

COMUNE DI PALERMO



COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



IMPRESA ESECUTRICE:



PROGETTO ESECUTIVO

**PRIMO LOTTO FUNZIONALE CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN
SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO
NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA**

FERMATA LIBERTÀ (FV01)

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
R S 7 2	0 1	E	ZZ	CL	F V 0 1 0 0	0 0 1	B

PROGETTAZIONE: ATI (Associazione Temporanea d'Imprese)



PROGIN SPA (Capogruppo Mandataria)



Sab (Mandante)

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato/Data
A	Emissione per consegna	M. Perrino	16/09/10	R. Piccirillo	16/09/10	S. Esposito 16/09/10
B	Revisione a seguito istruttoria RS72.FV.GA11/FV01	M. Perrino	29/07/11	R. Piccirillo	29/07/11	S. Esposito 29/07/11

Nome del file: RS7201EZZCLFV0100001_B

n: Elab.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 2 di 95

I N D I C E

1. PREMESSA.....	4
1.1 DESCRIZIONE GENERALE DELLE STRUTTURE.....	4
2. DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	8
2.2 NORMATIVA TECNICA.....	9
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	10
3.1 CALCESTRUZZO.....	10
3.2 ACCIAIO.....	11
4. CONDIZIONI GEOTECNICHE.....	12
4.1 INDAGINI ESEGUITE	12
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	18
4.3 PARAMETRI GEOTECNICI E STRATIGRAFIE DI CALCOLO	19
5. ANALISI DEI CARICHI, CORPO SX E CORPO DX	20
5.1 PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE (G1).....	20
5.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI DAL SOLAIO MEZZANINO (G2_M)	20
5.3 SOVRACCARICHI VARIABILI (Q1_M).....	21
5.4 AZIONE SISMICA (Q6)	22
6. CALCOLO DELLE STRUTTURE SECONDARIE	24
6.1 CALCOLO DEL SOLAIO MEZZANINO	24
6.1.1 Schema di carico 1.....	28
6.1.2 Schema di carico 2.....	29
6.1.3 Schema di carico 3.....	30
6.1.4 Schema di carico 4.....	31
6.1.5 Schema di carico 5.....	32
6.1.6 Schema di carico 6.....	33
6.1.7 Schema di carico 7.....	34
6.1.8 Schema di carico 8.....	35
6.1.9 Schema di carico 9.....	36
6.2 CALCOLO DELLE SCALE	37
6.2.1 Scala di servizio.	37
6.2.2 Scala utenza.	41
6.3 VANO ASCENSORE.....	51
6.4 VASCA IMPIANTO ANTINCENDIO.	63
6.5 CALCOLO DELLA SELLA DEL COLLETORE FOGNARIO	66
7. MODELLAZIONE ED ANALISI STRUTTURALE.....	67
8. VERIFICA DELLE MEMBRATURE STRUTTURALI.....	69
8.1 COMBINAZIONI DI CARICO	69
8.2 VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	69
9. CALCOLO DEL SOLETTONE DI COPERTURA	72
9.1 ANALISI DEI CARICHI.....	72

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 3 di 95

9.1.1	Peso proprio delle strutture (G1)	72
9.1.2	Carichi permanenti portati (G2)	73
9.1.3	Sovraccarichi variabili (Q1_M)	75
9.1.4	Ritiro	78
9.1.1	Altri carichi	79
9.2	MODELLAZIONE ED ANALISI STRUTTURALE	80

10. VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE 85

10.1	CAPACITA' PORTANTE DEI PALI DI FONDAZIONE	85
10.2	VERIFICA GEOTECNICA DEI PALI	86

ALLEGATO 1 – TABULATO DI CALCOLO – SCALA FISSA CORPO DI STAZIONE

ALLEGATO 2 – TABULATO DI CALCOLO – VANO ASCENSORE

ALLEGATO 3 – TABULATO DI CALCOLO – VASCA IMPIANTO ANTINCENDIO

ALLEGATO 4 – TABULATO DI CALCOLO – CORPO SX

ALLEGATO 5 – TABULATO DI CALCOLO – CORPO DX

ALLEGATO 6 – TABULATO DI CALCOLO – SOLETTA COPERTURA 1

ALLEGATO 7 – TABULATO DI CALCOLO – SOLETTA COPERTURA 2

ALLEGATO 8 – TABULATO DI CALCOLO – SOLETTA COPERTURA 3

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 4 di 95

1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la progettazione dell'organismo strutturale dei locali tecnici della Fermata Libertà, compresa tra la progressiva chilometrica 1+387.55 e 1+478.05.

La Fermata ha una pianta irregolare ed è costituita da due zone: una parte fruibile dall'utenza e l'altra destinata ai locali tecnici. La prima parte è praticamente costituita da un solo livello, fatta eccezione per il percorso che si segue sulle scale mobili, con sbarco al solaio intermedio. La parte dei locali tecnici è invece costituita da due livelli: uno al piano banchina e l'altro al piano mezzanino; per questa zona si ha una superficie di circa 500 m².

L'ingresso per l'utenza alla Fermata è consentito su viale Lazio da una scala fissa e da una mobile e da un ascensore, mentre su via Sicilia è presente una scala per l'accesso ai locali tecnici.

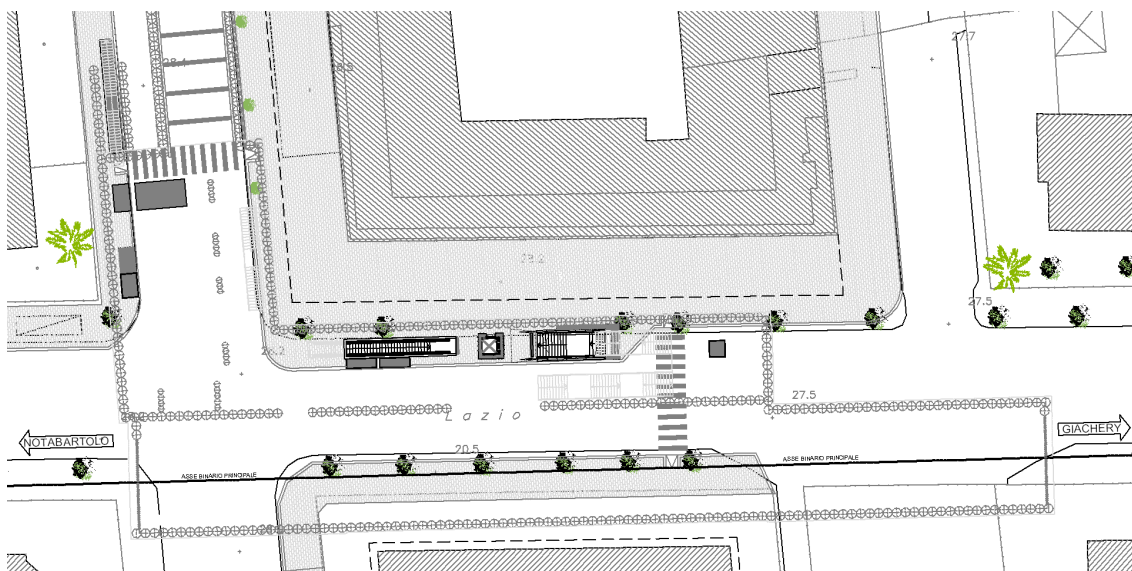


Figura 1 – Vista di insieme della fermata Libertà, con ubicazione dei locali tecnici.

La struttura interna è circondata da un'opera di sostegno degli scavi costituita da una paratia di pali e definita, nel suo aspetto esterno, mediante rivestimento.

1.1 DESCRIZIONE GENERALE DELLE STRUTTURE

Le strutture interne della Fermata sono realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera. Per la particolare geometria dei locali interni, la struttura è stata suddivisa in più sottostrutture tra loro indipendenti, in modo da non generare eccentricità strutturali non opportune. Pertanto, nel seguito della presente relazione, ci si riferirà alle sottostrutture denominate "Corpo SX" e "Corpo DX" ed indicate nella

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 5 di 95	

Figura 2. È inoltre presente un ascensore, un corpo scala (utenza) e una vasca di raccolta acqua per finalità antincendio.

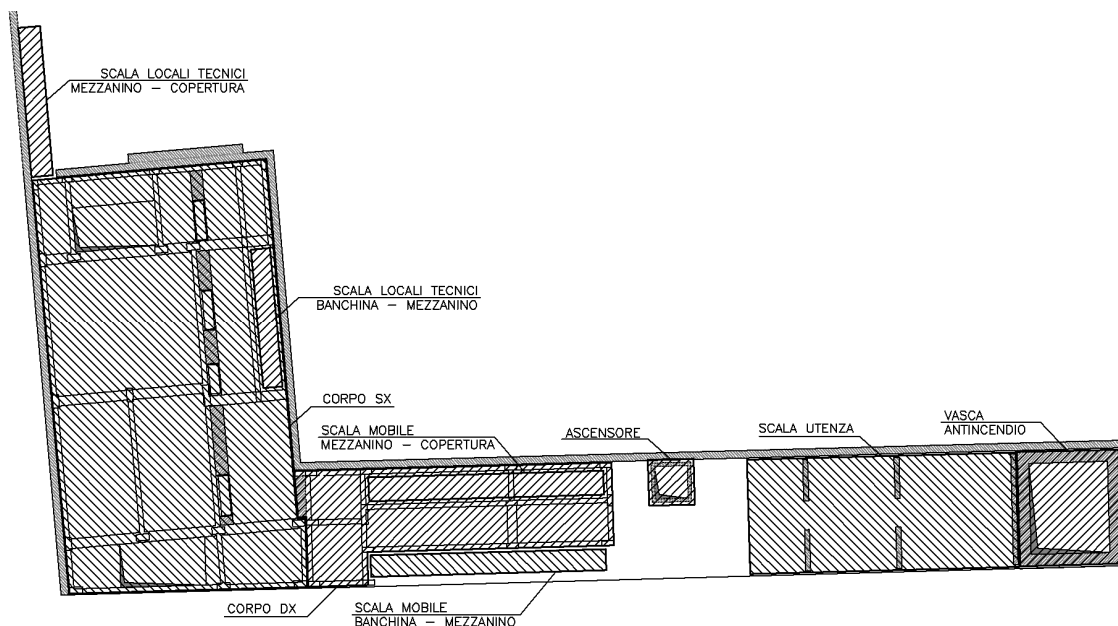


Figura 2 – Schema planimetrico con indicazione dei vari corpi costituenti la Fermata.

La struttura del Corpo SX è inscrivibile planimetricamente in un rettangolo di lati di circa 14.70×26.20 m, con la parte inferiore inclinata rispetto alla restante parte del corpo di circa 3.5° . La rampa di collegamento tra il piano banchina e il piano mezzanino, fruibile solo dal personale di servizio, è ubicata nel lato destro della struttura.

La struttura del Corpo DX è inscrivibile planimetricamente in un rettangolo di lati di circa 17.85×7.05 m. Nella parte sinistra è presente un giunto strutturale con il Corpo SX. A questa struttura sono collegate due scale mobili fruibili dall'utenza: la prima porta dal piano banchina al piano mezzanino e la seconda dal piano mezzanino al piano stradale.

La scala fissa per gli utenti è ubicata nella parte sinistra della fermata, e collega il piano banchina con il piano stradale; anche l'ascensore, posizionato frontalmente all'uscita degli utenti sulla banchina di stazione, collega i due piani senza fermate intermedie.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 6 di 95

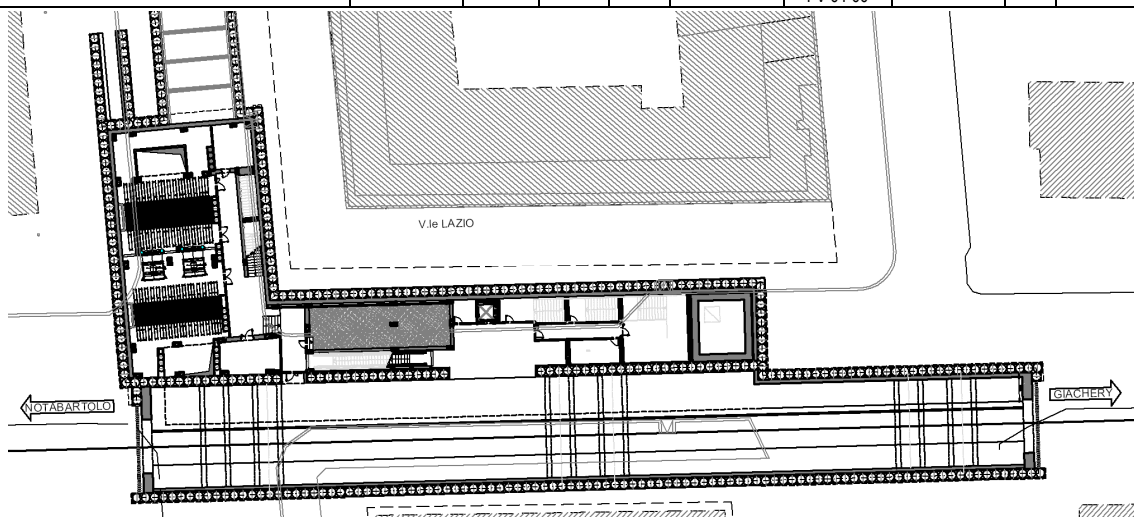


Figura 3 – Planimetria generale in corrispondenza del piano banchina.

Altimetricamente la struttura della Fermata consiste in due piani interrati, con interpiano strutturale di 5.67 m tra la fondazione e il piano mezzanino e 4.60 m tra il mezzanino e il solaio di copertura. La fondazione prevista è del tipo diretto a piastra dello spessore di 1.00 m.

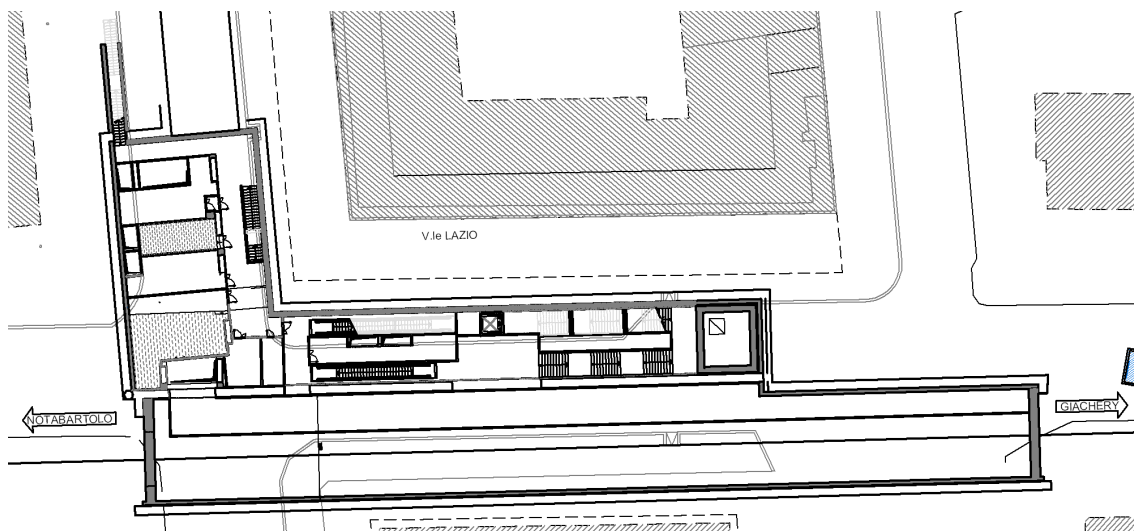


Figura 4 – Planimetria generale in corrispondenza del piano mezzanino.

Le strutture del Corpo SX e del Corpo DX consistono in pilastri di forma rettangolare, sui quali si regge il piano mezzanino, e travi gettate in opera, anch'esse di forma rettangolare.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 7 di 95	

I solai del piano mezzanino sono costituiti da lastre in calcestruzzo armato precompresso a trecce aderenti aventi l'intradosso piano, irrigidite da tralicci elettrosaldati e blocchi interposti in laterizio con funzione di alleggerimento, dello spessore di 43 + 6 cm. Il solaio di copertura è interamente gettato in opera, con spessore strutturale di 120 cm.

Le scale, anche queste gettate in opera, sono realizzate tramite solette rampanti dello spessore di 20 cm per quella destinata al personale di servizio e di 30 cm per quella utenza.

Anche il vano dell'ascensore sarà gettato in opera e sarà realizzato tramite dei setti verticali dello spessore di 20 cm.

A protezione dell'accesso dell'utenza è prevista la realizzazione di una pensilina in acciaio, oggetto di una relazione di calcolo specifica.

Tutte le strutture, ossia pilastri, travi e solai, possiedono adeguati copriferri in relazione alla normativa antincendio e al grado di resistenza REI richiesta: la tipologia deve essere non inferiore a REI 120.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 8 di 95

2. DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [DR 1] RS1L 01 D 79 RH GE0001 001 A - Relazione geologica - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 2] RS1L 01 D 79 F5 GE0001 005 A - Profilo geologico - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 3] RS1L 01 D 11 RB OC0001 001 B - Relazione geotecnica generale - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 4] RS1L 01 D 11 RO FV010X 001 B - Relazione descrittiva di Fermata Libertà - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 5] RS1L 01 D 11 CL FV010X 001 A - Relazione di calcolo di Fermata Libertà - Progetto Definitivo 2004.
- [DR 6] RS72 01 E ZZ RG FV0100 001 A - Relazione generale tecnica e descrittiva.
- [DR 7] RS72 01 E ZZ P7 FV0100 001 A - Planimetria di inquadramento territoriale.
- [DR 8] RS72 01 E ZZ P9 FV0100 001 A - Stato di fatto - Planimetria.
- [DR 9] RS72 01 E ZZ B9 FV0100 001 A - Stato di fatto - Sezioni longitudinali e trasversali.
- [DR 10] RS72 01 E ZZ P8 FV0102 001 A - Planimetria e sezioni di assetto generale delle sistemazioni esterne.
- [DR 11] RS72 01 E ZZ PA FV0100 001 A - Pianta livello accessi.
- [DR 12] RS72 01 E ZZ PA FV0100 002 A - Pianta livello mezzanino.
- [DR 13] RS72 01 E ZZ PA FV0100 003 A - Pianta livello banchine.
- [DR 14] RS72 01 E ZZ WA FV0100 001 A - Sezioni Tav. 1 di 2.
- [DR 15] RS72 01 E ZZ WA FV0100 002 A - Sezioni Tav. 2 di 2.
- [DR 16] RS72 01 E ZZ P9 FV0100 002 A - Piante con pavimentazione sistema LOGES.
- [DR 17] RS72 01 E ZZ P9 FV0100 005 A - Piante schema segnaletica.
- [DR 18] RS72 01 E ZZ CL FV0102 001 A - Relazione di calcolo e descrittiva pensilina.
- [DR 19] RS72 01 E ZZ BA FV0100 001 A - Carpenteria livello banchine 1/2.
- [DR 20] RS72 01 E ZZ BA FV0100 002 A - Carpenteria livello banchine 2/2.
- [DR 21] RS72 01 E ZZ BA FV0100 003 A - Carpenteria livello mezzanino.
- [DR 22] RS72 01 E ZZ BA FV0100 004 A - Carpenteria livello copertura.
- [DR 23] RS72 01 E ZZ BA FV0100 005 A - Carpenteria scale fisse corpo di stazione - parte terminale intervento.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 9 di 95

[DR 24] RS72 01 E ZZ BA FV0100 006 A - Carpenteria scale fisse locali tecnici.

[DR 25] RS72 01 E ZZ BA FV0102 001 A - Carpenteria pensilina.

[DR 26] RS72 01 E ZZ BA FV0100 007 A - Carpenteria vano ascensore corpo di stazione.

[DR 27] RS72 01 E ZZ BA FV0100 008 A - Carpenteria scala mobile corpo di stazione.

[DR 28] RS72 01 E ZZ BA FV0100 009 A - Carpenteria vasca antincendio.

[DR 29] RS72 01 E ZZ BA FV0100 010 A - Carpenteria timpano di testata - lato Notarbartolo.

[DR 30] RS72 01 E ZZ BA FV0100 011 A - Carpenteria timpano di testata - lato Giachery.

2.2 NORMATIVA TECNICA

- [NT 1] D.M. LL.PP. del 2 agosto 1980 "Criteri Generali e Prescrizioni Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali"
- [NT 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"
- [NT 3] D.M. LL.PP. del 4 maggio 1990 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali"
- [NT 4] 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"
- [NT 5] D.M. 16.01.1996 "Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi"
- [NT 6] D.M. 16.01.1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche".
- [NT 7] Circolare 156 del 04.07.1996 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".
- [NT 8] Circ. Min. LL.PP. del 15 ottobre 1996 n. 252 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per la disciplina ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale del 9 gennaio 1996.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari a) Sab (Mandante) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 10 di 95	

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali impiegati nella progettazione strutturale sono:

3.1 CALCESTRUZZO

Magrone di pulizia e livellamento (non strutturale).

- Classe di resistenza: C 12/15

Solai prefabbricati.

- Classe di resistenza delle lastre: C35/45
- Resistenza caratteristica cubica a compressione delle lastre: $R_{ck} = 45.00 \text{ N/mm}^2$
- Classe di resistenza del getto in opera: C30/35
- Resistenza caratteristica cubica a compressione del getto in opera: $R_{ck} = 35.00 \text{ N/mm}^2$

Travi, Pilastri e solettone di copertura e soletta di fondazione.

- Classe di resistenza: C28/35
- Resistenza caratteristica cubica a compressione: $R_{ck} = 35.00 \text{ N/mm}^2$
- Tensione ammissibile a pressoflessione: $\sigma_c = 11.00 \text{ N/mm}^2$
- Tensione tangenziale ammissibile: $\tau_{c0} = 0.667 \text{ N/mm}^2$
- Tensione tangenziale ammissibile per solo taglio: $\tau_{c0} = 1.971 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico: $E = 33722 \text{ N/mm}^2$

Pali e setti.

- Classe di resistenza: C28/35
- Resistenza caratteristica cubica a compressione: $R_{ck} = 35.00 \text{ N/mm}^2$
- Tensione ammissibile a pressoflessione: $\sigma_c = 11.00 \text{ N/mm}^2$
- Tensione tangenziale ammissibile: $\tau_{c0} = 0.667 \text{ N/mm}^2$
- Tensione tangenziale ammissibile per solo taglio: $\tau_{c0} = 1.971 \text{ N/mm}^2$

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 11 di 95	

– Modulo elastico: $E = 33722 \text{ N/mm}^2$

Strutture secondarie.

– Classe di resistenza: C28/35

– Resistenza caratteristica cubica a compressione: $R_{ck} = 35.00 \text{ N/mm}^2$

– Tensione ammissibile a pressoflessione: $\sigma_c = 11.00 \text{ N/mm}^2$

– Tensione tangenziale ammissibile: $\tau_{c0} = 0.667 \text{ N/mm}^2$

– Tensione tangenziale ammissibile per solo taglio: $\tau_{c0} = 1.971 \text{ N/mm}^2$

– Modulo elastico: $E = 33722 \text{ N/mm}^2$

Copriferri minimi.

– Pilastrì 4.0 cm

– Strutture in elevazione (travi e setti) 4.0 cm

– Solette gettate in opera 4.0 cm

– Solettone di fondo 4.0 cm

3.2 ACCIAIO

– Tipo: FeB44k

– Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 430 \text{ N/mm}^2$

– Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$

– Tensione ammissibile: $\sigma_s = 255 \text{ N/mm}^2$

– Modulo elastico: $E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$

Le analisi e le verifiche sono state condotte con il metodo delle tensioni ammissibili.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 12 di 95	

4. CONDIZIONI GEOTECNICHE

4.1 INDAGINI ESEGUITE

Lungo il tracciato dell'anello ferroviario sono state eseguite diverse campagne geognostiche, per mezzo di indagini in sito e di laboratorio:

- Campagna geognostica “Metrotram” del 1999-2000:
 - N.3 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “S”) di lunghezza variabile da 10 a 22 m
- Campagna geognostica “Metroferrovia” del 2003:
 - N.11 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “SM”) di lunghezza variabile da 20 a 40 m;
 - Installazione di n.7 piezometri a tubo aperto;
 - N. 4 prove sismiche tipo Down-Hole;
 - Indagini geofisiche georadar.
- Campagna geognostica del 2010, finalizzata alla redazione del Progetto Esecutivo:
 - N. 14 sondaggi a carotaggio continuo (denominati “SE”) di lunghezza variabile da 15 a 35.5 m;
 - n. 2 sondaggi meccanici sub-orizzontali a carotaggio continuo di lunghezza pari a 5 m denominati SR1 e SR3 e n. 1 sondaggio verticale di lunghezza pari a 5 m denominato SR2 all'interno della galleria esistente Ranchibile dove il progetto prevede la realizzazione della stazione Libertà.
All'interno dei sondaggi SR1 e SR2 sono state eseguite n. 2 prove pressiometriche Menard;
 - Installazione piezometri a tubo aperto;
 - Esecuzione di prove sismiche;
 - Esecuzione di prove penetrometriche statiche.
 - Indagini di sismica passiva a stazione singola tomografica;
 - Indagini georadar.

Nelle seguenti tabelle si riassumono i sondaggi eseguiti, le profondità raggiunte, le indagini in sito eseguite e la strumentazione installata nell'area della fermata Libertà.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 13 di 95	

Tabella 1 – indagini in sito campagna 1999

Sondaggio	Profondità	N. Prove SPT	Strumentazione installata	N. Prove Permeabilità
-	m	-	m	-
S02BIS	20.0	4	-	-
S01				

Tabella 2 – indagini in sito campagna 2010

Sondaggio	Profondità	N. Prove SPT	Strumentazione installata	N. Prove Laboratorio
-	m	-	m	-
SE01	20.5	5	TA (0÷20.5)	2 (Le)
SE02	30.5	5	Downhole (0÷35.5)	3

La posizione dei sondaggi eseguiti nelle due campagne di indagini è illustrata in figura.

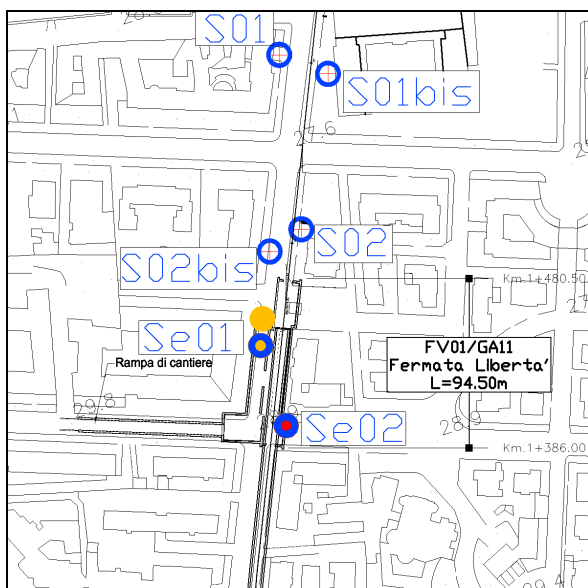
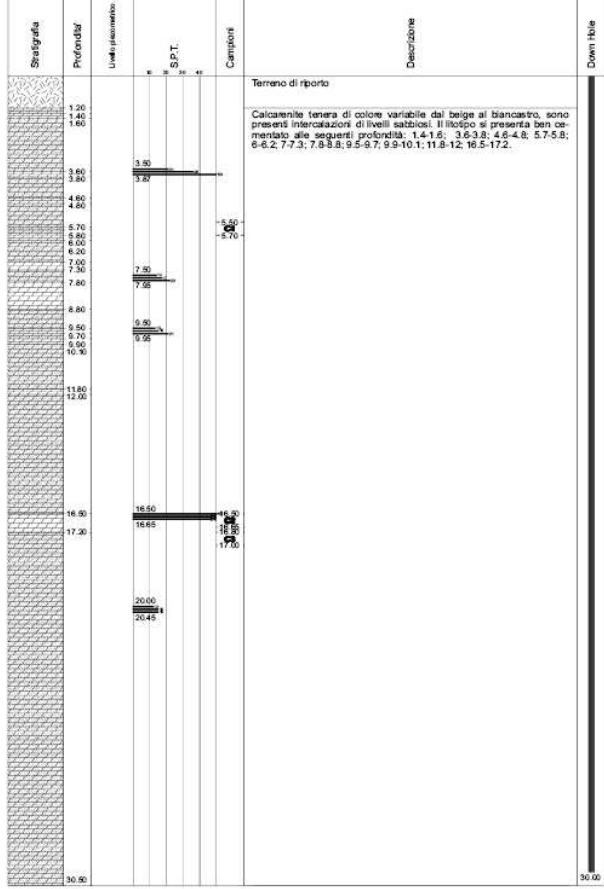
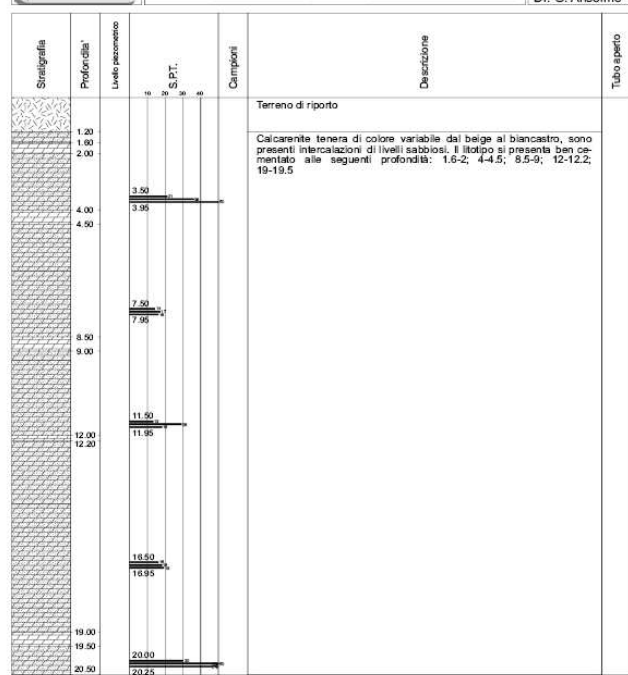


Figura 5 – Fermo Libertà – Ubicazione indagini eseguite

Di seguito vengono riportate le stratigrafie dei sondaggi eseguiti nella zona in esame nel corso delle due

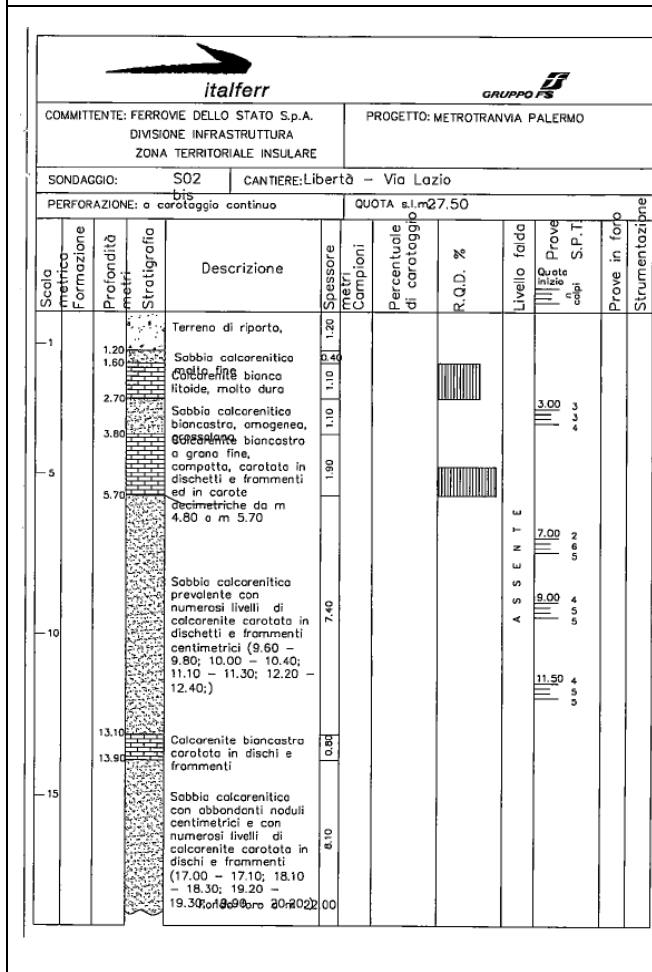
APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 14 di 95

campagne di indagini.

