



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 i 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:

OPERE DI SOSTEGNO - ASSE PRINCIPALE - Lotto 2b

OS80 A - Svincolo Manganaro - Rampa 1 - opere di sostegno da km 0+203 al km 0+242

Relazione tecnica e di calcolo

Codice Unico Progetto (CUP): **F41B03000230001**

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	P V	OS 80A	R C 0 1	6	0

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA: -
X X	PVOS80ARC01_60_4137	1=1	4 1 3 7	-
5				
4				
3				
2				
1				
0	Prima emissione		OTT 2021	F. Bianchi S. Fortino N. Behmann
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Progettisti :



ENSER^{srl}
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Viale Baccarini, 29 - 48018 FAENZA (RA) tel. 0546-663423
Via Zaccani, 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 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.....	4
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
3 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO.....	5
4 SIMBOLOGIA.....	5
5 MATERIALI.....	6
5.1 ACCIAIO.....	6
5.1.1 Acciaio per armatura strutture in c.a.....	6
5.2 CALCESTRUZZO.....	6
5.2.1 Calcestruzzo per pali.....	6
5.2.2 Calcestruzzo per cordolo e pareti.....	6
6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA.....	7
6.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	7
6.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	7
7 INDAGINI GEOTECNICHE.....	9
8 DESCRIZIONE DEL FENOMENO FRANOSO.....	12
9 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	17
9.1 INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO.....	20
10 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEI TERRENI.....	23
10.1 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE.....	23
10.1.1 Caratteristiche di resistenza in termini di coesione non drenata.....	24
10.1.2 Caratteristiche di deformabilità.....	24
10.2 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DI LABORATORIO.....	25
10.3 UNITA' STRATIGRAFICHE.....	25
10.3.1 Falda di progetto.....	27
10.3.2 Confronto tra stratigrafia di PEA - stratigrafia di PV3 e stabilità delle scarpate di scavo	27
10.3.2.1 Effetti della nuova stratigrafia sulla stabilità.....	28
11 ANALISI E VERIFICA DELL'OPERA DI SOSTEGNO.....	31
11.1 CARICHI e AZIONI.....	31
11.1.1 Spinta del terreno in condizione statiche, G1.....	31
11.1.2 Spinta di frana in condizione statica, G2.....	31
11.1.3 Forze inerziali parete sommitale, E.....	31
11.1.4 Spinta di frana in condizioni sismiche, E.....	31

11.2	APPROCCI PROGETTUALI DI VERIFICA.....	32
11.2.1	Approccio di verifica della paratia.....	32
11.2.2	Approccio progettuale per le verifiche di stabilità globale	34
11.3	Combinazioni delle Azioni	35
12	DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI di calcolo UTILIZZATI.....	36
12.1	ANALISI DI ITERAZIONE TERRENO STRUTTURA MEDIANTE IL SOFTWARE DI CALCOLO PARATIE	36
12.1.1	Coefficienti di spinta in condizione statiche	37
12.1.2	Coefficienti di spinta in condizione sismiche.....	38
12.2	ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE MEDIANTE IL SOFTWARE DI CALCOLO SLOPE/w 38	
13	BACK-ANALYSIS DEL MOVIMENTO FRANOSO	39
14	DETERMINAZIONE DELLA SPINTA DI FRANA	41
15	SEZIONE DI CALCOLO 16	45
15.1	DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO	45
15.2	SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO	49
15.2.1	SLE, spostamenti orizzontali dell'opera.....	49
15.2.2	SLE, Sollecitazioni pali.....	50
15.2.3	SLE, Sollecitazioni parete sommitale	51
15.3	SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI STRUTTURALI (STR).....	52
15.3.1	SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali	52
15.3.2	SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni parete sommitale	53
15.4	VERIFICHE STRUTTURALI SLU E SLE	54
15.4.1	Pali	54
15.4.1.1	Verifica SLU/SLV - Verifica flessionale	55
15.4.1.2	Verifica SLU/SLV – Verifica a taglio.....	55
15.4.1.3	Verifica SLE - Verifica a fessurazione.....	56
15.4.1.4	Verifica SLE - Verifica tensionale.....	56
15.4.2	Parete sommitale	58
15.4.2.1	Verifica SLU/SLV – Verifica flessionale	60
15.4.2.2	Verifica SLU/SLV – Verifica a taglio.....	60
15.4.2.3	Verifica SLE – Verifica a fessurazione	61
15.4.2.4	Verifica tensionale	61
15.5	VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTI.....	63
15.6	VERIFICHE GEOTECNICHE SLU/SLV.....	63

15.6.1	Verifica della resistenza di valle	63
15.6.2	Verifica di stabilità globale.....	66
16	SEZIONE DI CALCOLO 14	68
16.1	DESCRIZIONE DELLE FASI DI CALCOLO	68
16.2	SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO	71
16.2.1	SLE, spostamenti orizzontali dell'opera.....	71
16.2.2	SLE, Sollecitazioni pali.....	72
16.3	SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI STRUTTURALI (STR).....	73
16.3.1	SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni pali	73
16.4	VERIFICHE STRUTTURALI SLU E SLE.....	74
16.4.1	Pali	74
16.4.1.1	Verifica SLU/SLV - Verifica flessionale	75
16.4.1.2	Verifica SLU/SLU – Verifica a taglio	75
16.4.1.3	Verifica SLE - Verifica a fessurazione.....	76
16.4.1.4	Verifica SLE - Verifica tensionale.....	76
16.5	VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTI.....	78
16.6	VERIFICHE GEOTECNICHE SLU/SLV.....	78
16.6.1	Verifica della resistenza di valle	78
16.6.2	Verifica di stabilità globale.....	81

1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo è relativa all'intervento OS80A a presidio della scarpata di scavo lato monte della Rampa 1 del nuovo Svincolo Manganaro, tra le progressive km 0+203 e km 0+242 circa della Rampa 1 (Figura 1).

In questa tratta il progetto approvato prevede una sezione in trincea con scarpate di scavo 2/3; subito dopo le operazioni di scavo si è verificata una frana del tipo rotazionale che ha coinvolto l'intero sviluppo della scarpata di monte che rende necessaria un'opera meccanica di stabilizzazione.

Alla luce delle criticità e delle fragilità geomorfologica palesatesi e della possibilità che la falda possa essere prossima a piano campagna, si impone l'adozione di cautele e soluzioni progettuali adeguate al mutato contesto idrogeologico e di dissesto.

È stata quindi rivista la soluzione progettuale di PEA consistente in scarpate di scavo non presidiate, con un una paratia di pali.

La base geologico-geotecnica è costituita dalla Relazione Geologica di corredo al PEA (Progetto Esecutivo Approvato) con relativa cartografia tematica e dai dati delle campagne di indagini e delle valutazioni scaturite dagli approfondimenti geologici e geotecnici in campo.



Figura 1: Area in cui ricade l'OS80A. Immagine Google Earth.

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 cordolo e pareti

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

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 integrative dell'ottobre 2021 consistenti in n. 5 prove penetrometriche dinamiche DPSH che sono state spinte alle profondità riportate nella seguente tabella.

Tabella 2: Elenco indagini DPSH

ID	Lunghezza prova [m]
DPSH1	10.8
DPSH2	10.6
DPSH3	15.0
DPSH4	15.0
DPSH5	5.8

Le indagini integrative mostrano che l'area di intervento è caratterizzata dalla presenza di una coltre regolitico/colluviale a bassa consistenza, mediamente con spessori di 4+6 m, che ricopre la locale formazione di substrato.

Inoltre nell'area del bivio Manganaro, immediatamente a valle della tratta oggetto 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, 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 (CPT27_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 è riportata l'ubicazione delle indagini integrative 2021, mentre in Figura 3 si riporta la planimetria con le indagini disponibili nell'area del bivio Manganaro. In Figura 4 si riportano i digrammi penetrometrici delle prove DPSH della campagna di indagini integrative 2021.

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

OS80A - Relazione di Calcolo

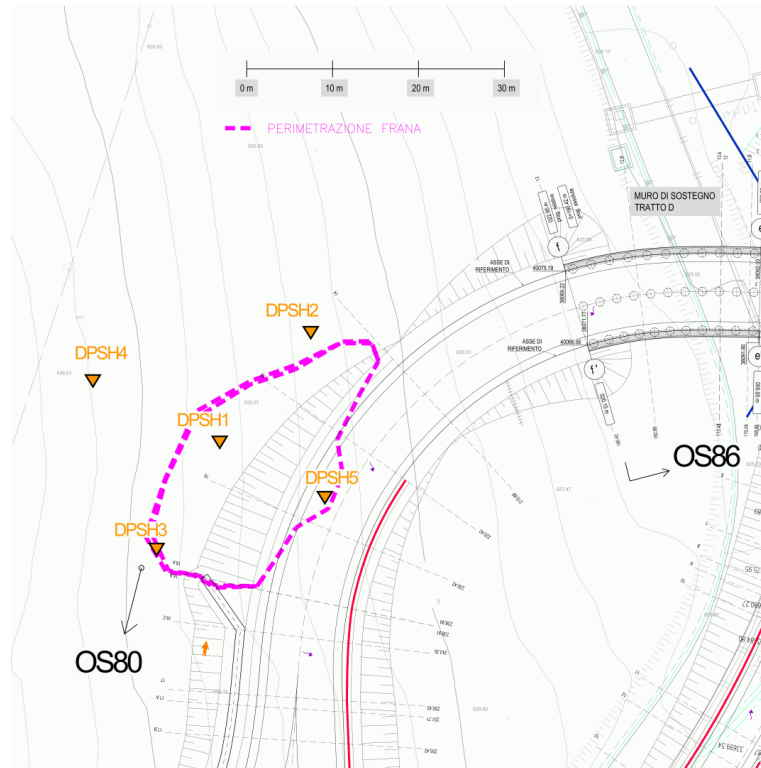


Figura 2: Planimetria con ubicazione indagini geotecniche integrative 2021

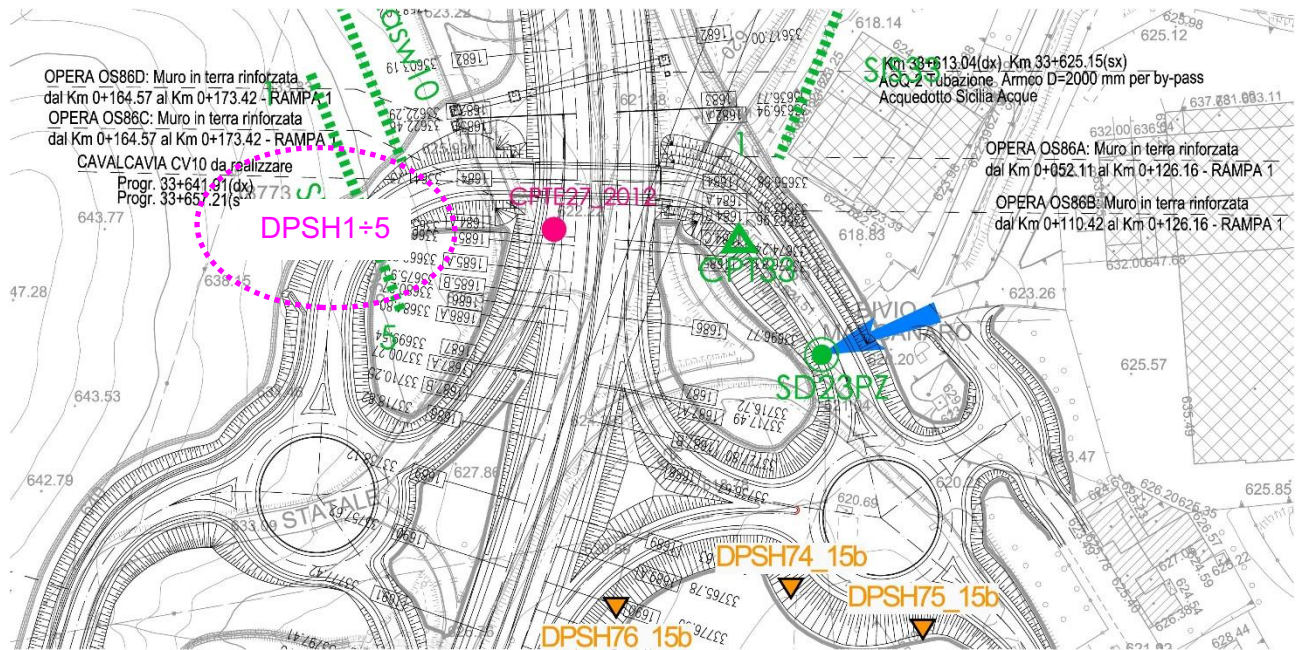


Figura 3: Planimetria con ubicazione indagini geotecniche disponibili nell'area del Bivio Manganaro

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

OS80A - Relazione di Calcolo

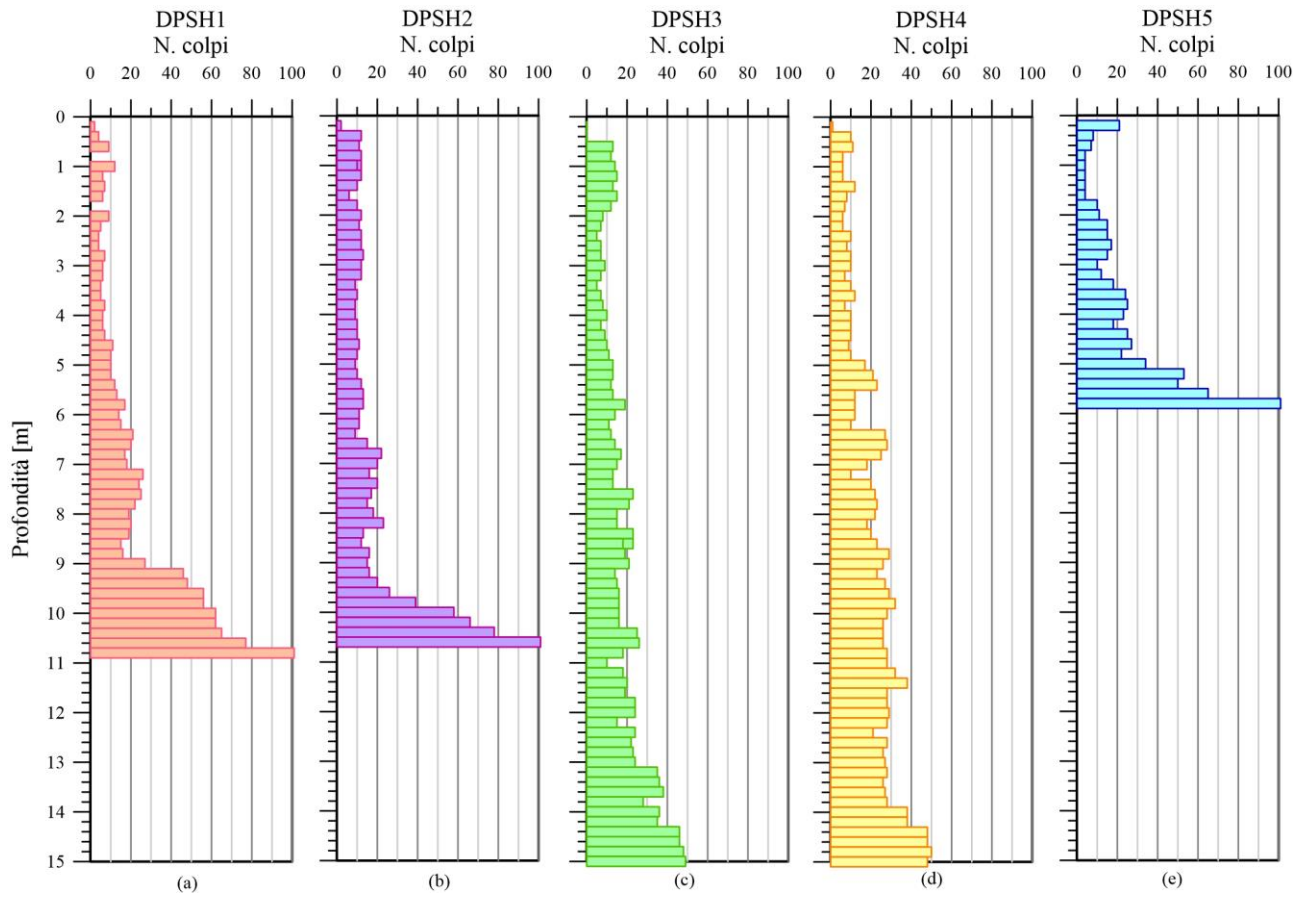


Figura 4: Prove DPSH integrative

8 DESCRIZIONE DEL FENOMENO FRANOSO

A seguito degli scavi per la realizzazione delle scarpate di monte del Ramo 1 dello Svincolo Manganaro, tra la sezione 14 e 16 si è verificato un movimento franoso la cui estensione planimetrica è dettagliata in Figura 5.

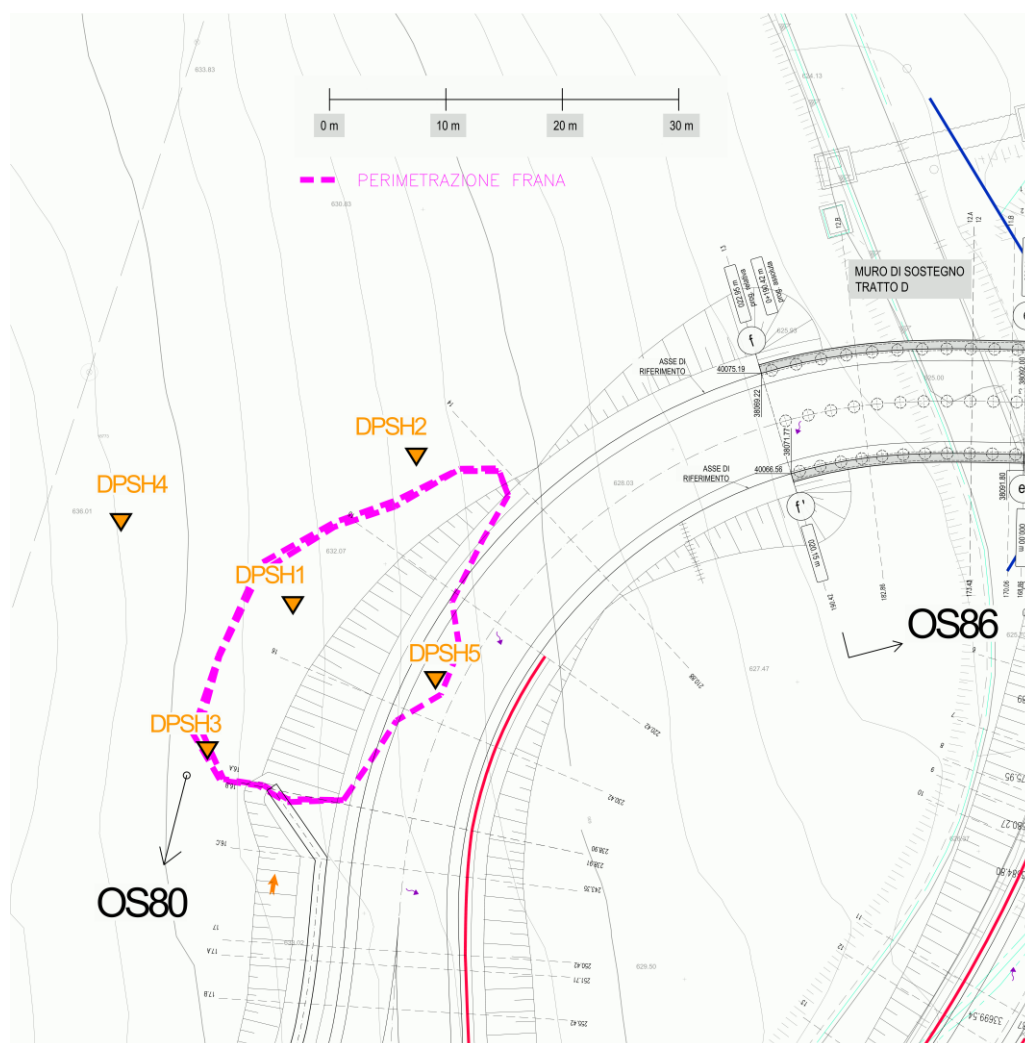


Figura 5: Estensione planimetrica del movimento franoso e indagini integrative.

