



ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

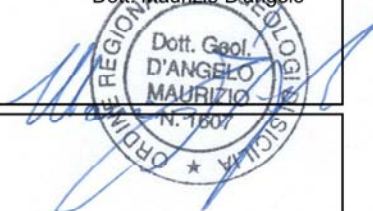
PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

Bolognetta S.c.p.a.

- PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:
Dott. Maurizio D'Angelo



Titolo elaborato:

MODIFICA TECNICA N. 263

OS86 - Svincolo Manganaro - Rampa 1 - opere di sostegno da km 0+048 al km 0+190 Relazione tecnica e di calcolo

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

| Codice elaborato: | OPERA | ARGOMENTO | DOC. E PROG. | FASE | REVISIONE |
|-------------------|-------|-----------|--------------|------|-----------|
| PA17/08 | P V | OS 86 | R C 0 1 | 6 | 0 |

| CARTELLA: | FILE NAME: | NOTE: | PROT. | SCALA: | |
|-----------|--------------------|-------|-------------|----------------------------------|-----------|
| | PVOS86RC01_60_4137 | 1=1 | 4 1 3 7 | - | |
| 5 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 1 | | | | | |
| 0 | Prima emissione | | Maggio 2021 | F. Bianchi S. Fortino N. Behaman | |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |

Progettisti :



ENSER srl
SOCIETA' DI INGEGNERIA



Viale Baccarini, 29 - 48018 FAENZA (RA) tel. 0546-663423
Via Zacconi, 16 - 40127 BOLOGNA (BO) tel. 051-245663
Via Andrea Costa, 115 - 47822 SANTARCANGELO DI ROMAGNA (RN) tel. 0541-1832933
ingegneria@enser.it - www.enser.it - P.E.C.: ensersrl-ra@legalmail.it

Il Progettista Responsabile
Prof. Ing. Gianfranco Marchi



Il Geologo
Dott. Stefano Ferro



Il Coordinatore per la Sicurezza
in fase di esecuzione:
Arch. Francesco Rondelli

Il Coordinatore per la
Esecuzione dei Lavori
arch. Francesco Rondelli



Il Direttore dei Lavori:
Ing. Sandro Favero

Il Direttore dei Lavori
Ing. Sandro Favero

ANAS S.p.A.

| | | |
|-----------------|---------------|---|
| DATA: | PROTOCOLLO: | VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO |
| CODICE PROGETTO | LO410C E 1101 | Dott. Ing. Luigi Mupo |

INDICE

| | |
|---|----|
| INDICE | 1 |
| 1 PREMESSA..... | 6 |
| 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO..... | 8 |
| 3 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO..... | 8 |
| 4 SIMBOLOGIA..... | 8 |
| 5 MATERIALI..... | 9 |
| 5.1 ACCIAIO..... | 9 |
| 5.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a..... | 9 |
| 5.2 CALCESTRUZZO..... | 9 |
| 5.2.1 Calcestruzzo per pali..... | 9 |
| 5.2.2 Calcestruzzo per soletta e paramento verticale..... | 9 |
| 5.3 MURO IN GABBIONI TIPO TERRAMESH..... | 10 |
| 5.3.1 Rete metallica a doppia torsione..... | 10 |
| 5.3.2 Geogriglia tipo PARAGRID 100/5 (PG100)..... | 10 |
| 6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA..... | 11 |
| 6.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA..... | 11 |
| 6.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO..... | 11 |
| 7 INDAGINI GEOTECNICHE..... | 13 |
| 8 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO..... | 17 |
| 9 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEI TERRENI..... | 22 |
| 9.1 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE..... | 22 |
| 9.1.1 Caratteristiche di resistenza in termini di coesione non drenata..... | 22 |
| 9.1.2 Caratteristiche di deformabilità..... | 23 |
| 9.2 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DI LABORATORIO..... | 24 |
| 9.3 UNITA' STRATIGRAFICHE..... | 25 |
| 9.3.1 Falda di progetto..... | 28 |
| 10 CONFRONTO DEL MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO E QUELLO ATTUALE..... | 29 |
| 10.1 EFFETTI DEI NUOVI LIVELLI DI FALDA SULLA STABILITÀ..... | 31 |
| 11 ANALISI E VERIFICA DELL'OPERA DI SOSTEGNO..... | 33 |
| 11.1 CARICHI VARIABILI..... | 33 |
| 11.2 SISMA..... | 34 |

| | | |
|----------|--|----|
| 11.2.1 | Azioni sull'opera..... | 34 |
| 11.2.1.1 | Azione sismica su terramesh..... | 34 |
| 11.2.1.2 | Azione sismica sul muro ad U | 34 |
| 11.2.2 | Stabilità globale dell'insieme terreno-opera..... | 35 |
| 11.3 | APPROCCI PROGETTUALI DI VERIFICA..... | 36 |
| 11.3.1 | Approccio di verifica del muro ad U su pali..... | 37 |
| 11.3.2 | Approccio di verifica Muro in Terramesh | 40 |
| 11.3.3 | Approccio progettuale per le verifiche di stabilità globale | 41 |
| 11.4 | Combinazioni delle Azioni | 42 |
| 12 | DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI..... | 43 |
| 12.1 | ANALISI DI ITERAZIONE TERRENO STRUTTURA MEDIANTE IL SOFTWARE DI CALCOLO PLAXIS | 43 |
| 12.1.1 | Plaxis. Metodologia e legami costitutivi dei materiali | 43 |
| 12.1.2 | Plaxis. Analisi in condizioni A1+M1 | 44 |
| 12.1.3 | Plaxis. Sisma | 44 |
| 12.2 | ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE MEDIANTE IL SOFTWARE DI CALCOLO SLOPE/w 45 | |
| 12.3 | ANALISI DELLA TERRAMESH MEDIANTE IL SOFTWARE MACSTARS W | 46 |
| 12.3.1 | Verifiche geotecniche come muro di sostegno | 46 |
| 12.3.1.1 | Verifica di stabilità interna (verifica rinforzi)..... | 46 |
| 12.3.1.2 | Resistenza a rottura di esercizio dei rinforzi (rete) | 48 |
| 12.3.1.3 | Resistenza allo sfilamento del rinforzo (pull-out)..... | 49 |
| 12.3.2 | Caratterizzazione geotecnica dei gabbioni..... | 50 |
| 12.4 | ANALISI DI capacità portante SUPERFICIALE mediante il software di calcolo DC-BEARING | 51 |
| 13 | TRATTO TERRAMESH - SEZIONE 3B | 54 |
| 13.1 | Modello di calcolo MacStar W | 54 |
| 13.2 | Verifiche geotecniche muro in Terra-mesh | 55 |
| 13.3 | Verifiche di STABILITÀ GLOBALE muro in Terra-mesh | 58 |
| 13.4 | Verifiche strutturali muro in Terra-mesh (stabilità interna)..... | 60 |
| 14 | TRATTO TERRAMESH - SEZIONE 4A | 63 |
| 14.1 | Modello di calcolo MacStar W | 63 |
| 14.2 | Verifiche geotecniche muro in Terra-mesh | 64 |
| 14.3 | Verifiche di STABILITÀ GLOBALE muro in Terra-mesh | 67 |
| 14.4 | Verifiche strutturali muro in Terra-mesh (stabilità interna)..... | 69 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 15 | TRATTO TERRAMESH - SEZIONE 5A | 71 |
| 15.1 | Modello di calcolo MacStar W | 71 |
| 15.2 | Verifiche geotecniche muro in Terra-mesh | 72 |
| 15.3 | Verifiche di STABILITÀ GLOBALE muro in Terra-mesh | 75 |
| 15.4 | Verifiche strutturali muro in Terra-mesh (stabilità interna)..... | 77 |
| 16 | TRATTO MURO AD U - SEZIONE 6A | 79 |
| 16.1 | DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI..... | 79 |
| 16.2 | DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO | 81 |
| 16.3 | SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO | 84 |
| 16.3.1 | SLE, spostamenti..... | 84 |
| 16.3.2 | SLE, Sollecitazioni pali..... | 85 |
| 16.3.3 | SLE, Sollecitazioni soletta di fondazione..... | 87 |
| 16.3.4 | SLE, Sollecitazioni sul paramento verticale..... | 87 |
| 16.4 | SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI STRUTTURALI (STR)..... | 89 |
| 16.4.1 | SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali | 89 |
| 16.4.2 | SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni soletta di fondazione..... | 91 |
| 16.4.3 | SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 – Sollecitazioni paramento verticale | 92 |
| 16.5 | SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI GEOTECNICI (GEO) | 93 |
| 16.5.1 | SLU(SLV)/GEO A1+M1+R3 – Scarichi in fondazione la valutazione di capacità portante del muro ad U..... | 93 |
| 16.6 | VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR) | 95 |
| 16.6.1 | Pali, verifica a pressoflessione | 95 |
| 16.6.1.1 | Condizione statica | 95 |
| 16.6.1.2 | Condizione sismica..... | 96 |
| 16.6.2 | Pali, verifica a taglio | 97 |
| 16.6.3 | Soletta di collegamento pali, verifica a presso-flessione..... | 98 |
| 16.6.3.1 | Condizione statica | 98 |
| 16.6.3.2 | Condizione sismica..... | 98 |
| 16.6.4 | Soletta di collegamento pali, verifica a taglio..... | 99 |
| 16.6.5 | Paramento verticale, verifica a presso-flessione | 100 |
| 16.6.5.1 | Condizione statica | 100 |
| 16.6.5.2 | Condizione sismica..... | 101 |
| 16.6.6 | Paramento verticale, verifica a taglio..... | 102 |
| 16.7 | VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STRUTTURALE | 103 |
| 16.7.1 | Palificata | 103 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 16.7.2 | Soletta di fondazione | 105 |
| 16.7.3 | Paramento verticale | 107 |
| 16.8 | VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTI..... | 108 |
| 16.9 | VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE DELLA SOLETTA DI FONDAZIONE DEL MURO 108 | |
| 16.10 | VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE (GEO_stab)..... | 109 |
| 17 | TRATTO D - SEZIONE 11A..... | 111 |
| 17.1 | DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI..... | 111 |
| 17.2 | DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO | 113 |
| 17.3 | SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO | 116 |
| 17.3.1 | SLE, spostamenti..... | 116 |
| 17.3.2 | SLE, Sollecitazioni pali..... | 117 |
| 17.3.3 | SLE, Sollecitazioni soletta di fondazione..... | 119 |
| 17.3.4 | SLE, Sollecitazioni sul paramento verticale..... | 120 |
| 17.4 | SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI STRUTTURALI (STR)..... | 121 |
| 17.4.1 | SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali | 121 |
| 17.4.2 | SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni soletta di fondazione..... | 123 |
| 17.4.3 | SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 – Sollecitazioni paramento verticale | 124 |
| 17.4.4 | SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI GEOTECNICI (GEO)..... | 125 |
| 17.5 | VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR) | 125 |
| 17.5.1 | Pali, verifica a pressoflessione | 125 |
| 17.5.1.1 | Condizione statica | 125 |
| 17.5.1.2 | Condizione sismica..... | 126 |
| 17.5.2 | Pali, verifica a taglio | 127 |
| 17.5.3 | Soletta di di fondazione muro, verifica a presso-flessione | 128 |
| 17.5.3.1 | Condizione statica | 128 |
| 17.5.3.2 | Condizione sismica..... | 128 |
| 17.5.4 | Soletta di collegamento pali, verifica a taglio..... | 129 |
| 17.5.5 | Paramento verticale, verifica a presso-flessione | 130 |
| 17.5.5.1 | Condizione statica | 130 |
| 17.5.5.2 | Condizione sismica..... | 131 |
| 17.5.6 | Paramento verticale, verifica a taglio..... | 132 |
| 17.6 | VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STRUTTURALE | 133 |
| 17.6.1.1 | Palificata..... | 133 |
| 17.6.1.2 | Soletta di fondazione | 135 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| | | |
|----------|---|-----|
| 17.6.1.3 | Paramento verticale..... | 137 |
| 17.7 | VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTI..... | 138 |
| 17.8 | VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE DELLA SOLETTA DI FONDAZIONE DEL MURO | 139 |
| 17.9 | VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE (GEO_stab)..... | 139 |

1 PREMESSA

La presente relazione prende in esame l'intervento previsto lungo la rampa 1 dello svincolo Manganaro fra le pk km 0.048 e km 0+190, nei tratti in rilevato prima e dopo il nuovo cavalcavia CN10.

Nel novembre 2018 buona parte del territorio attraversato dal SS121, nel tratto compreso fra Bolognetta e Bivio Manganato ed oggetto degli interventi di ammodernamento, ha subito gli effetti di una catastrofica inondazione conseguente ad eventi meteorici localizzati di carattere eccezionale. L'alluvione ha provocato danni alle opere realizzate e realizzande dal Contraente Generale (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione : PV_XX_RT03_60_4137).

A seguito dello stesso evento alluvionale, si è quindi palesata la necessità di una rivisitazione progettuale complessiva del progetto in esecuzione, al fine di individuare potenziali criticità in relazione alle nuove e mutate condizioni idrauliche dei corsi d'acqua principali e secondari interferenti con la strada in ammodernamento, le cui correlate e conseguenti dinamiche erosive/deposizionali documentano oggettivamente la necessità di progettare e realizzare interventi aggiuntivi in variante per garantire - alla luce del rischio climatico palesato dall'evento imprevisto e imprevedibile verificatosi - le ottimali prestazioni dal punto di vista della sicurezza e della durabilità dell'opera.

Alla luce delle criticità e delle fragilità geomorfologiche palesatesi, si impone l'adozione di cautele e soluzioni progettuali adeguate al mutato contesto idrogeologico generale.

In tale contesto è stata quindi rivista la soluzione progettuale di PEA consistente in una terra rinforzata prevedendo dei muri a gabbioni e muri su pali.

Nella foto seguente è riportata una vista d'insieme dell'area in cui verrà realizzato il nuovo svincolo.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo



Foto 1: Vista dell'area in cui verrà realizzato lo svincolo

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] L. 5.11.1971, n° 1086 – “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- [2] Decreto Ministeriale del 17/01/2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” (GU n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8).
- [3] Circolare n.7 del 21/01/2019: “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018
- [4] Eurocodice 8 “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”, febbraio 1998.

3 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

ELABORATI PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO

| | | |
|-----|--|------------------|
| [1] | Relazione geologica geomorfologica idrogeologica (PEA) | PEGERT01_31_4137 |
| [2] | Relazione geotecnica (PEA) | PEGTRT01_31_4137 |
| [3] | Relazione sismica (PEA) | PESIRT01_30_4137 |

4 SIMBOLOGIA

La principale simbologia adottata nella descrizione dei diversi parametri geotecnici e di calcolo è riportata nel seguito:

- γ = peso di volume del terreno;
- c_u = coesione in condizioni non drenate;
- ϕ = angolo di resistenza al taglio in condizioni drenate;
- c' = coesione in condizioni drenate;
- E = modulo di deformazione.

Il pedice con il suffisso “,k” indica il valore caratteristico del parametro di resistenza al taglio considerato.

5 MATERIALI

Il progetto strutturale prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate nei paragrafi seguenti.

5.1 ACCIAIO

5.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a.

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo B450C dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

| | |
|--|----------------------------------|
| tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$ |
| tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$ |
| allungamento caratteristico: | $\geq 7.5 \%$ |
| rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento: | $1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$ |

5.2 CALCESTRUZZO

5.2.1 Calcestruzzo per pali

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Classe di resistenza: | C30/37 |
| dimensione massima dell'inerte: | $D_{max} = 32 \text{ mm}$ |
| classe di esposizione: | XA1 |
| classe di consistenza: | S4 |
| copriferro minimo: | $C_{f,min} \geq 60 \text{ mm}$ |

5.2.2 Calcestruzzo per soletta e paramento verticale

| | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Classe di resistenza: | C30/37 |
| dimensione massima dell'inerte: | $D_{max} = 32 \text{ mm}$ |
| classe di esposizione: | XA1 |
| classe di consistenza: | S4 |
| copriferro minimo: | $C_{f,min} \geq 40 \text{ mm}$ |

5.3 MURO IN GABBIONI TIPO TERRAMESH

5.3.1 Rete metallica a doppia torsione

Rete metallica a doppia torsione tipo 8 x 10 galvanizzata in lega Zn-AL 5% (245 gr/m²) e plastificata (Sp=0.5mm) in filo $\phi=2.7$ mm

| | |
|--------------------------------|---------|
| Resistenza nominale a rottura: | 55 kN/m |
| Carico medio a punzonamento: | 70 kN |

5.3.2 Geogriglia tipo PARAGRID 100/5 (PG100)

| | |
|--|----------|
| Resistenza caratteristica longitudinale: | 100 kN/m |
| Resistenza caratteristica trasversale: | 6 kN/m |
| Allungamento in entrambe le direzioni: | 9% |

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

6.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Come stabilito nel C.S.A. la progettazione delle strutture farà riferimento a:

- vita nominale: $V_N = 50$ anni
- classe d'uso: IV

da cui risulta:

- coefficiente d'uso: $C_U = 2.0$
- periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \times C_U = 100$ anni

6.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Il calcolo delle azioni sismiche, di seguito descritte, viene condotto nel rispetto delle NTC2018

Le coordinate geografiche di riferimento (secondo sistema ED50) per l'opera in esame sono:

Longitudine: $13^{\circ}.60984$
Latitudine: $37^{\circ}.794845$

Tabella 1: Parametri sismici per la definizione dello spettro di progetto

| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_o [-] | T_C^* [s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO | 60 | 0.048 | 2.422 | 0.268 |
| SLD | 101 | 0.059 | 2.457 | 0.287 |
| SLV | 949 | 0.124 | 2.624 | 0.349 |
| SLC | 1950 | 0.152 | 2.674 | 0.363 |

Per le analisi in condizioni sismiche è stato preso a riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e dunque i seguenti parametri:

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|--------------|---------|
| a_g | 0.124 g |
| F_o | 2.624 |
| T_C | 0.349 s |
| S_S | 1.200 |
| C_C | 1.358 |
| S_T | 1.000 |
| q | 1.000 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1.200 |
| η | 1.000 |
| T_B | 0.158 s |
| T_C | 0.474 s |
| T_D | 2.097 s |

Pertanto, per le analisi in condizioni sismiche dell'opera in oggetto sono stati utilizzati i seguenti valori:

categoria di sottosuolo:

B

coefficiente topografico:

$S_t=1.00$

fattore di sito:

$S_s = 1.20$;

accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido:

$a_g = 0.124$ g;

massima accelerazione su sottosuolo tipo B

$a_{max} = 0.149$ g.

7 INDAGINI GEOTECNICHE

Per l'area di intervento sono disponibili le indagini realizzate nell'ambito delle campagne geognostiche a supporto del Progetto Definitivo (PD) e di quello Esecutivo (PEA). In particolare, come mostrato nello stralcio planimetrico di Figura 1 sono disponibili:

- n.1 prova penetrometrica statica meccanica (CPT33), realizzata in ambito di PD, spinta sino al rifiuto strumentale, avvenuto alla profondità di 10.20 m da p.c.;
- n.1 sondaggio a carotaggio continuo (SD23PZ), realizzato in ambito di PD ed approfondito sino a 25 m da p.c.;
- n.1 prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTe27_2012), realizzata in ambito di PEA e spinta sino al raggiungimento del rifiuto strumentale, avvenuto alla profondità di 14.42 m da p.c..

Sono inoltre disponibili le risultanze di n.2 stendimenti sismici a rifrazione a bassa risoluzione (SIS31, SIS33) e di n.1 prova sismica attiva di tipo MASW (Masw10), eseguite in sede di PD.

In Figura 2÷Figura 5 in si riportano i diagrammi penetrometrici delle indagini disponibili, la stratigrafia del sondaggio SD23PZ e i profili sismici.

Le indagini mostrano che l'area di intervento è caratterizzata dalla presenza di una coltre regolitica/colluviale a bassa consistenza, mediamente con spessori di 3÷4 m, che ricopre la locale formazione di substrato, dapprima in facies alterata/allentata, fino a 6÷7 m di profondità, poi progressivamente più compatta ed inalterata.

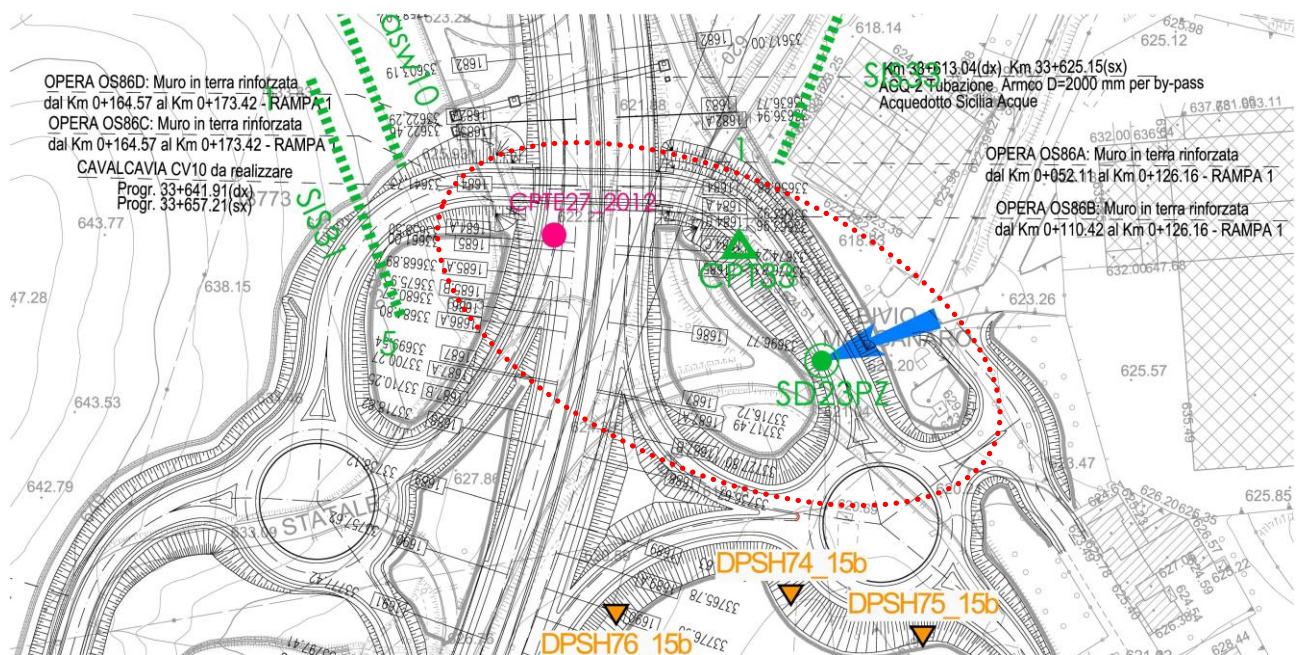


Figura 1: Planimetria con ubicazione indagini geotecniche

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

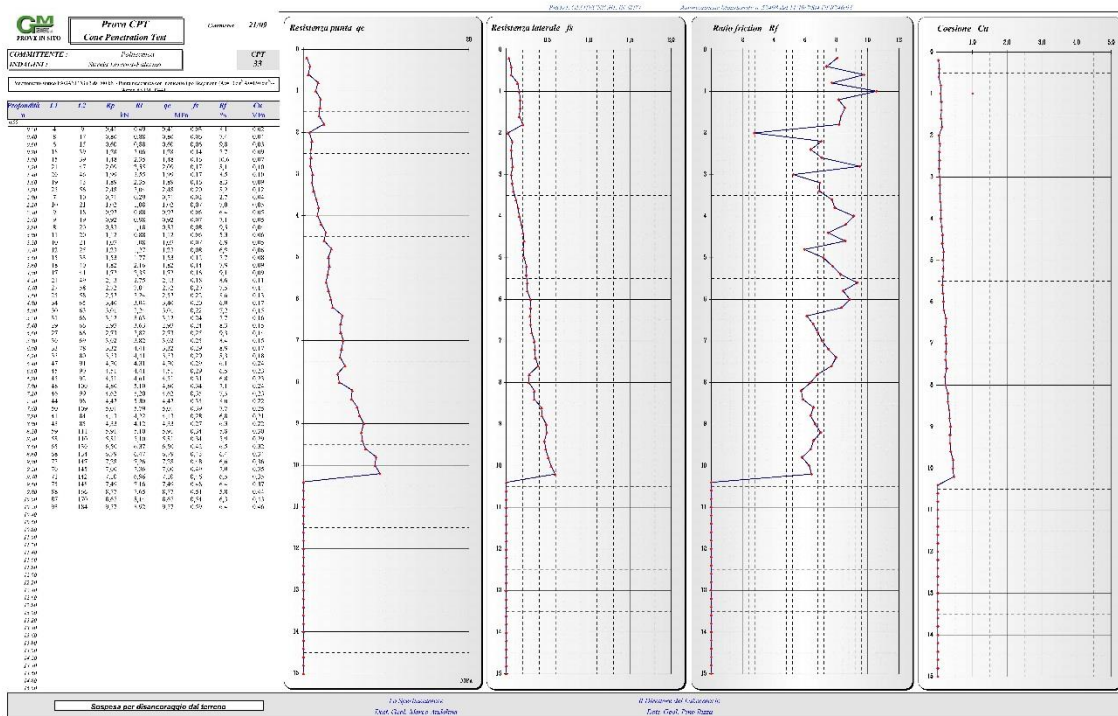


Figura 2: Prova penetrometrica CPT33

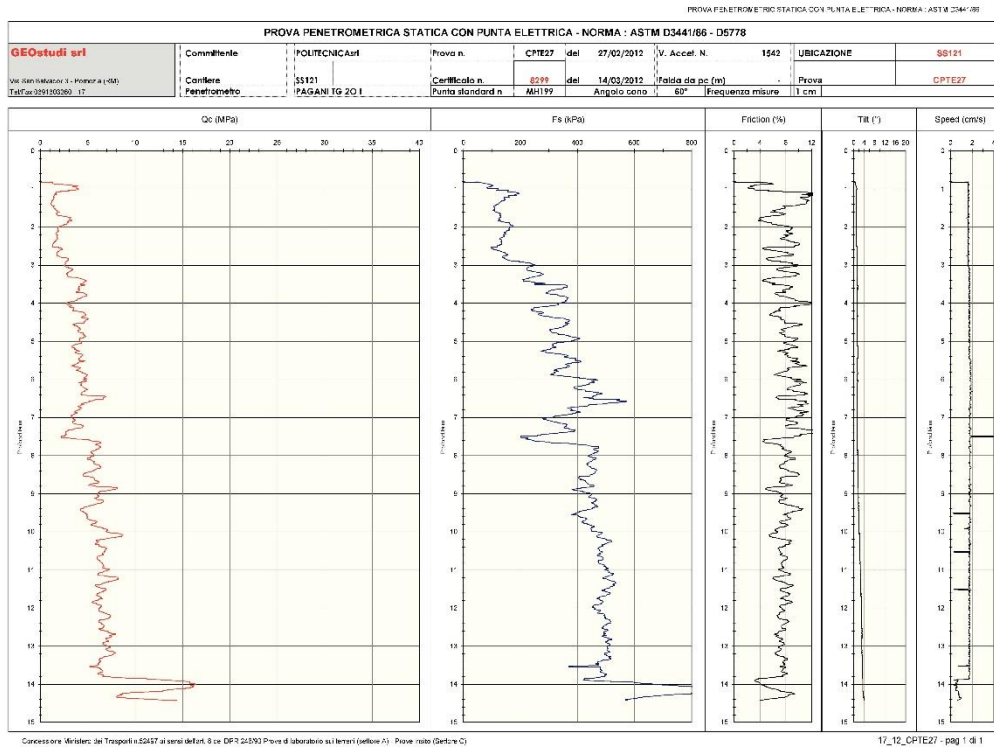


Figura 3: Prova penetrometrica CPT27

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

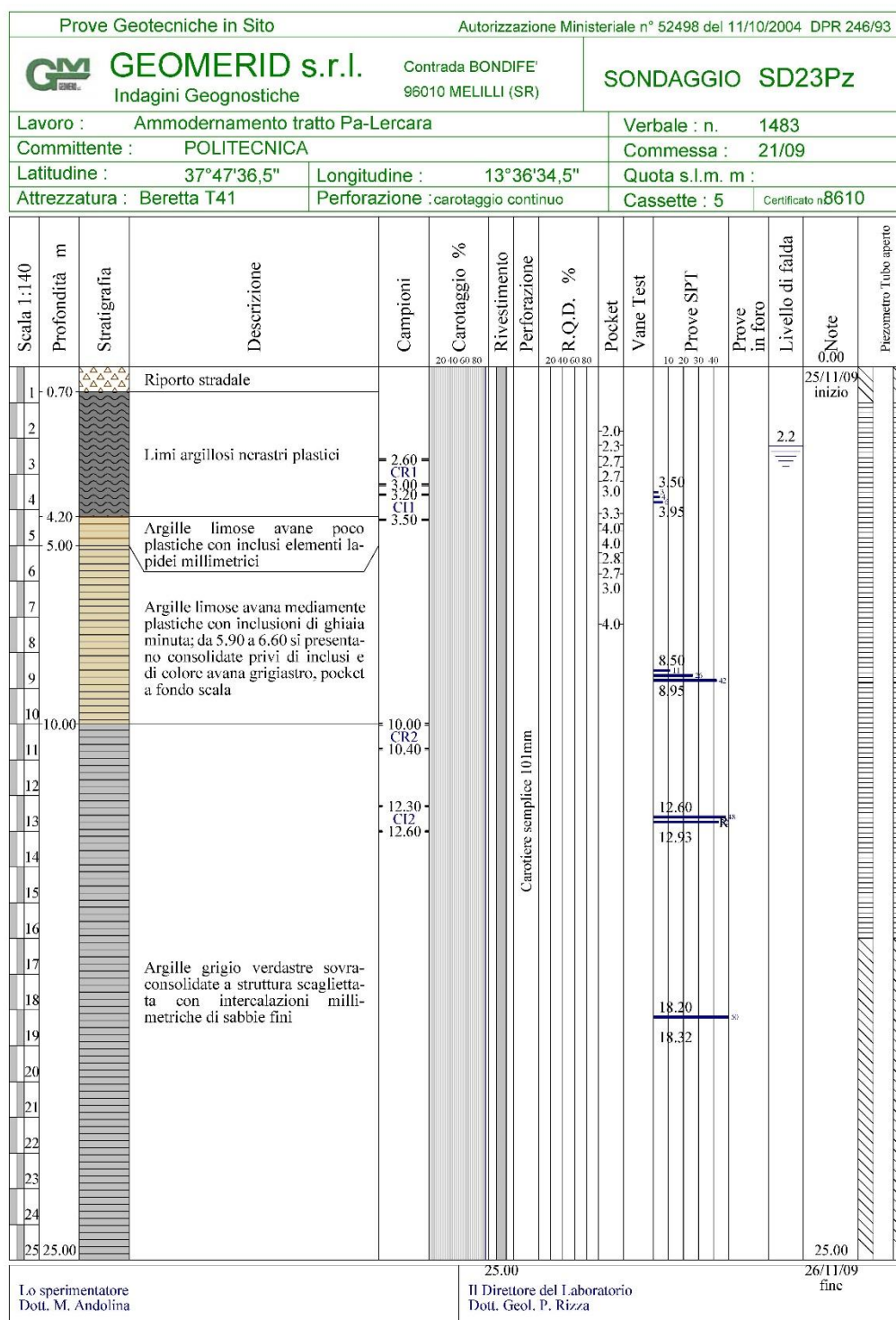


Figura 4: Sondaggio SD23Pz

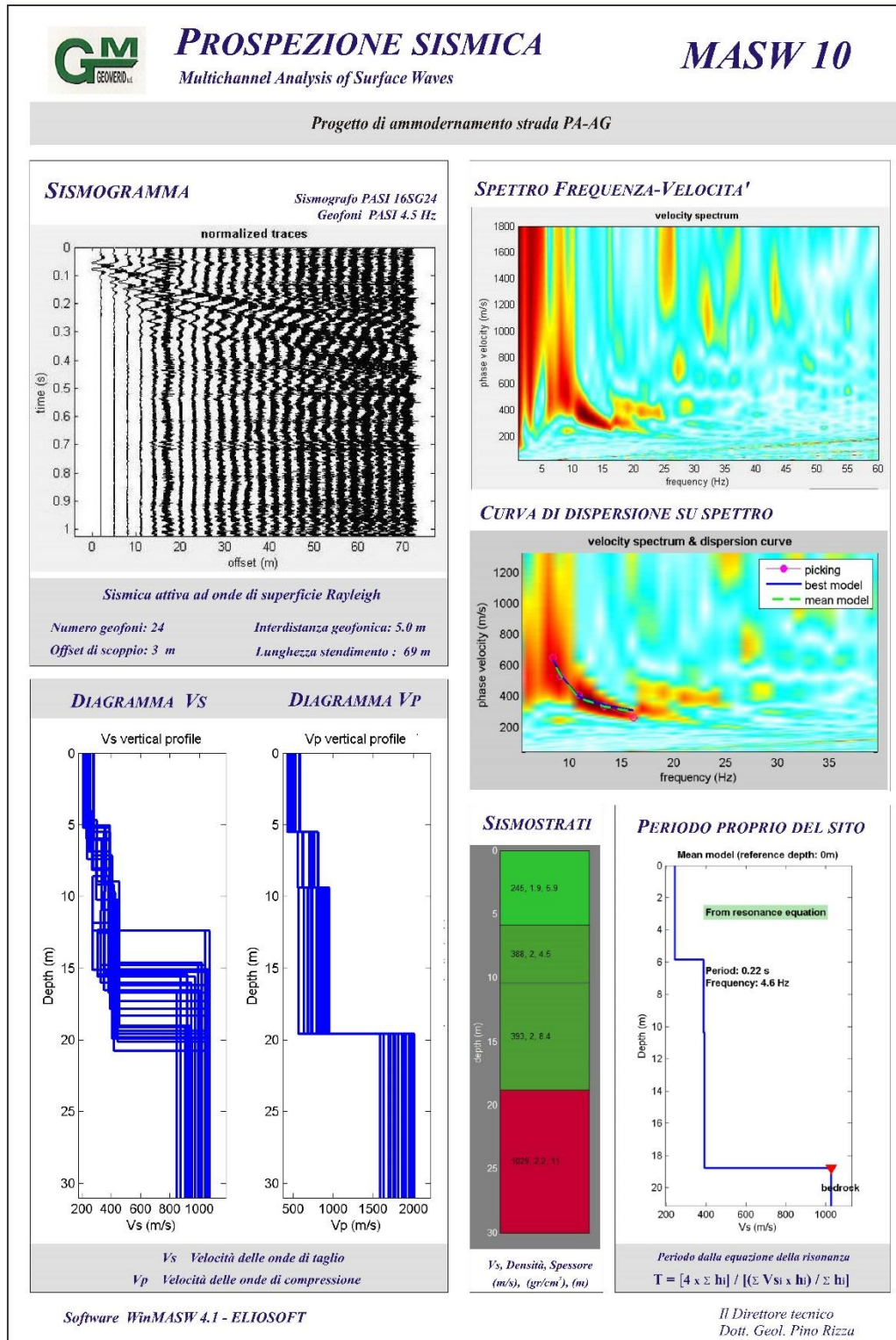


Figura 5: Prospezione sismica Masw10

8 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

A sostegno delle rampe di accesso al nuovo cavalcavia CN10 si prevedono i seguenti interventi:

- Tratto da pk 0+000 a pk 0+026.304

Rilevato stradale avente scarpate con pendenza 2/3.

- Tratto da ok 0+026.304 a pk 0+079.441

Rilevato con scarpate 2/3 lato sinistro (monte), e gabbioni tipo terramesh lato destro (lato valle).

La terramesh presenta altezza variabili da un minimo di 3.0m ad un massimo di 8.0m. Il sistema terramesh presenta un paramento a gradoni costituito da gabbioni di dimensioni 1.0m x1.0m. Ogni metro è inoltre presente un elemento di rete metallica a doppia torsione tipo 8 x 10 galvanizzata in lega Zn-AL 5% (245 gr/m²) e plastificata (Sp=0.5mm) in filo $\phi=2.7$ mm (carico a rottura 55 kN/m) di lunghezza 3.0m.

Ove si necessita di moduli di maggior lunghezza, è stata abbinata alla rete metallica una geogriglia tipo Paragrid PG100 li lunghezza variabile a seconda delle esigenze.

In particolare, sono state individuate le seguenti casistiche:

- Per altezze inferiori o uguali a 4.0m a partire da piano campagna sono stati individuati i seguenti blocchi:

Blocco inferiore di altezza 2.0m e lunghezza 5.0m costituito dalla rete metallica di lunghezza 3.0m e dalla geogriglia PG100 di lunghezza 5.0m;

Blocco superiore di altezza 2.0m e lunghezza 3.0m costituito dalla solo rete metallica di lunghezza 3.0m.

- Per altezze inferiori o uguali a 6.0m a partire da piano campagna sono stati individuati i seguenti blocchi:

Blocco inferiore di altezza 3.0m e lunghezza 9.0m costituito dalla rete metallica di lunghezza 3.0m e dalla geogriglia PG100 di lunghezza 9.0m;

Blocco superiore di altezza variabile (3.0-2.0m) e lunghezza 3.0m costituito dalla solo rete metallica di lunghezza 3.0m.

- Per altezze inferiori o uguali a 8.0m a partire da piano campagna sono stati individuati i seguenti blocchi:

Blocco inferiore di altezza 3.0m e lunghezza 11.0m costituito dalla rete metallica di lunghezza 3.0m e dalla geogriglia PG100 di lunghezza 11.0m;

Blocco intermedio di altezza 3.0m e lunghezza 4.0m costituito dalla rete metallica di lunghezza 3.0m e dalla geogriglia PG100 di lunghezza 4.0m

Blocco superiore di altezza variabile (2.0-1.0m) e lunghezza 3.0m costituito dalla sola rete metallica di lunghezza 3.0m.

In Figura 8 si riporta il prospetto della gabbionata, mentre in Figura 9 si riporta una sua sezione tipica.

- Tratto da pk 0+079.430 a 0+091.808 e da pk 0+139.655 a pk 0+162.610

Muro ad U su pali di riduttori di cedimento (consolidamento) $\Phi=800$ mm di lunghezza utile 12.2 m disposti su tre file ad interasse di circa 4.0 m. La soletta di fondazione del muro ad U presenta dimensioni 10.2x1.2 m; su di essa si attestano le parti in elevazione di spessore 0.75.

In Figura 10 si riporta una sezione tipica del muro ad U su pali di consolidamento.

Nelle figure seguenti si riportano alcuni stralci delle tavole.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo



Figura 6: Planimetria dell'intervento

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

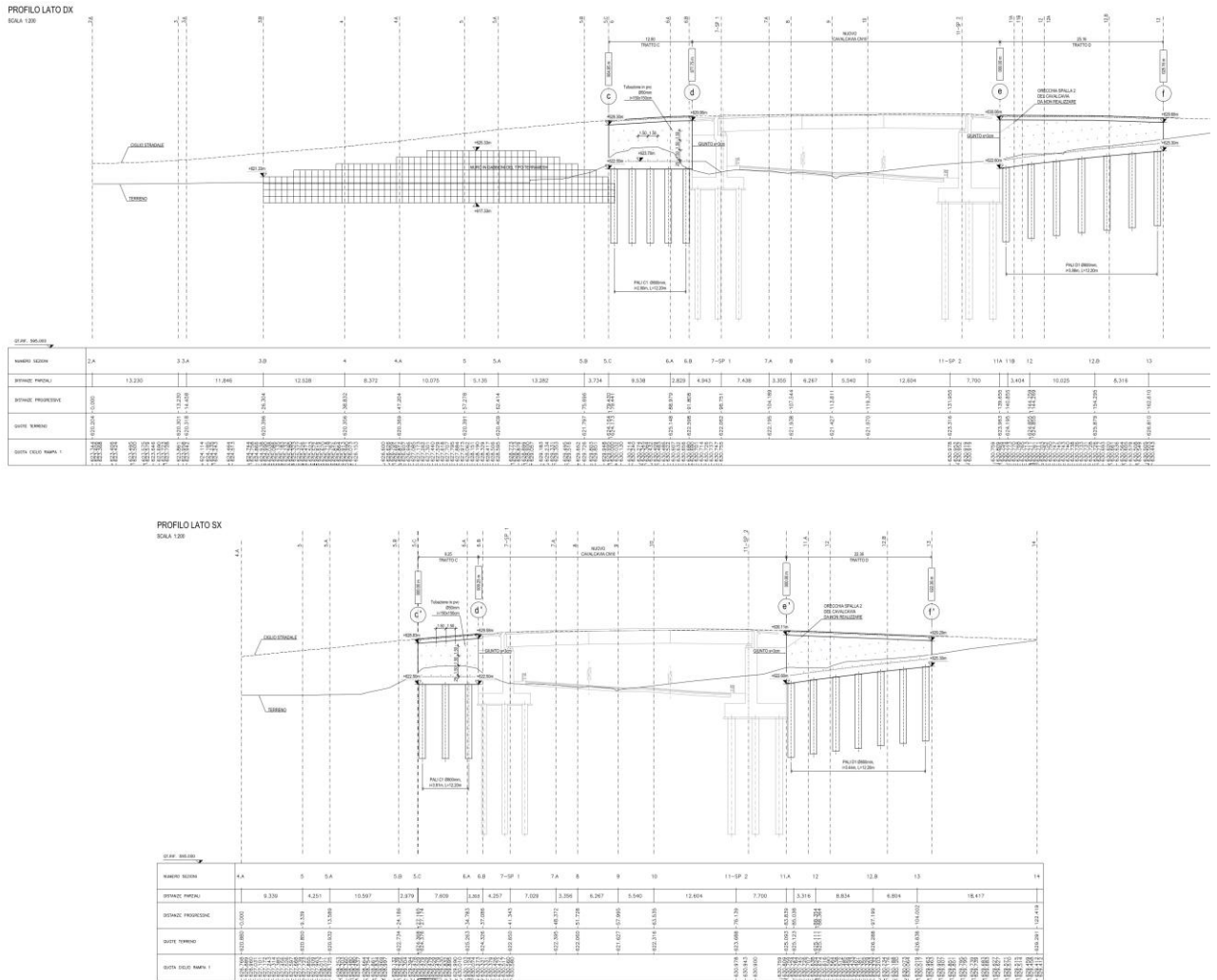


Figura 7: Profili longitudinale

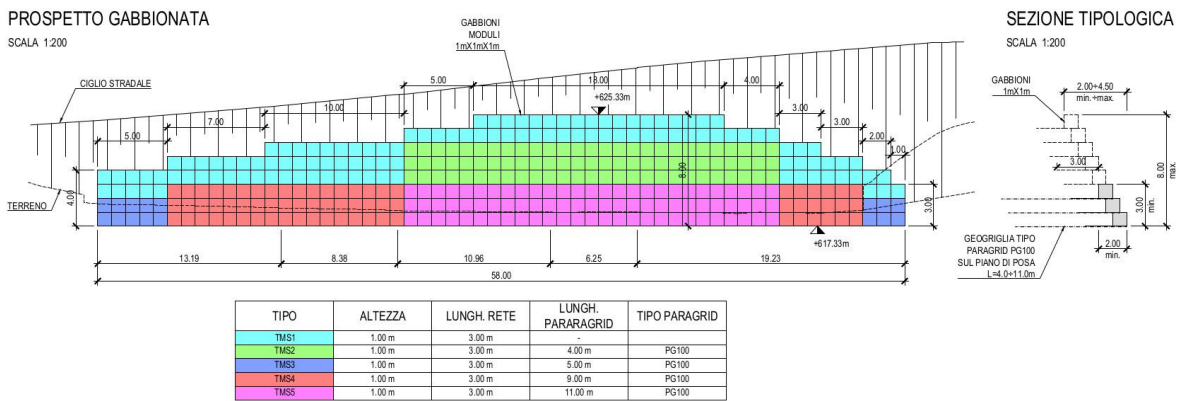


Figura 8: Profilo gabbionata

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

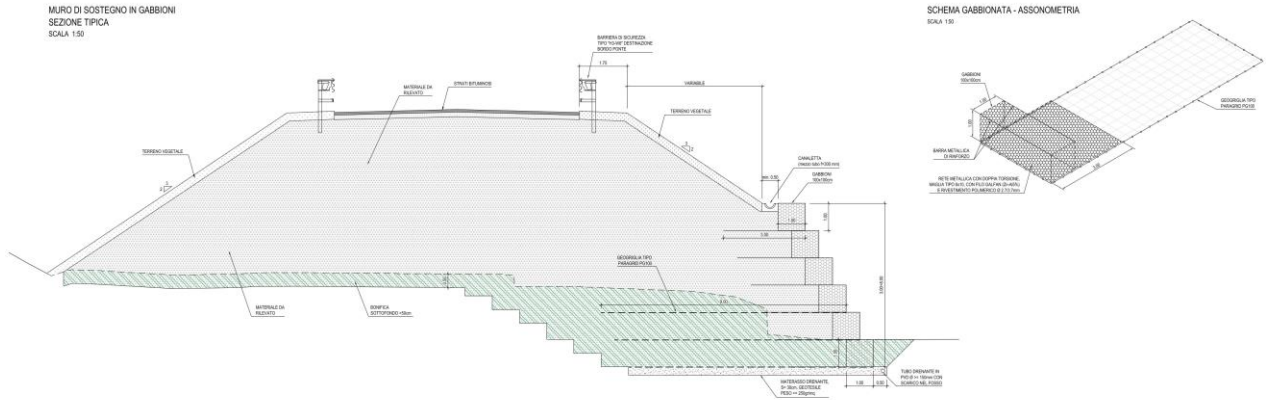


Figura 9: Sezione tipica gabbionata

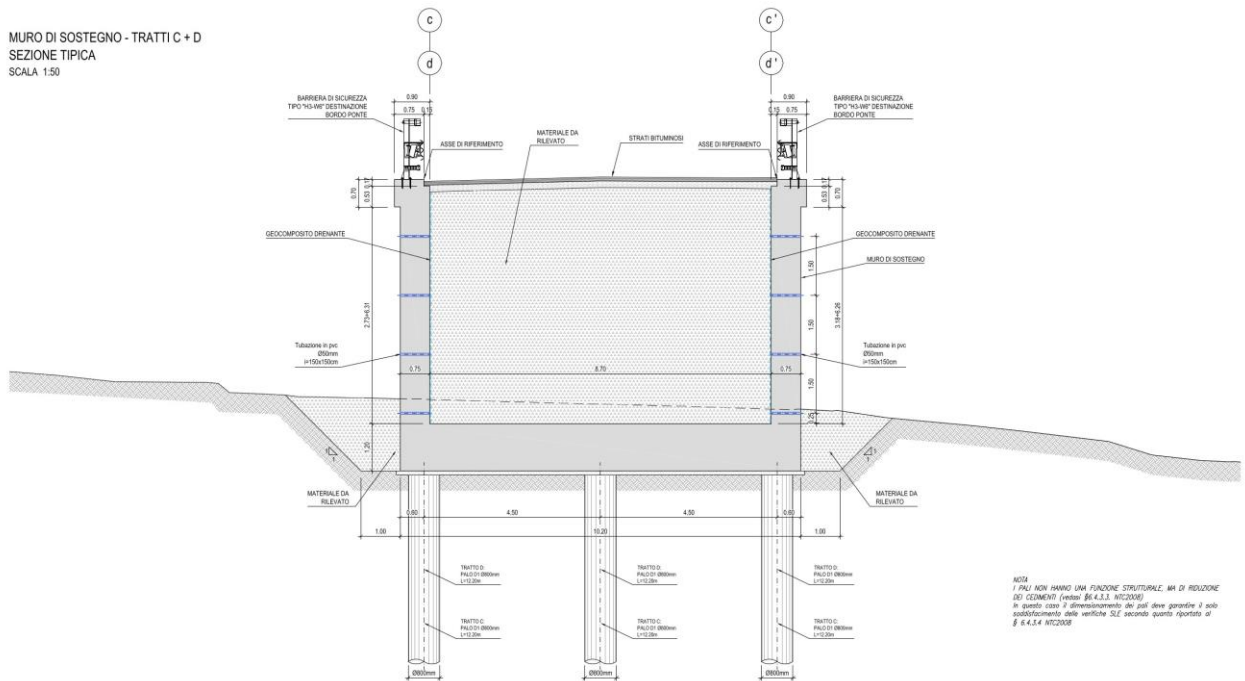


Figura 10: Sezione tipica muro ad U su pali di consolidamento

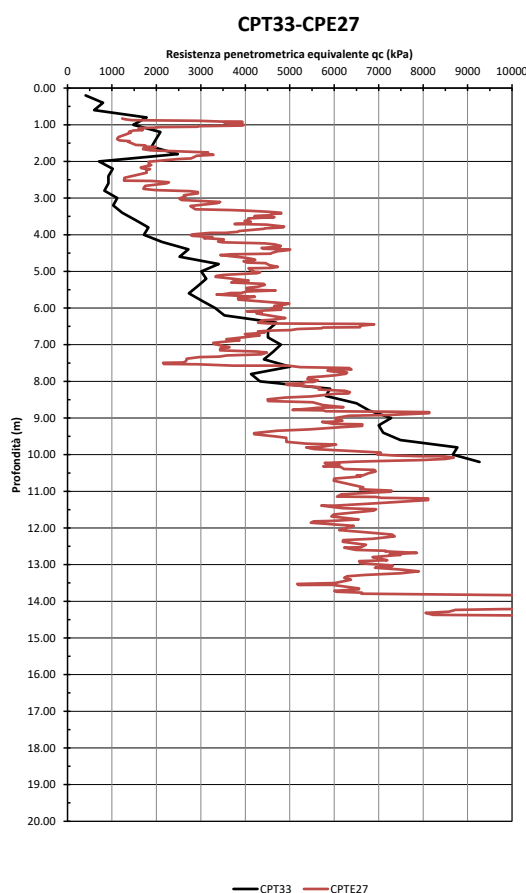
9 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEI TERRENI

Nel seguito verranno interpretate le indagini disponibili, individuate le unità stratigrafiche e definiti i parametri geotecniche di riferimento.