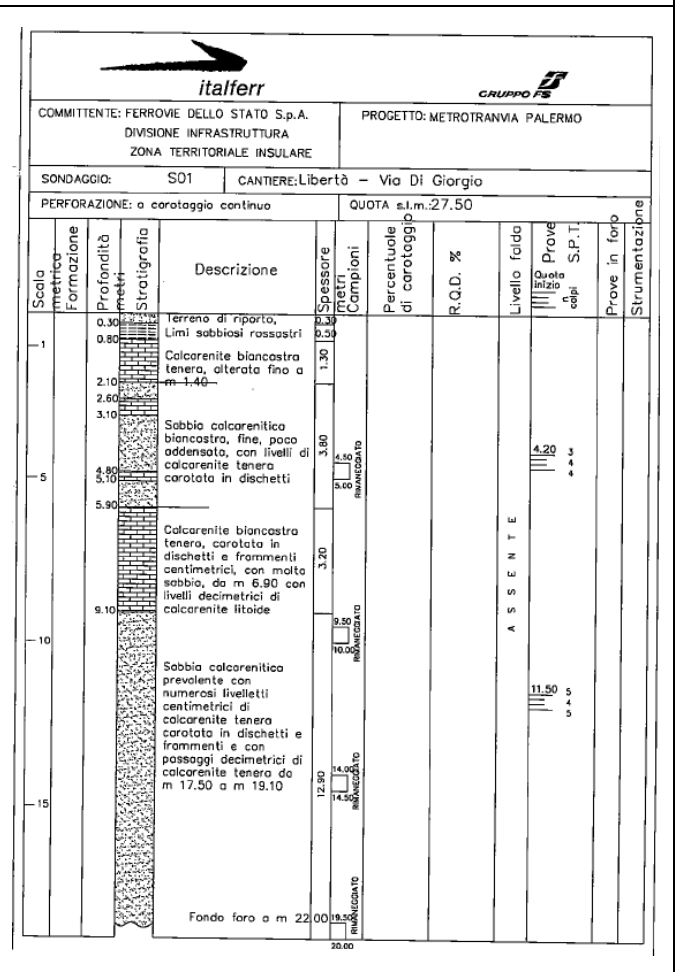
Sondaggio SE02 (campagna 2010)					Sondaggio SE01 (campagna 2010)				
 Committente: TECNIS S.p.A. Cantiere: Chiusura anello ferroviario Notarbartolo-Giachery- Politeama Località: Palermo Data Inizio: 25/02/10 Data Fine: 01/03/10 SONDAGGIO FOGLIO SE02 Il geologo Dr. G. Anselmo					 Committente: TECNIS S.p.A. Cantiere: Chiusura anello ferroviario Notarbartolo-Giachery- Politeama Località: Palermo Data Inizio: 02/03/10 Data Fine: 03/03/10 SONDAGGIO FOGLIO SE01 Il geologo Dr. G. Anselmo				
									
									

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 15 di 95

Sondaggio S02 BIS (campagna 1999)



Sondaggio S01 (campagna 1999)



Tutti i sondaggi eseguiti hanno restituito la presenza di calcareniti tenere appartenenti al *Complesso calcarenitico - sabbioso Pleistocenico* (unità SC). Lo spessore del terreno di riporto superficiale è di circa 1.20 m. Le calcareniti interessano la lunghezza restante dei sondaggi, e presentano intercalazioni di livelli sabbiosi, e alcuni livelli ben cementati (unità CL), di spessore variabile, di solito inferiore al metro.

I valori di N_{SPT} emersi dai sondaggi del PE sono risultati più elevati rispetto a quelli delle precedenti campagne di indagini, con valori medi di 35-45 colpi/30cm, che aumentano fino al rifiuto negli strati maggiormente cementati, evidenziando materiali comunque sempre abbastanza addensati.

Le prove downhole eseguite nel sondaggio SE02 hanno evidenziato valori di Vs compresi tra 400 e 600 m/s, mediamente più alte che nei sondaggi eseguiti in zona Porto, confermando che il *Complesso calcarenitico - sabbioso Pleistocenico* in corrispondenza della fermata Libertà possiede caratteristiche geomeccaniche decisamente migliori rispetto ai medesimi materiali nelle altre zone del tracciato.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 16 di 95	

Le letture del piezometro installato nel foro di sondaggio SE01 hanno confermato l'assenza d'acqua. Nella seguente Tabella 3 si riassumono i risultati delle prove di permeabilità Lefranc eseguite durante la campagna geognostica del 2010.

Tabella 3 – Prove di permeabilità Lefranc campagna 2010

Sondaggio	Campagna d'indagine	N. prova	Profondità prova [m]	Coefficiente di permeabilità media [m/s]	Unità
SE01	2010	LE	5.0	2.09E-04	SC
		LE	11.0	3.45E-05	SC

All'interno del sondaggio SE02 sono stati prelevati n.3 campioni, rispettivamente alle profondità 5.50, 16.50 e 16.80 m, corrispondenti a livelli di calcareniti cementati (unità CL). Sui campioni sono state eseguite prove di compressione monoassiale, che hanno restituito valori di σ_c compresi tra 4.7 e 10 MPa.

Nel mese di aprile 2010 sono stati inoltre eseguiti n.3 sondaggi a distruzione dalla galleria Ranchibile, in corrispondenza della progressiva 1+425. Tali sondaggi hanno permesso di definire con maggiore precisione lo stato dei terreni in prossimità della galleria Ranchibile già realizzata. Su n.2 sondaggi sono state eseguite prove pressiometriche finalizzate alla determinazione del modulo elastico dei terreni.

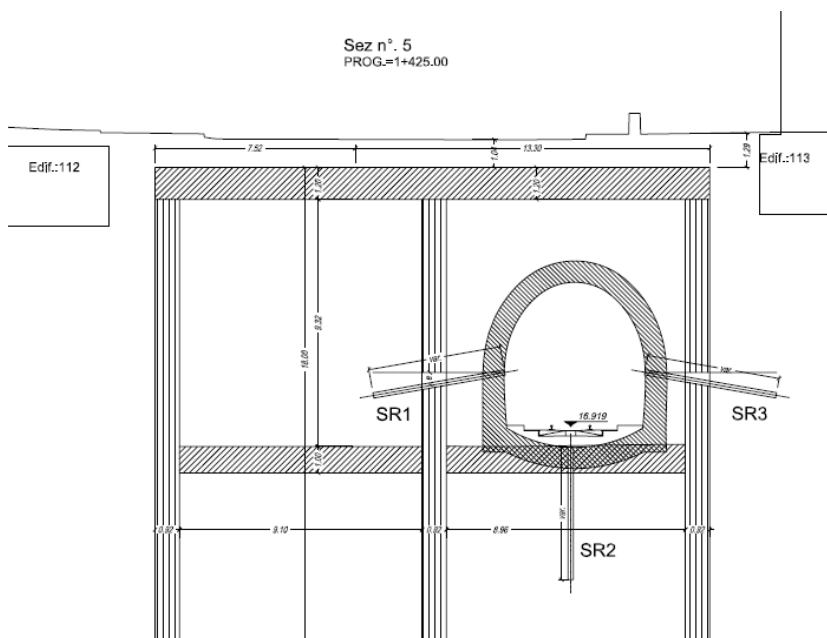


Figura 6 – Fermata Libertà – Ubicazione indagini dalla galleria Ranchibile

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 17 di 95	

Tabella 4 – Indagini dalla galleria Ranchibile

Sondaggio	Profondità	N. Prove SPT	Strumentazione installata	N. Prove Pressiometriche
-	m	-	m	-
SR1	5.0	-	-	1
SR2	5.0	-	-	1
SR3	5.0	-	-	-

Tutti i sondaggi eseguiti dalla galleria Ranchibile hanno interessato calcareniti tenere stratificate appartenenti al *Complesso calcarenitico – sabbioso Pleistocenico* (unità SC). Le prove pressiometriche sono state eseguite su livelli di sabbie grossolane molto addensate e hanno restituito valori di modulo elastico compresi tra 124 e 130 MPa.

I risultati delle indagini effettuate hanno permesso di ricostruire il quadro geologico-geotecnico rappresentato nelle figure seguenti.

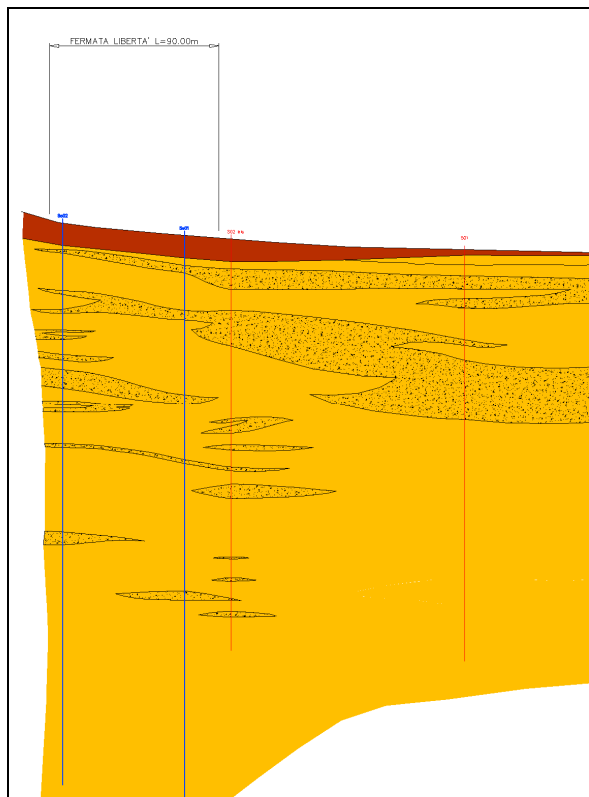


Figura 7 – Fermata Libertà – Profilo geologico

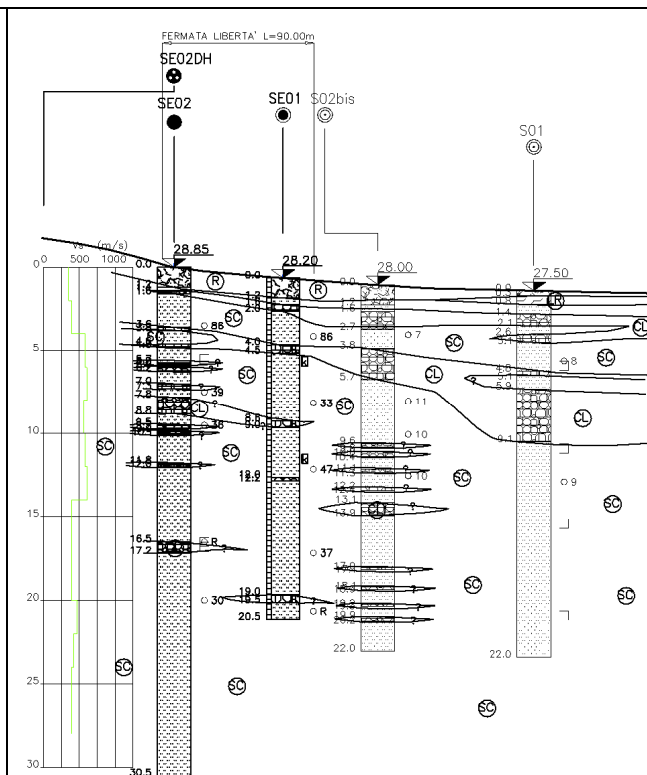


Figura 8 – Fermata Libertà – Profilo geotecnico

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 18 di 95

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Lungo il tracciato le unità geotecniche che interagiscono con le opere sono le seguenti:

Terreno di riporto

- **Unità R:** terreno di riporto, suolo vegetale; si tratta di depositi molto eterogenei prevalentemente sabbiosi e sabbiosi-limosi con inclusi elementi lapidei di natura calcarenitica da centimetrici a decimetrici.

Depositi eluviali (terre rosse)

- **Unità LR:** si tratta di depositi eluviali costituiti prevalentemente da argille e limi con inclusi elementi più grossolani a spigoli vivi; sono stati intercettati solo localmente lungo il tracciato e presentano spessore modesto.

Depositi alluvionali recenti

- **Unità ALF:** si tratta di depositi molto recenti costituiti prevalentemente da limi sabbiosi e sabbie limose con presenza di sostanza organica in decomposizione; costituiscono le alluvioni del Paleoalveo.

Complesso calcarenitico – sabbioso Pleistocenico

- **Unità CL:** calcareniti prevalentemente cementate;
- **Unità SC:** sabbie calcarenitiche fini e grossolane di colore biancastro e ocra con inclusi elementi lapidei calcarenitici e calcareniti tenere; questo deposito è quello che predomina lungo il tracciato in esame;
- **Unità SCL:** sabbie fini limose e limi sabbiosi;
- **Unità SCG:** sabbie medio grossolane con ghiaia e ciottoli arrotondati di dimensioni centimetriche.

Complesso limo-sabbioso Pliocenico

- **Unità LS:** limi, limi sabbiosi e sabbie Plioceniche con elevato contenuto in fossili.

Flysch Numidico

- **Unità FNAIt:** rappresentano l'alterazione delle sottostanti argille integre; sono costituite da argille e argille sabbiose in genere abbastanza consistenti;
- **Unità FNA:** argilla grigia a tessitura brecciata o scagliettata, spesso a consistenza marnosa, con intercalati subordinati livelli quarzarenitici. Sono frequenti livelli argillitici a consistenza litoide;
- **Unità FNQ:** si tratta di quarzareniti durissime, estremamente fratturate fino a minutamente frammentate;
- **Unità S/FNQ:** si tratta di sabbie fini debolmente limose con trovanti quarzarenitici.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 19 di 95	

Per ulteriori dettagli sulla caratterizzazione geotecnica e sulle indagini si rimanda alla Relazione geotecnica generale.

4.3 PARAMETRI GEOTECNICI E STRATIGRAFIE DI CALCOLO

Nella seguente tabella sono riportati i parametri geotecnici meccanici di calcolo ottenuti dalla caratterizzazione delle unità geotecniche.

Tabella 5 – Parametri geotecnici meccanici di calcolo.

Unità		R	SC	CL
Peso di volume	γ [kN/m ³] =	19	19	21
Coesione drenata	c' [kPa] =	0	0	20
Angolo di resistenza al taglio	ϕ' [deg] =	28	35	35
Modulo elastico di primo carico	E_{vc} [kPa] =	20000	80000	100000
Modulo elastico in scarico-ricarico	E_{ur} [kPa] =	32000	128000	160000

Nell' analisi si considera la seguente stratigrafia:

- R da quota 0.0 a quota -1.50 m da p.c.
- SC da quota -1.50 m da p.c. fino alle profondità massima
- Si trascura a vantaggio di sicurezza la presenza di lenti cementate (CL)
- Quota testa pali a -1.40 m dal p.c.
- Falda assente

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 20 di 95

5. ANALISI DEI CARICHI, CORPO SX E CORPO DX

I carichi utilizzati per il calcolo delle membrature strutturali sono specificati nel seguito.

5.1 PESO PROPRIO DELLE STRUTTURE (G1)

Il peso proprio delle membrature strutturali viene valutato assumendo per il calcestruzzo armato un peso specifico pari a 25 kN/m³; il peso di ciascuna membratura strutturale viene determinato direttamente dal programma di calcolo come prodotto tra il peso specifico e la dimensione dell'elemento stesso.

In Figura 9 è riportata un'immagine rappresentativa dell'applicazione dei carichi di cui in precedenza.

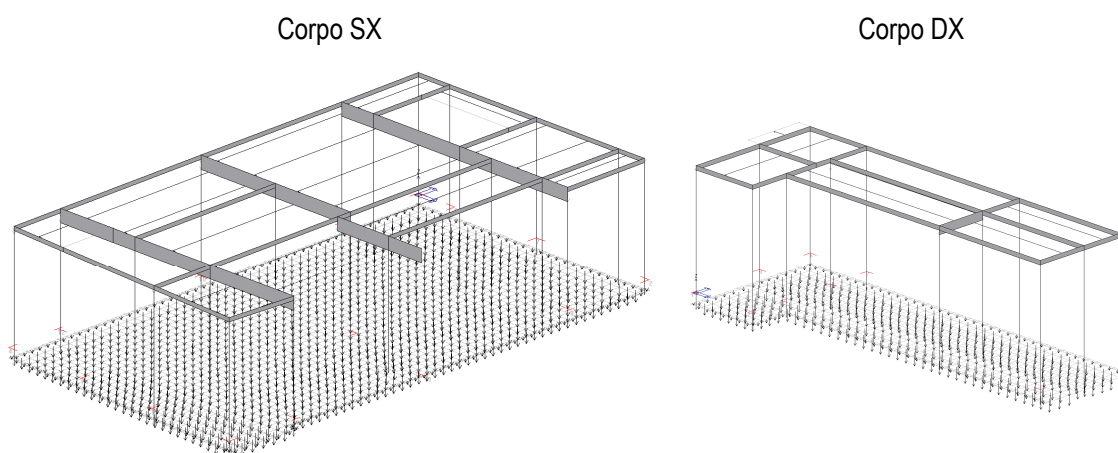


Figura 9 – Distribuzione del peso proprio strutturale dovuto alle membrature strutturali.

5.2 CARICHI PERMANENTI PORTATI DAL SOLAIO MEZZANINO (G2_M)

Si considera che sul solaio sia presente:

- pavimentazione, con peso per unità di superficie pari a 1.20 kN/m²;
- un massetto di sottofondo di spessore di 4 cm, con peso dell'unità di volume pari a 20.00 kN/m³: di $0.04 \times 14.00 = 0.56$ kN/m²;
- un massetto di alleggerimento di spessore di 10 cm, con peso dell'unità di volume pari a 10.00 kN/m³: di $0.10 \times 10.00 = 1.00$ kN/m²;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 21 di 95

- intonaco civile, con peso per unità di superficie pari a 0.30 kN/m²;
- incidenza tramezzi pari a 1.50 kN/m².

Il solaio è costituito da lastre in calcestruzzo armato precompresso a trecce aderenti, con blocchi interposti in laterizio con funzione di alleggerimento. Lo spessore è pari a 43 + 6 cm, con peso pari a 5.73 kN/m².

Pertanto, sul solaio insiste un carico pari a:

$$1.20 + 0.56 + 1.00 + 0.30 + 1.50 + 5.73 = 10.29 \text{ kN/m}^2, \text{ arrotondato a } 10.30 \text{ kN/m}^2.$$

In Figura 10 è riportata una rappresentazione grafica dell'applicazione dei carichi permanenti sui solai di mezzanino.

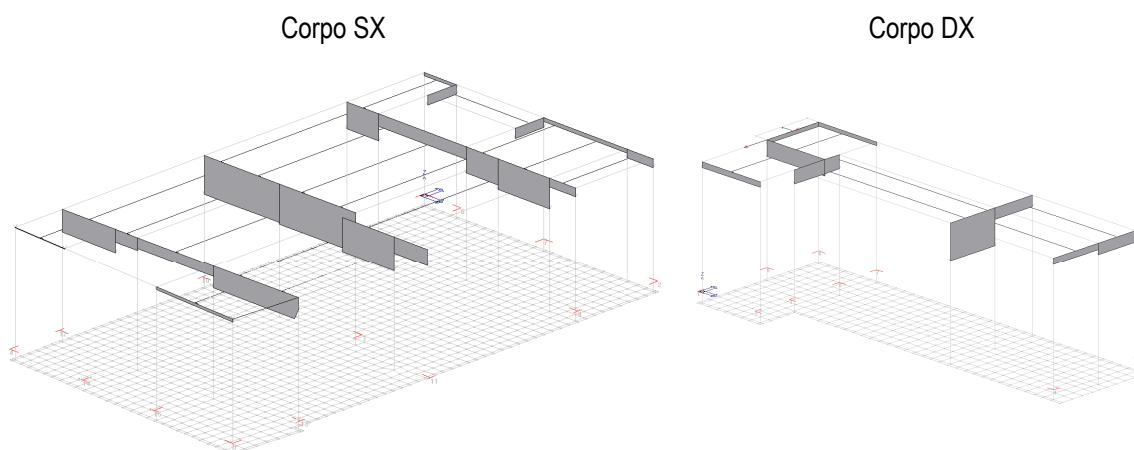


Figura 10 – Distribuzione dei carichi permanenti portati dal solai di mezzanino.

5.3 SOVRACCARICHI VARIABILI (Q1_M)

Si riporta nel seguito l'intensità del carico variabile per singola destinazione d'uso:

- scale e locali aperti al pubblico: 5.00 kN/m²;
- locali G.E. e sottostazioni elettriche: 20.00 kN/m²;
- altri locali tecnologici: 10.00 kN/m².

I suddetti sovraccarichi devono essere presenti anche in fase di sisma, con coefficienti riportati nella Tabella 6.

Tabella 6 – Coefficienti di riduzione del sovraccarico, in fase di sisma.

locale	coefficiente s
--------	-------------------

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 22 di 95
Locali suscettibili di grande affollamento					1.00				

In Figura 11 è riportata la rappresentazione grafica dell'applicazione del carico variabile sul solaio mezzanino.

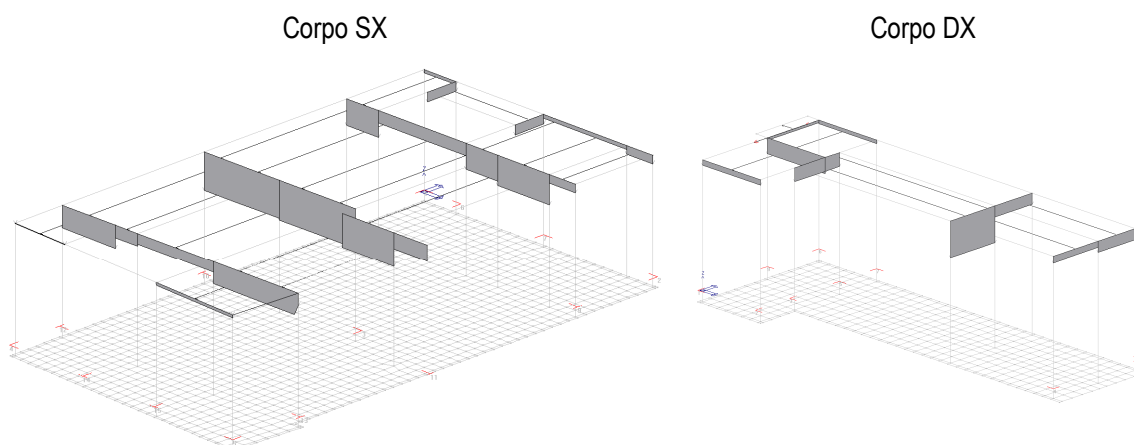


Figura 11 – Distribuzione delle azioni variabili sul solaio mezzanino.

5.4 AZIONE SISMICA (Q6)

L'analisi della struttura soggetta ad azione sismica è valutata mediante metodo pseudo statico.

In tale analisi, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G1 + G2 + \sum \psi_{2i} \times Q_{ki}.$$

I carichi variabili che generano massa sismica sono eventualmente esplicitati nel singolo paragrafo, assieme al coefficiente ψ .

L'area in cui ricadono le opere di progetto è di seconda categoria; per tale zona risulta:

- S, grado di sismicità, pari a 9;
- C, coefficiente di intensità sismica, pari a $(9 - 2)/100 = 0.07$.

Le azioni sismiche orizzontali si schematizzano attraverso l'introduzione di due sistemi di forze orizzontali agenti non contemporaneamente secondo due direzioni ortogonali. Le forze alle diverse quote devono essere applicate in corrispondenza dei baricentri dei «pesi» i quali generalmente possono essere riportate alle quote dei solai.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari a) Sab (Mandante) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 23 di 95	

La forza orizzontale F_i alla generica quota, secondo una prefissata direzione, si ottiene dalla relazione:

$$F_i = K_{hi} \cdot W_i = (C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot \gamma_i \cdot I) \times (G_i + s \cdot Q_i).$$

I valori del coefficiente s sono funzione della destinazione dell'opera.

Il coefficiente di risposta R è assunto pari a 1.0.

Il coefficiente di fondazione ε è assunto pari a 1.0.

Il coefficiente γ_i determina la variazione in altezza dell'azione sismica.

Il coefficiente di struttura β è assunto pari a 1.0, poiché l'edificio è assimilabile ad una struttura intelaiata.

Il coefficiente di importanza I assunto è pari a 1.0.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 24 di 95	

6. CALCOLO DELLE STRUTTURE SECONDARIE

6.1 CALCOLO DEL SOLAIO MEZZANINO

Nel seguito vengono dimensionati i solai del piano mezzanino. Tali solai, come già evidenziato nel paragrafo 5.2, sono del tipo prefabbricato, con lastre in calcestruzzo armato precompresso a trecce aderenti, con base di 120 cm, irrigidite da n.ro 2 tralicci elettrosaldati ad interasse 60 cm e blocchi interposti in laterizio con funzione di alleggerimento. Il carico agente risulta:

- permanente: 10.30 kN/m²;
- variabile: 10.00 ÷ 20.00 kN/m².

Nella carpenteria di piano sono state individuate diverse strisce di calcolo; ogni striscia è oggetto di calcolo per la determinazione delle sollecitazioni agenti e per la progettazione del solaio. In Figura 12 e in Figura 13 sono riportati due schemi della planimetria del Corpo SX e Corpo DX, con indicazione delle strisce di carico.

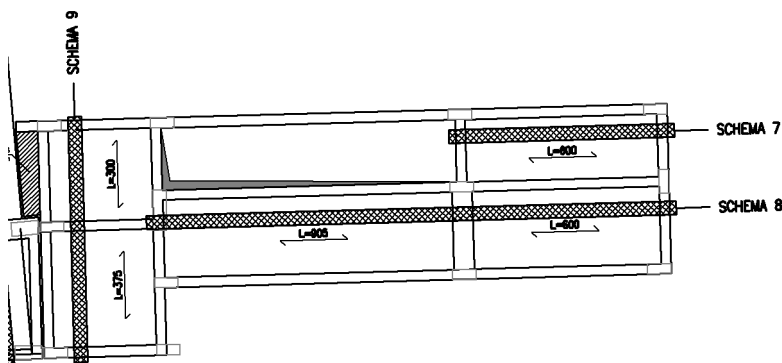


Figura 12 – Schema planimetrico del Corpo DX con indicazione delle strisce di carico.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 25 di 95

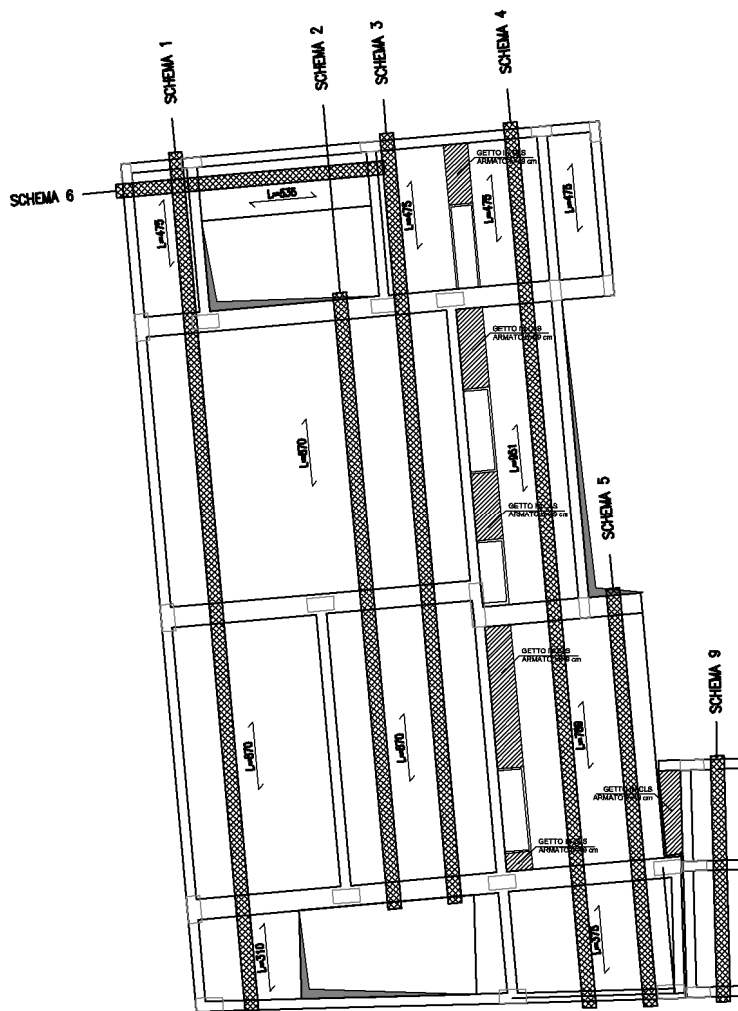


Figura 13 – Schema planimetrico del Corpo SX con indicazione delle strisce di carico.

Le strisce così identificate vengono nel seguito schematizzate, evidenziandone anche le dimensioni delle rispettive campate. Per il Corpo SX si hanno 6 schemi tipologici.

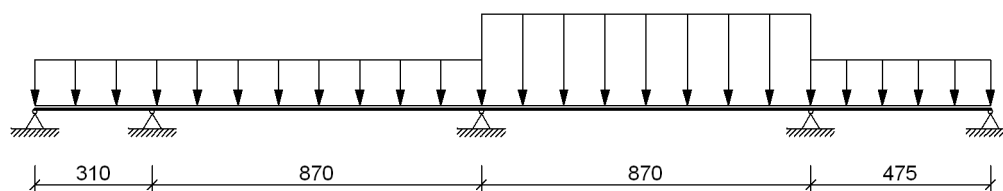


Figura 14 – Schema di carico 1.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 26 di 95

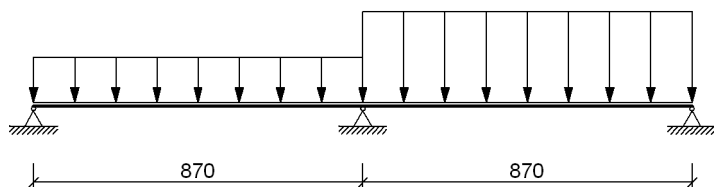


Figura 15 – Schema di carico 2.

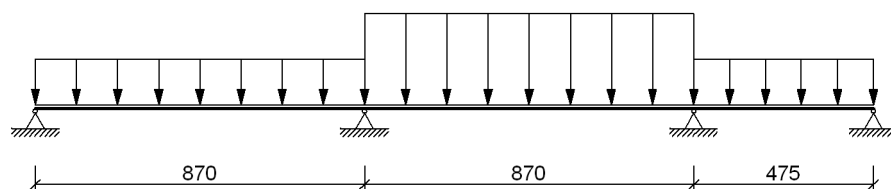


Figura 16 – Schema di carico 3.

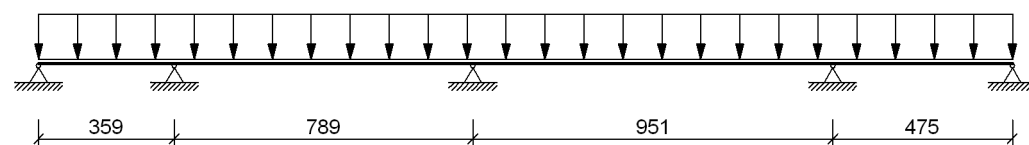


Figura 17 – Schema di carico 4.

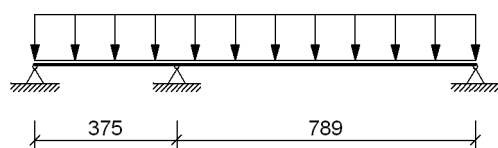


Figura 18 – Schema di carico 5.

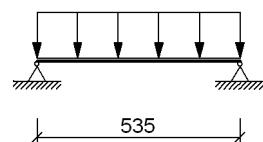


Figura 19 – Schema di carico 6.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 27 di 95	

Per il Corpo DX si hanno 3 schemi tipologici.

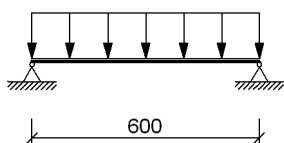


Figura 20 – Schema di carico 7.

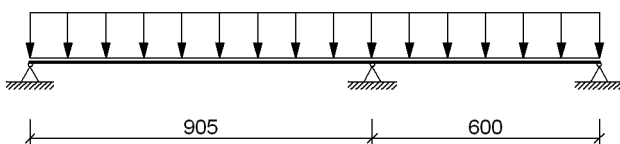


Figura 21 – Schema di carico 8.