Dalle foto effettuate durante il sopralluogo si evidenzia la presenza a monte di una nicchia di distacco lungo la quale sono presenti tension crack di profondità di 1.6m (Figura 6, Figura 8 e Figura 9). Sul piano di posa della viabilità sono presenti dei rigonfiamenti (Figura 6 e Figura 7), mentre il fosso rivestito in c.a., presente nella parte sommitale dell'area di frana, risulta in parte deformato (Figura 9).



Figura 6: Foto scatta durante il sopralluogo: alla base della scarpata si evidenzia il rigonfiamento a seguito del movimento franoso.



Figura 7: Foto scatta durante il sopralluogo: alla base della scarpata si evidenzia il rigonfiamento a seguito del movimento franoso.



Figura 8: Foto scatta durante il sopralluogo: nicchia di distacco.



Figura 9: Foto scatta durante il sopralluogo: fosso rivestito in c.a. deformato.

9 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

A sostegno della scarpata di monte della Rampa 1 di accesso al nuovo cavalcavia CV10 si prevede la realizzazione di una paratia di pali con cordolo-parete sommitale le cui caratteristiche sono:

- Tratto da pk 0+242.96 a pk 0+228.04
Pali di diametro 1000mm, lunghezza 11.30m ed interasse 1.3m; parete sommitale di larghezza 1.2m e altezza 2.5m.
- Tratto da pk 0+228.04 a pk 0+217.83
Pali di diametro 1000mm, lunghezza 11.30m ed interasse 1.3m; parete sommitale di larghezza 1.2m e altezza 2.0m.
- Tratto da pk 0+217.83 a pk 0+210.88
Pali di diametro 1000mm, lunghezza 11.30m ed interasse 1.3m; cordolo sommitale di larghezza 1.2m e altezza 1.0m.
- Tratto da pk 0+210.88 a pk 0+203.78
Pali di diametro 1000mm, lunghezza 7.30m ed interasse 1.8m; cordolo sommitale di larghezza 1.2m e altezza 1.0m.

A tergo del cordolo-parete sommitale ai pali è previsto un drenaggio che corre lungo tutto lo sviluppo della paratia. 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 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

OS80A - Relazione di Calcolo

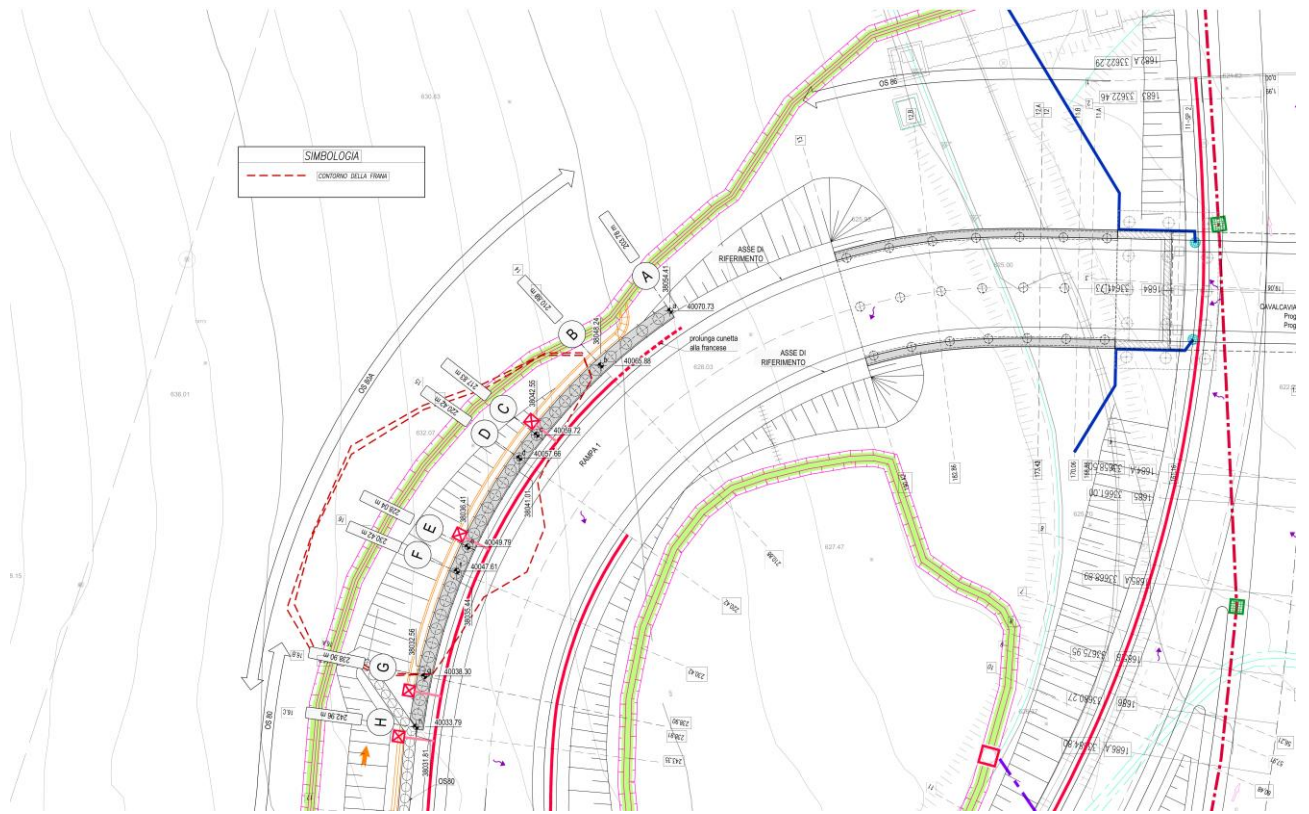


Figura 10: Planimetria dell'intervento

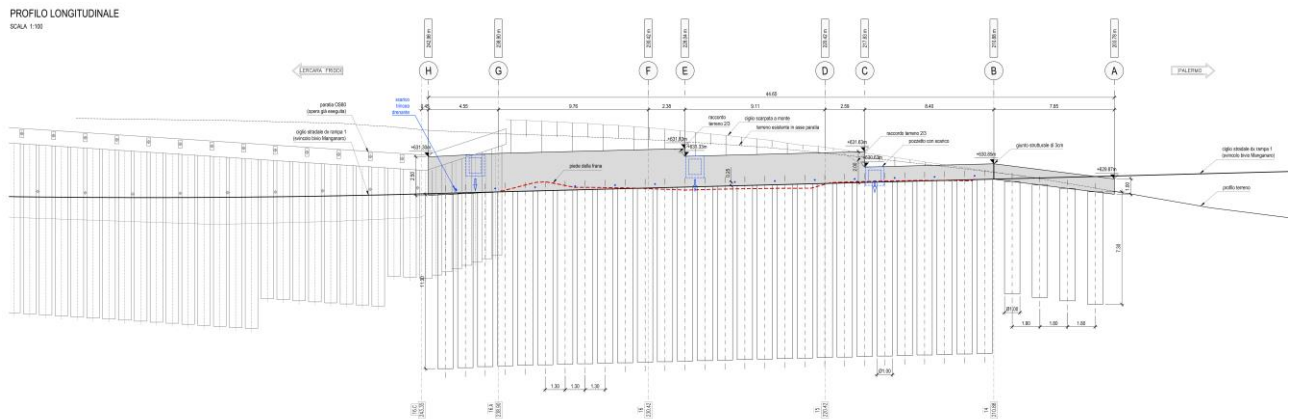


Figura 11: Profili longitudinale

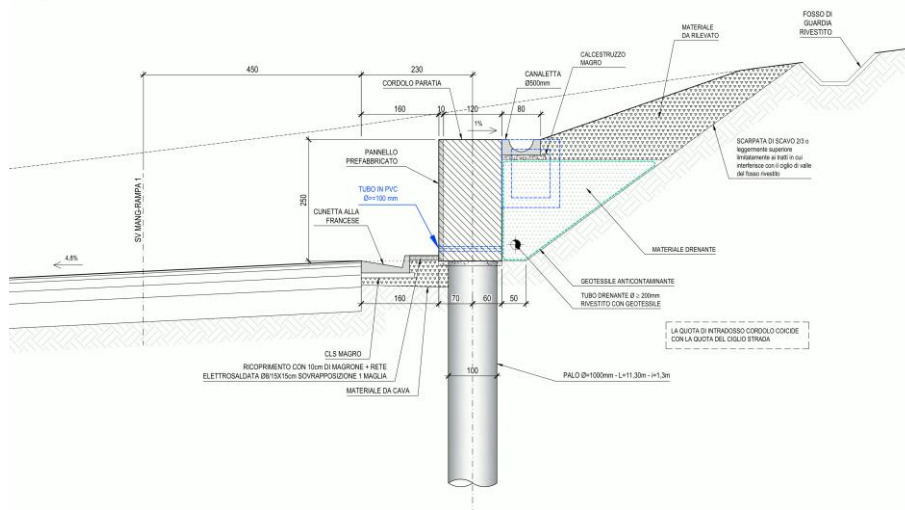
Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali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

PROGETTO ESECUTIVO DI DETTAGLIO

OS80A - Relazione di Calcolo

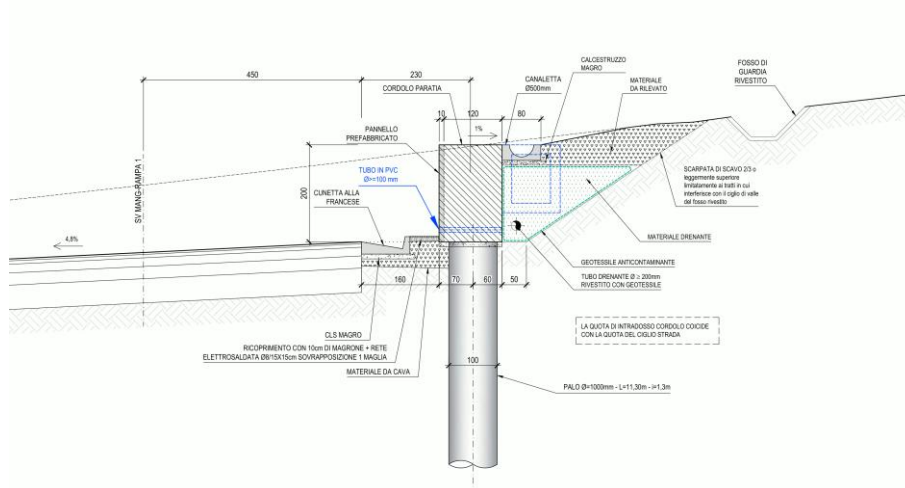
SEZIONE TIPO - PARETE H=250cm

SCALA 1:100



SEZIONE TIPO - PARETE H=200cm

SCALA 1:100



SEZIONE TIPO - PARETE H=100cm

SCALA 1:100

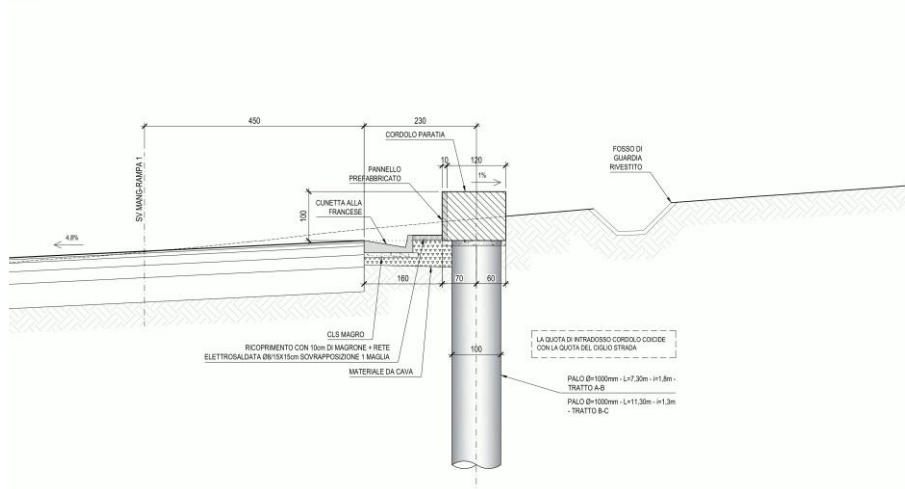


Figura 12: Sezioni tipiche paratia

9.1 INDIVIDUAZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO

Le sezioni di calcolo individuate per il dimensionamento dell'opera sono la Sezione 16 (Figura 13) e la Sezione 14 (Figura 14). In Tabella 3 si riportano i tratti dell'opera di sostegno e la relativa sezione di calcolo di riferimento; in Figura 15 è riportata la planimetria con la traccia di tali sezioni.

Tabella 3: Corrispondenza tratti dell'opera e sezioni di calcolo

Tratto dell'opera	Sezione di calcolo di riferimento	Progressiva sezione
da pk 0+242.96 a pk 0+228.04	Sezione 16	0+230.42
da pk 0+228.04 a pk 0+217.83		
da pk 0+217.83 a pk 0+210.88		
da pk 0+210.88 a pk 0+203.78	Sezione 14	0+210.88

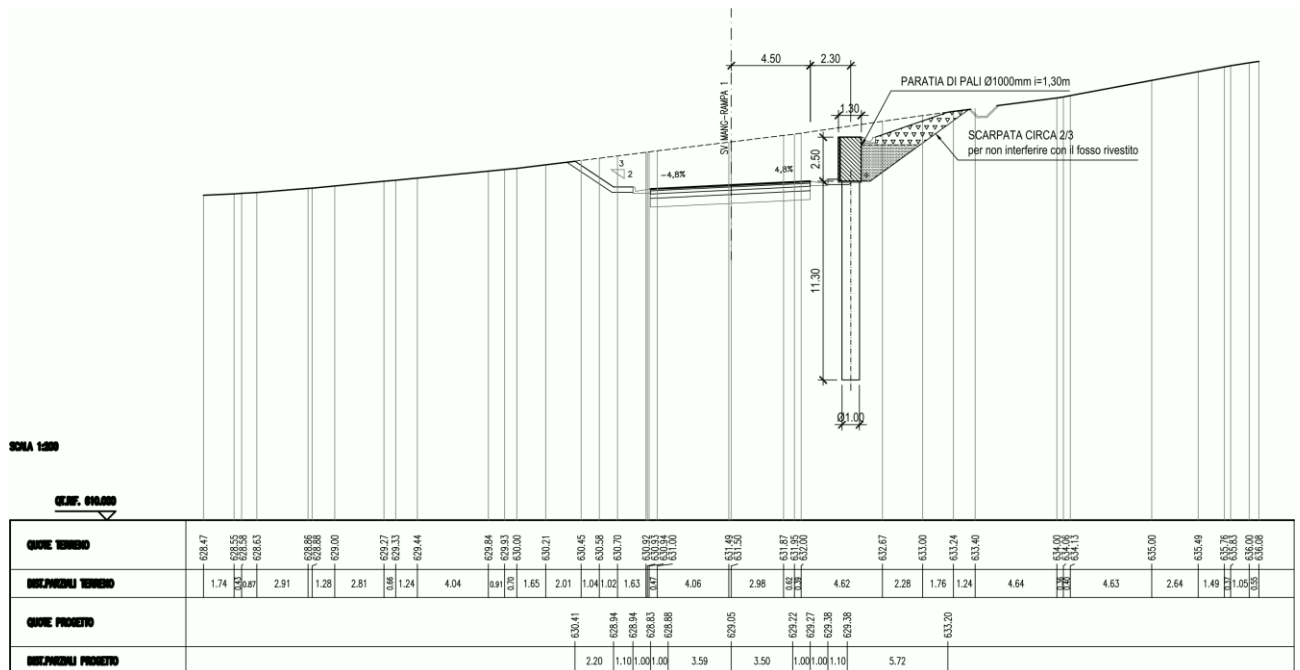


Figura 13: Sezione 16

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

OS80A - Relazione di Calcolo

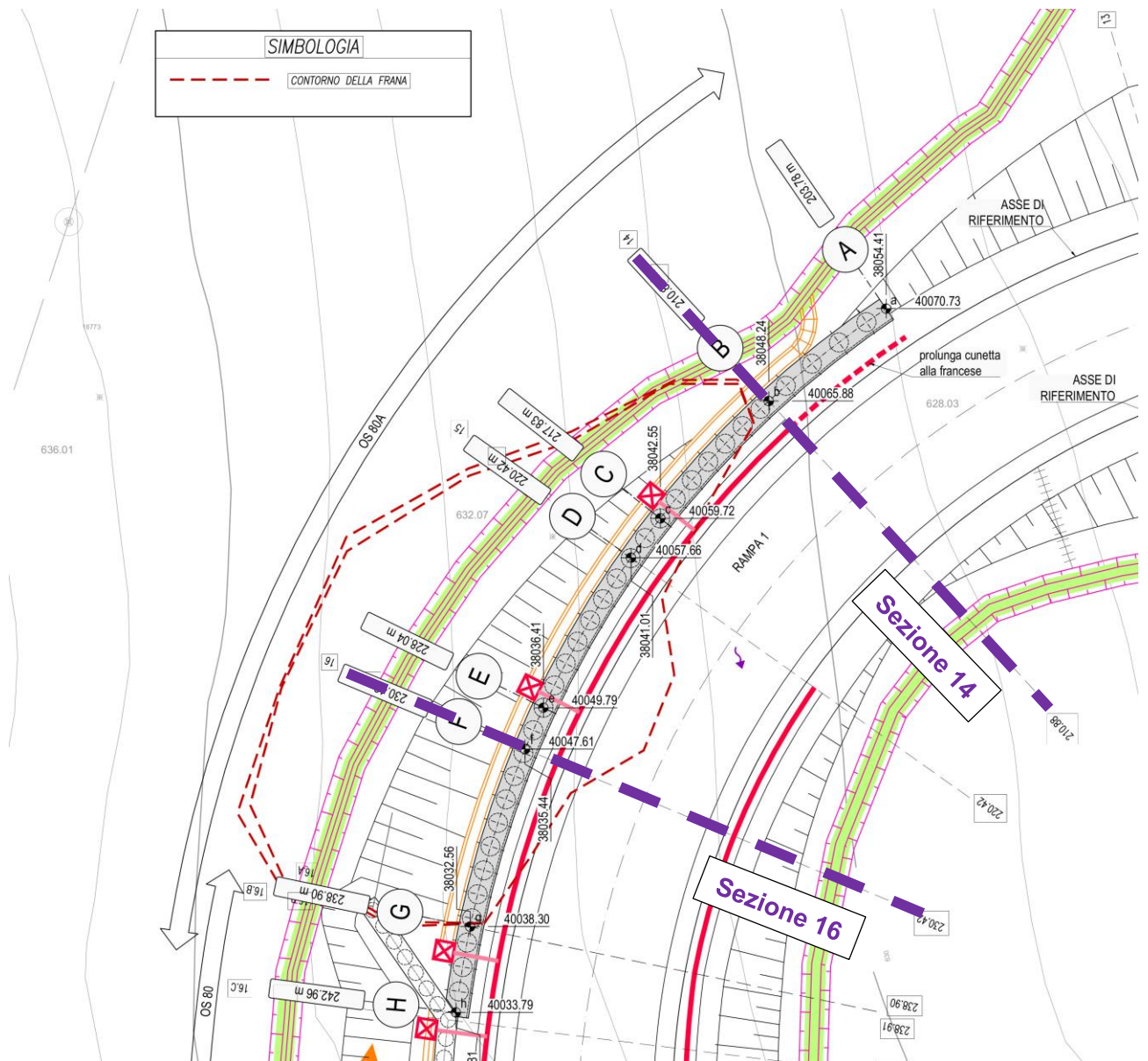


Figura 15: Planimetria intervento con indicazione delle sezioni di calcolo

10 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA E GEOTECNICA DEI TERRENI

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

10.1 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE

Per l'area in esame sono disponibili le prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH1÷DPSH5 (vedasi il paragrafo 7).

