,909	0,76		

31	1,50	3,6078	1246,5600	345,515	8,34	1479,07	177,398
36	1,75	6,3389	1246,5600	196,651	13,59	1479,07	108,814
41	2,00	10,4806	1246,5600	118,940	19,71	1479,07	75,041
46	2,25	16,2817	1246,5600	76,562	26,86	1479,07	55,065
51	2,50	23,9949	1246,5600	51,951	35,00	1479,07	42,259
56	2,75	33,8628	1246,5600	36,812	44,09	1479,07	33,544
61	3,00	46,1200	1246,5600	27,029	54,11	1479,07	27,334
66	3,25	60,9944	1246,5600	20,437	65,03	1479,07	22,746
71	3,50	78,7077	1246,5600	15,838	76,81	1479,07	19,255
76	3,75	99,3391	1246,5600	12,549	87,93	1479,07	16,822
81	4,00	122,4938	1246,5600	10,177	96,97	1479,07	15,253
86	4,25	147,6421	1246,5600	8,443	103,76	1479,07	14,254
91	4,50	174,2485	1246,5600	7,154	108,30	1479,07	13,657
96	4,75	201,8317	1246,5600	6,176	111,38	1479,07	13,279
101	5,00	230,0718	1246,5600	5,418	113,40	1479,07	13,043
106	5,25	258,7047	1246,5600	4,818	114,35	1479,07	12,934
111	5,50	287,4655	1246,5600	4,336	114,24	1479,07	12,946
116	5,75	316,0877	1246,5600	3,944	113,07	1479,07	13,081
121	6,00	344,3034	1246,5600	3,621	110,82	1479,07	13,347
126	6,25	371,8435	1246,5600	3,352	107,49	1479,07	13,760
131	6,50	398,4381	1246,5600	3,129	103,07	1479,07	14,349
136	6,75	423,8159	1246,5600	2,941	97,58	1479,07	15,158
141	7,00	447,7050	1246,5600	2,784	90,99	1479,07	16,256
146	7,25	469,8327	1246,5600	2,653	83,31	1479,07	17,755
151	7,50	489,9255	1246,5600	2,544	74,53	1479,07	19,846
156	7,75	507,7094	1246,5600	2,455	64,65	1479,07	22,877
161	8,00	522,9097	1246,5600	2,384	53,68	1479,07	27,554
166	8,25	535,2513	1246,5600	2,329	41,60	1479,07	35,552
171	8,50	544,4585	1246,5600	2,290	28,42	1479,07	52,037
176	8,75	550,2553	1246,5600	2,265	14,14	1479,07	104,616
181	9,00	552,3650	1246,5600	2,257	-1,25	1479,07	1179,474
186	9,25	550,5110	1246,5600	2,264	-17,75	1479,07	83,308
191	9,50	544,4159	1246,5600	2,290	-35,36	1479,07	41,824
196	9,75	533,8024	1246,5600	2,335	-54,08	1479,07	27,347
201	10,00	518,3926	1246,5600	2,405	-73,92	1479,07	20,010
206	10,25	497,9085	1246,5600	2,504	-94,86	1479,07	15,592
211	10,50	472,0719	1246,5600	2,641	-116,92	1479,07	12,650
216	10,75	440,6042	1246,5600	2,829	-140,09	1479,07	10,558
221	11,00	403,2267	1246,5600	3,091	-164,38	1479,07	8,998
226	11,25	359,6606	1246,5600	3,466	-189,79	1479,07	7,793
231	11,50	310,0441	1246,5600	4,021	-209,44	1479,07	7,062
236	11,75	256,7116	1246,5600	4,856	-217,26	1479,07	6,808
241	12,00	202,5330	1246,5600	6,155	-214,11	1479,07	6,908
246	12,25	150,1750	1246,5600	8,301	-200,70	1479,07	7,369
251	12,50	102,1442	1246,5600	12,204	-177,58	1479,07	8,329
256	12,75	60,8278	1246,5600	20,493	-145,13	1479,07	10,191
261	13,00	28,5314	1246,5600	43,691	-103,59	1479,07	14,278
266	13,25	7,5114	1246,5600	165,957	-53,10	1479,07	27,853
271	13,50	0,0000	1246,5600	1000,000	6,29	1479,07	235,022