9.1 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE

Per l'area in esame sono disponibili le prove penetrometriche statiche CPT33 e CPTE27 (vedasi il paragrafo 7).

Nella seguente figura sono riportati gli andamenti con la profondità della resistenza di punta q_c .



9.1.1 Caratteristiche di resistenza in termini di coesione non drenata

La resistenza a taglio non drenata è stata desunta dalla resistenza di punta:

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{N_k},$$

essendo:

N_k = 15 coefficiente di capacità portante;

σ_{vo} = pressione verticale totale;

q_c = resistenza alla punta.

I diagrammi di Figura 11 riportano i valori di c_u così stimati.

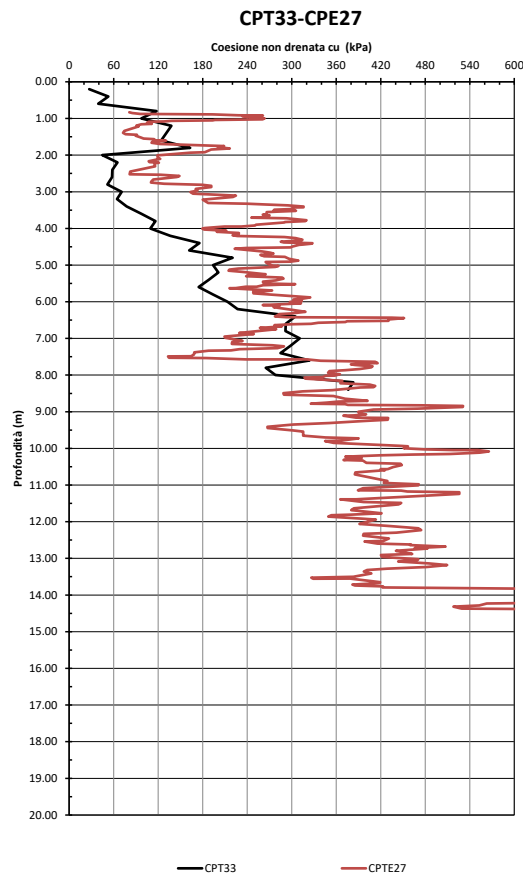


Figura 11: Coesione non drenata c_u

9.1.2 Caratteristiche di deformabilità

Con riferimento alla resistenza alla punta q_c equivalente il modulo di deformazione E è stato determinato in accordo alla correlazione di Mitchell e Gardner (1975):

$$E = \alpha \cdot q_c,$$

con:

$$\alpha = 6.$$

I diagrammi di Figura 12 riportano i valori di E così stimati.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

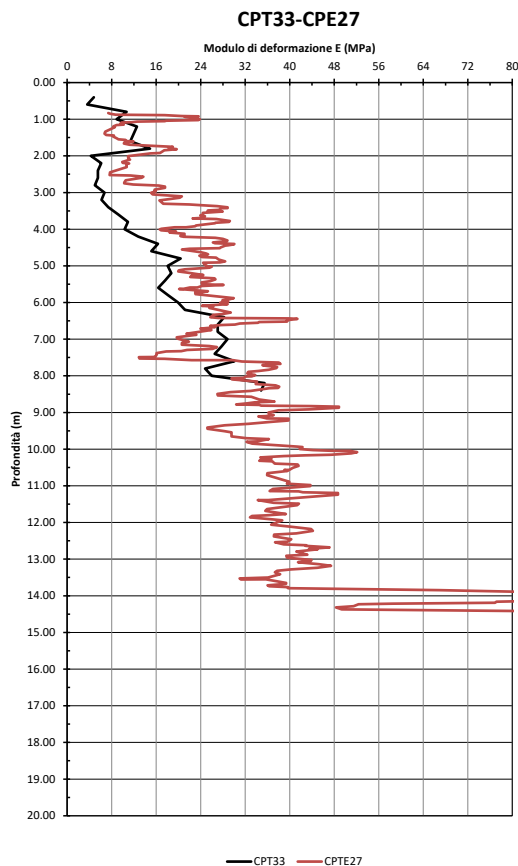


Figura 12: Modulo di deformazione E

9.2 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DI LABORATORIO

Sui campioni prelevati dal sondaggio SD23Pz sono state eseguite prove di laboratorio i cui risultati sono sintetizzati nella tabella seguente.

Tabella 2: Sintesi delle prove di laboratorio

| Son. | Camp. | Prof. [m] | Caratteristiche fisiche - parte 1 | | | | | | | | Caratteristiche fisiche - parte 2 | | | | | | | | |
|--------|-------|-----------|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|---------|-----------------------------------|---------|-------|------|-------|----------|---------|------------|--------|
| | | | W [%] | γ kn/m^3 | γ_d kn/m^3 | G_s kn/m^3 | n % | e - | Sr % | w_L % | w_p % | w_r % | PI % | IC - | CF % | Attività | CaCO3 % | Sost. Org. | Class. |
| SD23Pz | CR1 | 2.60 | 33.96 | 18.28 | 13.65 | 27.15 | 49.74 | 0.990 | 93.17 | 55.51 | 30.62 | 24.18 | 24.89 | 0.87 | 51.00 | 0.49 | 16.37 | 0.16 | A7-5 |
| SD23Pz | C1 | 3.20 | 26.94 | 18.88 | 14.87 | 28.5 | 47.81 | 0.916 | 83.80 | 56.49 | 24.85 | 24.85 | 31.64 | 0.93 | 52.00 | 0.61 | 16.58 | 2.93 | A7-6 |
| SD23Pz | CR2 | 10.00 | 14.54 | 20.84 | 18.19 | 26.1 | 30.29 | 0.434 | 87.34 | 39.29 | 19.18 | 14.06 | 20.11 | 1.23 | 40.00 | 0.50 | 33.3 | | A6 |
| SD23Pz | C2 | 12.30 | 15.88 | 20.74 | 17.90 | 27.09 | 33.93 | 0.514 | 83.76 | 44.37 | 20.05 | 10.02 | 24.32 | 1.17 | 42.00 | 0.58 | 34.72 | 0.48 | A7-6 |

| Son. | Camp. | Prof. [m] | Granulometria | | | | Prova edometrica | | | | ELL | TD | | | |
|--------|-------|-----------|---------------|----------|--------|-----------|------------------|----------------|--------|--------|-----------|--------------------------|------------|--|--|
| | | | Ghiaia % | Sabbia % | Limo % | Argilla % | e_0 | σ_p kPa | c_c | c_r | q_u kPa | Picco $\phi' (^{\circ})$ | $c' (kPa)$ | | |
| SD23Pz | CR1 | 2.60 | 0.94 | 13.83 | 33.42 | 51.81 | | | | | | | | | |
| SD23Pz | C1 | 3.20 | 4.2 | 17.81 | 25.58 | 52.41 | 0.934 | 280 | 0.0565 | 0.0166 | 156 | 22 | 8.7 | | |
| SD23Pz | CR2 | 10.00 | 0.1 | 10.61 | 49.15 | 40.14 | | | | | | | | | |
| SD23Pz | C2 | 12.30 | 0 | 4.48 | 52.04 | 43.49 | | | | | | 21 | 16.2 | | |

9.3 UNITA' STRATIGRAFICHE

In base alle informazioni stratigrafiche descritte poc'anzi, nelle Figura 13+Figura 16 si riportano le sezioni geologico-stratigrafiche di riferimento, con individuazione delle seguenti unità geotecniche:

- **Riporto antropico:** localmente è presente materiale di riporto che costituisce le rampe dello svincolo esistente
- **Unità LSA(a-2):** coltre eluvio-colluviale di bassa consistenza costituita prevalentemente da limi e argille. Lo spessore di questa unità è variabile da 2.0 m a 3.0 m circa.
- **Unità LSA:** Limi sabbiosi argillosi moderatamente consistenti con spessore variabili da 1.0 a 2.0 m.
- **Unità AG:** Argille limose grigie. Si tratta di argille limose grigie a struttura scagliettata con inclusi elementi lapidei, da consistenti a molto consistenti, talvolta con intercalati livelli sabbiosi e/o livelli, strati di argilliti a consistenza pseudo-litoide.

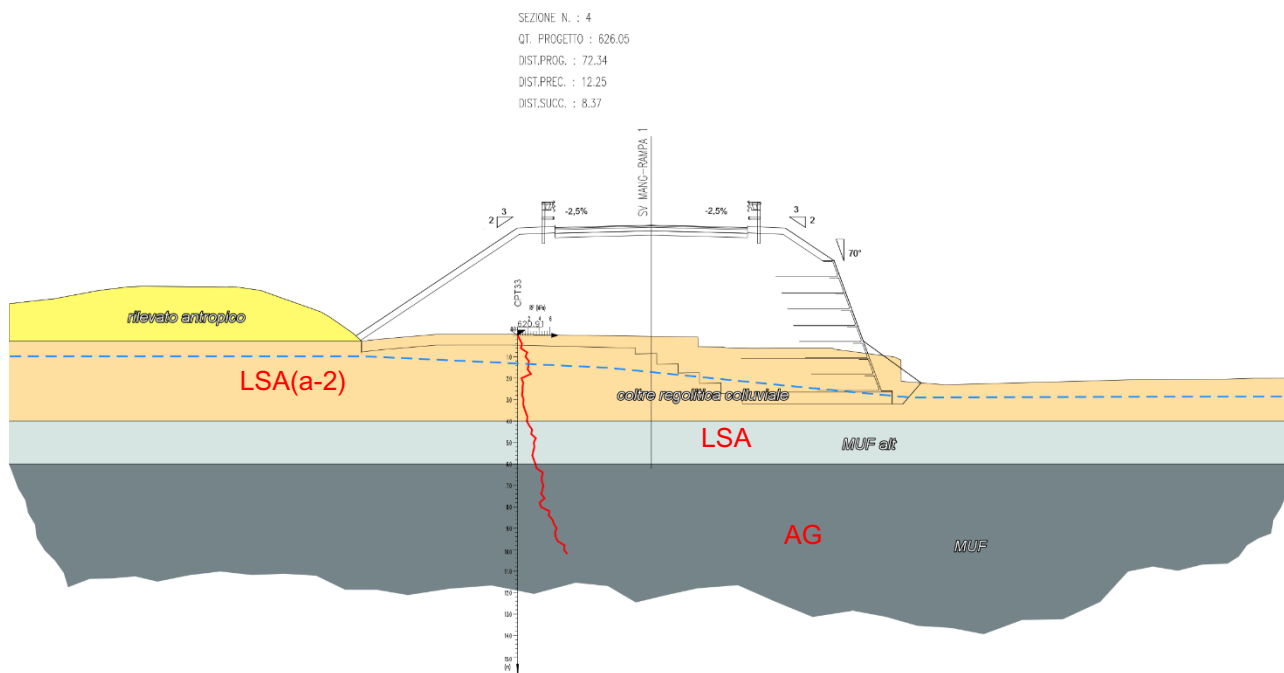


Figura 13: Sezione geologica e stratigrafica (sez. 4)

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

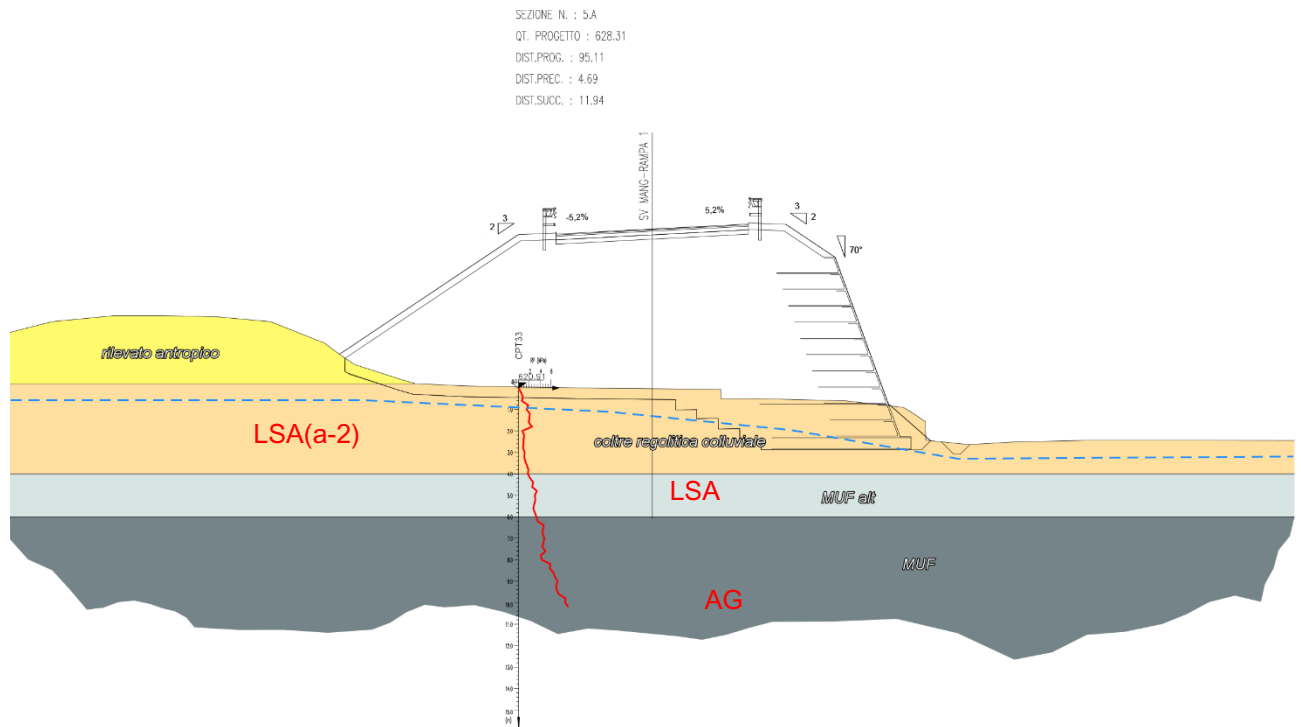


Figura 14: Sezione geologica e stratigrafica (sez. 5A)

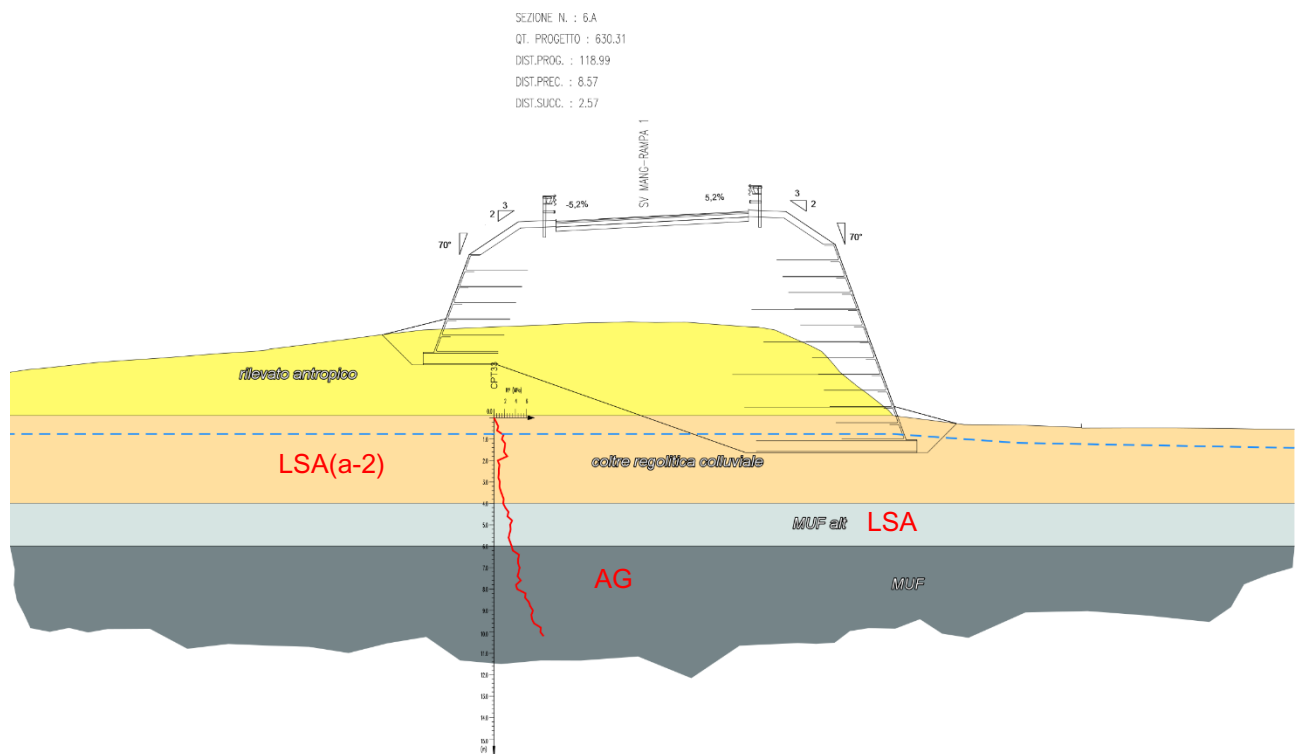


Figura 15: Sezione geologica e stratigrafica (sez. 6A)

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

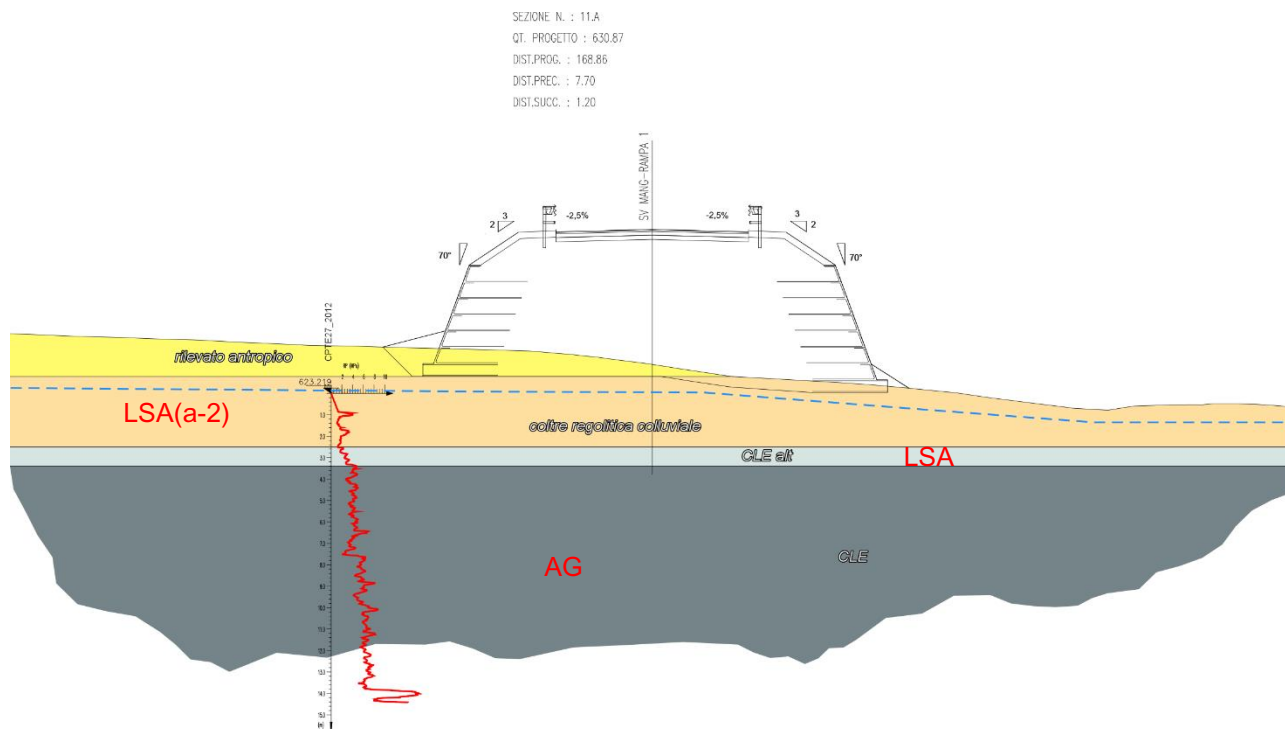
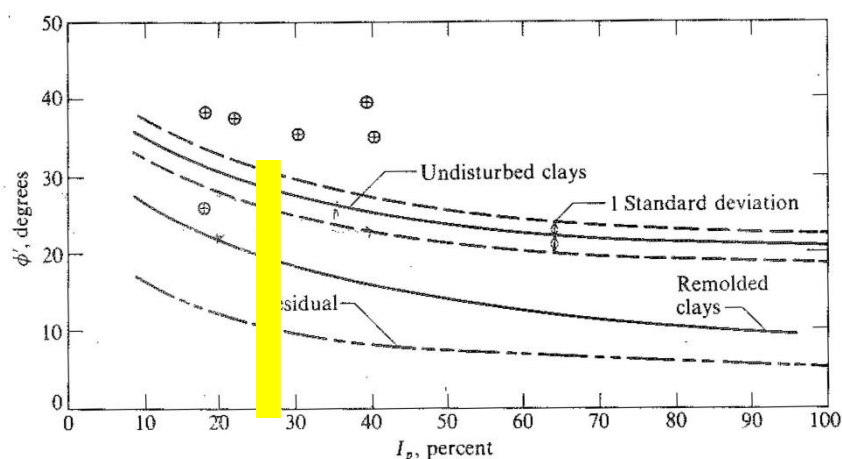


Figura 16: Sezione geologica e stratigrafica (sez.11A)

Nella Tabella 3 si riportano per le diverse unità i parametri geotecnici di riferimento. E' da osservare che i parametri di resistenza a taglio assunti sono in linea con la correlazione proposta da Ladd et al. (1977) di cui alla Figura 17 considerando che mediamente l'indice plastico è variabile da 20 a 30 e che per l'unità LSA(a) la curva di riferimento può essere quella indicata per la "remolded clay".



Correlation between ϕ' and plasticity index I_p for normally consolidated (including marine) clays. Approximately 80 percent of data falls within one standard deviation. Only a few extreme scatter values are shown [Data from several sources: Ladd et al. (1977), Bjerrum and Simons (1960), Kanja and Wolle (1977), Olsen et al. (1986).]

Figura 17: Correlazione fra angolo di resistenza a taglio e indice plastico

Tabella 3: Parametri geotecnici, caratteristici per quanto concerne quelli di resistenza al taglio

| Unità | Spessore | γ (kN/m ³) | ϕ'_k (°) | c'_k (kPa) | c_{uk} (kPa) | E' (MPa) |
|--------------------|----------|----------------------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|---------------------------------|
| LSA(a-2) | 2.0÷3.0 | 20 | 22 | 2 | 60÷120 | 15 |
| LSA | 1.0÷2.0 | 20 | 24 | 5 | 120÷200 | 20 |
| AG | > | 20.5 | 26 | 10÷15 | 200+10* δz ≤ 400 | 30+1.5* δz ≤ 80 |
| Rilevato nuovo | | 20 | 38 | 0 | | 50 |
| Rilevato esistente | | 20 | 35 | 0 | | 50 |

9.3.1 Falda di progetto

Come risulta dalla relazione geologica, i terreni di copertura possono essere sede di locali e temporanee falde in conseguenza agli apporti meteorici, con livelli freatici anche prossimi al piano campagna. Si assumono i seguenti livelli di falda di progetto:

- Condizioni statiche: falda a -0.5 m da p.c.
- Condizioni simiche: falda a -1.5 m da p.c.

Nel calcolo della gabbionata la falda è stata considerata a -0.5m da piano campagna sia in condizione statica che in condizioni sismiche; in corrispondenza del terramesh la falda è stata raccordata con il piede di quest'ultimo considerata la presenza di un materasso drenante.

10 CONFRONTO DEL MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL PROGETTO ESECUTIVO APPROVATO E QUELLO DI PV3

In seguito alle abbondanti piogge del novembre 2018 e al conseguente anomalo e perdurante innalzamento dei livelli freatici, il contesto idrogeologico generale ha subito un importante aggravio in termini di dissesto, con fenomeni di instabilità che si sono manifestati in maniera diffusa sui versanti prospicienti tutto il tracciato ed un contestuale generale e marcato rammollimento delle coltri superficiali.

Alla luce delle criticità e delle fragilità geomorfologiche palesatesi, si impone l'adozione di cautele e soluzioni progettuali adeguate al mutato contesto idrogeologico generale.

Relativamente agli aspetti idrogeologici, si segnala che i terreni di copertura possono essere sede di locali e temporanee falde in conseguenza agli apporti meteorici, con livelli freatici anche prossimi al piano campagna (0.5÷1.0 m) in occasione eventi meteorici particolarmente intensi e/o periodi caratterizzati da piovosità prolungata. Si segnala che tali livelli piezometrici si riferiscono alla attuale e naturale configurazione del versante.

Per effetto dei livelli di falda prossimi a p.c. le verifiche di stabilità come riportato al § 10.1 delle opere previste in PEA non sono soddisfatte. In tale contesto idrogeologico modificato da nuovi elementi conoscitivi emersi in corso d'opera il modello geologico-geotecnico è stato aggiornato e ridefinito, per l'opera in esame, sono solo in termini di falda di progetto ma anche di stratigrafia e parametri geotecnici.

In particolare, è stato dettagliato meglio la porzione sommitale dell'unità LSA, che presenta una copertura eluvio-colluviale con basse caratteristiche meccaniche, a comportamento rigonfiante e sensibile alle condizioni climatiche. In particolare, nell'area di sedime dell'opera, sono individuabili le seguenti unità:

- **Unità LSA(a-2):** coltre eluvio-colluviale di bassa consistenza costituita prevalentemente da limi e argille. Lo spessore di questa unità è variabile da 2.0 m a 3.0 m circa.
- **Unità LSA:** Limi sabbiosi argillosi moderatamente consistenti con spessore variabili da 1.0 a 2.0 m.
- **Unità AG:** Argille limose grigie. Si tratta di argille limose grigie a struttura scagliettata con inclusi elementi lapidei, da consistenti a molto consistenti, talvolta con intercalati livelli sabbiosi e/o livelli, strati di argilliti a consistenza pseudo-litoide.

Di seguito si riporta un confronto tabellare delle stratigrafie e dei parametri geotecnici di riferimento definiti nelle due differenti fasi progettuali.

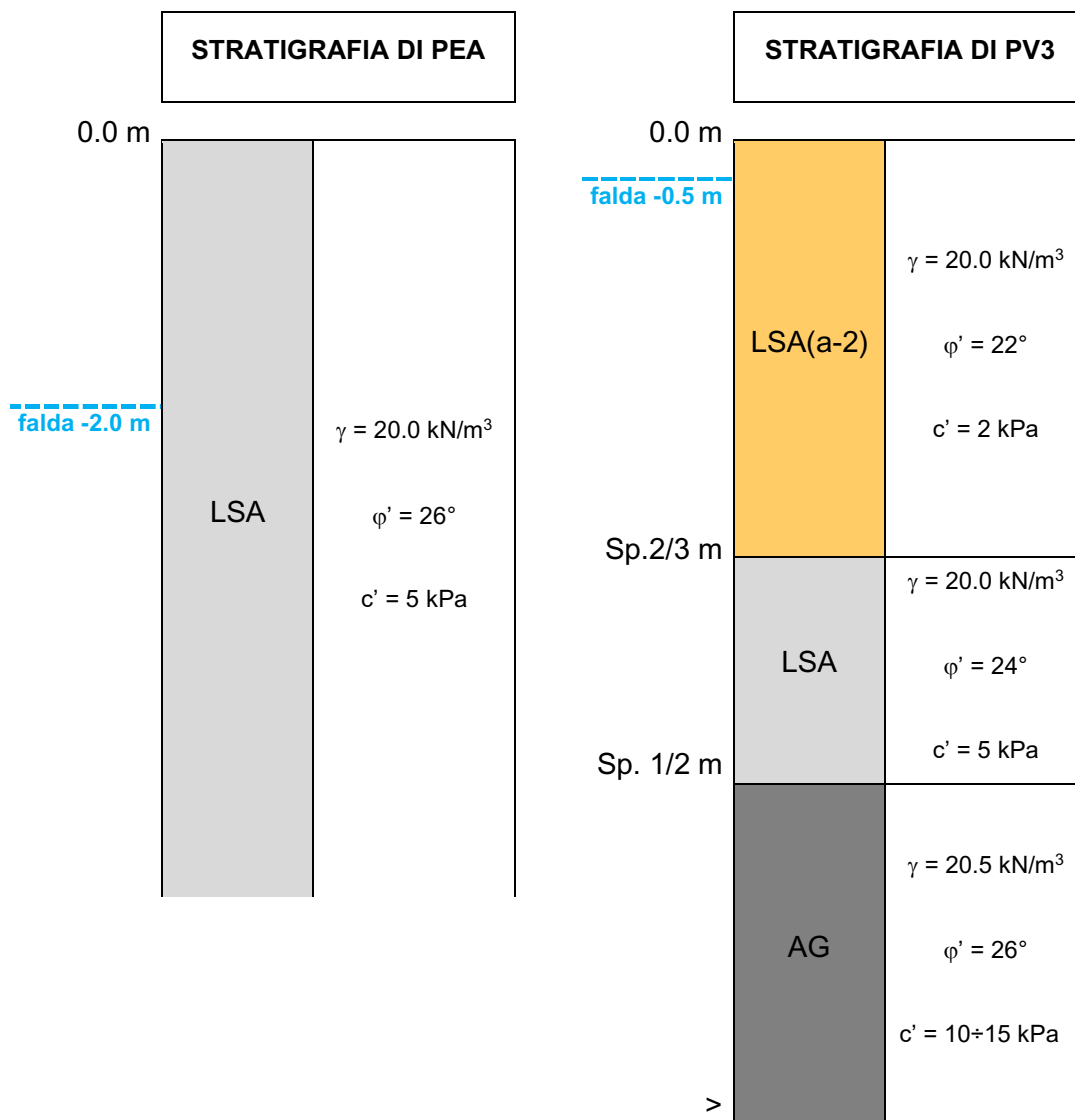


Figura 18: Confronto schematico tra la stratigrafia di riferimento definita in ambito di PEA e quella di PV3

10.1 EFFETTI DEI NUOVI LIVELLI DI FALDA SULLA STABILITÀ

Nella figura sottostante si riportano gli esiti di una verifica di stabilità globale relativa alla soluzione progettuale di PEA, in riferimento alla sezione di progetto 6A dell'opera OS86. La verifica di stabilità secondo l'Approccio 1, combinazione 2 (A2+M2+R2) condotta in riferimento alla stratigrafia, alla caratterizzazione geotecnica e al livello di falda a -2.0 m da p.c. definiti in tale ambito progettuale, evidenzia il soddisfacimento dei requisiti previsti da Normativa in termini di sicurezza nei confronti della stabilità globale. Il coefficiente di sicurezza $FS = 1.102$ è superiore al valore minimo da normativa $FS = 1.1 = \gamma_{R2}$.

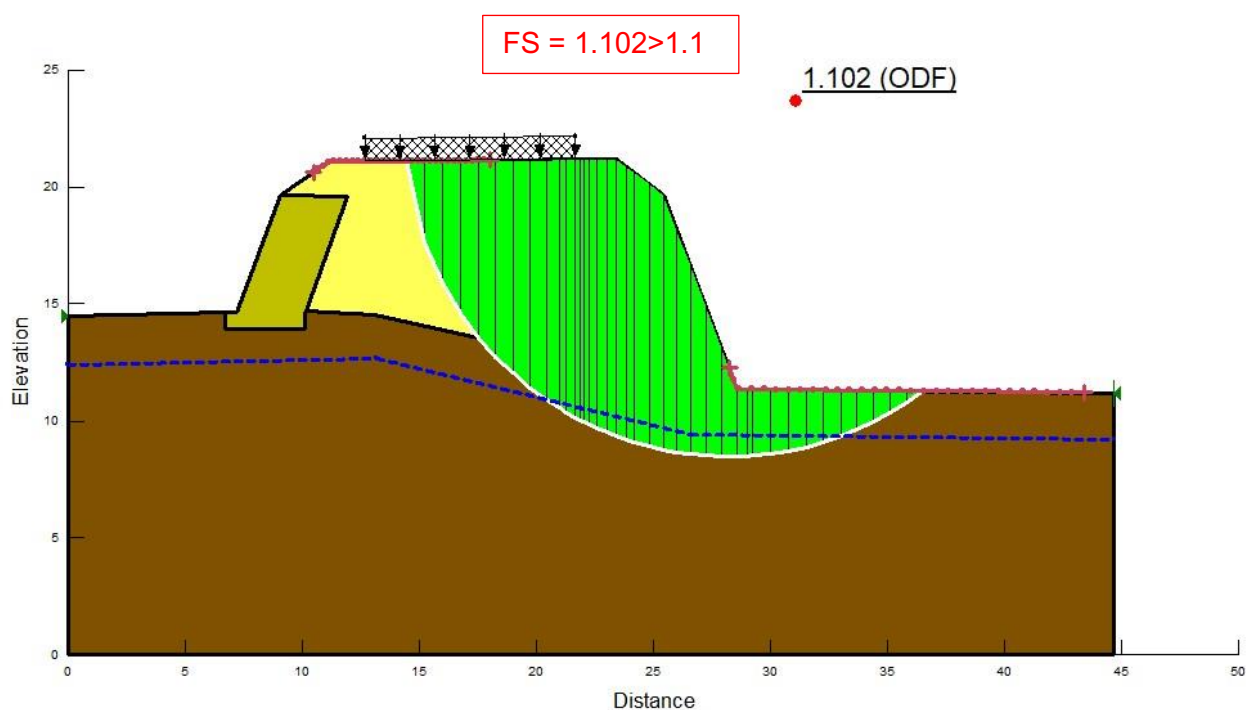


Figura 19: OS86 - Verifica di stabilità, condizioni statiche (stratigrafia di PEA)

La stessa verifica è stata condotta in riferimento a un livello di falda più alto prossimo a p.c. lasciando invariata la stratigrafia.

Come mostra la figura sottostante, in tali nuove condizioni la verifica di stabilità non risulta più soddisfatta, essendo il coefficiente di sicurezza $FS = 0.99$, inferiore al valore minimo da normativa

$FS=1.1=\gamma_{R2}$. Pertanto, la configurazione progettuale di PEA non soddisfa più i requisiti prestazionali in termini di sicurezza e durabilità previsti dalla normativa vigente.

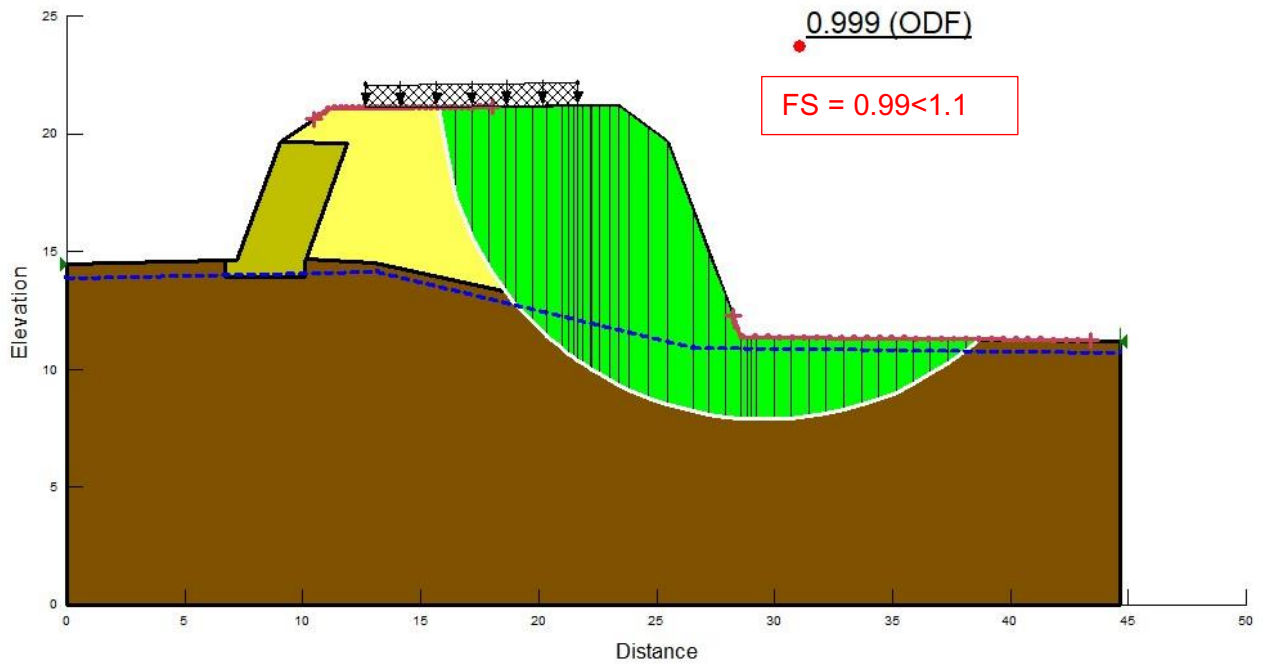


Figura 20: OS86 - Verifica di stabilità, condizioni statiche (stratigrafia di PV3)

11 ANALISI E VERIFICA DELL'OPERA DI SOSTEGNO

L'analisi è stata condotta adottando i criteri nel seguito descritti in accordo al DM2018.

11.1 CARICHI VARIABILI

Sul piano stradale è stato considerato un carico accidentale (Q_k) di valore caratteristico pari a $q_k = 20$ kPa.

Inoltre è stato considerato il carico eccezionale (A_d) dovuto all'urto sul sicurvia secondo lo schema riportato nella figura seguente.

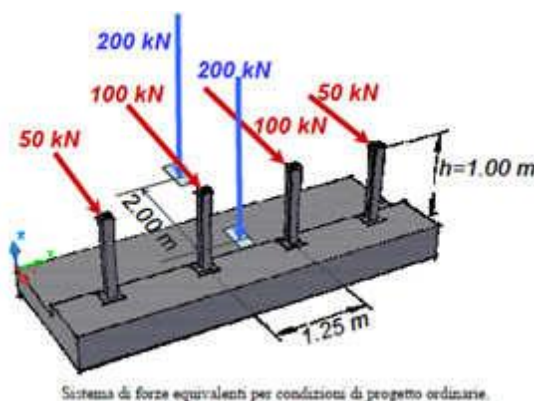


Figura 21: Schema urto su sicurvia

L'azione orizzontale risultante vale:

$$H_{ris} = (2 \cdot 100 + 2 \cdot 50) = 300 \text{ kN},$$

considerando una larghezza di ripartizione pari a $L = 1.25 \cdot 4$ (montanti) = 5.0 m la forza orizzontale e il momento a metro lineare risultano pari a:

$$H = 300/5.0 = 60 \text{ kN/m}, \quad m = 300 \cdot 1(h)/5.0 = 60 \text{ kNm/m}.$$

Alla forza orizzontale d'urto sul sicurvia si associa un carico verticale distribuito pari a:

$$q = 300/4/5 = 20 \text{ kPa}.$$

11.2 SISMA

11.2.1 Azioni sull'opera

11.2.1.1 Azione sismica su terramesh

Con riferimento al paragrafo 6.2, la determinazione dei coefficienti sismici per il calcolo dell'opera in Terramesh, assimilata ad un muro di sostegno, è stata condotta in accordo al paragrafo 7.11.6.2 del DM2018.

Assumendo:

- $\beta_m = 0.38$;

risulta:

- $k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g} = 0.057$;
- $k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = 0.028$.

Lo stato limite di ribaltamento dovrà essere verificato utilizzando valori di β_m incrementati del 50% rispetto a quelli innanzi indicati ($\beta_m = 0.56$).

11.2.1.2 Azione sismica sul muro ad U

Con riferimento al paragrafo 6.2, la determinazione dei coefficienti sismici per il calcolo del muro ad U è stata condotta in accordo al paragrafo 7.11.6.2 del DM2018.

Assumendo:

- $\beta_m = 0.38$;

risulta:

- $k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g} = 0.057$;
- $k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = 0.028$.

11.2.2 Stabilità globale dell'insieme terreno-opera

La determinazione dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità dell'opera è stata condotta in accordo al paragrafo 7.11.4 del DM2018.

Assumendo:

- $\beta_s = 0.38$;

risulta:

- $k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g} = 0.057$;
- $k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = 0.028$.

11.3 APPROCCI PROGETTUALI DI VERIFICA

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, ovvero:

$$E_d = E \left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

$$E_d = \gamma_E E \left(F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

con $\gamma_E = \gamma_F$, e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left(\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

Effetto delle azioni e resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_k$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d .

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come $E_d = \gamma_E E_k$. Nella formulazione delle resistenze R_d , compare esplicitamente un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema.

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

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito degli approcci previsti dalla normativa.

11.3.1 Approccio di verifica del muro ad U su pali

L'analisi del muro ad U è stata condotta effettuando le verifiche corrispondenti ad un muro su fondazione superficiale:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
 - collasso per carico limite (in assenza di pali);
- SLU di tipo strutturale (STR):
 - verifica strutturale degli elementi che lo compongono (paramento verticale, ciabatta di fondazione).

Le verifiche SLU-GEO sono state sviluppate con riferimento alle NTC2018, seguendo l'approccio 2 A1+M1+R3.

Le verifiche strutturali (SLU-STR) sono condotte con la combinazione A1+M1+R1, in condizione sismiche si è fatta la verifica in campo sostanzialmente elastico.

Per la *condizione statica* i coefficienti parziali per le azioni (A), per i parametri geotecnici del terreno (M) e per le resistenze (R) sono in accordo alla tab. 6.2.I (Tabella 4), 6.2.II (Tabella 5), 6.5.I (Tabella 6); in particolare, $\gamma_R=1.4$ per la capacità portante).