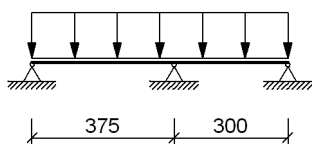


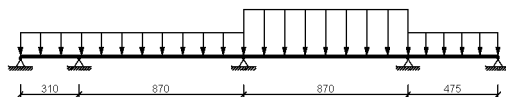
Figura 22 – Schema di carico 9.

Per ciascuno schema vengono presi in esame due modelli di calcolo: il primo modello è come quello indicato nella rispettiva figura indicata, con vincolo di cerniera alle estremità, mentre nel secondo modello viene esaminato il caso di vincolo di incastro alle estremità. La progettazione viene condotta invilupandone i relativi effetti delle condizioni di carico.

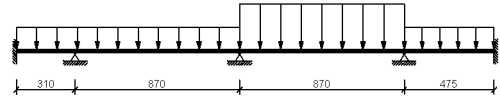
Per quanto riguarda la distribuzione di carico, viene presa in considerazione l'alternanza dei carichi, al fine di massimizzare ciascun effetto per tutte le sezioni di calcolo, ossia all'interno della campata e sugli appoggi.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 28 di 95

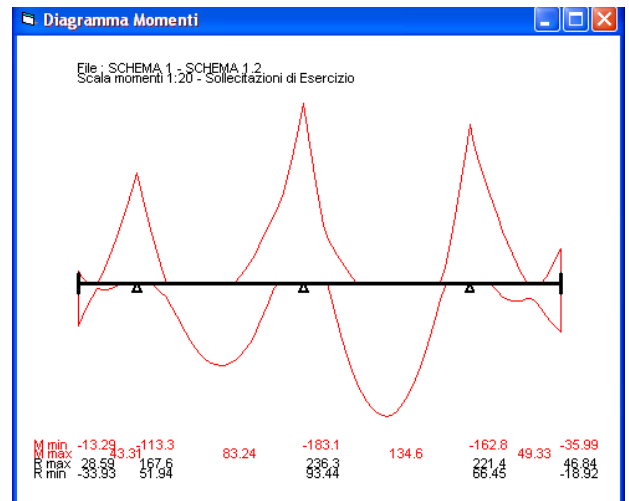
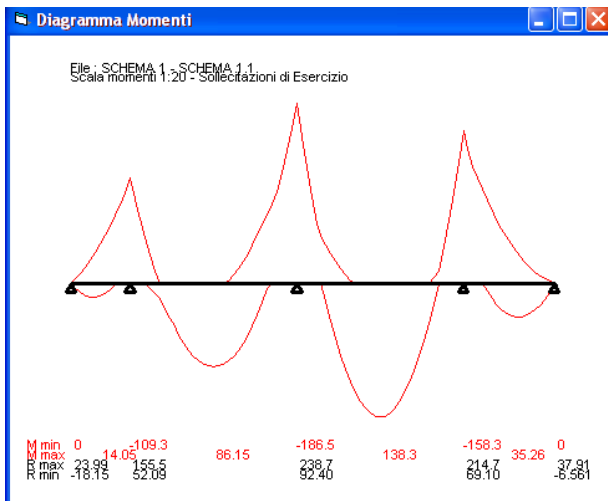
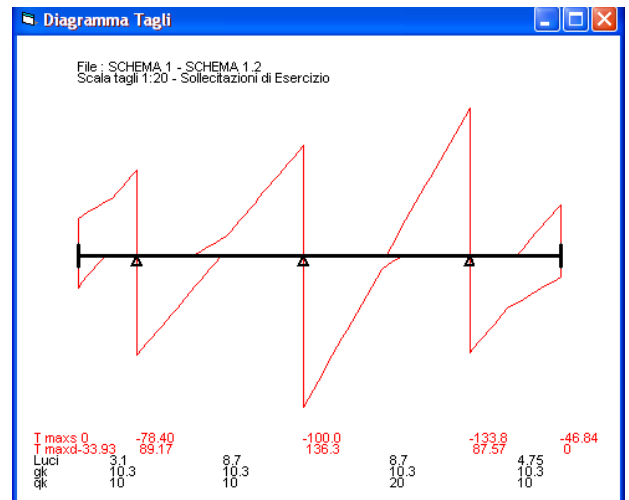
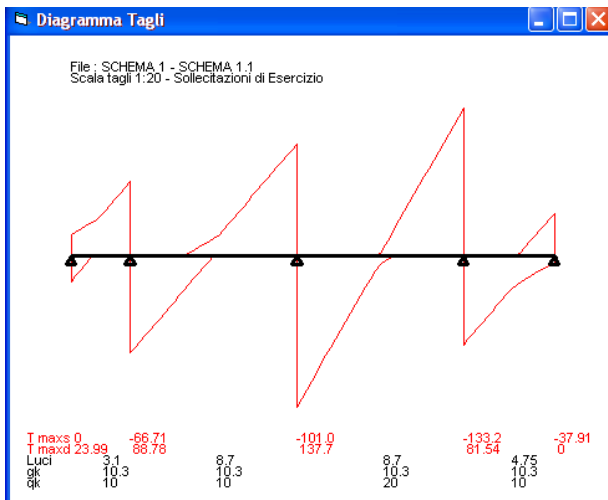
6.1.1 Schema di carico 1



schema 1.1



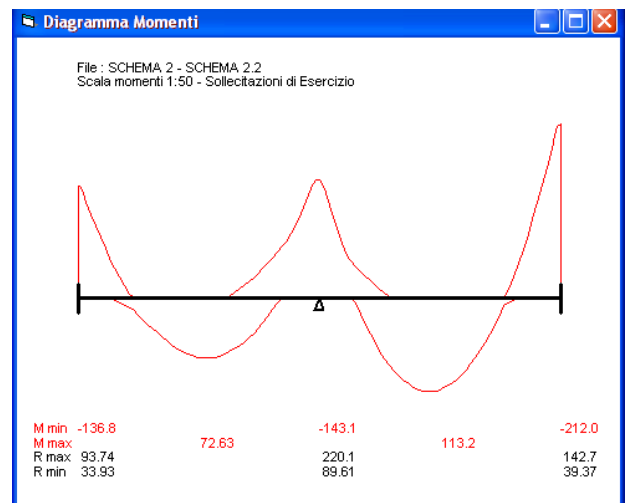
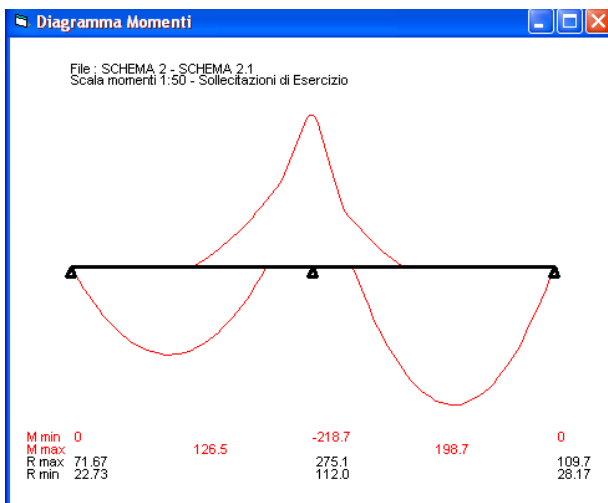
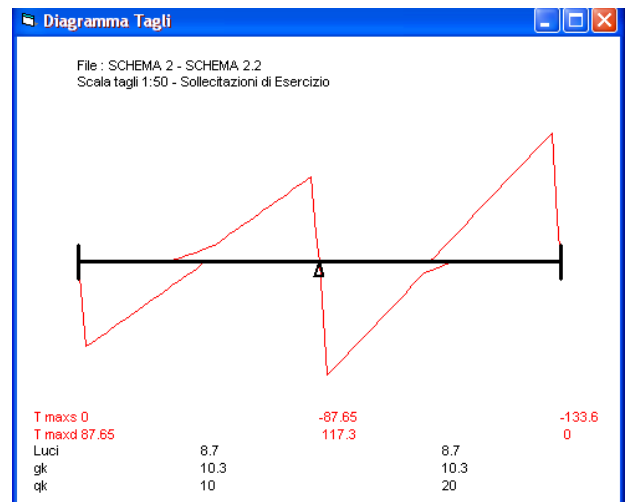
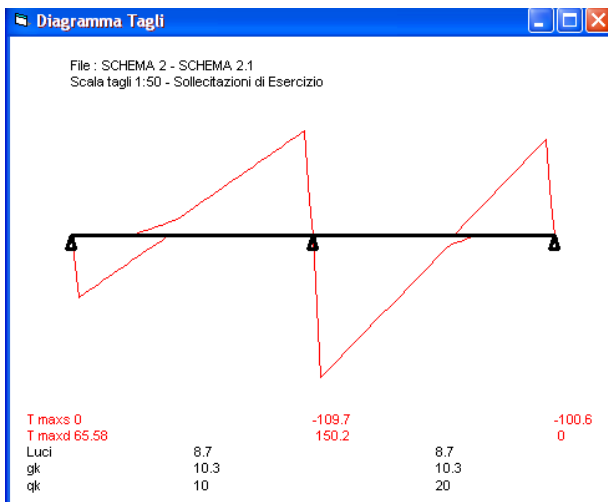
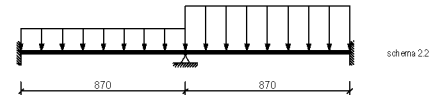
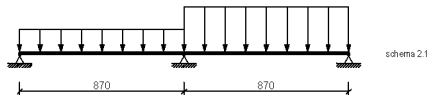
schema 1.2



Il momento massimo positivo in campata risulta pari a 138.3 kN m, mentre il momento massimo negativo è pari a -186.5 kN m. Si prevede l'utilizzo di lastre con armatura di precompressione pari a 3.78 cm² ogni 120 cm (momento massimo positivo pari a 142.38 kN m) ed armatura per momento negativo di 3φ22 ogni 60 cm (momento massimo negativo pari a -192.98 kN m).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 29 di 95

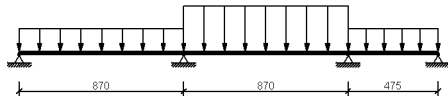
6.1.2 Schema di carico 2



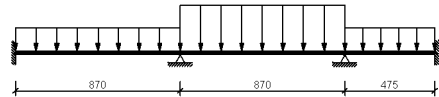
Il momento massimo positivo in campata risulta pari a 198.7 kN m, mentre il momento massimo negativo è pari a -218.7 kN m. Si prevede l'utilizzo di lastre con armatura di precompressione pari a 5.46 cm² ogni 120 cm (momento massimo positivo pari a 201.68 kN m) ed armatura per momento negativo di 3φ24 ogni 60 cm (momento massimo negativo pari a -229.63 kN m).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 30 di 95

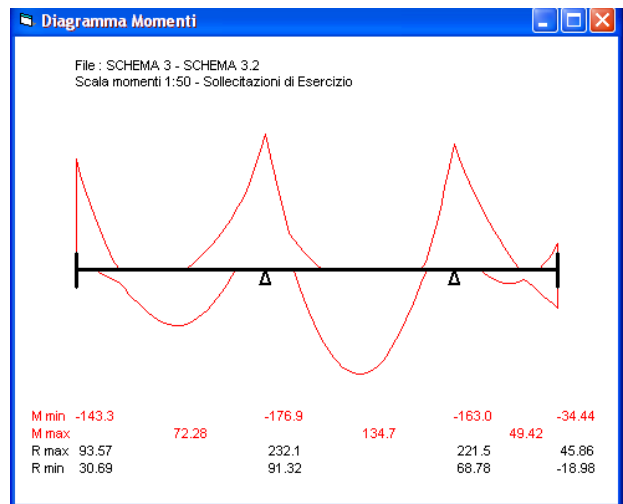
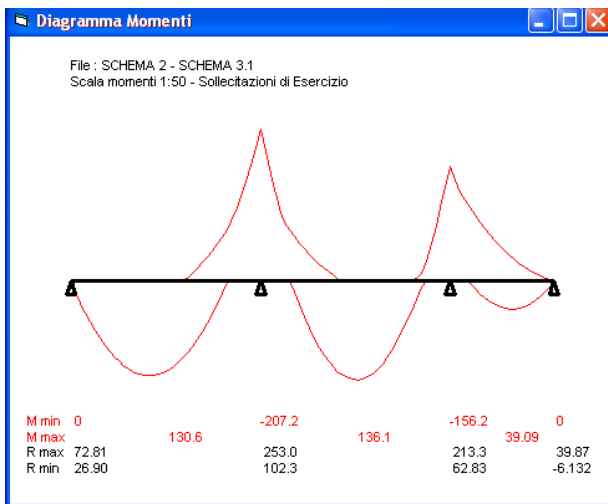
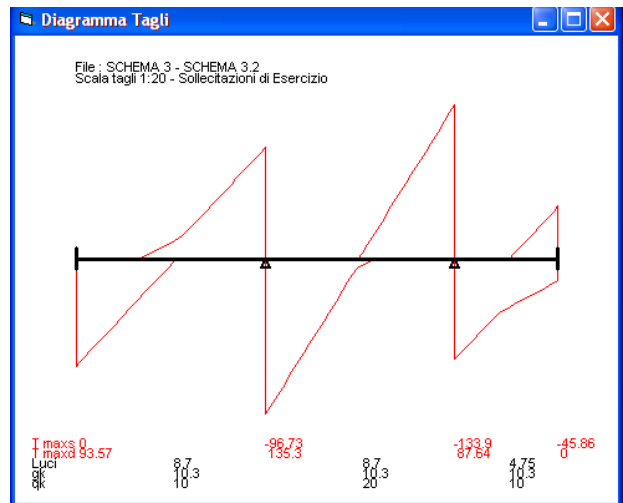
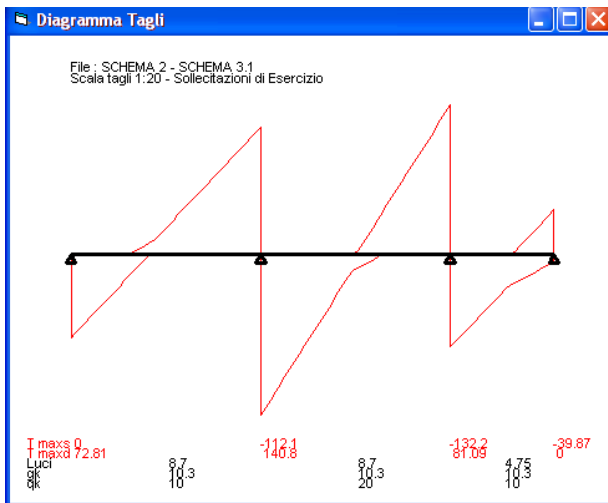
6.1.3 Schema di carico 3



schema 3.1



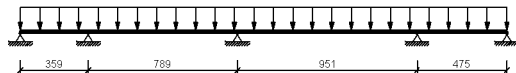
schema 3.2



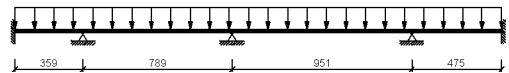
Il momento massimo positivo in campata risulta pari a 136.1 kN m, mentre il momento massimo negativo è pari a -207.2 kN m. Si prevede l'utilizzo di lastre con armatura di precompressione pari a 3.78 cm² ogni 120 cm (momento massimo positivo pari a 142.38 kN m) ed armatura per momento negativo di 1φ22 + 2φ24 ogni 60 cm (momento massimo negativo pari a -217.35 kN m).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 31 di 95

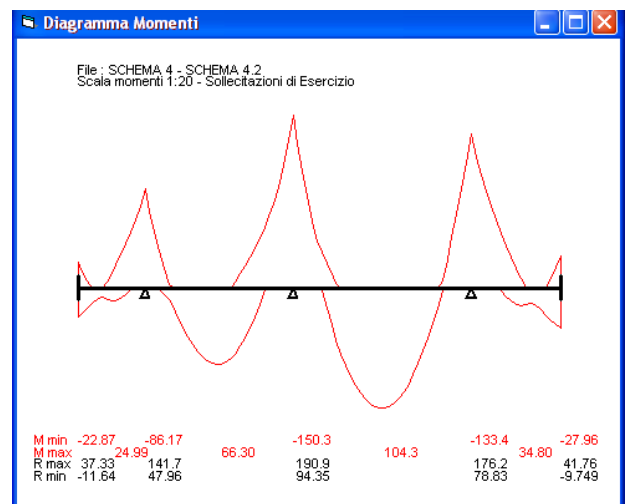
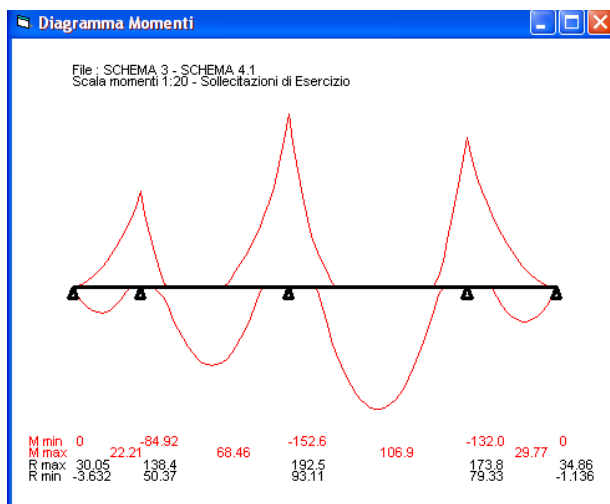
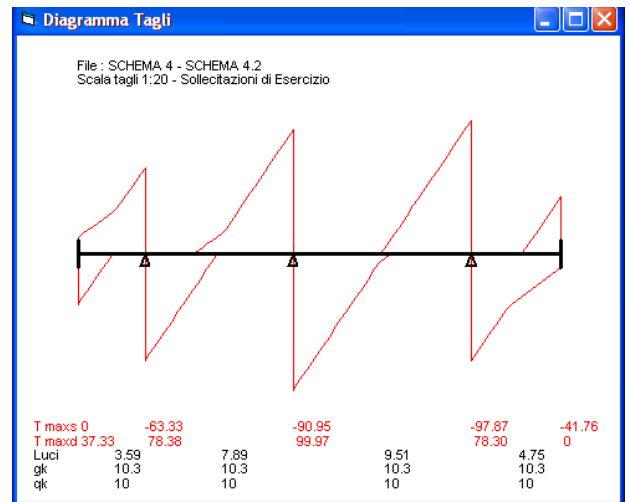
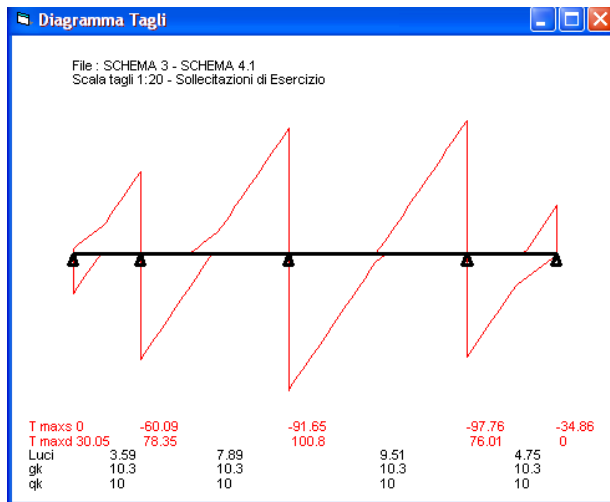
6.1.4 Schema di carico 4



schema 4.1



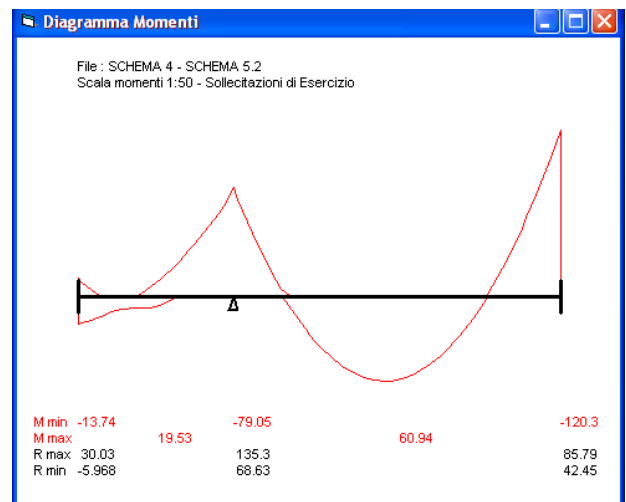
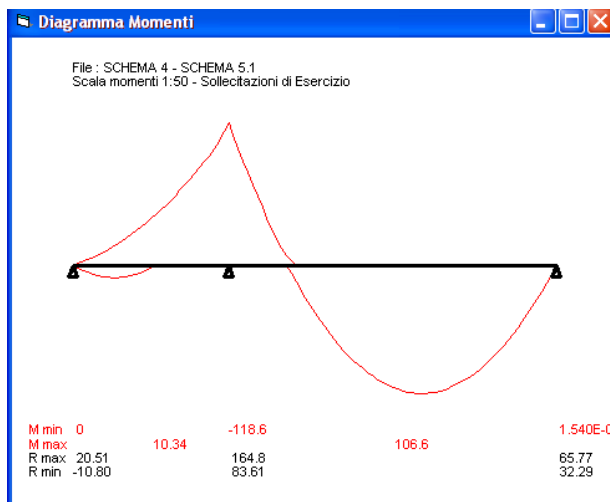
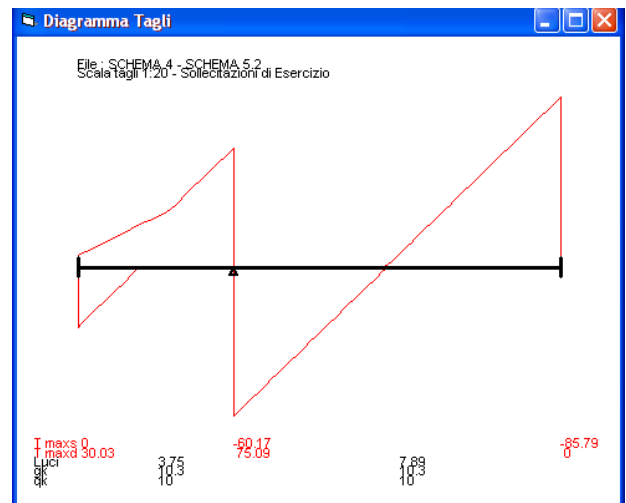
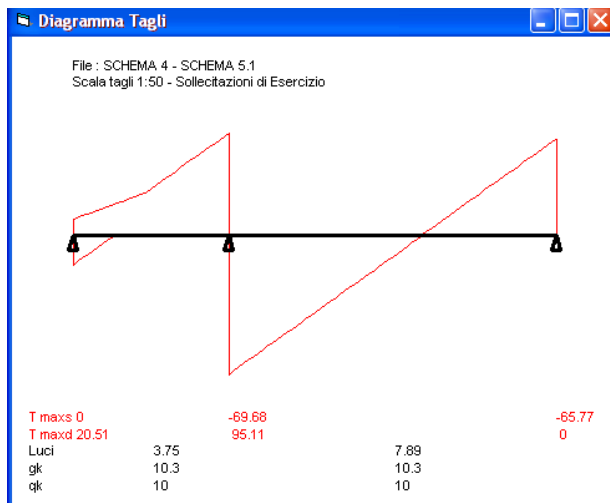
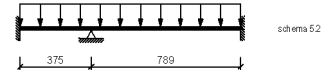
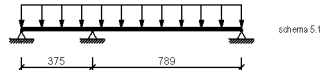
schema 4.2



Il momento massimo positivo in campata risulta pari a 106.9 kN m, mentre il momento massimo negativo è pari a -152.6 kN m. Si prevede l'utilizzo di lastre con armatura di precompressione pari a 2.94 cm² ogni 120 cm (momento massimo positivo pari a 111.62 kN m) ed armatura per momento negativo di 3φ20 ogni 60 cm (momento massimo negativo pari a -159.48 kN m).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 32 di 95

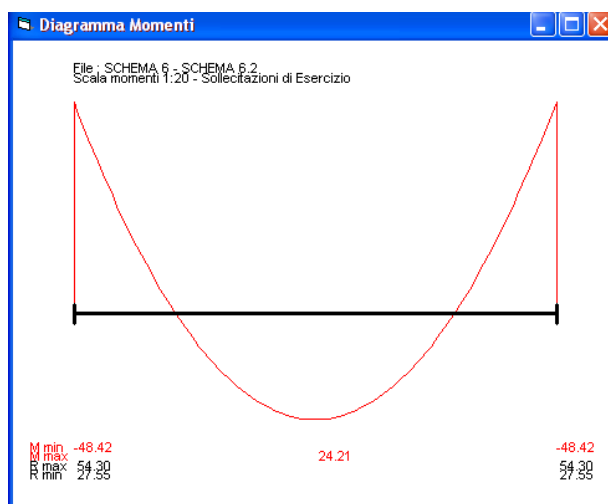
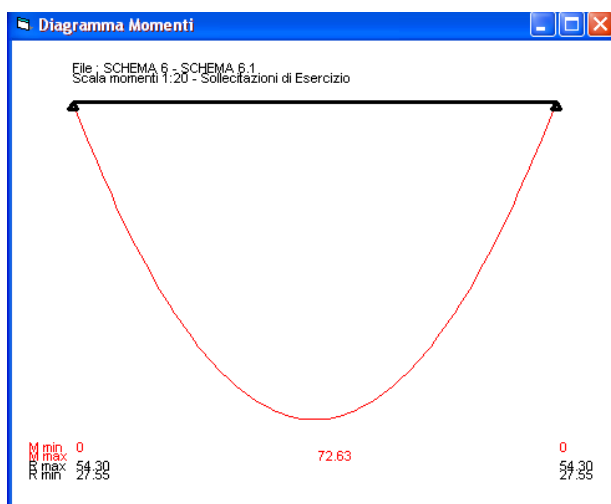
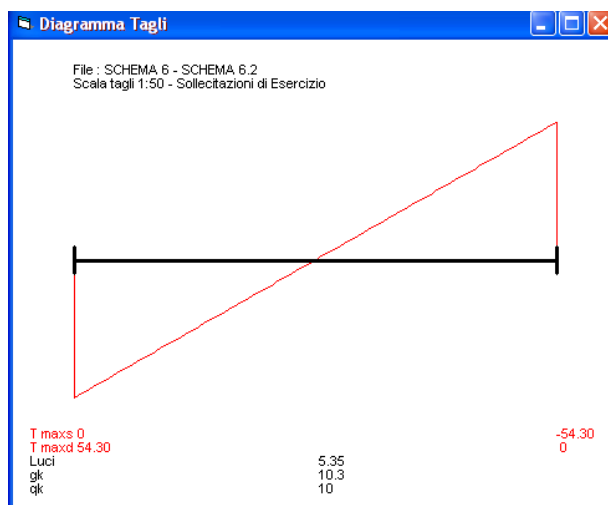
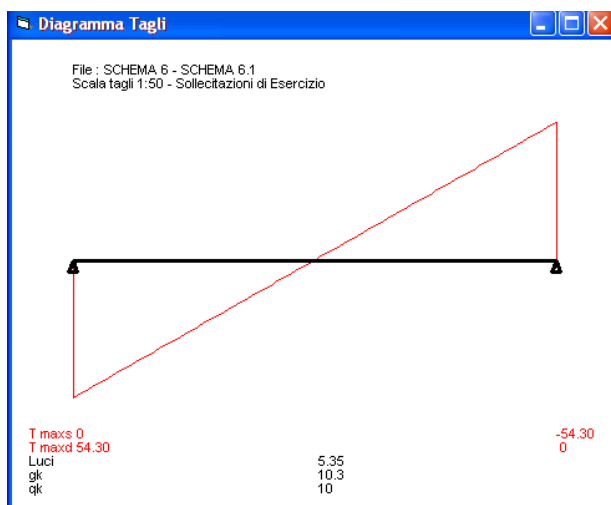
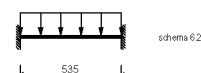
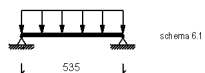
6.1.5 Schema di carico 5



Il momento massimo positivo in campata risulta pari a 106.6 kN m, mentre il momento massimo negativo è pari a -120.3 kN m. Si prevede l'utilizzo di lastre con armatura di precompressione pari a 2.94 cm² ogni 120 cm (momento massimo positivo pari a 111.62 kN m) ed armatura per momento negativo di 3φ18 ogni 60 cm (momento massimo negativo pari a -129.13 kN m).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 33 di 95

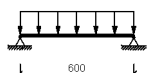
6.1.6 Schema di carico 6



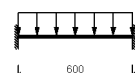
Il momento massimo positivo in campata risulta pari a 72.63 kN m, mentre il momento massimo negativo è pari a -48.42 kN m. Si prevede l'utilizzo di lastre con armatura di precompressione pari a 2.10 cm² ogni 120 cm (momento massimo positivo pari a 80.49 kN m) ed armatura per momento negativo di 1φ10 + 2φ12 ogni 60 cm (momento massimo negativo pari a -51.57 kN m).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 34 di 95