Il coefficiente di correlazione fra il numero di colpi misurato nelle prove DPSH e il numero di colpi SPT (N_{SPT}) è 1.504 così come indicato nelle caratteristiche tecniche dello strumento riportate nei certificati delle prove; in Figura 16 (a) e (b) sono riportati gli andamenti con la profondità del numero di colpi N e N_{SPT} equivalente per le diverse prove.

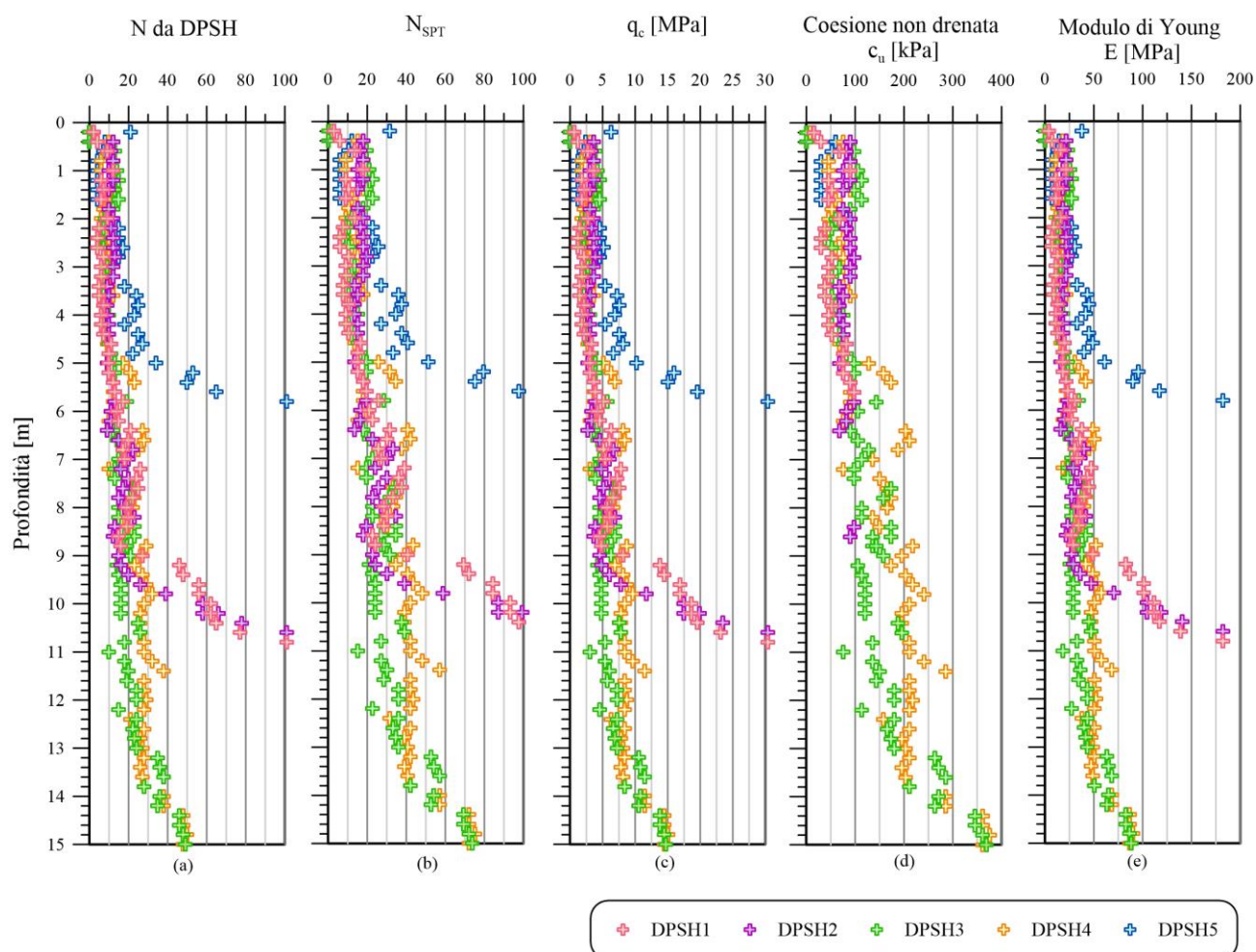


Figura 16: Interpretazione delle prove geotecniche dai valori delle DPSH.

Utilizzando la correlazione proposta da Robertson et al. (1883) riportata nella Figura 17 è possibile passare dal numero di colpi N_{spt} alla resistenza di punta q_c . Nel caso in esame data la natura essenzialmente argillosa dei terreni si assume un coefficiente di trasformazione pari a:

$$\frac{q_c}{100 \cdot N_{spt}} \approx 2 .$$

In Figura 16 (c) si riportano gli andamenti della q_c equivalente con la profondità per le diverse prove.

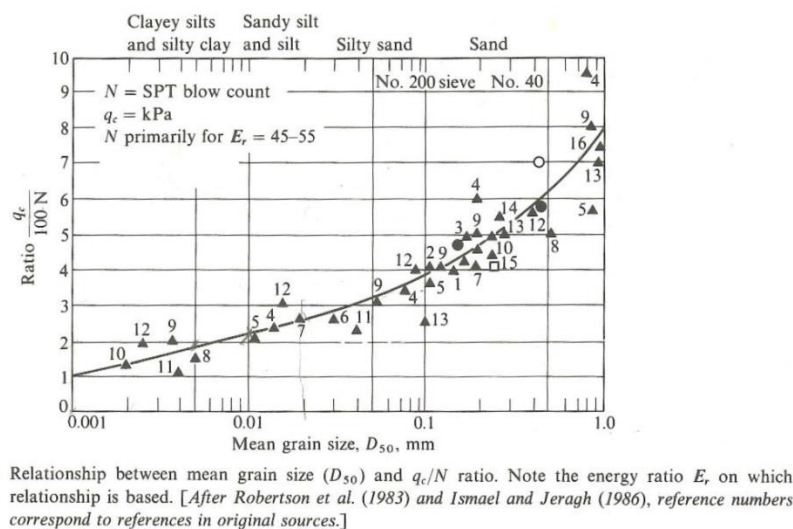


Figura 17: Correlazione fra N_{spt} e q_c

10.1.1 Caratteristiche di resistenza in termini di coesione non drenata

La resistenza a taglio non drenata è stata desunta dalle prove penetrometriche DPSH con riferimento ai valori di N_{spt} equivalenti.

La correlazione utilizzata è quella proposta da Stroud (1974):

$$c_u \approx 5 \cdot N_{spt} ,$$

Il grafico di Figura 16 (d) riporta i valori di c_u così stimati.

10.1.2 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):

$$E = \alpha \cdot q_c \quad \text{con } \alpha = 6 .$$

Il grafico di Figura 16 (e) riporta i valori di E così stimati.

10.2 INTERPRETAZIONE DELLE PROVE DI LABORATORIO

Le prove di laboratorio disponibili sono quelle relative al sondaggio SD23Pz la cui ubicazione è prossima all'area oggetto di studio. I risultati sono sintetizzati nella tabella seguente.

Tabella 4: 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	CaCO ₃ %	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 ϕ' (°) 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	

10.3 UNITA' STRATIGRAFICHE

In base alle indagini disponibili in Figura 18 e in Figura 19 si riportano le sezioni geologico-stratigrafiche di riferimento, da cui risultano le seguenti unità geotecniche:

- **Unità LSA(a-2):** coltre eluvio-colluviale di bassa consistenza costituita prevalentemente da limi e argille. Lo spessore di questa unità è circa 4.5m.
- **Unità LSA:** Limi sabbiosi argillosi moderatamente consistenti con spessore fino a 6.0m.
- **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.

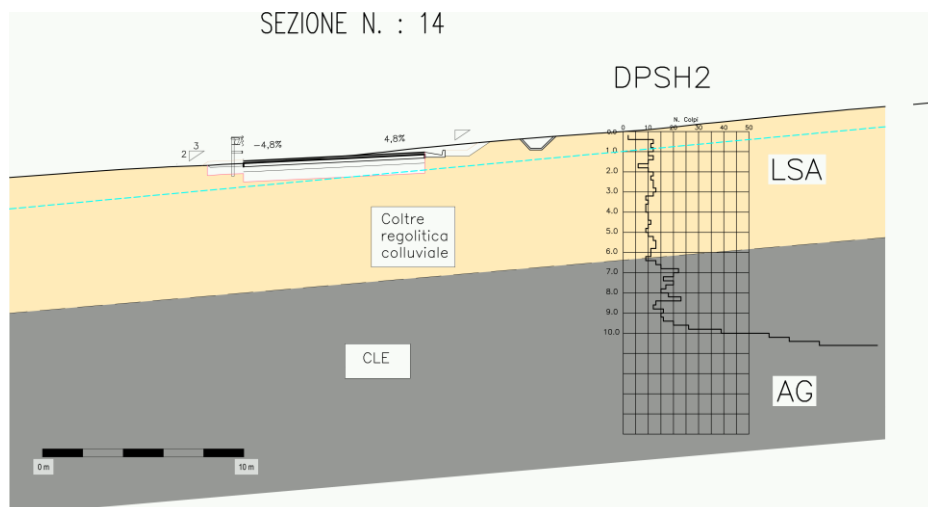


Figura 18: Sezione geologica e stratigrafica (sez. 14)

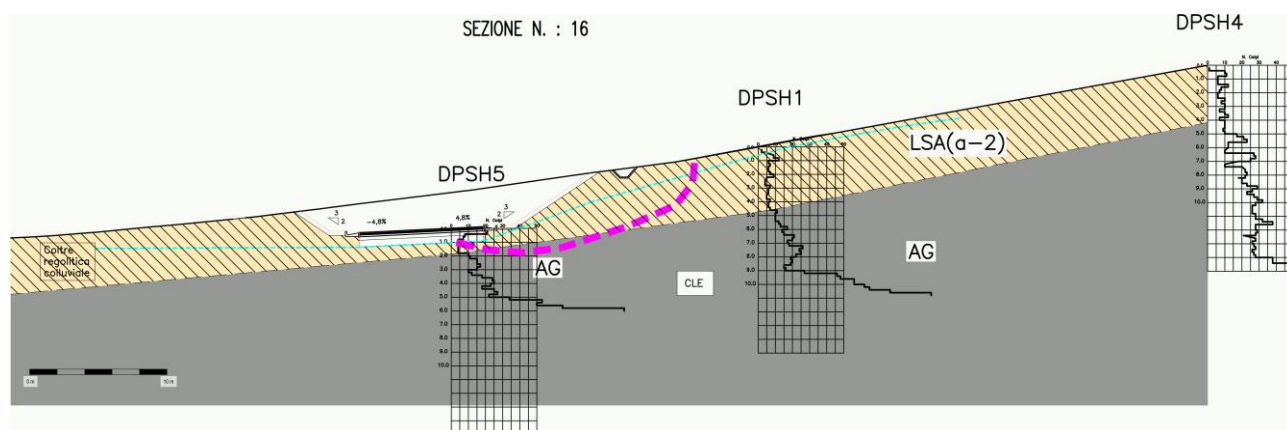
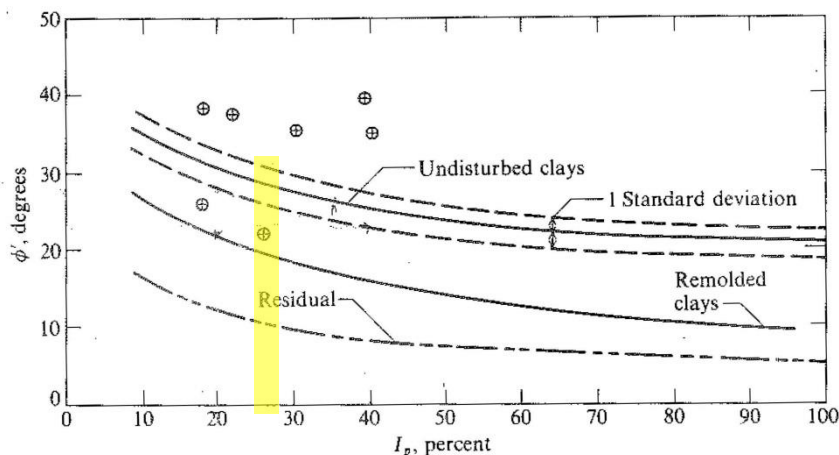


Figura 19: Sezione geologica e stratigrafica (sez. 16)

Nella Tabella 5 si riportano per le diverse unità i parametri geotecnici di riferimento. È 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 20 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 20: Correlazione fra angolo di resistenza a taglio e indice plastico

Tabella 5: 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

10.3.1 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 un livello di falda a -1.0m da p.c..

10.3.2 Confronto tra stratigrafia di PEA - stratigrafia di PV3 e stabilità delle scarpate di scavo

Di seguito si riporta un confronto tra la stratigrafia definita in ambito di PEA e la stratigrafia di riferimento per la nuova opera definita in sede di PV3 sulla base delle indagini integrative.

In particolare, per il confronto con la situazione di PEA si fa riferimento all'assetto stratigrafico desumibile dal profilo geotecnico in asse all'infrastruttura; analogamente, per le caratteristiche dei materiali si fa riferimento ai parametri geotecnici definiti in PEA.

Dall'elaborato del profilo geotecnico di PEA (PEGTL038_30_4137) si individua l'unità LSA con spessori di qualche metro e poi l'unità AG. In particolare per l'unità LSA il profilo geotecnico riporta i seguenti parametri:

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3;$$

$$\varphi' = 22^\circ \div 27^\circ;$$

$$c' = 5 \div 25 \text{ kPa.}$$

La differenza sostanziale rispetto alla stratigrafia assunta in ambito di PV3, riguarda l'unità LSA(a-2) che in sede di PEA non era stata individuata.

Di seguito si riporta la verifica di stabilità della scarpata 2/3 per la sezione 16 assegnando al terreno di copertura sia i parametri di resistenza dell'unità LSA definiti in ambito di PEA che quelli definiti in ambito di PV3.

10.3.2.1 *Effetti della nuova stratigrafia sulla stabilità*

La verifica di stabilità secondo l'Approccio 1, combinazione 2 (A2+M2+R2) condotta in riferimento alla caratterizzazione geotecnica definita in ambito PEA, evidenzia il soddisfacimento dei requisiti previsti da Normativa in termini di sicurezza (Figura 21). Il coefficiente di sicurezza $FS = 1.13$ è superiore al valore minimo da normativa $FS = 1.1 = \gamma_{R2}$ anche assumendo la falda prossima a p.c. e quindi ad un livello superiore a quello assunto in fase di PEA.

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

OS80A - Relazione di Calcolo

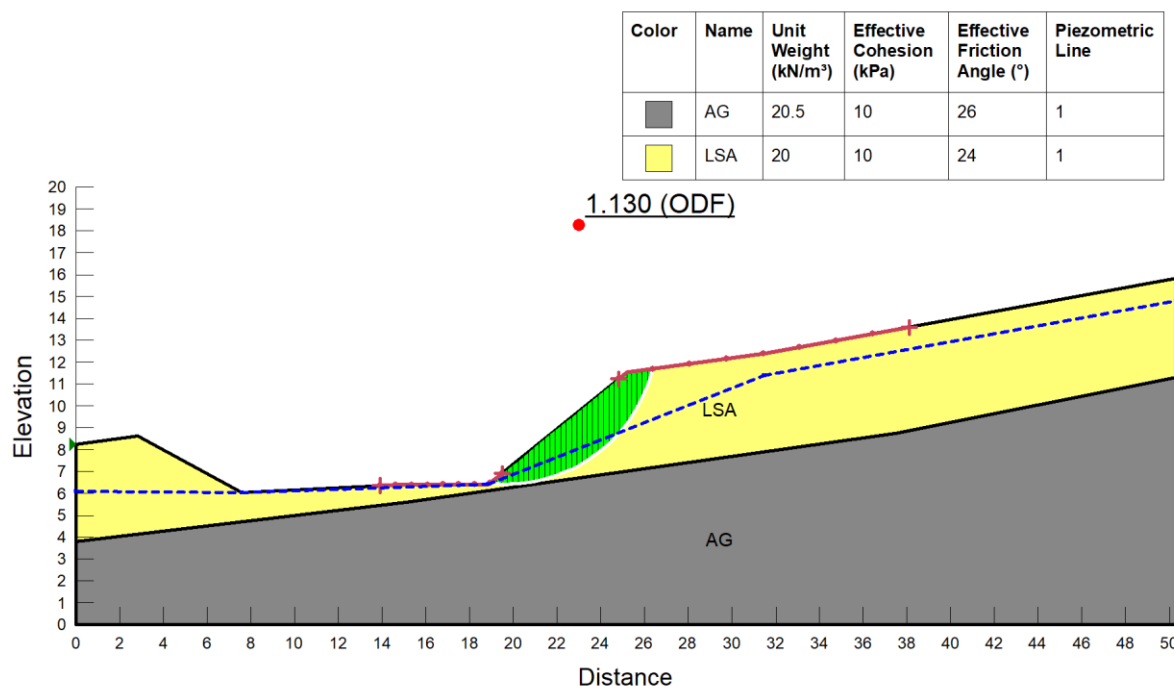


Figura 21: Verifica di stabilità della scarpata di scavo 2/3 con i parametri di resistenza di PEA

La stessa verifica è stata condotta in riferimento alla nuova stratigrafia definita a valle della campagna di indagine integrative e ai nuovi criteri adottati in termini di parametri geotecnici e livelli di falda. Come mostra la Figura 22, in tali nuove condizioni la verifica di stabilità non risulta più soddisfatta. Pertanto, la configurazione progettuale di PEA non soddisfa più i requisiti prestazionali in termini di sicurezza e durabilità previsti dalla normativa vigente.