In *condizioni sismiche* le verifiche sono eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando per le resistenze di progetto i coefficienti riportati in Tabella 7 (Tab. 7.11.II del DM2018). A favore di sicurezza per la capacità portante si utilizza un fattore γ_R pari a 1.4 analogo alla condizione statica.

Tabella 4: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

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

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

Tabella 5: Coefficienti parziali per i parametri del terreno.

| PARAMETRO | GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE | COEFFICIENTE PARZIALE | (M1) | (M2) |
|---|---|--------------------------------|------|------|
| <i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i> | $\tan \varphi'_k$ | γ_M γ_φ | 1,0 | 1,25 |
| <i>Coesione efficace</i> | c'_k | γ_c | 1,0 | 1,25 |
| <i>Resistenza non drenata</i> | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| <i>Peso dell'unità di volume</i> | γ | γ_r | 1,0 | 1,0 |

Tabella 6: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza del muro di sostegno – condizione statica.

| Verifica | Coefficiente parziale (R3) |
|------------------------------------|----------------------------|
| Capacità portante della fondazione | $\gamma_R = 1,4$ |
| Scorrimento | $\gamma_R = 1,1$ |
| Ribaltamento | $\gamma_R = 1,15$ |
| Resistenza del terreno a valle | $\gamma_R = 1,4$ |

Tabella 7: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza del muro di sostegno – condizione sismica.

| Verifica | Coefficiente parziale γ_R |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Carico limite | 1.2 |
| Scorrimento | 1.0 |
| Ribaltamento | 1.0 |
| Resistenza del terreno a valle | 1.2 |

L'analisi del muro in condizioni sismiche è eseguita con il metodo pseudo-statico. Nelle verifiche allo stato limite ultimo le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \cdot W$ ed $F_v = k_v \cdot W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g},$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h,$$

I valori adottati sono riportati al paragrafo 11.2.1.2.

Le verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno sono state condotte con:

- Approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2 (GEO-stab).

In *condizioni statiche* i coefficienti parziali per le azioni (A), per i parametri geotecnici del terreno (M) sono in accordo alla tab. 6.2.I (Tabella 4), 6.2.II (Tabella 5) per le resistenze si adotta un coefficiente $\gamma_R=1.1$ in accordo alla Tabella 6.8.I di cui alle NTC2018 (Tabella 8, stabilità globale)

In *condizioni sismiche* le verifiche sono eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando per le resistenze di progetto un coefficiente $\gamma_R=1.2$.

Per gli stati limite ultimi analizzati la verifica di sicurezza è soddisfatta se:

$$R_d \leq E_d,$$

dove:

R_d = resistenza di progetto;

E_d = valore di progetto dell'effetto delle azioni.

In particolare, in accordo con quanto riportato al paragrafo 6.4.3.3 del DM2018, nel caso in cui il soddisfacimento di tale relazione sia garantito dalla sola ciabatta di fondazione e terreno di fondazione, ai pali può essere assegnata la sola funzione di riduzione e regolazione degli spostamenti. In questo caso il dimensionamento dei pali deve garantire il solo soddisfacimento delle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) di tipo strutturale condotte secondo l'approccio A1+M1+R1.

In condizioni di esercizio, inoltre, gli spostamenti dell'opera di sostegno dovranno essere compatibili con la funzionalità e inoltre dovranno essere soddisfatte le verifiche sullo stato tensionale dei materiali e di fessurazione.

11.3.2 Approccio di verifica Muro in Terramesh

L'analisi del muro in Terramesh è stata condotta effettuando le verifiche corrispondenti ad un muro su fondazione superficiale:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
 - scorrimento del piano di posa;
 - collasso per carico limite;
 - ribaltamento.
- SLU di tipo strutturale (STR):
 - verifica strutturale della rete che compone il terra-mesh (stabilità interna).

Le verifiche SLU-GEO sono state sviluppate con riferimento alle NTC2018, seguendo l'approccio 2 A1+M1+R3.

Le verifiche strutturali (SLU-STR) sono condotte con la combinazione A1+M1+R1.

Per la *condizione statica* i coefficienti parziali per le azioni (A), per i parametri geotecnici del terreno (M) e per le resistenze (R) sono in accordo alla tab. 6.2.I (Tabella 4), 6.2.II (Tabella 5) , 6.5.I (Tabella 6).

In *condizioni sismiche* le verifiche sono eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando per le resistenze di progetto i coefficienti riportati in Tabella 7 (Tab. 7.11.II del DM2018).

L'analisi del terra-mesh in condizioni sismiche è eseguita con il metodo pseudo-statico. Nelle verifiche allo stato limite ultimo le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \cdot W$ ed $F_v = k_v \cdot W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g},$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h,$$

I valori adottati sono riportati al paragrafo 11.2.1.1.

Per gli stati limite ultimi analizzati la verifica di sicurezza è soddisfatta se:

$$R_d \leq E_d,$$

dove:

R_d = resistenza di progetto;

E_d = valore di progetto dell'effetto delle azioni.

11.3.3 Approccio progettuale per le verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno sono state condotte con:

- Approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2 (GEO-stab).

In *condizioni statiche* i coefficienti parziali per le azioni (A), per i parametri geotecnici del terreno (M) sono in accordo alla tab. 6.2.I (Tabella 4), 6.2.II (Tabella 5) per le resistenze si adotta un coefficiente $\gamma_R=1.1$ in accordo alla Tabella 6.8.I di cui alle NTC2018 (Tabella 8).

Tabella 8: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo – condizione statica

| COEFFICIENTE | R2 |
|--------------|-----|
| γ_R | 1,1 |

In *condizioni sismiche* le verifiche sono eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando per le resistenze di progetto un coefficiente $\gamma_R=1.2$.

L'analisi in condizioni sismiche è eseguita con il metodo pseudo-statico. I valori dei coefficienti sismici orizzontale e verticale adottati sono riportati al paragrafo 11.2.2.

11.4 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Si sono considerate le combinazioni delle azioni nel seguito descritte in cui si indica con:

G = Azioni permanenti dovute al peso proprio degli elementi;

Q_k = Azioni variabile corrispondente al sovraccarico stradale di 20 kPa;

A_d = Azione eccezionale dovuta all'urto sul sicurvia.

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

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot Q_k$$

- *Combinazione caratteristica (rara)* impiegata per gli stati limite di esercizio (**SLE**):

$$G + Q_k$$

- *Combinazione frequente* impiegata per gli stati limite di esercizio (**SLE**):

$$G + \psi_{11} \cdot Q_k \quad \text{con } \Psi_{11} = 0.4$$

- *Combinazione quasi permanente (SLE)*:

$$G + \psi_{21} \cdot Q_k \quad \text{con } \Psi_{21} = 0$$

- *Combinazione sismica* impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E (**SLV**)

$$E + G$$

- *Combinazione eccezionale* impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione eccezionale di progetto A dovuta all'urto sul sicurvia:

$$G + A_d + Q_k$$

12 DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI

12.1 ANALISI DI ITERAZIONE TERRENO STRUTTURA MEDIANTE IL SOFTWARE DI CALCOLO PLAXIS

L'analisi di interazione terreno-opera è stata condotta con un modello FEM 2D utilizzando il programma di calcolo Plaxis 2D, codice appositamente sviluppato per lo studio di problematiche geotecniche e di interazione terreno-struttura.

La modellazione eseguita mira ad analizzare i principali aspetti tenso-deformativi connessi con la realizzazione dell'opera di sostegno prevista in progetto:

- determinazione delle massime sollecitazioni sugli elementi strutturali per il loro dimensionamento e verifica;
- analisi e verifica della stabilità geotecnica dell'opera.

La modellazione è, quindi, idonea anche ad indagare la stabilità globale del sistema geotecnico struttura-terreno ed all'analisi dei fenomeni deformativi indotti dalle instabilità attualmente presenti; consente di ottenere campi di spostamento che tengano correttamente conto dei fenomeni di interazione terreno-struttura.

Il codice Plaxis presenta una vasta libreria di legami costitutivi attribuibili ai terreni; sono disponibili inoltre elementi strutturali di vario tipo che consentono di simulare elementi strutturali che interagiscono con il terreno circostante mediante elementi interfaccia.

Le analisi sono state condotte mediante modellazioni volte a rappresentare il sistema geotecnico struttura-terreno con la simulazione sequenziale delle principali fasi costruttive previste.

La descrizione ha carattere generale (soluzione numerica, legami costitutivi e significato dei parametri di input); nei successivi capitoli, esplicitamente dedicati alle modellazioni, verranno esposte le caratteristiche di dettaglio delle analisi svolte ed i parametri di input considerati.

12.1.1 Plaxis. Metodologia e legami costitutivi dei materiali

PLAXIS è un codice di calcolo agli elementi finiti utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche e di interazione terreno-struttura. Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazione piane (plain strain).

Presenta una vasta libreria di legami costitutivi attribuibili ai terreni. Sono disponibili inoltre elementi strutturali di vario tipo che consentono di simulare diaframmi, pali, ancoraggi ecc.

PLAXIS generalmente viene utilizzato per analisi in tensioni efficaci. Quindi nei problemi che coinvolgono la determinazione delle pressioni neutre le stesse possono essere generate attraverso l'analisi del moto di filtrazione in regime stazionario; quest'ultimo richiede l'introduzione delle condizioni al contorno per la quota piezometrica e per le condizioni di flusso (superfici impermeabili, punti di emungimento, sorgenti etc.).

Visto il grado di conoscenze dei terreni, il modello costitutivo utilizzato, è quello di Hardening-Soil per il terreno naturale e di Mohr-Coulomb per il materiale da rilevato.

12.1.2 Plaxis. Analisi in condizioni A1+M1

Per la condizione statica A1+M1, le azioni variabili sono amplificate mediante il coefficiente parziale $\gamma_Q/\gamma_{G1}=1.5/1.3=1.15$; i risultati dell'analisi Plaxis in termini di azioni interne sono poi amplificati per il fattore moltiplicativo $\gamma_{G1}=1.3$.

12.1.3 Plaxis. Sisma

L'analisi in condizioni sismiche è eseguita mediante il metodo pseudostatico ovvero l'azione sismica viene rappresentata da una azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale alle masse coinvolte e simulata da una accelerazione aggiuntiva a quella di gravità.

12.2 ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE MEDIANTE IL SOFTWARE DI CALCOLO SLOPE/W

La valutazione dei fattori di sicurezza per la stabilità globale dell'opera è condotta mediante il modulo "Slope W" del programma GeoStudio 2007 versione 7.15 della GEO-SLOPE International.

Tale programma consente un'analisi di stabilità all'equilibrio limite tenendo conto di terreni variamente stratificati, dell'eventuale falda idrica, della presenza di pressioni neutre diverse dalle pressioni idrostatiche, di sollecitazioni sismiche mediante un'analisi di tipo pseudostatico, di tiranti di ancoraggio e di eventuali altri elementi di rinforzo (ad esempio geogriglie).

Il programma è in grado di fornire una soluzione generale al problema bidimensionale di stabilità ricavandone il coefficiente di sicurezza (FS) come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie di possibile scorrimento e quella effettivamente mobilitata dal volume di terreno coinvolto nel movimento; il criterio di rottura adottato è quello classico di Mohr - Coulomb.

La valutazione del coefficiente di sicurezza è effettuata per tentativi, generando un elevato numero di superfici mediante un algoritmo pseudo - casuale.

Il programma è in grado di compiere le verifiche di stabilità fornendo il coefficiente di sicurezza secondo differenti criteri; nel caso in esame l'analisi è stata sviluppata con superfici circolari adottando il metodo di Morgenstern-Price.

12.3 ANALISI DELLA TERRAMESH MEDIANTE IL SOFTWARE MACSTARS W

Il dimensionamento della terra rinforzata è stato condotto utilizzando il programma di calcolo denominato Macstars W (Officine Maccaferri).

12.3.1 Verifiche geotecniche come muro di sostegno

Il programma consente la verifica dell'opera come muro di sostegno e consente le seguenti tipologie di verifica:

- Verifica di scorrimento;
- Verifica di capacità portante;
- Verifica al ribaltamento;
- Verifica di stabilità globale;
- Verifica di stabilità interna (locale).

tali verifiche l'opera in terra rinforzata viene considerata come un muro monolitico, formato da blocchi che compongono l'opera stessa, che sostiene le spinte del terreno che si trova a monte.

I coefficienti di riduzione delle resistenze (γ_R) per le varie verifiche sono già inseriti nel programma, pertanto occorre unicamente che il fattore di sicurezza fornito da MacStars W sia maggiore dell'unità.

12.3.1.1 *Verifica di stabilità interna (verifica rinforzi)*

La verifica di stabilità interna (locale) consente di accertare che la geometria della sezione esaminata, in relazione alle caratteristiche di resistenza al taglio del materiale impiegato, assicuri un sufficiente fattore di sicurezza nei confronti della rottura.

La porzione di terreno soggetta a rottura viene divisa in conci e per ciascuno di questi si calcolano le forze alle quali sono assoggettati: forze esterne, peso, reazioni alla base e forze di contatto tra concio e concio.

Nel codice di calcolo MACSTARS W viene adottato il metodo semplificato di Bishop che permette di determinare il coefficiente di sicurezza alla rottura.

Scelta quindi una superficie di rottura si suddivide in conci la parte instabile, si studia dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi si passa alla stabilità globale; qui di seguito (Figura 22) sono riportate schematicamente le azioni agenti su di un singolo concio.

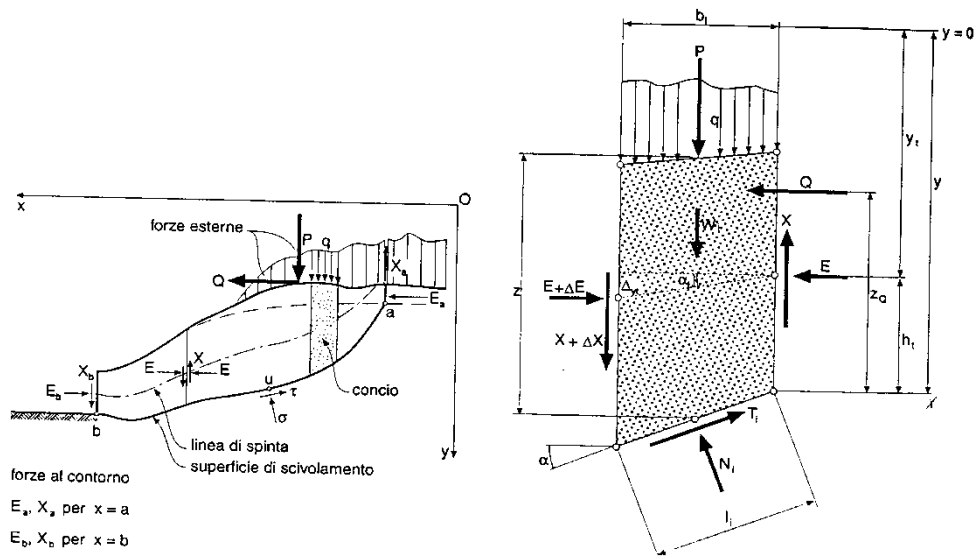


Figura 22: Forze agenti sul singolo concio.

Per ogni concio sono disponibili per la risoluzione del sistema le tre equazioni della statica (equilibrio traslazione verticale, orizzontale ed equilibrio dei momenti), quindi per n conci si avranno $3n$ equazioni linearmente indipendenti; il contributo dei rinforzi viene introdotto nel calcolo solo se essi intersecano la superficie di scivolamento.

La resistenza a trazione nei rinforzi può mobilitarsi per l'aderenza tra il rinforzo stesso ed i materiali (terreno o altri rinforzi) che si trovano sopra e/o sotto.

Tale contributo viene simulato con una forza stabilizzante diretta verso l'interno del rilevato applicata nel punto di contatto tra superficie di scorrimento e il rinforzo stesso; il modulo di tale forza è determinato scegliendo il minore tra il valore della resistenza a rottura del rinforzo ed il valore della resistenza allo sfilamento del rinforzo nel tratto di ancoraggio o nel tratto interno alla porzione di terreno instabile (il minimo tra i due valori). La prima è costante ed assegnata mentre le seconde variano linearmente con la profondità.

Per tenere conto dell'effetto dei rinforzi/reti è stato implementato un modello di comportamento rigido; in tale modello si ipotizza che un qualsiasi rinforzo, che attraversi la superficie di potenziale scorrimento analizzata, fornisca la forza di rottura del rinforzo penalizzata del relativo coefficiente di sicurezza, indipendentemente dai valori di rigidità dei rinforzi stessi.

Per ciascun rinforzo/reti devono essere verificate le seguenti condizioni:

- deve essere garantito un ancoraggio minimo;
- deve essere garantita la resistenza allo sfilamento nella zona di ancoraggio.

Nel primo caso una lunghezza di ancoraggio inferiore al minimo stabilito comporta l'annullamento completo della trazione nel rinforzo; nel secondo caso la trazione nel rinforzo viene limitata al valore di sfilamento.

Un corretto dimensionamento di una struttura in terra rinforzata pertanto implica una scelta opportuna della lunghezza e della spaziatura verticale dei rinforzi, al fine di garantire la stabilità.

Nel caso specifico di verifica di stabilità interna, si verifica della lunghezza necessaria e della spaziatura degli elementi di rinforzo tale da garantire che il rilevato rinforzato sia sufficientemente compatto e resistente alle azioni interne provocate dai carichi; si è assunto in questo caso che le superfici partano dal piede di valle dell'opera e si estendano verso monte fino ad incontrare il profilo del terreno, intersecando totalmente o anche solo parzialmente l'ammasso rinforzato. In quest'ultimo caso si è considerato che la superficie più critica, ossia con fattore di stabilità minimo, non necessariamente si svilupperà interamente all'interno dell'ammasso rinforzato.

Le analisi sono state condotte utilizzando superfici di rottura circolari.

12.3.1.2 Resistenza a rottura di esercizio dei rinforzi (rete)

La resistenza di esercizio degli elementi di rinforzo (rete) è stata determinata facendo riferimento alla *British Standard 8006:1995 "Code of practice for Strengthened/reinforced soils and fills"*.

In accordo alla BS 8006, la resistenza di progetto T_{progetto} del rinforzo è determinata come segue:

$$T_{\text{progetto}} = T_{\text{rottura}} / f_m$$

I fattori parziali di sicurezza che concorrono al valore di f_m per i rinforzi sono considerati all'interno del software a seconda del tipo di rinforzo e del terreno da armare mediante tali rinforzi. Nel caso in esame f_m è pari a 1.09.

Tabella 9: Resistenza della rete – Terramesh System.

| TERRAMESH SYSTEM (mesh 871.7P – 1.0X1.0) | | Sandy gravel |
|---|------|-----------------|
| Resistenza caratteristica a trazione (UTS) | kN/m | 50 |
| Coefficiente di sicurezza globale - f_m | - | 1.09 |
| Resistenza a trazione di progetto | kN/m | 45.8 |

Tale verifica risulta implicitamente verificata nella risoluzione del modello con il software Macstars.

12.3.1.3 Resistenza allo sfilamento del rinforzo (pull-out)

Il calcolo delle forze ultime di sfilamento viene eseguito con il seguente procedimento, che si basa sulla considerazione che in tutti i punti del rinforzo sia raggiunta la condizione ultima (τ_u).

La forza necessaria per lo sfilamento del rinforzo dal rilevato (F_{po}) è data dalla seguente relazione:

$$F_{po} = 2 \cdot \sigma_v \cdot L \cdot W \cdot \mu \cdot \tan \varphi$$

nella quale:

- σ_v = tensione verticale agente sul rinforzo
- L = lunghezza della zona di ancoraggio
- W = larghezza del rinforzo
- μ = coefficiente di interazione tra materiale del rilevato e rinforzo
- φ = angolo di attrito interno del materiale da rilevato

I valori del coefficiente di interazione μ derivano da prove di laboratorio e variano a seconda del tipo di terreno che compone il rilevato.

Tabella 10: Valori del coefficiente di interazione μ per rinforzi metallici.

| Tipo di interazione | Valore di μ |
|-------------------------------|-----------------|
| Interazione rinforzo-rinforzo | 0.17 |
| Sfilamento rinforzo-ghiaia | 0.90 |
| Sfilamento rinforzo-sabbia | 0.90 |
| Sfilamento rinforzo-limo | 0.70 |
| Sfilamento rinforzo-argilla | 0.40 |

Tabella 11: Valori del coefficiente di interazione μ per rinforzi Paragrid.

| Tipo di interazione | Valore di μ |
|-------------------------------|-----------------|
| Interazione rinforzo-rinforzo | 0.30 |
| Sfilamento rinforzo-ghiaia | 0.90 |
| Sfilamento rinforzo-sabbia | 0.65 |
| Sfilamento rinforzo-limo | 0.50 |
| Sfilamento rinforzo-argilla | 0.30 |

Tale verifica risulta implicitamente verificata nella risoluzione del modello con il software Macstars.

12.3.2 Caratterizzazione geotecnica dei gabbioni

Per i gabbioni si sono assunti i seguenti parametri:

Tabella 12: Parametri geotecnici per il materiale arido da rilevato.

| Unità di rif. | γ [kN/mc] | ϕ' [°] | c' [kPa] |
|---------------|------------------|-------------|------------|
| Gabbioni | 17.5 | 40 | 17 |

12.4 ANALISI DI CAPACITÀ PORTANTE SUPERFICIALE MEDIANTE IL SOFTWARE DI CALCOLO DC-BEARING

Le verifiche di capacità portante sono state sviluppate con il software DC-Bearing della DC Software GmbH 1999-2019, versione 7.02.

La verifica di capacità portante richiede che sia soddisfatta la seguente relazione:

$$q_{Ed} \leq q_{Rd}$$

con:

$$q_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} \text{ e } q_{Rd} = \frac{q_{lim}}{\gamma_R}$$

dove:

q_{Ed} : pressione media sul terreno;

N_{Ed} : carico verticale;

$A_{eff} = B' \cdot L$: l'area effettiva della fondazione (Meyerhof, 1953) in cui B' coincide con B in assenza di eccentricità altrimenti è determinato con la relazione: $B' = B - 2e$

q_{lim} : capacità portante limite del terreno;

γ_R : coefficiente parziale di sicurezza.

Il calcolo della portanza del terreno viene condotto attraverso la formula di Brinch-Hansen:

$$q_{lim} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0.5 \cdot B' \cdot \gamma^* \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

dove:

N_c, N_q, N_γ : fattori di capacità portante;

s_c, s_q, s_γ : fattori correttivi che considerano la forma della fondazione;

i_c, i_q, i_γ : fattori correttivi che considerano l'inclinazione del carico;

b_c, b_q, b_γ : fattori correttivi che considerano l'inclinazione del piano di posa della fondazione;

g_c, g_q, g_γ : fattori correttivi che considerano l'inclinazione del piano campagna;

d_c, d_q, d_γ : fattori che tengono conto dell'approfondimento del piano di posa della fondazione.

c' : coesione del terreno costituente il piano di posa della fondazione;

q : carico latitante la fondazione;

γ^* : è il peso specifico del terreno di fondazione, tenendo conto che il cinematismo di collasso può svilupparsi in parte al di sotto del livello di falda:

$$\gamma^* = \frac{\gamma \cdot h_w + \gamma' \cdot (B - h_w)}{B}$$

I coefficienti usati dal software di calcolo DC-Bearing della DC Software GmbH 1999-2019 sono riportati di seguito.

FATTORI DI CAPACITÀ PORTANTE

| | | |
|--|---|---|
| $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot(\varphi')$ | $N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\varphi'}{2}\right) \cdot e^{\pi \cdot \tan(\varphi')}$ | $N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\varphi')$ |
|--|---|---|

FATTORI DI FORMA (PER FONDAZIONI RETTANGOLARI)

| | | |
|---|---|--|
| $s_c = \frac{s_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}$ | $s_q = 1 + \frac{B}{L} \cdot \sin \varphi'$ | $s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B}{L}$ |
|---|---|--|

FATTORI DI INCLINAZIONE

| | | |
|---|--|---|
| $i_c = i_q - \frac{(1 - i_q)}{(N_c \cdot \tan(\varphi'))}$ | $i_q = \left[1 - \frac{H}{(V + A_{eff} \cdot c' \cdot \cot(\varphi'))}\right]^m$ | $i_\gamma = \left[1 - \frac{H}{(V + A_{eff} \cdot c' \cdot \cot(\varphi'))}\right]^{m+1}$ |
| $m = m_b = \frac{[2+(B'/L)]}{[1+(B'/L)]}$ (H in direzione di B) | $m = m_a = \frac{[2+(L/B')]}{[1+(L/B')]}$ (H in direzione di L) | |

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL PIANO CAMPAGNA

| | | |
|--|---------------------------------|--|
| $g_c = \frac{N_q \cdot e^{-0.0349 \cdot \beta \cdot \tan \varphi} - 1}{N_q - 1}$ | $g_q = (1 - \tan(\beta))^{1.9}$ | $g_\gamma = (1 - 0.5 \cdot \tan(\beta))^6$ |
|--|---------------------------------|--|

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL PIANO DI POSA

| | | |
|--|--|--|
| $b_c = b_q = b_\gamma = e^{-0.045 \cdot \alpha \cdot \tan \varphi'}$ | $b_c = b_q = b_\gamma = e^{-0.045 \cdot \alpha \cdot \tan \varphi'}$ | $b_c = b_q = b_\gamma = e^{-0.045 \cdot \alpha \cdot \tan \varphi'}$ |
|--|--|--|

FATTORI DI APPROFONDIMENTO

| | | |
|--|--|----------------|
| $d_c = 1 + 0.1 \cdot \sqrt{\frac{D}{B} \cdot \sin(2 \cdot \varphi')}$ | $d_q = 1 + 0.1 \cdot \sqrt{\frac{D}{B}}$ | $d_\gamma = 1$ |
| Il software trascura il contributo di tali coefficienti in accordo con l'Eurocodice 7. | | |

Il programma fornisce l'indice di sicurezza ovvero l'inverso del fattore di sicurezza ODF ("over-design factor"):

$$IS = \frac{1}{ODF} = \frac{E_d}{R_d},$$

per cui dovrà risultare:

$$IS = \frac{1}{ODF} = \frac{E_d}{R_d} = \frac{\gamma_F \cdot E_k}{\frac{R_k}{\gamma_R}} = \frac{E_k}{R_k} \cdot \gamma_F \cdot \gamma_R = \frac{1}{FS} \gamma_F \cdot \gamma_R \leq 1$$

13 TRATTO TERRAMESH - SEZIONE 3B

13.1 MODELLO DI CALCOLO MACSTAR W

In Figura 23 si riporta il modello di calcolo implementato nel software MacStar W. La stratigrafia, i parametri geotecnici e il livello piezometrico sono in accordo con quanto riportato al Paragrafo 9.3

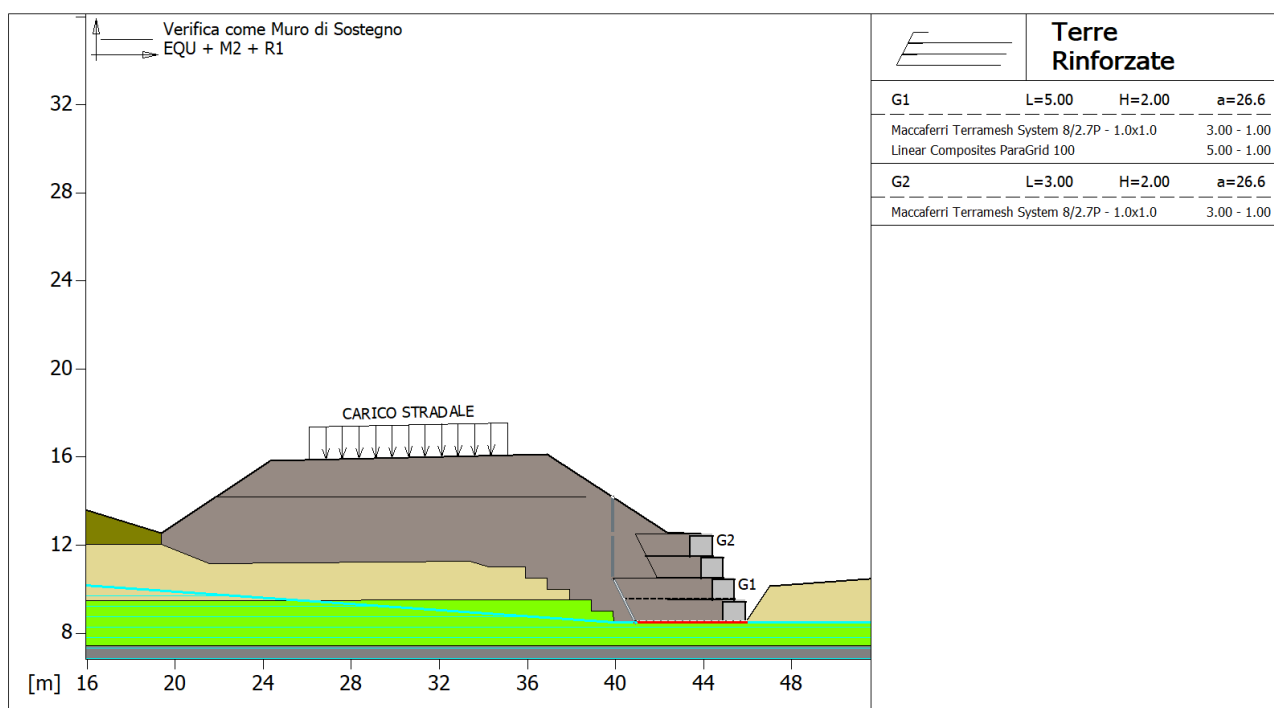


Figura 23: Sezione 3B - Modello di calcolo MacStar.

13.2 VERIFICHE GEOTECNICHE MURO IN TERRA-MESH

In accordo con quanto riportato al §11.3.2, si riportano le verifiche di capacità portante, scorrimento e ribaltamento condotte per la condizione statica e la condizione sismica.

In particolare, nella seguente tabella si riassumono i coefficienti di sicurezza ottenuti dal software in particolare si riporta:

- il coefficiente di sicurezza fornito dal software MacStar ($FS_{MacStar}$);
- il coefficiente di sicurezza esplicitato $FS = FS_{MacStar} \cdot \gamma_R$ (γ_R da NTC2018, vedasi §11.3.2e al §11.3.3).

In Figura 24, in Figura 25 e Figura 26 si riportano le immagini di output del software MacStar W rispettivamente per la condizione statica e per la condizione sismica.

Tabella 13: Sezione 3B -Verifiche geotecniche muro terra-mesh.

| Tipo di verifica | Condizione | FS MacStar | FS esplicitato | | FS da NTC |
|-------------------|------------|------------|----------------|---|-----------|
| Capacità portante | Statica | 5.982 | 8.37 | > | 1.4 |
| | Sismica+ | 5.625 | 6.75 | > | 1.2 |
| | Sismica- | 5.417 | 6.50 | > | 1.2 |
| Scorrimento | Statica | 2.699 | 2.97 | > | 1.1 |
| | Sismica+ | 2.013 | 2.01 | > | 1.0 |
| | Sismica- | 2.047 | 2.05 | > | 1.0 |
| Ribaltamento | Statica | 5.404 | 6.21 | > | 1.15 |
| | Sismica+ | 3.625 | 3.63 | > | 1.0 |
| | Sismica- | 4.384 | 4.38 | > | 1.0 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

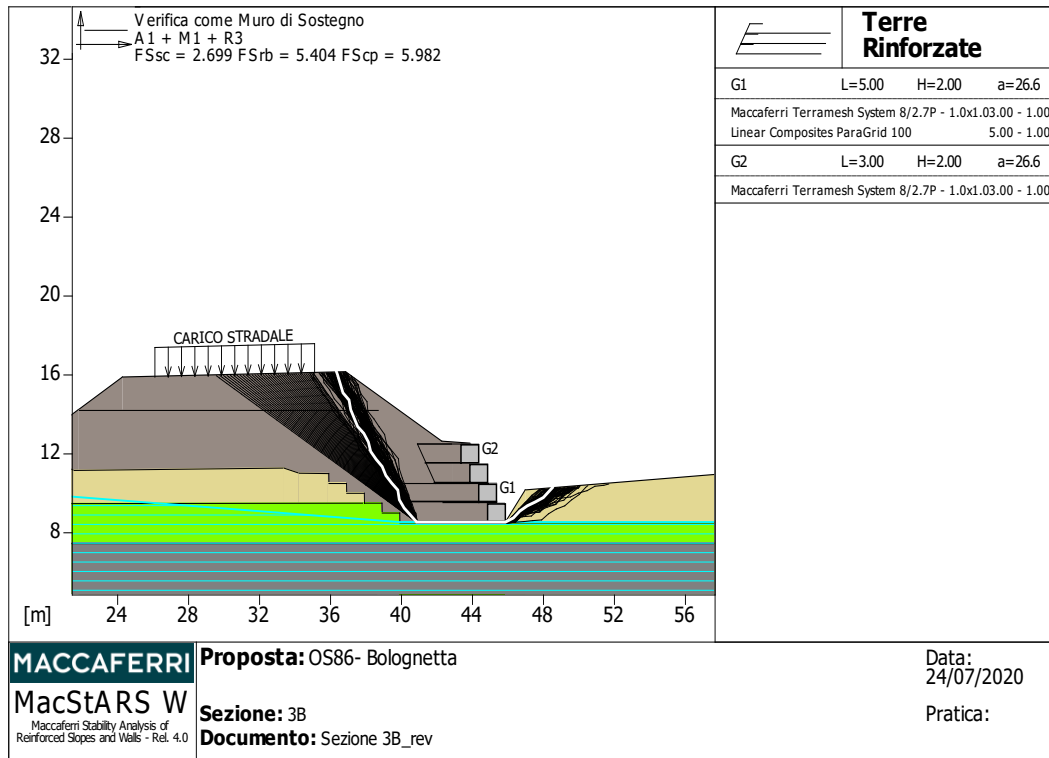


Figura 24: Verifiche geotecniche muro terra-mesh – condizione statica.

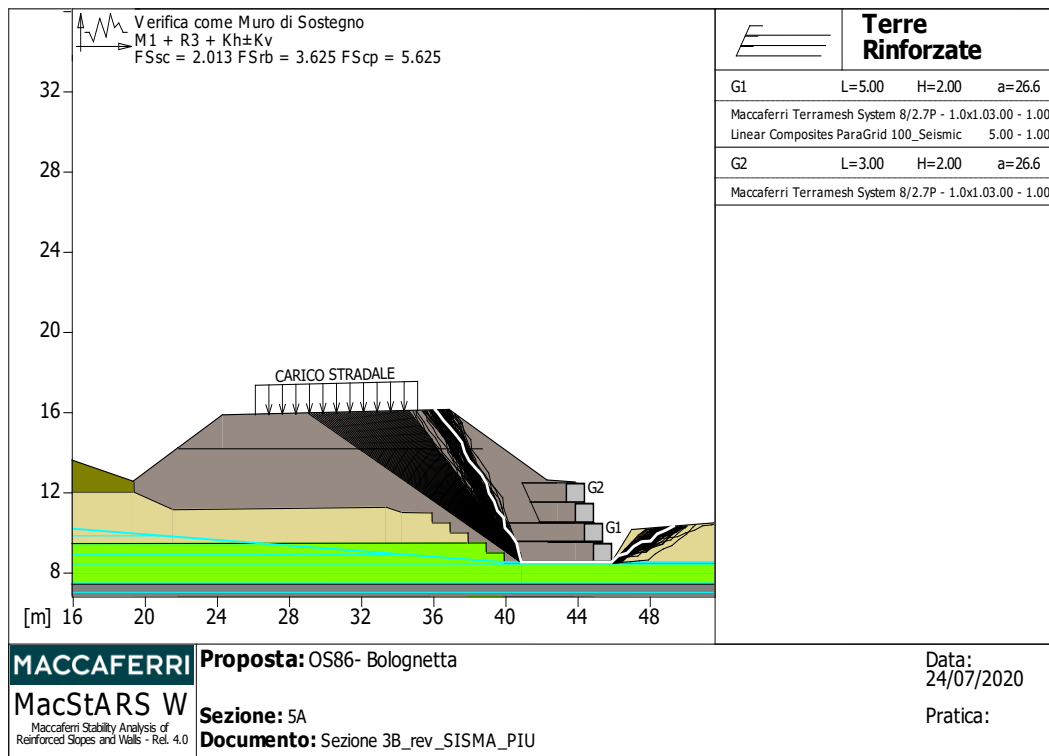


Figura 25: Verifiche geotecniche muro terra-mesh – condizione sismica +.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

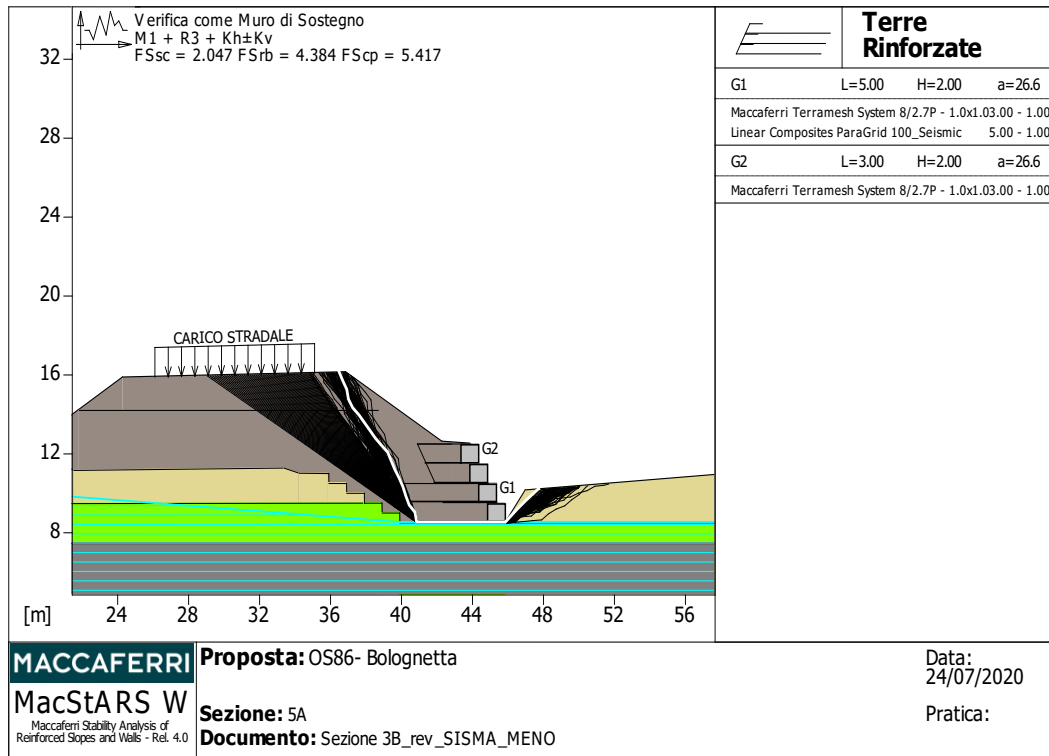


Figura 26: Verifiche geotecniche muro terra-mesh – condizione sismica - .

13.3 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE MURO IN TERRA-MESH

In accordo con quanto riportato al §11.3.3, si riportano le verifiche di stabilità globale condotte per la condizione statica e la condizione sismica.

In analogia a quanto fatto per le verifiche geotecniche (§13.2), si riportano nella seguente tabella i coefficienti di sicurezza ottenuti in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

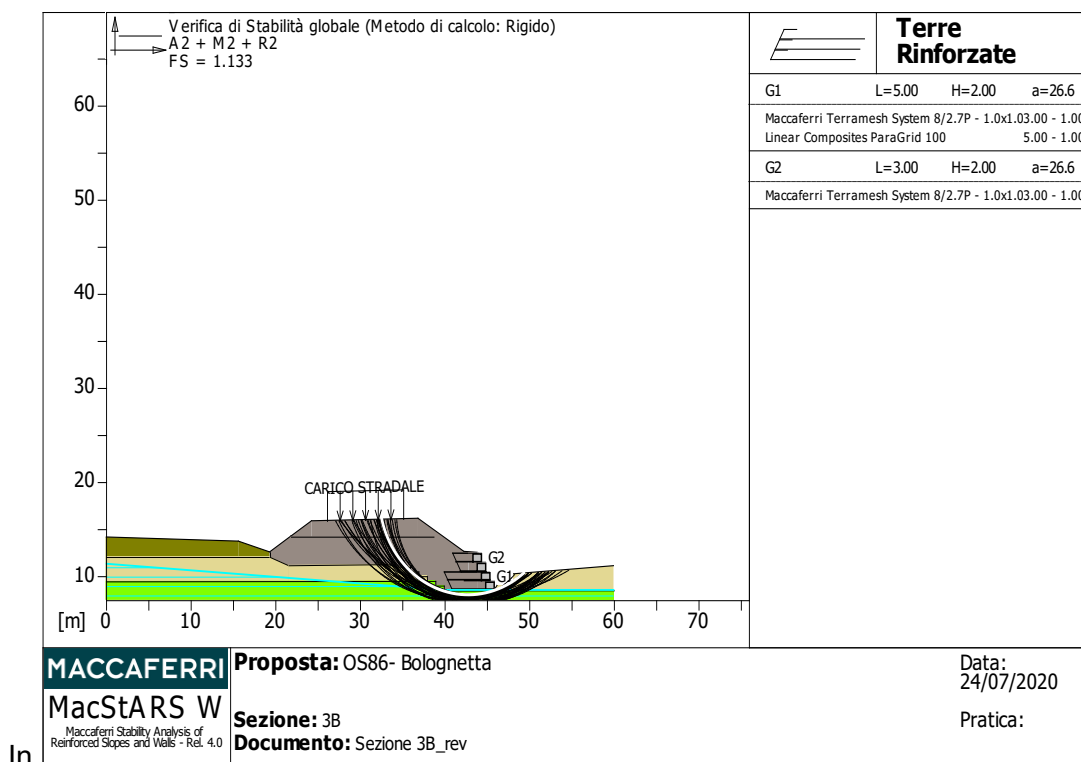


Figura 27, in Figura 28 e in Figura 29 si riportano le immagini di output del software MacStar W rispettivamente per la condizione statica e per la condizione sismica.

Tabella 14: Sezione 3B -Verifiche stabilità globale muro terra-mesh.

| Tipo di verifica | Condizione | FS MacStar | FS esplicitato | | FS da NTC |
|-------------------|------------|------------|----------------|---|-----------|
| Stabilità globale | Statica | 1.133 | 1.25 | > | 1.1 |
| | Sismica+ | 1.168 | 1.40 | > | 1.2 |
| | Sismica- | 1.172 | 1.41 | > | 1.2 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

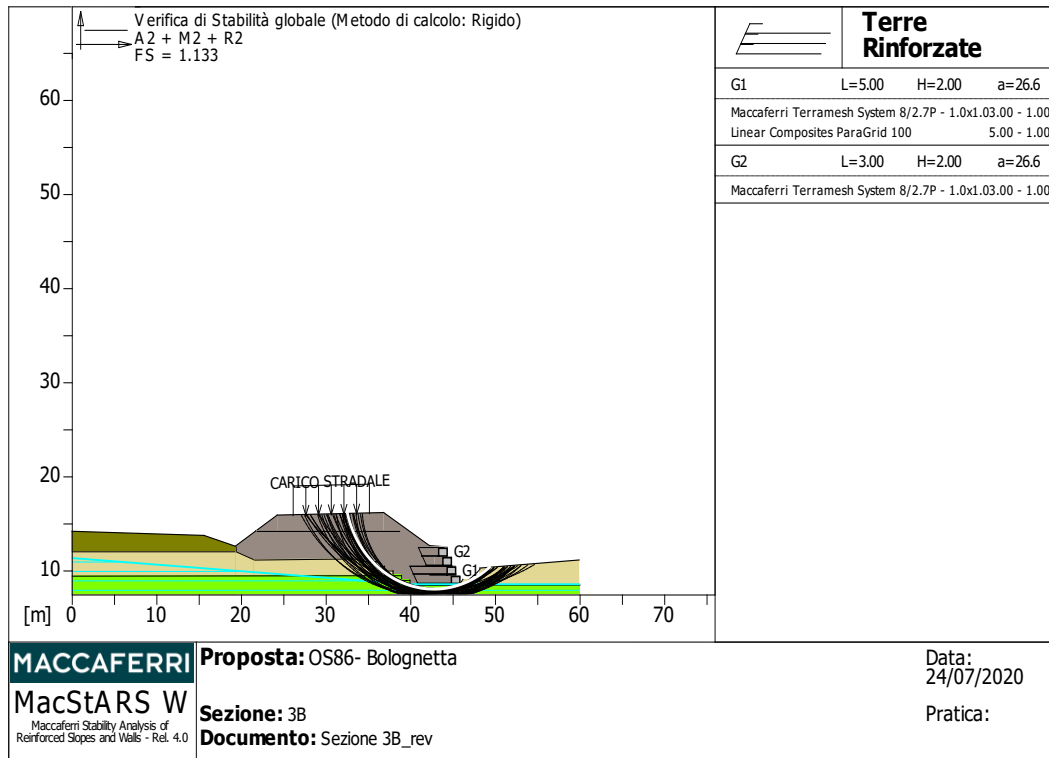


Figura 27: Verifiche stabilità globale muro terra-mesh – condizione statica.