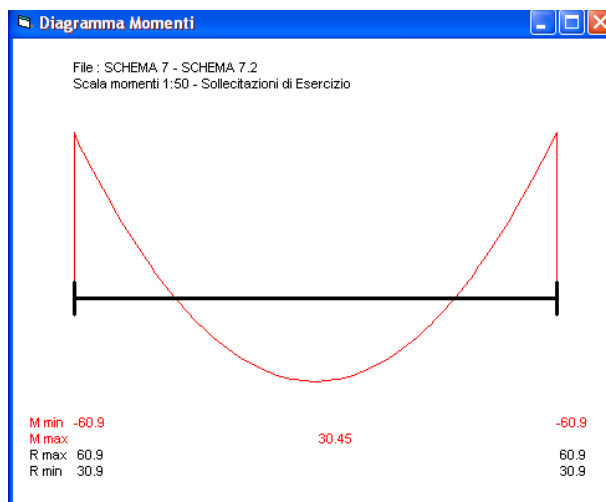
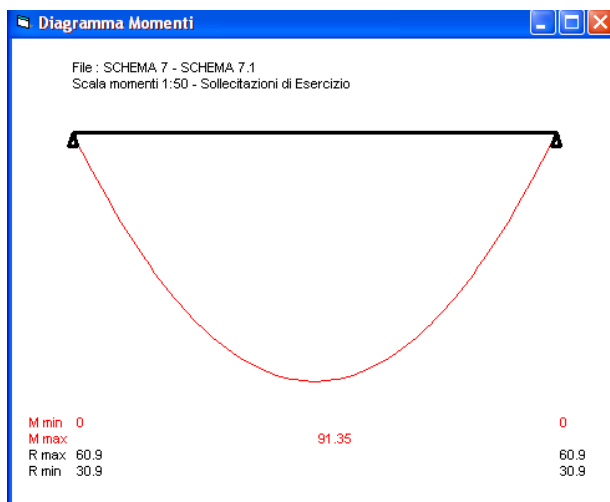
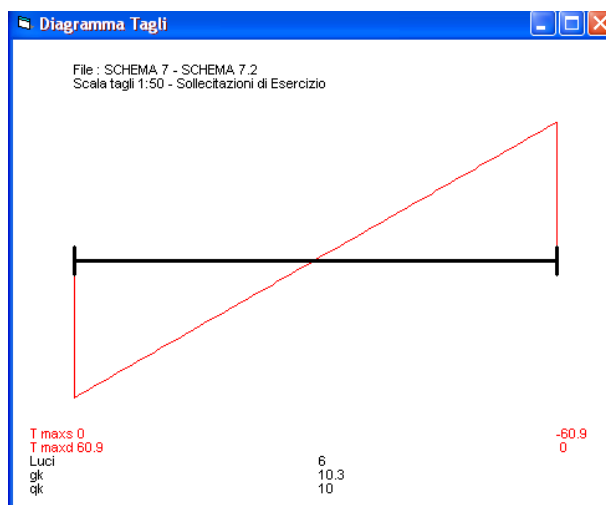
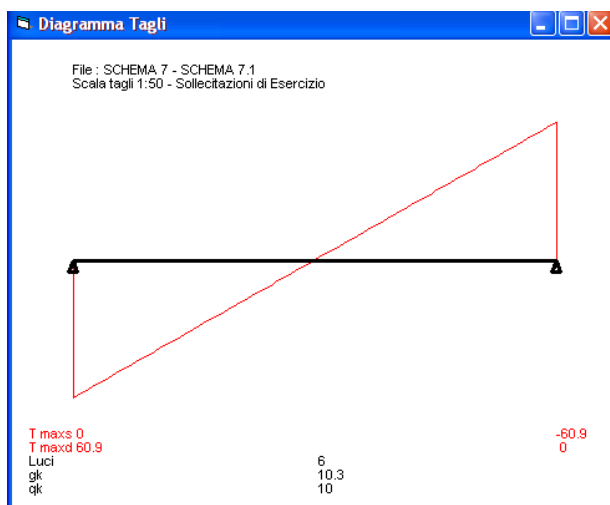
6.1.7 Schema di carico 7



schema 7.1



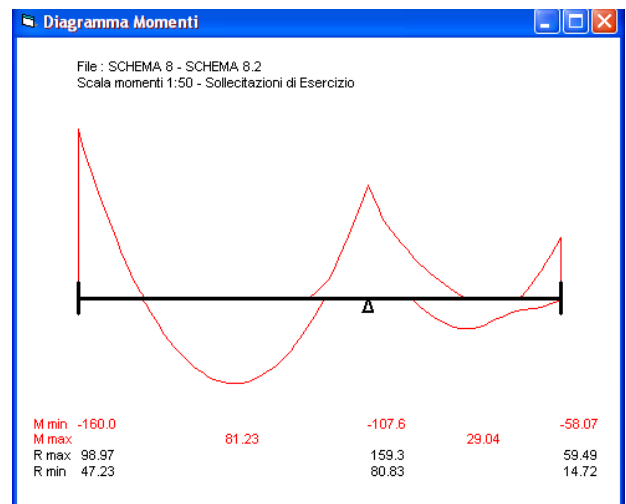
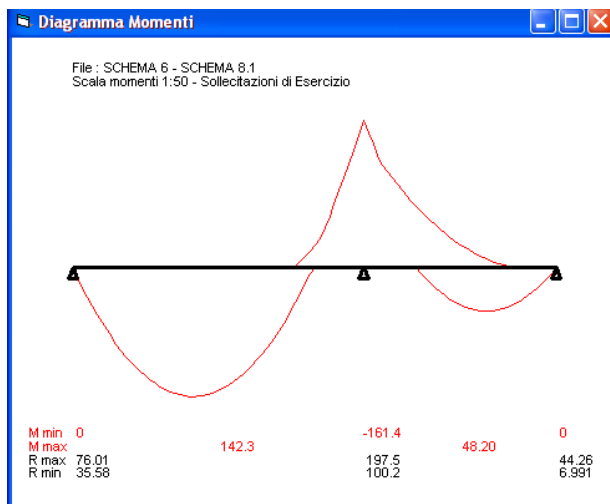
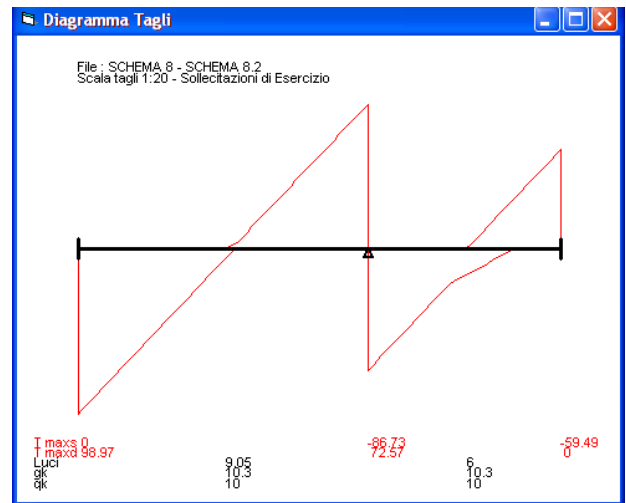
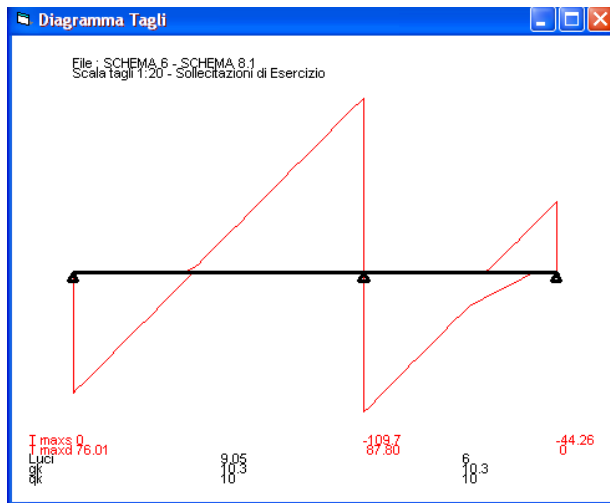
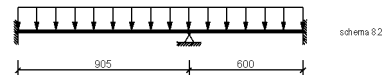
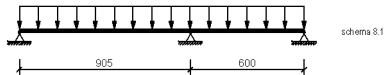
schema 7.2



Il momento massimo positivo in campata risulta pari a 91.35 kN m, mentre il momento massimo negativo è pari a -60.90 kN m. Si prevede l'utilizzo di lastre con armatura di precompressione pari a 2.94 cm² ogni 120 cm (momento massimo positivo pari a 111.62 kN m) ed armatura per momento negativo di 3φ14 ogni 60 cm (momento massimo negativo pari a -78.17 kN m).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 35 di 95

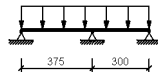
6.1.8 Schema di carico 8



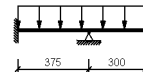
Il momento massimo positivo in campata risulta pari a 142.3 kN m, mentre il momento massimo negativo è pari a -161.4 kN m. Si prevede l'utilizzo di lastre con armatura di precompressione pari a 4.62 cm² ogni 120 cm (momento massimo positivo pari a 172.70 kN m) ed armatura per momento negativo di 1φ20 + 2φ22 ogni 60 cm (momento massimo negativo pari a -181.72 kN m).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 36 di 95

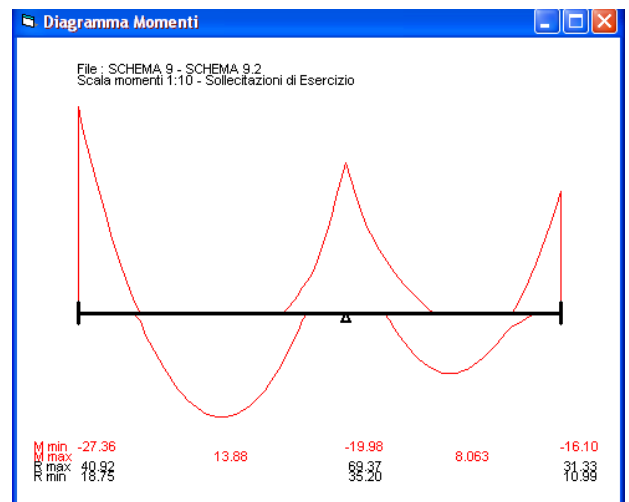
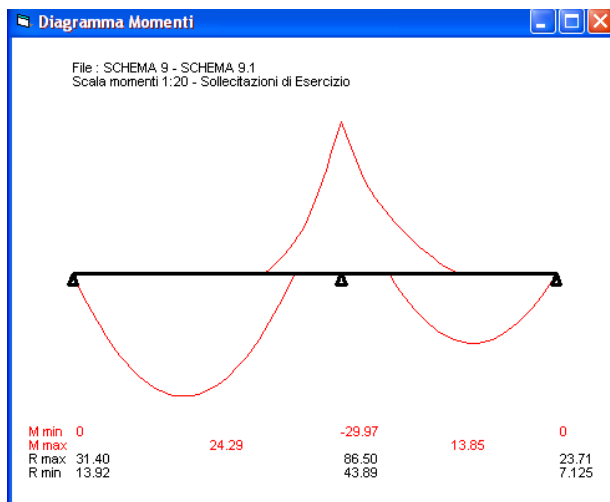
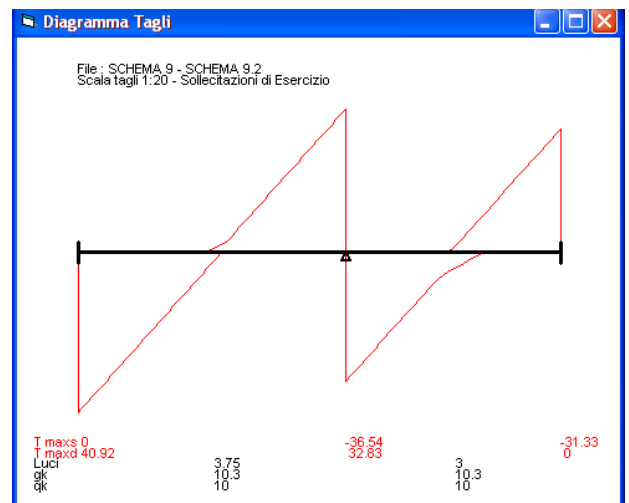
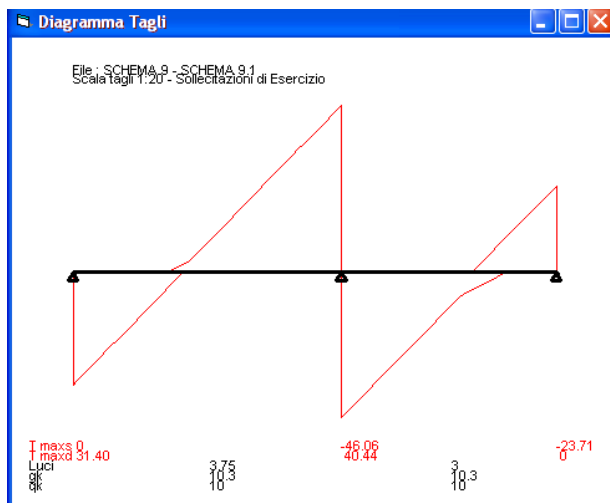
6.1.9 Schema di carico 9



schema 9.1



schema 9.2



Il momento massimo positivo in campata risulta pari a 24.29 kN m, mentre il momento massimo negativo è pari a -29.97 kN m. Si prevede l'utilizzo di lastre con armatura di precompressione pari a 0.96 cm² ogni 120 cm (momento massimo positivo pari a 37.34 kN m) ed armatura per momento negativo di 2 ϕ 12 ogni 60 cm (momento massimo negativo pari a -38.27 kN m).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 37 di 95

6.2 CALCOLO DELLE SCALE

6.2.1 Scala di servizio.

Nel seguito viene dimensionata la struttura della scala di servizio, per il collegamento tra il piano banchina e il solaio mezzanino.

La tipologia è quella di solette rampanti con gradini riportati; si prevede una soletta con spessore pari a 30 cm. L'inclinazione della scala risulta circa 31° rispetto all'orizzontale.

I carichi gravanti sulla rampa sono riportati nel seguito. Si esegue l'analisi per metro quadrato di piano inclinato:

- scalini riportati su soletta, il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$:
 $0.30 \times 0.18 / 2 \times 25.00 / 0.30 \times \cos 31^\circ = 1.93 \text{ kN/m}^2$;
- massetto di sottofondo, spessore di 0.02 m sulla pedata e di 0.01 m sull'alzata, per il fissaggio del rivestimento della scala, con malta il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$:
 $(0.02 \times 0.31 + 0.01 \times 0.16) \times 20.00 / 0.30 \times \cos 31^\circ = 0.45 \text{ kN/m}^2$;
- pavimentazione in marmo di 2 cm: $(0.02 \times (0.34 + 0.18)) \times 27.00 / 0.30 \times \cos 31^\circ = 0.80 \text{ kN/m}^2$;
- intonaco, $h = 2 \text{ cm}$: $0.02 \times 18.00 = 0.36 \text{ kN/m}^2$.

Pertanto, il carico in esame per metro quadrato di struttura su piano inclinato è pari a:

$$1.93 + 0.45 + 0.80 + 0.36 = 3.54 \text{ kN/m}^2, \text{ arrotondato a } 3.55 \text{ kN/m}^2.$$

I carichi gravanti sul pianerottolo sono invece relativi a:

- massetto di sottofondo, spessore di 0.02 m, per il fissaggio del rivestimento della scala, con malta il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$: $0.02 \times 20.00 = 0.40 \text{ kN/m}^2$;
- pavimentazione in marmo di 2 cm: $0.02 \times 27.00 = 0.54 \text{ kN/m}^2$;
- intonaco, $h = 2 \text{ cm}$: $0.02 \times 18.00 = 0.36 \text{ kN/m}^2$.

Pertanto, il carico in esame per metro quadrato di pianerottolo è pari a:

$$0.40 + 0.54 + 0.36 = 1.30 \text{ kN/m}^2.$$

Il sovraccarico variabile, come già definito nel paragrafo 5.3, è assunto pari a 5.00 kN/m^2 e considerato in proiezione orizzontale.

Nella Figura 23 è riportato lo schema strutturale della scala 1: il nodo N1 è N3 è pensato alternativamente cerniera ed incastro, al fine di massimizzare le sollecitazioni di calcolo.

Dalla Figura 24 alla Figura 26 sono riportati gli schemi di carico applicati alla struttura: sia il carico da peso proprio strutturale sia il permanente portato sono schematizzati nella Figura 24.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 38 di 95	

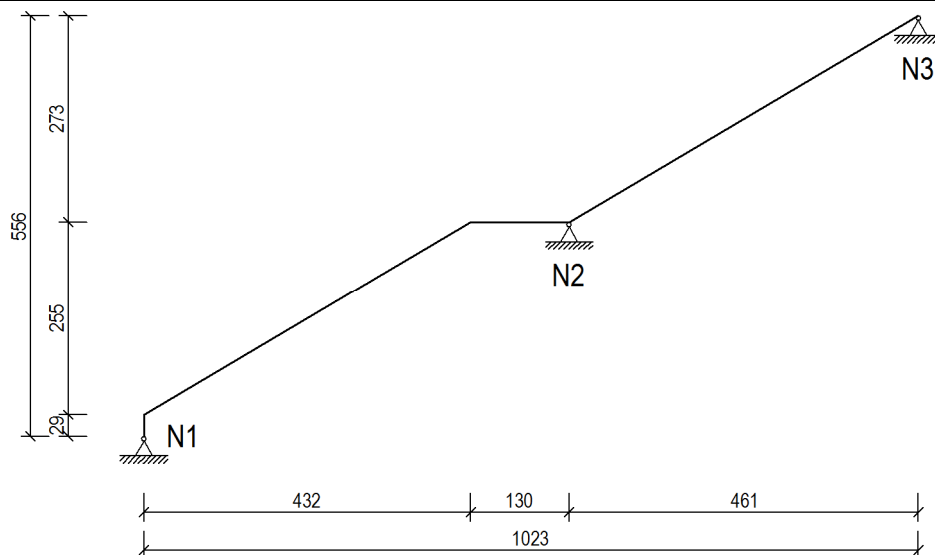


Figura 23 – Schema strutturale della scala 1.

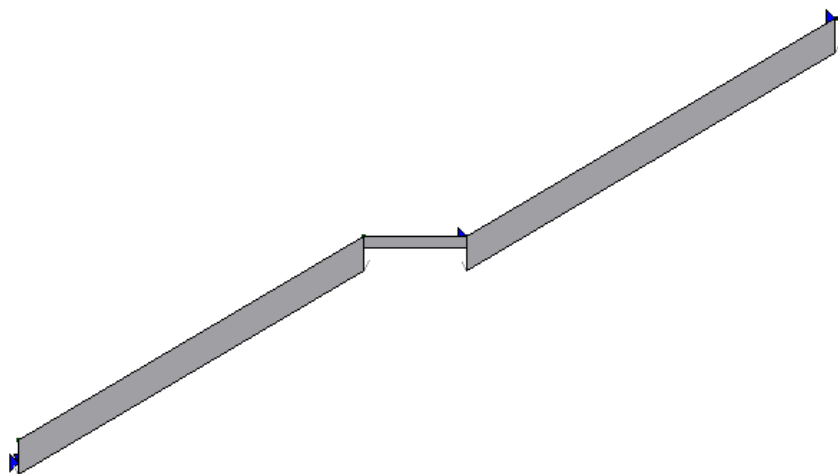


Figura 24 – Schema di applicazione del carico permanente.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 39 di 95	

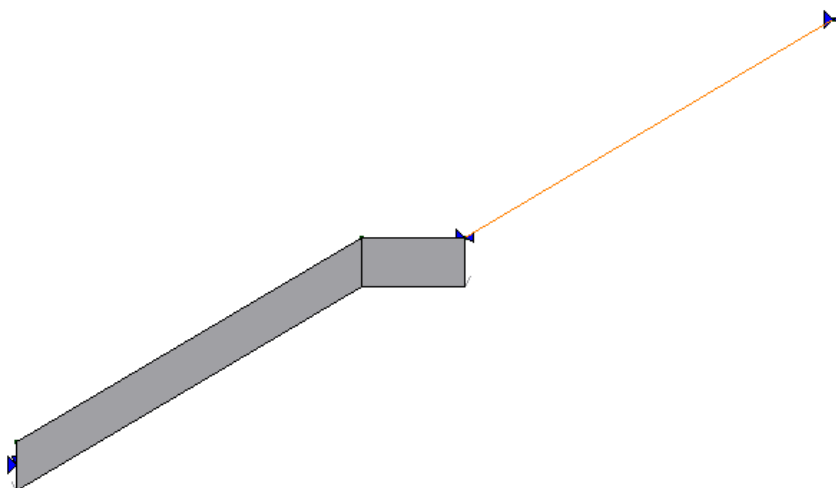


Figura 25 – Schema di applicazione del carico variabile – 1^a campata.

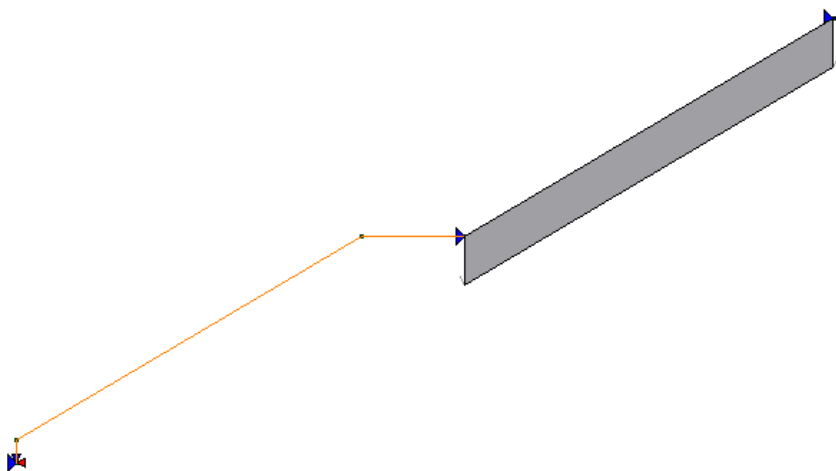
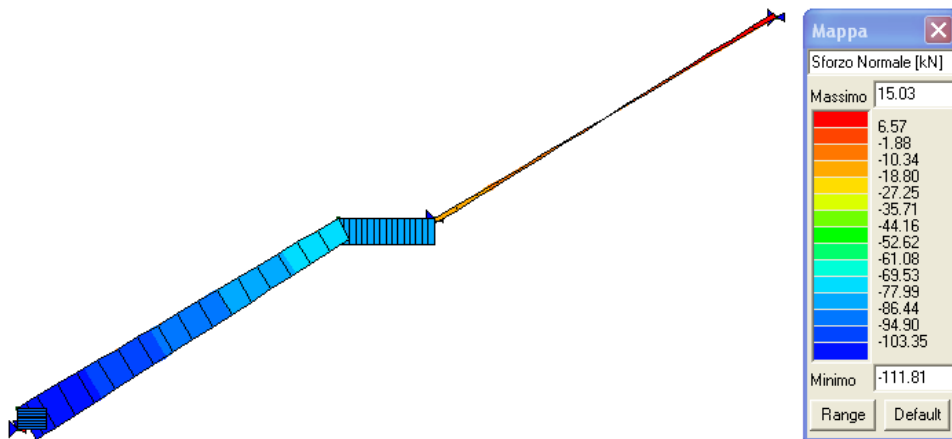
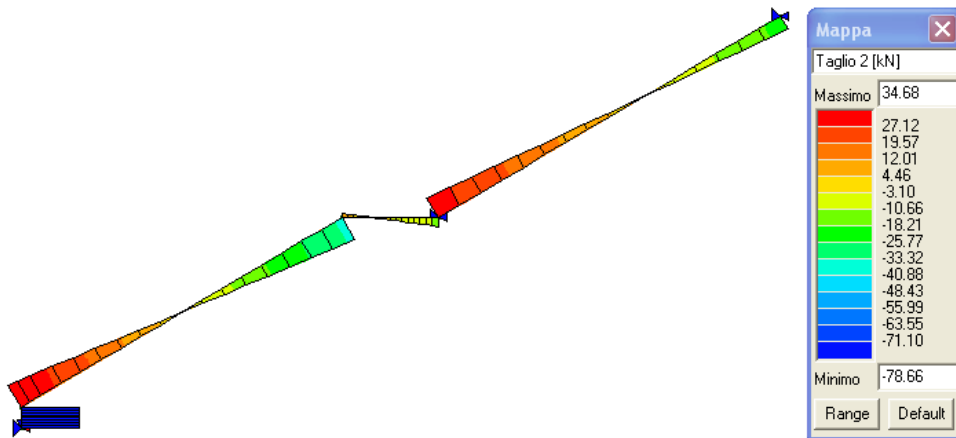
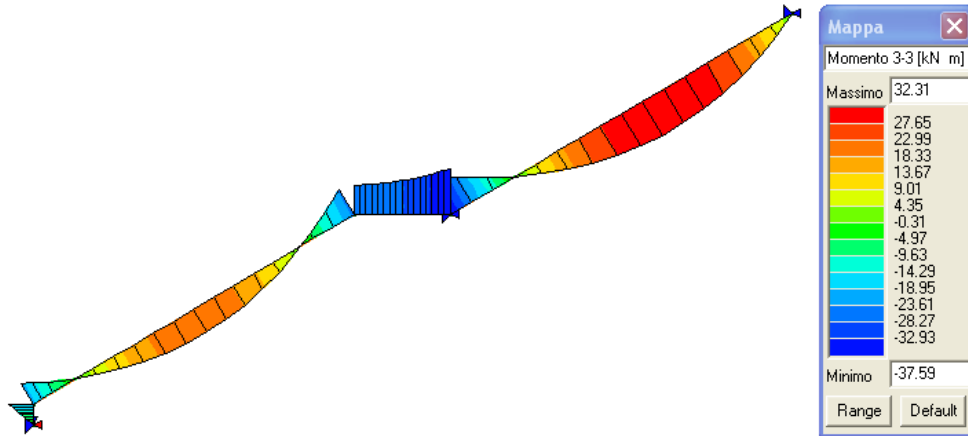


Figura 26 – Schema di applicazione del carico variabile – 2^a campata.

Nel seguito sono riportati i diagrammi di sollecitazioni di sforzo normale, taglio e momento flettente, per metro di struttura. È da intendersi che le immagini che seguono fanno riferimento alle massime sollecitazioni sulla struttura, possibilmente afferenti a combinazioni di carico diverse.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 40 di 95	



APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 41 di 95	

Si prevede di armare la soletta con $\phi 16/20$ (pari a 10.05 cm^2) sia il lembo teso sia il lembo compresso. Per questa sollecitazione risulta (le singole verifiche sono state condotte trascurando, a favore di sicurezza, la sollecitazione di compressione):

sez.	cmb	N [kN]	M [kN m]	T [kN]	b [cm]	h [cm]	As [cm ²]	A's [cm ²]	sigC+ [N/mm ²]	sigC- [N/mm ²]	sigA+ [N/mm ²]	sigA- [N/mm ²]	Rp,C	Rp,A	tauC [N/mm ²]	As/s,d [cm ² /m]
app	001	-22	-38	44	100	30	10.05	10.05	0.00	-5.71	187.31	10.29	0.52	0.72	0.22	0.00
iniz	001	-87	-23	-79	100	30	10.05	10.05	0.00	-3.45	113.37	6.23	0.31	0.44	0.40	0.00

L'azione che viene trasmessa sul vincolo N2 è pari a circa 70.00 kN: considerando uno spessore di 30 cm l'armatura disposta è pari a $\phi 16/20$ (pari a 10.05 cm^2), sia per le due facce verticali, sia per le due facce orizzontali. Con tali armature la verifica risulta abbondantemente soddisfatta.

6.2.2 Scala utenza.

Nel seguito vengono descritte le strutture della scala utenza la cui tipologia è quella di soletta rampante con gradini riportati che trasmettono le proprie sollecitazioni su dei setti verticali con spessore pari a 30 cm; si prevede una soletta con spessore pari a 30 cm e l'inclinazione della scala risulta di circa 27.8° rispetto all'orizzontale. Nella Figura 27 è riportato lo schema strutturale della scala in questione.

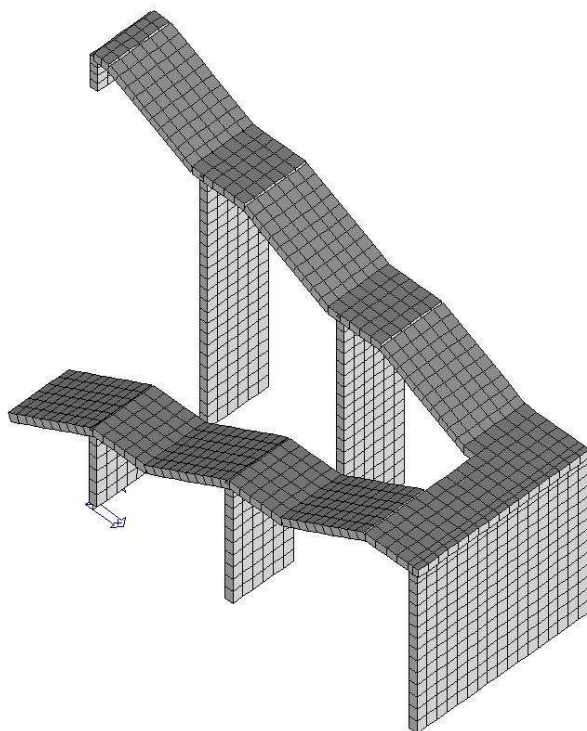


Figura 27 – Modello tridimensionale della scala d'utenza e di servizio

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 42 di 95	

Il peso proprio delle membrature strutturali viene valutato assumendo per il calcestruzzo armato un peso specifico pari a 25 kN/m³; il peso di ciascuna membratura strutturale viene determinato direttamente dal programma di calcolo come prodotto tra il peso specifico e la dimensione dell'elemento stesso.

In Figura 28 è riportata un'immagine rappresentativa dell'applicazione dei carichi di cui in precedenza.

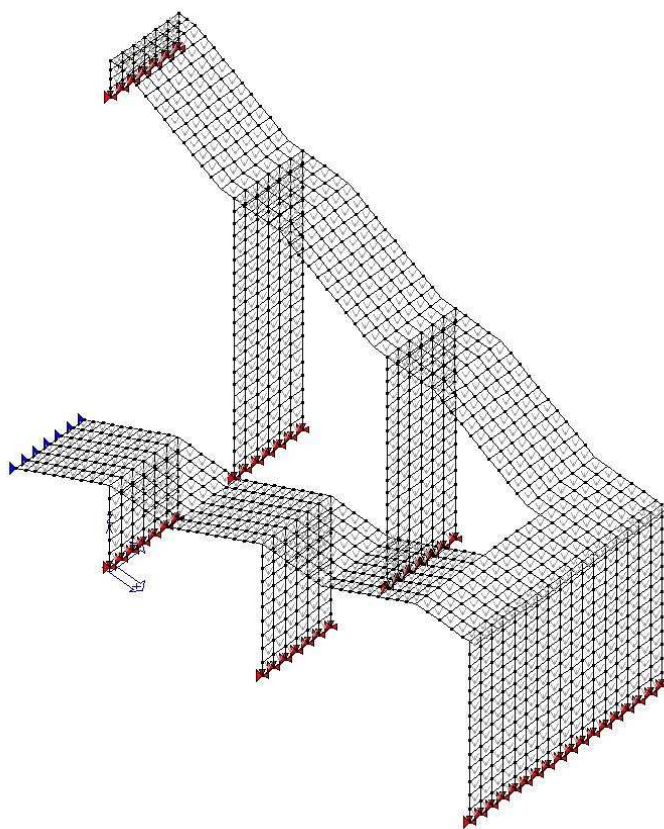


Figura 28 – Distribuzione del peso proprio strutturale dovuto alle membrature strutturali.

I carichi gravanti sulla rampa sono riportati nel seguito. Si esegue l'analisi per metro quadrato di piano inclinato:

- scalini riportati su soletta, il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$:
 $0.30 \times 0.165 / 2 \times 25.00 / 0.30 \times \cos 27.8^\circ = 1.99 \text{ kN/m}^2$;
- massetto di sottofondo, spessore di 0.02 m sulla pedata e di 0.01 m sull'alzata, per il fissaggio del rivestimento della scala, con malta il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$:
 $(0.02 \times 0.31 + 0.01 \times 0.145) \times 20.00 / 0.30 \times \cos 27.8^\circ = 0.46 \text{ kN/m}^2$;
- pavimentazione in marmo di 2 cm: $(0.02 \times (0.34 + 0.165)) \times 27.00 / 0.30 \times \cos 27.8^\circ = 0.82 \text{ kN/m}^2$;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 43 di 95

– intonaco, $h = 2 \text{ cm}$: $0.02 \times 18.00 = 0.36 \text{ kN/m}^2$.

Pertanto, il carico in esame per metro quadrato di struttura su piano inclinato è pari a:

$$1.99 + 0.46 + 0.82 + 0.36 = 3.63 \text{ kN/m}^2, \text{ arrotondato a } 3.65 \text{ kN/m}^2.$$

I carichi gravanti sul pianerottolo sono invece relativi a:

- massetto di sottofondo, spessore di 0.02 m , per il fissaggio del rivestimento della scala, con malta il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$: $0.02 \times 20.00 = 0.40 \text{ kN/m}^2$;
- pavimentazione in marmo di 2 cm : $0.02 \times 27.00 = 0.54 \text{ kN/m}^2$;
- intonaco, $h = 2 \text{ cm}$: $0.02 \times 18.00 = 0.36 \text{ kN/m}^2$.

Pertanto, il carico in esame per metro quadrato di pianerottolo è pari a:

$$0.40 + 0.54 + 0.36 = 1.30 \text{ kN/m}^2.$$

In Figura 29 è riportata un'immagine rappresentativa dell'applicazione dei carichi di cui in precedenza.

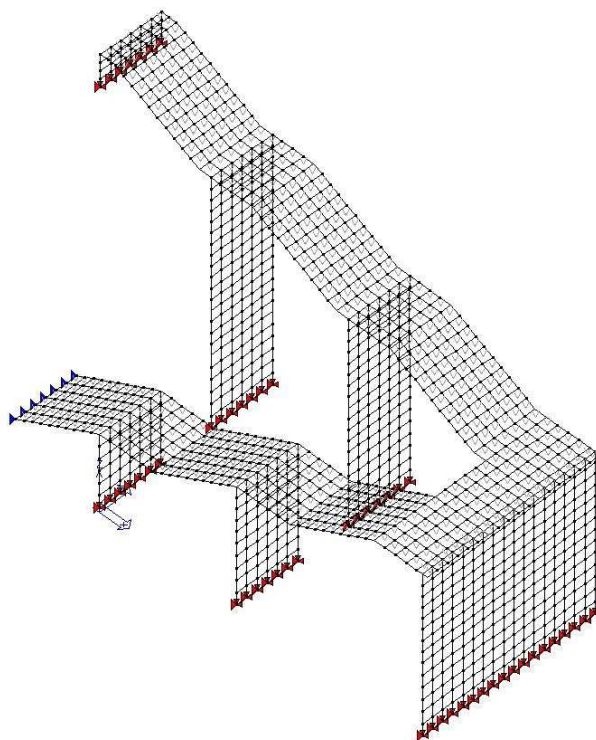


Figura 29 – Distribuzione dei carichi permanenti.