Combinazione n° 3

n°	Y	M	M _u	Cs	T	T _i	CS-
1	0,00	0,0000	1246,5600	1000,000	0,00	1479,07	669147677,411
6	0,25	0,0167	1246,5600	74423,674	0,20	1479,07	7506,154
11	0,50	0,1320	1246,5600	94422,320	0,79	1479,07	1876,622
16	0,75	0,4443	1246,5600	2805,532	1,77	1479,07	834,066
21	1,00	1,0517	1246,5600	1185,316	3,14	1479,07	470,420
26	1,25	2,0670	1246,5600	603,084	5,09	1479,07	290,361
31	1,50	3,6610	1246,5600	340,495	7,78	1479,07	190,198
36	1,75	6,0179	1246,5600	207,142	11,20	1479,07	132,101
41	2,00	9,3365	1246,5600	133,514	15,60	1479,07	94,796
46	2,25	13,9759	1246,5600	89,194	21,71	1479,07	68,118
51	2,50	20,2748	1246,5600	61,483	28,82	1479,07	51,314
56	2,75	28,4642	1246,5600	43,794	36,83	1479,07	40,156
61	3,00	38,7654	1246,5600	32,156	45,72	1479,07	32,354
66	3,25	51,3945	1246,5600	24,255	55,45	1479,07	26,673
71	3,50	66,5624	1246,5600	18,728	66,02	1479,07	22,403
76	3,75	84,3388	1246,5600	14,780	75,88	1479,07	19,493
81	4,00	104,3200	1246,5600	11,949	83,63	1479,07	17,686
86	4,25	125,9583	1246,5600	9,897	88,84	1479,07	16,648
91	4,50	148,6799	1246,5600	8,384	91,83	1479,07	16,107
96	4,75	171,9866	1246,5600	7,248	93,32	1479,07	15,849
101	5,00	195,5501	1246,5600	6,375	93,72	1479,07	15,783
106	5,25	219,0986	1246,5600	5,689	93,02	1479,07	15,900

111	5,50	242,3599	1246,5600	5,143	91,24	1479,07	16,211
116	5,75	265,0607	1246,5600	4,703	88,36	1479,07	16,739
121	6,00	286,9272	1246,5600	4,345	84,38	1479,07	17,528
126	6,25	307,6844	1246,5600	4,051	79,31	1479,07	18,650
131	6,50	327,0568	1246,5600	3,811	73,12	1479,07	20,227
136	6,75	344,7684	1246,5600	3,616	65,84	1479,07	22,466
141	7,00	360,5425	1246,5600	3,457	57,44	1479,07	25,749
146	7,25	374,1020	1246,5600	3,332	47,94	1479,07	30,854
151	7,50	385,1693	1246,5600	3,236	37,32	1479,07	39,630
156	7,75	393,4667	1246,5600	3,168	25,59	1479,07	57,788
161	8,00	398,7158	1246,5600	3,126	12,75	1479,07	115,976
166	8,25	400,6380	1246,5600	3,111	-1,20	1479,07	1229,404
171	8,50	398,9546	1246,5600	3,125	-16,28	1479,07	90,878
176	8,75	393,3865	1246,5600	3,169	-32,46	1479,07	45,560
181	9,00	383,6545	1246,5600	3,249	-49,77	1479,07	29,718
186	9,25	369,4789	1246,5600	3,374	-68,20	1479,07	21,689
191	9,50	350,5802	1246,5600	3,556	-87,74	1479,07	16,857
196	9,75	326,7624	1246,5600	3,815	-106,23	1479,07	13,923
201	10,00	298,9232	1246,5600	4,170	-118,59	1479,07	12,472
206	10,25	268,5480	1246,5600	4,642	-125,54	1479,07	11,781
211	10,50	236,8997	1246,5600	5,262	-127,97	1479,07	11,558
216	10,75	205,0289	1246,5600	6,080	-126,65	1479,07	11,678
221	11,00	173,7992	1246,5600	7,172	-122,29	1479,07	12,095
226	11,25	143,9120	1246,5600	8,662	-115,47	1479,07	12,809
231	11,50	115,9311	1246,5600	10,753	-106,68	1479,07	13,865
236	11,75	90,3063	1246,5600	13,804	-96,32	1479,07	15,355
241	12,00	67,3956	1246,5600	18,496	-84,72	1479,07	17,458
246	12,25	47,4850	1246,5600	26,252	-72,12	1479,07	20,510
251	12,50	30,8071	1246,5600	40,463	-58,68	1479,07	25,206
256	12,75	17,5563	1246,5600	71,003	-44,53	1479,07	33,215
261	13,00	7,9024	1246,5600	157,744	-29,74	1479,07	49,726
266	13,25	2,0008	1246,5600	623,033	-14,36	1479,07	103,024
271	13,50	0,0000	1246,5600	1000,000	1,62	1479,07	913,593

Combinazione n° 4

n°	Y	Cs	Cs _i	Cs _d	T _i
1	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,25	0,023	0,015	0,039	0,018
11	0,50	0,070	0,007	0,144	0,073
16	0,75	0,164	-0,049	0,327	0,163
21	1,00	0,329	-0,175	0,600	0,289
26	1,25	0,594	-0,402	1,016	0,476
31	1,50	1,006	-0,775	1,634	0,743
36	1,75	1,620	-1,350	2,491	1,093
41	2,00	2,488	-2,180	3,627	1,524
46	2,25	3,663	-3,317	5,085	2,036
51	2,50	5,200	-4,815	6,913	2,631
56	2,75	7,164	-6,740	9,245	3,374
61	3,00	9,676	-9,214	12,201	4,291
66	3,25	12,819	-12,318	15,773	5,306
71	3,50	16,654	-16,115	20,021	6,416
76	3,75	21,190	-20,613	24,756	7,390
81	4,00	26,251	-25,636	29,675	7,989
86	4,25	31,610	-30,956	34,675	8,229
91	4,50	37,038	-36,345	39,621	8,125
96	4,75	42,329	-41,598	44,423	7,782
101	5,00	47,351	-46,581	48,996	7,269
106	5,25	51,993	-51,184	53,230	6,589
111	5,50	56,145	-55,298	57,019	5,740
116	5,75	59,699	-58,814	60,256	4,722
121	6,00	62,543	-61,619	62,842	3,534
126	6,25	64,567	-63,605	64,677	2,177
131	6,50	65,661	-64,660	65,671	0,650
136	6,75	65,713	-64,674	65,738	1,048
141	7,00	64,612	-63,535	64,810	2,916
146	7,25	62,278	-61,162	62,809	4,707
151	7,50	58,904	-57,749	59,816	6,007
156	7,75	54,796	-53,602	56,076	6,879
161	8,00	50,215	-48,983	51,821	7,392
166	8,25	45,378	-44,108	47,252	7,606