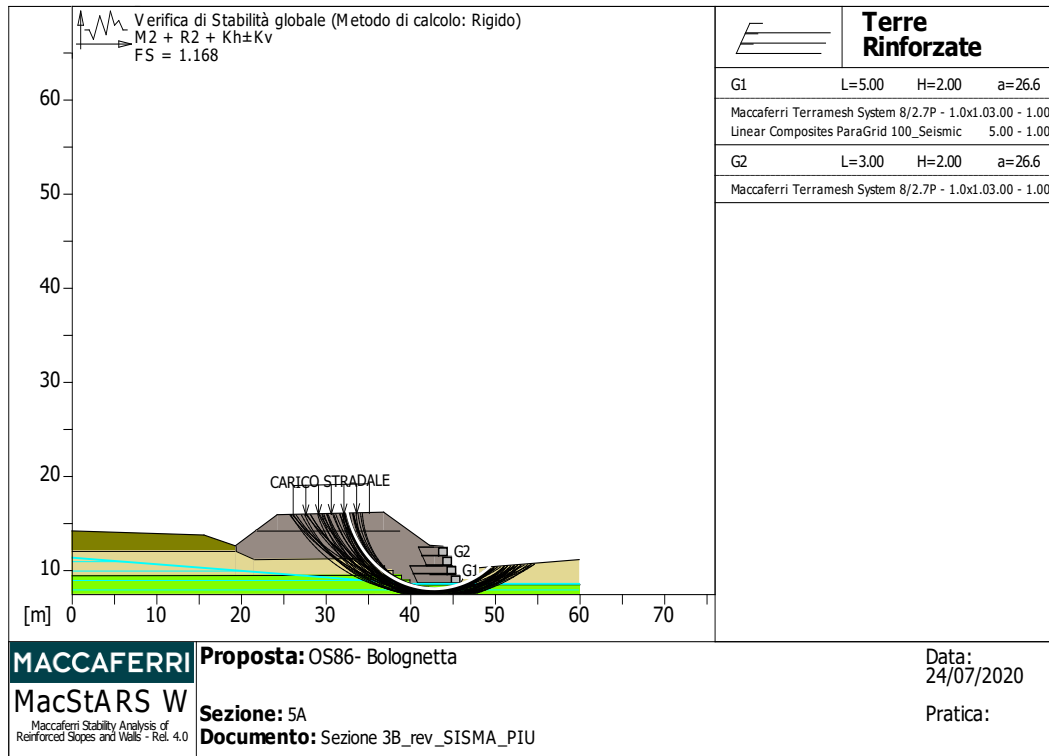


Figura 28: Verifiche stabilità globale muro terra-mesh – condizione sismica +.

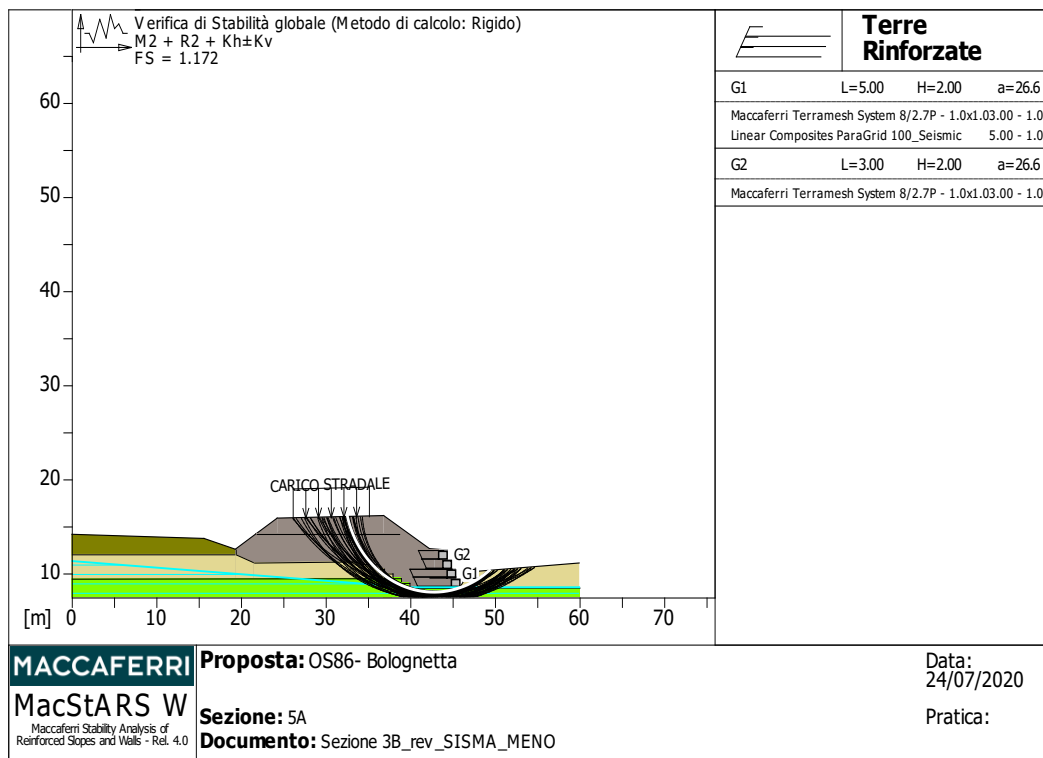


Figura 29: Verifiche stabilità globale muro terra-mesh – condizione sismica -.

13.4 VERIFICHE STRUTTURALI MURO IN TERRA-MESH (STABILITÀ INTERNA)

In accordo con quanto riportato al §11.3.2, si riportano le verifiche di stabilità interna per il dimensionamento strutturale della rete di rinforzo.

In analogia a quanto fatto per le verifiche geotecniche (§13.2), si riportano nella seguente tabella i coefficienti di sicurezza ottenuti in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

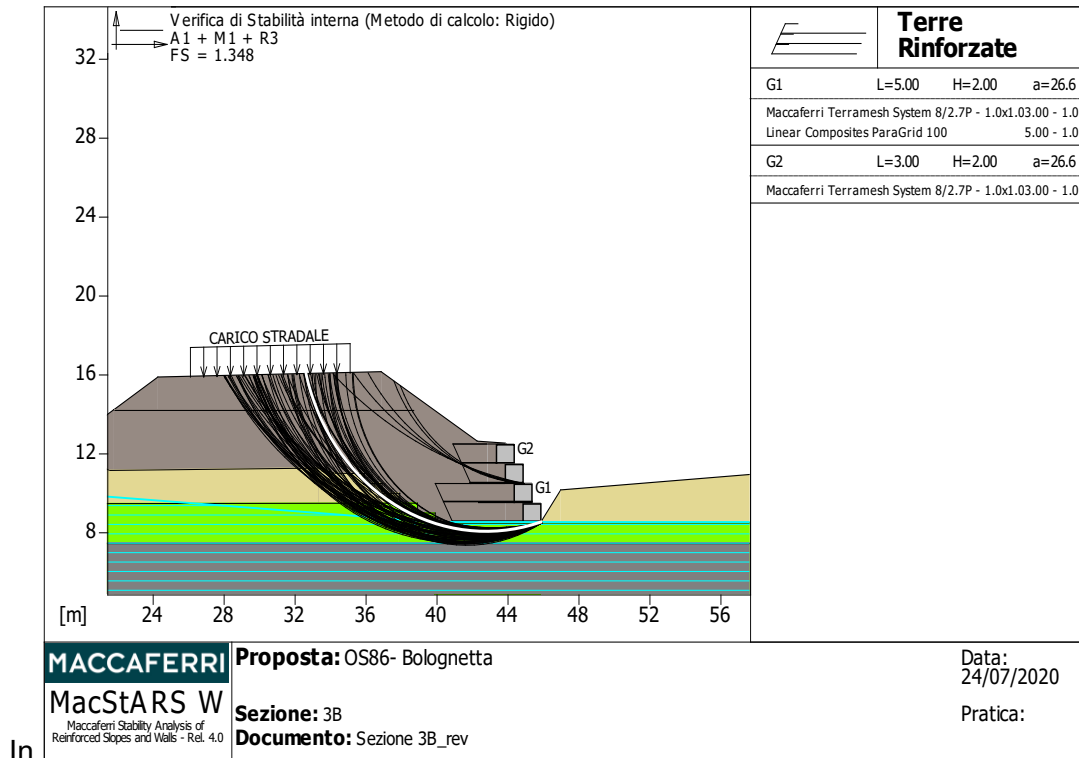
Tabella 15: Sezione 3B -Verifiche stabilità interna muro terra-mesh.

| Tipo di verifica | Condizione | FS MacStar | FS esplicitato | | FS |
|-------------------|------------|------------|----------------|---|-----|
| Stabilità interna | Statica | 1.348 | 1.35 | > | 1.0 |
| | Sismica+ | 1.044 | 1.04 | > | 1.0 |
| | Sismica- | 1.048 | 1.05 | > | 1.0 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo



In Figura 30, Figura 31 e in Figura 32 si riportano le immagini di output del software MacStar W rispettivamente per la condizione statica e per la condizione sismica.

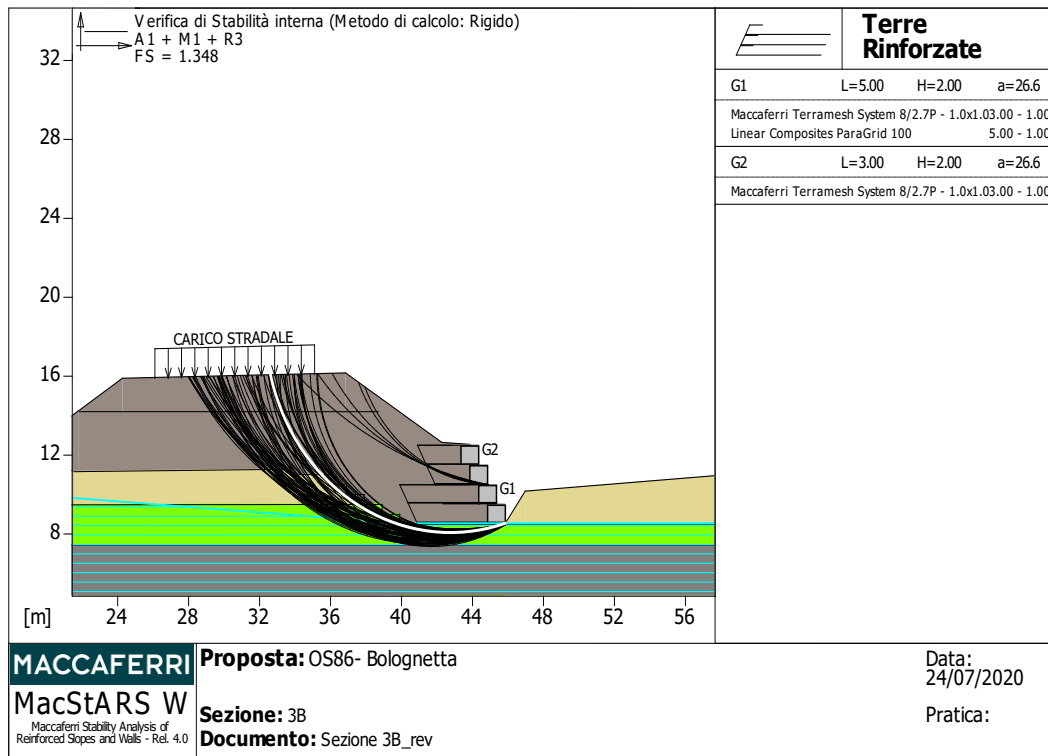


Figura 30: Verifiche strutturali muro terra-mesh – condizione statica.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

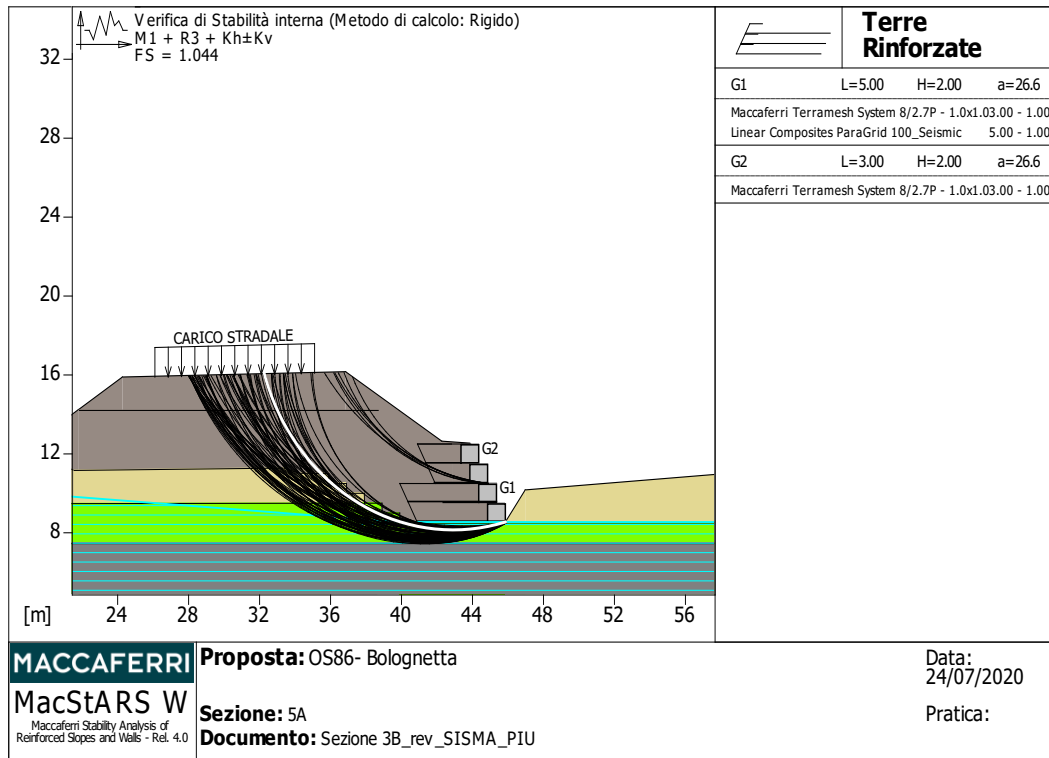


Figura 31: Verifiche strutturali muro terra-mesh – condizione sismica +.

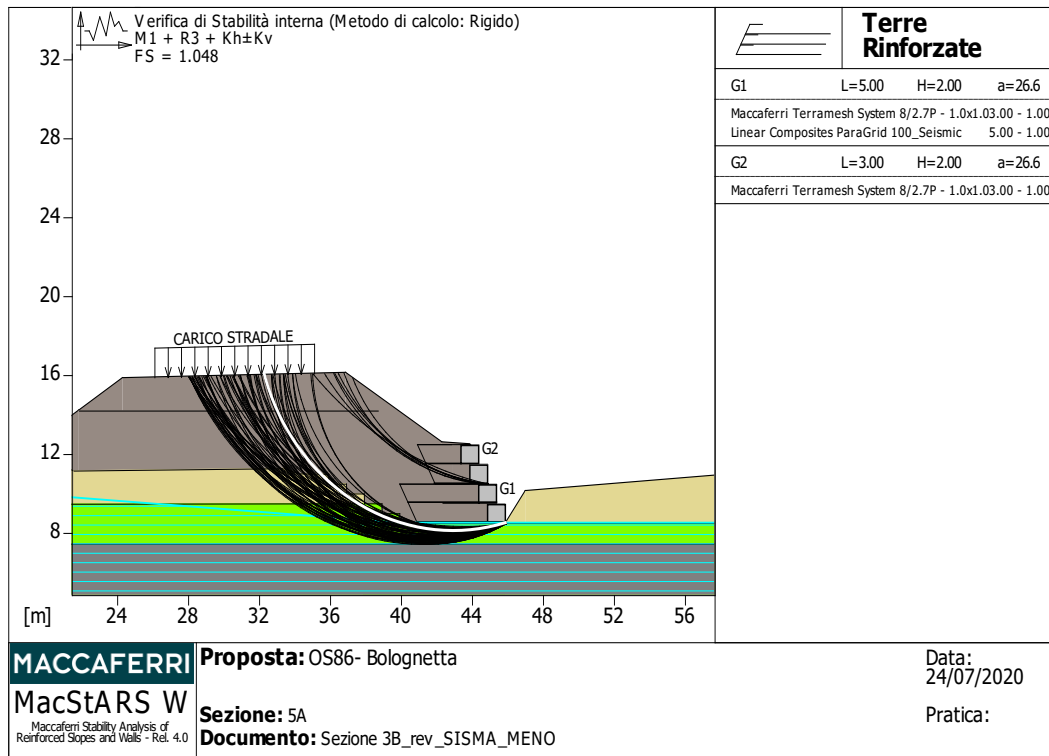


Figura 32: Verifiche strutturali muro terra-mesh – condizione sismica -.

14 TRATTO TERRAMESH - SEZIONE 4A

14.1 MODELLO DI CALCOLO MACSTAR W

In Figura 33 si riporta il modello di calcolo implementato nel software MacStar W. La stratigrafia, i parametri geotecnici e il livello piezometrico sono in accordo con quanto riportato al Paragrafo 9.3

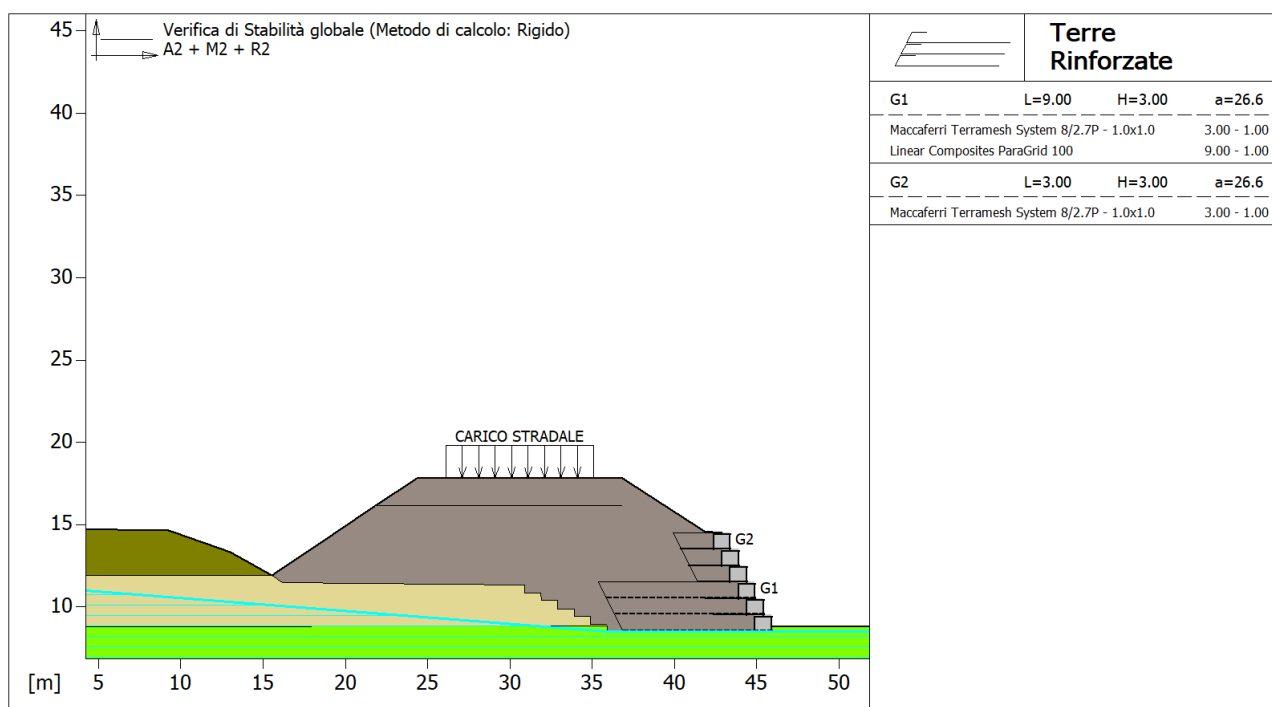


Figura 33: Sezione 4A - Modello di calcolo MacStar.

14.2 VERIFICHE GEOTECNICHE MURO IN TERRA-MESH

In accordo con quanto riportato al §11.3.2, si riportano le verifiche di capacità portante, scorrimento e ribaltamento condotte per la condizione statica e la condizione sismica.

In particolare, nella seguente tabella si riassumono i coefficienti di sicurezza ottenuti dal software in particolare si riporta:

- il coefficiente di sicurezza fornito dal software MacStar ($FS_{MacStar}$);
- il coefficiente di sicurezza esplicitato $FS = FS_{MacStar} \cdot \gamma_R$ (γ_R da NTC2018, vedasi §11.3.2e al §11.3.3).

In Figura 34, in Figura 35 e in Figura 36 si riportano le immagini di output del software MacStar W rispettivamente per la condizione statica e per la condizione sismica.

Tabella 16: Sezione 4A -Verifiche geotecniche muro terra-mesh.

| Tipo di verifica | Condizione | FS MacStar | FS esplicitato | | FS da NTC |
|-------------------|------------|------------|----------------|---|-----------|
| Capacità portante | Statica | 2.813 | 3.94 | > | 1.4 |
| | Sismica+ | 2.604 | 3.12 | > | 1.2 |
| | Sismica- | 2.526 | 3.03 | > | 1.2 |
| Scorrimento | Statica | 3.243 | 3.57 | > | 1.1 |
| | Sismica+ | 2.239 | 2.24 | > | 1.0 |
| | Sismica- | 2.301 | 2.30 | > | 1.0 |
| Ribaltamento | Statica | 9.693 | 11.15 | > | 1.15 |
| | Sismica+ | 6.142 | 6.14 | > | 1.0 |
| | Sismica- | 9.065 | 9.07 | > | 1.0 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

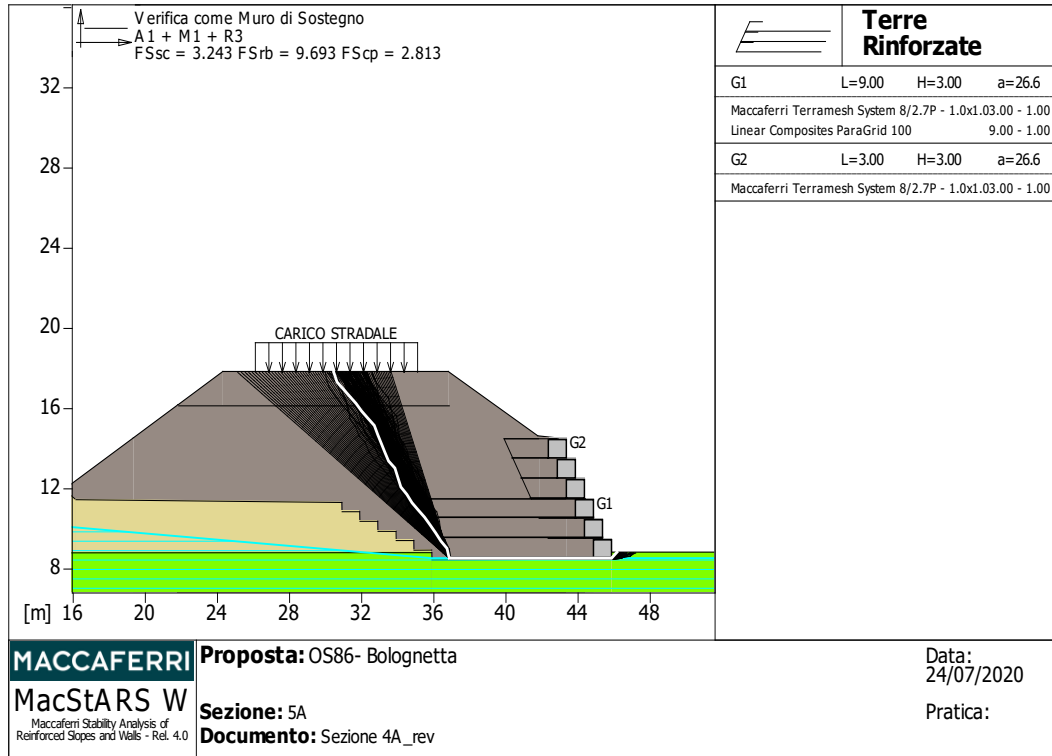


Figura 34: Verifiche geotecniche muro terra-mesh – condizione statica.

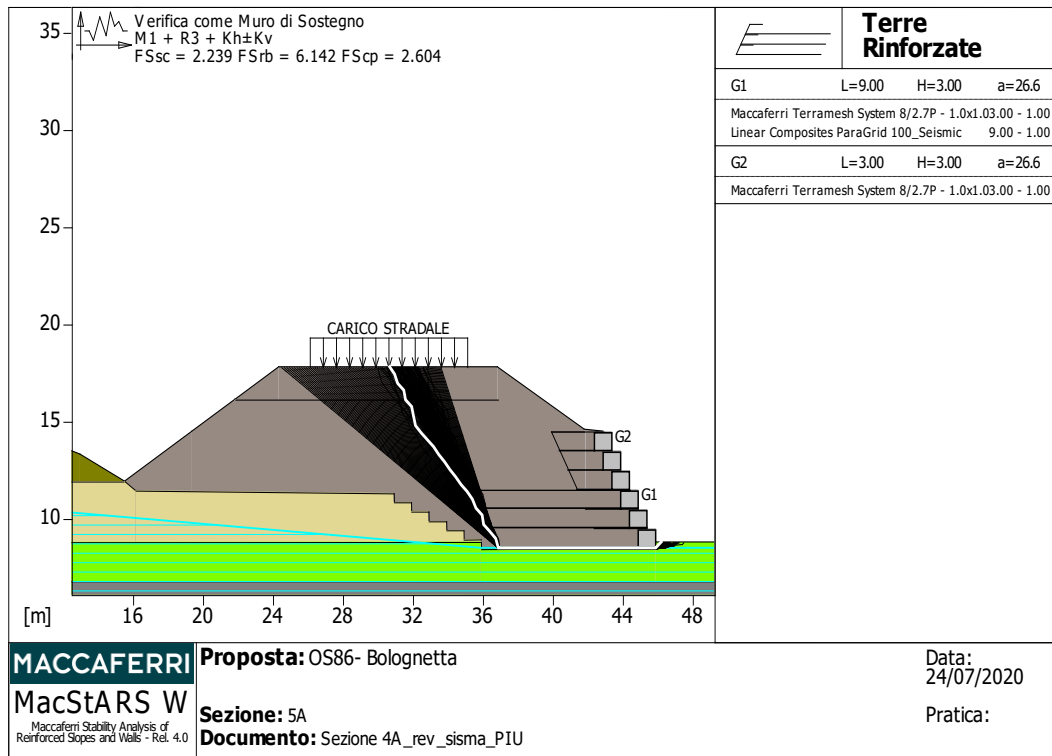


Figura 35: Verifiche geotecniche muro terra-mesh – condizione sismica +.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

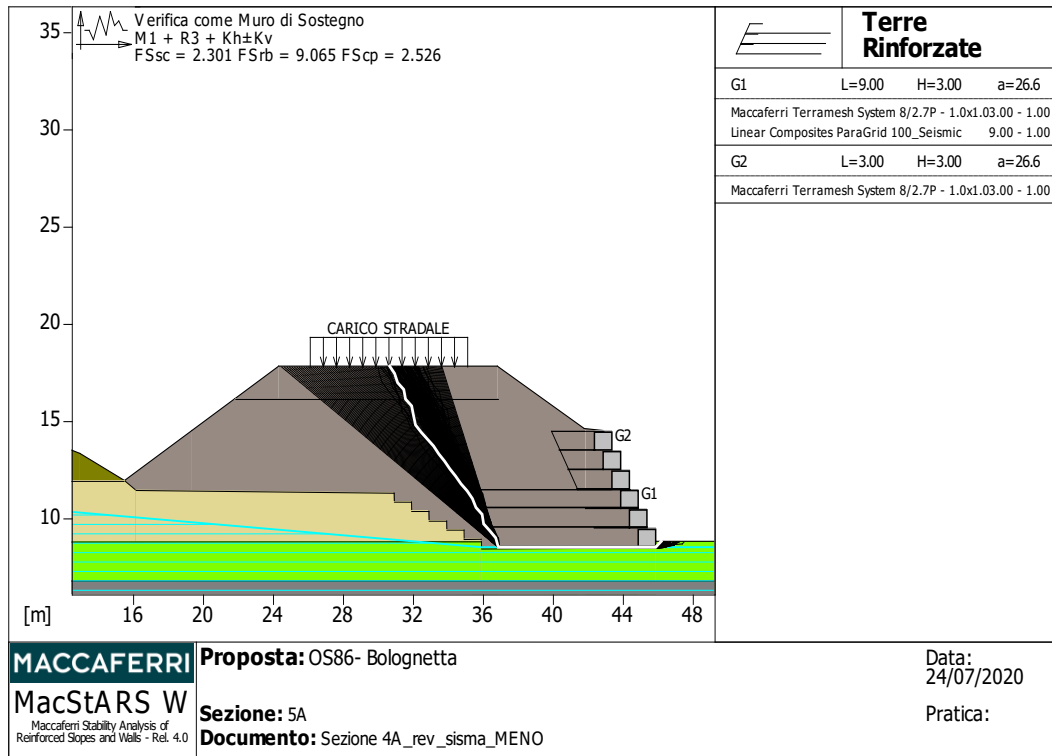


Figura 36: Verifiche geotecniche muro terra-mesh – condizione sismica - .

14.3 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE MURO IN TERRA-MESH

In accordo con quanto riportato al §11.3.3, si riportano le verifiche di stabilità globale condotte per la condizione statica e la condizione sismica.

In analogia a quanto fatto per le verifiche geotecniche (§13.2), si riportano nella seguente tabella i coefficienti di sicurezza ottenuti in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

In Figura 37 , in Figura 38 e in Figura 39 si riportano le immagini di output del software MacStar W rispettivamente per la condizione statica e per la condizione sismica.

Tabella 17: Sezione 4A -Verifiche stabilità globale muro terra-mesh.

| Tipo di verifica | Condizione | FS MacStar | FS esplicitato | | FS da NTC |
|-------------------|------------|------------|----------------|---|-----------|
| Stabilità globale | Statica | 1.079 | 1.19 | > | 1.1 |
| | Sismica+ | 1.102 | 1.32 | > | 1.2 |
| | Sismica- | 1.110 | 1.33 | > | 1.2 |

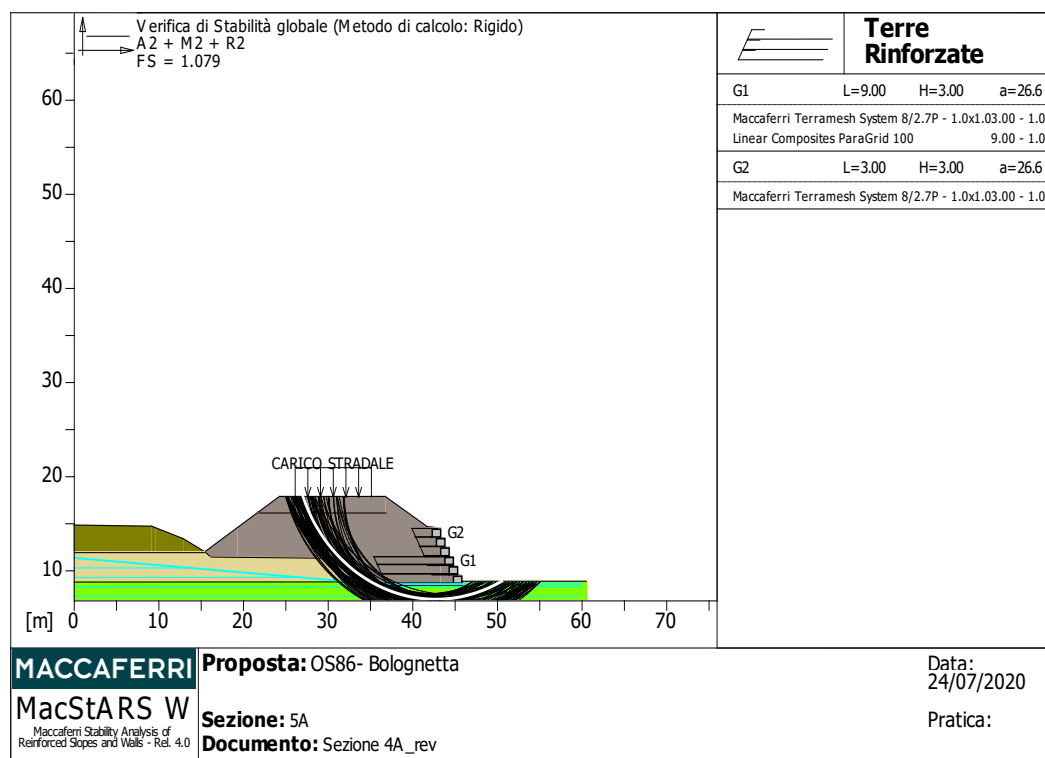


Figura 37: Verifiche stabilità globale muro terra-mesh – condizione statica.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

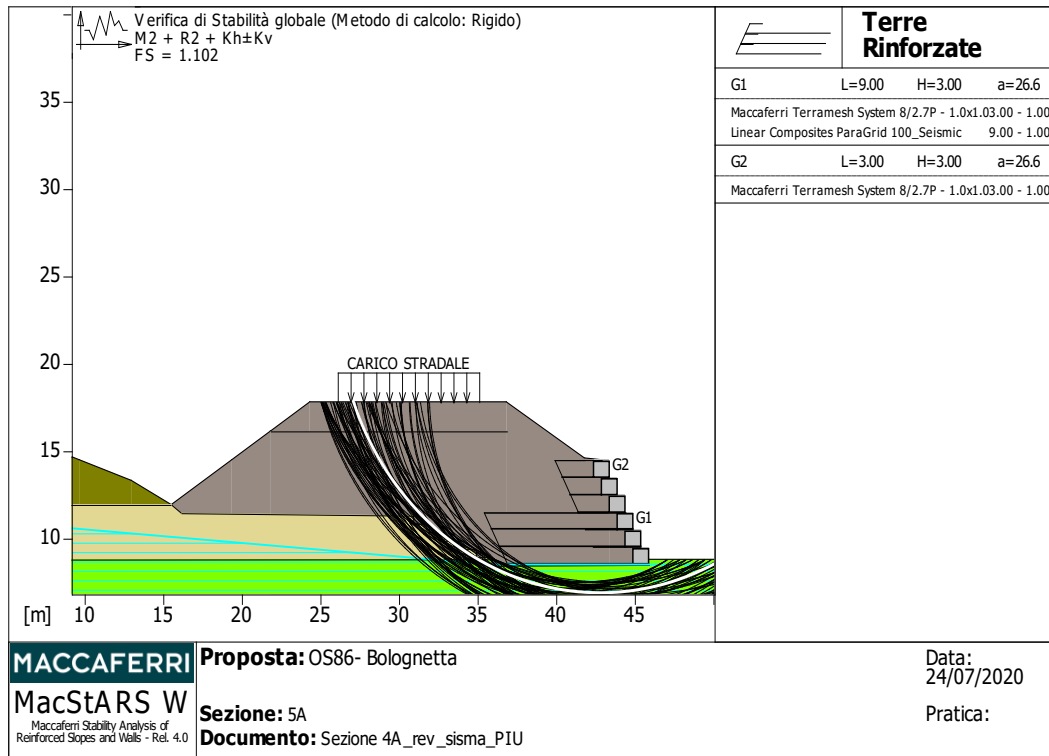


Figura 38: Verifiche stabilità globale muro terra-mesh – condizione sismica +.

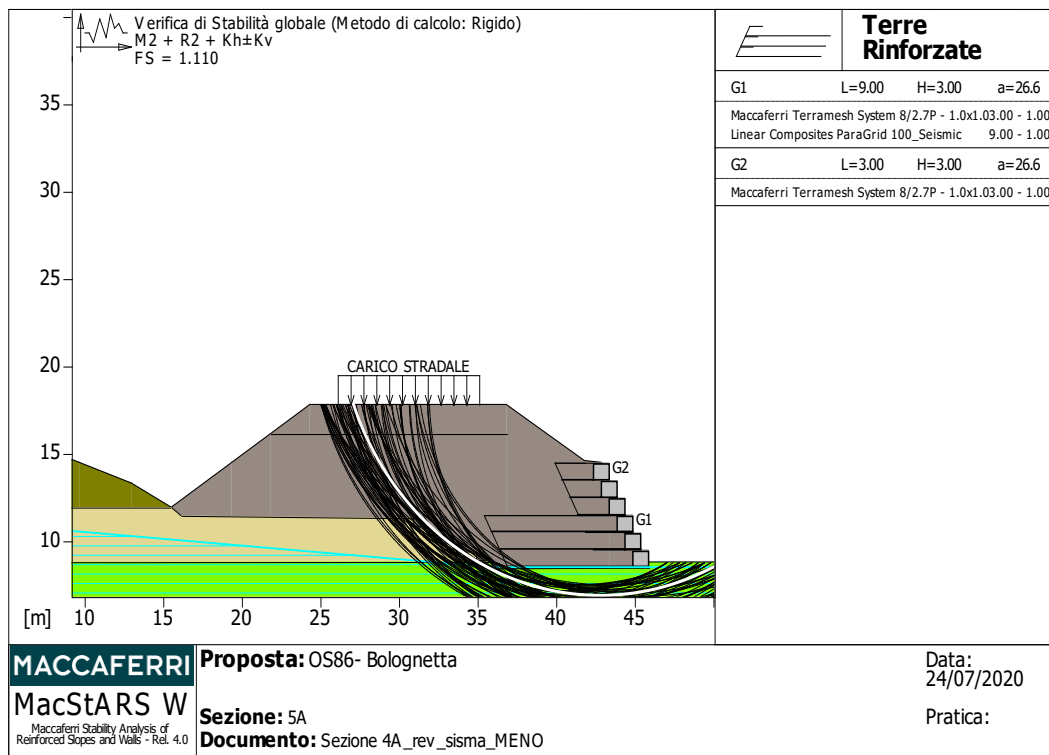


Figura 39: Verifiche stabilità globale muro terra-mesh – condizione sismica -.

14.4 VERIFICHE STRUTTURALI MURO IN TERRA-MESH (STABILITÀ INTERNA)

In accordo con quanto riportato al §11.3.2, si riportano le verifiche di stabilità interna per il dimensionamento strutturale della rete di rinforzo.

In analogia a quanto fatto per le verifiche geotecniche (§13.2), si riportano nella seguente tabella i coefficienti di sicurezza ottenuti in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

Tabella 18: Sezione 4A -Verifiche stabilità interna muro terra-mesh.

| Tipo di verifica | Condizione | FS MacStar | FS esplicitato | | FS |
|-------------------|------------|------------|----------------|---|-----|
| Stabilità interna | Statica | 1.388 | 1.39 | > | 1.0 |
| | Sismica+ | 1.080 | 1.08 | > | 1.0 |
| | Sismica- | 1.083 | 1.08 | > | 1.0 |

In Figura 40, in Figura 41 e in Figura 42 si riportano le immagini di output del software MacStar W rispettivamente per la condizione statica e per la condizione sismica.

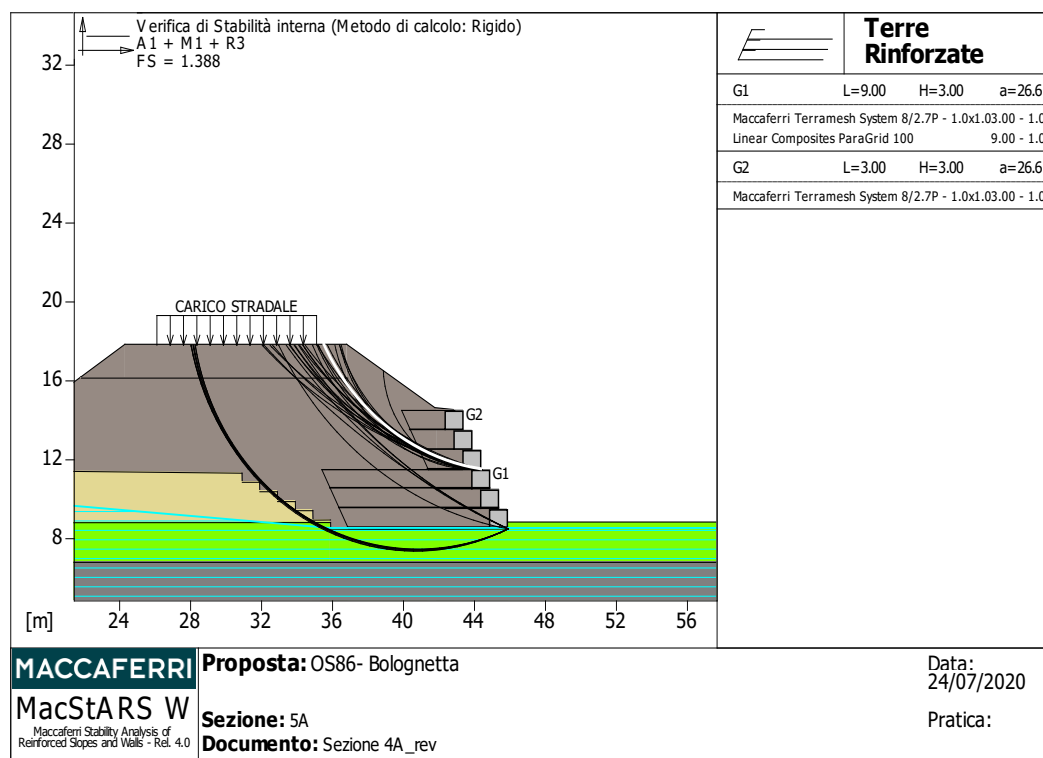


Figura 40: Verifiche strutturali muro terra-mesh – condizione statica.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

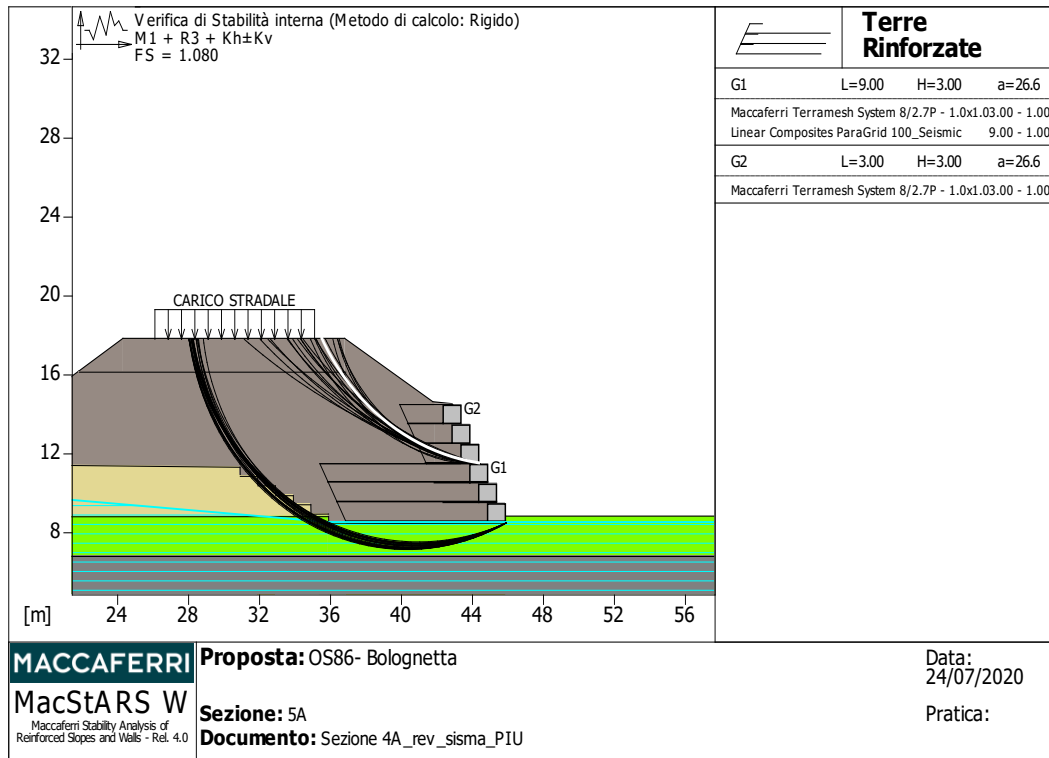


Figura 41: Verifiche strutturali muro terra-mesh – condizione sismica +.

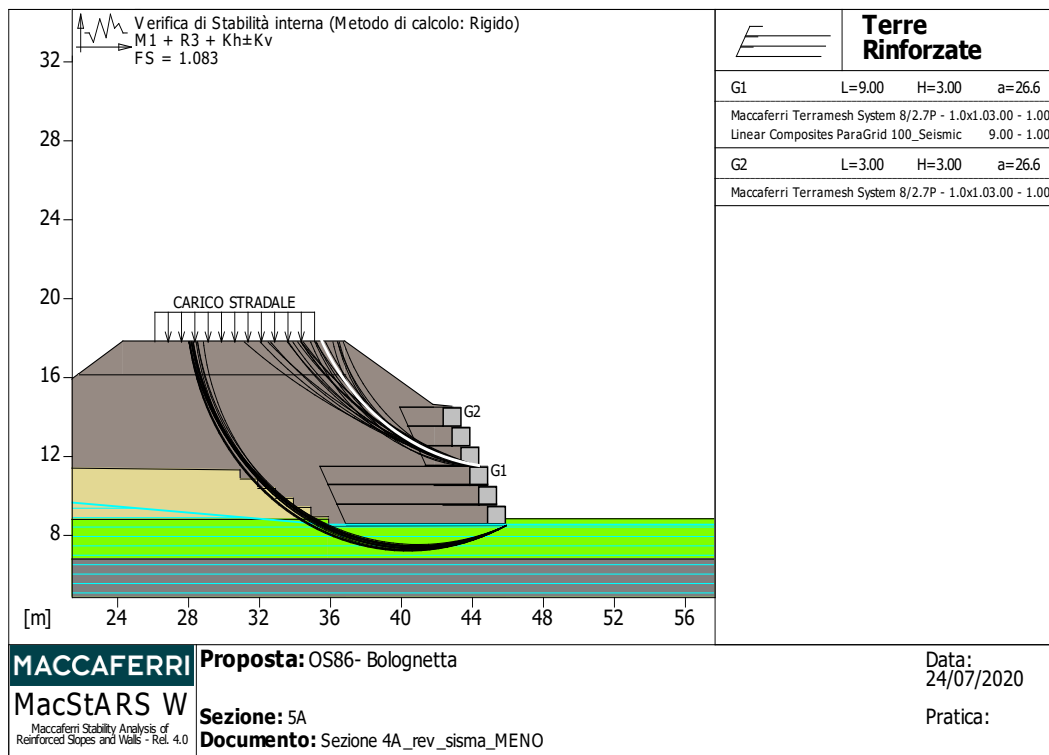


Figura 42: Verifiche strutturali muro terra-mesh – condizione sismica -.