Mentre, il sovraccarico variabile, come già definito nel paragrafo 5.3, è assunto pari a 5.00 kN/m^2 e considerato in proiezione orizzontale. Nella figura seguente è stata riportata un'immagine rappresentativa dell'applicazione del carico variabile.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 44 di 95	

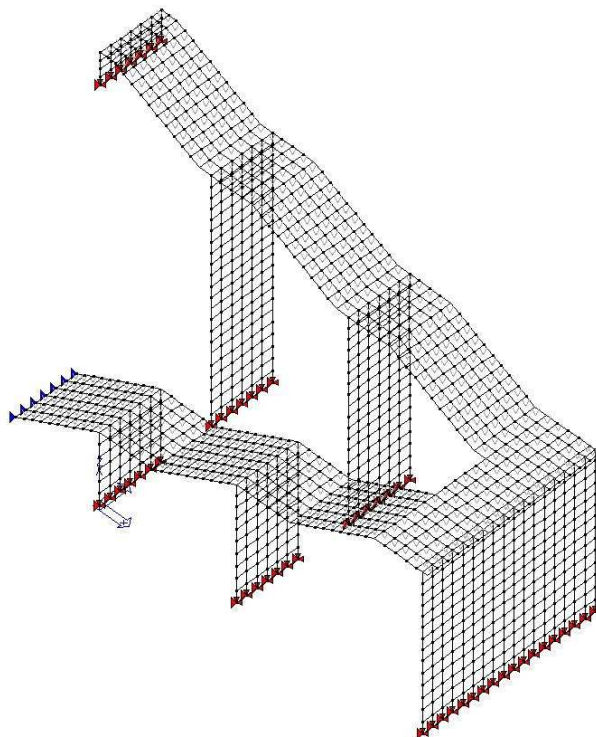


Figura 30 – Distribuzione del sovraccarico variabile.

La struttura è stata verificata prendendo in considerazione l'azione sismica la quale è stata valutata mediante metodo pseudo statico.

In tale analisi, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G1 + G2 + \sum \psi_{2i} \times Q_{ki}.$$

I carichi variabili che generano massa sismica sono eventualmente esplicitati nel singolo paragrafo, assieme al coefficiente ψ .

L'area in cui ricadono le opere di progetto è di seconda categoria; per tale zona risulta:

- S, grado di sismicità, pari a 9;
- C, coefficiente di intensità sismica, pari a $(9 - 2)/100 = 0.07$.

Le azioni sismiche orizzontali si schematizzano attraverso l'introduzione di due sistemi di forze orizzontali agenti non contemporaneamente secondo due direzioni ortogonali. Le forze alle diverse quote devono essere applicate in corrispondenza dei baricentri dei «pesi» i quali generalmente possono essere riportate alle quote dei solai.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 45 di 95

La forza orizzontale F_i alla generica quota, secondo una prefissata direzione, si ottiene dalla relazione:

$$F_i = K_{hi} \cdot W_i = (C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot \gamma_i \cdot I) \times (G_i + s \cdot Q_i).$$

I valori del coefficiente s sono funzione della destinazione dell'opera.

Il coefficiente di risposta R è assunto pari a 1.0.

Il coefficiente di fondazione ε è assunto pari a 1.0.

Il coefficiente γ_i determina la variazione in altezza dell'azione sismica.

Il coefficiente di struttura β è assunto pari a 1.4, poiché l'edificio è assimilabile ad una struttura a pannelli portanti.

Il coefficiente di importanza I assunto è pari a 1.0.

Nelle figure seguenti sono state riportate delle immagini rappresentative dell'applicazione dei carichi di cui in precedenza.

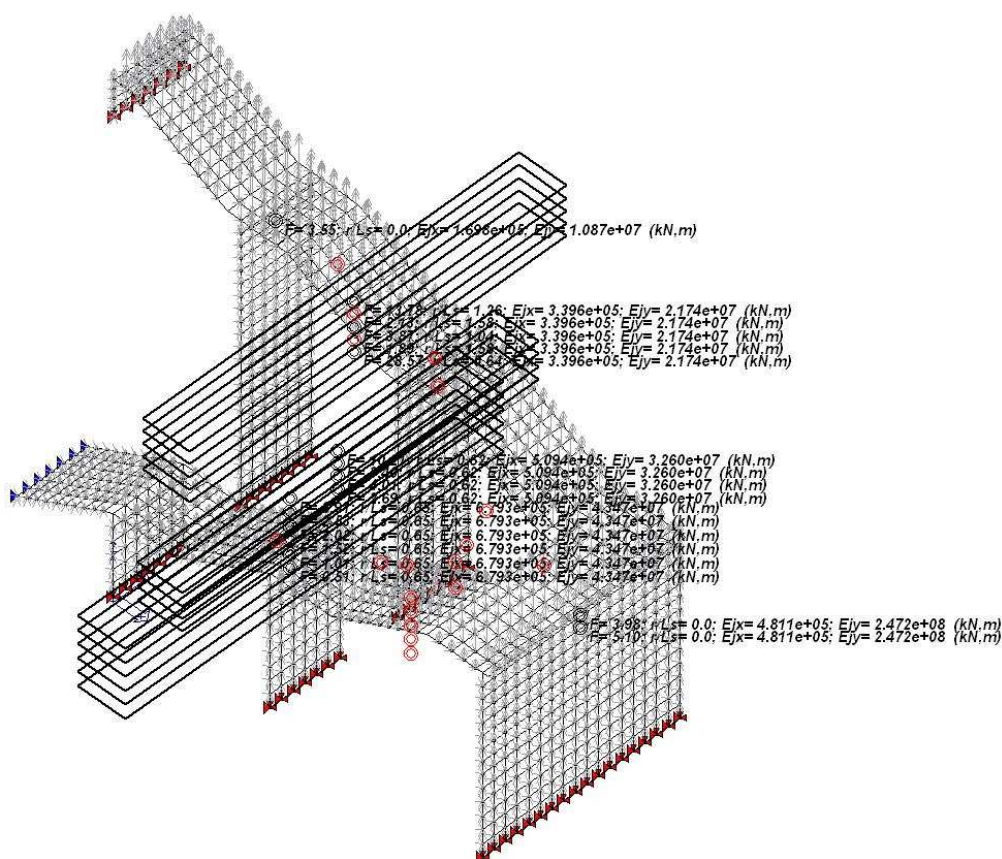


Figura 31 – Distribuzione dell'azione sismica (sisma X)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 46 di 95

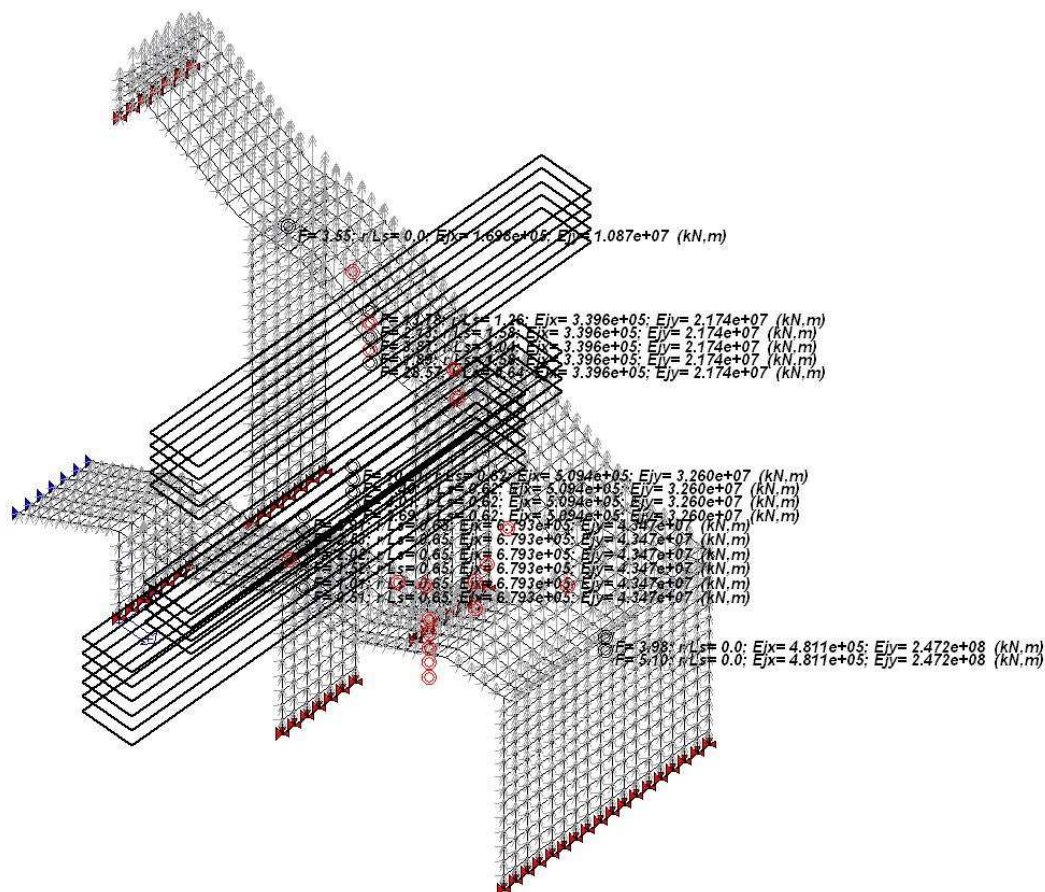


Figura 32 – Distribuzione dell'azione sismica (sisma Y)

La modellazione viene eseguita con il codice di calcolo PRO_SAP, della società 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., eseguendo un modello tridimensionale della struttura con elementi tipo shell a 4 nodi. Le verifiche vengono eseguite secondo il metodo delle tensioni ammissibili, con la combinazione di carico statica e sismica.

Nelle figure seguenti sono riportate tramite mappa di colore le distribuzioni dei momenti flettenti in combinazione statica e in combinazione sismica, in funzione delle quali sono state effettuate le singole verifiche di resistenza delle sezioni e pertanto determinata l'armatura necessaria.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 47 di 95

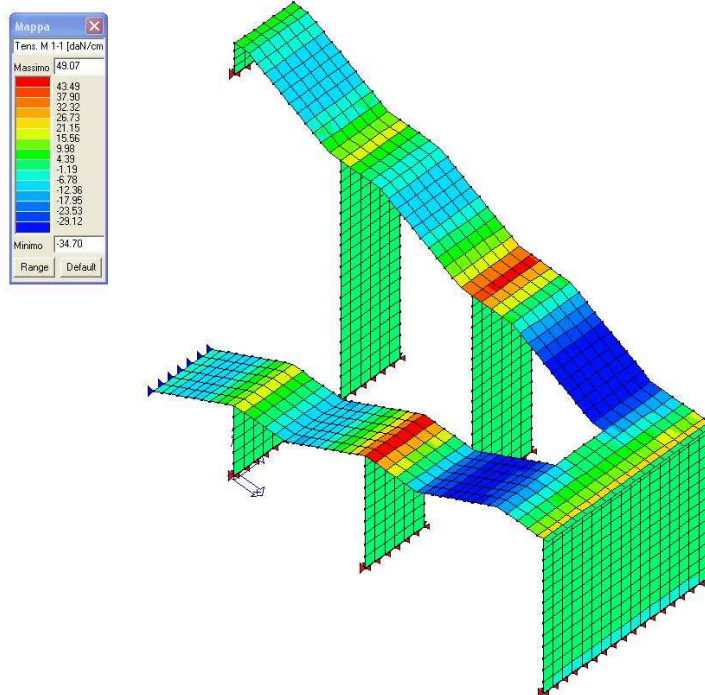


Figura 33 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M11 in cmb statica.

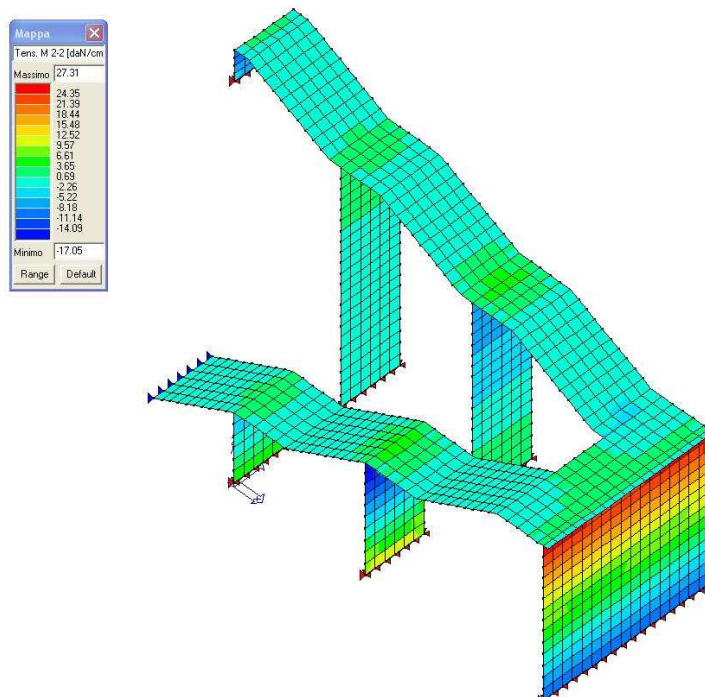


Figura 34 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M22 in cmb statica.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 48 di 95	

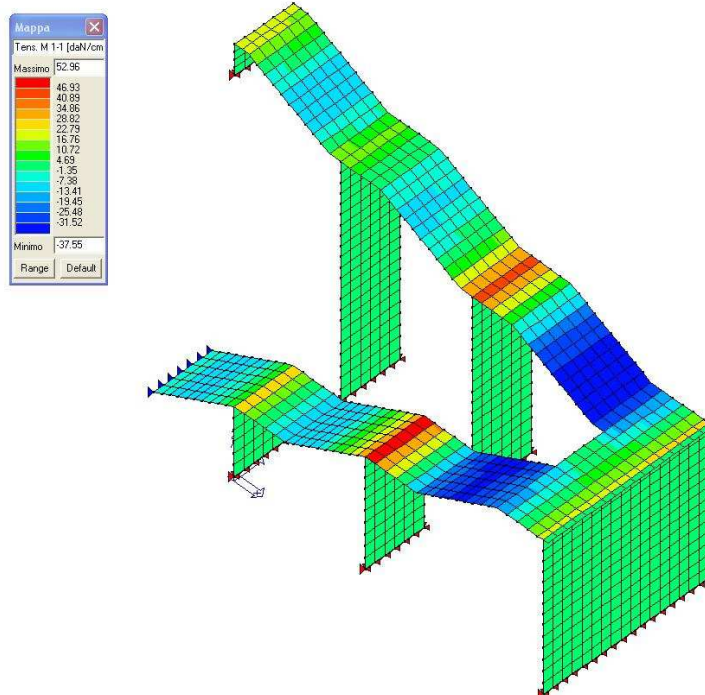


Figura 35 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M11 in cmb sismica.

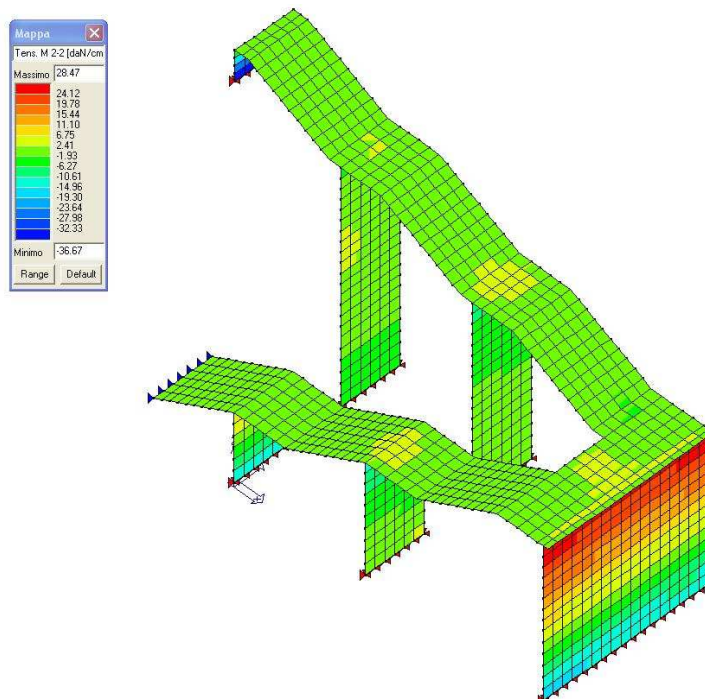


Figura 36 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M22 in cmb sismica.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 49 di 95

Il setti verticali sono armati con maglia $\phi 14/20$ sulle due direzioni e su entrambe le facce; i gradini e i pianerottoli vengono armati con maglia $\phi 14/10$ sulle due direzioni e su entrambe le facce. Di seguito si riportano, tramite mappa di colore, le distribuzioni delle tensioni massime espresse in daN/cm² sia sul calcestruzzo che sull'acciaio. Per maggiori dettagli si rimanda ai tabulati di calcolo allegati alla presente.

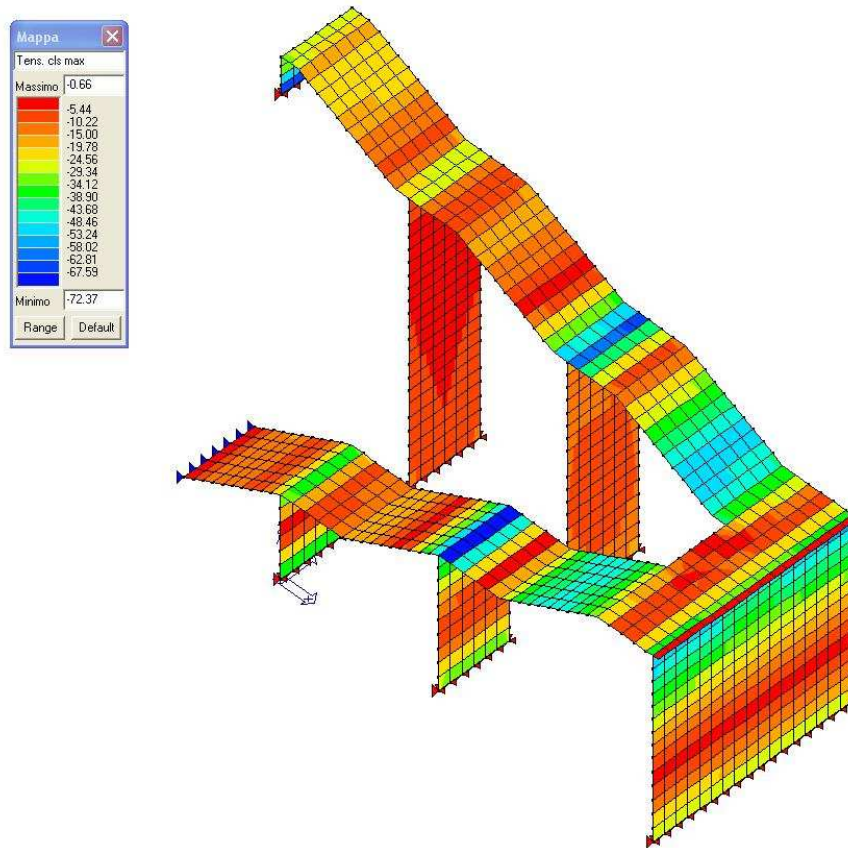


Figura 37 – Visualizzazione grafica della distribuzione delle tensioni massime [daN/cm²] nel cls.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 50 di 95	

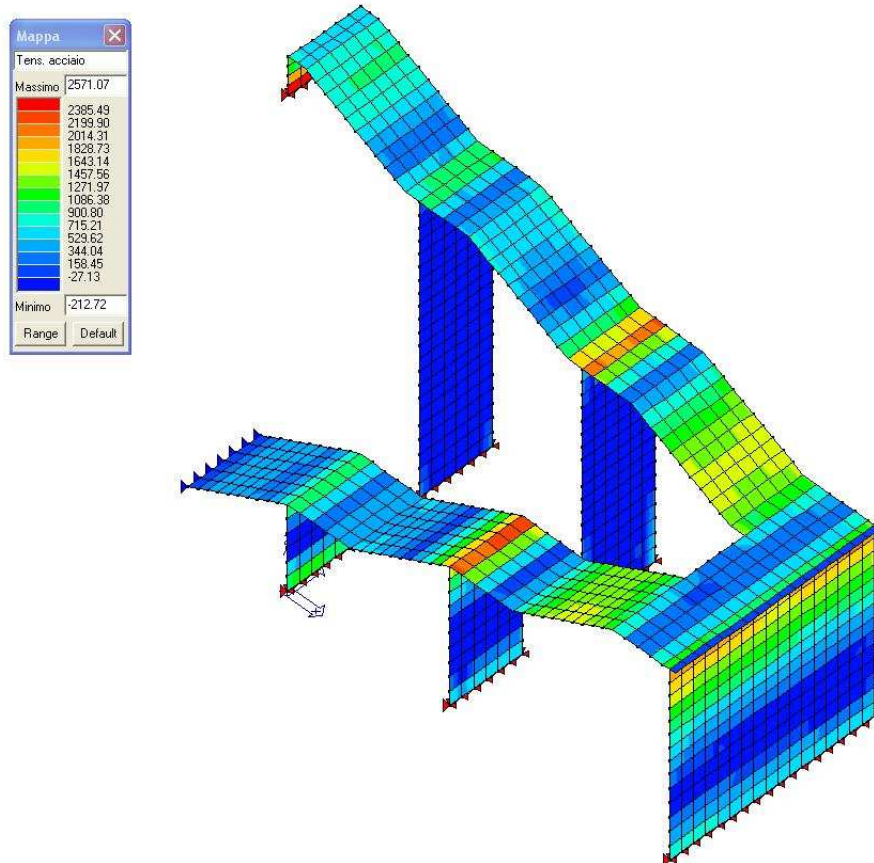


Figura 38 – Visualizzazione grafica distribuzione delle tensioni massime [daN/cm²] nell'acciaio.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 51 di 95	

6.3 VANO ASCENSORE

La struttura del vano ascensore, la quale trasmetterà le sollecitazioni sulla piastra di fondazione di altezza pari a 1,00m, presenta un'altezza complessiva di 15,74 m ed è costituita da n. 4 setti verticali con spessore pari a 20 cm e da un solo setto orizzontale, ubicato nella parte superiore dell'opera, anche esso dello spessore di cm 20.

In particolare, sui setti verticali sono state previste due aperture di dimensioni minime 2,30 x 1,15 mq per rendere fruibile l'ascensore. Nella Figura 39 è riportato lo schema strutturale della scala in questione.

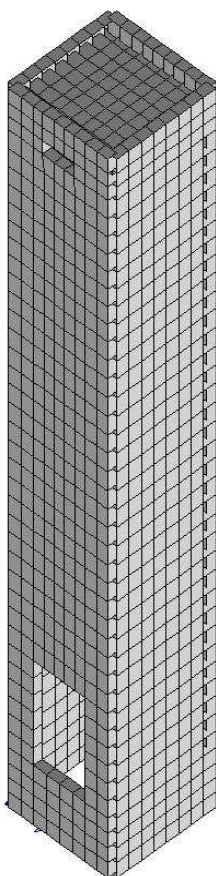


Figura 39 – Modello tridimensionale della scala vano ascensore

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 52 di 95	

Il peso proprio delle membrature strutturali viene valutato assumendo per il calcestruzzo armato un peso specifico pari a 25 kN/m³; il peso di ciascuna membratura strutturale viene determinato direttamente dal programma di calcolo come prodotto tra il peso specifico e la dimensione dell'elemento stesso.

In Figura 40 è riportata un'immagine rappresentativa dell'applicazione dei carichi di cui in precedenza.

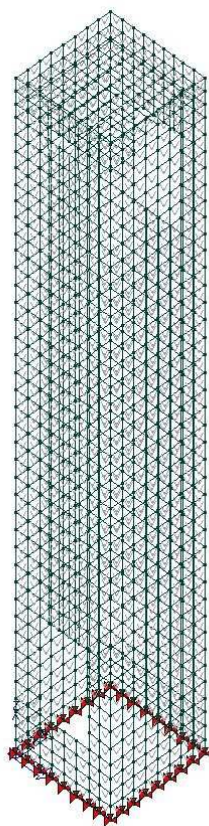


Figura 40 – Distribuzione del peso proprio strutturale dovuto alle membrature strutturali.

I carichi gravanti sulla copertura dell'ascensore sono riportati nel seguito:

- massetto delle pendenze, spessore medio di 0.04 m, con malta il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$: $0.04 \times 19.00 = 0.76 \text{ kN/m}^2$;
- impermeabilizzazione = 0.25 kN/m^2 .

Pertanto, il carico in esame per metro quadrato di struttura è pari a:

$$0.76 + 0.25 = 1.01 \text{ kN/m}^2.$$

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 53 di 95

In Figura 41 è riportata un'immagine rappresentativa dell'applicazione dei carichi di cui in precedenza.

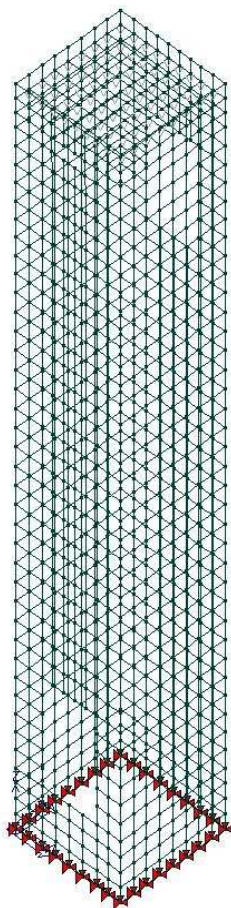


Figura 41 – Distribuzione dei carichi permanenti nella copertura.

Il carico della neve, considerando la località di Palermo caratterizzata da una zona neve = III e con un valore caratteristico del carico al suolo (q_{sk}) = 75 daN/mq, risulta essere pari a 0.60 kN/m², mentre, la pressione esercitata dal vento, considerando la località di Palermo caratterizzata da una zona vento = 4, una classe di rugosità del terreno di tipo A [Aree urbane con almeno il 15% della superficie coperta da edifici la cui altezza media superi 15 m] e un'altezza dell'edificio fuori terra di 5,00 m, si ottiene una pressione di 0.80 kN/m².

Nelle figure seguenti sono riportate delle immagini rappresentative dell'applicazione dei carichi di cui in precedenza.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 54 di 95

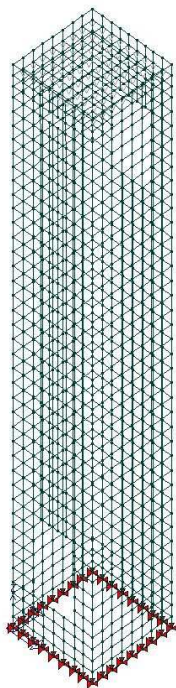


Figura 42 – Distribuzione del carico da neve nella copertura.

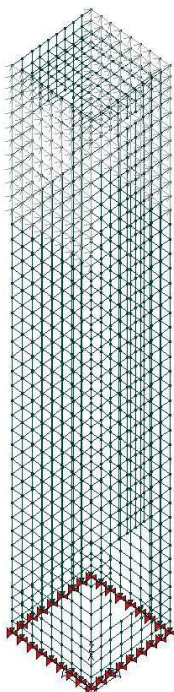


Figura 43 – Distribuzione del carico dovuto al vento

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 55 di 95	

Per le sollecitazioni trasmesse dalle guide si è fatto riferimento alle indicazioni fornite dal produttore, il quale ha fornito la seguente sollecitazione: $F_x = 1.100.811$ daN. In Figura 44 è riportata un'immagine rappresentativa dell'applicazione dei carichi di cui in precedenza.

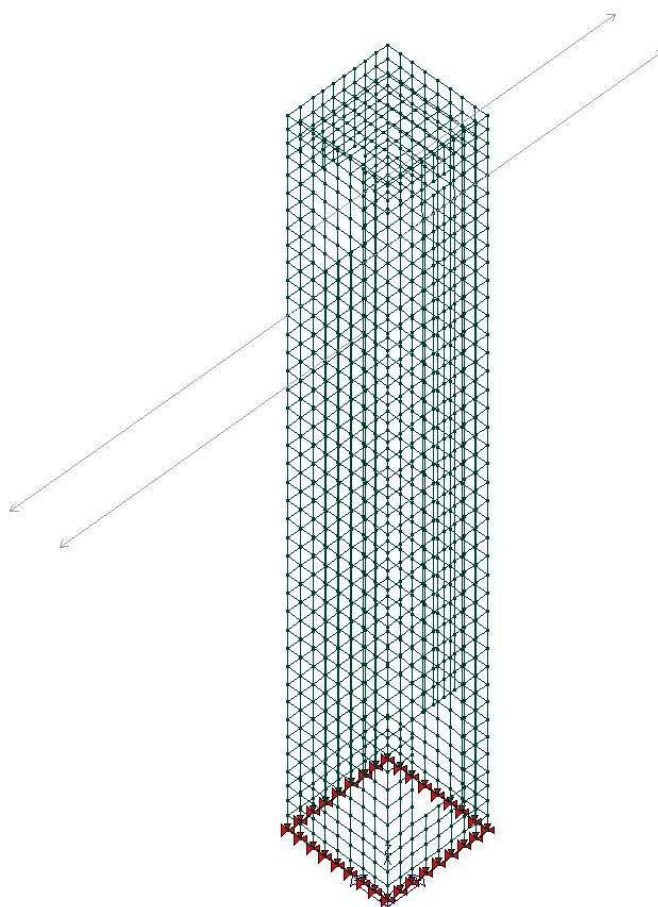


Figura 44 – Distribuzione delle sollecitazioni trasmesse dalle guide dell'ascensore

La struttura è stata verificata prendendo in considerazione l'azione sismica la quale è stata valutata mediante metodo pseudo statico.

In tale analisi, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G1 + G2 + \sum_i \psi_{2i} \times Q_{ki}.$$

I carichi variabili che generano massa sismica sono eventualmente esplicitati nel singolo paragrafo, assieme al coefficiente ψ .

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 56 di 95	

L'area in cui ricadono le opere di progetto è di seconda categoria; per tale zona risulta:

- S, grado di sismicità, pari a 9;
- C, coefficiente di intensità sismica, pari a $(9 - 2)/100 = 0.07$.

Le azioni sismiche orizzontali si schematizzano attraverso l'introduzione di due sistemi di forze orizzontali agenti non contemporaneamente secondo due direzioni ortogonali. Le forze alle diverse quote devono essere applicate in corrispondenza dei baricentri dei «pesi» i quali generalmente possono essere riportate alle quote dei solai.

La forza orizzontale F_i alla generica quota, secondo una prefissata direzione, si ottiene dalla relazione:

$$F_i = K_{hi} \cdot W_i = (C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot \gamma_i \cdot I) \times (G_i + s \cdot Q_i).$$

I valori del coefficiente s sono funzione della destinazione dell'opera.

Il coefficiente di risposta R è assunto pari a 1.0.

Il coefficiente di fondazione ε è assunto pari a 1.0.

Il coefficiente γ_i determina la variazione in altezza dell'azione sismica.

Il coefficiente di struttura β è assunto pari a 1.4, poiché l'edificio è assimilabile ad una struttura a pannelli portanti.

Il coefficiente di importanza I assunto è pari a 1.0.

Nelle figure seguenti sono state riportate delle immagini rappresentative dell'applicazione dei carichi di cui in precedenza.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 57 di 95	

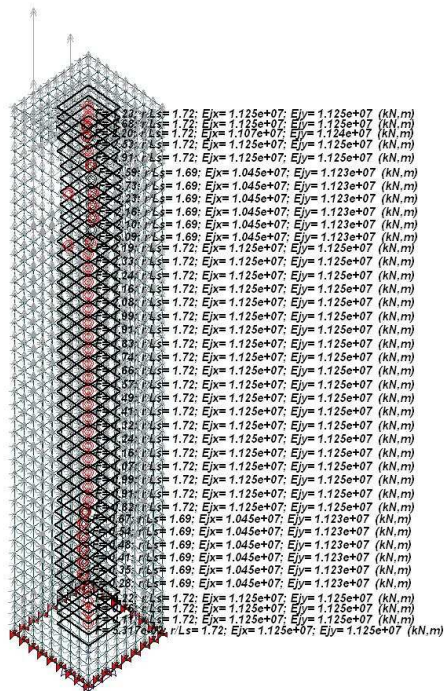


Figura 45 – Distribuzione dell'azione sismica (sisma X)

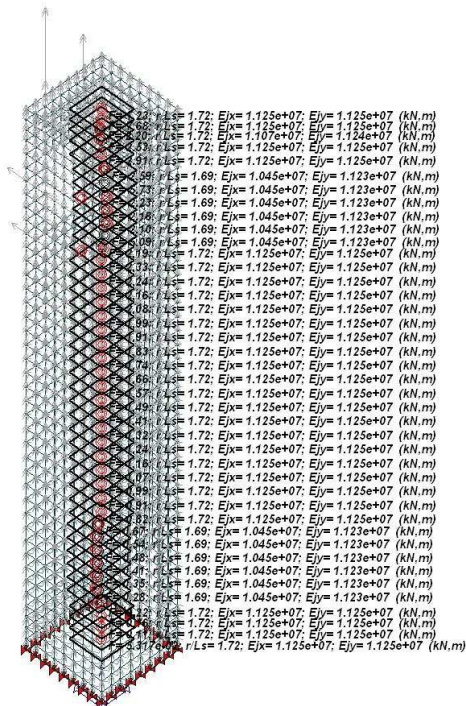


Figura 46 – Distribuzione dell'azione sismica (sisma Y)

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 58 di 95

La modellazione viene eseguita con il codice di calcolo PRO_SAP, della società 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., eseguendo un modello tridimensionale della struttura con elementi tipo shell a 4 nodi. Le verifiche vengono eseguite secondo il metodo delle tensioni ammissibili, con la combinazione di carico statica e sismica.