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

OS80A - Relazione di Calcolo

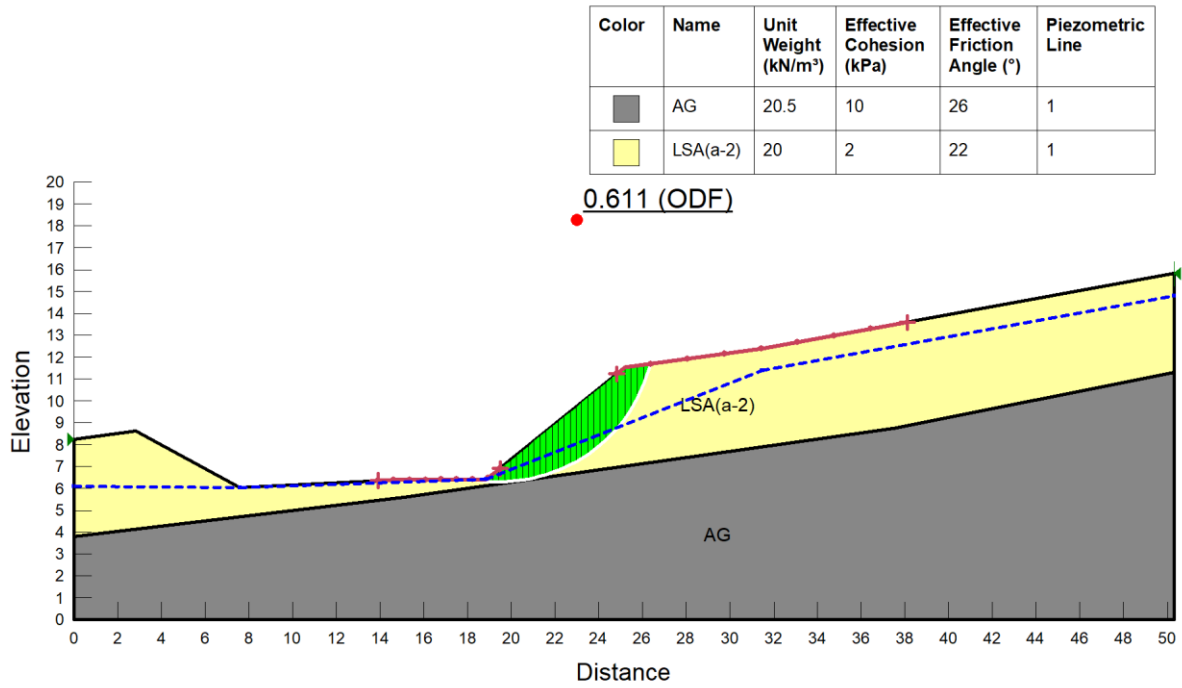


Figura 22: Verifica di stabilità della scarpata di scavo 2/3 con i parametri di resistenza di PV3

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 E AZIONI

11.1.1 Spinta del terreno in condizione statiche, G1

La spinta del terreno è valutata sulla base del modello di interazione terreno-struttura descritto al § 12.1, i coefficienti di spinta sono stati valutati in accordo al §12.1.1.

11.1.2 Spinta di frana in condizione statica, G2

Al fine del dimensionamento dell'opera di sostegno è stata considerata la spinta di frana valutata come illustrato al §14.

11.1.3 Forze inerziali parete sommitale, E

L'azione sismica dovuta alle forze di inerzia agenti sulla parete in elevazione sono applicate come forze statiche equivalenti proporzionali al peso:

$F_h = a_{max} / g \cdot W$, con a_{max} definita al §6.2.

11.1.4 Spinta di frana in condizioni sismiche, E

La spinta di frana in condizione sismiche è stata definita come riportato al §14 in cui i coefficienti sismici per le analisi di stabilità globale sono in accordo al paragrafo 7.11.4 del DM2018.

Assumendo:

- $\beta_s = 0.38$;

risulta:

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

11.2 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.

11.2.1 Approccio di verifica della paratia

In **condizioni statiche** le verifiche sono state sviluppate con riferimento alle NTC 2018, adottando per gli stati limite ultimi (SLU) di tipo strutturale (STR) e geotecnico (GEO):

- approccio 1, combinazione 1: A1+M1+R1 (STR);
- approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R1 (GEO).

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

- Approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2 (GEO_{stab}).

I coefficienti parziali per le azioni (A), i parametri geotecnici del terreno (M) e le resistenze (R) sono in accordo alla tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I (stabilità) di cui alle NTC 2018.

In aggiunta alle verifiche di cui sopra, è stato controllato lato scavo il rapporto tra la spinta e la resistenza del terreno; in particolare deve risultare:

- per la condizione A1+M1 il rapporto deve essere inferiore a 1/1.4, dove 1.4 è il coefficiente parziale sulle resistenze esplicitato in Tab. 6.5.I delle NTC 2018.
- per la condizione A2+M2 il rapporto deve essere inferiore a 1/1.

In **condizioni di esercizio** gli spostamenti dell’opera di sostegno dovranno essere compatibili con la funzionalità.

Inoltre, dovranno essere soddisfatte le verifiche sullo stato tensionale dei materiali e di fessurazione. Con riferimento alla Tab. 4.1.III delle NTC2018 in base alla classe di esposizione del calcestruzzo si qualifica automaticamente la “Condizione ambientale”. Nel caso in esame sia per i pali che per la parete sommitale risultano “condizioni aggressive”. Nella tabella seguente sono indicati i limiti di fessurazione con riferimento alle condizioni ambientale e al tipo di armatura (NTC2018).

Tabella 6: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armature poco sensibili		
			Stato limite	w _d	
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	≤ w ₃	0.4
		quasi permanente	ap. fessure	≤ w ₂	0.3
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤ w ₂	0.3
		quasi permanente	ap. fessure	≤ w ₁	0.2
c	Molto aggressive	frequente	ap. fessure	≤ w ₁	0.2
		quasi permanente	ap. fessure	≤ w ₁	0.2

In **condizioni sismiche** le verifiche sono eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto.

In aggiunta alle verifiche di cui sopra, è stato controllato lato scavo il rapporto tra la spinta e la resistenza del terreno; in particolare deve risultare che per la condizione A1+M1 il rapporto deve essere inferiore a 1/1.2, dove 1.2 è il coefficiente parziale sulle resistenze esplicitato in Tab. 7.11.III delle NTC 2018.

L’analisi in condizioni sismiche è eseguita con il metodo pseudo-statico.

In condizioni sismiche SLV si considera un comportamento strutturale non dissipativo per cui la capacità resistente della struttura è valutata in campo sostanzialmente elastico.

11.2.2 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, 6.2.II per le resistenze si adotta un coefficiente $\gamma_R=1.1$ in accordo alla Tabella 6.8.I di cui alle NTC2018 (Tabella 7).

Tabella 7: 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 §11.1.4.

11.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

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

G_1 = Azioni permanenti dovute al peso proprio degli elementi;

G_2 = Azioni dovute alla spinta di frana.

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

$$\gamma_G \cdot G_1 + \gamma_G \cdot G_2$$

- *Combinazione caratteristica (rara), frequente e quasi permanente* impiegata per gli stati limite di esercizio (**SLE**):

$$G_1 + G_2$$

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

$$E + G_1 + G_2$$

12 DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI

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

Al fine di rappresentare il comportamento dell'opera di sostegno durante le varie fasi di lavoro si è utilizzato un metodo di calcolo capace di simulare l'interazione terreno-paratia. L'analisi è stata sviluppata con il software Paratie Plus 2021 di Harpaceas.

PARATIE è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

Il problema è visto come un problema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella seguente figura.

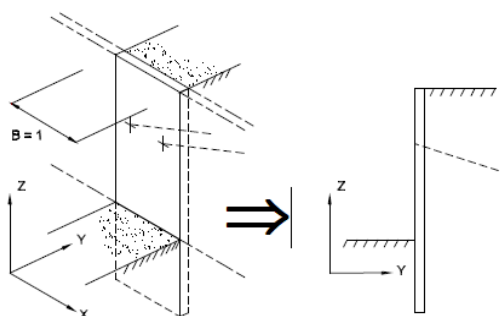


Figura 23: Modellazione piana della paratia.

La modellazione numerica dell'interazione terreno-struttura è del tipo “trave su suolo elastico”; le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ , mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

Il limite di questo schema sta nell'ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una “molla”, abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l'interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

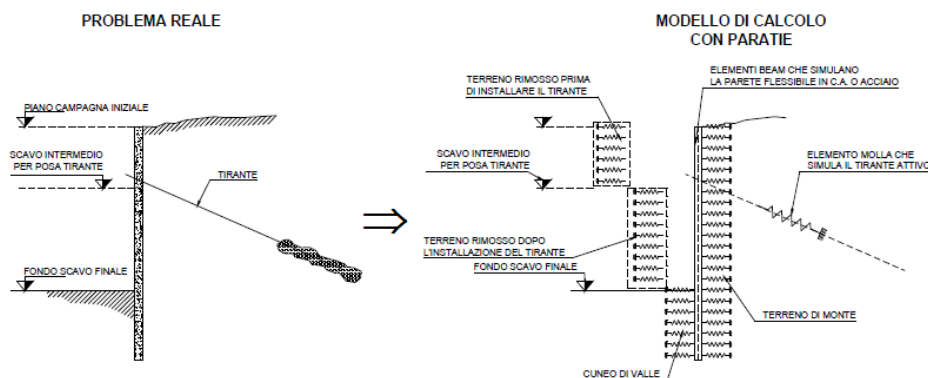


Figura 24: Schematizzazione terreno ed ancoraggi.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate/puntellate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi “statica incrementale”: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti/vincoli applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe, 1996).

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

12.1.1 Coefficienti di spinta in condizione statiche

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici. In particolare, i coefficienti di spinta attiva (k_a) sono calcolati secondo la formulazione di Coulomb; i coefficienti di spinta passiva (k_p) sono calcolati secondo la formulazione di Lancellotta (2007). In tutti i casi, spinta attiva e passiva, sono definite considerando un angolo di attrito terreno/calcestruzzo (δ) pari a $1/2\phi'$.

12.1.2 Coefficienti di spinta in condizione sismiche

In condizione sismica i coefficienti di spinta attiva (k_{ae}) sono calcolati secondo la formulazione di Mononobe-Okabe; i coefficienti di spinta passiva (k_{pe}) sono calcolati secondo la formulazione di Lancellotta (2007).

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 2021 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.

13 BACK-ANALYSIS DEL MOVIMENTO FRANOSO

Sulla base di quanto rilevato in sito è stata svolta una back-analysis all’equilibrio limite per la sezione 16, posta all’incirca al centro dell’area di frana. In particolare, è stato ipotizzato:

- la presenza di tension crack a monte della scarpata con profondità pari 1.6m, così come rilevate in sito;
- l’assenza di falda, in quanto il fenomeno franoso è avvenuto in un periodo siccitoso (fine settembre 2021) e senza rilevare presenza di acqua;
- la presenza di una interfaccia al passaggio tra la coltre (Unità LSA(a-2)) e il substrato (AG), a circa 4.5m di profondità da piano campagna, caratterizzata da una resistenza al taglio prossima a quella residua.

In Figura 25 si riporta il modello di calcolo implementato nel software GeoSlope. I parametri del terreno utilizzati per la coltre e il substrato sono quelli caratteristici di Tabella 5, la condizione di calcolo è statica.

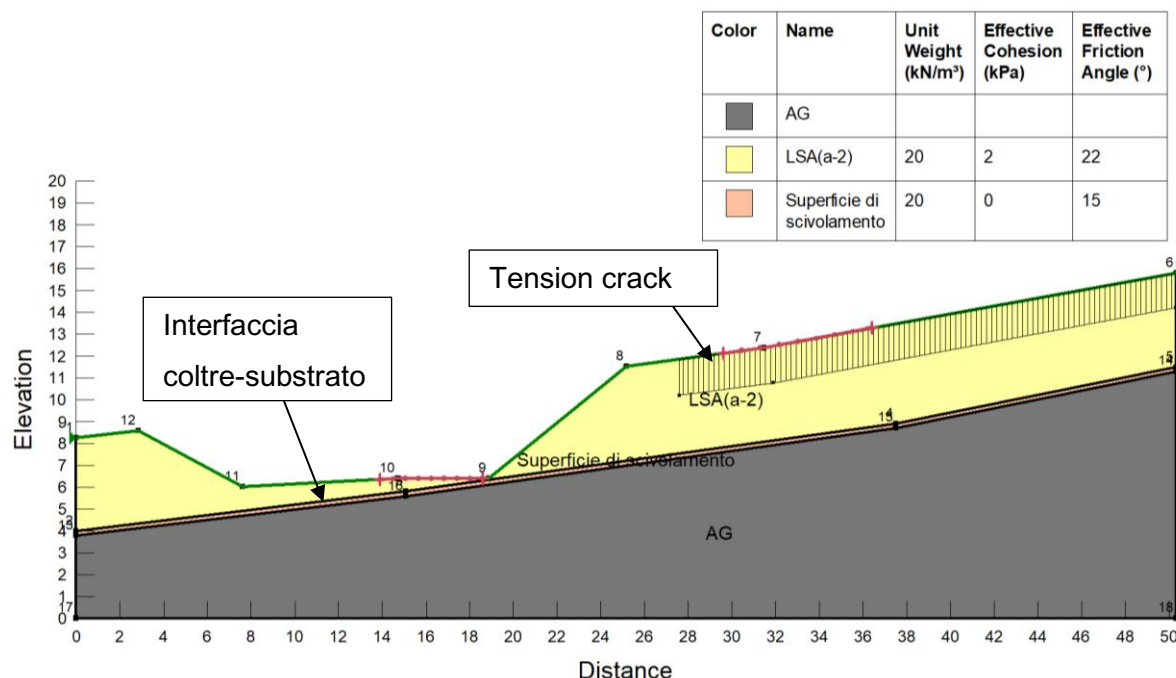


Figura 25: Modello di calcolo implementato nel software GEOSLOPE/W – Sezione 16 – Back- Analysis.

Come riportato in Figura 26, l’angolo di attrito operativo lungo la superficie di interfaccia al contatto tra coltre e substrato necessario affinché il fattore di sicurezza risulti prossimo ad 1, è pari a 15°.

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

OS80A - Relazione di Calcolo

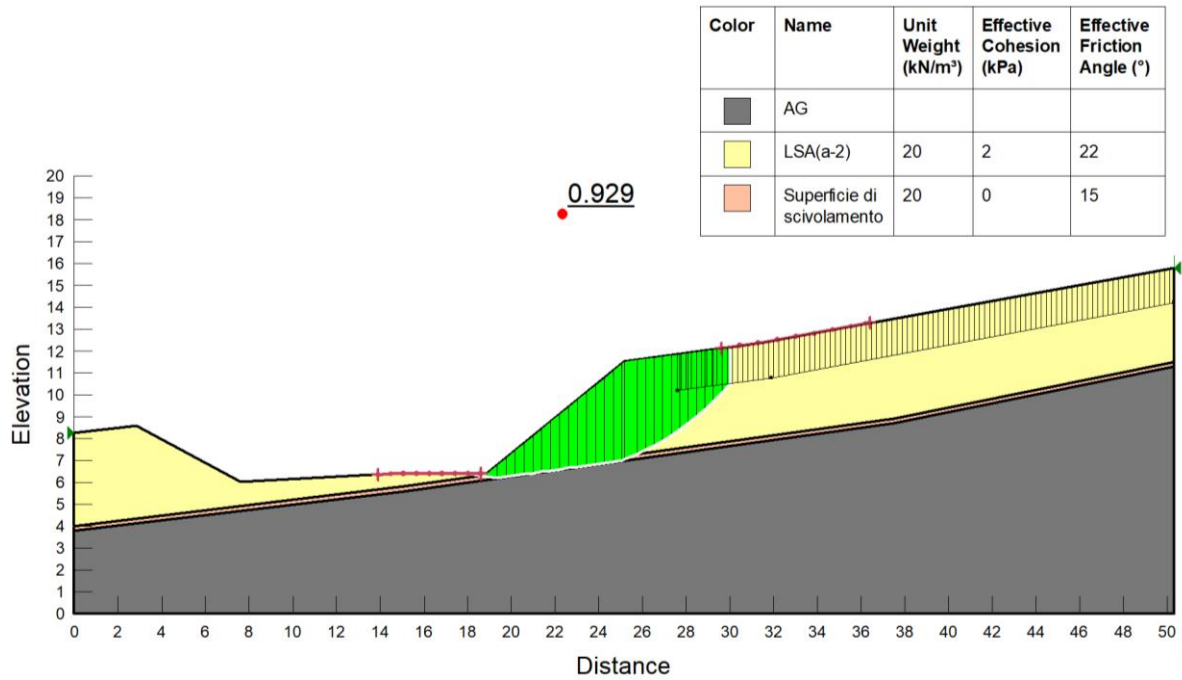


Figura 26: Back-Analysis – Sezione 16.

14 DETERMINAZIONE DELLA SPINTA DI FRANA

L'opera di sostegno è stata dimensionata per la spinta necessaria ad assicurare la stabilità nella configurazione post-operam. In Figura 27 si riporta la sezione di calcolo GeoSlope (Sezione 16); le ipotesi alla base della definizione della spinta di frana sono:

- l'analisi è svolta in condizioni drenate e nella configurazione di massima altezza fuori terra;
- la falda è posta a -1,0m da piano campagna, così come riportato al §10.3.1; è stato inoltre considerata la presenza del drenaggio a tergo della paratia modificando localmente il profilo della falda;
- sono state inserite le tension crack a monte della scarpata con profondità pari 1.6m, così come rilevate in sito;
- l'opera di sostegno è stata simulata attraverso un elemento di tipo “reinforcement - pile”.

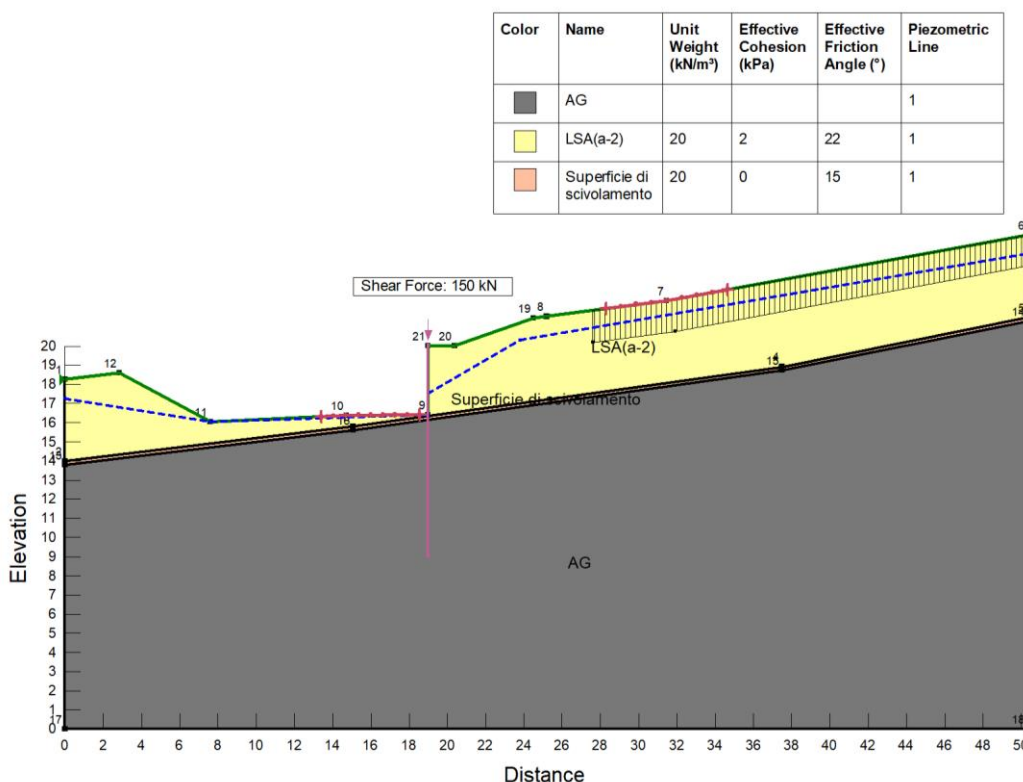


Figura 27: Modello di calcolo implementato nel software GEOSLOPE/W – Sezione 16 – Definizione della spinta di frana.