15 TRATTO TERRAMESH - SEZIONE 5A

15.1 MODELLO DI CALCOLO MACSTAR W

In Figura 43 si riporta il modello di calcolo implementato nel software MacStar W. La stratigrafia, i parametri geotecnici e il livello piezometrico sono in accordo con quanto riportato al Paragrafo 9.3

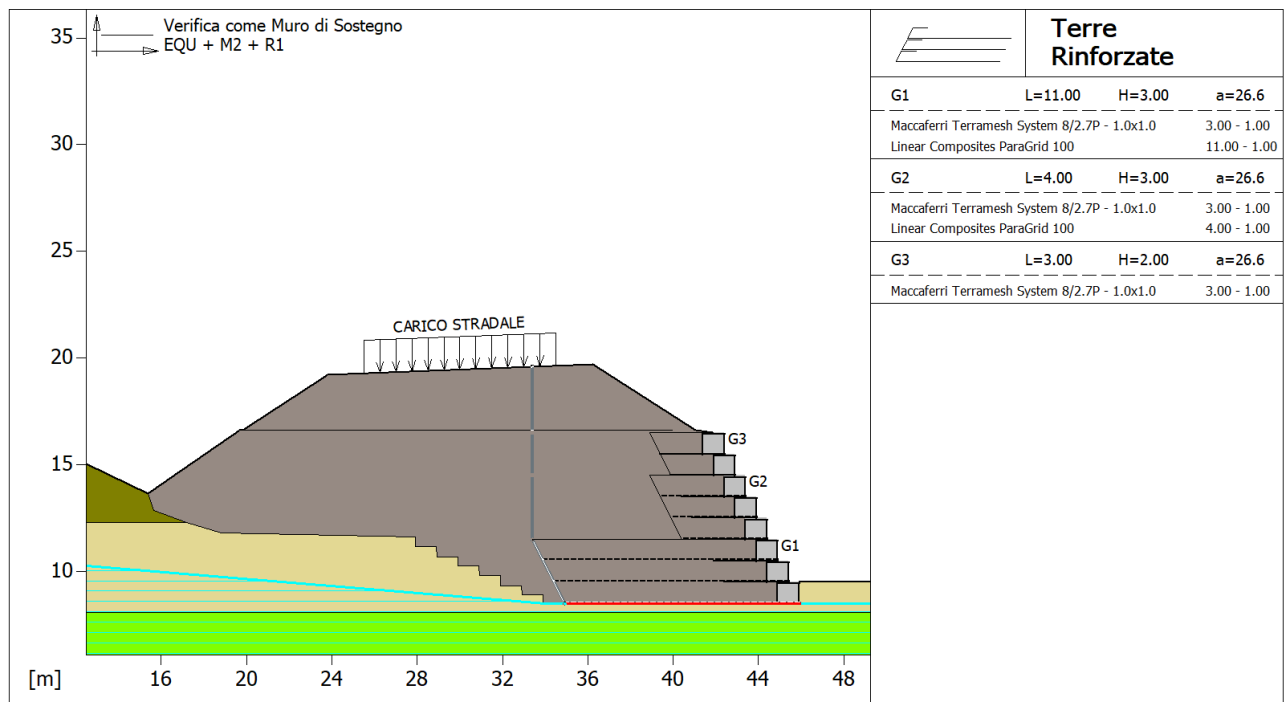


Figura 43: Sezione 5A - Modello di calcolo MacStar.

15.2 VERIFICHE GEOTECNICHE MURO IN TERRA-MESH

In accordo con quanto riportato al §11.3.2, si riportano le verifiche di capacità portante, scorrimento e ribaltamento condotte per la condizione statica e la condizione sismica.

In particolare, nella seguente tabelle si riassumono i coefficienti di sicurezza ottenuti dal software in particolare si riporta:

- il coefficiente di sicurezza fornito dal software MacStar ($FS_{MacStar}$);
- il coefficiente di sicurezza esplicitato $FS=FS_{MacStar} \cdot \gamma_R$ (γ_R da NTC2018, vedasi §11.3.2e al §11.3.3).

In Figura 44, in Figura 45 e in Figura 46 si riportano le immagini di output del software MacStar W rispettivamente per la condizione statica e per la condizione sismica.

Tabella 19: Sezione 5A -Verifiche geotecniche muro terra-mesh.

| Tipo di verifica | Condizione | FS MacStar | FS esplicitato | | FS da NTC |
|-------------------|------------|------------|----------------|---|-----------|
| Capacità portante | Statica | 3.125 | 4.38 | > | 1.4 |
| | Sismica+ | 2.969 | 3.56 | > | 1.2 |
| | Sismica- | 2.865 | 3.44 | > | 1.2 |
| Scorrimento | Statica | 4.654 | 5.12 | > | 1.1 |
| | Sismica+ | 3.138 | 3.14 | > | 1.0 |
| | Sismica- | 3.225 | 3.23 | > | 1.0 |
| Ribaltamento | Statica | 11.093 | 12.76 | > | 1.15 |
| | Sismica+ | 6.725 | 6.73 | > | 1.0 |
| | Sismica- | 10.335 | 10.34 | > | 1.0 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

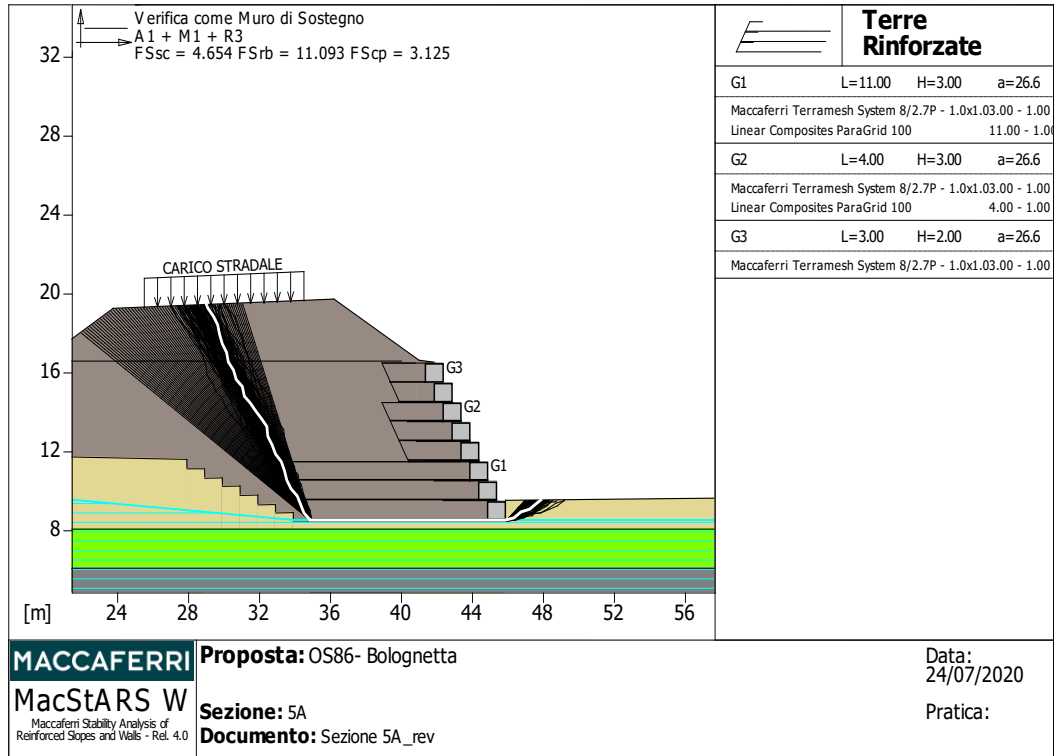


Figura 44: Verifiche geotecniche muro terra-mesh – condizione statica.

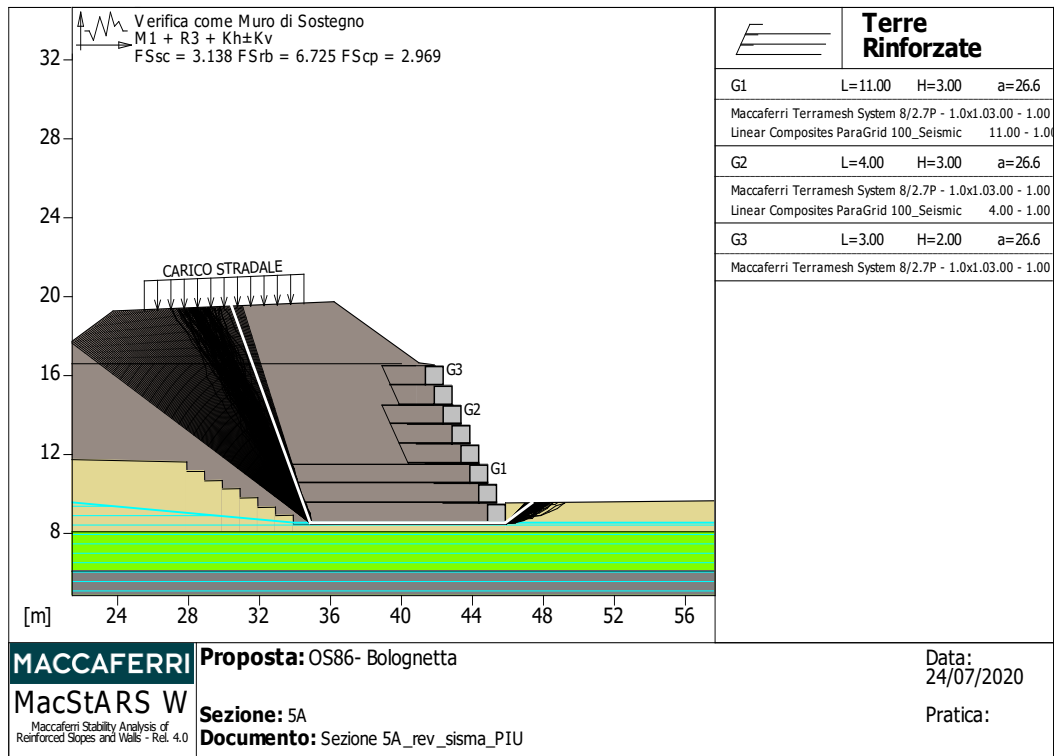


Figura 45: Verifiche geotecniche muro terra-mesh – condizione sismica +.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

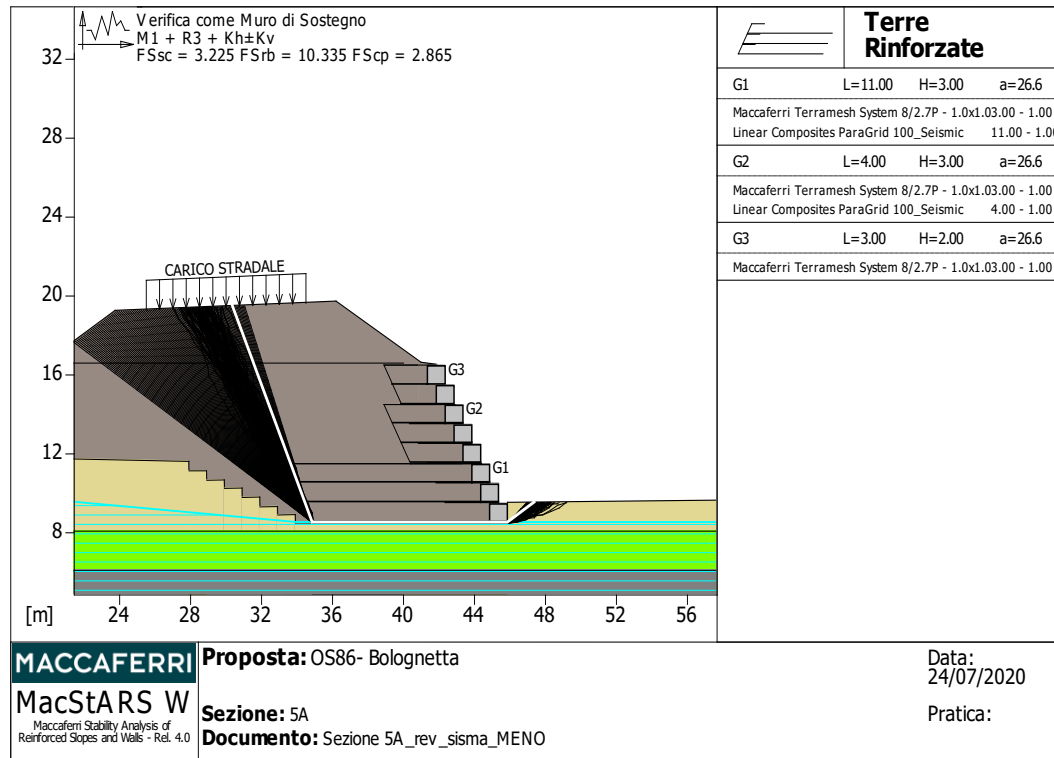


Figura 46: Verifiche geotecniche muro terra-mesh – condizione sismica - .

15.3 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE MURO IN TERRA-MESH

In accordo con quanto riportato al §11.3.3, si riportano le verifiche di stabilità globale condotte per la condizione statica e la condizione sismica.

In analogia a quanto fatto per le verifiche geotecniche (§13.2), si riportano nella seguente tabella i coefficienti di sicurezza ottenuti in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

In Figura 47, in Figura 48 e in Figura 49 si riportano le immagini di output del software MacStar W rispettivamente per la condizione statica e per la condizione sismica.

Tabella 20: Sezione 5A -Verifiche stabilità globale muro terra-mesh.

| Tipo di verifica | Condizione | FS MacStar | FS esplicitato | | FS da NTC |
|-------------------|------------|------------|----------------|---|-----------|
| Stabilità globale | Statica | 1.140 | 1.25 | > | 1.1 |
| | Sismica+ | 1.163 | 1.40 | > | 1.2 |
| | Sismica- | 1.172 | 1.41 | > | 1.2 |

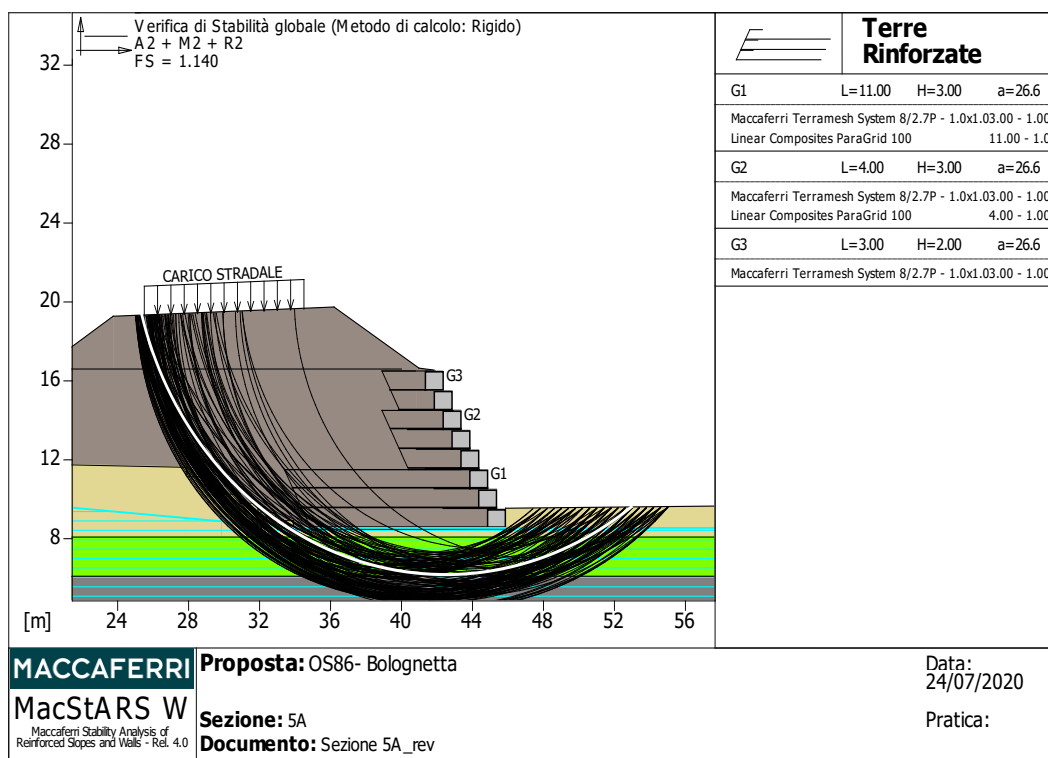


Figura 47: Verifiche stabilità globale muro terra-mesh – condizione statica.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

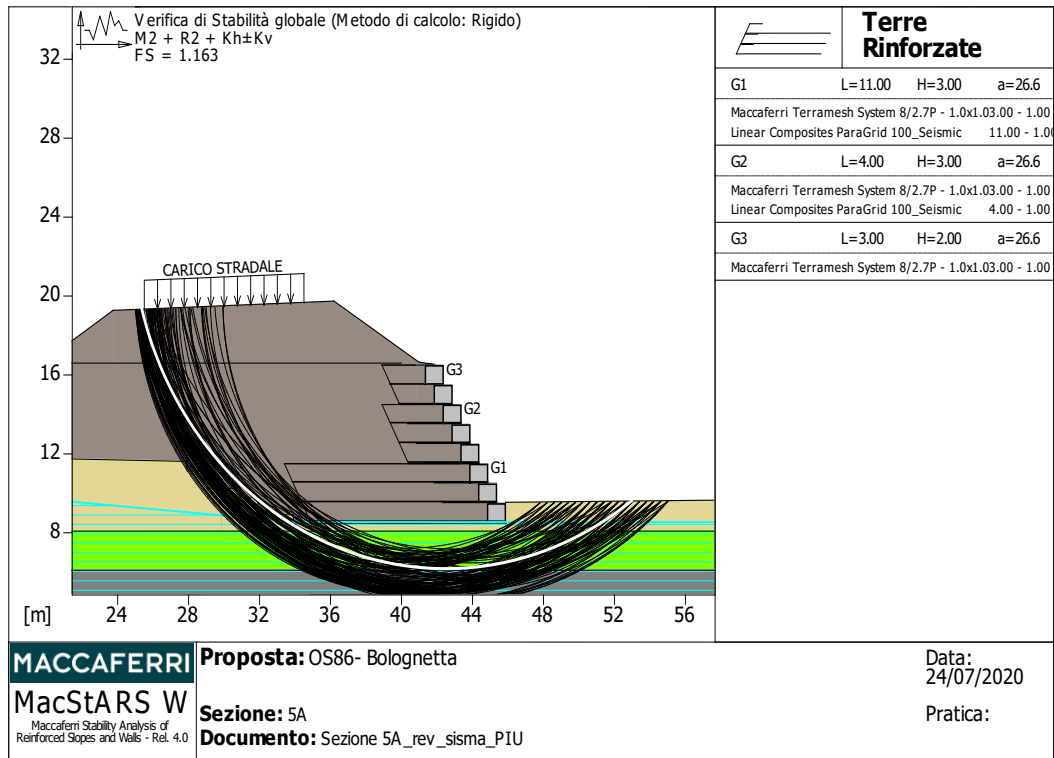


Figura 48: Verifiche stabilità globale muro terra-mesh – condizione sismica +.

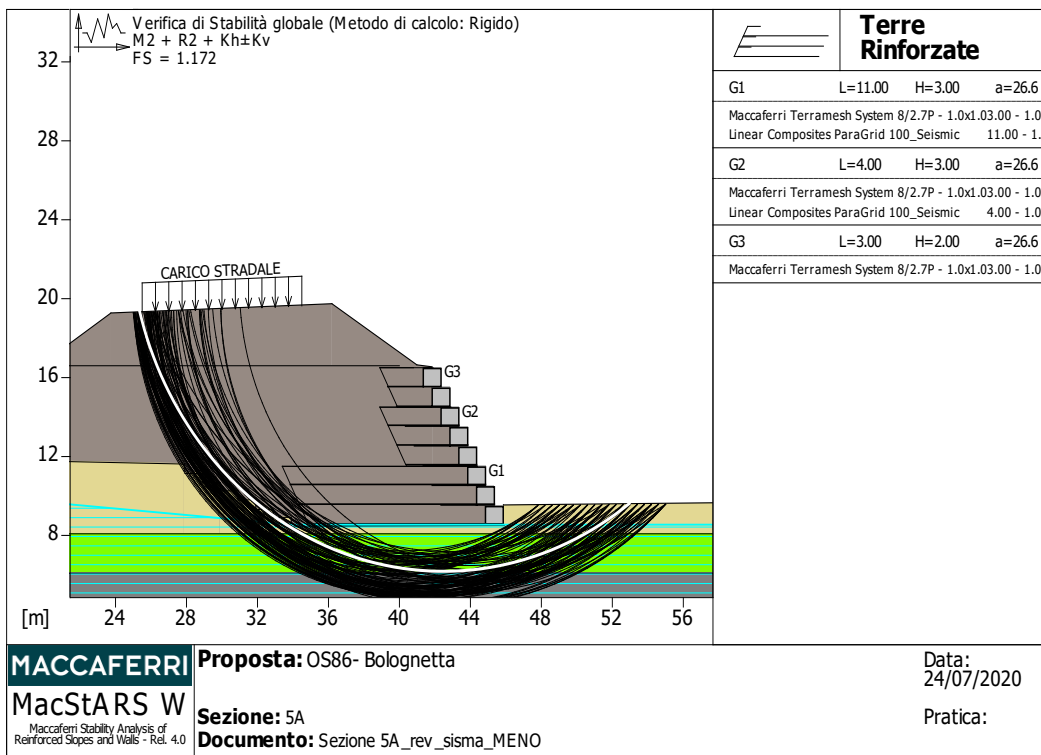


Figura 49: Verifiche stabilità globale muro terra-mesh – condizione sismica -.

15.4 VERIFICHE STRUTTURALI MURO IN TERRA-MESH (STABILITÀ INTERNA)

In accordo con quanto riportato al §11.3.2, si riportano le verifiche di stabilità interna per il dimensionamento strutturale della rete di rinforzo.

In analogia a quanto fatto per le verifiche geotecniche (§13.2), si riportano nella seguente tabella i coefficienti di sicurezza ottenuti in condizioni statiche e in condizioni sismiche.

Tabella 21: Sezione 5A -Verifiche stabilità interna muro terra-mesh.

| Tipo di verifica | Condizione | FS MacStar | FS esplicitato | | FS |
|-------------------|------------|------------|----------------|---|-----|
| Stabilità interna | Statica | 1.338 | 1.34 | > | 1.0 |
| | Sismica+ | 1.096 | 1.10 | > | 1.0 |
| | Sismica- | 1.101 | 1.10 | > | 1.0 |

In Figura 50, in Figura 51 e in Figura 52 si riportano le immagini di output del software MacStar W rispettivamente per la condizione statica e per la condizione sismica.

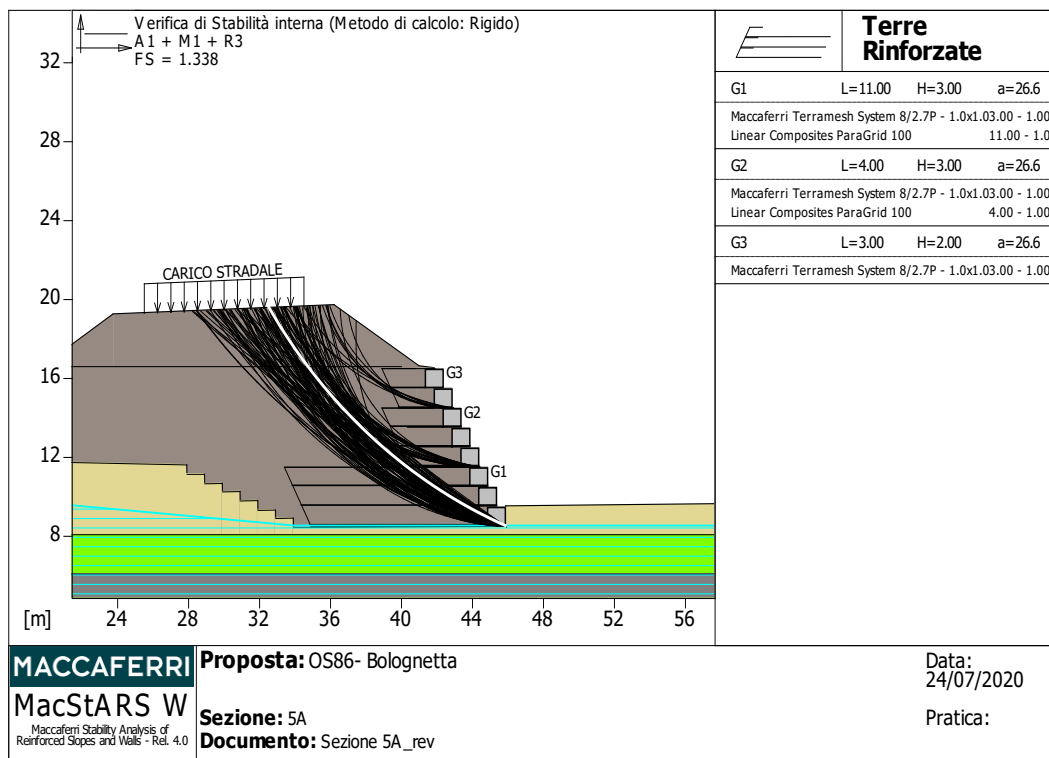


Figura 50: Verifiche strutturali muro terra-mesh – condizione statica.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

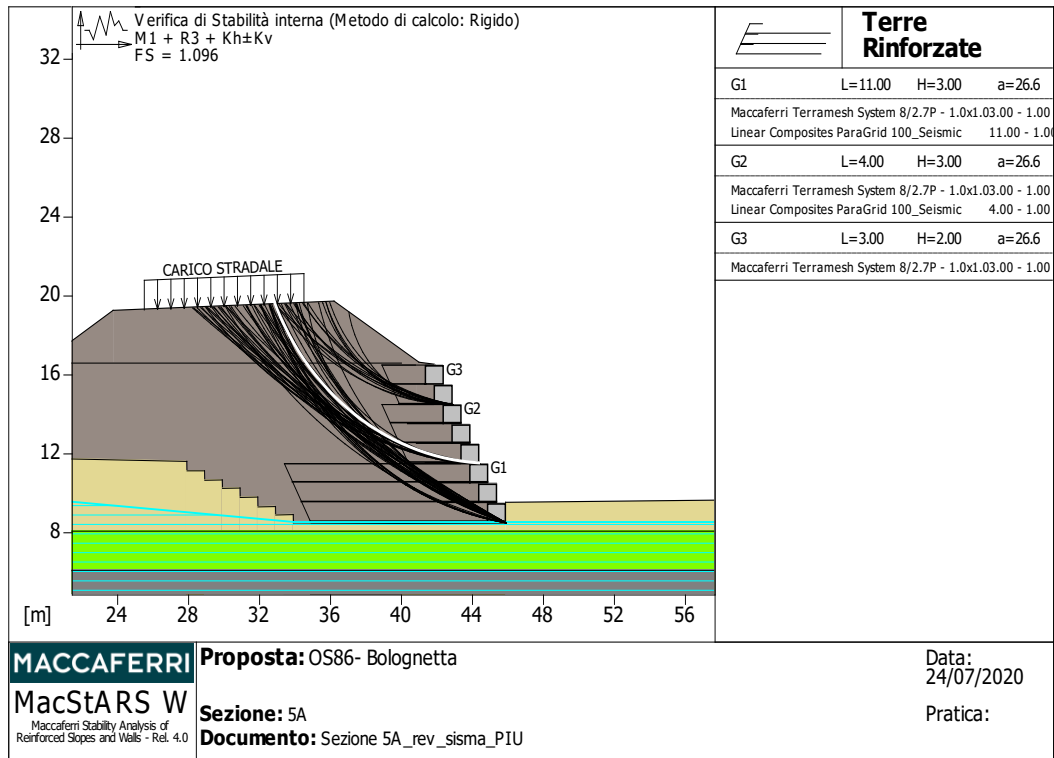


Figura 51: Verifiche strutturali muro terra-mesh – condizione sismica +.

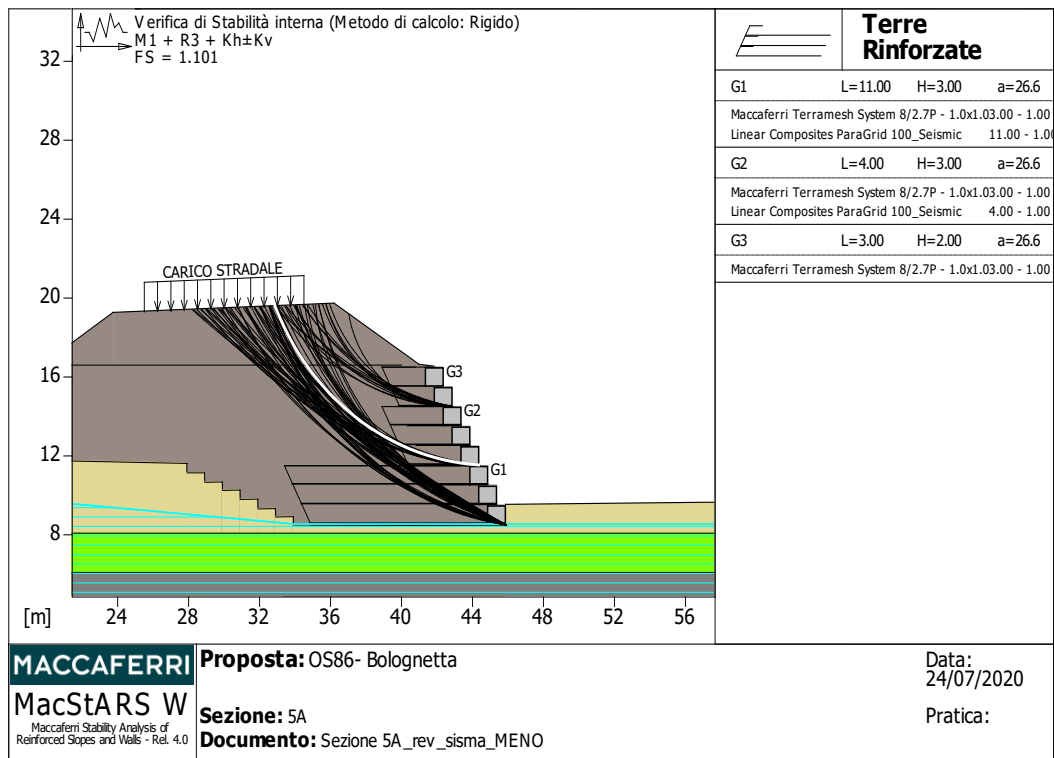


Figura 52: Verifiche strutturali muro terra-mesh – condizione sismica -.

16 TRATTO MURO AD U - SEZIONE 6A

Il modello di calcolo Plaxis è riportato nella figura seguente.

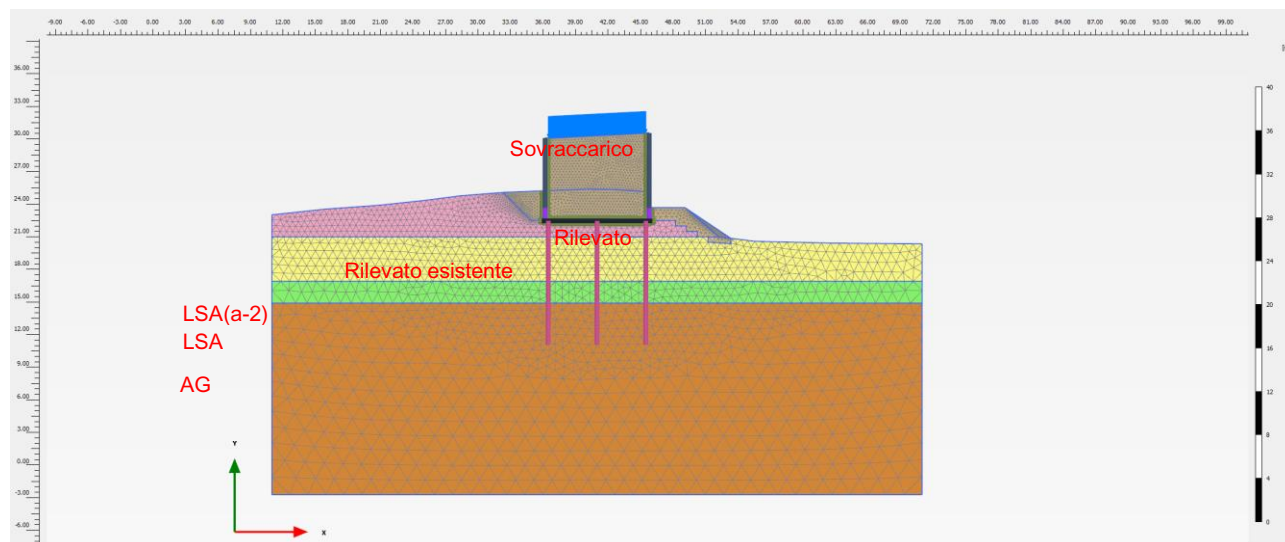


Figura 53: Sezione 6A. Modello di calcolo Plaxis

16.1 DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI

I parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni Plaxis per i diversi materiali sono riportati nella tabella seguente. Per il terreno naturale si è considerato un modello costitutivo Hardening-soil con comportamento drenato in condizioni statiche e non drenato in condizioni sismiche (undrained A). Per il rilevato si è considerato un modello Mohr-Coulomb con comportamento drenato.

Tabella 22: Parametri geotecnici assunti nelle elaborazioni Plaxis.

| Material model | Model | Unit | LSA(a-1) | LSA(a-2) | LSA | AG | Rilevato | Rilevato esistente |
|--|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| General | | | | | | | | |
| Material model | Model | - | Hard. soil | Hard. soil | Hard. soil | Hard. soil | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Type of material behaviour | Type | - | Undrained A | Undrained A | Undrained A | Undrained A | Drained | Drained |
| Soil unit weight above phreatic level | γ_{unsat} | kN/m ³ | 20 | 20 | 20 | 20.5 | 20 | 20 |
| Soil unit weight below phreatic level | γ_{sat} | kN/m ³ | 20 | 20 | 20 | 20.5 | 20 | 20 |
| Initial void ratio | e_{init} | - | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Parameters | | | | | | | | |
| Young's modulus (constant) | E' | MPa | | | | | 50 | 40 |
| Secant stiffness in standard drained triaxial test | E_{50}^{ref} | MPa | 25 | 25 | 25 | 35 | | |
| Tangent stiffness for primary oedometer loading | E_{oed}^{ref} | MPa | 25 | 25 | 25 | 35 | | |
| Unloading / reloading stiffness | E_{ur}^{ref} | MPa | 75 | 75 | 75 | 105 | | |
| Power for stress-level dependency of stiffness | m | - | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | | |
| Cohesion | c' | kPa | 0 | 2 | 5 | 15 | 0 | 0 |
| Friction angle | φ' | ° | 20 | 22 | 24 | 26 | 38 | 35 |
| Dilatancy angle | Ψ | ° | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Poisson's ratio | ν', ν_{ur} | - | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | | |
| K_0 -value for normal consolidation | k_0^{nc} | - | 1-sen φ' | 1-sen φ' | 1-sen φ' | 1-sen φ' | 1-sen φ' | 1-sen φ' |
| Groundwater | | | | | | | | |
| Permeability in horizontal direction | k_x | m/day | $4.32 \cdot 10^{-3}$ | $4.32 \cdot 10^{-3}$ | $4.32 \cdot 10^{-3}$ | $4.32 \cdot 10^{-4}$ | 0.864 | 0.864 |
| Permeability in vertical direction | k_y | m/day | $8.64 \cdot 10^{-4}$ | $8.64 \cdot 10^{-4}$ | $8.64 \cdot 10^{-4}$ | $8.64 \cdot 10^{-5}$ | 0.864 | 0.864 |

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| Interfaces- | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Interface strength | — | Manual | Manual | Manual | Manual | Manual | Manual | Manual |
| Strength reduction factor inter. | R_{inter} | 0.5 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| Initial | | | | | | | | |
| K_0 determination | — | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic |
| Over-consolidation ratio | OCR | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 5 | - | - |

La falda si assume:

- Condizione statica: -0.5 m da p.c.
- Condizione simica: -1.5 m da p.c.

I dati di input per i pali di consolidamento, rappresentati nel modello con elemento “Embedded beam”, sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 23: Dati di input elementi strutturali schematizzati come "embedded beam". Doppia fila di pali.

| Parameter | Name | Unit | | |
|----------------------------------|---------------|-------------------|--------------------|-------|
| Pali | | | Elastic; Isotropic | |
| Young's Modulus | E | kPa | 30 000 000 | |
| Unit weight of the beam material | γ | kN/m ³ | 5 | |
| Diameter | D | m | 0.8 | |
| Spacing of embedded beam | $L_{spacing}$ | m | 4.0 | |
| Axial skin Resistance | Multi-Linear | kN/m | 0.0-5.6 m | 100.5 |
| | | | 5.6-7.6 m | 150.7 |
| | | | da 7.6 | 216.3 |
| Base resistance | Fmax | kN | 1174 | |

I dati di input per il paramento e la soletta di fondazione rappresentati nel modello con elemento “Plate”, sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 24: Dati di input elementi strutturali schematizzati come "Plate".

| Parameter | Name | Unit | | |
|-------------------|-------|------|--------------------|--|
| Cordolo | | | | |
| Type of behaviour | | | Elastic; Isotropic | |
| Normal stiffness | EA | | 39 404 400 | |
| Flexural rigidity | EI | | 4 728 528 | |
| Unit weight | w | | 30 | |
| Poisson's ratio | ν | | 0.12 | |
| Paramento | | | | |
| Type of behaviour | | | Elastic; Isotropic | |
| Normal stiffness | EA | | 24 627 750 | |
| Flexural rigidity | EI | | 1 154 426 | |
| Unit weight | w | | 18.75 | |
| Poisson's ratio | ν | | 0.12 | |

16.2 DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO

Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale e riproducono in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera e condizioni di verifica. La fase di costruzione del rilevato viene simulata mediante l'attivazione dei cluster di terreno corrispondenti, mentre la messa in opera degli elementi strutturali (paramento verticale e soletta di fondazione del muro e i pali di consolidamento) viene simulata attivando i relativi elementi strutturali.

Le fasi di calcolo considerate sono riportate nel seguito.

Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -0.5 m da p.c. (Figura 54)

Realizzazione del rilevato pali e paramento (

Fase 2. Figura 55)

Stati limite di esercizio SLE

Fase 3. SLE-Combinazione caratteristica (rara). Applicazione del sovraccarico accidentale di valore 20 kPa sulla sede stradale (Figura 56)

Fase 4. SLE-Combinazione frequente

Fase 5. SLE-Combinazione quasi permanente

Stati limite ultimi STR

Fase 6. SLU/STR A1+M1+R1, applicazione del sovraccarico stradale

Fase 7. SLU/STR_{ecc} A1+M1+R1, applicazione delle azioni dovute al sicurvia

Fase 8. SLV/STR A1+M1+R1, applicazione del sisma

Stati limite ultimi GEO

Fase 9. SLU/GEO A2+M2+R1, applicazione del sovraccarico stradale

Fase 10. SLU/GEO_{ecc} A2+M2+R1, applicazione delle azioni dovute al sicurvia

Fase 11. SLV/GEO A2+M2+R1, applicazione del sisma.

Stati limite ultimi GEO_{stab} (stabilità)

Fase 12. SLU/GEO_{stab} A2+M2+R2, applicazione del sovraccarico stradale

Fase 13. SLV/GEO_{stab} A2+M2+R2, applicazione del sisma

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

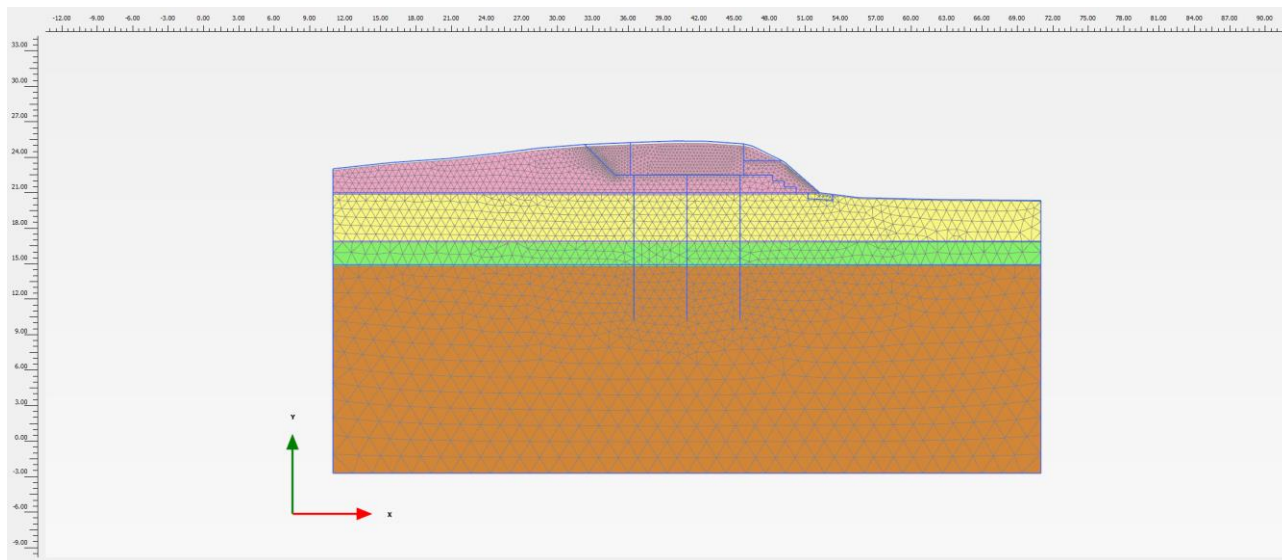


Figura 54: Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -0.5 m da p.c.

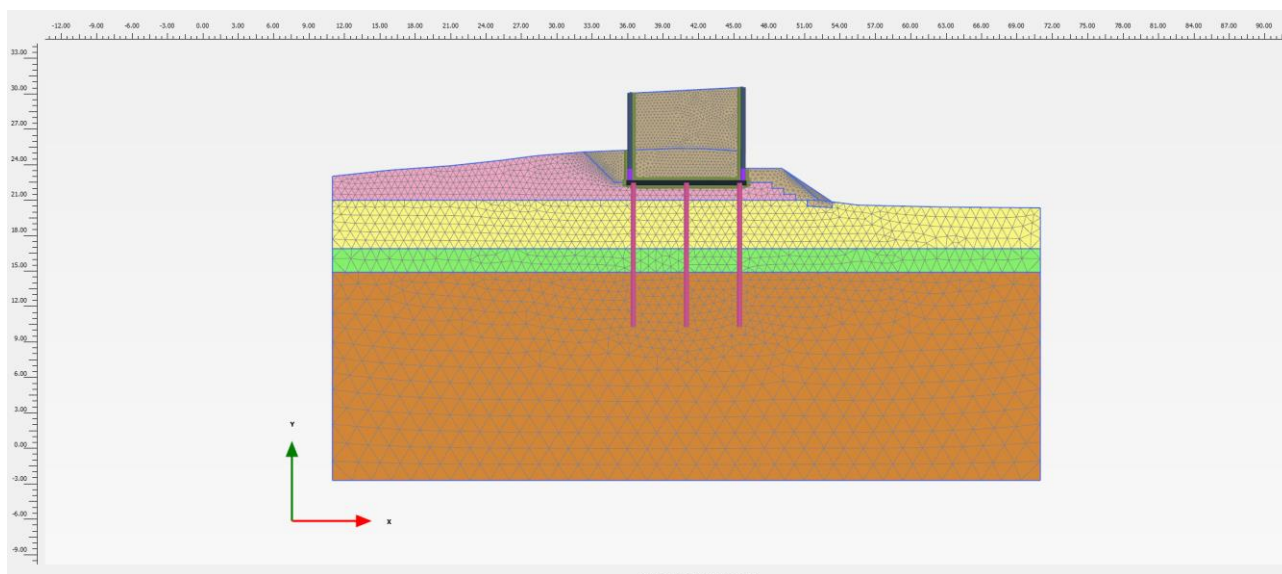


Figura 55: Fase 2. Realizzazione del rilevato e della paratia di pali

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

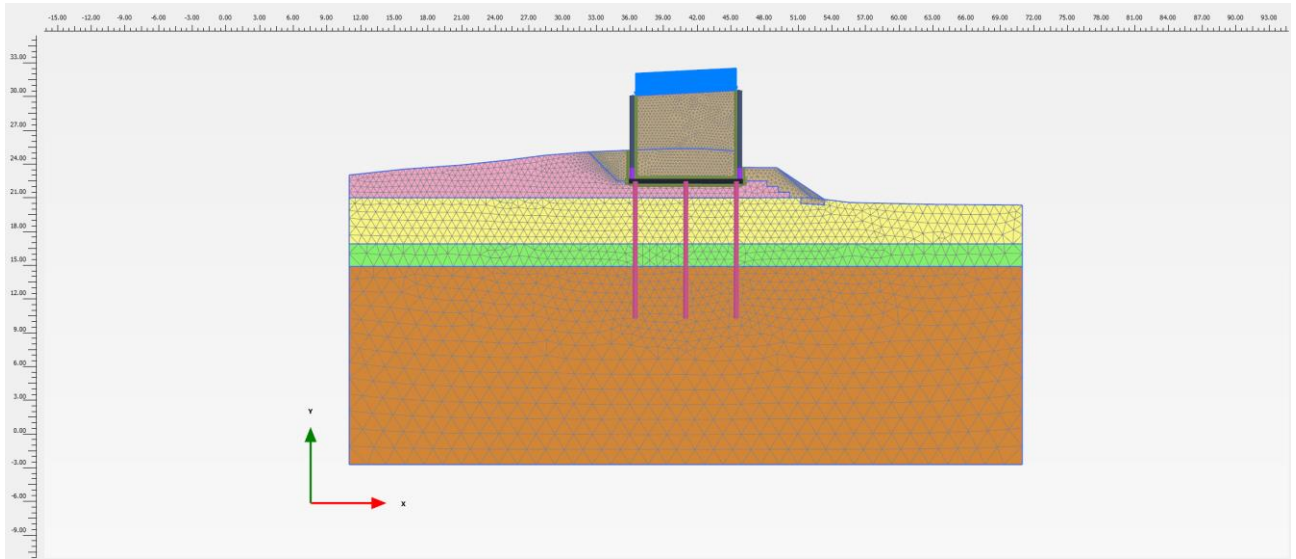


Figura 56: Fase 3. SLE-Combinazione caratteristica

16.3 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di:

- spostamenti;
- sollecitazioni sugli elementi strutturali.