Nelle figure seguenti sono riportate tramite mappa di colore le distribuzioni dei momenti flettenti in combinazione statica e in combinazione sismica, in funzione delle quali sono state effettuate le singole verifiche di resistenza delle sezioni e pertanto determinata l'armatura necessaria.

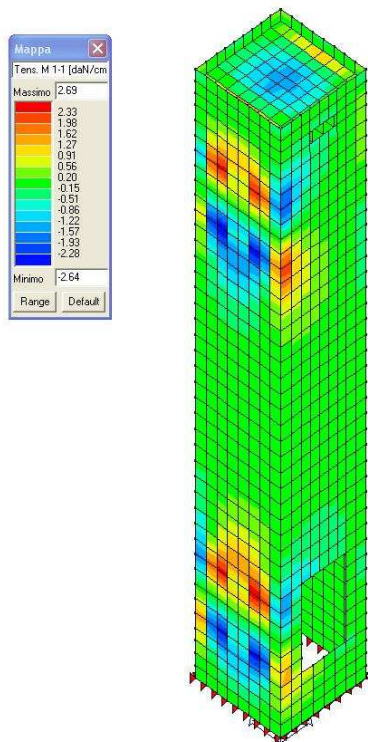


Figura 47 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M11 in cmb statica.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 59 di 95

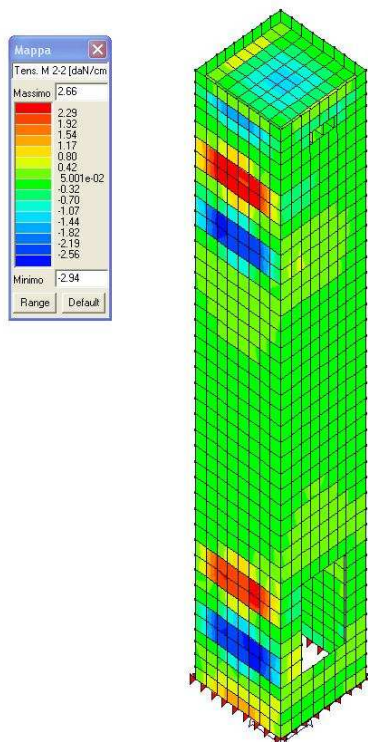


Figura 48 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M22 in cmb statica.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 60 di 95

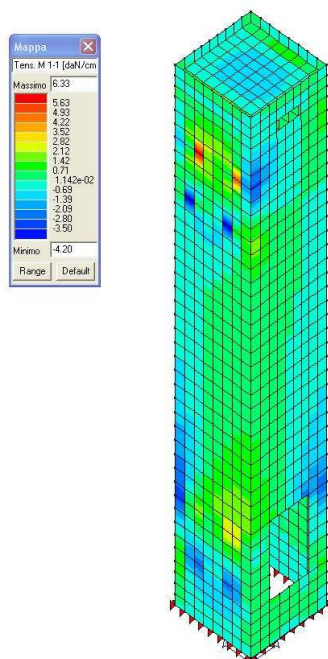


Figura 49 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M11 in cmb sismica.

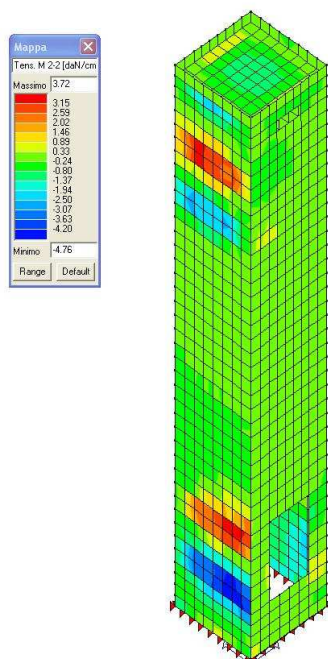


Figura 50 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M22 in cmb sismica.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 61 di 95

Sia setti verticali che quelli orizzontali vengono armati con maglia $\phi 14/20$ sulle due direzioni e su entrambe le facce. Di seguito si riportano, tramite mappa di colore, le distribuzioni delle tensioni massime espresse in daN/cm² sia sul calcestruzzo che sull'acciaio. Per maggiori dettagli si rimanda ai tabulati di calcolo allegati alla presente.

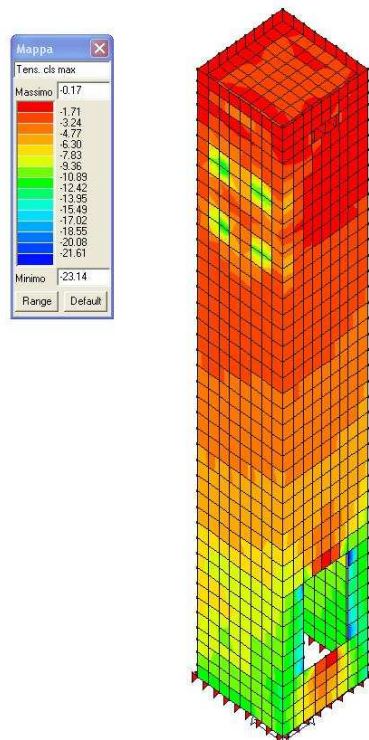


Figura 51 – Visualizzazione grafica della distribuzione delle tensioni massime [daN/cm²] nel cls.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 62 di 95

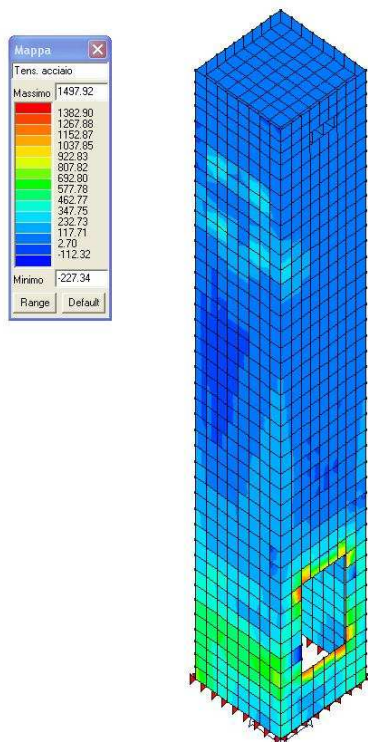


Figura 52 – Visualizzazione grafica distribuzione delle tensioni massime [daN/cm²] nell'acciaio.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 63 di 95	

6.4 VASCA IMPIANTO ANTINCENDIO.

La vasca antincendio presente nei locali della Fermata ha geometria in pianta di forma rettangolare, di ingombro massimo di 6.20 × 6.95 m, e altezza di 9.00 m. Le membrature strutturali sono costituite da una piastra di fondazione dello spessore di 1.00 m, da setti perimetrali di spessore di 0.70 m per un'altezza fino a 5.00 m dallo spiccato delle fondazioni e 0.50 m per la rimanente altezza.

La struttura della vasca antincendio è distaccata dalla struttura principale attraverso un giunto sismico. Questa scelta progettuale permette di ritenere le due strutture indipendenti e non interagenti né in fase statica né in fase dinamica.

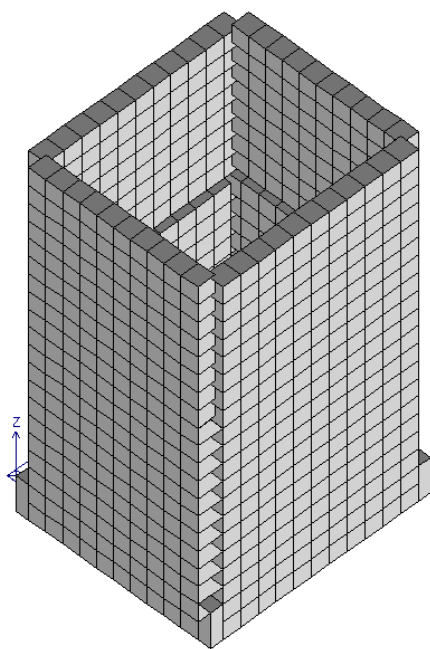


Figura 53 – Modello tridimensionale della vasca antincendio

Il carico agente nella struttura è quello relativo alla spinta dell'acqua presente nella vasca, assunta piena, e quello derivante dalla spinta sismica associata all'acqua e all'inerzia delle membrature strutturali.

In particolare, sulle pareti perimetrali agisce un carico triangolare, con vertice in alto e base in basso, con valore massimo pari a 90.00 kN/m². Sulla piastra di fondazione agisce un carico di pressione verticale pari anch'esso a 90.00 kN/m². La distribuzione dei carichi sul modello è riportata in Figura 54.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 64 di 95	

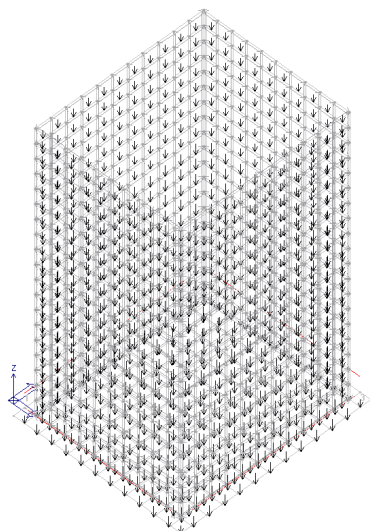


Figura 54 – Applicazione della spinta idrostatica sul modello della struttura.

In fase sismica, l'azione esercitata dall'acqua è considerata pari a $90.00 \times 0.07 \times 1.4 = 8.82 \text{ kN/m}^2$. L'azione viene esercitata con un carico orizzontale rettangolare sulle pareti, di valore pari a 4.41 kN/m^2 .

La modellazione viene eseguita con il codice di calcolo PRO_SAP, della società 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., eseguendo un modello tridimensionale della struttura con elementi tipo shell a 4 nodi. Per ulteriori indicazioni si veda quanto riportato per la modellazione della struttura principale, riportata a pagina 67. Le verifiche vengono eseguite secondo il metodo delle tensioni ammissibili, con la combinazione di carico statica e sismica.

In Figura 55 e in Figura 56 sono riportate tramite mappa di colore le distribuzioni dei momenti flettenti in combinazione statica e in combinazione sismica, in funzione delle quali sono state effettuate le singole verifiche di resistenza delle sezioni e pertanto determinata l'armatura necessaria.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 65 di 95

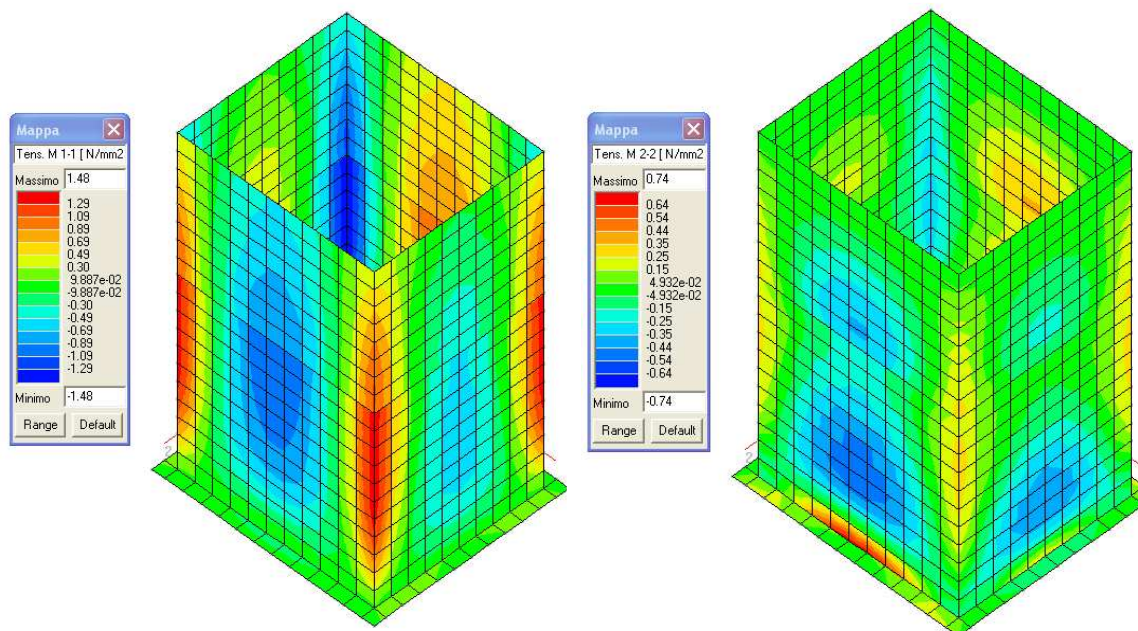


Figura 55 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M11 e M22 in cmb statica.

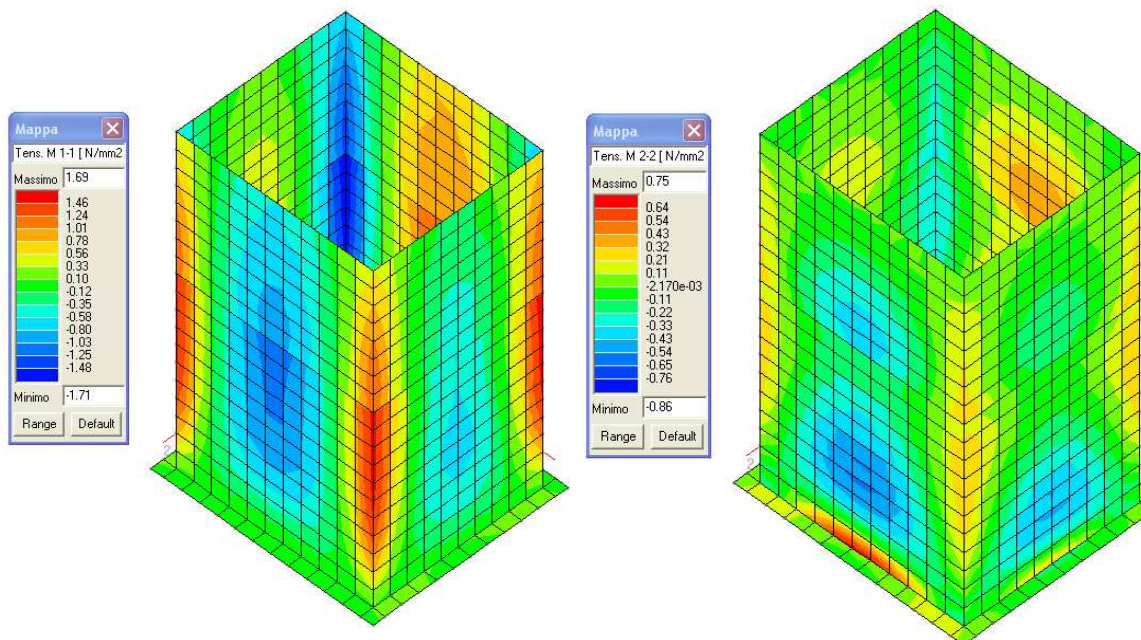


Figura 56 – Visualizzazione grafica della distribuzione dei momenti M11 e M22 in cmb sismica.

La fondazione viene armata con maglia $\phi 20/10$ (pari a 31.40 cm^2) sulle due direzioni e su entrambe le facce; le pareti perimetrali vengono armate con ferri verticali $\phi 22/10$ (pari a 37.99 cm^2) e ferri orizzontali $\phi 18/10$ (pari a 25.43 cm^2) sia nel lembo superiore sia in quello inferiore.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) PROGETTAZIONE GRANDI INFRASTRUTTURE PROGIN S.p.A. 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 66 di 95	

6.5 CALCOLO DELLA SELLA DEL COLLETTORE FOGNARIO

Il collettore fognario, come descritto nel paragrafo 9.1.2, è poggiato su una soletta in calcestruzzo armato e, attraverso due tiranti in c.a., collegato al solettone di copertura.

Il modello di calcolo adottato è di una trave semplicemente appoggiata, con luce di calcolo pari a 2.00 m.

Da quanto si evince nel paragrafo 9.1.2 il carico trasmesso alla membratura strutturale, per metro di lunghezza, risulta pari a:

- peso proprio strutturale = 7.50 kN/m;
- collettore fognario = 36.00 kN: $\rightarrow 36.00/2.00 = 18.00$ kN/m;
- liquame interno al collettore fognario = 24.00 kN: $\rightarrow 24.00/2.00 = 12.00$ kN/m;
- rilevato = 39.10 kN/m;
- pavimentazione = 7.48 kN/m.

Pertanto, sugli elementi di copertura insiste un carico pari a:

$$7.50 + 18.00 + 12.00 + 39.10 + 7.48 = 84.08 \text{ kN/m, arrotondato a } 85 \text{ kN/m.}$$

Assumendo uno schema strutturale di trave con vincoli di estremità di appoggio, le sollecitazioni massime sollecitanti sono:

$$T = 85 \times 2.00/2 = 85.00 \text{ kN,}$$

$$M = 85 \times 2.00^2/8 = 42.50 \text{ kN m.}$$

Per questi valori di sollecitazione la tensione tangenziale massima agente è pari a 0.425 N/mm², inferiore al limite di 0.667 N/mm² per il calcestruzzo con R_{ck} 35.

L'armatura necessaria risulta pari a 10φ14 (pari a 15.39 cm²) per il lembo inferiore e 10φ12 (pari a 11.30 cm²) per la parte superiore, con tensione sull'acciaio pari a 140 N/mm² e sul calcestruzzo pari a 4.94 N/mm².

Le membrature strutturali che collegano la soletta alla piastra di copertura sono sollecitate da una trazione pari al taglio precedente e dal peso proprio strutturale:

$$N = 85.00 + 3.75 = 88.75 \text{ kN.}$$

Per questo valore di trazione è sufficiente disporre su entrambi i lembi 5φ12 (pari a 5.65 cm²), per la quale si ha una sollecitazione sull'acciaio pari a 80 N/mm².

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 67 di 95

7. MODELLAZIONE ED ANALISI STRUTTURALE

Il calcolo è stato eseguito tramite il codice di calcolo PRO_SAP, della società 2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l.

L'analisi è stata condotta determinando le sollecitazioni indotte dai carichi descritti su un modello FEM tridimensionale della struttura.

L'organismo strutturale dei locali tecnici è di fatto indipendente dall'involucro delimitato dalla paratia di pali perimetrali a protezione dello scavo, per la presenza di un giunto tecnico strutturale.

La realizzazione dei locali interni avviene in una fase successiva alla realizzazione delle opere principali della Fermata. Per ridurre le eccentricità di massa e di rigidezza si è ritenuto opportuno, come già evidenziato in precedenza, eseguire un giunto tecnico sulle strutture dei locali tecnici. Questo comporta l'indipendenza della risposta di ciascun corpo, denominato Corpo SX e Corpo DX. Pertanto le due strutture vengono valutate attraverso due modelli indipendenti.

Il modello di calcolo adottato è realizzato con elementi tipo beam a 2 nodi per simulare travi e pilastri ed elementi tipo shell a 4 nodi per la piastra di fondazione. L'impalcato è modellato attraverso elementi "solaio", assunti rigidi nel loro piano e capaci di vincolare planimetricamente i nodi collegati.

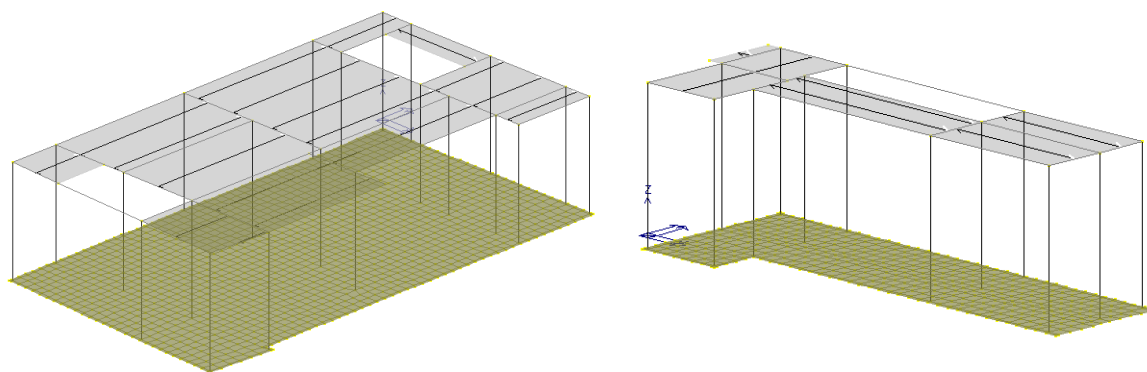
Il corpo SX ha una fondazione di tipo diretto, a piastra in conglomerato cementizio di spessore 100 cm. I pilastri sono anch'essi in c.a., di dimensioni 40×80 cm e 30×60 cm, con eccezione di un pilastro di dimensioni 40×130 cm. L'impalcato di mezzanino è realizzato con solaio prefabbricato, con lastre in calcestruzzo armato precompresso a trecce aderenti, con base di 120 cm, irrigidite da n.ro 2 tralicci elettrosaldati ad interasse 60 cm e blocchi interposti in laterizio con funzione di alleggerimento, per uno spessore totale di 43+6 cm. Le travi di piano sono in c.a. ed hanno dimensioni 30×60 cm per quelle perimetrali e 60×100 cm per quelle interne.

Il Corpo DX ha, come il Corpo SX, una fondazione di tipo diretto, a piastra in conglomerato cementizio di spessore 100 cm. I pilastri sono anch'essi in c.a., di dimensioni 30×70 cm con eccezione di un pilastro di dimensioni 40×120 cm. L'impalcato di mezzanino è realizzato con solaio prefabbricato della stessa tipologia di cui al Corpo SX. Le travi di piano sono in c.a. e hanno altezza pari a 60 cm.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 68 di 95	

Corpo SX

Corpo DX

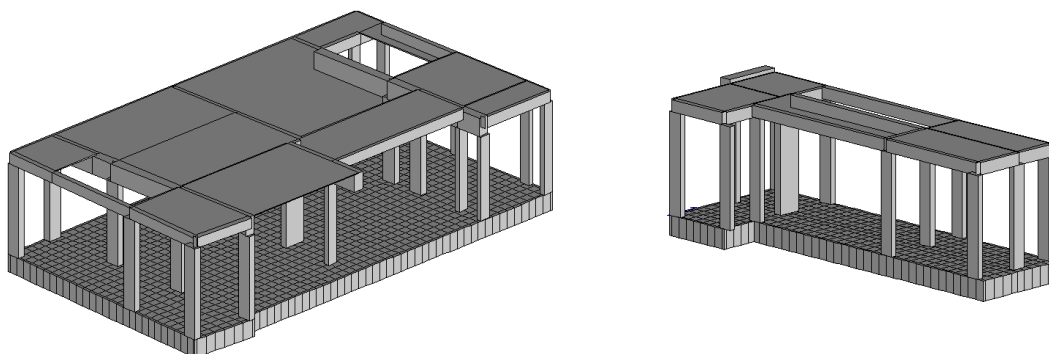
**Figura 57 – Modello tridimensionale dei locali tecnici.**

L'interazione terreno-struttura è stata analizzata considerando la piastra di fondazione vincolata attraverso molle di winkler, con valore di rigidezza pari a 5.00 daN/cm³ per quella verticale e 2.50 daN/cm³ per quella orizzontale, valori tipici per i terreni in situ.

Introdotta la struttura, con le opportune geometrie degli elementi e le caratteristiche meccaniche dei materiali, il programma di calcolo ripartisce in automatico i carichi del solaio sulle travi, valuta il peso proprio delle varie membrature strutturali in funzione delle relative dimensioni e del materiale e tiene conto della effettiva distribuzione di massa e rigidezza; non si considerano rigidzze aggiuntive dovute alla presenza di elementi non strutturali.

Corpo SX

Corpo DX

**Figura 58 – Modello tridimensionale dei locali tecnici.**

Per la valutazione degli effetti dell'azione sismica si sono condotte due analisi pseudostatiche, per considerare opportunamente le due direzioni di applicazione del sisma.

Si riporta in allegato il tabulato di calcolo con la risposta strutturale.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 69 di 95

8. VERIFICA DELLE MEMBRATURE STRUTTURALI

8.1 COMBINAZIONI DI CARICO

Le verifiche devono essere condotte considerando le combinazioni di carico alle TA, come da normativa vigente.

In particolare le azioni agenti sulla struttura verranno raggruppate in due sole condizioni di carico:

- condizione di carico I: cumula nel modo più sfavorevole le azioni permanenti ed accidentali ad eccezione degli effetti del sisma;
- condizione di carico II: cumula nel modo più sfavorevole i carichi permanenti ed accidentali, incluso il sisma.

8.2 VERIFICA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Come prescritto dalla normativa, per il calcolo di verifica a presso-flessione delle sezioni, si sono assunte le seguenti ipotesi:

- conservazione delle sezioni piane con assenza di scorrimento relativo tra acciaio e calcestruzzo;
- comportamento elastico lineare della sezione;
- resistenza a trazione nulla del calcestruzzo;
- coefficiente di omogeneizzazione dell'acciaio $n = 15$.

Le tensioni massime nei singoli materiali sono state dichiarate nel paragrafo 3.

Tali tensioni vengono determinate considerando la formulazione classica della verifica delle sezioni non resistenti a trazione, ossia con la nota relazione:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W},$$

nella quale le singole quantità geometriche tengono conto della parzializzazione della sezione.

L'asse neutro viene determinato risolvendo le equazioni di equilibrio della sezione, sottoposta alle sollecitazioni di sforzo normale e momento flettente.

La verifica a taglio viene condotta considerando la trattazione di Jourawski che suppone la tensione tangenziale τ_{zy} costante lungo la generica corda, uguale al valore medio e calcolabile con l'espressione:

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 70 di 95

$$\tau_{yz} = \frac{T_y \cdot S_x}{I_x \cdot b}$$

Nelle strutture inflesse in elevazione viene disposta una percentuale minima di armatura longitudinale, nella zona tesa, riferita all'area totale della sezione in conglomerato; tale percentuale è pari allo 0.15% e deve essere convenientemente diffusa.

In presenza di torsione è disposta almeno una barra longitudinale per spigolo, e comunque l'interasse fra le barre medesime non supera 35 cm.

Nelle travi sono previste staffe aventi sezione complessiva non inferiore a:

$$A_{st} = 0.10 \cdot (1 + 0.15 \cdot d/b) \cdot b, [\text{cm}^2/\text{m}],$$

nella quale:

- d è l'altezza utile della sezione;
- b è lo spessore minimo dell'anima in cm, con un minimo di tre staffe al metro e comunque passo non superiore a 0.8 volte l'altezza utile della sezione.

In prossimità di carichi concentrati o delle zone d'appoggio, per una lunghezza pari all'altezza utile della sezione da ciascuna parte del carico concentrato, il passo delle staffe non supera il valore $12 \varnothing$, essendo $\varnothing$ il diametro minimo dell'armatura longitudinale.

In presenza di torsione si dispongono nelle travi staffe aventi sezione complessiva, per metro lineare, non inferiore a $0,15 b \text{ cm}^2$ per staffe ad aderenza migliorata, essendo b lo spessore minimo dell'anima misurata in centimetri. Inoltre il passo delle staffe non supera $1/8$ della lunghezza della linea media della sezione anulare resistente e comunque 20 cm.

Le staffe devono essere collegate da apposite armature longitudinali.

Nei pilastri soggetti a compressione centrata od eccentrica è disposta un'armatura longitudinale di sezione non minore dello 0.8% della sezione di conglomerato strettamente necessaria per carico assiale, e compresa fra lo 0.3% e il 6% della sezione effettiva. Quest'ultima limitazione sale al 10% della sezione effettiva nei tratti di giunzione per ricoprimento. In ogni caso il numero minimo di barre longitudinali è quattro per i pilastri a sezione rettangolare o quadrata e sei per quelli a sezione circolare.

Il diametro delle barre longitudinali non è minore di 12 mm.

È sempre prevista una staffatura posta ad interasse non maggiore di 15 volte il diametro minimo delle barre impiegate per l'armatura longitudinale, con un massimo di 25 cm.

Le staffe devono essere chiuse e conformate in modo da contrastare efficacemente, lavorando a trazione, gli spostamenti delle barre longitudinali verso l'esterno.

Il diametro delle staffe non deve essere minore di 6 mm e di $1/4$ del diametro massimo delle barre longitudinali.

Per strutture in c.a. intese come setti e pareti, di importanza corrente, sottoposte prevalentemente a sforzo assiale, quando la compressione media risulti non superiore al limite seguente:

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 71 di 95	

$$\sigma_{(media)} \leq 0.42 \left[1 - 0.03 (25 - s) \right] \sigma_c$$

Essendo:

- σ_c la tensione ammissibile del calcestruzzo;
- s lo spessore della parete espresso in cm,

si adottano per le armature, da disporre presso entrambe le facce, le seguenti limitazioni dimensionali in deroga alle precedenti:

- diametro minimo delle barre longitudinali: 8 mm, interasse massimo: 30 cm;
- diametro minimo delle barre trasversali: 5 mm, interasse massimo: min(20 ϕ ; 30 cm);
- elementi di collegamento tra le due armature disposte su facce parallele: 6 per ogni m² di parete.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 72 di 95	

9. CALCOLO DEL SOLETTONE DI COPERTURA

Il solettone di copertura consiste in una piastra di spessore pari a 1.20 m, e vincolato attraverso dei vincoli di appoggio alle strutture verticali. Tale sistema di vincolamento permette di eseguire il calcolo della struttura attraverso dei modelli parziali.

9.1 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguito vengono descritti i carichi utilizzati per l'analisi della struttura di copertura.

9.1.1 *Peso proprio delle strutture (G1)*

Il peso proprio delle membrature strutturali viene valutato assumendo per il calcestruzzo armato un peso specifico pari a 25 kN/m³; il peso di ciascuna membratura strutturale viene determinato direttamente dal programma di calcolo come prodotto tra il peso specifico e la dimensione dell'elemento stesso.

In Figura 59 e in Figura 60 sono riportate delle immagini rappresentative dei pesi propri delle strutture.