L'analisi di stabilità è stata condotta sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche in accordo agli approcci progettuali riportati al §11.2.2. Il fattore di sicurezza $FS = T_{mob}/T_{lim}$, necessario a soddisfare le verifiche di stabilità, è stato valutato per le condizioni e i parametri riportati nella seguente tabella.

Tabella 8: Determinazione del fattore di sicurezza.

Condizione di calcolo	Parametri geotecnici inputati nel software	Approccio progettuale di riferimento				$FS = T_{mob}/T_{lim}$
		Combinazione	γ_A	γ_M	γ_R	
Statica	caratteristici	A2+M2+R2	1.00	1.25	1.10	1.375
Sismica	caratteristici	A2+M2+R2	1.00	1.00	1.20	1.200

In Figura 28 e in Figura 29 si riportano i risultati delle analisi svolte per la condizione statica e per la condizione sismica.

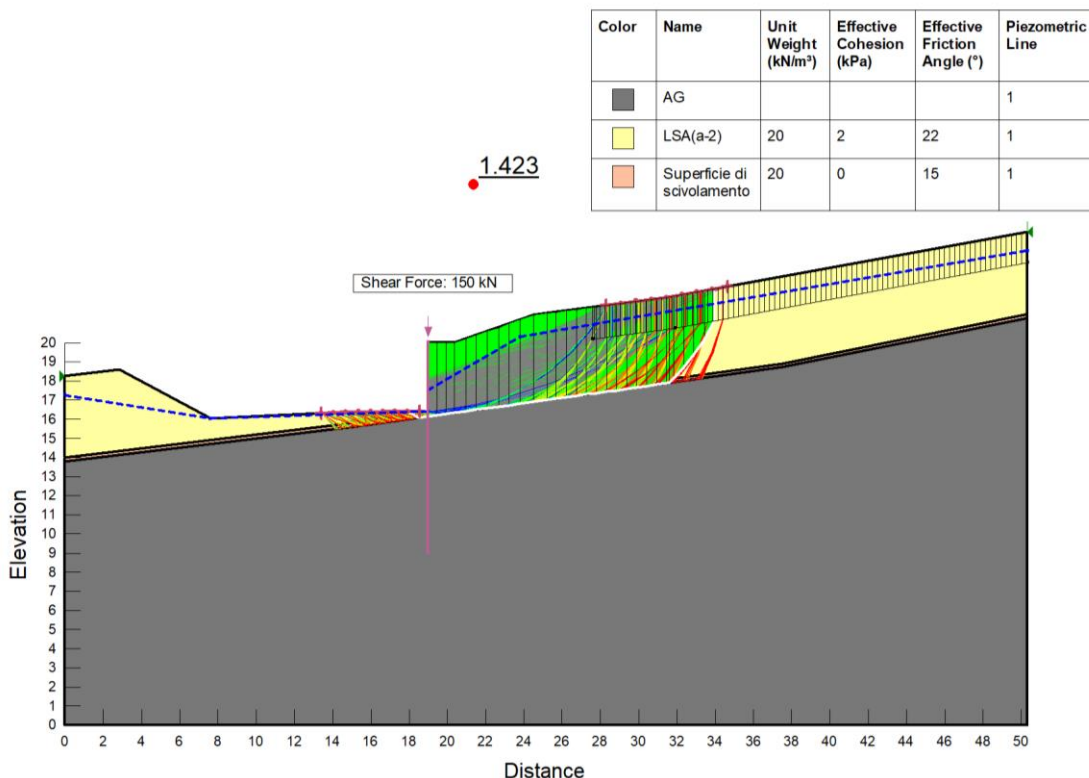


Figura 28: Sezione 16 – Definizione della spinta di frana – Condizione statica

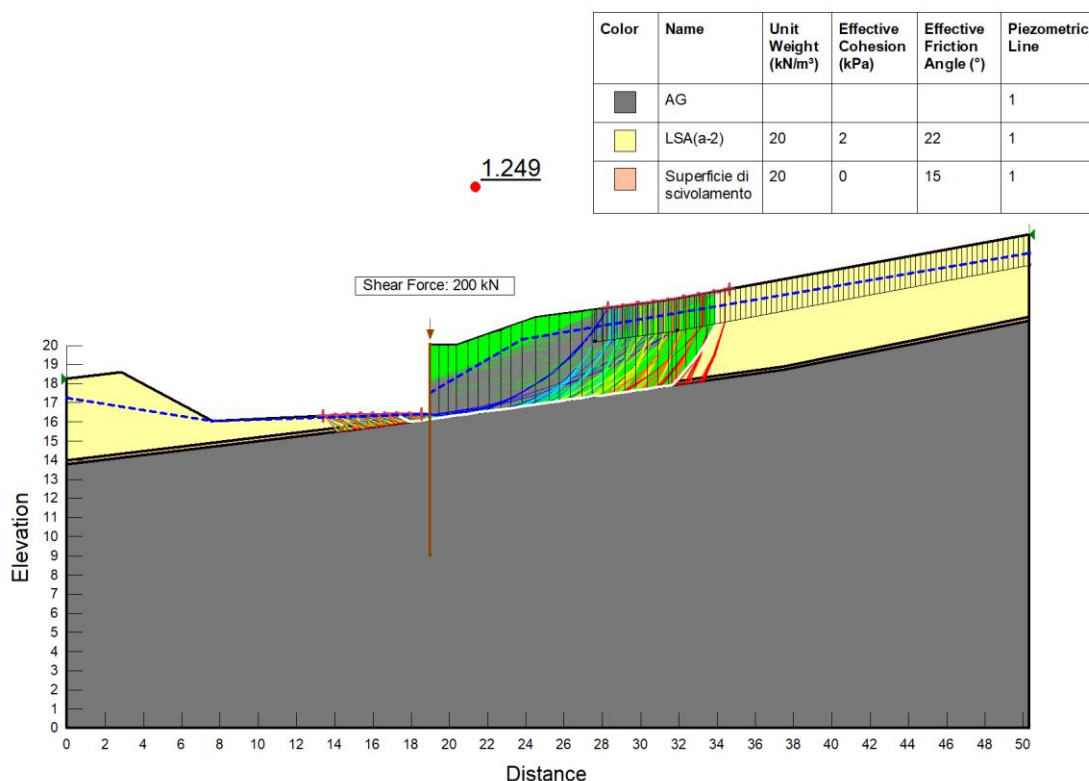


Figura 29: Sezione 16 – Definizione della spinta di frana – Condizione sismica

Le azioni necessarie ($F_{GeoSlope}$) per assicurare la stabilità sia in condizioni statiche che sismica con i margini di sicurezza previsti dalla normativa sono riportate in Tabella 9.

Tali azioni, al netto della spinta attiva che viene applicata all'opera direttamente dal modello di interazione paratia-terreno, saranno applicate come carico distribuito triangolare per una altezza pari a 3.87m (profondità interfaccia coltre-substrato in corrispondenza dell'opera di sostegno) a tergo della paratia (p_{netta} vedasi tabella seguente).

In particolare, la spinta attiva orizzontale è stata valutata secondo la teoria di Coulomb, considerando cautelativamente l'angolo di attrito terreno-muro $\delta=0^\circ$:

$$S_{a,h} = \frac{1}{2} \cdot H \cdot (\gamma \cdot H \cdot k_{a,h} + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_{a,h}})$$

Dove:

H pari 3.87m, profondità interfaccia coltre-substrato in corrispondenza dell'opera di sostegno;

$k_{a,h}$ coefficiente di spinta attiva orizzontale valutato secondo la teoria di Coulomb considerando un'inclinazione media del pendio pari a 5.1° . Pertanto risulta pari a 0.486;

γ , φ' e c' parametri geotecnici dell'Unità LSA(a-2) secondo quanto riportato in Tabella 5.

Tabella 9: Sezione 16 – Spinta di frana.

Condizione di calcolo	Azione da Geoslope $F_{GeoSlope}$ [kN/m]	Spinta attiva orizz. S_{ha} [kN/m]	Spinta netta ΔS_{netta} [kN/m]	Pressione netta p_{netta} [kPa/m]
Statica	150	67.39	82.61	42.69
Sismica	200	67.39	132.61	68.53

Le spinte definite dalle elaborazioni allo stato limite di equilibrio sopra riportate ($F_{GeoSlope}$) sono state utilizzate anche per il dimensionamento dell'opera nel tratto tra la pk 0+210.88 e la pk 0+203.78 (la cui sezione di riferimento è la 14). In Tabella 10 si riportano le azioni utilizzate per il dimensionamento; in particolare i parametri geotecnici di riferimento per il calcolo della spinta attiva sono relativi all'Unità LSA (Tabella 5). Il coefficiente di spinta attiva orizzontale risulta pari a 0.482 valutato per un'inclinazione media del pendio pari a 10°.

Tabella 10: Sezione 14 – Spinta di frana

Condizione di calcolo	Azione da Geoslope $F_{GeoSlope}$ [kN/m]	Spinta attiva orizz. S_{ha} [kN/m]	Spinta netta ΔS_{netta} [kN/m]	Pressione netta p_{netta} [kPa/m]
Statica	150	58.75	91.75	47.16
Sismica	200	58.75	141.75	72.99

15 SEZIONE DI CALCOLO 16

Il modello di calcolo Paratie è riportato nella figura seguente, sono riportati anche i coefficienti di spinta utilizzati per il calcolo.

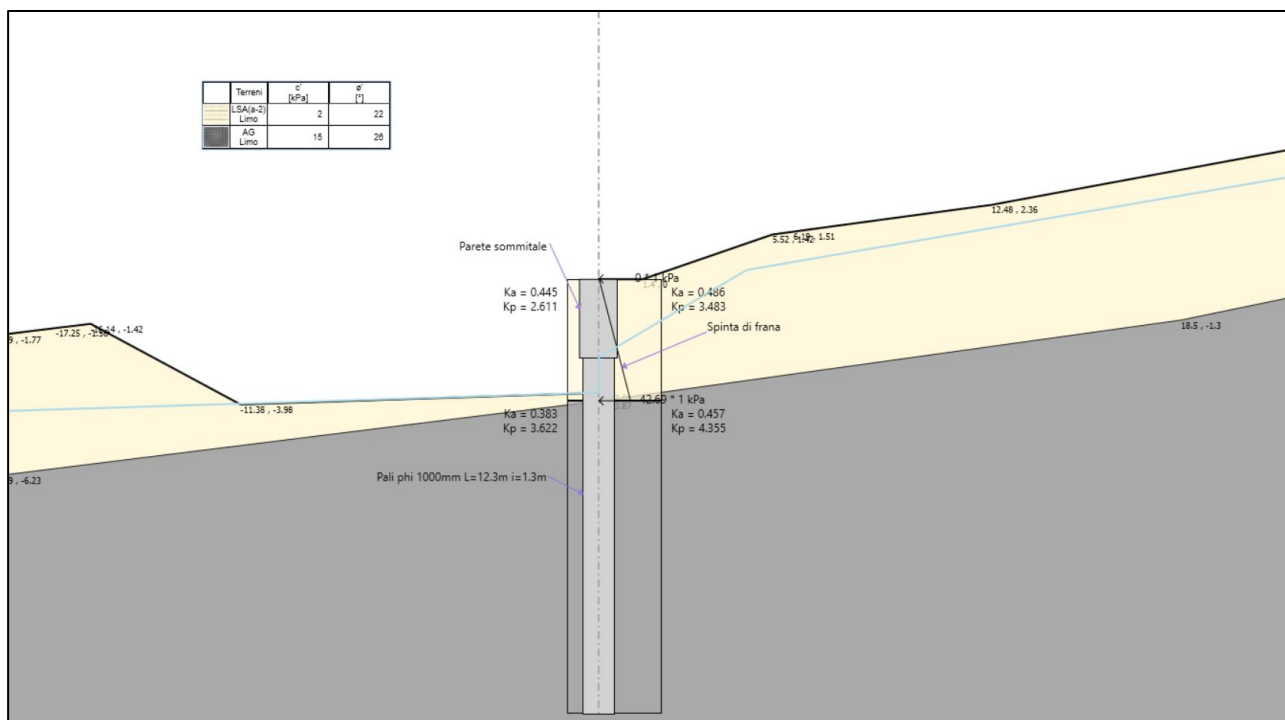


Figura 30: Sezione 16. Modello di calcolo Paratie.

I parametri geotecnici adottati delle elaborazioni sono riportati nella Tabella 5.

La falda è stata posta a -1,0m da piano campagna, così come riportato al §10.3.1; è stato inoltre considerata la presenza del drenaggio a tergo della paratia modificando localmente il profilo di falda. Solo nelle fasi iniziali di calcolo, la falda è stata posta coincidente con il piano di scavo della Rampa 1.

15.1 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.

Le fasi di calcolo considerate sono riportate nel seguito.

Fase 1. Stato attuale, la falda è stata posta coincidente con il piano di scavo della rampa 1 (Figura 31);

Fase 2. Realizzazione della paratia e della parete sommitale (Figura 32);

- Fase 3. Riempimento a tergo e rimodulazione scarpata di monte, la falda è stata posta a -1.0m da piano campagna ed è stato considerato la presenza del drenaggio a tergo della paratia (Figura 33);
- Fase 4. Applicazione della spinta di frana (Figura 34);
- Fase 5. Condizione finale: realizzazione del pacchetto stradale (Figura 35);
- Fase 6. Condizione sismica (Figura 36).

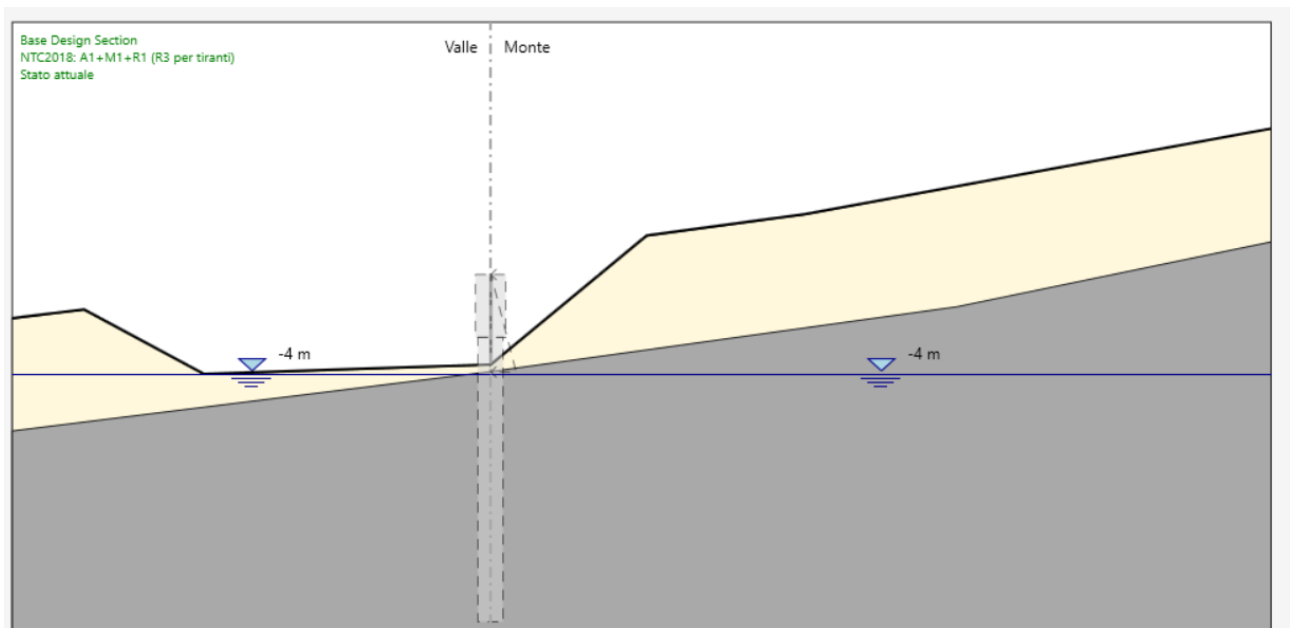


Figura 31: Fase 1. Stato attuale.

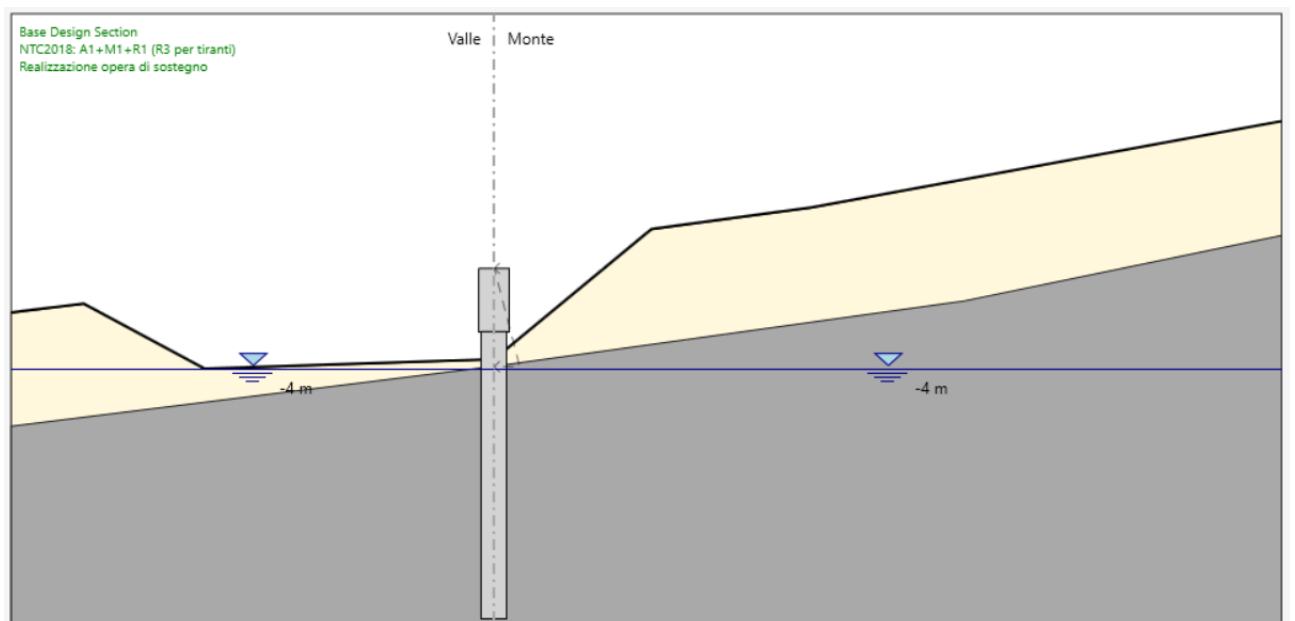


Figura 32: Fase 2. Realizzazione della paratia e della parete sommitale.