16.3.1 SLE, spostamenti

Di seguito si riportano le mappe degli spostamenti orizzontali e verticali per gli SLE quasi permanente.

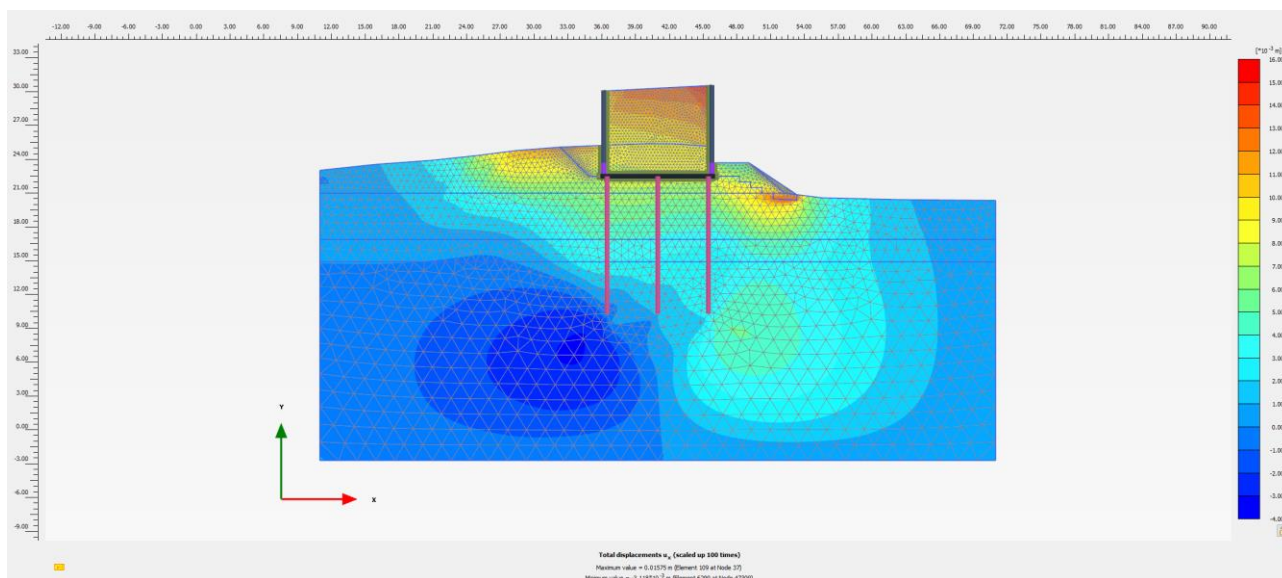


Figura 57: SLE-Combinazione quasi permanente – Spostamenti orizzontali

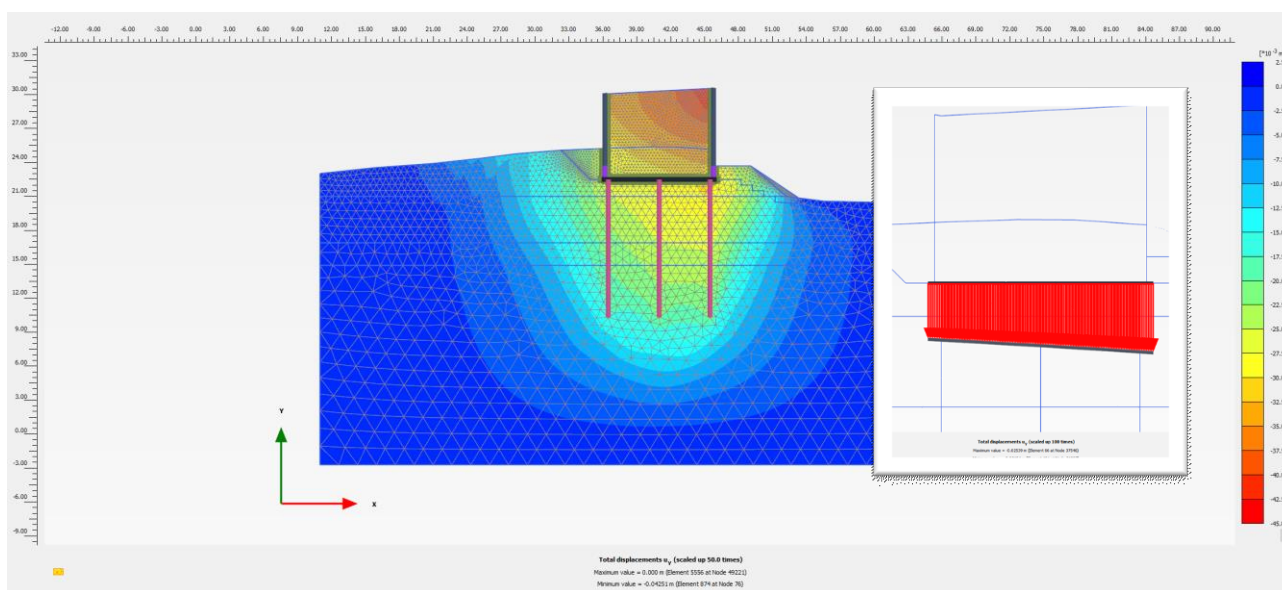


Figura 58: SLE-Combinazione quasi permanente – Spostamenti verticali

16.3.2 SLE, Sollecitazioni pali

Le sollecitazioni in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sui pali lato valle, centrale e lato monte sono diagrammate in funzione della profondità in Figura 59, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 25: SLE-Pali. Sollecitazioni

| Palo di valle | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sollecitazione Significativa | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N _{max} ; M) | 12.20 | -687.32 | 0.00 | 12.20 | -631.07 | 0.00 | 12.20 | -594.04 | 0.00 |
| (N _{min} ; M) | 0.26 | -2122.36 | -3.82 | 0.34 | -1999.60 | -4.84 | 0.34 | -1911.71 | -4.48 |
| (N ; M _{max}) | 0.00 | -2122.19 | 0.00 | 0.00 | -1999.39 | 0.00 | 0.00 | -1911.48 | 0.00 |
| (N ; M _{min}) | 6.60 | -1777.62 | -86.00 | 6.60 | -1680.62 | -78.39 | 6.60 | -1608.25 | -73.81 |

| Palo di monte | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sollecitazione Significativa | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N _{max} ; M) | 12.20 | -566.20 | 0.00 | 12.20 | -530.15 | 0.00 | 12.20 | -508.18 | 0.00 |
| (N _{min} ; M) | 0.19 | -1813.03 | -0.51 | 0.19 | -1690.14 | -0.41 | 0.26 | -1607.30 | -0.45 |
| (N ; M _{max}) | 7.27 | -1455.76 | 12.24 | 7.27 | -1362.28 | 12.38 | 7.27 | -1298.30 | 13.38 |
| (N ; M _{min}) | 2.16 | -1788.89 | -5.83 | 2.16 | -1668.15 | -4.71 | 2.02 | -1590.36 | -3.74 |

| Palo centrale | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sollecitazione Significativa | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N _{max} ; M) | 12.20 | -527.83 | 0.00 | 12.20 | -494.16 | 0.00 | 12.20 | -471.53 | 0.00 |
| (N _{min} ; M) | 0.58 | -1579.55 | -5.92 | 0.58 | -1465.44 | -5.62 | 0.68 | -1387.23 | -6.22 |
| (N ; M _{max}) | 0.00 | -1579.10 | 0.00 | 0.00 | -1464.94 | 0.00 | 12.20 | -471.53 | 0.00 |
| (N ; M _{min}) | 5.44 | -1460.31 | -34.52 | 5.27 | -1363.70 | -31.42 | 5.27 | -1290.64 | -28.98 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

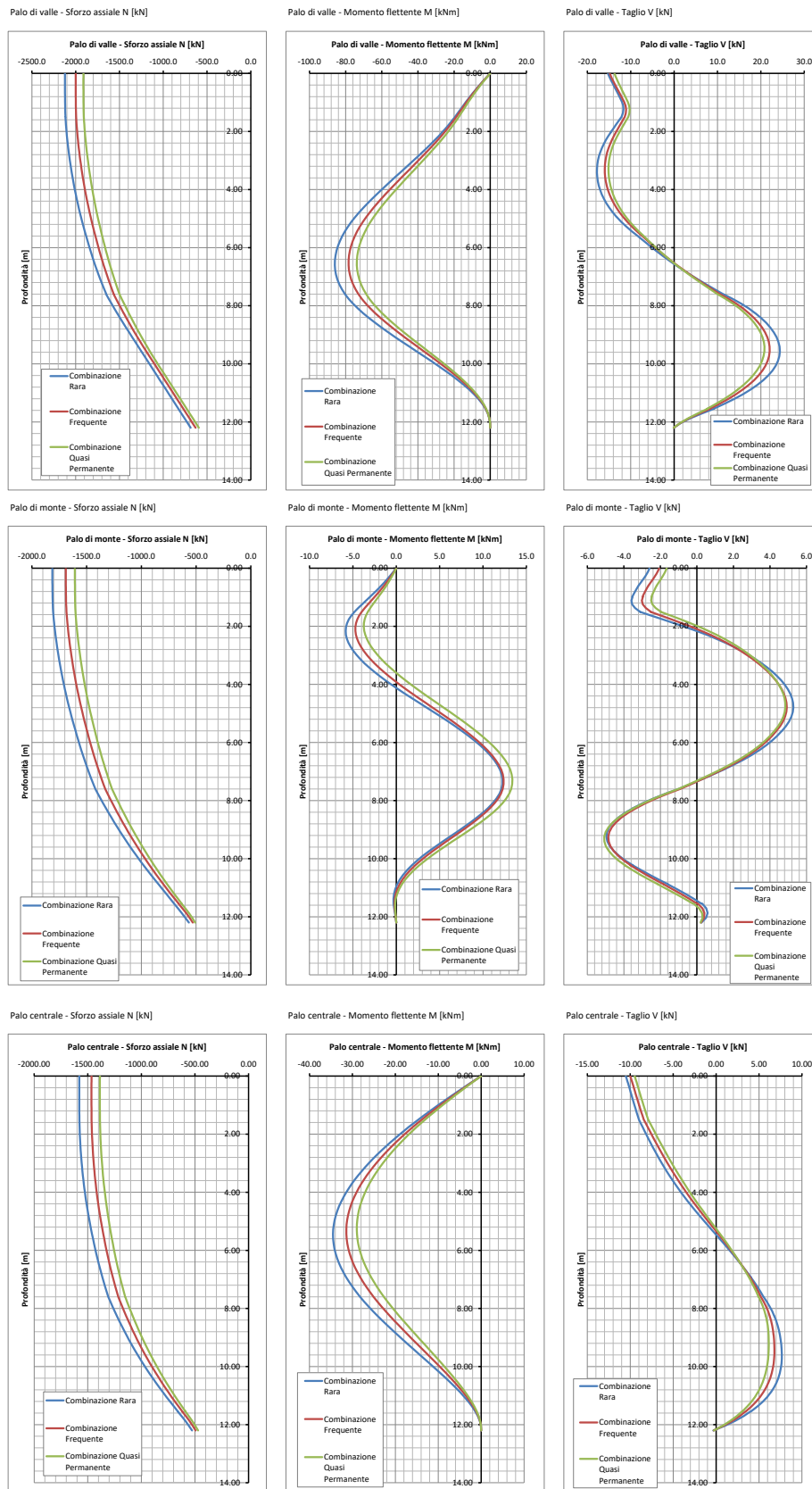


Figura 59: SLE-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

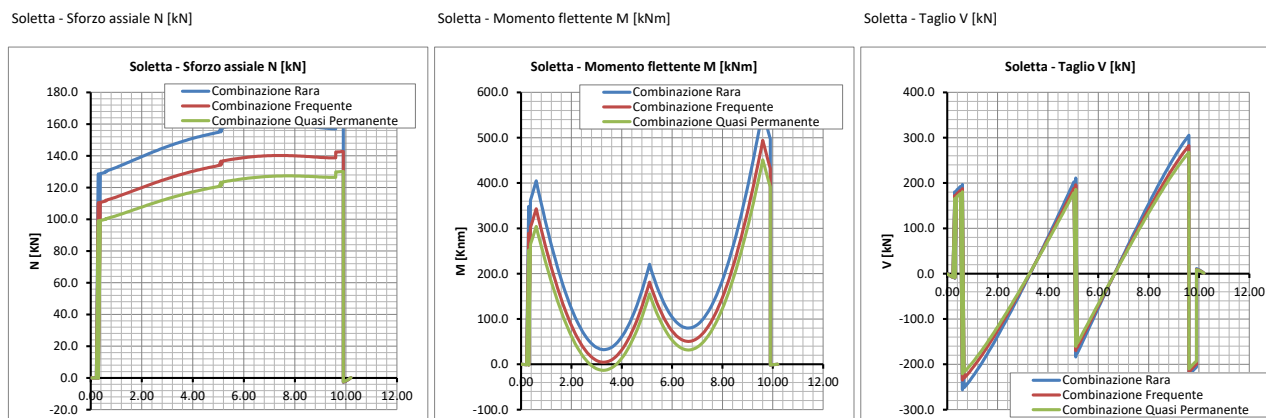
16.3.3 SLE, Sollecitazioni soletta di fondazione

Le sollecitazioni in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sulla soletta di collegamento dei pali sono diagrammate in Figura 60, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 26: SLE-Soletta di collegamento dei pali. Sollecitazioni

| Sollecitazione Significativa | Soletta | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N_{max} ; M) | 9.90 | 161.12 | 497.13 | 9.90 | 142.81 | 432.18 | 9.90 | 130.20 | 391.48 |
| (N_{min} ; M) | 9.90 | -2.76 | -2.07 | 9.90 | -2.61 | -1.77 | 9.90 | -2.38 | -1.64 |
| (N ; M_{max}) | 9.60 | 157.00 | 561.16 | 9.60 | 138.69 | 494.06 | 9.60 | 129.85 | 451.31 |
| (N ; M_{min}) | 9.90 | -2.76 | -2.07 | 9.90 | -2.61 | -1.77 | 3.27 | 114.17 | -13.21 |

Figura 60: SLE-Soletta di collegamento pali. Diagrammi delle sollecitazioni



16.3.4 SLE, Sollecitazioni sul paramento verticale

Le sollecitazioni relative al paramento più sollecitato in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sul paramento verticale sono diagrammate in Figura 61, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 27: SLE-Paramento verticale. Sollecitazioni

| Paramento | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sollecitazione Significativa | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N_{max} ; M) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.02 | 0.00 |
| (N_{min} ; M) | 6.89 | -209.80 | -310.76 | 6.89 | -202.60 | -266.00 | 6.89 | -197.28 | -241.24 |
| (N ; M_{max}) | 0.34 | -6.48 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -0.02 | 0.00 |
| (N ; M_{min}) | 6.89 | -209.80 | -310.76 | 6.89 | -202.60 | -266.00 | 6.89 | -197.28 | -241.24 |

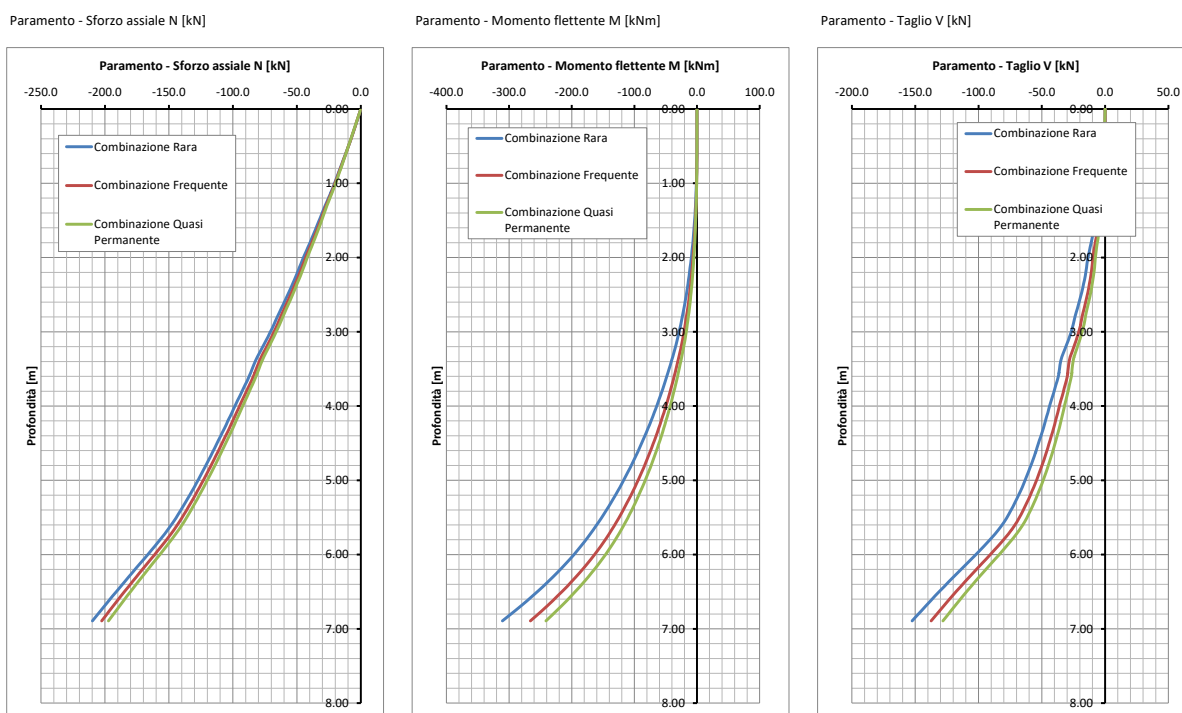


Figura 61: SLE-Paramento verticale. Diagrammi delle sollecitazioni

16.4 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI STRUTTURALI (STR)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di sollecitazioni allo stato limite ultimo di tipo strutturale (STR).

16.4.1 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali

Tabella 28: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Sollecitazioni

| | Palo di valle | | | | | |
|------------------|---------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
| A1+M1 (STR) | -912.7 | -2 798.6 | 0.0 | -114.6 | 32.6 | -23.7 |
| A1+M1 (STR) ecc | -770.1 | -2 297.9 | 0.0 | -112.7 | 31.2 | -23.2 |
| A1+M1 (STR) sism | -746.7 | -2 204.7 | 0.0 | -102.6 | 31.1 | -24.5 |
| | Palo di monte | | | | | |
| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
| A1+M1 (STR) | -748.6 | -2 396.7 | 15.9 | -8.0 | 7.0 | -6.5 |
| A1+M1 (STR) ecc | -539.7 | -1 709.0 | 0.0 | -27.0 | 6.5 | -13.6 |
| A1+M1 (STR) sism | -580.1 | -1 794.8 | 0.0 | -41.5 | 9.2 | -24.0 |
| | Palo centrale | | | | | |
| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
| A1+M1 (STR) | -697.8 | -2 090.1 | 0.0 | -46.1 | 10.2 | -13.9 |
| A1+M1 (STR) ecc | -534.1 | -1 584.3 | 0.0 | -57.3 | 12.2 | -19.3 |
| A1+M1 (STR) sism | -559.8 | -1 664.8 | 0.0 | -62.4 | 13.6 | -19.8 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

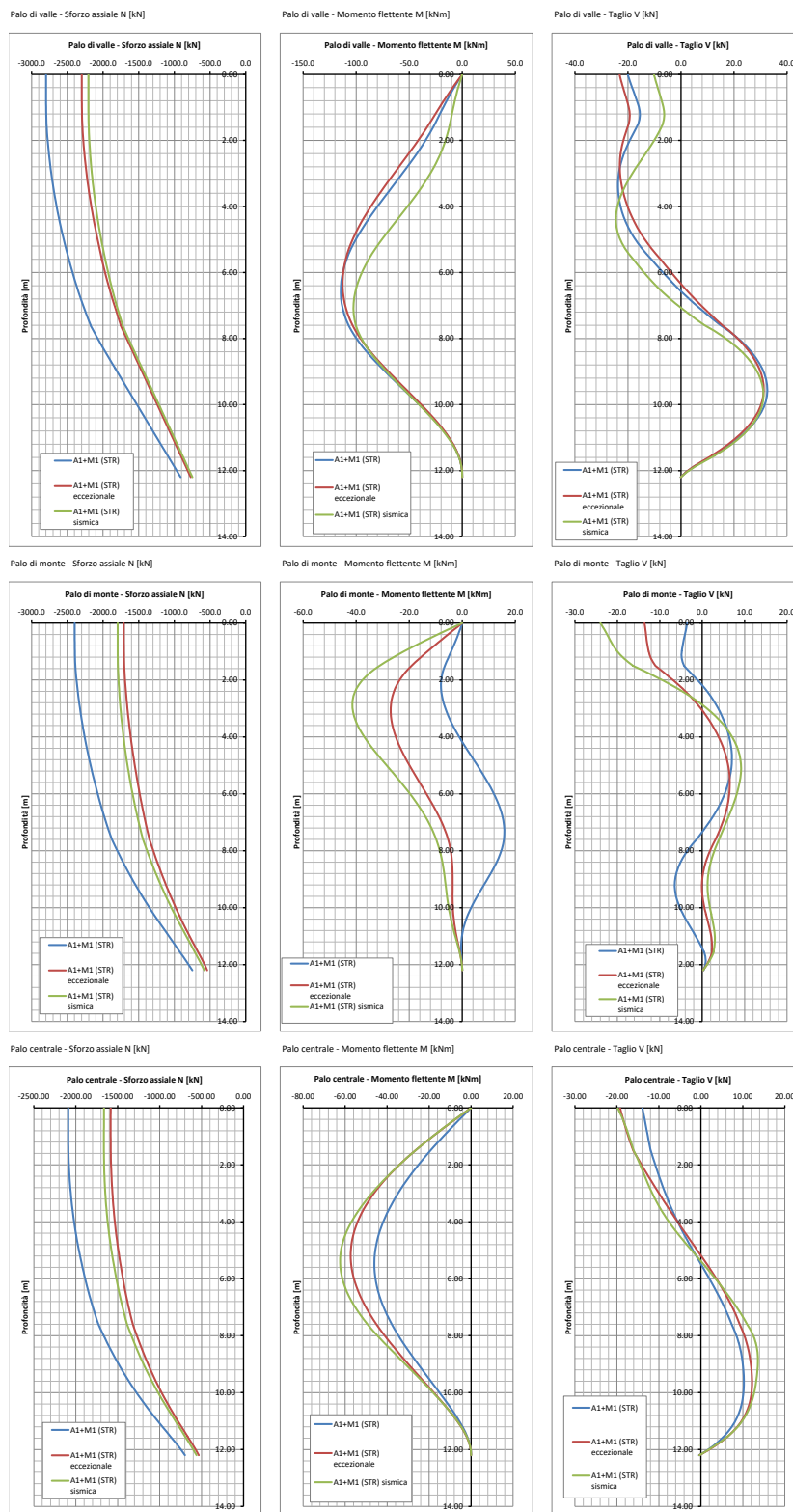


Figura 62: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

16.4.2 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni soletta di fondazione

Tabella 29: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Soletta di collegamento dei pali. Sollecitazioni

| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| A1+M1 (STR) | 215.7 | -3.6 | 752.7 | -2.8 | 404.3 | -339.8 |
| A1+M1 (STR) ecc | 200.4 | -2.5 | 1 067.1 | -3.0 | 342.3 | -286.6 |
| A1+M1 (STR) sism | 182.6 | -1.9 | 596.4 | -0.6 | 312.0 | -239.1 |

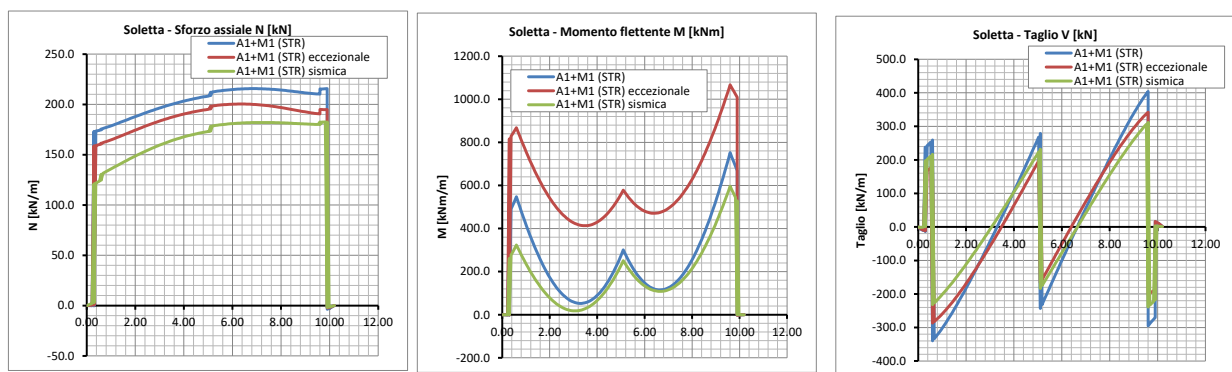


Figura 63: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Soletta di collegamento dei pali. Diagrammi delle sollecitazioni

16.4.3 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 – Sollecitazioni paramento verticale

Tabella 30: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1- Paramento verticale. Sollecitazioni

| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| A1+M1 (STR) | 0.0 | -275.3 | 0.0 | -419.6 | 0.1 | -203.1 |
| A1+M1 (STR) ecc | 0.0 | -198.9 | -60.0 | -777.6 | -60.0 | -190.6 |
| A1+M1 (STR) sism | 0.0 | -211.9 | 0.0 | -322.3 | 0.0 | -161.7 |

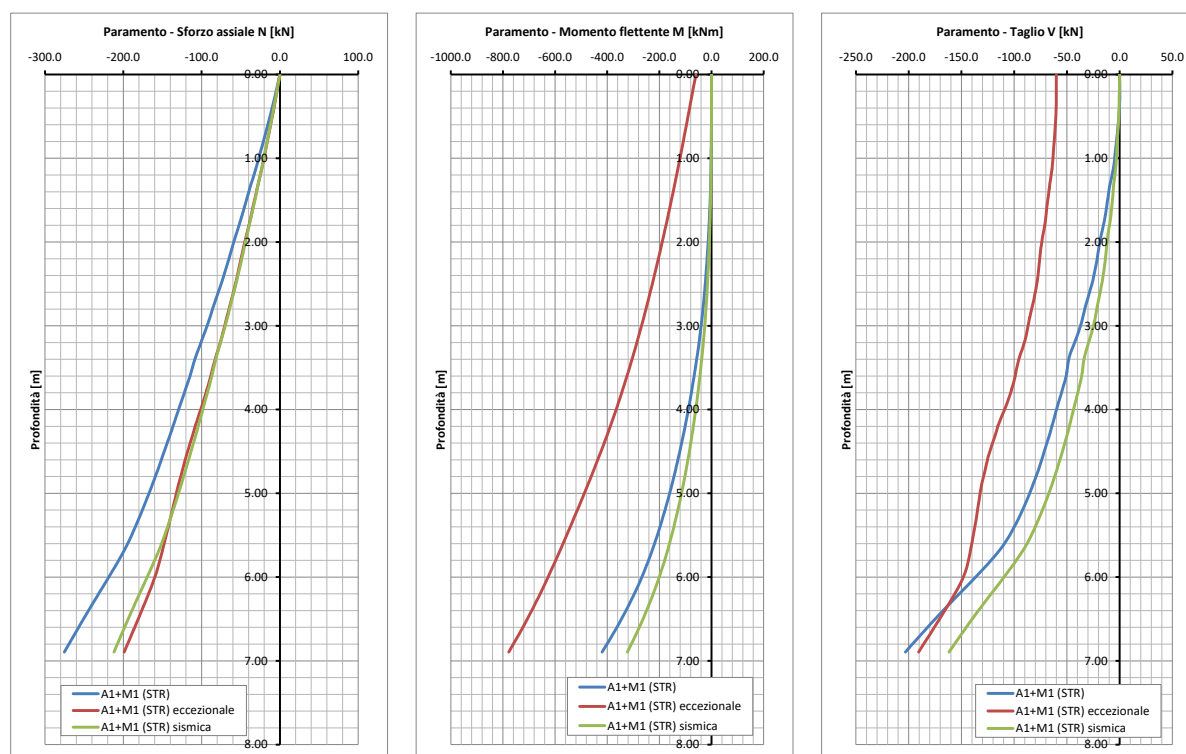


Figura 64: SLU(SLV)/STR A1+M1- Paramento verticale. Diagrammi delle sollecitazioni

16.5 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI GEOTECNICI (GEO)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi di tipo geotecnico GEO, in particolare si riporta la capacità portante superficiale della fondazione del muro ad U.

16.5.1 SLU(SLV)/GEO A1+M1+R3 – Scarichi in fondazione la valutazione di capacità portante del muro ad U

Per la definizione dei carichi agenti ad estradosso della soletta della fondazione del muro ad U sono state considerate le azioni caratteristiche principali riportate nella seguente tabella. Il peso del muro in c.a. e del terreno di riempimento è stato valutato considerando la massima altezza del paramento pari a 7.1m.

Tabella 31: Azioni caratteristiche principali agenti ad estradosso soletta di fondazione.

| | γ [kN/m ³] | L [m] | h [m] | V [m ³ /m] | N _k [kN/m] | V _k [kN/m] | M _k [kNm/m] | x [m] | z [m] | tipo di carico |
|------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------|-------|----------------|
| Muro in c.a. | 25.0 | - | - | 22.8 | 568.9 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 1.297 | permanente |
| Terreno di riempimento | 20.0 | 8.70 | 7.01 | 61.0 | 1219.7 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 3.505 | permanente |
| Strada | 23.0 | 8.70 | 0.10 | 0.9 | 20.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 7.060 | permanente |
| Carico da traffico | - | 8.70 | - | - | 174.0 | 0.0 | 0.0 | 0.000 | 7.110 | variabile |
| Urto sicurtà | - | - | - | - | - | 60.0 | 486.6 | 4.350 | 8.110 | eccezionale |
| Incremento sismico (Sisma +) | - | - | - | - | 15.9 | 33.3 | 43.2 | 0.000 | 1.297 | permanente |
| | - | - | - | - | 34.2 | 71.5 | 250.5 | 0.000 | 3.505 | permanente |
| | - | - | - | - | 0.6 | 1.2 | 8.3 | 0.000 | 7.060 | permanente |
| Incremento sismico (Sisma -) | - | - | - | - | -15.9 | 31.5 | 40.9 | 0.000 | 1.297 | permanente |
| | - | - | - | - | -34.2 | 67.6 | 236.9 | 0.000 | 3.505 | permanente |
| | - | - | - | - | -0.6 | 1.1 | 7.8 | 0.000 | 7.060 | permanente |

Tali azioni sono state poi combinate in accordo con quanto riportato al §0, le combinazioni di carico così ottenute sono riportate nel seguito:

- Combinazione ST01: combinazione statica (Tabella 32);
- Combinazione EC02: combinazione eccezionale (Tabella 33);
- Combinazione SS03: combinazione sismica (Tabella 34);
- Combinazione SS04: combinazione sismica (Tabella 35).

Tabella 32: Combinazione ST01- Combinazione statica.

| Combinazione statica (ST01) | | | |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | N _{Ed} [kN/m] | V _{Ed} [kN/m] | M _{Ed} [kNm/m] |
| Muro in c.a. | 739.5 | 0.0 | 0.0 |
| Terreno di riempimento | 1585.7 | 0.0 | 0.0 |
| Strada | 26.0 | 0.0 | 0.0 |
| Carico da traffico | 261.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 2612.2 | 0.0 | 0.0 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

Tabella 33: Combinazione EC02- Combinazione eccezionale.

| Combinazione eccezionale (EC02) | | | |
|--|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | N_{Ed} [kN/m] | V_{Ed} [kN/m] | M_{Ed} [kNm/m] |
| Muro in c.a. | 568.9 | 0.0 | 0.0 |
| Terreno di riempimento | 1219.7 | 0.0 | 0.0 |
| Strada | 20.0 | 0.0 | 0.0 |
| Carico da traffico | 174.0 | 0.0 | 0.0 |
| Urto sicurtia | 0.0 | 60.0 | 486.6 |
| | 1982.6 | 60.0 | 486.6 |

Tabella 34: Combinazione SS03- Combinazione sismica.

| Combinazione Sismica + (SS03) | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | N_{Ed} [kN/m] | V_{Ed} [kN/m] | M_{Ed} [kNm/m] |
| Muro in c.a. | 568.9 | 0.0 | 0.0 |
| Terreno di riempimento | 1219.7 | 0.0 | 0.0 |
| Strada | 20.0 | 0.0 | 0.0 |
| Carico da traffico | 174.0 | 0.0 | 0.0 |
| Sisma | 50.6 | 106.0 | 302.0 |
| | 2033.3 | 106.0 | 302.0 |

Tabella 35: Combinazione SS04- Combinazione sismica.

| Combinazione Sismica - (SS04) | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | N_{Ed} [kN/m] | V_{Ed} [kN/m] | M_{Ed} [kNm/m] |
| Muro in c.a. | 568.9 | 0.0 | 0.0 |
| Terreno di riempimento | 1219.7 | 0.0 | 0.0 |
| Strada | 20.0 | 0.0 | 0.0 |
| Carico da traffico | 174.0 | 0.0 | 0.0 |
| Sisma | -50.6 | 100.2 | 285.6 |
| | 1932.0 | 100.2 | 285.6 |

16.6 VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR)

Nel seguito si riportano le verifiche allo SLU nei confronti del raggiungimento della resistenza strutturale dei vari elementi che costituiscono l'opera.

16.6.1 Pali, verifica a pressoflessione

L'armatura prevista per il palo $\Phi=800$ mm è riassunta nella seguente tabella.

Tabella 36: Armatura prevista e sezioni di calcolo individuate.

| | Sezione | Gabbia | Lunghezza gabbia [m] | As |
|---------------|---------|--------|----------------------|--------------|
| Palo di valle | 1-1 | 1 | 12.0 | 16 Φ 18 |
| Palo centrale | 1-1 | 1 | 12.0 | 16 Φ 18 |
| Palo di monte | 1-1 | 1 | 12.0 | 16 Φ 18 |

Si riportano di seguito le verifiche per la condizione statica e per la condizione sismica.

16.6.1.1 Condizione statica

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|----------------------------|--------------|-------------------------|
| Diametro sezione: | 80.0 | cm |
| Barre circonferenza: | 16 Φ 18 | (40.7 cm ²) |
| Coprif.(dal baric. barre): | 7.9 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| MT | Momento torcente [kN m] |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|------|--------|-------|------|
| 1 | 0.00 | 114.60 | 32.60 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | | |
|--|------|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 7.0 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 10.7 | cm |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

Interferro massimo barre longitudinali: 0.0 cm [deve essere < 0.0]
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
 Mx rd Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
 As Tot. Area complessiva armature long. pilastro [cm²]. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tot. |
|--------|-----|------|--------|------|--------|----------|------|-----|--------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 114.60 | 0.06 | 486.64 | 4.246 | 24.0 | --- | --- | 40.7 (15.1) |

16.6.1.2 Condizione sismica

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione: 80.0 cm
 Barre circonferenza: 16Ø18 (40.7 cm²)
 Coprif. (dal baric. barre): 7.9 cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.)
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione
 VY Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale
 MT Momento torcente [kN m]

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|------|--------|-------|------|
| 1 | 0.00 | 102.60 | 31.10 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.0 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 10.7 cm
 Interferro massimo barre longitudinali: 0.0 cm [deve essere < 0.0]
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 N Ult Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.)
 Mx re Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 Yn Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez.
 As Tot. Area complessiva armature long. pilastro [cm²]. (tra parentesi l'area minima di normativa)

| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tot. |
|--------|-----|------|--------|------|-------|----------|------|-----|--------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 102.60 | | | 3.308 | 18.2 | --- | --- | 40.7 (15.1) |

16.6.2 Pali, verifica a taglio

Con riferimento ad una spirale Φ 10/20 cm, si riporta la verifica a taglio. Si riporta la verifica per il solo palo di valle che presenta la sollecitazione di taglio più elevata.

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

| | | | |
|------------------|------|--------------------|---|
| Diametro staffe: | 10 | mm | |
| Passo staffe: | 20.0 | cm | [Passo massimo di normativa = 21.6 cm] |
| N.Bracci staffe: | 2 | | |
| Area staffe/m : | 7.9 | cm ² /m | [Area Staffe Minima NTC = 2.6 cm ² /m] |

VERIFICHE A TAGLIO

| | |
|------|---|
| Ver | S = comb.verificata a taglio-tors./ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [kN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vrd | Taglio resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC] |
| Vcd | Taglio compressione resistente [kN] lato conglomerato [formula (4.1.28)NTC] |
| Vwd | Taglio trazione resistente [kN] assorbito dalle staffe [formula (4.1.27)NTC] |
| bw z | Larghezza minima [cm] sezione misurata parallelam. all'asse neutro Braccio coppia interna |
| Ctg | Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di conglomerato |
| Acw | Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione |
| Ast | Area staffe/metro strettamente necessaria per taglio e torsione [cm ² /m] |

| N°Comb | Ver | Ved | Vcd | Vwd | bw z | Ctg | Acw | ASt |
|--------|-----|-------|---------|--------|-----------|-------|-------|-----|
| 1 | S | 32.60 | 1087.78 | 452.59 | 63.0 58.9 | 2.500 | 1.000 | 0.6 |

16.6.3 Soletta di collegamento pali, verifica a presso-flessione

Considerando una striscia di soletta di larghezza 1.0 m e assumendo una armatura inferiore di 5Φ24 e superiore di 5Φ30 mm si riportano di seguito le verifiche per la condizione statica e per la condizione sismica.

16.6.3.1 Condizione statica

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 120.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø30 | (35.3 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø24 | (22.6 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 5.2 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 5.2 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 4.0 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| MT | Momento torcente [kN m] |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|---------|---------|--------|------|
| 1 | -215.70 | 1067.10 | 404.30 | 0.00 |

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

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) |
| Mx rd | Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd,Mx rd) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] |

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
|--------|-----|---------|---------|---------|---------|----------|-------|------|--------|-------------|
| 1 | S | -215.70 | 1067.10 | -215.71 | 1419.86 | 1.339 | 113.6 | 0.06 | 0.70 | 35.3 (19.2) |

16.6.3.2 Condizione sismica

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 120.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø30 | (35.3 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø24 | (22.6 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 5.2 | cm |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

Coprif.Sup.(dal baric. barre): 5.2 cm
 Coprif.Lat. (dal baric.barre): 4.0 cm

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | N | Mx | Vy | MT |
|---------|--|--------|--------|------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) | | | |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione | | | |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale | | | |
| MT | Momento torcente [kN m] | | | |
| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
| 1 | -182.60 | 596.40 | 312.00 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 2.5 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 20.0 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 1.3 cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. |
|----------|--|---------|--------|------|-------|----------|------|------|------------------|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | | | | | | | | |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) | | | | | | | | |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) | | | | | | | | |
| Mx re | Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 | | | | | | | | |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. | | | | | | | | |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 | | | | | | | | |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. |
| 1 | S | -182.60 | 596.40 | | | 2.370 | 95.5 | 0.21 | 0.71 35.3 (19.2) |

16.6.4 Soletta di collegamento pali, verifica a taglio

Per l'armatura a taglio sono previsti ganci $\Phi = 16$ mm ogni 40x40 cm la cui sezione è ampiamente superiore a quella minima necessaria determinata con la relazione:

$$A_{sw,min} = \frac{V_{Ed}}{0.9 \cdot d \cdot f_{yd} \cdot \cot\theta} = 4.04 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{con } \cot\theta = 2.5.$$

16.6.5 Paramento verticale, verifica a presso-flessione

Per il paramento verticale si assume la seguente armatura:

- Tratto iniziale oltre 2.45 da base paramento (armatura tipo B):
 $A_s = 1\Phi 20/20$ cm (zona tesa) $A'_s = 1\Phi 20/20$ cm (zona compressa)
- Tratto nei primi 2.45m da lase paramento (armatura tipo A)
 $A_s = 1\Phi 30/20$ cm $A'_s = 1\Phi 20/20$ cm

Si riportano di seguito le verifiche per la condizione statica e per la condizione sismica.

16.6.5.1 Condizione statica

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 75.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø30 | (35.3 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø20 | (15.7 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 6.7 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 6.7 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 6.7 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | | |
|---------|--|--------|--------|------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) | | | |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione | | | |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale | | | |
| MT | Momento torcente [kN m] | | | |
| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
| 1 | 0.00 | 777.60 | 203.10 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

| | | |
|--|------|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.2 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 18.7 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 5.2 | cm |

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

| | | | | | | | | | |
|----------|---|---|----|------|-------|----------|----|-----|--------|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | | | | | | | | |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) | | | | | | | | |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) | | | | | | | | |
| Mx rd | Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000 | | | | | | | | |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. | | | | | | | | |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45 | | | | | | | | |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| | | | | | | | | | | |
|---|---|------|--------|------|--------|-------|------|------|------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 777.60 | 0.12 | 888.97 | 1.143 | 66.6 | 0.12 | 0.70 | 35.3 (11.4) |
|---|---|------|--------|------|--------|-------|------|------|------|-------------|

16.6.5.2 Condizione sismica

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 75.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø30 | (35.3 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø20 | (15.7 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 6.7 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 6.7 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 6.7 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | | |
|---------|--|--------|--------|------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) | | | |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione | | | |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale | | | |
| MT | Momento torcente [kN m] | | | |
| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
| 1 | 0.00 | 322.30 | 161.70 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

| | | |
|--|------|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.2 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 18.7 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 5.2 | cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | | | | | | | | | | |
|----------|--|------|--------|------|-------|----------|------|------|--------|-------------|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | | | | | | | | | |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) | | | | | | | | | |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | | |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) | | | | | | | | | |
| Mx re | Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | | |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re,Mx re) e (N,Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 | | | | | | | | | |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. | | | | | | | | | |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 | | | | | | | | | |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] | | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
| 1 | S | 0.00 | 322.30 | | | 2.633 | 54.8 | 0.30 | 0.81 | 35.3 (11.4) |

16.6.6 Paramento verticale, verifica a taglio

Di seguito si riporta la verifica a taglio in assenza di armatura specifica.

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC] |
| d | Altezza utile sezione [cm] |
| bw | Larghezza minima sezione [cm] |
| Ro | Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02] |
| Scp | Tensione media di compressione nella sezione [Mpa] |

| N°Comb | Ver | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 203.10 | 315.10 | 68.3 | 100.0 | 0.0052 | 0.00 |

16.7 VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STRUTTURALE

Nel seguito si riportano le verifiche delle tensioni e di fessurazione in riferimento alle sollecitazioni riportate al paragrafo 16.3.2, 16.3.3, 16.3.4.

16.7.1 Palificata

Per la palifica si riportata la verifica del solo palo di valle essendo il più sollecitato.