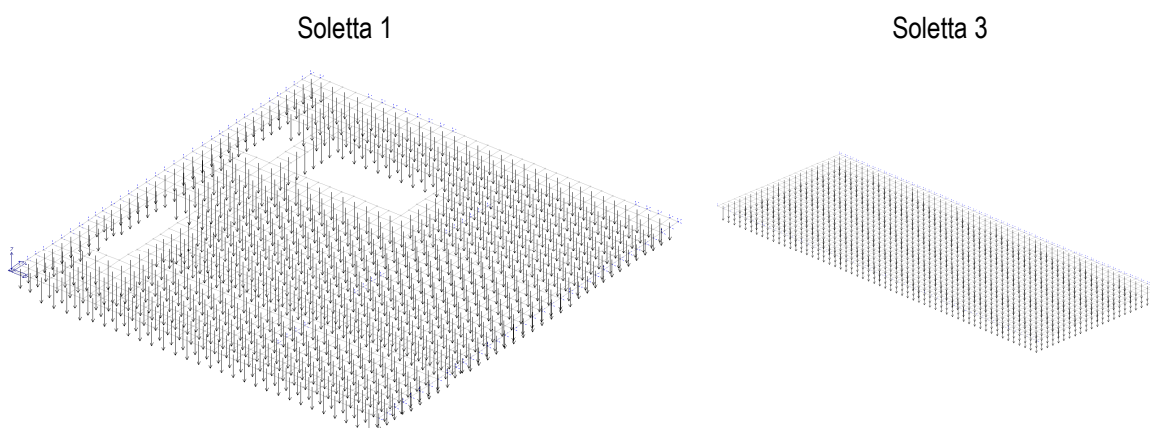


Figura 59 – Peso proprio strutturale, sulla porzione 1 (sx) e sulla porzione 3 (dx).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 73 di 95	

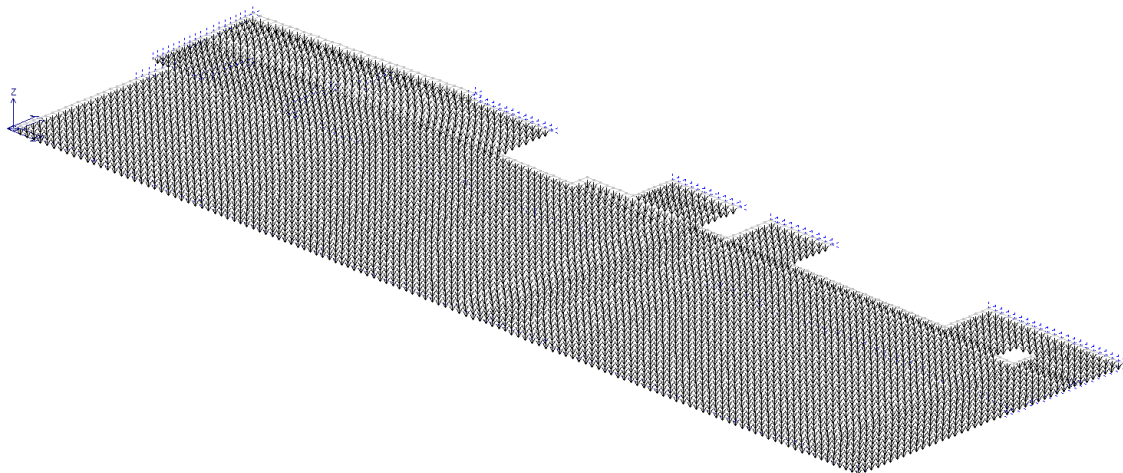


Figura 60 – Peso proprio strutturale, sulla porzione 2.

9.1.2 Carichi permanenti portati (G2)

Si considera che al di sopra degli elementi di copertura sia presente:

- uno spessore di 0.05 m di calcestruzzo di rivestimento il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$: $0.05 \times 25.00 = 1.25 \text{ kN/m}^2$;
- uno strato di geotessile ed impermeabilizzazione, con peso pari a 1.50 kN/m^2 ;
- un rilevato la cui altezza è assunta costante e pari a 1.60 m, con peso dell'unità di volume pari a 20.00 kN/m^3 : $1.60 \times 20.00 = 32.00 \text{ kN/m}^2$;
- uno spessore di 0.20 m di pavimentazione, il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 22.00 \text{ kN/m}^3$: $0.20 \times 22.00 = 4.40 \text{ kN/m}^2$.

Pertanto, sugli elementi di copertura insiste un carico pari a:

$$1.25 + 1.50 + 32.00 + 4.40 = 39.15 \text{ kN/m}^2.$$

Tra i due solettoni di copertura è previsto il passaggio di un collettore fognario, di dimensioni interne pari a $1.20 \times 2.00 \text{ m}$; le pareti del collettore sono in calcestruzzo armato, di spessore di 20 cm, mentre la struttura su cui è poggiato è di spessore di 30 cm. Per la determinazione dell'azione che si scarica sulla copertura si assume il collettore pieno di liquame. In sequenza si ha:

- uno spessore di 0.30 m di elemento verticale ed altezza 0.50 m, in calcestruzzo armato il cui peso per unità di volume è assunto pari a $\gamma = 25.00 \text{ kN/m}^3$: $0.30 \times 0.50 \times 25.00 = 3.75 \text{ kN/m}$;

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 74 di 95

- uno spessore di 0.30 m di elemento orizzontale e larghezza 2.30 m, in calcestruzzo armato:
 $0.30 \times 2.30 \times 25.00 = 17.25 \text{ kN/m}$;
- collettore fognario di spessore di 0.20 m e sviluppo di 7.20 m, in calcestruzzo armato:
 $0.20 \times 7.20 \times 25.00 = 36.00 \text{ kN/m}$;
- liquame interno al collettore fognario, il cui peso per unità di volume è assunto pari a
 $\gamma = 10.00 \text{ kN/m}^3$: $1.20 \times 2.00 \times 10.00 = 24.00 \text{ kN/m}$.

Inoltre, sul collettore è presente un ricoprimento, il pacchetto stradale e può insistere anche il carico variabile da traffico, per una larghezza di 1.70 m. Pertanto si ha un carico aggiuntivo risultante da:

- un rilevato la cui altezza è assunta costante e pari a 1.15 m, con peso dell'unità di volume pari a
 20.00 kN/m^3 : $1.15 \times 1.70 \times 20.00 = 39.10 \text{ kN/m}$;
- uno spessore di 0.20 m di pavimentazione, il cui peso per unità di volume è assunto pari a
 $\gamma = 22.00 \text{ kN/m}^3$: $0.20 \times 1.70 \times 22.00 = 7.48 \text{ kN/m}$.

Pertanto, sugli elementi di copertura insiste un carico pari a:

$$2 \times 3.75 + 17.25 + 36.00 + 24.00 + 39.10 + 7.48 = 131.33 \text{ kN/m},$$

che, diviso tra le due parti strutturali risulta pari a

$$131.33/2 = 65.67 \text{ kN/m}, \text{ arrotondato a } 65.70 \text{ kN/m}.$$

Il carico variabile è pari a $1.70 \times 30.00 = 51.00 \text{ kN/m}$, che, diviso tra le due parti strutturali, risulta pari a
 $51.00/2 = 25.50 \text{ kN/m}$.

In Figura 61 e in Figura 62 è riportata una rappresentazione grafica dell'applicazione del carico permanente sulle singole porzioni di copertura.

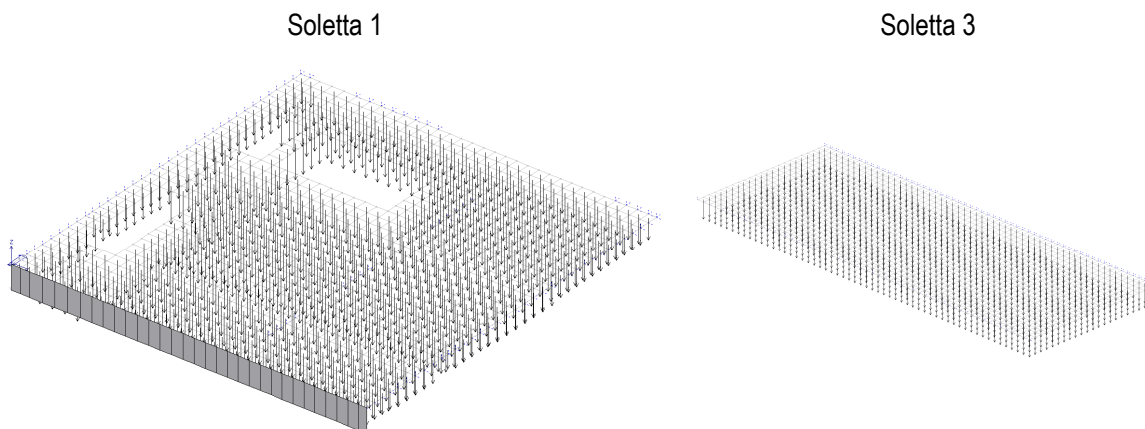


Figura 61 – Carichi permanenti portati dalla copertura, sulla porzione 1 (sx) e sulla porzione 3 (dx).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 75 di 95	

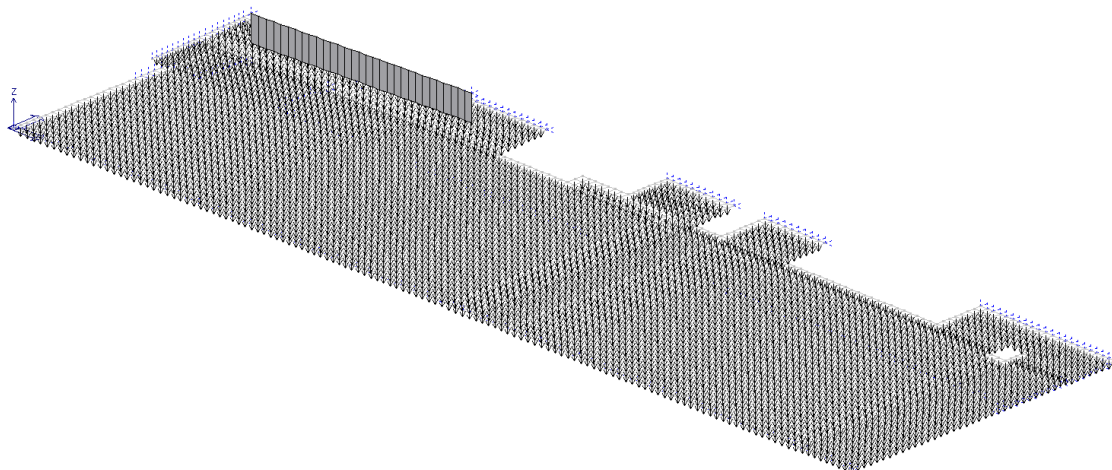


Figura 62 – Carichi permanenti portati dalla copertura, sulla porzione 2.

9.1.3 Sovraccarichi variabili (Q1_M)

Si adottano i carichi stabiliti convenzionalmente dalla normativa specifica per il calcolo dei ponti stradali di prima categoria:

$q_{1,a}$ = mezzo convenzionale da 600 kN a tre assi, con le caratteristiche indicate nello schema del D.M. 04/05/1990;

Il numero delle colonne di carico mobile considerato nel calcolo è quello massimo compatibile con la larghezza della carreggiata, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna colonna in 3.50 m. Le distribuzioni delle colonne di carico vengono scelte per massimizzare sia il momento flettente che lo sforzo di taglio sul ciascuna membratura strutturale.

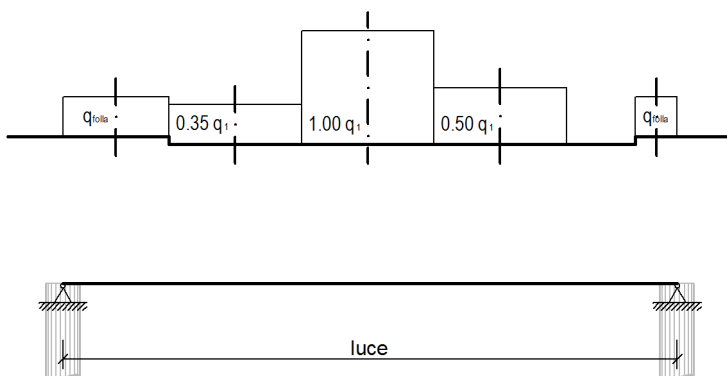


Figura 63 – Schema di carico della copertura, da carico mobile

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 76 di 95

Il carico tandem della prima corsia è costituito per un totale di 600 kN. Il carico viene distribuito su una superficie di influenza individuata in corrispondenza del baricentro della soletta: detta superficie, considerando un ricoprimento di 1.20 m (in favore di sicurezza) e una diffusione interna del carico con pendenza 1:2, ha una lunghezza nel senso longitudinale di:

$$1.20/2 + 0.15 + 1.50 + 1.50 + 0.15 + 1.20/2 = 4.50 \text{ m.}$$

A questa striscia occorre sommare l'altezza della soletta (1.20 m, angolo di diffusione interno pari a 45°):

$$4.50 + 1.20 = 5.70 \text{ m.}$$

Nel senso trasversale risulta:

$$1.20/2 + 0.15 + 2.00 + 0.15 + 1.20/2 = 3.50 \text{ m,}$$

a cui va sommata l'altezza della soletta:

$$3.50 + 1.20 = 4.70 \text{ m.}$$

Poiché la diffusione nel senso trasversale così ottenuta è superiore alla dimensione della singola corsia, si considera a favore di sicurezza il valore pari a 3.50 m. il carico per unità di superficie risulta pertanto:

$$600/(5.70 \times 3.50) = 600/19.95 = 30.08 \text{ kN/m}^2.$$

Il valore così ottenuto è valido per la prima corsia di carico; le successive andrebbero caricate con valori ridotti del 50% e 35%, come da normativa vigente. A favore di sicurezza si assume un carico uniforme pari a 30.00 kN/m².

Il carico da folla, presente in corrispondenza dei marciapiedi è assunto pari a 4.00 kN/m².

In Figura 64, Figura 65 e in Figura 66 è riportata la rappresentazione grafica dell'applicazione del carico sulle varie porzioni del solettone di copertura; si evidenzia che le singole azioni sono state applicate tenendo in opportuna considerazione l'alternanza di carico sui singoli campi, in modo da massimizzare le sollecitazioni nelle membrature strutturali.

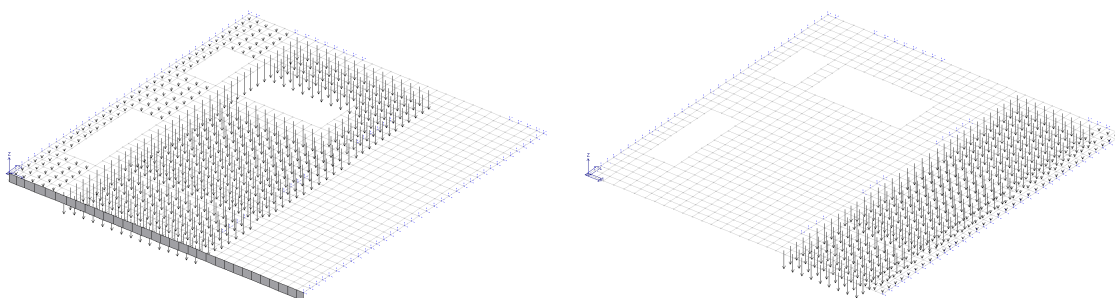


Figura 64 – Distribuzione delle azioni variabili sul solettone di copertura (alt. 1 e 2), porzione 1.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatarì Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 77 di 95	

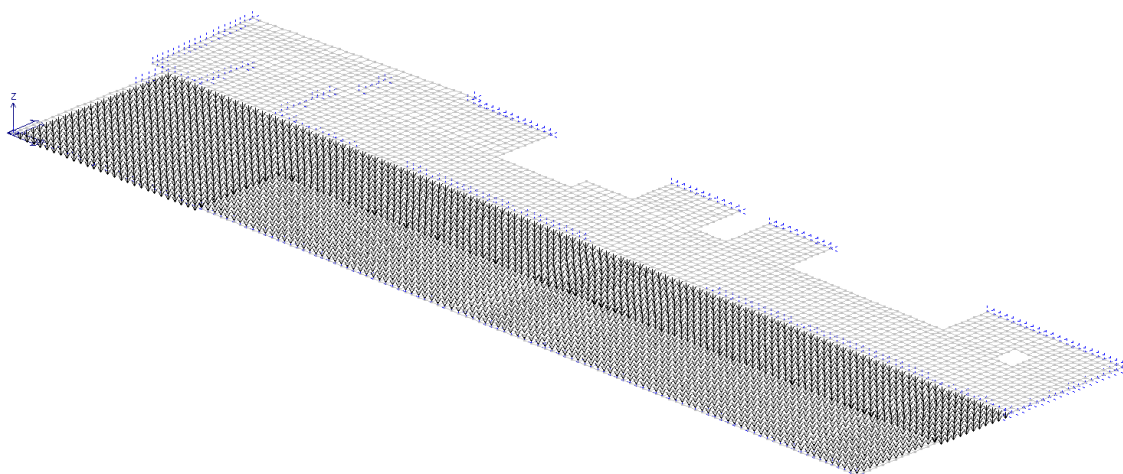


Figura 65 – Distribuzione delle azioni variabili sul solettone di copertura (alt. 1), porzione 2.

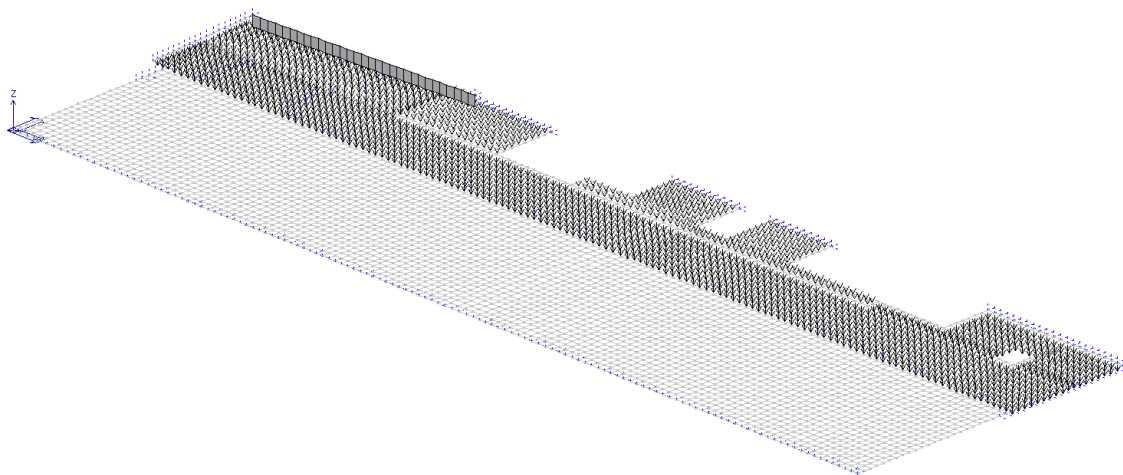


Figura 66 – Distribuzione delle azioni variabili sul solettone di copertura (alt. 2), porzione 2.

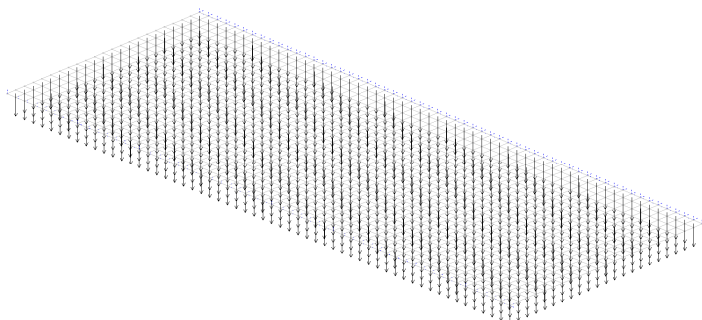


Figura 67 – Distribuzione delle azioni variabili sul solettone di copertura, porzione 3.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 78 di 95	

9.1.4 Ritiro

L'azione da ritiro è valutata mediante le indicazioni dell'EC2, secondo cui la contrazione da ritiro da assumere per la soletta in cls in ambiente con umidità relativa pari al 75% vale 2.87×10^{-4} . Assumendo un coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo pari a 0.12×10^{-4} si ottiene un carico termico equivalente pari a 24° .

In Figura 68 e in Figura 69 è riportata una rappresentazione grafica dell'applicazione del carico sulle singole porzioni di copertura.

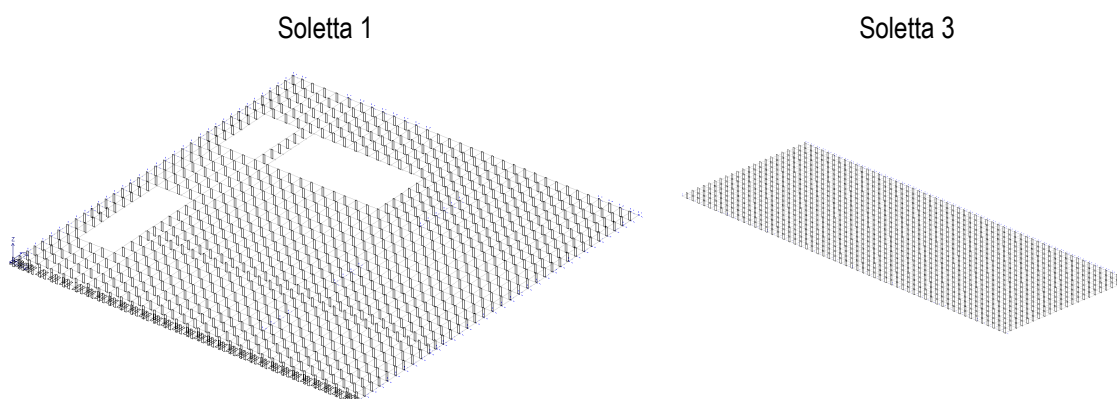


Figura 68 – Carico termico simulante l'azione di ritiro, sulla porzione 1 (sx) e sulla porzione 3 (dx).

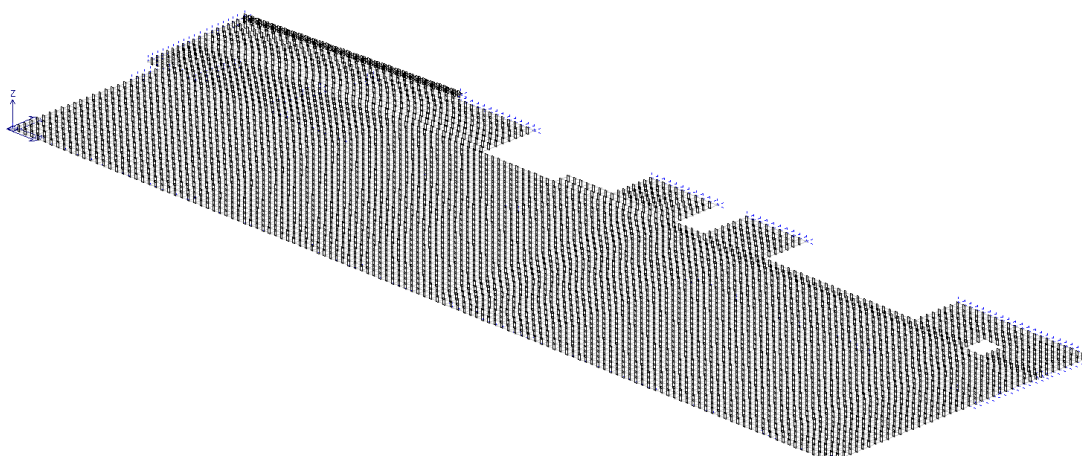


Figura 69 – Carico termico simulante l'azione di ritiro, sulla porzione 2.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 79 di 95	

9.1.1 Altri carichi.

Sulle singole porzioni di copertura viene introdotta l'azione che il terreno a tergo della fermata trasmette al solaio di copertura. Tale azione viene a generarsi per effetto dell'interazione tra terreno e paratia di pali, poiché il solettone di copertura è vincolato a quest'ultima. Il valore dell'azione è calcolato su modelli ausiliari, riportati nell'elaborato RS72-01-E-ZZ-CL-GA110X-001-B. In particolare risultano le seguenti azioni:

- per la porzione 1, azione di compressione pari a 250 kN/m;
- per la porzione 2, azione di compressione pari a 250 kN/m;
- per la porzione 3, azione di compressione pari a 250 kN/m.

In Figura 70 e in Figura 71 è riportata una rappresentazione grafica dell'applicazione del carico sulle singole porzioni di copertura.

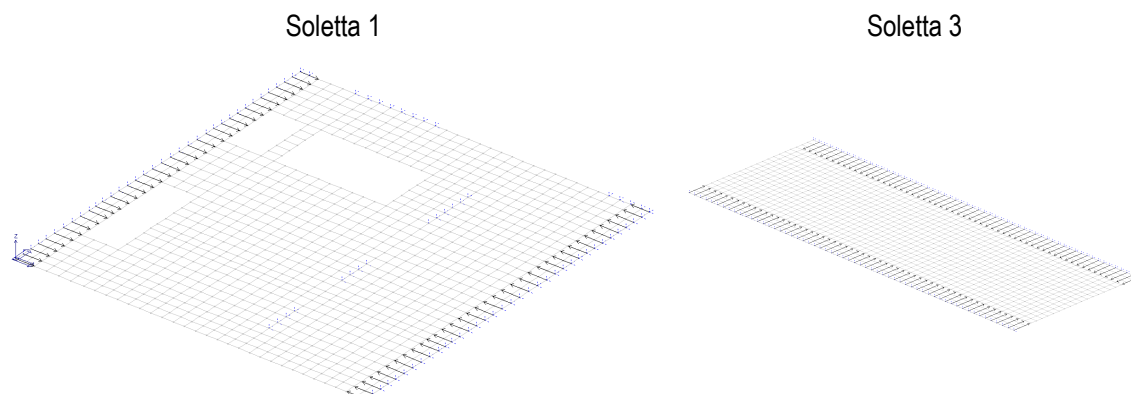


Figura 70 – Azione di interazione con il terreno, sulla porzione 1 (sx) e sulla porzione 3 (dx).

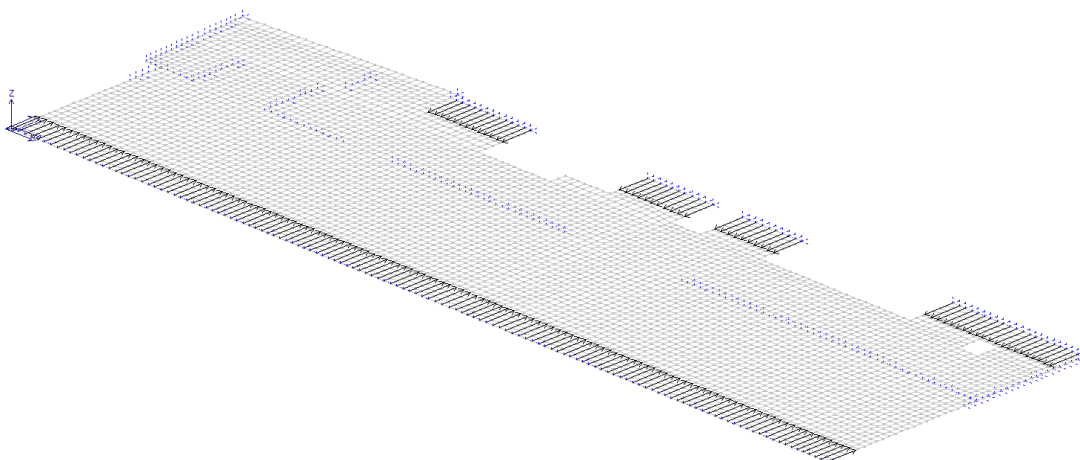


Figura 71 – Azione di interazione con il terreno, sulla porzione 2.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 80 di 95	

9.2 MODELLAZIONE ED ANALISI STRUTTURALE

Il calcolo è stato eseguito con l'ausilio del codice ad elementi finiti già descritto nel paragrafo 7.

La piastra di copertura è stata suddivisa in tre parti distinte, come raffigurato in Figura 72. La prima parte è in corrispondenza della via Sicilia, nella parte alta della Fermata, fino all'allineamento con il collettore fognario di viale Lazio. La seconda parte è quella che dal collettore fognario si estende su viale Lazio, fino al momento in cui si passa nella zona con soltanto due paratie di pali allineati; la terza parte consiste nella copertura della parte terminale.

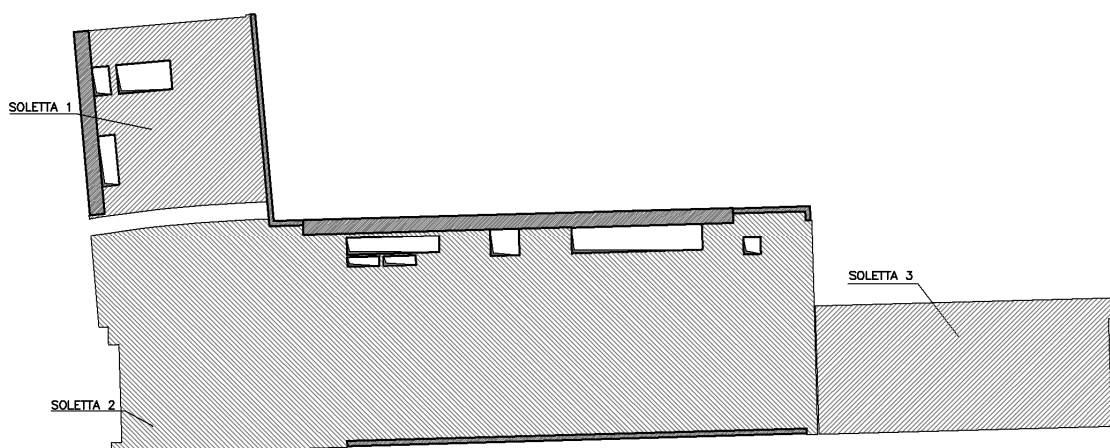


Figura 72 – Identificazione delle solette di copertura

L'analisi della copertura è pertanto condotta considerando 3 modelli distinti, relativi alle tre zone precedentemente identificate.

I vincoli adottati per i pali tengono conto della rigidità degli stessi e dell'interazione con il terreno; in particolare, la rigidità verticale è stata determinata eseguendo un'analisi parziale del singolo palo, attraverso il calcolo dei cedimenti condotto mediante il metodo di Randolph e Wroth (1978); tale metodo considera il palo immerso in un mezzo elastico ed esamina separatamente l'interazione con tale mezzo della superficie laterale e della base del palo, sovrapponendo poi le due soluzioni.

Randolph e Wroth hanno mostrato che, tenendo conto della deformabilità del palo, la relazione carico-cedimento risulta essere la seguente:

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 81 di 95

$$\frac{Q}{w \cdot r_0 \cdot G_L} = \frac{\frac{4 \cdot \eta}{(1-\nu) \cdot \xi} + \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \operatorname{tgh}(\mu L) \cdot L}{\xi \cdot \mu L \cdot r_0}}{1 + \frac{4 \cdot \eta \cdot \operatorname{tgh}(\mu L) \cdot L}{\pi \cdot \lambda \cdot (1-\nu) \cdot \xi \cdot \mu L \cdot r_0}},$$

nella quale:

$$\eta = \frac{r_b}{r_0} \quad \text{per pali a base allargata;}$$

$$\xi = \frac{G_L}{G_b} \quad \text{per pali poggianti su uno strato di elevata rigidezza;}$$

$$\rho = \frac{G_m}{G_L} \quad \text{per terreni immersi in un terreno con rigidezza variabile;}$$

$$\lambda = \frac{E_p}{G_L} \quad \text{rigidezza relativa palo-terreno;}$$

$$\xi = \ln \left\{ \left[0.25 + (2.5 \cdot \rho \cdot (1-\nu) - 0.25) \cdot \xi \right] \cdot \frac{L}{r_0} \right\}$$

$$\mu L = \frac{L}{r_0} \cdot \sqrt{\frac{2}{\xi \cdot \lambda}}$$

- Q = carico applicato alla testa del palo;
- w = cedimento del palo;
- L = lunghezza del palo;
- r_b = raggio del palo alla base;
- r₀ = raggio del palo i testa;
- r_m = raggio medio del palo;
- E_p = modulo elastico del palo;
- G_L = modulo elastico trasversale del terreno a profondità L del palo;
- G_b = modulo elastico trasversale dello strato di base del palo;
- G_m = modulo elastico trasversale medio del terreno tra testa del palo e profondità L.

La rigidezza così determinata, per la tipologia di palo $\phi 600$ e $\phi 920$, viene così inserita nel modello, come molla, tenendo in opportuna considerazione la dimensione della mesh. In particolare, considerando che

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 82 di 95	

questa ha dimensioni di circa 50 cm si ha una rigidezza di:

- palo $\phi 600$: $KV = 335000 \text{ N/mm}$;
- palo $\phi 920$: $KV = 270000 \text{ N/mm}$.