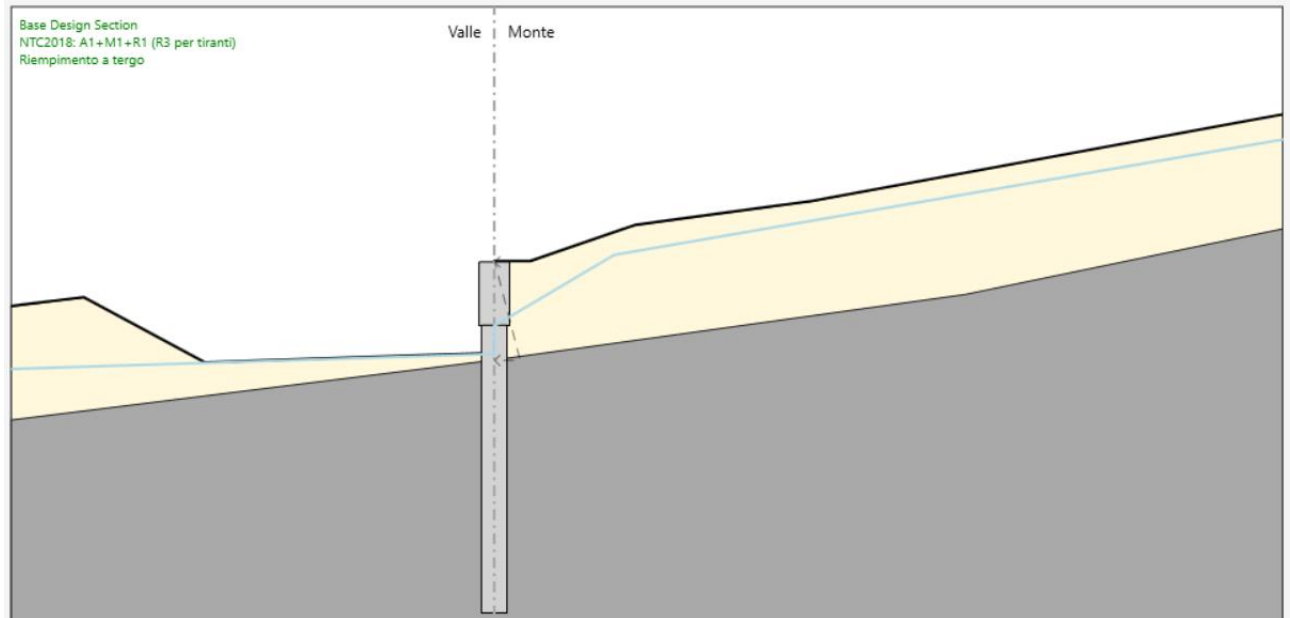


Figura 33: Fase 3. Riempimento a tergo e rimodulazione scarpata di monte.

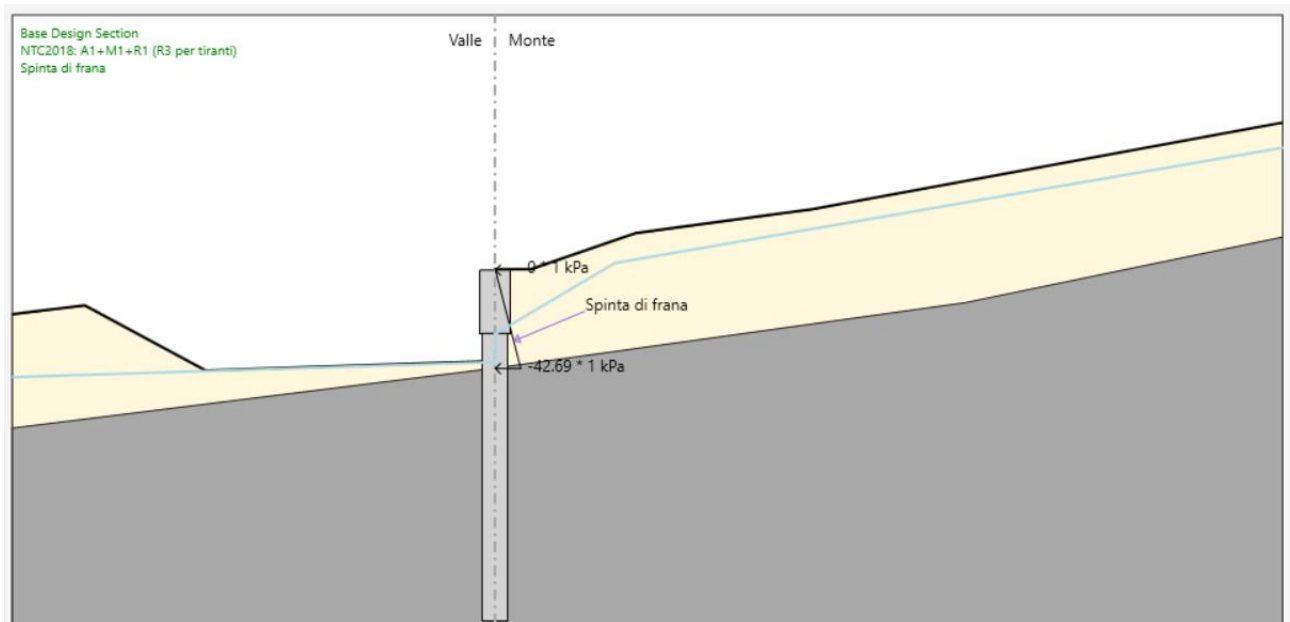


Figura 34: Fase 4. Applicazione della spinta di frana.

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

OS80A - Relazione di Calcolo

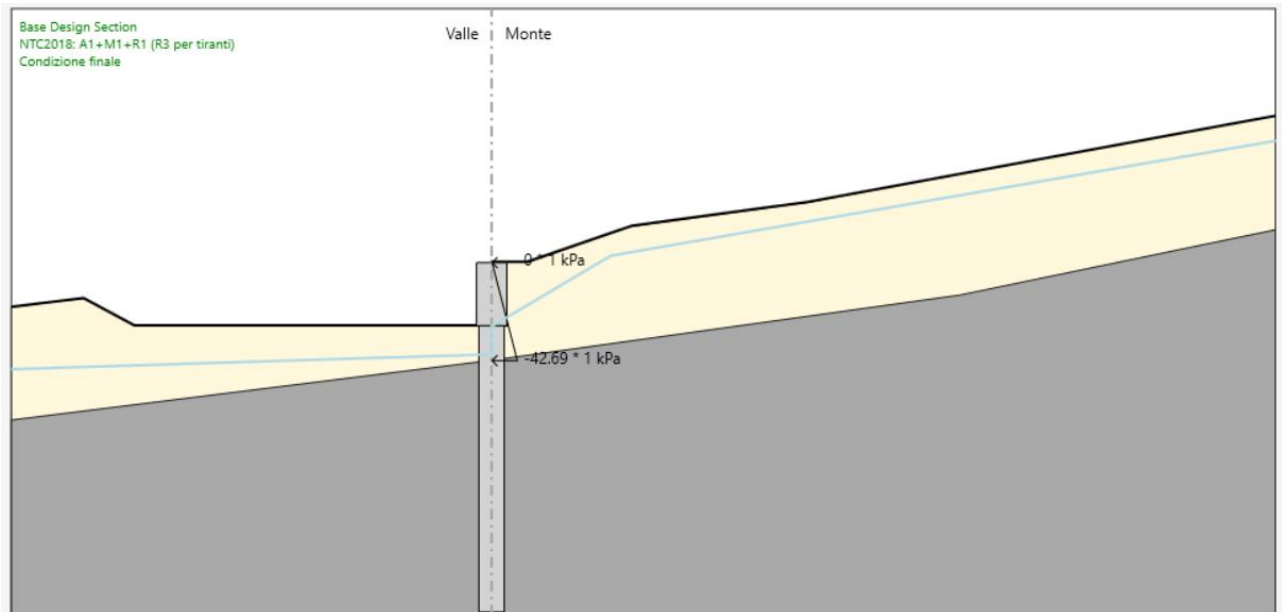


Figura 35: Fase 5: Condizione finale: realizzazione del pacchetto stradale a valle dell'opera.

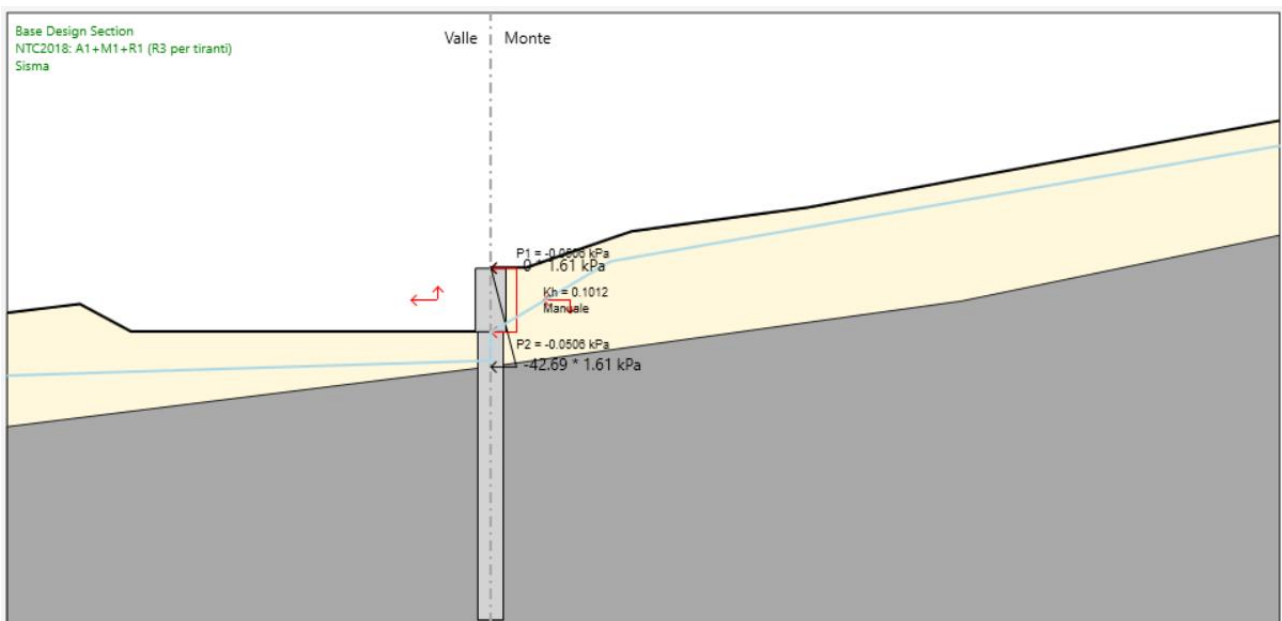


Figura 36: Fase 6: Condizione sismica.

15.2 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

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

- spostamenti orizzontali dell’opera;
- sollecitazioni sugli elementi strutturali.

15.2.1 SLE, spostamenti orizzontali dell’opera

Di seguito si riportano gli spostamenti orizzontali agli SLE (rara,frequente,q.p.) che subisce l’opera di sostegno per le fasi di calcolo 3, 4, 5.

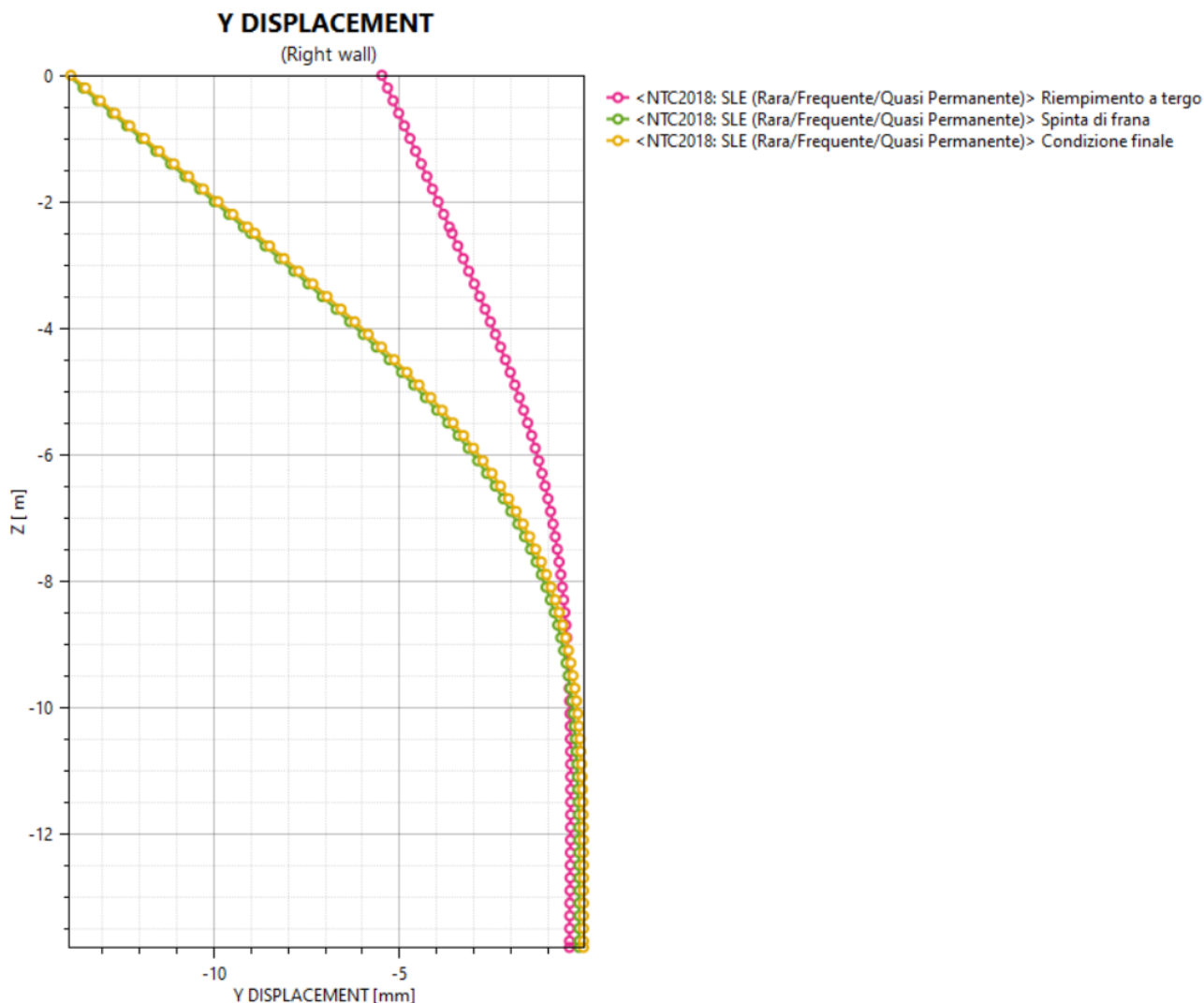


Figura 37: SLE-Combinazione rara, frequente, q.p. – Spostamenti orizzontali

15.2.2 SLE, Sollecitazioni pali

Le sollecitazioni in termini di momento flettente agente sul singolo palo sono diagrammate in funzione della profondità da testa palo in Figura 38, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime agenti sul singolo palo e la relativa profondità da testa palo.

Tabella 11: SLE-Pali. Sollecitazioni flessioni agenti sul palo.

	SLE - Rara - Frequente - QP
M_{max} [kNm]	516.46
z [m]	4.20

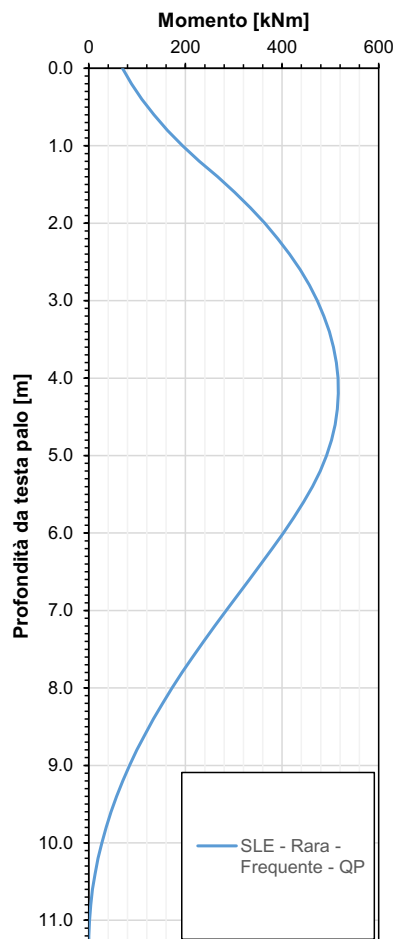


Figura 38: SLE-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

15.2.3 SLE, Sollecitazioni parete sommitale

Le sollecitazioni in termini di momento flettente a metro lineare sono diagrammate in Figura 39, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime agenti sulla parete sommitale e la relativa profondità da testa parete.

Tabella 12: SLE-Parete sommitale. Sollecitazioni

	SLE - Rara - Frequente - QP
M_{max} [kNm/m]	68.34
z [m]	2.50

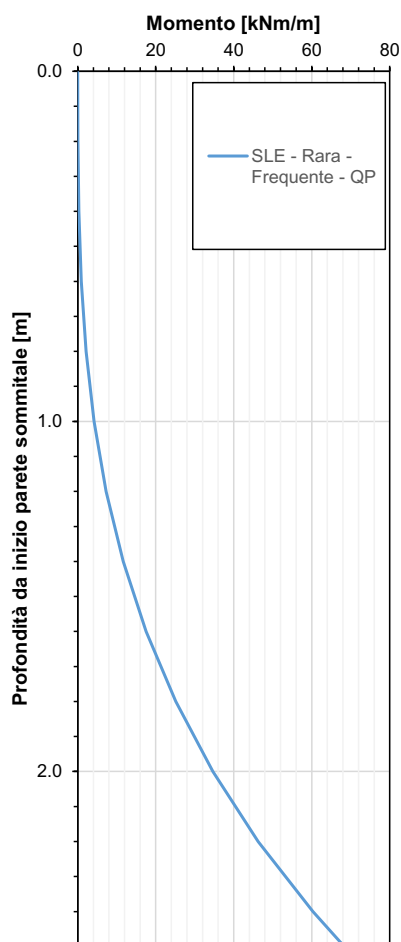


Figura 39: SLE- Parete sommitale. Diagrammi delle sollecitazioni

15.3 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).

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

Le sollecitazioni in termini di momento flettente e taglio, agente sul singolo palo, sono diagrammate in funzione della profondità dalla testa del palo in Figura 40, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime agenti sul singolo palo e la relativa profondità da testa palo.

Tabella 13: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Sollecitazioni

	Riempimento a tergo	Spinta di frana	Condizione finale	Sisma
M_{max} [kNm]	286.14	666.30	671.40	637.17
z [m]	3.80	4.20	4.20	4.00
V_{max} [kN]	109.09	248.69	245.82	240.29
z [m]	1.20	1.20	1.20	1.20

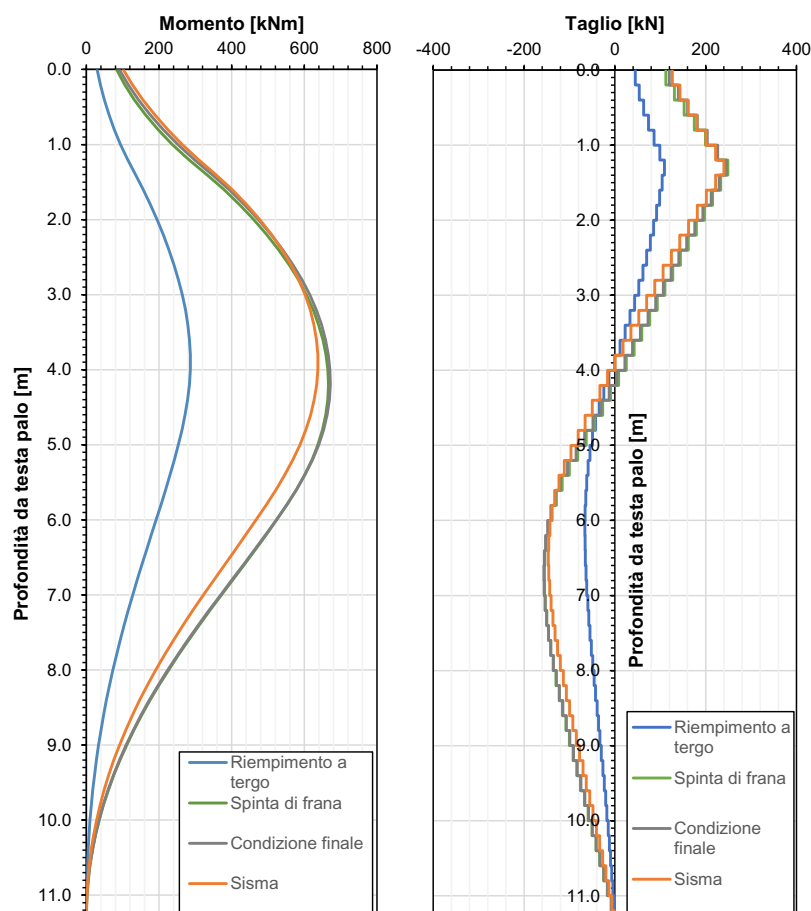


Figura 40: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

15.3.2 SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 - Sollecitazioni parete sommitale

Le sollecitazioni in termini di momento flettente e taglio a metro lineare sono diagrammate in Figura 41, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime agenti sulla parete sommitale e la relativa profondità da testa parete.