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

| | N | Mx |
|---------|---|--------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |
| N°Comb. | N | Mx |
| 1 | 687.32 | 0.00 |
| 2 | 2122.36 | -3.82 |
| 3 | 2122.19 | 0.00 |
| 4 | 1777.62 | -86.00 |

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

| | N | Mx |
|---------|---|---------------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |
| N°Comb. | N | Mx |
| 1 | 631.07 | 0.00 (0.00) |
| 2 | 1999.60 | -4.84 (0.00) |
| 3 | 1999.39 | 0.00 (0.00) |
| 4 | 1680.62 | -78.39 (0.00) |

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

| | N | Mx |
|---------|---|---------------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |
| N°Comb. | N | Mx |
| 1 | 594.04 | 0.00 (0.00) |
| 2 | 1911.71 | -4.48 (0.00) |
| 3 | 1911.48 | 0.00 (0.00) |
| 4 | 1608.25 | -73.81 (0.00) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|------|------|------|-------|------|-------|-----|---|-----|------|
| 1 | S | 1.22 | 40.0 | 1.22 | -40.0 | 18.3 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 2 | S | 3.83 | 40.0 | 3.70 | -40.0 | 55.7 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 3 | S | 3.76 | 40.0 | 3.76 | -40.0 | 56.5 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 4 | S | 4.63 | 40.0 | 1.67 | -40.0 | 29.5 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm Distanza massima in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|---------|----|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00009 | 0.00009 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 2 | S | 0.00029 | 0.00028 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 3 | S | 0.00028 | 0.00028 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 4 | S | 0.00035 | 0.00013 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 1.12 | 40.0 | 1.12 | -40.0 | 16.8 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 2 | S | 3.63 | 40.0 | 3.46 | -40.0 | 52.2 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 3 | S | 3.55 | 40.0 | 3.55 | -40.0 | 53.2 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 4 | S | 4.33 | 40.0 | 1.63 | -40.0 | 28.5 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|---------|----|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00008 | 0.00008 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 2 | S | 0.00027 | 0.00026 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 3 | S | 0.00027 | 0.00027 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 4 | S | 0.00032 | 0.00012 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 1.05 | 40.0 | 1.05 | -40.0 | 15.8 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 2 | S | 3.47 | 40.0 | 3.31 | -40.0 | 49.9 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 3 | S | 3.39 | 40.0 | 3.39 | -40.0 | 50.9 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 4 | S | 4.12 | 40.0 | 1.58 | -40.0 | 27.5 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----|----|----|----|----|------|-----|----|---------|
|--------|-----|----|----|----|----|----|------|-----|----|---------|

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| | | | | | | | | | |
|---|---|---------|---------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | S | 0.00008 | 0.00008 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 2 | S | 0.00026 | 0.00025 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 3 | S | 0.00025 | 0.00025 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 4 | S | 0.00031 | 0.00012 | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |

16.7.2 Soletta di fondazione

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|---------|--------|
| 1 | -160.39 | 490.68 |
| 2 | 2.71 | -2.42 |
| 3 | -151.34 | 553.46 |
| 4 | 2.71 | -2.42 |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|---------|------------------|
| 1 | -142.67 | 430.68 (777.66) |
| 2 | 2.66 | -1.96 (-1168.08) |
| 3 | -142.13 | 491.75 (784.31) |
| 4 | 2.66 | -1.96 (-1168.08) |

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

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|---------|------------------|
| 1 | -129.85 | 390.11 (777.41) |
| 2 | 2.42 | -1.69 (-1197.16) |
| 3 | -121.54 | 449.59 (787.29) |
| 4 | -108.05 | -8.85 (-216.12) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sc min Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa]
Yc min Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa]
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Dw Eff. Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre
Ac eff. Area di congl. [cm²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.)
As eff. Area Barre tese di acciaio [cm²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.)
D barre Distanza in cm tra le barre tese efficaci.
(D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2)

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 2.60 | 120.0 | 0.00 | 96.5 | -151.5 | 114.8 | 13.0 | 1300 | 35.3 | 22.4 |
| 2 | S | 0.01 | 0.0 | 0.00 | 74.1 | -0.3 | 5.2 | 13.0 | 1300 | 22.6 | 22.4 |
| 3 | S | 2.97 | 120.0 | 0.00 | 95.8 | -166.9 | 114.8 | 13.0 | 1300 | 35.3 | 22.4 |
| 4 | S | 0.01 | 0.0 | 0.00 | 74.1 | -0.3 | 5.2 | 13.0 | 1300 | 22.6 | 22.4 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver Esito verifica
e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm Distanza massima in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|----------|
| 1 | S | -0.00080 | 0.00020 | 0.50 | 0.60 | 0.000454 (0.000454) | 313 | 0.142 (990.00) | 778.35 |
| 2 | S | 0.00000 | 0.00000 | 0.50 | 0.60 | 0.000001 (0.000001) | 370 | 0.000 (990.00) | -1084.52 |
| 3 | S | -0.00088 | 0.00022 | 0.50 | 0.60 | 0.000501 (0.000501) | 313 | 0.157 (990.00) | 786.79 |
| 4 | S | 0.00000 | 0.00000 | 0.50 | 0.60 | 0.000001 (0.000001) | 370 | 0.000 (990.00) | -1084.52 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 2.28 | 120.0 | 0.00 | 96.5 | -133.2 | 114.8 | 13.0 | 1300 | 35.3 | 22.4 |
| 2 | S | 0.01 | 0.0 | 0.00 | 77.3 | -0.2 | 5.2 | 13.0 | 1300 | 22.6 | 22.4 |
| 3 | S | 2.63 | 120.0 | 0.00 | 96.0 | -149.3 | 114.8 | 13.0 | 1300 | 35.3 | 22.4 |
| 4 | S | 0.01 | 0.0 | 0.00 | 77.3 | -0.2 | 5.2 | 13.0 | 1300 | 22.6 | 22.4 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|----------|
| 1 | S | -0.00070 | 0.00017 | 0.50 | 0.60 | 0.000400 (0.000400) | 313 | 0.125 (0.30) | 777.66 |
| 2 | S | 0.00000 | 0.00000 | 0.50 | 0.60 | 0.000001 (0.000001) | 370 | 0.000 (0.30) | -1168.08 |
| 3 | S | -0.00079 | 0.00020 | 0.50 | 0.60 | 0.000448 (0.000448) | 313 | 0.140 (0.30) | 784.31 |
| 4 | S | 0.00000 | 0.00000 | 0.50 | 0.60 | 0.000001 (0.000001) | 370 | 0.000 (0.30) | -1168.08 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 2.07 | 120.0 | 0.00 | 96.5 | -120.7 | 114.8 | 13.0 | 1300 | 35.3 | 22.4 |
| 2 | S | 0.01 | 0.0 | 0.00 | 78.3 | -0.2 | 5.2 | 13.0 | 1300 | 22.6 | 22.4 |
| 3 | S | 2.42 | 120.0 | 0.00 | 95.8 | -135.4 | 114.8 | 13.0 | 1300 | 35.3 | 22.4 |
| 4 | S | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 120.0 | -27.5 | 5.2 | 26.0 | 2600 | 58.0 | 22.4 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----|----|----|----|------|-----|----|---------|
|--------|-----|----|----|----|----|------|-----|----|---------|

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| | | | | | | | | | |
|---|---|----------|----------|------|------|---------------------|-----|--------------|----------|
| 1 | S | -0.00064 | 0.00015 | 0.50 | 0.40 | 0.000362 (0.000362) | 313 | 0.113 (0.20) | 777.41 |
| 2 | S | 0.00000 | 0.00000 | 0.50 | 0.40 | 0.000000 (0.000000) | 370 | 0.000 (0.20) | -1197.16 |
| 3 | S | -0.00072 | 0.00018 | 0.50 | 0.40 | 0.000429 (0.000406) | 313 | 0.134 (0.20) | 787.29 |
| 4 | S | -0.00014 | -0.00006 | 0.72 | 0.40 | 0.000082 (0.000082) | 427 | 0.035 (0.20) | -216.12 |

16.7.3 Paramento verticale

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

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|--------|
| 1 | 209.80 | 310.76 |

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

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

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|-----------------|
| 1 | 202.60 | 266.00 (374.10) |

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

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

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|--------|-----------------|
| 1 | 197.28 | 241.24 (377.14) |

N Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.)
Mx Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00067 | 0.00033 | 0.50 | 0.60 | 0.000351 (0.000351) | 419 | 0.147 (990.00) | 369.50 |

Ver Esito verifica
e1 Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata
e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2 = 0.5 per flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm Distanza massima in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 3.81 | 75.0 | 0.00 | 49.7 | -97.3 | 68.3 | 16.6 | 1658 | 35.3 | 21.7 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00056 | 0.00029 | 0.50 | 0.60 | 0.000292 (0.000292) | 416 | 0.121 (0.30) | 374.10 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 3.46 | 75.0 | 0.00 | 49.4 | -86.6 | 68.3 | 16.5 | 1647 | 35.3 | 21.7 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00050 | 0.00026 | 0.50 | 0.40 | 0.000260 (0.000260) | 414 | 0.108 (0.20) | 377.14 |

16.8 VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTI

Gli spostamenti orizzontali e verticali ottenuti in combinazioni SLE quasi permanente sono indicati rispettivamente in Figura 57 e in Figura 58; risulta:

- spostamento massimo orizzontale di circa 1.6 cm;
- spostamento verticale sotto la fondazione del muro è pari a 3.1 cm.

Tali spostamenti risultano compatibili con la funzionalità dell'opera.

16.9 VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE DELLA SOLETTA DI FONDAZIONE DEL MURO

Nella seguente tabella si riassumono le verifiche di capacità portante condotte in accordo con quanto al §11.3; in particolare si riporta l'indice di sicurezza IS valutato in accordo a quanto riportato al §12.4 per le combinazioni di calcolo individuate al §16.5.1.

Tabella 16-37: Indice di sicurezza nei confronti della capacità portante

| | N_{Ed} [kN/m] | p_d [kPa] | R_d [kN/m] | IS |
|-------------|-----------------|-------------|--------------|------|
| ST01 | 2612.2 | 559.8 | 5709.7 | 0.46 |
| EC02 | 1982.6 | 495.5 | 4775.1 | 0.42 |
| SS03 | 2033.3 | 471.2 | 4607.7 | 0.44 |
| SS04 | 1932.0 | 474.0 | 4613.6 | 0.42 |

La verifica risulta soddisfatta.

16.10 VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE (GEO_STAB)

L'analisi di stabilità dell'insieme terreno-opera è stata effettuata in accordo con quanto riportato al §11.3.3.

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti di sicurezza ottenuti con il metodo dell'equilibrio limite mediante il modulo "Slope W" del programma GeoStudio 2019, e a seguire le figure con le corrispondenti superfici di scorrimento critiche.

Tabella 38: Coefficienti di sicurezza nei confronti della stabilità globale con il metodo all'equilibrio limite.

| | | F.S. | | F.S. richiesto γ_R | |
|--|---------------------------|-------|---|------------------------------|-----------|
| SLU/GEO_stab (A ₂ +M ₂ +R ₂) | Combinazione fondamentale | 2.752 | ≥ | 1.1 | Figura 65 |
| SLV/GEO_stab (A ₂ +M ₂ +R ₂) | $k_h=0.057, k_v=0.028$ | 2.808 | | 1.2 | Figura 66 |
| | $k_h=0.057, k_v=-0.028$ | 2.710 | | 1.2 | Figura 67 |

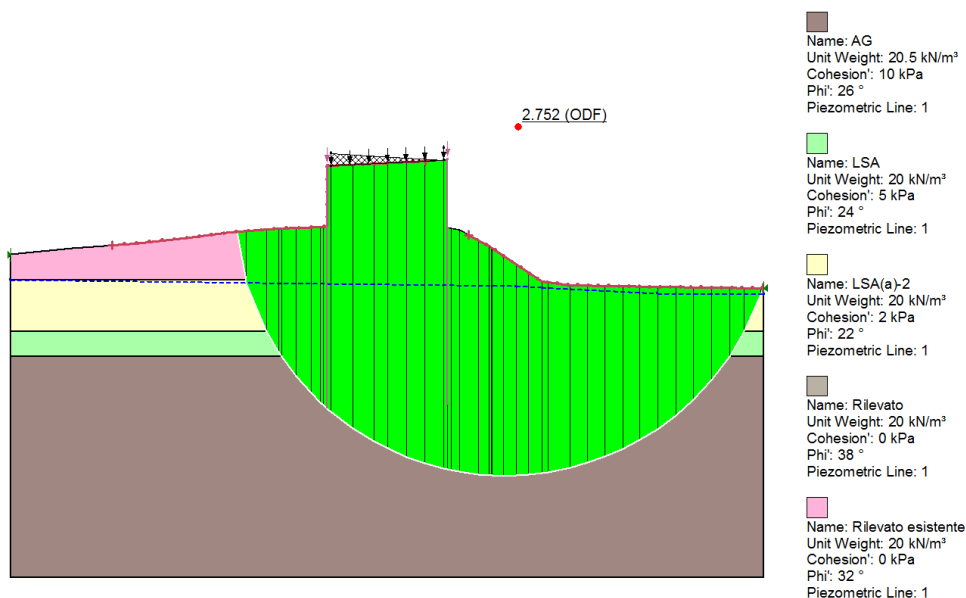


Figura 65: SLU(SLV)/GEO_stab A₂+M₂+R₂-Combinazione fondamentale - Superficie di scorrimento critica

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

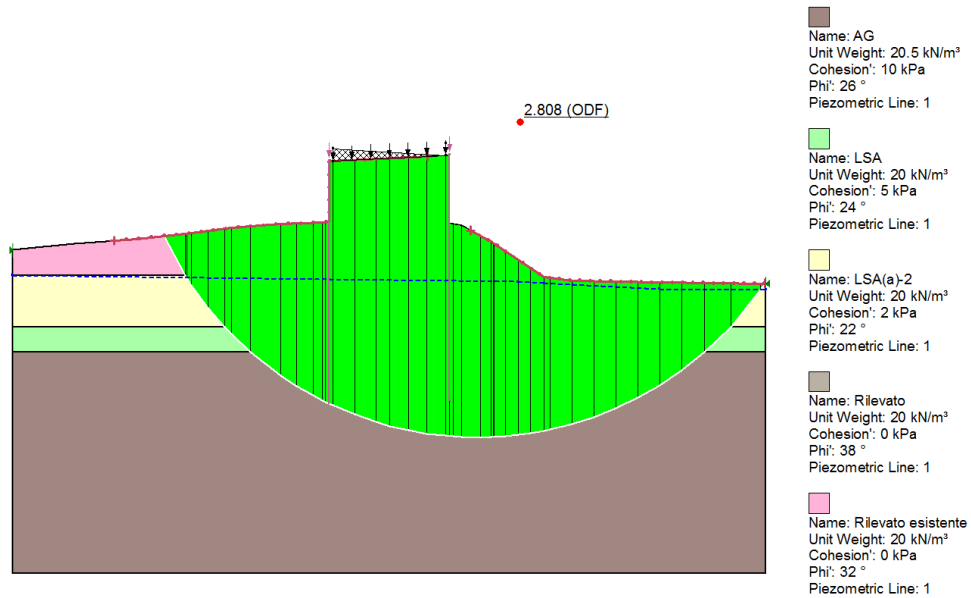


Figura 66: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica ($k_v > 0$)- Superficie di scorrimento critica

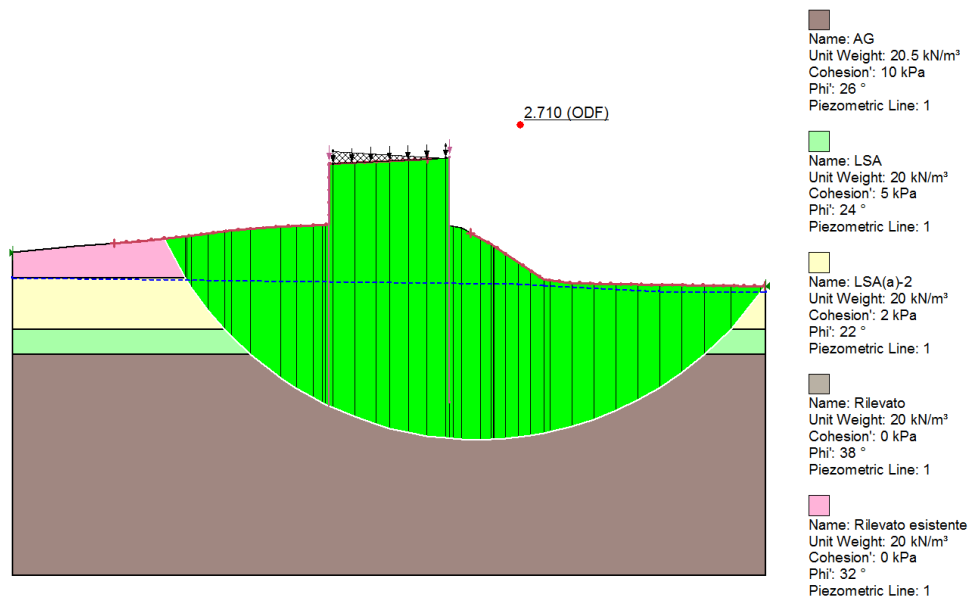


Figura 67: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica ($k_v < 0$) - Superficie di scorrimento critica

17 TRATTO D - SEZIONE 11A

Il modello di calcolo Plaxis è riportato nella figura seguente.

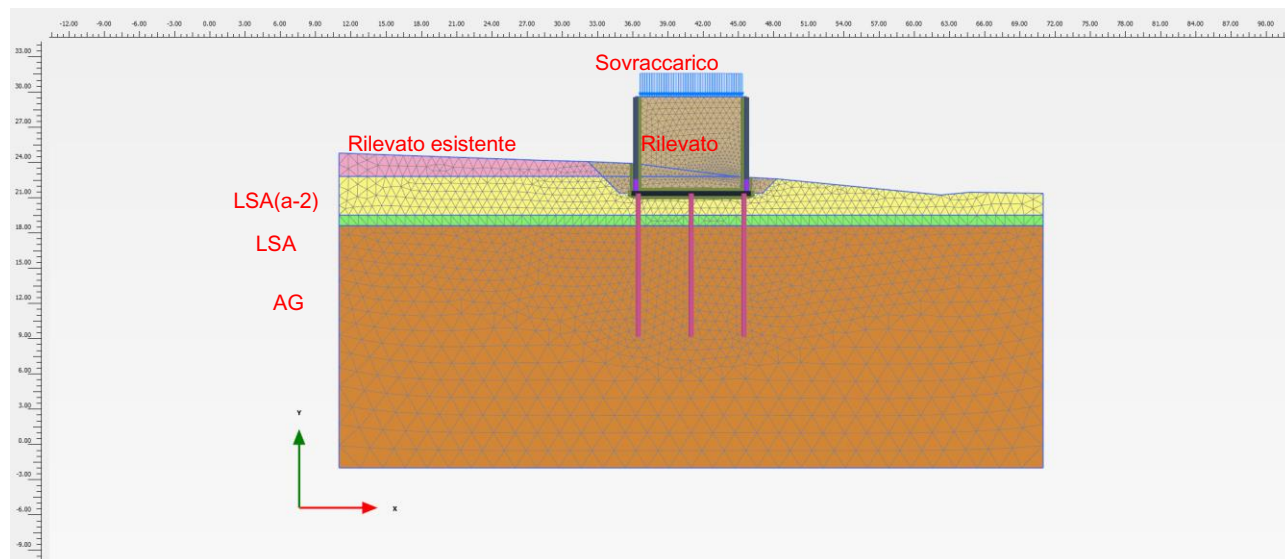


Figura 68: Sezione 11A. Modello di calcolo Plaxis

17.1 DATI DI INPUT DEI MATERIALI E LIVELLI PIEZOMETRICI ADOTTATI

I parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni Plaxis per i diversi materiali sono riportati nella tabella seguente. Per il terreno naturale si è considerato un modello costitutivo Hardening-soil con comportamento drenato in condizioni statiche e non drenato in condizioni sismiche (undrained A). Per il rilevato si è considerato un modello Mohr-Coulomb con comportamento drenato.

Tabella 39: Parametri geotecnici assunti nelle elaborazioni Plaxis.

| Material model | Model | Unit | LSA(a-1) | LSA(a-2) | LSA | AG | Rilevato | Rilevato esistente |
|--|-----------------------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| General | | | | | | | | |
| Material model | Model | - | Hard. soil | Hard. soil | Hard. soil | Hard. soil | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Type of material behaviour | Type | - | Undrained A | Undrained A | Undrained A | Undrained A | Drained | Drained |
| Soil unit weight above phreatic level | γ_{unsat} | kN/m ³ | 20 | 20 | 20 | 20.5 | 20 | 20 |
| Soil unit weight below phreatic level | γ_{sat} | kN/m ³ | 20 | 20 | 20 | 20.5 | 20 | 20 |
| Initial void ratio | e_{init} | - | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Parameters | | | | | | | | |
| Young's modulus (constant) | E' | MPa | | | | | 50 | 40 |
| Secant stiffness in standard drained triaxial test | E_{50}^{ref} | MPa | 25 | 25 | 25 | 35 | | |
| Tangent stiffness for primary oedometer loading | E_{oed}^{ref} | MPa | 25 | 25 | 25 | 35 | | |
| Unloading / reloading stiffness | E_{ur}^{ref} | MPa | 75 | 75 | 75 | 105 | | |
| Power for stress-level dependency of stiffness | m | - | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | | |
| Cohesion | c' | kPa | 0 | 2 | 5 | 15 | 0 | 0 |
| Friction angle | φ' | ° | 20 | 22 | 24 | 26 | 38 | 35 |
| Dilatancy angle | ψ | ° | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Poisson's ratio | $\nu' \cdot \nu_{ur}$ | - | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | | |
| K_0 -value for normal consolidation | k_o^{nc} | - | $1 - \sin \varphi'$ | $1 - \sin \varphi'$ | $1 - \sin \varphi'$ | $1 - \sin \varphi'$ | $1 - \sin \varphi'$ | $1 - \sin \varphi'$ |
| Groundwater | | | | | | | | |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Permeability in horizontal direction | k_x | m/day | $4.32 \cdot 10^{-3}$ | $4.32 \cdot 10^{-3}$ | $4.32 \cdot 10^{-3}$ | $4.32 \cdot 10^{-4}$ | 0.864 | 0.864 |
| Permeability in vertical direction | k_y | m/day | $8.64 \cdot 10^{-4}$ | $8.64 \cdot 10^{-4}$ | $8.64 \cdot 10^{-4}$ | $8.64 \cdot 10^{-5}$ | 0.864 | 0.864 |
| Interfaces- | | | | | | | | |
| Interface strength | — | Manual | Manual | Manual | Manual | Manual | Manual | Manual |
| Strength reduction factor inter. | R_{inter} | 0.5 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| Initial | | | | | | | | |
| K_0 determination | — | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic |
| Over-consolidation ratio | OCR | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 5 | - | - |

La falda si assume:

- Condizione statica: -0.5 m da p.c.
- Condizione simica: -1.5 m da p.c.

I dati di input per i pali di consolidamento, rappresentati nel modello con elemento "Embedded beam", sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 40: Dati di input elementi strutturali schematizzati come "embedded beam". Doppia fila di pali.

| Parameter | Name | Unit | | |
|----------------------------------|---------------|-------------------|--------------------|-------|
| Pali | | | Elastic; Isotropic | |
| Young's Modulus | E | kPa | 30 000 000 | |
| Unit weight of the beam material | γ | kN/m ³ | 5 | |
| Diameter | D | m | 0.8 | |
| Spacing of embedded beam | $L_{spacing}$ | m | 4.0 | |
| Axial skin Resistance | Multi-Linear | kN/m | 0.0-5.6 m | 100.5 |
| | | | 5.6-7.6 m | 150.7 |
| | | | da 7.6 | 216.3 |
| Base resistance | Fmax | kN | 1174 | |

I dati di input per il paramento e la soletta di fondazione rappresentati nel modello con elemento "Plate", sono indicati nella tabella seguente.

Tabella 41: Dati di input elementi strutturali schematizzati come "Plate".

| Parameter | Name | Unit | | |
|-------------------|-------|------|--------------------|--|
| Cordolo | | | | |
| Type of behaviour | | | Elastic; Isotropic | |
| Normal stiffness | EA | | 39 404 400 | |
| Flexural rigidity | EI | | 4 728 528 | |
| Unit weight | w | | 30 | |
| Poisson's ratio | ν | | 0.12 | |
| Paramento | | | | |
| Type of behaviour | | | Elastic; Isotropic | |
| Normal stiffness | EA | | 24 627 750 | |
| Flexural rigidity | EI | | 1 154 426 | |
| Unit weight | w | | 18.75 | |
| Poisson's ratio | ν | | 0.12 | |

17.2 DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO

Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale e riproducono in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera e condizioni di verifica. La fase di costruzione del rilevato viene simulata mediante l'attivazione dei cluster di terreno corrispondenti, mentre la messa in opera degli elementi strutturali (paramento verticale e soletta di fondazione del muro e pali di consolidamento) viene simulata attivando i relativi elementi strutturali.

Le fasi di calcolo considerate sono riportate nel seguito.

Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -0.5 m da p.c. (Figura 69)

Fase 2. Realizzazione del rilevato e della paratia di pali (Figura 70)

Stati limite di esercizio SLE

Fase 3. SLE-Combinazione caratteristica (rara). Applicazione del sovraccarico accidentale di valore 20 kPa sulla sede stradale (Figura 71)

Fase 4. SLE-Combinazione frequente

Fase 5. SLE-Combinazione quasi permanente

Stati limite ultimi STR

Fase 6. SLU/STR A1+M1+R1, applicazione del sovraccarico stradale

Fase 7. SLU/STR_{ecc} A1+M1+R1, applicazione delle azioni dovute al sicurvia

Fase 8. SLV/STR A1+M1+R1, applicazione del sisma

Stati limite ultimi GEO

Fase 9. SLU/GEO A2+M2+R1, applicazione del sovraccarico stradale

Fase 10. SLU/GEO_{ecc} A2+M2+R1, applicazione delle azioni dovute al sicurvia

Fase 11. SLV/GEO A2+M2+R1, applicazione del sisma.

Stati limite ultimi GEO_{stab} (stabilità)

Fase 12. SLU/GEO_{stab} A2+M2+R2, applicazione del sovraccarico stradale

Fase 13. SLV/GEO_{stab} A2+M2+R2, applicazione del sisma

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

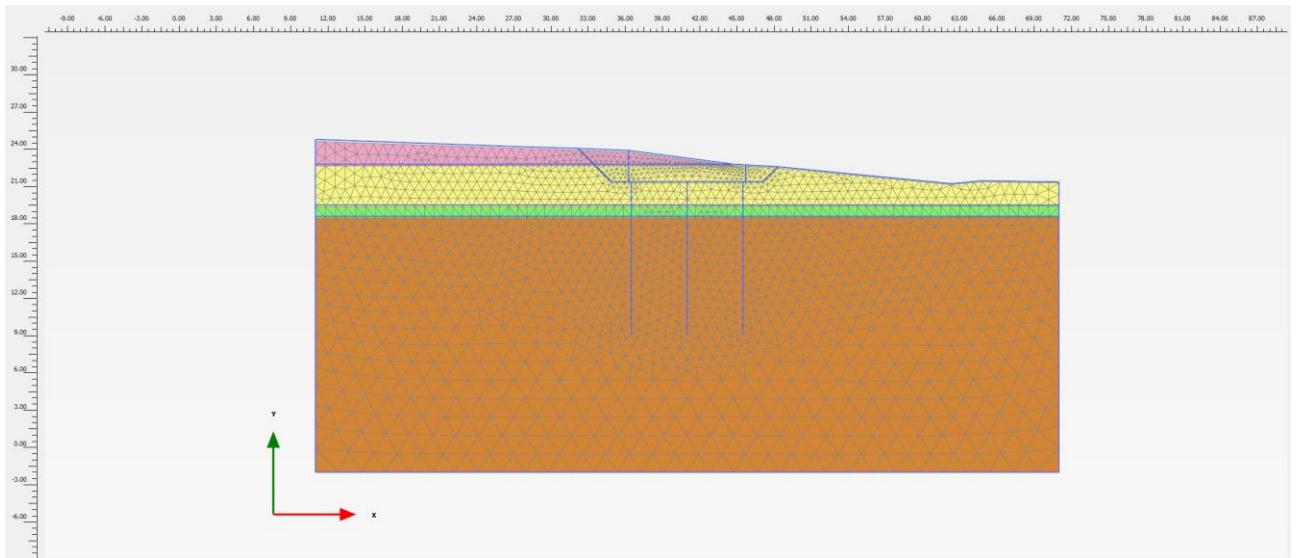


Figura 69: Fase 1. Fase geostatica iniziale con falda a -0.5 m da p.c.

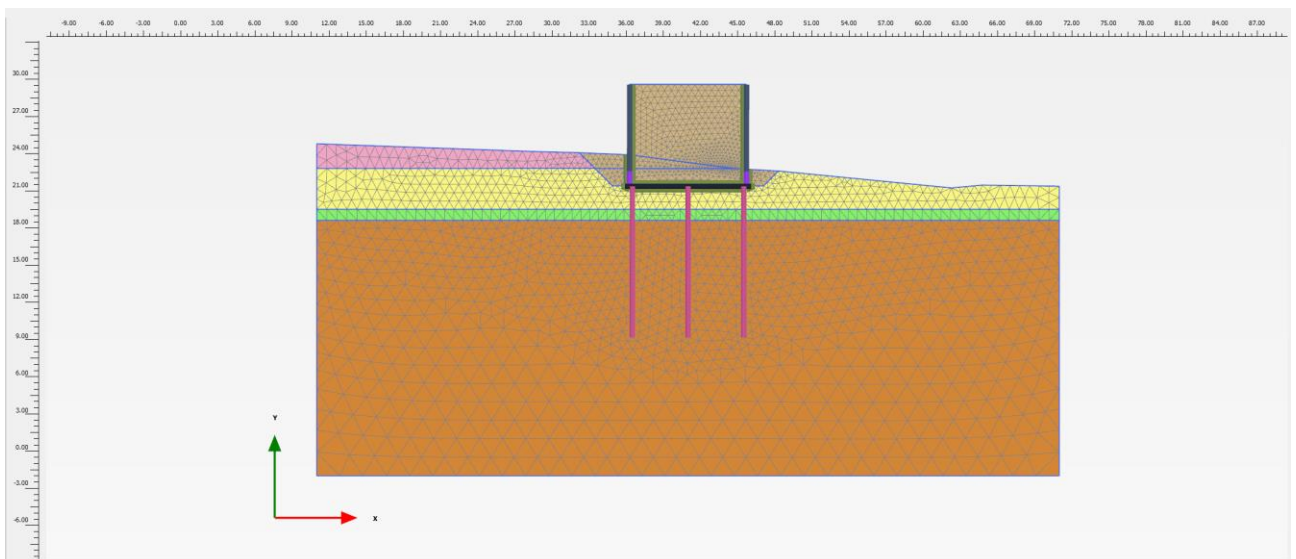


Figura 70: Fase 2. Realizzazione del rilevato e della paratia di pali

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

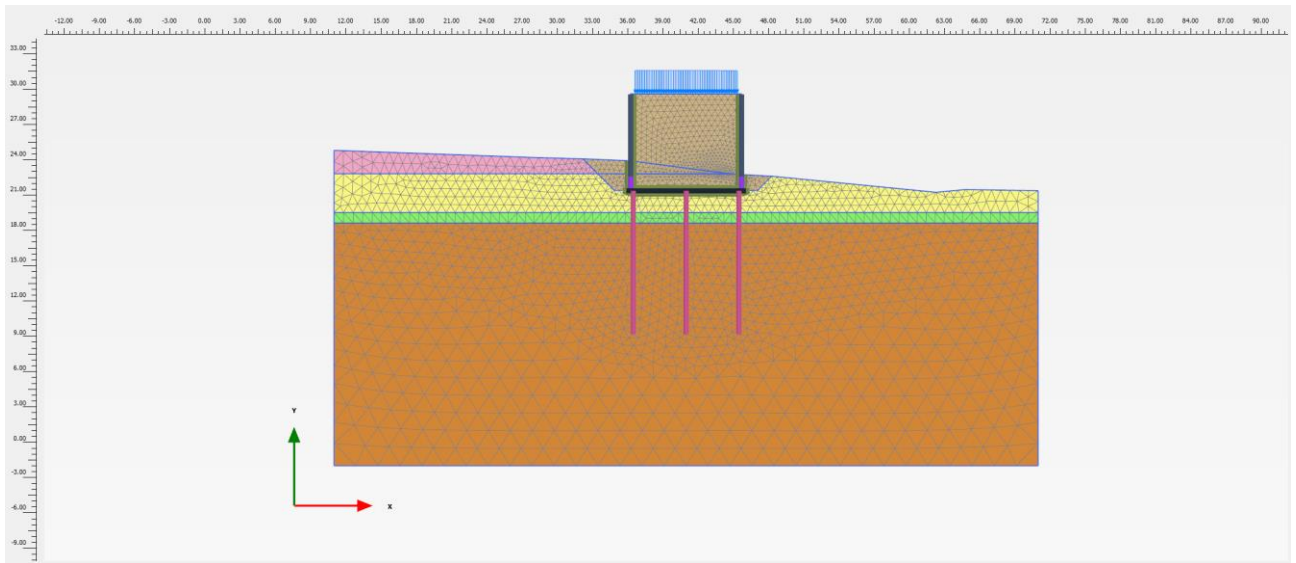


Figura 71: Fase 3. SLE-Combinazione caratteristica

17.3 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di:

- spostamenti;
- sollecitazioni sugli elementi strutturali.

17.3.1 SLE, spostamenti

Di seguito si riportano le mappe degli spostamenti orizzontali e verticali per gli SLE quasi permanente.

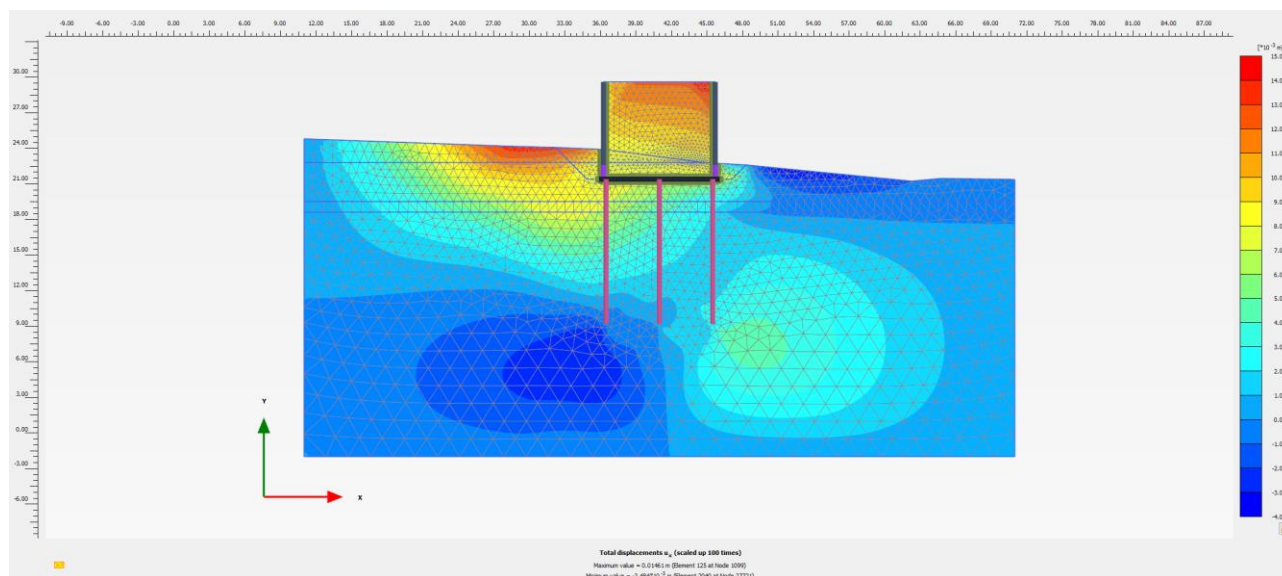


Figura 72: SLE-Combinazione quasi permanente – Spostamenti orizzontali

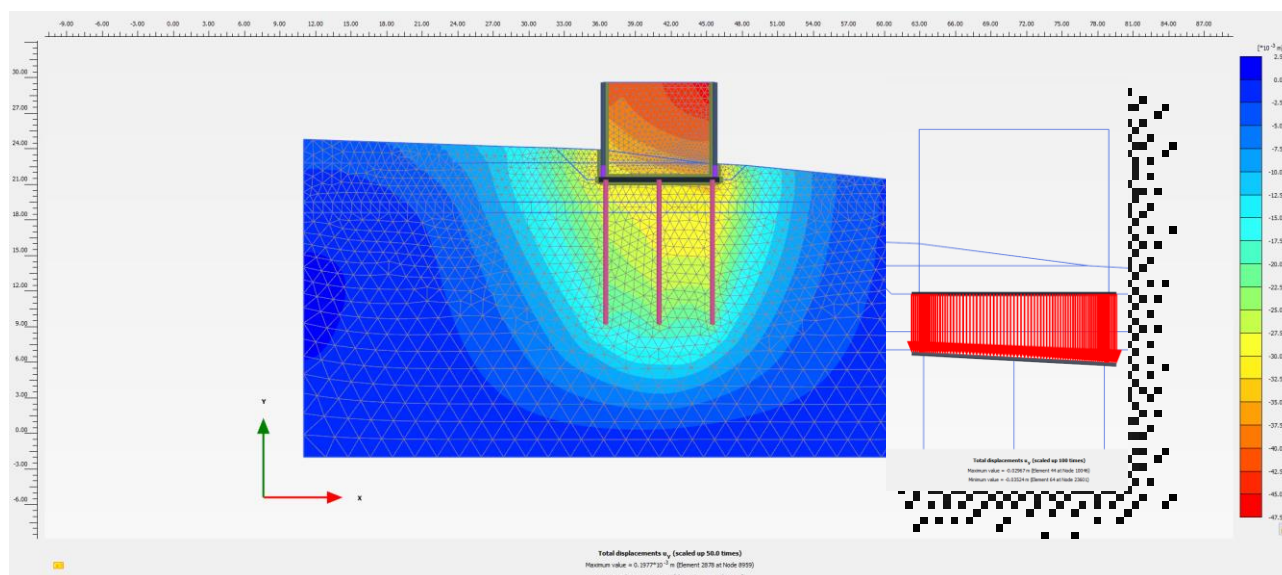


Figura 73: SLE-Combinazione quasi permanente – Spostamenti verticali

17.3.2 SLE, Sollecitazioni pali

Le sollecitazioni in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sui pali lato valle, centrale e lato monte sono diagrammate in funzione della profondità in Figura 74, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 42: SLE-Pali. Sollecitazioni

| Palo di valle | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sollecitazione Significativa | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N _{max} ; M) | 12.20 | -697.65 | 0.00 | 12.20 | -654.34 | 0.00 | 12.20 | -623.86 | 0.00 |
| (N _{min} ; M) | 0.00 | -2458.22 | 0.00 | 0.00 | -2343.00 | 0.00 | 0.00 | -2263.75 | 0.00 |
| (N ; M _{max}) | 12.20 | -697.65 | 0.00 | 12.20 | -654.34 | 0.00 | 12.20 | -623.86 | 0.00 |
| (N ; M _{min}) | 3.45 | -2307.96 | -173.16 | 3.45 | -2203.86 | -165.66 | 3.45 | -2132.03 | -161.35 |

| Palo di monte | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sollecitazione Significativa | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N _{max} ; M) | 12.20 | -646.93 | 0.00 | 12.20 | -610.33 | 0.00 | 12.20 | -588.75 | 0.00 |
| (N _{min} ; M) | 0.00 | -2216.90 | 0.00 | 0.00 | -2104.61 | 0.00 | 0.00 | -2035.02 | 0.00 |
| (N ; M _{max}) | 3.28 | -2097.08 | 46.64 | 3.28 | -1992.22 | 44.89 | 3.28 | -1927.12 | 45.14 |
| (N ; M _{min}) | 11.19 | -878.96 | -0.61 | 11.36 | -798.96 | -0.41 | 11.36 | -774.44 | -0.26 |

| Palo centrale | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sollecitazione Significativa | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N _{max} ; M) | 12.20 | -558.03 | 0.00 | 12.20 | -529.43 | 0.00 | 12.20 | -510.84 | 0.00 |
| (N _{min} ; M) | 0.00 | -1904.23 | 0.00 | 0.00 | -1808.52 | 0.00 | 0.00 | -1741.72 | 0.00 |
| (N ; M _{max}) | 0.00 | -1904.23 | 0.00 | 0.00 | -1808.52 | 0.00 | 12.20 | -510.84 | 0.00 |
| (N ; M _{min}) | 3.79 | -1792.79 | -53.57 | 3.79 | -1703.30 | -51.34 | 3.79 | -1640.42 | -49.54 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

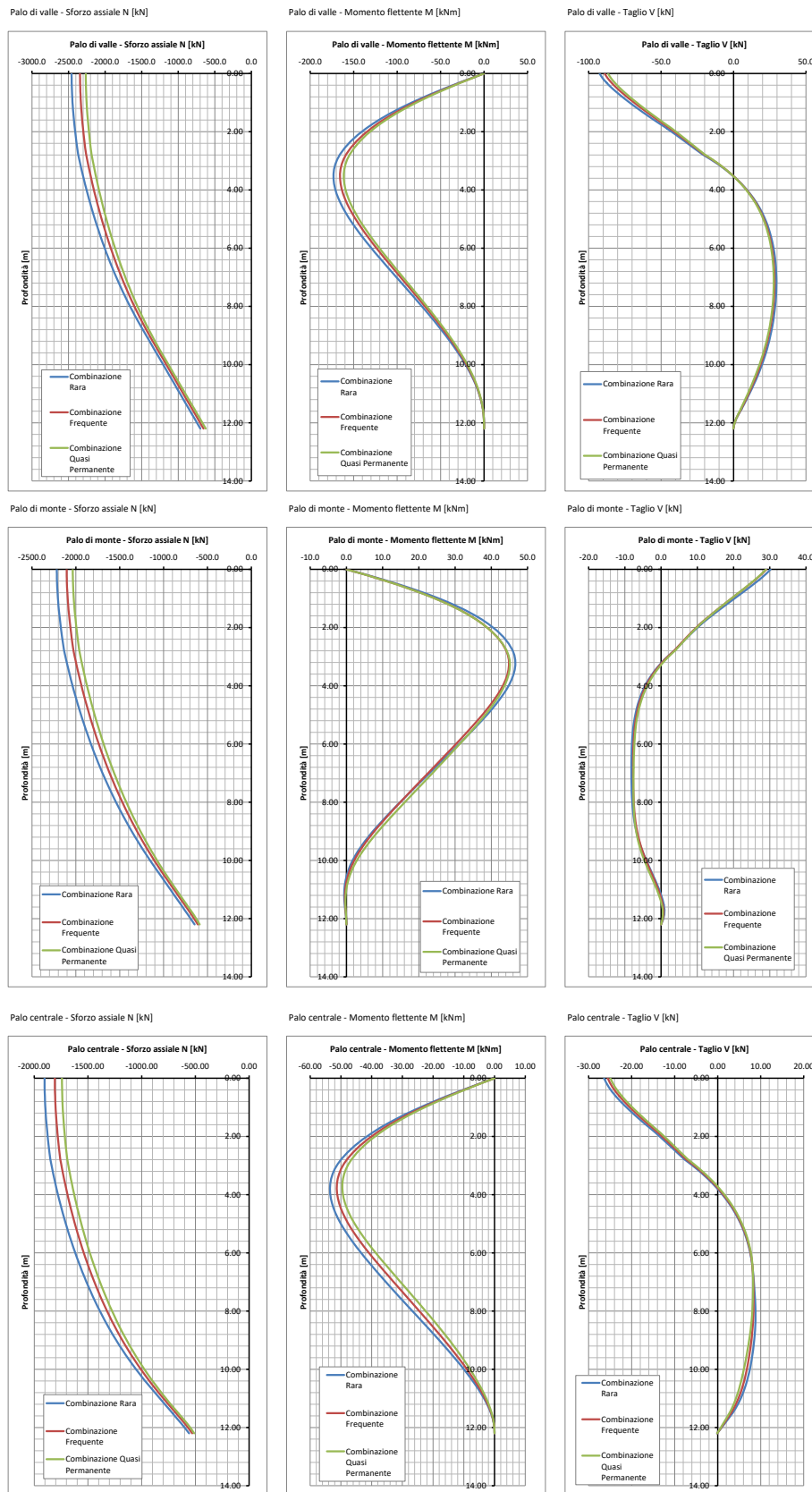


Figura 74: SLE-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

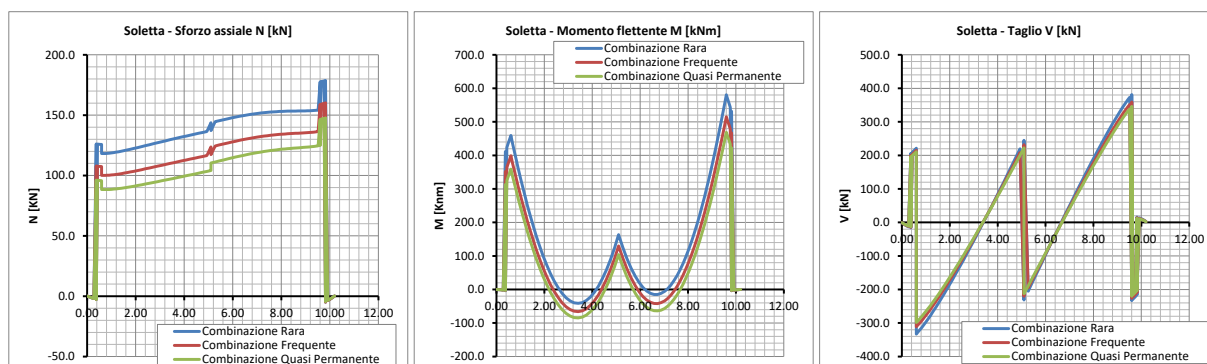
17.3.3 SLE, Sollecitazioni soletta di fondazione

Le sollecitazioni in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sulla soletta di collegamento dei pali sono diagrammate in Figura 75, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 43: SLE-Soletta di collegamento dei pali. Sollecitazioni

| Sollecitazione Significativa | Soletta | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N_{max} ; M) | 9.82 | 178.74 | 531.42 | 9.82 | 160.23 | 467.14 | 9.82 | 147.81 | 422.21 |
| (N_{min} ; M) | 9.82 | -4.94 | -3.94 | 9.82 | -4.96 | -3.50 | 9.82 | -4.65 | -3.16 |
| (N ; M_{max}) | 9.60 | 154.46 | 580.85 | 9.60 | 136.73 | 515.07 | 9.60 | 146.54 | 468.76 |
| (N ; M_{min}) | 3.41 | 129.62 | -41.42 | 3.41 | 109.97 | -66.07 | 3.41 | 97.00 | -84.89 |

Figura 75: SLE-Soletta di collegamento pali. Diagrammi delle sollecitazioni



17.3.4 SLE, Sollecitazioni sul paramento verticale

Le sollecitazioni relative al paramento più sollecitato in termini di momento flettente, sforzo normale e taglio sul paramento verticale sono diagrammate in Figura 76, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime.