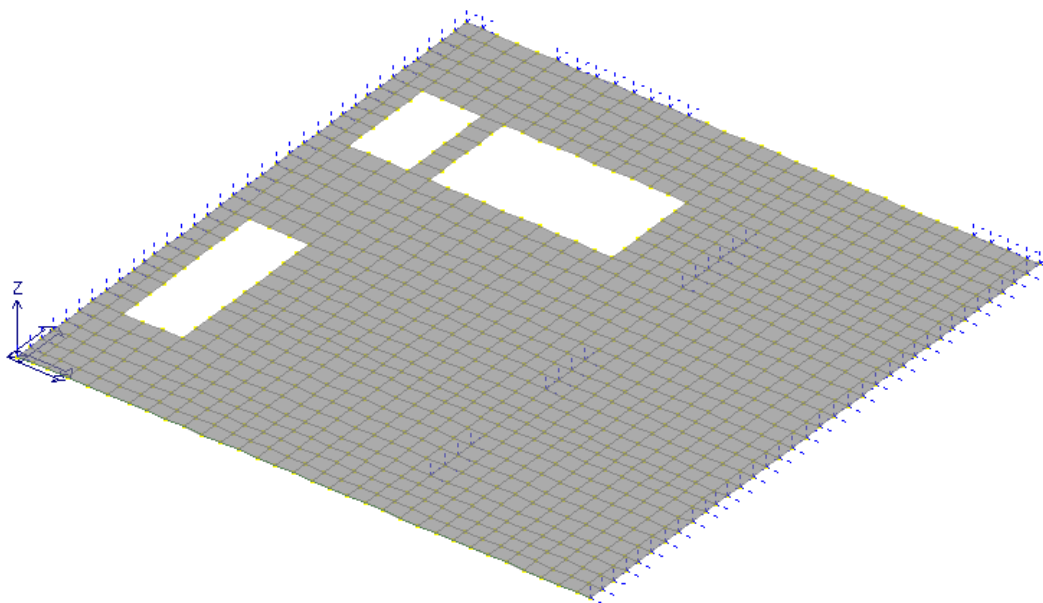


Figura 73 – Modello piano della piastra di copertura, parte prima.

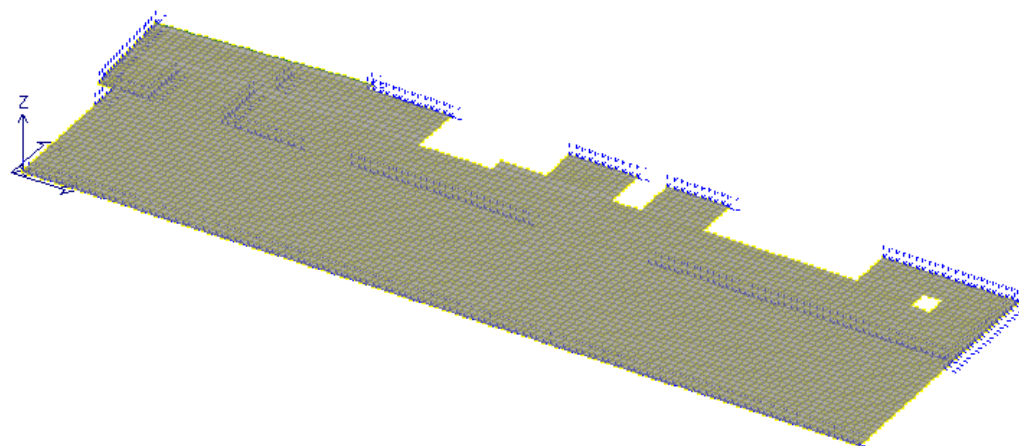


Figura 74 – Modello piano della piastra di copertura, parte seconda.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 83 di 95	

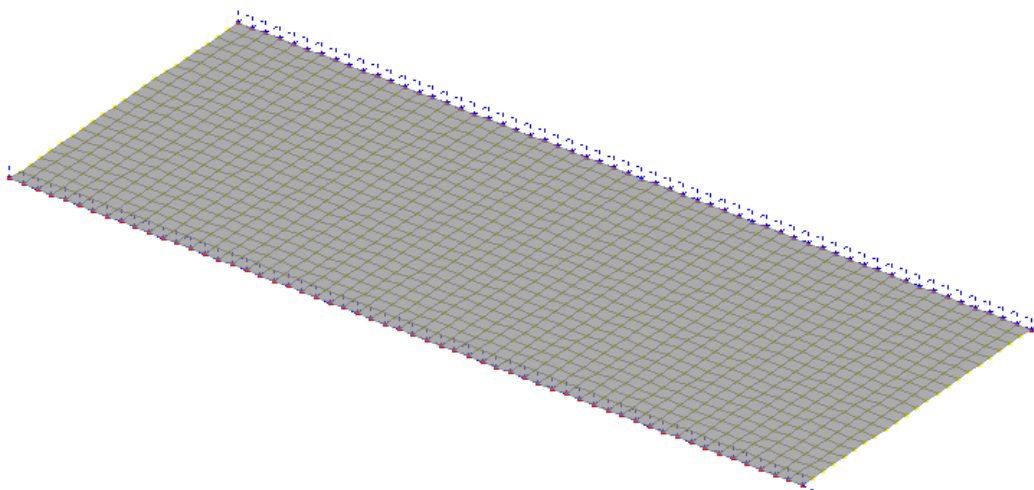


Figura 75 – Modello piano della piastra di copertura, parte terza.

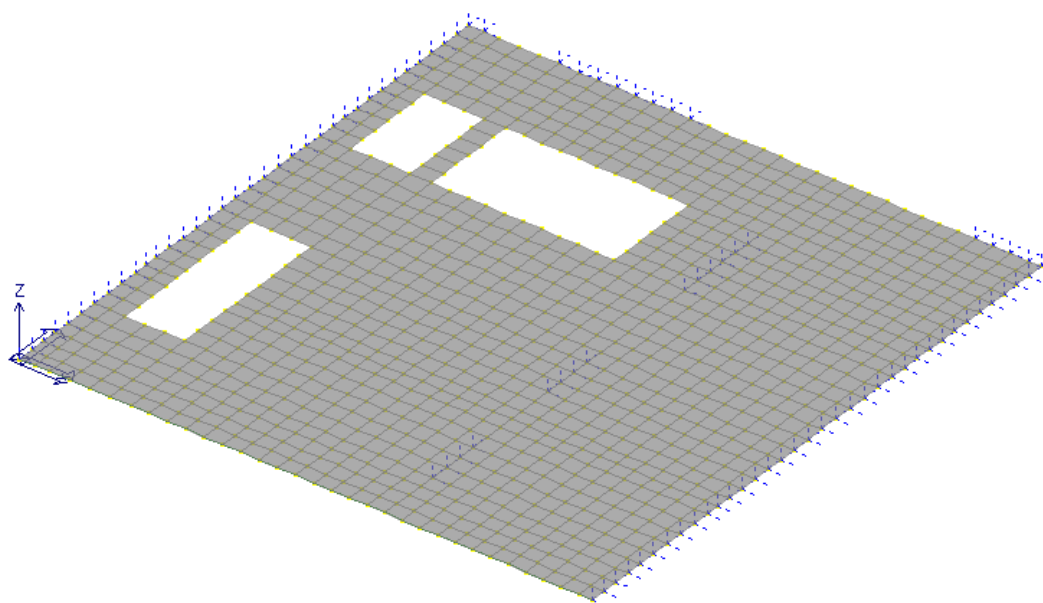


Figura 76 – Modello piano della piastra di copertura, parte prima.

Introdotta la struttura, con le opportune geometrie degli elementi e le caratteristiche meccaniche dei materiali, il programma di calcolo ripartisce in automatico i carichi sulle membrature strutturali, valuta il peso proprio delle varie membrature strutturali in funzione delle relative dimensioni e del materiale e tiene conto della effettiva distribuzione di massa e rigidezza.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante)) a)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 84 di 95	

Si riporta in allegato il tabulato di calcolo con la risposta strutturale.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 85 di 95	

10. VERIFICA DEI PALI DI FONDAZIONE

10.1 CAPACITA' PORTANTE DEI PALI DI FONDAZIONE

Il calcolo della capacità portante dei pali di fondazione è condotto determinando i contributi della resistenza laterale ed alla punta del sistema terreno-palo, ed applicando alla loro somma il fattore di sicurezza di 2.5, come da normativa di riferimento (DM 11.03.88); in particolare, in ciascuna combinazione prevista deve risultare:

$$Q_{Rd} \geq Q_{Sd}$$

dove:

$$Q_{Rd} = \frac{1}{F_S} (Q_s + Q_b) - W_k + S_w$$

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$Q_b = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot q_b;$$

$$Q_s = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau_s;$$

dove:

- D = diametro del palo;
- L = lunghezza del palo;
- q_b = pressione limite alla base del palo;
- τ_s = pressione laterale lungo il palo;
- F_S = coefficiente di sicurezza per la capacità portante dei pali di fondazione;
- W_k = peso caratteristico del palo;
- S_w = spinta idraulica sulla porzione di palo immerso.

In particolare in condizioni drenate:

$$q_b = k_p \cdot N_{spt}$$

$$q_s = \beta \cdot \sigma'_{v0}$$

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 86 di 95	

dove:

- k_p = coefficiente empirico che vale 0.12 per sabbie (Reese e O'Neill 1993);
- N_{spt} = numero di colpi secondo la prova standardizzata SPT
- β = coefficiente sperimentale;
- σ'_{v0} = tensione litostatica efficace.

10.2 VERIFICA GEOTECNICA DEI PALI

Il calcolo dei pali della Fermata Libertà viene condotto mediante un modello 3D. Le sollecitazioni agenti sul singolo palo vengono ottenute dal modello tridimensionale della sovrastruttura e sono fornite alla quota del piano di fondazione.

Le azioni agenti sul singolo palo sono fornite per tutte le combinazioni di carico analizzate sulla sovrastruttura e trasferite fino al piano di fondazione, ossia laddove il palo è interrato.

In Figura 77 e in Figura 78 sono riportati degli stralci della piastra di copertura, con ubicazione dei pali, indicati con il corrispettivo numero identificativo.

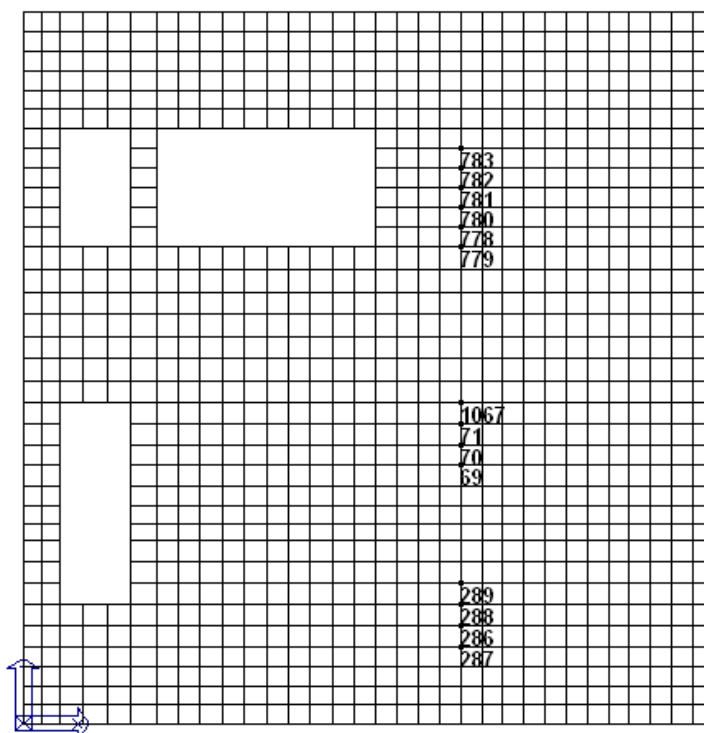


Figura 77 – Schema numerazioni pali, piastra 1.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 87 di 95	

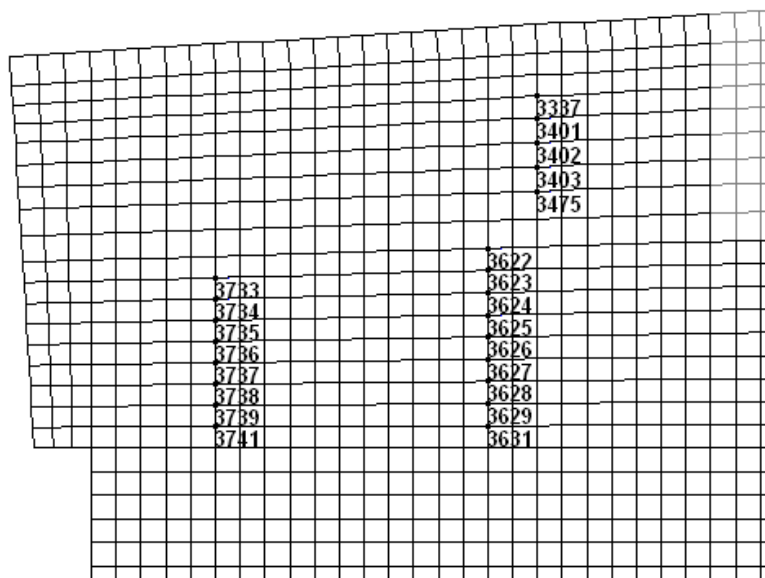


Figura 78 – Schema numerazioni pali, piastra 2.

Nella tabella seguente sono riportate le sollecitazioni delle combinazioni di carico più gravose per il progetto dei pali: alla voce "descrizione" la coppia di numeri indica rispettivamente il numero del palo e la combinazione.

Si precisa che nel seguito il calcolo geotecnico viene eseguito considerando che nel modello di calcolo i nodi che caratterizzano i pali sono discretizzati ogni 50 cm, mentre i pali sono $\phi 600$. Al fine di progettare correttamente gli elementi strutturali, le reazioni ai nodi vengono moltiplicate per il fattore $0.6/0.5 = 1.2$. Pertanto, viene mantenuto nel seguito il numero dei nodi riportato nel modello di calcolo, determinando invece correttamente le reazioni sul numero di pali effettivamente disposto.

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) PROGETTAZIONE GRANDI INFRASTRUTTURE PROGIN S.p.A. 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo		COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 88 di 95

Tabella 7 – Combinazioni di carico, piastra 1, parte 1.

Combinazioni			Np (kN)		Vp (kN)	
N°	Tipo	Descrizione				
1	DM88	69	1	-1206.16	0.84	
2	DM88	69	2	-1096.42	0.84	
3	DM88	69	3	-966.53	0.84	
4	DM88	69	4	-1206.16	0.87	
5	DM88	69	5	-1096.42	0.87	
6	DM88	69	6	-966.53	0.87	
7	DM88	70	1	-1176.10	0.76	
8	DM88	70	2	-1067.09	0.76	
9	DM88	70	3	-944.36	0.76	
10	DM88	70	4	-1176.10	0.78	
11	DM88	70	5	-1067.09	0.78	
12	DM88	70	6	-944.36	0.78	
13	DM88	71	1	-1151.96	0.68	
14	DM88	71	2	-1043.27	0.68	
15	DM88	71	3	-926.86	0.68	
16	DM88	71	4	-1151.96	0.71	
17	DM88	71	5	-1043.27	0.71	
18	DM88	71	6	-926.86	0.71	
19	DM88	286	1	-1541.93	1.56	
20	DM88	286	2	-1423.84	1.56	
21	DM88	286	3	-1214.98	1.56	
22	DM88	286	4	-1541.93	1.55	
23	DM88	286	5	-1423.84	1.55	
24	DM88	286	6	-1214.98	1.55	
25	DM88	287	1	-1617.89	1.65	
26	DM88	287	2	-1497.00	1.65	
27	DM88	287	3	-1272.07	1.65	
28	DM88	287	4	-1617.89	1.65	
29	DM88	287	5	-1497.00	1.65	
30	DM88	287	6	-1272.07	1.65	
31	DM88	288	1	-1477.40	1.45	
32	DM88	288	2	-1361.36	1.45	
33	DM88	288	3	-1166.77	1.45	
34	DM88	288	4	-1477.40	1.46	
35	DM88	288	5	-1361.36	1.46	
36	DM88	288	6	-1166.77	1.46	
37	DM88	289	1	-1424.09	1.35	
38	DM88	289	2	-1309.39	1.35	
39	DM88	289	3	-1127.28	1.35	
40	DM88	289	4	-1424.09	1.36	
41	DM88	289	5	-1309.39	1.36	
42	DM88	289	6	-1127.28	1.36	
43	DM88	778	1	-917.12	0.61	
44	DM88	778	2	-815.70	0.61	
45	DM88	778	3	-751.97	0.61	
46	DM88	778	4	-917.12	0.66	
47	DM88	778	5	-815.70	0.66	
48	DM88	778	6	-751.97	0.66	
49	DM88	779	1	-948.20	0.55	
50	DM88	779	2	-845.33	0.55	
51	DM88	779	3	-775.70	0.55	
52	DM88	779	4	-948.20	0.61	
53	DM88	779	5	-845.33	0.61	
54	DM88	779	6	-775.70	0.61	
55	DM88	780	1	-889.56	0.68	
56	DM88	780	2	-789.16	0.68	
57	DM88	780	3	-731.10	0.68	
58	DM88	780	4	-889.56	0.72	
59	DM88	780	5	-789.16	0.72	
60	DM88	780	6	-731.10	0.72	

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 89 di 95	

Tabella 8 – Combinazioni di carico, piastra 1, parte 2.

61	DM88	781	1	-866.23	0.76
62	DM88	781	2	-766.32	0.76
63	DM88	781	3	-713.70	0.76
64	DM88	781	4	-866.23	0.79
65	DM88	781	5	-766.32	0.79
66	DM88	781	6	-713.70	0.79
67	DM88	782	1	-847.18	0.84
68	DM88	782	2	-747.22	0.84
69	DM88	782	3	-699.80	0.84
70	DM88	782	4	-847.18	0.87
71	DM88	782	5	-747.22	0.87
72	DM88	782	6	-699.80	0.87
73	DM88	783	1	-831.72	0.92
74	DM88	783	2	-731.21	0.92
75	DM88	783	3	-688.88	0.92
76	DM88	783	4	-831.72	0.95
77	DM88	783	5	-731.21	0.95
78	DM88	783	6	-688.88	0.95
79	DM88	1067	1	-1133.20	0.61
80	DM88	1067	2	-1024.44	0.61
81	DM88	1067	3	-913.55	0.61
82	DM88	1067	4	-1133.20	0.65
83	DM88	1067	5	-1024.44	0.65
84	DM88	1067	6	-913.55	0.65

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo		COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 90 di 95

Tabella 9 – Combinazioni di carico, piastra 2, parte 1.

N°	Combinazioni		Np (kN)	Vp (kN)
	Tipo	Descrizione		
1	DM88	3337	1	-850.66
2	DM88	3337	2	-544.92
3	DM88	3337	3	-913.96
4	DM88	3337	4	-850.66
5	DM88	3337	5	-544.92
6	DM88	3337	6	-913.96
7	DM88	3401	1	-806.39
8	DM88	3401	2	-520.45
9	DM88	3401	3	-862.56
10	DM88	3401	4	-806.39
11	DM88	3401	5	-520.45
12	DM88	3401	6	-862.56
13	DM88	3402	1	-760.32
14	DM88	3402	2	-495.80
15	DM88	3402	3	-808.19
16	DM88	3402	4	-760.32
17	DM88	3402	5	-495.80
18	DM88	3402	6	-808.19
19	DM88	3403	1	-720.11
20	DM88	3403	2	-475.60
21	DM88	3403	3	-759.32
22	DM88	3403	4	-720.11
23	DM88	3403	5	-475.60
24	DM88	3403	6	-759.32
25	DM88	3475	1	-686.21
26	DM88	3475	2	-460.45
27	DM88	3475	3	-716.15
28	DM88	3475	4	-686.21
29	DM88	3475	5	-460.45
30	DM88	3475	6	-716.15
31	DM88	3622	1	-645.26
32	DM88	3622	2	-447.67
33	DM88	3622	3	-653.06
34	DM88	3622	4	-645.26
35	DM88	3622	5	-447.67
36	DM88	3622	6	-653.06
37	DM88	3623	1	-625.14
38	DM88	3623	2	-446.63
39	DM88	3623	3	-619.50
40	DM88	3623	4	-625.14
41	DM88	3623	5	-446.63
42	DM88	3623	6	-619.50
43	DM88	3624	1	-614.82
44	DM88	3624	2	-454.40
45	DM88	3624	3	-593.86
46	DM88	3624	4	-614.82
47	DM88	3624	5	-454.40
48	DM88	3624	6	-593.86
49	DM88	3625	1	-615.50
50	DM88	3625	2	-472.24
51	DM88	3625	3	-577.01
52	DM88	3625	4	-615.50
53	DM88	3625	5	-472.24
54	DM88	3625	6	-577.01
55	DM88	3626	1	-628.33
56	DM88	3626	2	-501.26
57	DM88	3626	3	-569.74
58	DM88	3626	4	-628.33
59	DM88	3626	5	-501.26
60	DM88	3626	6	-569.74
61	DM88	3627	1	-654.40
62	DM88	3627	2	-542.63
63	DM88	3627	3	-572.82
64	DM88	3627	4	-654.40
65	DM88	3627	5	-542.63
66	DM88	3627	6	-572.82

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo		COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 91 di 95

Tabella 10 – Combinazioni di carico, piastra 2, parte 2.

N°	Combinazioni		Np (kN)	Vp (kN)
	Tipo	Descrizione		
1	DM88	3628	1	-694.75
2	DM88	3628	2	-597.38
3	DM88	3628	3	-587.02
4	DM88	3628	4	-694.75
5	DM88	3628	5	-597.38
6	DM88	3628	6	-587.02
7	DM88	3629	1	-750.32
8	DM88	3629	2	-666.44
9	DM88	3629	3	-613.02
10	DM88	3629	4	-750.32
11	DM88	3629	5	-666.44
12	DM88	3629	6	-613.02
13	DM88	3631	1	-821.81
14	DM88	3631	2	-750.43
15	DM88	3631	3	-651.41
16	DM88	3631	4	-821.81
17	DM88	3631	5	-750.43
18	DM88	3631	6	-651.41
19	DM88	3733	1	-585.35
20	DM88	3733	2	-395.10
21	DM88	3733	3	-596.96
22	DM88	3733	4	-585.35
23	DM88	3733	5	-395.10
24	DM88	3733	6	-596.96
25	DM88	3734	1	-549.17
26	DM88	3734	2	-382.43
27	DM88	3734	3	-548.14
28	DM88	3734	4	-549.17
29	DM88	3734	5	-382.43
30	DM88	3734	6	-548.14
31	DM88	3735	1	-524.41
32	DM88	3735	2	-379.39
33	DM88	3735	3	-509.11
34	DM88	3735	4	-524.41
35	DM88	3735	5	-379.39
36	DM88	3735	6	-509.11
37	DM88	3736	1	-512.02
38	DM88	3736	2	-386.94
39	DM88	3736	3	-480.58
40	DM88	3736	4	-512.02
41	DM88	3736	5	-386.94
42	DM88	3736	6	-480.58
43	DM88	3737	1	-512.75
44	DM88	3737	2	-405.89
45	DM88	3737	3	-462.94
46	DM88	3737	4	-512.75
47	DM88	3737	5	-405.89
48	DM88	3737	6	-462.94
49	DM88	3738	1	-527.21
50	DM88	3738	2	-436.98
51	DM88	3738	3	-456.54
52	DM88	3738	4	-527.21
53	DM88	3738	5	-436.98
54	DM88	3738	6	-456.54
55	DM88	3739	1	-555.94
56	DM88	3739	2	-480.86
57	DM88	3739	3	-461.64
58	DM88	3739	4	-555.94
59	DM88	3739	5	-480.86
60	DM88	3739	6	-461.64
61	DM88	3741	1	-599.35
62	DM88	3741	2	-538.06
63	DM88	3741	3	-478.40
64	DM88	3741	4	-599.35
65	DM88	3741	5	-538.06
66	DM88	3741	6	-478.40

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 92 di 95	

La lunghezza dei singoli pali determinata attraverso il calcolo seguente è relativa alla parte infissa.

Per il contributo della resistenza alla punta si considera una resistenza di 3.60 MPa, data dal prodotto di k_p per il numero di colpi N_{spt} , che per il sondaggio di riferimento alla profondità di infissione del palo risulta pari a 30.

Per i pali della piastra n.ro 2 si prescrive a vantaggio di sicurezza una lunghezza di infissione pari a 5 m.

Per i pali (della piastra n.ro 1) n.ro 69, 70, 71, 1067 e 778, 779, 780, 781, 782, 783 si prescrive una lunghezza della parte infissa pari a 8 m; per i pali 286, 287, 288, 289 si prescrive una lunghezza della parte infissa pari a 10 m.

Di seguito si riporta una tabella con i pali maggiormente sollecitati che risultano essere quelli afferenti alla piastra n.ro 1.

APPALTATORE						ATI DI PROGETTAZIONE					
						(Mandatari Sab (Mandante) a)  					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA											
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo			COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 93 di 95

Tabella 11 – Calcolo lunghezze minime necessarie pali per le combinazioni più gravose.

N°	Combinazioni		Np (kN)	Vp (kN)	Mp (kNm)	Lp,nec (m)
	Tipo	Descrizione				
1	DM88	69	1	-1206.16	0.84	0.00
2	DM88	69	2	-1096.42	0.84	0.00
3	DM88	69	3	-966.53	0.84	0.00
4	DM88	69	4	-1206.16	0.87	0.00
5	DM88	69	5	-1096.42	0.87	0.00
6	DM88	69	6	-966.53	0.87	0.00
7	DM88	70	1	-1176.10	0.76	0.00
8	DM88	70	2	-1067.09	0.76	0.00
9	DM88	70	3	-944.36	0.76	0.00
10	DM88	70	4	-1176.10	0.78	0.00
11	DM88	70	5	-1067.09	0.78	0.00
12	DM88	70	6	-944.36	0.78	0.00
13	DM88	71	1	-1151.96	0.68	0.00
14	DM88	71	2	-1043.27	0.68	0.00
15	DM88	71	3	-926.86	0.68	0.00
16	DM88	71	4	-1151.96	0.71	0.00
17	DM88	71	5	-1043.27	0.71	0.00
18	DM88	71	6	-926.86	0.71	0.00
19	DM88	286	1	-1541.93	1.56	0.00
20	DM88	286	2	-1423.84	1.56	0.00
21	DM88	286	3	-1214.98	1.56	0.00
22	DM88	286	4	-1541.93	1.55	0.00
23	DM88	286	5	-1423.84	1.55	0.00
24	DM88	286	6	-1214.98	1.55	0.00
25	DM88	287	1	-1617.89	1.65	0.00
26	DM88	287	2	-1497.00	1.65	0.00
27	DM88	287	3	-1272.07	1.65	0.00
28	DM88	287	4	-1617.89	1.65	0.00
29	DM88	287	5	-1497.00	1.65	0.00
30	DM88	287	6	-1272.07	1.65	0.00
31	DM88	288	1	-1477.40	1.45	0.00
32	DM88	288	2	-1361.36	1.45	0.00
33	DM88	288	3	-1166.77	1.45	0.00
34	DM88	288	4	-1477.40	1.46	0.00
35	DM88	288	5	-1361.36	1.46	0.00
36	DM88	288	6	-1166.77	1.46	0.00
37	DM88	289	1	-1424.09	1.35	0.00
38	DM88	289	2	-1309.39	1.35	0.00
39	DM88	289	3	-1127.28	1.35	0.00
40	DM88	289	4	-1424.09	1.36	0.00
41	DM88	289	5	-1309.39	1.36	0.00
42	DM88	289	6	-1127.28	1.36	0.00
43	DM88	778	1	-917.12	0.61	0.00
44	DM88	778	2	-815.70	0.61	0.00
45	DM88	778	3	-751.97	0.61	0.00
46	DM88	778	4	-917.12	0.66	0.00
47	DM88	778	5	-815.70	0.66	0.00
48	DM88	778	6	-751.97	0.66	0.00
49	DM88	779	1	-948.20	0.55	0.00
50	DM88	779	2	-845.33	0.55	0.00
51	DM88	779	3	-775.70	0.55	0.00
52	DM88	779	4	-948.20	0.61	0.00
53	DM88	779	5	-845.33	0.61	0.00
54	DM88	779	6	-775.70	0.61	0.00
55	DM88	780	1	-889.56	0.68	0.00
56	DM88	780	2	-789.16	0.68	0.00
57	DM88	780	3	-731.10	0.68	0.00
58	DM88	780	4	-889.56	0.72	0.00
59	DM88	780	5	-789.16	0.72	0.00
60	DM88	780	6	-731.10	0.72	0.00

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE					
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 					
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA										
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 94 di 95	

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori del coefficiente di sicurezza effettivo ottenuto come fattore di sicurezza reale diviso il fattore di sicurezza previsto dalla normativa (pari a 2.5) per le combinazioni più gravose (pali con parte infissa pari a 10.00 m).

Tabella 12 – Coefficienti di sicurezza effettivi.

Combinazioni			Np (kN)	Q _{Rd} (kN)	FS _{eff}
N°	Tipo	Descrizione			
1	DM88	286	-1541.93	-1838.76	1.19
2	DM88	286	-1423.84	-1838.76	1.29
3	DM88	286	-1214.98	-1838.76	1.51
4	DM88	286	-1541.93	-1838.76	1.19
5	DM88	286	-1423.84	-1838.76	1.29
6	DM88	286	-1214.98	-1838.76	1.51
7	DM88	287	-1617.89	-1838.76	1.14
8	DM88	287	-1497.00	-1838.76	1.23
9	DM88	287	-1272.07	-1838.76	1.45
10	DM88	287	-1617.89	-1838.76	1.14
11	DM88	287	-1497.00	-1838.76	1.23
12	DM88	287	-1272.07	-1838.76	1.45
13	DM88	288	-1477.40	-1838.76	1.24
14	DM88	288	-1361.36	-1838.76	1.35
15	DM88	288	-1166.77	-1838.76	1.58
16	DM88	288	-1477.40	-1838.76	1.24
17	DM88	288	-1361.36	-1838.76	1.35
18	DM88	288	-1166.77	-1838.76	1.58
19	DM88	289	-1424.09	-1838.76	1.29
20	DM88	289	-1309.39	-1838.76	1.40
21	DM88	289	-1127.28	-1838.76	1.63
22	DM88	289	-1424.09	-1838.76	1.29
23	DM88	289	-1309.39	-1838.76	1.40
24	DM88	289	-1127.28	-1838.76	1.63

L'armatura longitudinale disposta nei pali è pari a 16φ16 (pari a 32.15 cm²), con staffe φ10/25 (pari a 3.14 cm²).

APPALTATORE					ATI DI PROGETTAZIONE				
					(Mandatari Sab (Mandante) a) 				
CHIUSURA DELL'ANELLO FERROVIARIO IN SOTTERRANEO NEL TRATTO DI LINEA TRA LE STAZIONI DI PALERMO NOTARBARTOLO E GIACHERY E PROSEGUIMENTO FINO A POLITEAMA									
FERMATA LIBERTÀ (FV01) - Relazione di calcolo	COMMESSA RS72	LOTTO 01	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC. CL	OGGETTO DOC. FV 01 00	PROG. DOC. 001	REV A	Pag. 95 di 95

Per la verifica dei cedimenti del singolo palo è stato adottato il criterio di Randolph e Wroth.

Dall'analisi del palo singolo più sollecitato è stato ottenuto un cedimento pari a 3.69 mm, che risulta accettabile per la struttura in esame. Nella figura seguente si riporta il calcolo del cedimento del palo più sollecitato.

Calcolo del cedimento sul palo singolo (Randolph-Wroth)		
Diametro del palo alla base:	$D_b =$	0.60 m
Diametro del palo in testa:	$D_0 =$	0.60 m
Lunghezza di progetto del palo:	$L =$	10.00 m
Classe di resistenza del cls del palo		C30/35
Modulo elastico del palo	$E_p =$	32588 MPa
Carico massimo sul palo:	$N_p =$	-1617.89 kN
Spessore strato 1	$s_1 =$	15.00 m
Spessore strato 2	$s_2 =$	15.00 m
Modulo di Young del terreno in testa palo:	$E_0 =$	80.00 MPa
Modulo di Young del terreno di base del palo:	$E_b =$	80.00 MPa
Modulo di Young del terreno a profondità L:	$E_L =$	80.00 MPa
Modulo di Young medio del terreno:	$E_m =$	80.00 MPa
Coefficiente di Poisson del terreno alla base del palo:	$\nu =$	0.30
Modulo trasversale testa palo:	$G_0 =$	30.77 MPa
Modulo trasversale medio terreno:	$G_m =$	30.77 MPa
Modulo trasversale del terreno di base del palo:	$G_b =$	30.77 MPa
Modulo trasversale del terreno a profondità L:	$G_L =$	30.77 MPa
	$\xi =$	1.00
	$\rho =$	1.00
	$\lambda =$	1059.11
	$\zeta =$	4.07
	$\mu L =$	0.72
	$\eta =$	1.00
Cedimento del singolo palo	w =	3.69 mm

Figura 79 – Verifica palo singolo.