Tabella 14: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 – Parete sommitale. Sollecitazioni

	Riempimento a tergo	Spinta di frana	Condizione finale	Sisma
M_{max} [kNm/m]	22.83	63.83	70.10	77.98
z [m]	2.50	2.50	2.50	2.50
V_{max} [kN/m]	29.92	76.04	81.57	87.70
z [m]	2.50	2.50	2.50	2.50

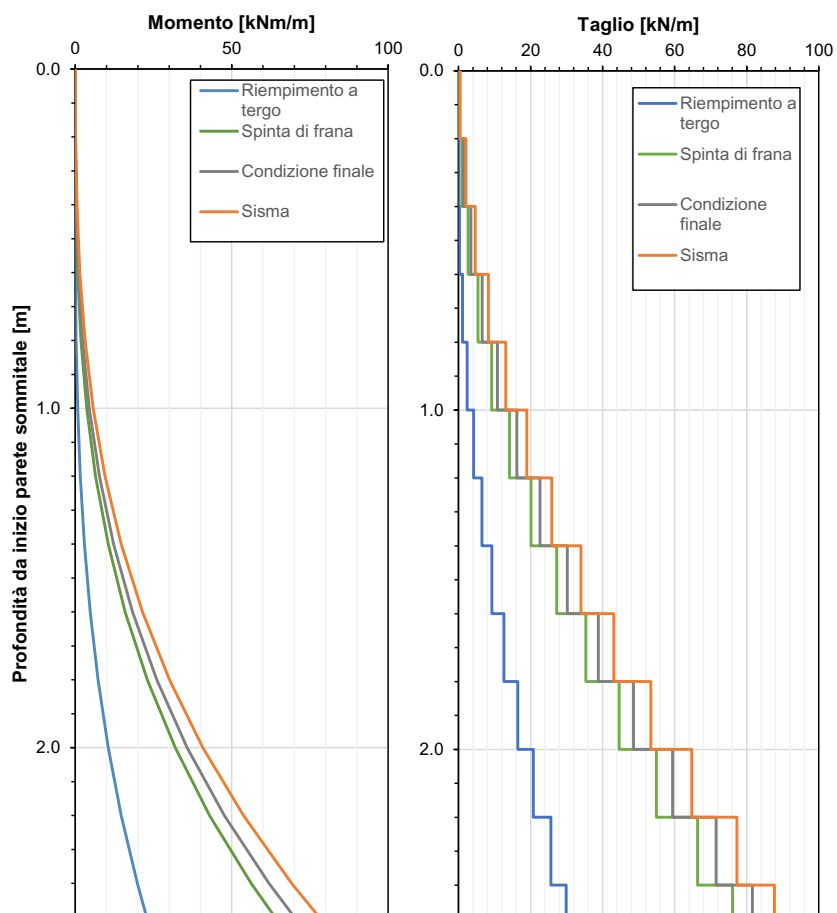


Figura 41: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1 – Parete sommitale. Diagrammi delle sollecitazioni

15.4 VERIFICHE STRUTTURALI SLU E SLE

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

15.4.1 Pali

Le verifiche del palo della paratia sono condotte sulla sezione circolare resistente avente diametro 1000mm, le caratteristiche geometrico-meccaniche sono sintetizzate in Tabella 15. La simbologia adottata ha il significato di seguito riportato:

- ID = nome assegnato alla sezione di verifica;
- d = diametro della sezione;
- A_s = armatura in zona tesa;
- A_{sw} = armatura a taglio.

Tabella 15: Caratteristiche meccaniche delle sezioni in analisi.

ID		d [mm]	A_s	A_{sw}
SC1	Palo L=11.3m	1000	20Φ30	Φ10/20

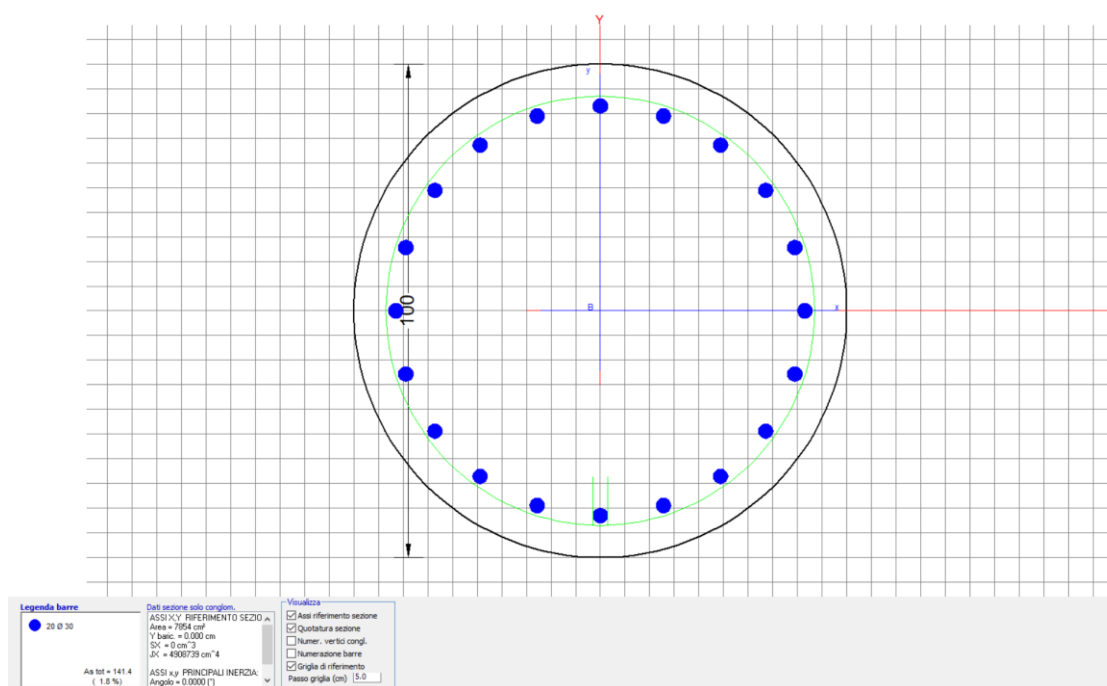


Figura 42: Sezione SC1

15.4.1.1 Verifica SLU/SLV - Verifica flessionale

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche a presso-flessione condotte agli SLU e agli SLV, le sollecitazioni agenti sono riportate al paragrafo 15.3.1:

- N_{Sd} : sforzo normale di progetto (positivo se di compressione);
- M_{Sd} : sollecitazione flessionale di progetto;
- M_{Rd} : sollecitazione flessionale resistente;
- IS: Indice di Sfruttamento massimo.

Tabella 16: Verifiche a presso/tenso-flessione allo SLU - palo

ID	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC1	0.0	671.4	1941.7	0.35

Tabella 17: Verifiche a presso/tenso-flessione allo SLV - palo

ID	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC1	0.0	637.2	1374.9	0.46

15.4.1.2 Verifica SLU/SLV – Verifica a taglio

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche agli SLU e agli SLV, le sollecitazioni agenti sono riportate al paragrafo 15.3.1:

- V_{Sd} : sollecitazione di taglio di progetto;
- V_{Rd} : sollecitazione di taglio resistente;
- IS: Indice di Sfruttamento massimo.

Tabella 18: Verifiche a taglio allo SLU - palo

ID	V_{Sd} [kNm]	V_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC1	248.7	1770.8	0.14

Tabella 19: Verifiche a taglio allo SLV - palo

ID	V_{Sd} [kNm]	V_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC1	240.3	1754.9	0.14

15.4.1.3 Verifica SLE - Verifica a fessurazione

In Tabella 20 sono riportati i massimi valori di apertura delle fessure per le sezioni esaminate allo SLE. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- M_{cr} : sollecitazione flessionale resistente di prima fessurazione;
- w_k : massima apertura delle fessure;
- w_{lim} : apertura limite delle fessure definita in accordo alla Tabella 6.

Le sollecitazioni agenti sono riportate al paragrafo 15.2.2.

Tabella 20: Massimi valori di apertura delle fessure agli SLE - palo.

ID	SLE-frequente					SLE-QP				
	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{cr} [kNm]	w_k [mm]	w_{lim} [mm]	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{cr} [kNm]	w_k [mm]	w_{lim} [mm]
SC1	97.5	516.5	400.8	0.183	0.300	97.5	516.5	400.8	0.190	0.200

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto, laddove il momento agente risulta superiore a quello di prima fessurazione l'ampiezza dell'apertura delle fessure è inferiore ai limiti richiesti.

15.4.1.4 Verifica SLE - Verifica tensionale

In Tabella 21 sono riportati i massimi valori delle tensioni lato conglomerato e barre d'armatura agenti sulle sezioni esaminate. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- $\sigma_{c,max}$: massima tensione di compressione determinata nel conglomerato;
- $\sigma_{s,max}$: massima tensione di trazione determinata nelle barre d'armatura.

Le sollecitazioni agenti sono riportate al paragrafo 15.2.2.

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 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

OS80A - Relazione di Calcolo

Tabella 21: Massimi valori di tensione lato conglomerato e lato barre d'armatura agli SLE - palo.

ID	SLE-RARA				SLE-QP		
	N _s d [kN]	M _s d [kNm]	$\sigma_{c,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	N _s d [kN]	M _s d [kNm]	$\sigma_{c,max}$ [MPa]
SC1	97.5	516.5	5.87	139.2	97.5	516.5	5.87

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto:

- allo SLE le massime tensioni sul calcestruzzo risultano inferiori ai limiti imposti pari a:
 - Condizione rara: $\sigma_{c,lim}=0.60 f_{ck} = 18.0$ MPa per C30/37;
 - Condizione q.p.: $\sigma_{c,lim}=0.45 f_{ck} = 13.5$ MPa per C30/37;
- allo SLE le massime tensioni sull'acciaio risultano inferiori ai limiti imposti pari a:
 - Condizione rara: $\sigma_{s,lim}=0.80 \cdot f_{yk} = 360.0$ MPa.

15.4.2 Parete sommitale

Le verifiche della parete sommitale sono state condotte a metro lineare facendo riferimento alla sezione resistente alla base della parete stessa che presenta una altezza resistente h pari a 1.2m.

Le caratteristiche geometrico-meccaniche sintetizzate in Tabella 22.

La simbologia adottata ha il significato di seguito riportato:

- ID = nome assegnato alla sezione di verifica;
- h = altezza della sezione;
- y_1 = distanza del baricentro della prima fila di barre dal lato interno parete;
- y_2 = distanza del baricentro della seconda fila di barre dal lato interno parete;
- A_s = armatura in zona tesa a metro lineare (lato interno);
- A'_s = armatura in zona compressa (lato esterno);
- A_{sw} = armatura a taglio.

Tabella 22: Caratteristiche meccaniche delle sezioni in analisi

ID	Tratto di riferimento	h [mm]	y_1 [mm]	y_2 [mm]	A_s	A'_s	A_{sw}
SC2	0+244.4÷0+232.8	1200	50	1150	Φ20/20	Φ16/20	n.p.
SC3	0+232.8÷0+210.28	1200	48	1152	Φ16/20	Φ16/20	n.p.

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

OS80A - Relazione di Calcolo

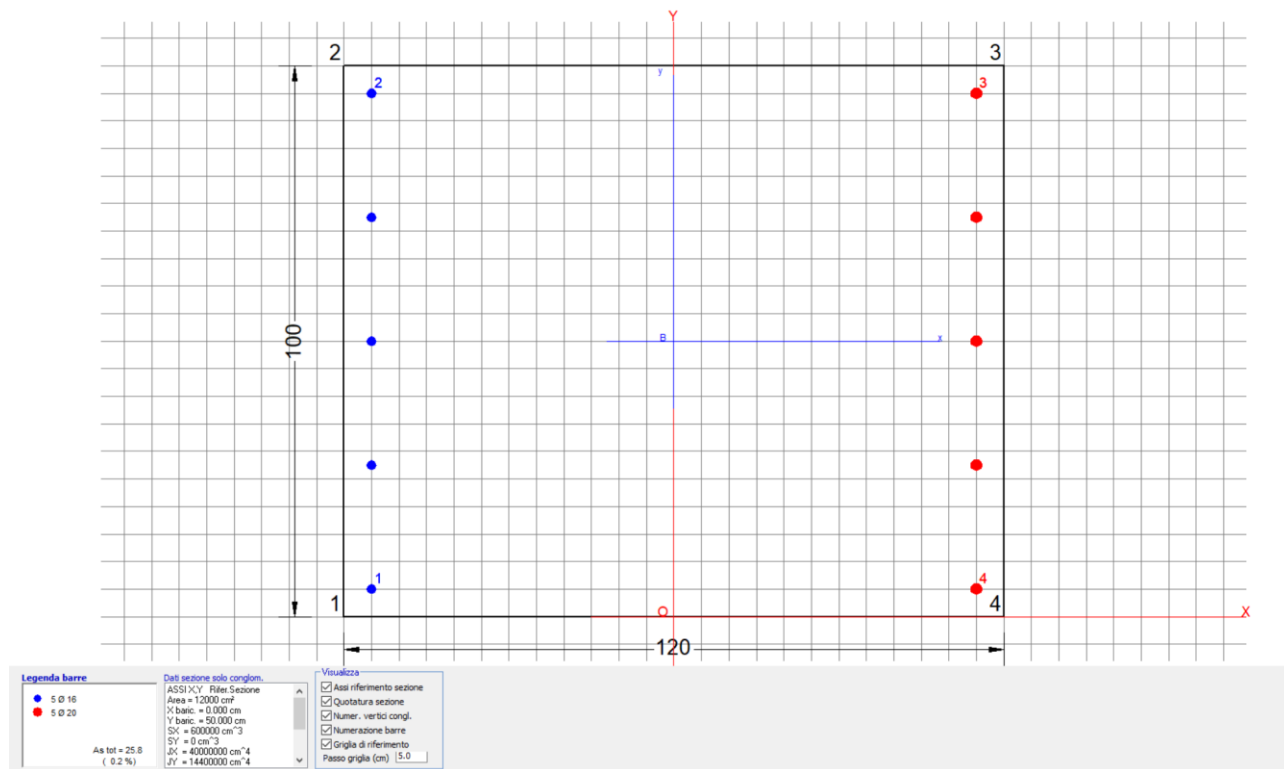


Figura 43: Sezione SC2

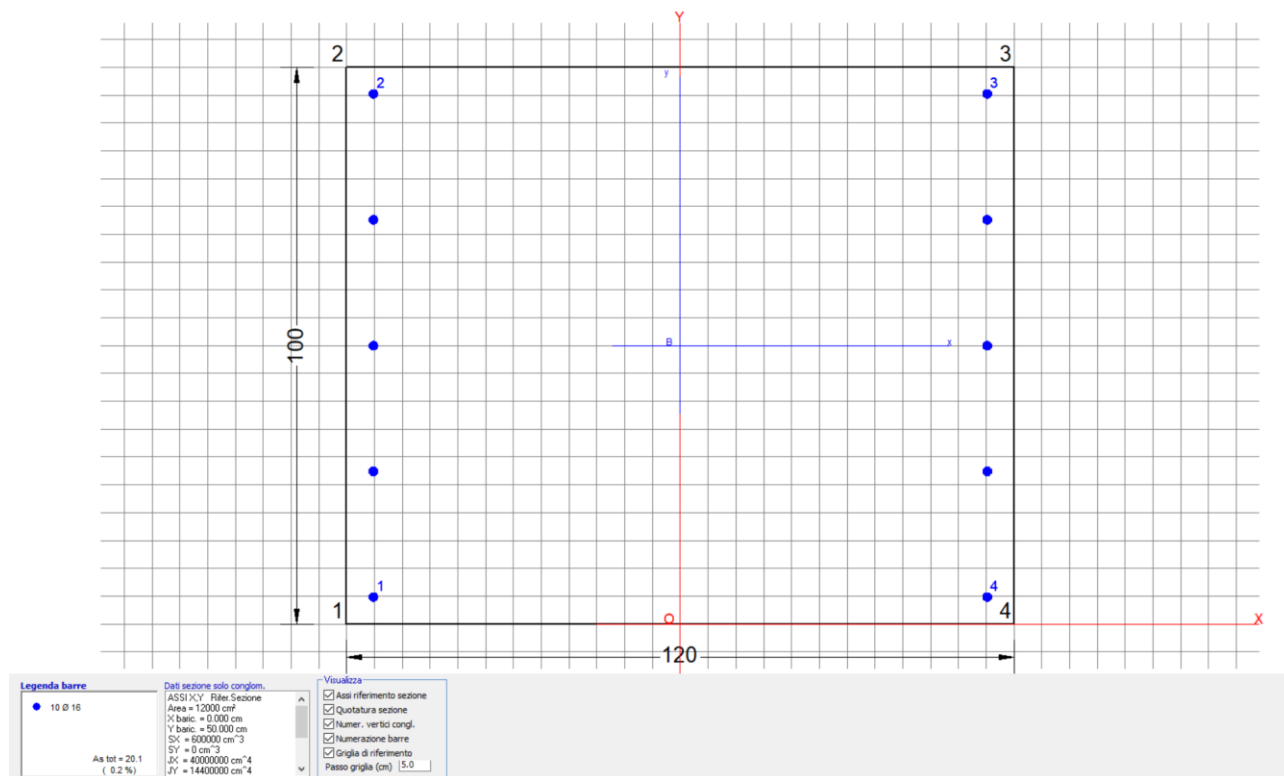


Figura 44: Sezione SC3

15.4.2.1 Verifica SLU/SLV – Verifica flessionale

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche a presso-flessione condotte agli SLU e agli SLV, le sollecitazioni agenti sono riportate al paragrafo 15.3.2. La simbologia adottata è la seguente:

- N_{Sd} : sforzo normale di progetto (positivo se di compressione);
- M_{Sd} : sollecitazione flessionale di progetto;
- M_{Rd} : sollecitazione flessionale resistente;
- IS: Indice di Sfruttamento massimo.