Tabella 44: SLE-Paramento verticale. Sollecitazioni

| Sollecitazione Significativa | Paramento | | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| | Comb. Rara | | | Comb. Frequente | | | Comb. Quasi Permanente | | |
| | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] | Prof. [m] | Sforzo assiale N [kN] | Momento flettente M [kNm] |
| (N_{max} ; M) | 0.00 | -0.04 | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| (N_{min} ; M) | 7.01 | -215.21 | -336.01 | 7.01 | -207.90 | -291.41 | 7.01 | -201.59 | -261.92 |
| (N ; M_{max}) | 0.14 | -2.55 | 0.00 | 0.00 | -0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| (N ; M_{min}) | 7.01 | -215.21 | -336.01 | 7.01 | -207.90 | -291.41 | 7.01 | -201.59 | -261.92 |

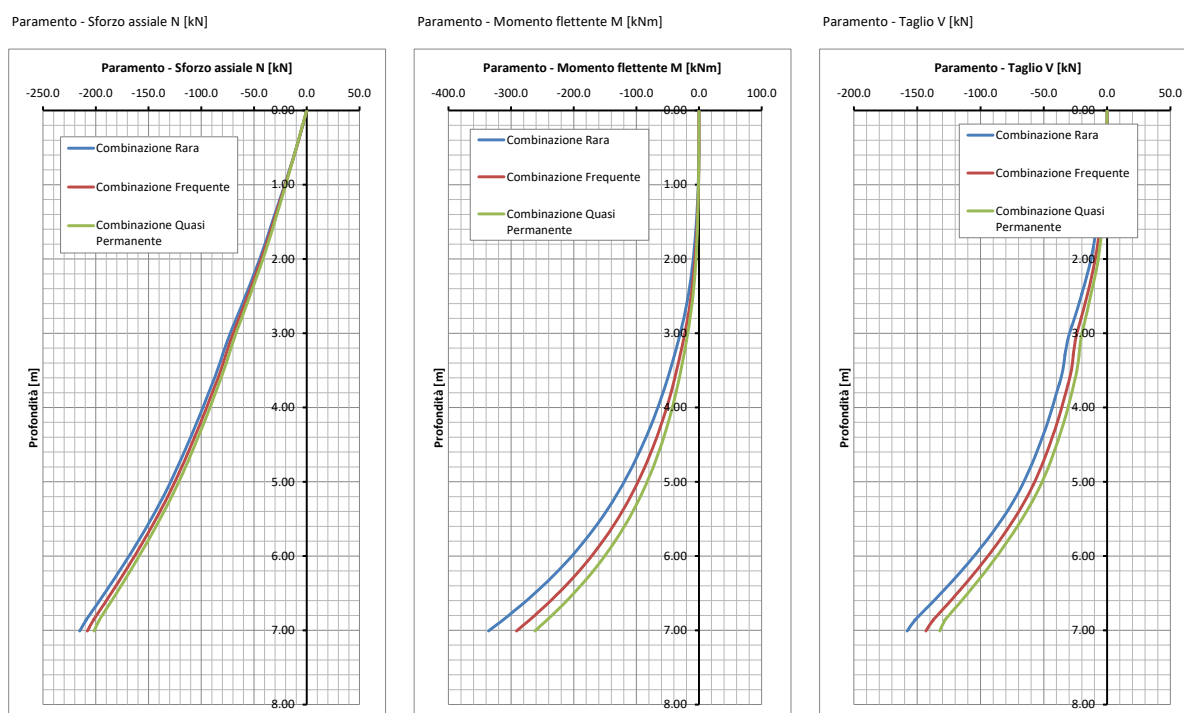


Figura 76: SLE-Paramento verticale. Diagrammi delle sollecitazioni

17.4 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI STRUTTURALI (STR)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati in termini di sollecitazioni allo stato limite ultimo di tipo strutturale (STR).

17.4.1 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali

Tabella 45: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Sollecitazioni

| | Palo di valle | | | | | |
|------------------|---------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
| A1+M1 (STR) | -920.2 | -3 230.0 | 0.0 | -227.1 | 38.8 | -121.0 |
| A1+M1 (STR) ecc | -753.4 | -2 624.5 | 0.0 | -199.7 | 34.1 | -104.7 |
| A1+M1 (STR) sism | -700.0 | -2 436.2 | 0.0 | -200.2 | 34.3 | -101.9 |
| | Palo di monte | | | | | |
| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
| A1+M1 (STR) | -853.2 | -2 918.2 | 61.4 | -0.8 | 39.7 | -10.8 |
| A1+M1 (STR) ecc | -612.7 | -2 086.9 | 26.4 | -2.8 | 18.7 | -5.6 |
| A1+M1 (STR) sism | -637.1 | -2 127.1 | 24.0 | -0.3 | 10.7 | -5.9 |
| | Palo centrale | | | | | |
| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
| A1+M1 (STR) | -734.8 | -2 506.5 | 0.0 | -70.2 | 11.6 | -34.5 |
| A1+M1 (STR) ecc | -558.7 | -1 892.6 | 0.0 | -72.7 | 12.3 | -34.9 |
| A1+M1 (STR) sism | -556.2 | -1 879.3 | 0.0 | -83.1 | 14.5 | -45.7 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

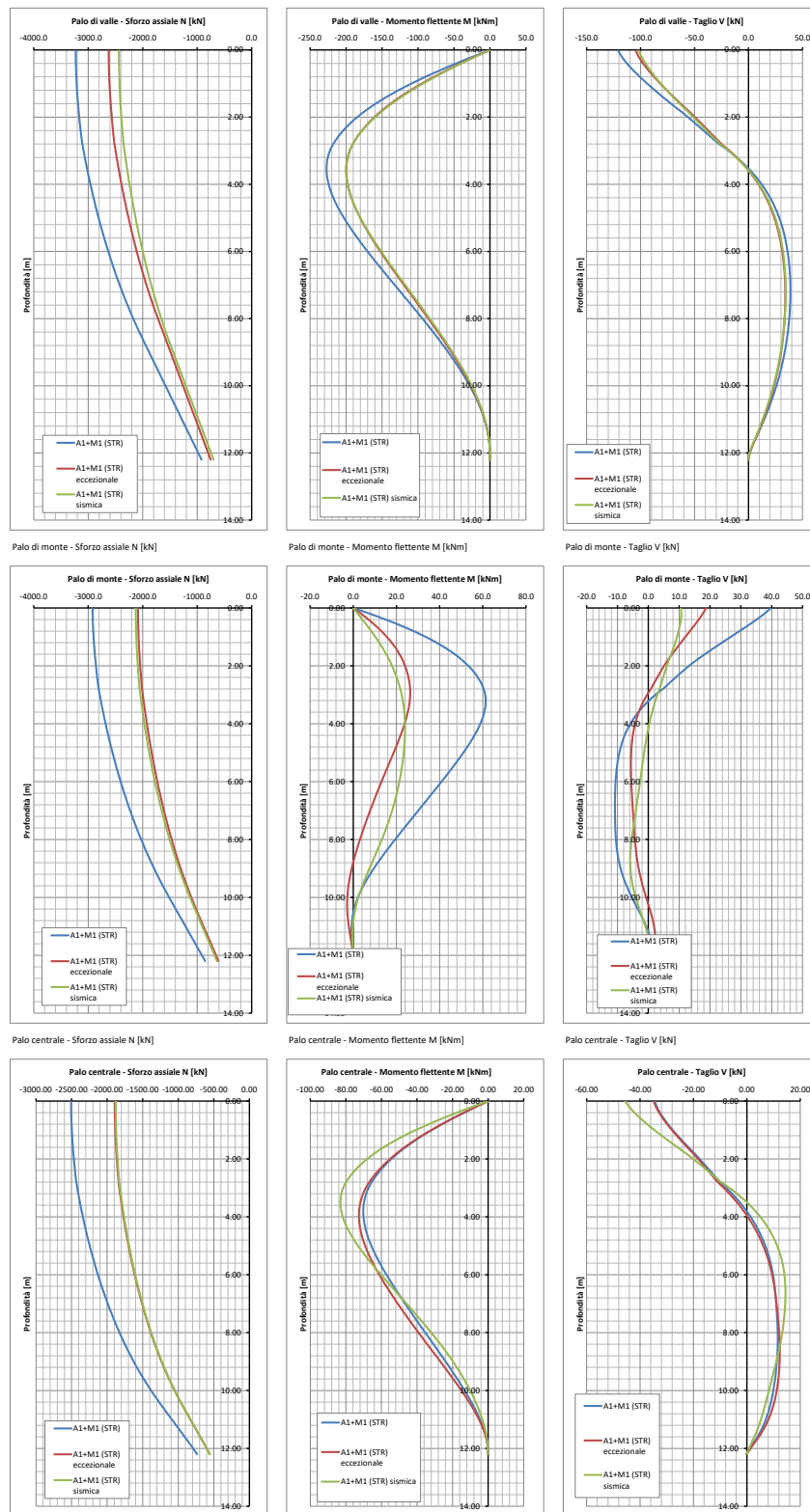


Figura 77: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

17.4.2 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni soletta di fondazione

Tabella 46: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Soletta di collegamento dei pali. Sollecitazioni

| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| A1+M1 (STR) | 237.7 | -6.4 | 770.5 | -50.2 | 502.5 | -439.9 |
| A1+M1 (STR) ecc | 185.7 | -5.2 | 913.6 | -5.5 | 401.1 | -275.4 |
| A1+M1 (STR) sism | 199.0 | -3.7 | 618.7 | -68.0 | 372.0 | -297.5 |

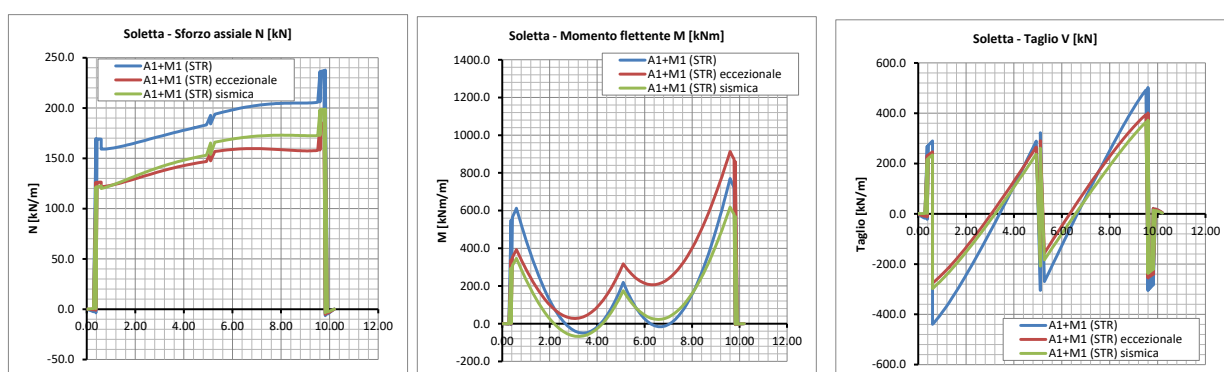


Figura 78: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Soletta di collegamento dei pali. Diagrammi delle sollecitazioni.

17.4.3 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 – Sollecitazioni paramento verticale

Tabella 47: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1- Paramento verticale. Sollecitazioni

| | Nmax kN | Nmin kN | Mmax kNm | Mmin kNm | Vmax kN | Vmin kN |
|------------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| A1+M1 (STR) | -0.1 | -281.7 | 0.0 | -447.0 | 0.1 | -209.3 |
| A1+M1 (STR) ecc | -1.3 | -251.2 | -59.9 | -658.9 | -54.3 | -167.9 |
| A1+M1 (STR) sism | 0.0 | -218.2 | 0.0 | -353.4 | -0.1 | -169.5 |

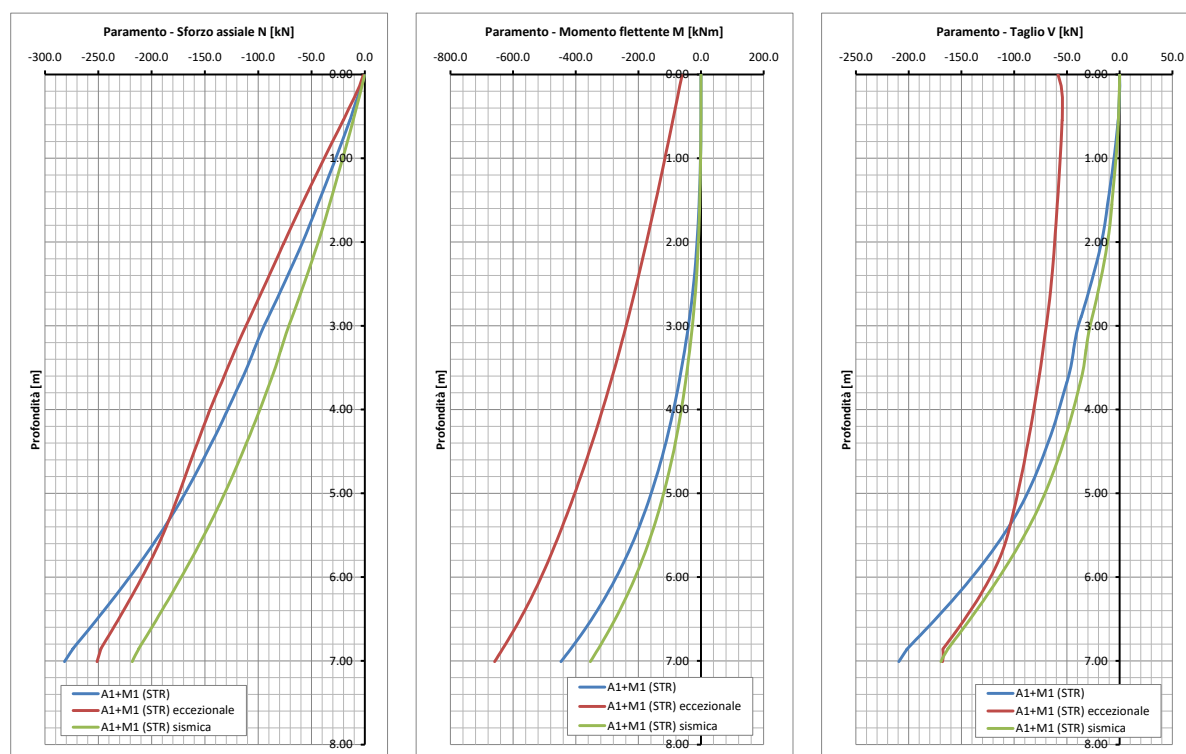


Figura 79: SLU(SLV)/STR A1+M1- Paramento verticale. Diagrammi delle sollecitazioni

17.4.4 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI GEOTECNICI (GEO)

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati per gli stati limite ultimi di tipo geotecnico GEO, in particolare si riporta la capacità portante superficiale della fondazione del muro ad U.

Essendo il calcolo riportato al §16.5.1 effettuato per la massima altezza di paramento presente, tale sezione ricade nella casistica riportata nel suddetto paragrafo.

17.5 VERIFICHE AGLI SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR)

Nel seguito si riportano le verifiche allo SLU nei confronti del raggiungimento della resistenza strutturale dei vari elementi che costituiscono l'opera.

17.5.1 Pali, verifica a pressoflessione

L'armatura prevista per il palo $\Phi=800$ mm è riassunta nella seguente tabella.

Tabella 48: Armatura prevista e sezioni di calcolo individuate.

| | Sezione | Gabbia | Lunghezza gabbia [m] | As |
|---------------|---------|--------|----------------------|--------------|
| Palo di valle | 1-1 | 1 | 12.0 | 16 Φ 18 |
| Palo centrale | 1-1 | 1 | 12.0 | 16 Φ 18 |
| Palo di monte | 1-1 | 1 | 12.0 | 16 Φ 18 |

Si riportano di seguito le verifiche per la condizione statica e per la condizione sismica.

17.5.1.1 Condizione statica

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|----------------------------|--------------|-------------------------|
| Diametro sezione: | 80.0 | cm |
| Barre circonferenza: | 16 Φ 18 | (40.7 cm ²) |
| Coprif.(dal baric. barre): | 7.9 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----------------|---|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| M _x | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| VY | | | | con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
|---------|------|--------|--------|--|
| MT | | | | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| | | | | Momento torcente [kN m] |
| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
| 1 | 0.00 | 227.10 | 121.00 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

| | | |
|--|------|------------------------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 7.0 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 10.7 | cm |
| Interferro massimo barre longitudinali: | 0.0 | cm [deve essere < 0.0] |
| Copriferro netto minimo staffe: | 6.0 | cm |

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

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tot. |
|--------|-----|------|--------|------|--------|----------|------|-----|--------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 227.10 | 0.06 | 486.64 | 2.143 | 24.0 | --- | --- | 40.7 (15.1) |

17.5.1.2 Condizione sismica

| | | |
|----------------------------|-------|-------------------------|
| Diametro sezione: | 80.0 | cm |
| Barre circonferenza: | 16Ø18 | (40.7 cm ²) |
| Coprif.(dal baric. barre): | 7.9 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| N | | | | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
|---------|------|--------|--------|---|
| Mx | | | | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione |
| VY | | | | con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| MT | | | | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| | | | | Momento torcente [kN m] |
| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
| 1 | 0.00 | 200.20 | 101.90 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

| | | |
|--|------|------------------------|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 7.0 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 10.7 | cm |
| Interferro massimo barre longitudinali: | 0.0 | cm [deve essere < 0.0] |
| Copriferro netto minimo staffe: | 6.0 | cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | |
|-------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | As Tot. |
|--------|-----|------|--------|------|-------|----------|------|-----|--------|-------------|
| 1 | S | 0.00 | 200.20 | | | 1.695 | 18.2 | --- | --- | 40.7 (15.1) |

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| N°Comb | ec max | Yc max | es min | Ys min | es max | Ys max |
|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0.00085 | 40.0 | 0.00054 | 32.1 | -0.00196 | -32.1 |

17.5.2 Pali, verifica a taglio

Con riferimento ad una spirale Φ 10/20 cm, si riporta la verifica a taglio. Si riporta la verifica per il solo palo di valle che presenta la sollecitazione di taglio più elevata.

ARMATURE A TAGLIO E/O TORSIONE DI INVILUPPO PER LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

| | | | |
|------------------|------|--------------------|---|
| Diametro staffe: | 10 | mm | |
| Passo staffe: | 20.0 | cm | [Passo massimo di normativa = 21.6 cm] |
| N.Bracci staffe: | 2 | | |
| Area staffe/m : | 7.9 | cm ² /m | [Area Staffe Minima NTC = 2.6 cm ² /m] |

VERIFICHE A TAGLIO

| N°Comb | Ver | Ved | Vcd | Vwd | bw z | Ctg | Acw | ASt |
|--------|-----|--------|---------|--------|-----------|-------|-------|-----|
| 1 | S | 121.00 | 1087.78 | 452.59 | 63.0 58.9 | 2.500 | 1.000 | 2.1 |

17.5.3 Soletta di di fondazione muro, verifica a presso-flessione

Considerando una striscia di soletta di larghezza 1.0 m e assumendo una armatura inferiore di 5Φ24 e superiore di 5Φ30 mm si riportano di seguito le verifiche per la condizione statica e per la condizione sismica.

17.5.3.1 Condizione statica

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 120.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø30 | (35.3 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø24 | (22.6 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 7.1 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 7.1 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 7.1 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | |
|----|--|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale |
| MT | Momento torcente [kN m] |

| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
|---------|---------|--------|--------|------|
| 1 | -237.70 | 913.60 | 502.50 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

| | | |
|--|------|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.6 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 18.5 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 5.6 | cm |

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

| | |
|----------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) |
| Mx rd | Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] |

| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
|--------|-----|---------|--------|---------|---------|----------|-------|------|--------|-------------|
| 1 | S | -237.70 | 913.60 | -237.84 | 1378.52 | 1.525 | 112.4 | 0.07 | 0.70 | 35.3 (18.9) |

17.5.3.2 Condizione sismica

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 120.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø30 | (35.3 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø24 | (22.6 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 7.1 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 7.1 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 7.1 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | | |
|---------|--|--------|--------|------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) | | | |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione | | | |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale | | | |
| MT | Momento torcente [kN m] | | | |
| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
| 1 | -199.00 | 618.70 | 372.00 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

| | | |
|--|------|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.6 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 18.5 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 5.6 | cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| | | | | | | | | | | |
|----------|--|---------|--------|------|-------|----------|------|------|--------|-------------|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | | | | | | | | | |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) | | | | | | | | | |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | | |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) | | | | | | | | | |
| Mx re | Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | | |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 | | | | | | | | | |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. | | | | | | | | | |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 | | | | | | | | | |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] | | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
| 1 | S | -199.00 | 618.70 | | | 2.221 | 95.7 | 0.22 | 0.71 | 35.3 (18.9) |

17.5.4 Soletta di collegamento pali, verifica a taglio

Per l'armatura a taglio sono previsti ganci $\Phi = 16$ mm ogni 40x40 cm la cui sezione è superiore a quella minima necessaria determinata con la relazione:

$$A_{sw,min} = \frac{V_{Ed}}{0.9 \cdot d \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta} = 5.04 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{con } \cot \theta = 2.5.$$

17.5.5 Paramento verticale, verifica a presso-flessione

Per il paramento verticale si assume la seguente armatura:

- Tratto iniziale oltre 2.45 da base paramento (armatura tipo B):
 $A_s = 1\Phi 20/20$ cm (zona tesa) $A'_s = 1\Phi 20/20$ cm (zona compressa)
- Tratto nei primi 2.45m da lase paramento (armatura tipo A)
 $A_s = 1\Phi 30/20$ cm $A'_s = 1\Phi 20/20$ cm

Si riportano di seguito le verifiche per la condizione statica e per la condizione sismica.

17.5.5.1 Condizione statica

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 75.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø30 | (35.3 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø16 | (10.1 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 6.7 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 6.7 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 6.7 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| | | | | |
|---------|--|--------|--------|------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) | | | |
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione | | | |
| Vy | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale | | | |
| MT | Momento torcente [kN m] | | | |
| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
| 1 | 0.00 | 658.90 | 209.30 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

| | | |
|--|------|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.2 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 18.7 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 5.2 | cm |

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

| | | | | | | | | | | |
|----------|--|------|--------|------|--------|----------|------|------|--------|-------------|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | | | | | | | | | |
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) | | | | | | | | | |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | | |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) | | | | | | | | | |
| Mx rd | Momento resistente ultimo [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | | |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N rd, Mx rd) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 | | | | | | | | | |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. | | | | | | | | | |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45 | | | | | | | | | |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] | | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | N | Mx | N rd | Mx rd | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
| 1 | S | 0.00 | 658.90 | 0.23 | 888.76 | 1.349 | 66.2 | 0.13 | 0.70 | 35.3 (11.4) |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

17.5.5.2 Condizione sismica

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

| | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------|
| Base: | 100.0 | cm |
| Altezza: | 75.0 | cm |
| Barre inferiori: | 5Ø30 | (35.3 cm ²) |
| Barre superiori: | 5Ø16 | (10.1 cm ²) |
| Coprif.Inf.(dal baric. barre): | 6.7 | cm |
| Coprif.Sup.(dal baric. barre): | 6.7 | cm |
| Coprif.Lat. (dal baric.barre): | 6.7 | cm |

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (posit. se di compress.) | | | |
|---------|--|--------|--------|------|
| Mx | Momento flettente [kNm] intorno all'asse x baric. della sezione con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sezione | | | |
| VY | Taglio [kN] in direzione parallela all'asse Y del riferim. generale | | | |
| MT | Momento torcente [kN m] | | | |
| N°Comb. | N | Mx | Vy | MT |
| 1 | 0.00 | 353.40 | 169.50 | 0.00 |

RISULTATI DEL CALCOLO

| | | |
|--|------|----|
| Copriferro netto minimo barre longitudinali: | 5.2 | cm |
| Interferro netto minimo barre longitudinali: | 18.7 | cm |
| Copriferro netto minimo staffe: | 5.2 | cm |

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | | | | | | | | | |
|----------|--|------|--------|------|-------|----------|------|------|--------|-------------|
| N | Sforzo normale baricentrico assegnato [kN] (positivo se di compressione) | | | | | | | | | |
| Mx | Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | | |
| N Ult | Sforzo normale alla massima resistenza [kN] nella sezione (positivo se di compress.) | | | | | | | | | |
| Mx re | Momento resistente sostanzialmente elastico [kNm] riferito all'asse x baricentrico | | | | | | | | | |
| Mis.Sic. | Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N re, Mx re) e (N, Mx) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 | | | | | | | | | |
| Yn | Ordinata [cm] dell'asse neutro alla massima resistenza nel sistema di rif. X,Y,O sez. | | | | | | | | | |
| x/d | Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45 | | | | | | | | | |
| C.Rid. | Coeff. di riduz. momenti in travi continue [formula (4.1.1)NTC] | | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | N | Mx | N re | Mx re | Mis.Sic. | Yn | x/d | C.Rid. | |
| 1 | S | 0.00 | 353.40 | | | 2.395 | 54.4 | 0.30 | 0.82 | 35.3 (11.4) |

17.5.6 Paramento verticale, verifica a taglio

Di seguito si riporta la verifica a taglio in assenza di armatura specifica.

VERIFICHE A TAGLIO SENZA ARMATURE TRASVERSALI (§ 4.1.2.1.3.1 NTC)

| | |
|------|--|
| Ver | S = comb.verificata a taglio/ N = comb. non verificata |
| Ved | Taglio agente [daN] uguale al taglio Vy di comb. (sollecit. retta) |
| Vwct | Taglio trazione resistente [kN] in assenza di staffe [formula (4.1.23)NTC] |
| d | Altezza utile sezione [cm] |
| bw | Larghezza minima sezione [cm] |
| Ro | Rapporto geometrico di armatura longitudinale [<0.02] |
| Scp | Tensione media di compressione nella sezione [Mpa] |

| N°Comb | Ver | Ved | Vwct | d | bw | Ro | Scp |
|--------|-----|--------|--------|------|-------|--------|------|
| 1 | S | 209.30 | 315.10 | 68.3 | 100.0 | 0.0052 | 0.00 |

17.6 VERIFICHE AGLI SLE DI TIPO STRUTTURALE

Nel seguito si riportano le verifiche delle tensioni e di fessurazione in riferimento alle sollecitazioni riportate al paragrafo 17.3.2, 17.3.3 e al paragrafo 17.3.4.

17.6.1.1 Palificata

Si riportano le verifiche del palo di valle, in quanto presenta le massime sollecitazioni.

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

| | N | Mx |
|---------|--|---------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |
| N°Comb. | N | Mx |
| 1 | 2458.22 | 0.00 |
| 2 | 697.65 | 0.00 |
| 3 | 2307.96 | -173.16 |

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

| | N | Mx |
|---------|--|----------------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |
| N°Comb. | N | Mx |
| 1 | 2343.00 | 0.00 (0.00) |
| 2 | 654.34 | 0.00 (0.00) |
| 3 | 2203.86 | -165.66 (0.00) |

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

| | N | Mx |
|---------|--|----------------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |
| N°Comb. | N | Mx |
| 1 | 2263.75 | 0.00 (0.00) |
| 2 | 623.86 | 0.00 (0.00) |
| 3 | 2132.03 | -161.35 (0.00) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|---------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | | | | | | | | | | |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] | | | | | | | | | | |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] | | | | | | | | | | |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa] | | | | | | | | | | |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre | | | | | | | | | | |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) | | | | | | | | | | |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) | | | | | | | | | | |
| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
| 1 | S | 4.36 | 40.0 | 4.36 | -40.0 | 65.4 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 2 | S | 1.24 | 40.0 | 1.24 | -40.0 | 18.6 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 3 | S | 7.07 | 40.0 | 1.12 | -40.0 | 25.6 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|---------|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata |
| K2 | = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|---------|----|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00033 | 0.00033 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 2 | S | 0.00009 | 0.00009 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 3 | S | 0.00053 | 0.00008 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 4.16 | 40.0 | 4.16 | -40.0 | 62.3 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 2 | S | 1.16 | 40.0 | 1.16 | -40.0 | 17.4 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 3 | S | 6.76 | 40.0 | 1.06 | -40.0 | 24.3 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|---------|----|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00031 | 0.00031 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 2 | S | 0.00009 | 0.00009 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 3 | S | 0.00051 | 0.00008 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 4.02 | 40.0 | 4.02 | -40.0 | 60.2 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 2 | S | 1.11 | 40.0 | 1.11 | -40.0 | 16.6 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |
| 3 | S | 6.56 | 40.0 | 1.01 | -40.0 | 23.3 | -32.1 | 0.0 | 0 | 0.0 | ---- |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | e3 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|---------|---------|----|------|------|------|------|------|---------|
| 1 | S | 0.00030 | 0.00030 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 2 | S | 0.00008 | 0.00008 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |
| 3 | S | 0.00049 | 0.00008 | | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | 0.00 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

17.6.1.2 Soletta di fondazione

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

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|---------|--------|
| 1 | -178.74 | 531.42 |
| 2 | 4.94 | -3.94 |
| 3 | -154.46 | 580.85 |
| 4 | -129.62 | -41.42 |

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

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|---------|------------------|
| 1 | -160.23 | 467.14 (767.90) |
| 2 | 4.96 | -3.50 (-1173.43) |
| 3 | -136.73 | 515.07 (779.90) |
| 4 | -109.97 | -66.07 (-585.48) |

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

| N°Comb. | N | Mx |
|---------|---------|------------------|
| 1 | -147.81 | 422.21 (766.82) |
| 2 | 4.65 | -3.16 (-1194.60) |
| 3 | -146.54 | 468.76 (772.56) |
| 4 | -97.00 | -84.89 (-639.75) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | |
|---------|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa] |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata [Mpa] |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa] |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 2.94 | 120.0 | 0.00 | 96.5 | -168.1 | 112.9 | 17.8 | 1775 | 35.3 | 21.5 |
| 2 | S | 0.02 | 0.0 | 0.00 | 75.8 | -0.4 | 7.1 | 17.8 | 1775 | 22.6 | 21.5 |
| 3 | S | 3.27 | 120.0 | 0.00 | 95.7 | -178.3 | 112.9 | 17.8 | 1775 | 35.3 | 21.5 |
| 4 | S | 0.00 | 0.0 | 0.00 | 5.0 | -46.0 | 7.1 | 35.5 | 3550 | 58.0 | 21.5 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | |
|-----|---|
| Ver | Esito verifica |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

e2 Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata
K2 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2*e2)$ in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC
Kt fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2
e sm Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es
srm Distanza massima in mm tra le fessure
wk Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite.
M fess. Momento di prima fessurazione [kNm]

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|----------|------|------|---------------------|-----|----------------|----------|
| 1 | S | -0.00091 | 0.00022 | 0.50 | 0.60 | 0.000504 (0.000504) | 447 | 0.225 (990.00) | 768.92 |
| 2 | S | 0.00000 | 0.00000 | 0.50 | 0.60 | 0.000001 (0.000001) | 521 | 0.001 (990.00) | -1114.13 |
| 3 | S | -0.00096 | 0.00024 | 0.50 | 0.60 | 0.000535 (0.000535) | 447 | 0.239 (990.00) | 779.83 |
| 4 | S | -0.00024 | -0.00002 | 0.55 | 0.60 | 0.000138 (0.000138) | 504 | 0.069 (990.00) | -472.85 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 2.58 | 120.0 | 0.00 | 96.6 | -148.2 | 112.9 | 17.8 | 1775 | 35.3 | 21.5 |
| 2 | S | 0.02 | 0.0 | 0.00 | 78.0 | -0.3 | 7.1 | 17.8 | 1775 | 22.6 | 21.5 |
| 3 | S | 2.90 | 120.0 | 0.00 | 95.7 | -158.0 | 112.9 | 17.8 | 1775 | 35.3 | 21.5 |
| 4 | S | 0.23 | 0.0 | 0.00 | 7.0 | -51.8 | 7.1 | 17.8 | 1775 | 22.6 | 21.5 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|----------|
| 1 | S | -0.00080 | 0.00019 | 0.50 | 0.60 | 0.000444 (0.000444) | 447 | 0.198 (0.30) | 767.90 |
| 2 | S | 0.00000 | 0.00000 | 0.50 | 0.60 | 0.000001 (0.000001) | 521 | 0.001 (0.30) | -1173.43 |
| 3 | S | -0.00085 | 0.00022 | 0.50 | 0.60 | 0.000474 (0.000474) | 447 | 0.212 (0.30) | 779.90 |
| 4 | S | -0.00028 | 0.00002 | 0.50 | 0.60 | 0.000155 (0.000155) | 521 | 0.081 (0.30) | -585.48 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 2.33 | 120.0 | 0.00 | 96.7 | -134.3 | 112.9 | 17.8 | 1775 | 35.3 | 21.5 |
| 2 | S | 0.01 | 0.0 | 0.00 | 78.7 | -0.3 | 7.1 | 17.8 | 1775 | 22.6 | 21.5 |
| 3 | S | 2.61 | 120.0 | 0.00 | 96.2 | -146.8 | 112.9 | 17.8 | 1775 | 35.3 | 21.5 |
| 4 | S | 0.42 | 0.0 | 0.00 | 11.2 | -56.6 | 7.1 | 17.8 | 1775 | 22.6 | 21.5 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|----------|
| 1 | S | -0.00072 | 0.00017 | 0.50 | 0.40 | 0.000403 (0.000403) | 447 | 0.180 (0.20) | 766.82 |
| 2 | S | 0.00000 | 0.00000 | 0.50 | 0.40 | 0.000001 (0.000001) | 521 | 0.000 (0.20) | -1194.60 |
| 3 | S | -0.00079 | 0.00020 | 0.50 | 0.40 | 0.000440 (0.000440) | 447 | 0.197 (0.20) | 772.56 |
| 4 | S | -0.00030 | 0.00003 | 0.50 | 0.40 | 0.000170 (0.000170) | 521 | 0.088 (0.20) | -639.75 |

17.6.1.3 Paramento verticale

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

| | N | Mx |
|---------|---|--------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |
| N°Comb. | N | Mx |
| 1 | 215.21 | 336.01 |

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

| | N | Mx |
|---------|---|-----------------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |
| N°Comb. | N | Mx |
| 1 | 207.90 | 291.41 (366.19) |

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

| | N | Mx |
|---------|---|-----------------|
| N | Sforzo normale [kN] applicato nel baricentro (positivo se di compress.) | |
| Mx | Coppia [kNm] applicata all'asse x baricentrico (tra parentesi il Momento di fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione | |
| N°Comb. | N | Mx |
| 1 | 201.59 | 261.92 (369.07) |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| | | | | | | | | | | | |
|---------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Ver | S = combinazione verificata / N = combin. non verificata | | | | | | | | | | |
| Sc max | Massima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] | | | | | | | | | | |
| Yc max | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| Sc min | Minima tensione di compress.(+) nel conglom. in fase fessurata ([Mpa] | | | | | | | | | | |
| Yc min | Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc min (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| Sf min | Minima tensione di trazione (-) nell'acciaio [Mpa] | | | | | | | | | | |
| Ys min | Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O) | | | | | | | | | | |
| Dw Eff. | Spessore di conglomerato [cm] in zona tesa considerata aderente alle barre | | | | | | | | | | |
| Ac eff. | Area di congl. [cm ²] in zona tesa aderente alle barre (verifica fess.) | | | | | | | | | | |
| As eff. | Area Barre tese di acciaio [cm ²] ricadente nell'area efficace(verifica fess.) | | | | | | | | | | |
| D barre | Distanza in cm tra le barre tese efficaci. (D barre = 0 indica spaziatura superiore a 5(c+Ø/2) e nel calcolo di fess. si usa la (C4.1.11)NTC/(7.14)EC2) | | | | | | | | | | |

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 4.93 | 75.0 | 0.00 | 50.1 | -128.5 | 68.3 | 16.7 | 1668 | 35.3 | 21.7 |

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| | | | | | | | | | | | |
|---------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Ver | Esito verifica | | | | | | | | | | |
| e1 | Minima deformazione unitaria (trazione: segno -) nel calcestruzzo in sez. fessurata | | | | | | | | | | |
| e2 | Massima deformazione unitaria (compress.: segno +) nel calcestruzzo in sez. fessurata | | | | | | | | | | |
| K2 | = 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e2)in trazione eccentrica per la (7.13)EC2 e la (C4.1.11)NTC | | | | | | | | | | |
| Kt | fattore di durata del carico di cui alla (7.9) dell'EC2 | | | | | | | | | | |
| e sm | Deformazione media acciaio tra le fessure al netto di quella del cls. Tra parentesi il valore minimo = 0.6 Ss/Es | | | | | | | | | | |
| srm | Distanza massima in mm tra le fessure | | | | | | | | | | |
| wk | Apertura delle fessure in mm fornito dalla (7.8)EC2 e dalla (C4.1.7)NTC. Tra parentesi è indicato il valore limite. | | | | | | | | | | |
| M fess. | Momento di prima fessurazione [kNm] | | | | | | | | | | |

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|----------------|---------|
| 1 | S | -0.00074 | 0.00037 | 0.50 | 0.60 | 0.000385 (0.000385) | 418 | 0.161 (990.00) | 362.53 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 4.29 | 75.0 | 0.00 | 49.6 | -108.9 | 68.3 | 16.5 | 1654 | 35.3 | 21.7 |

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00063 | 0.00032 | 0.50 | 0.60 | 0.000327 (0.000327) | 415 | 0.136 (0.30) | 366.19 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA MASSIME TENSIONI NORMALI

| N°Comb | Ver | Sc max | Yc max | Sc min | Yc min | Sf min | Ys min | Dw Eff. | Ac Eff. | As Eff. | D barre |
|--------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | S | 3.87 | 75.0 | 0.00 | 49.3 | -96.1 | 68.3 | 16.4 | 1642 | 35.3 | 21.7 |

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - VERIFICA APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

| N°Comb | Ver | e1 | e2 | K2 | Kt | e sm | srm | wk | M Fess. |
|--------|-----|----------|---------|------|------|---------------------|-----|--------------|---------|
| 1 | S | -0.00056 | 0.00029 | 0.50 | 0.40 | 0.000288 (0.000288) | 414 | 0.119 (0.20) | 369.07 |

17.7 VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTI

Gli spostamenti orizzontali e verticali ottenuti in combinazioni SLE quasi permanente sono indicati rispettivamente in Figura 72 e in Figura 73; risulta:

- spostamento massimo orizzontale di circa 1.5 cm;
- spostamento verticale sotto la fondazione del muro è pari a 3.5 cm.

Tali spostamenti risultano compatibili con la funzionalità dell'opera.

17.8 VERIFICA DI CAPACITA' PORTANTE DELLA SOLETTA DI FONDAZIONE DEL MURO

Per la verifica di capacità portante del muro si rimanda al paragrafo 16.9.

17.9 VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE (GEO_STAB)

L'analisi di stabilità dell'insieme terreno-opera è stata effettuata in accordo con quanto riportato al §10.3.3.

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti di sicurezza ottenuti con il metodo dell'equilibrio limite mediante il modulo "Slope W" del programma GeoStudio 2019, e a seguire le figure con le corrispondenti superfici di scorrimento critiche.

Tabella 49: Coefficienti di sicurezza nei confronti della stabilità globale con il metodo all'equilibrio limite.

| | | F.S. | | F.S. richiesto γ_R | |
|--------------------------------|---------------------------|-------|---|------------------------------|-----------|
| SLU/GEO_stab ($A_2+M_2+R_2$) | Combinazione fondamentale | 3.911 | ≥ | 1.1 | Figura 80 |
| SLV/GEO_stab ($A_2+M_2+R_2$) | $k_h=0.057, k_v=0.028$ | 3.656 | | 1.2 | Figura 81 |
| | $k_h=0.057, k_v=-0.028$ | 3.498 | | 1.2 | Figura 82 |

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

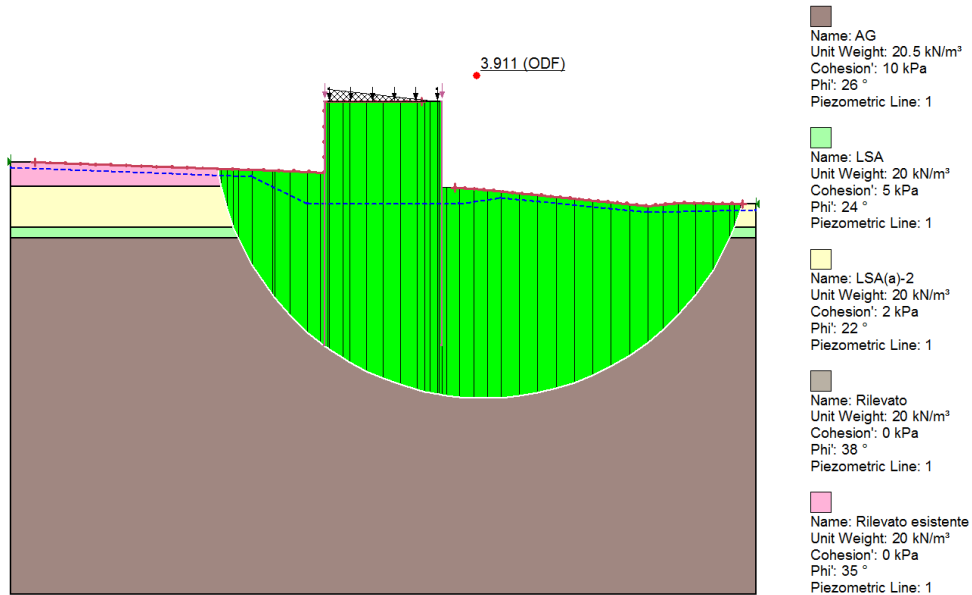


Figura 80: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione fondamentale - Superficie di scorrimento critica

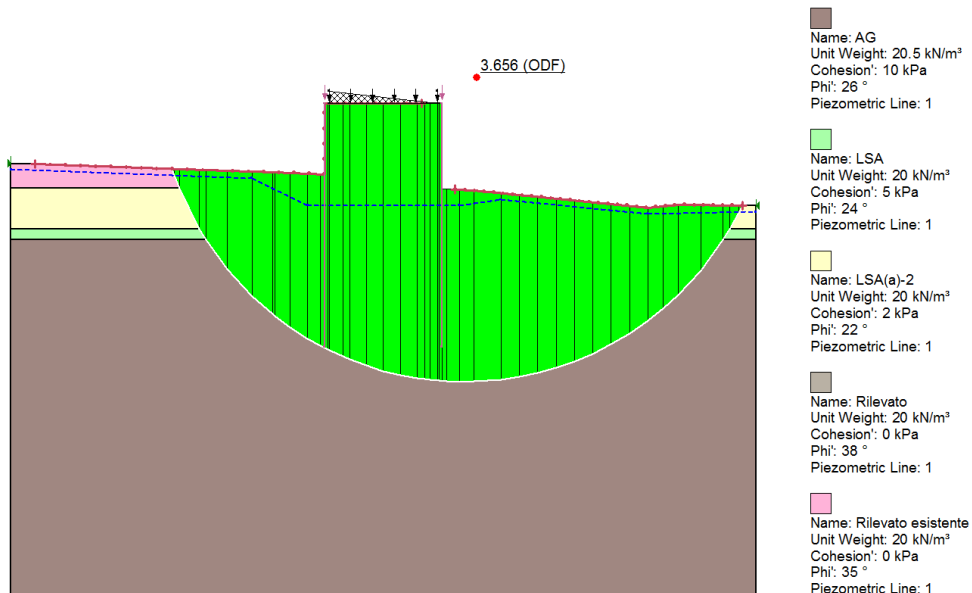


Figura 81: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica (kv>0)- Superficie di scorrimento critica

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS86 - Relazione di Calcolo

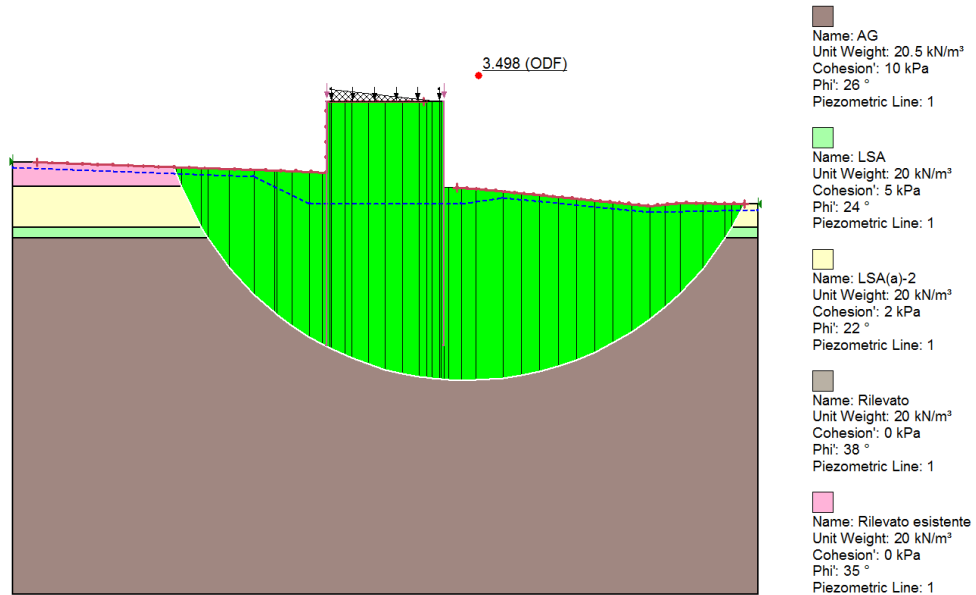


Figura 82: SLU(SLV)/GEO_stab A2+M2+R2-Combinazione sismica (kv<0)- - Superficie di scorrimento critica