191	9,50	22,480	-21,018	24,760	5,991
196	9,75	18,769	-17,268	20,974	5,404
201	10,00	15,446	-13,906	17,538	4,797
206	10,25	12,518	-10,940	14,467	4,187
211	10,50	9,984	-8,367	11,763	3,591
216	10,75	7,829	-6,174	9,418	3,022
221	11,00	6,036	-4,342	7,417	2,489
226	11,25	4,578	-2,846	5,739	1,998
231	11,50	3,426	-1,655	4,359	1,556
236	11,75	2,547	-0,738	3,250	1,165
241	12,00	1,907	-0,060	2,388	0,829
246	12,25	1,471	0,416	1,751	0,549
251	12,50	1,200	0,724	1,326	0,325
256	12,75	1,059	0,904	1,094	0,159
261	13,00	1,010	0,991	1,014	0,050
266	13,25	1,024	1,016	1,024	0,002
271	13,50	1,039	1,039	1,039	0,003

Combinazione n° 5

n°	Y	σ_r	σ'_r	σ_{id}	τ_r
1	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,25	0,023	0,015	0,039	0,018
11	0,50	0,070	0,007	0,144	0,073
16	0,75	0,164	-0,049	0,327	0,163
21	1,00	0,329	-0,175	0,600	0,289
26	1,25	0,594	-0,402	1,016	0,476
31	1,50	1,006	-0,775	1,634	0,743
36	1,75	1,620	-1,350	2,491	1,093
41	2,00	2,488	-2,180	3,627	1,524
46	2,25	3,664	-3,317	5,090	2,040
51	2,50	5,238	-4,853	7,101	2,768
56	2,75	7,341	-6,918	9,680	3,643
61	3,00	10,049	-9,587	12,849	4,622
66	3,25	13,429	-12,929	16,672	5,704
71	3,50	17,546	-17,008	21,214	6,883
76	3,75	22,411	-21,834	26,286	7,931
81	4,00	27,850	-27,234	31,597	8,616
86	4,25	33,638	-32,984	37,029	8,936
91	4,50	39,549	-38,856	42,457	8,915
96	4,75	45,378	-44,647	47,792	8,659
101	5,00	50,994	-50,224	52,951	8,235
106	5,25	56,289	-55,481	57,825	7,645
111	5,50	61,154	-60,307	62,307	6,888
116	5,75	65,481	-64,596	66,291	5,965
121	6,00	69,161	-68,237	69,675	4,874
126	6,25	72,085	-71,122	72,356	3,615
131	6,50	74,141	-73,141	74,238	2,187
136	6,75	75,222	-74,183	75,229	0,591
141	7,00	75,216	-74,138	75,243	1,175
146	7,25	74,013	-72,896	74,209	3,111
151	7,50	71,505	-70,350	72,056	5,134
156	7,75	67,780	-66,587	68,763	6,689
161	8,00	63,175	-61,943	64,583	7,744
166	8,25	57,993	-56,723	59,782	8,379
171	8,50	52,491	-51,182	54,594	8,665
176	8,75	46,878	-45,531	49,223	8,667
181	9,00	41,323	-39,937	43,836	8,445
186	9,25	35,959	-34,534	38,568	8,051
191	9,50	30,885	-29,423	33,526	7,529
196	9,75	26,175	-24,674	28,789	6,919
201	10,00	21,877	-20,338	24,413	6,255
206	10,25	18,020	-16,442	20,434	5,562
211	10,50	14,614	-12,998	16,870	4,865
216	10,75	11,659	-10,004	13,726	4,182
221	11,00	9,141	-7,447	10,995	3,528
226	11,25	7,038	-5,305	8,659	2,913
231	11,50	5,322	-3,551	6,695	2,346
236	11,75	3,960	-2,151	5,076	1,833
241	12,00	2,916	-1,068	3,770	1,380
246	12,25	2,150	-0,263	2,747	0,988
251	12,50	1,621	0,304	1,983	0,659
256	12,75	1,288	0,675	1,459	0,396
261	13,00	1,108	0,893	1,160	0,197
266	13,25	1,040	1,000	1,046	0,064

271	13,50	1,039	1,039	1,039	0,004
-----	-------	-------	-------	-------	-------