Tabella 23: Verifiche a presso/tenso-flessione allo SLU – parete sommitale

ID	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC2	0.0	70.1	695.6	0.10
SC3	0.0	70.1	450.3	0.16

Tabella 24: Verifiche a presso/tenso-flessione allo SLV – parete sommitale

ID	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC2	0.0	78.0	668.8	0.12
SC3	0.0	78.0	433.5	0.18

15.4.2.2 Verifica SLU/SLV – Verifica a taglio

La verifica a taglio è stata condotta in accordo con quanto riportato al paragrafo 4.1.2.3.5.1 delle NTC2018 relativo agli elementi senza armature trasversali resistenti a taglio. La simbologia utilizzata è:

- V_{Sd} : sollecitazione di taglio di progetto;
- V_{Rd} : sollecitazione di taglio resistente;
- IS: Indice di Sfruttamento massimo.

Tabella 25: Verifiche a taglio allo SLU - parete

ID	V_{Sd} [kNm]	V_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC2	81.6	371.9	0.22
SC3	81.6	372.4	0.22

Tabella 26: Verifiche a taglio allo SLV - parete

ID	V_{Sd} [kNm]	V_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC2	87.7	371.9	0.24

ID	V _{Sd} [kNm]	V _{Rd} [kNm]	IS [-]
SC3	87.7	372.4	0.24

15.4.2.3 Verifica SLE – Verifica a fessurazione

In Tabella 27 sono riportati i massimi valori di apertura delle fessure per le sezioni esaminate allo SLE. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- M_{cr} : sollecitazione flessionale resistente di prima fessurazione;
- w_k : massima apertura delle fessure;
- w_{lim} : apertura limite delle fessure definita in accordo alla Tabella 6.

Le sollecitazioni sono riportate al paragrafo 15.2.3.

Tabella 27: Massimi valori di apertura delle fessure agli SLE – parete sommitale.

ID	SLE-frequente					SLE-QP				
	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	M _{cr} [kNm]	w _k [mm]	w _{lim} [mm]	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	M _{cr} [kNm]	w _k [mm]	w _{lim} [mm]
SC2	0.0	68.3	757.2	-	0.300	0.0	68.3	757.17	-	0.200
SC3	0.0	68.3	740.4	-	0.300	0.0	68.3	740.4	-	0.200

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto, laddove il momento agente risulta superiore a quello di prima fessurazione l'ampiezza dell'apertura delle fessure è inferiore ai limiti richiesti.

15.4.2.4 Verifica tensionale

In Tabella 28 sono riportati i massimi valori delle tensioni lato conglomerato e barre d'armatura agenti sulle sezioni esaminate. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- $\sigma_{c,max}$: massima tensione di compressione determinata nel conglomerato;
- $\sigma_{s,max}$: massima tensione di trazione determinata nelle barre d'armatura.

Le sollecitazioni sono riportate al paragrafo 15.2.3.

Tabella 28: Massimi valori di tensione lato conglomerato e lato barre d'armatura agli SLE – parete sommitale.

ID	SLE-RARA				SLE-QP		
	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	$\sigma_{c,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	N _{Sd} [kN]	M _{Sd} [kNm]	$\sigma_{c,max}$ [MPa]
SC2	0.0	68.3	0.56	40.1	0.0	68.3	0.56
SC3	0.0	68.3	0.68	61.9	0.0	68.3	0.68

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto:

- allo SLE le massime tensioni sul calcestruzzo risultano inferiori ai limiti imposti pari a:
 - Condizione rara: $\sigma_{c,lim}=0.60 f_{ck} = 18.0$ MPa per C30/37;
 - Condizione q.p.: $\sigma_{c,lim}=0.45 f_{ck} = 13.5$ MPa per C30/37;
- allo SLE le massime tensioni sull'acciaio risultano inferiori ai limiti imposti pari a:
 - Condizione rara: $\sigma_{s,lim}=0.80 \cdot f_{yk} = 360.0$ MPa.

15.5 VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTI

Lo spostamento massimo ottenuto in combinazioni SLE rara/frequente/quasi permanente, indicati in Figura 37; risulta di circa 1.4 cm; tale spostamento si considera compatibile con la funzionalità dell'opera.

15.6 VERIFICHE GEOTECNICHE SLU/SLV

15.6.1 Verifica della resistenza di valle

In accordo con quanto riportato al paragrafo 11.2.1, nelle seguenti figure si riporta il rapporto tra la spinta agente e la resistenza di valle sia per la condizione statica (Fase 4) che per la condizione sismica (Fase 6).

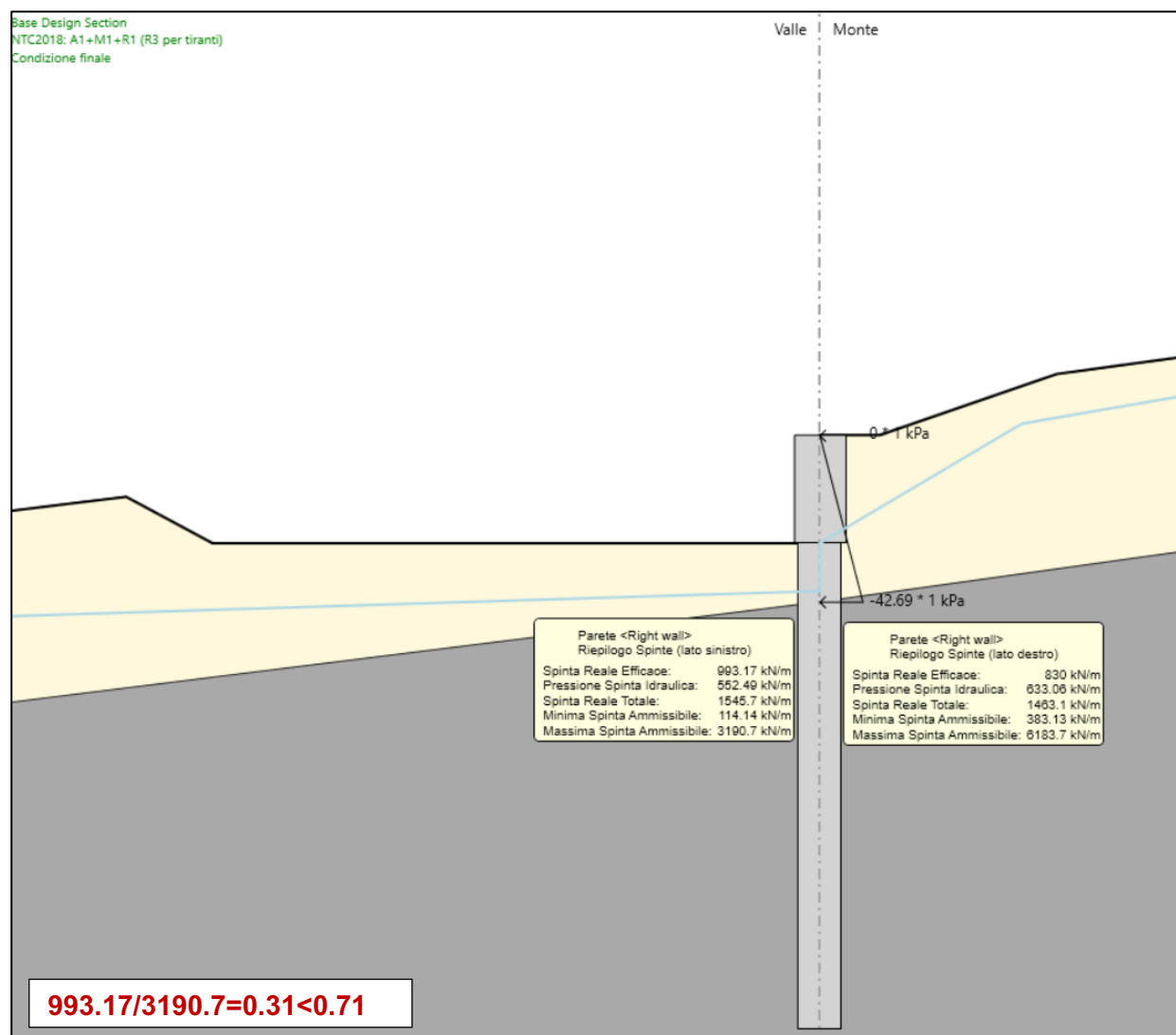


Figura 45: Rapporto pressioni di valle – Condizione statica A1+M1 – Fase 4 (massimo scavo)

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

OS80A - Relazione di Calcolo

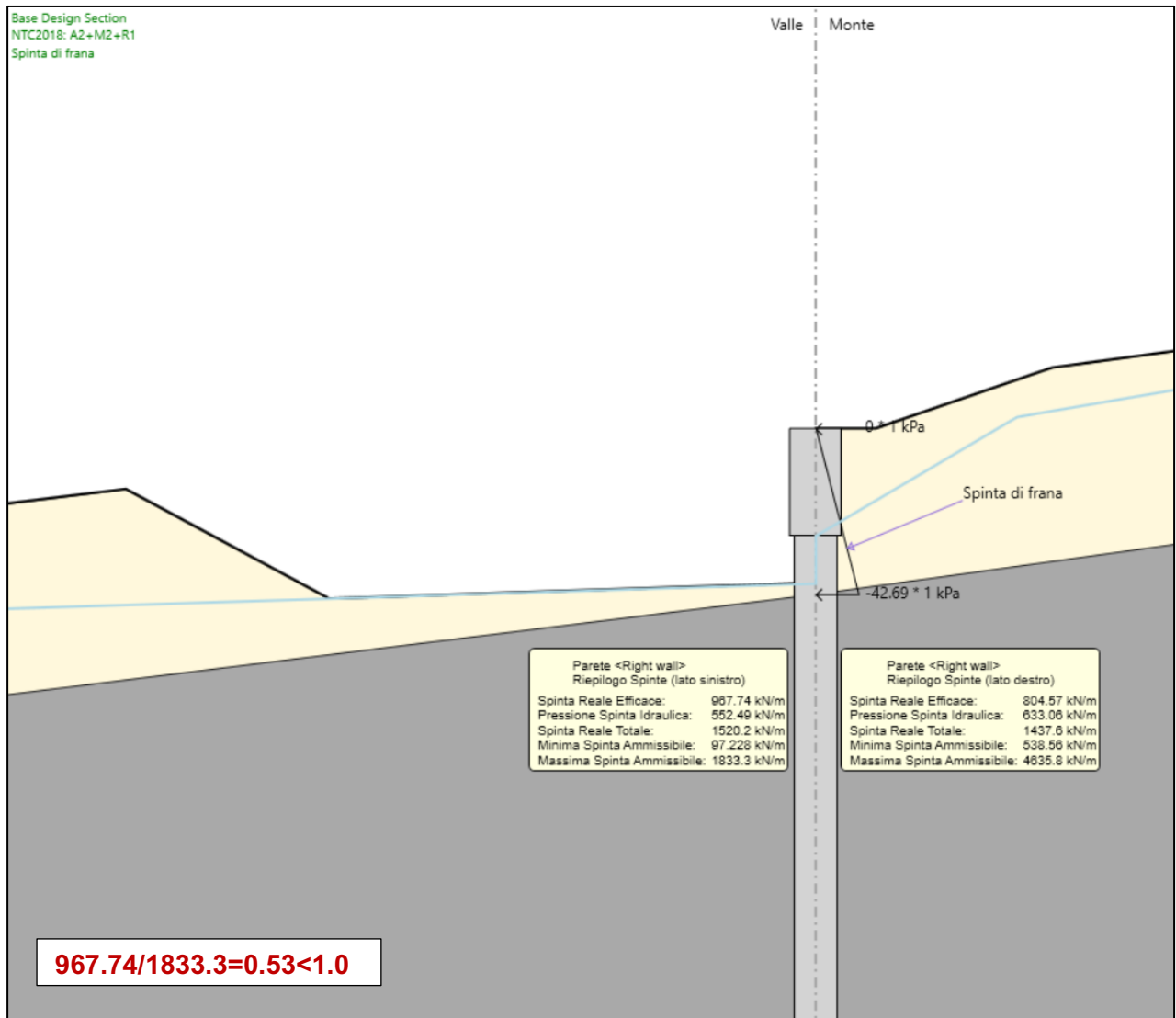


Figura 46: Rapporto pressioni di valle – Condizione statica A2+M2 – Fase 4 (massimo scavo)

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

OS80A - Relazione di Calcolo

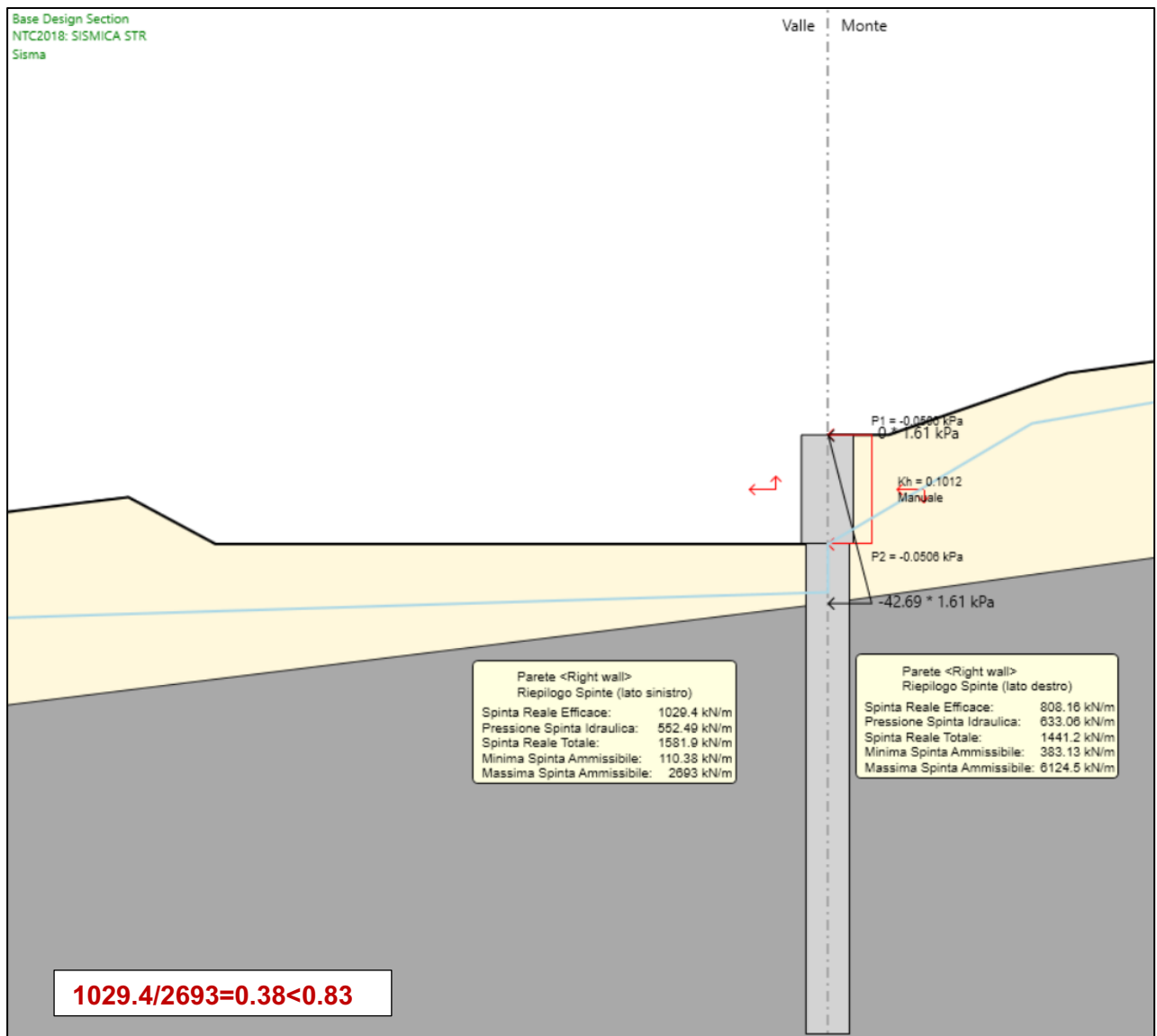


Figura 47: Rapporto pressioni di valle – Condizioni sismiche – Fase 6

15.6.2 Verifica di stabilità globale

L'analisi di stabilità dell'insieme terreno-opera è stata effettuata secondo l'approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2 (vedasi paragrafo 11.2.2).

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti di sicurezza ottenuti con il metodo dell'equilibrio limite mediante il modulo "Slope W" del programma GeoStudio 2021, e a seguire le figure con le corrispondenti superfici di scorrimento critiche.

Tabella 29: 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	1.863	≥	1.1	Figura 48
SLV/GEO_stab (A ₂ =1+M ₂ (=1)+R ₂)	$k_h=0.06, k_v=0.03$	1.994		1.2	Figura 49
	$k_h=0.06, k_v=-0.03$	1.937		1.2	Figura 50

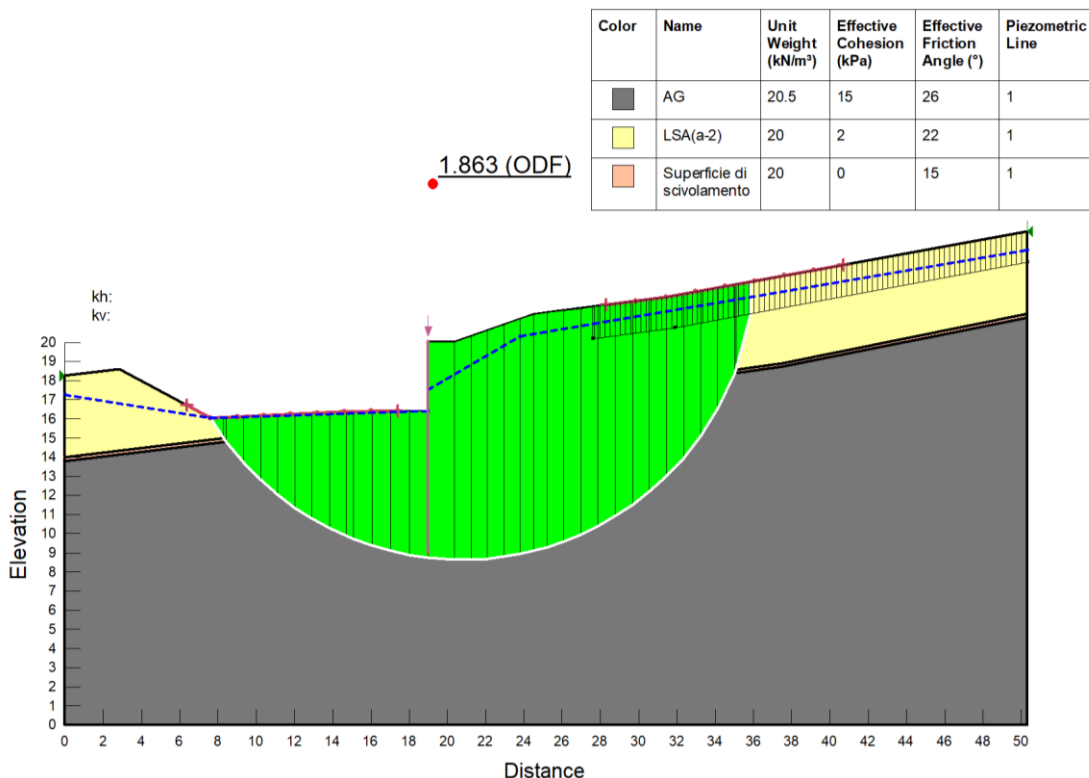


Figura 48: Sezione 16 - SLU/GEO_stab -Combinazione fondamentale - Superficie di scorrimento critica

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 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

OS80A - Relazione di Calcolo

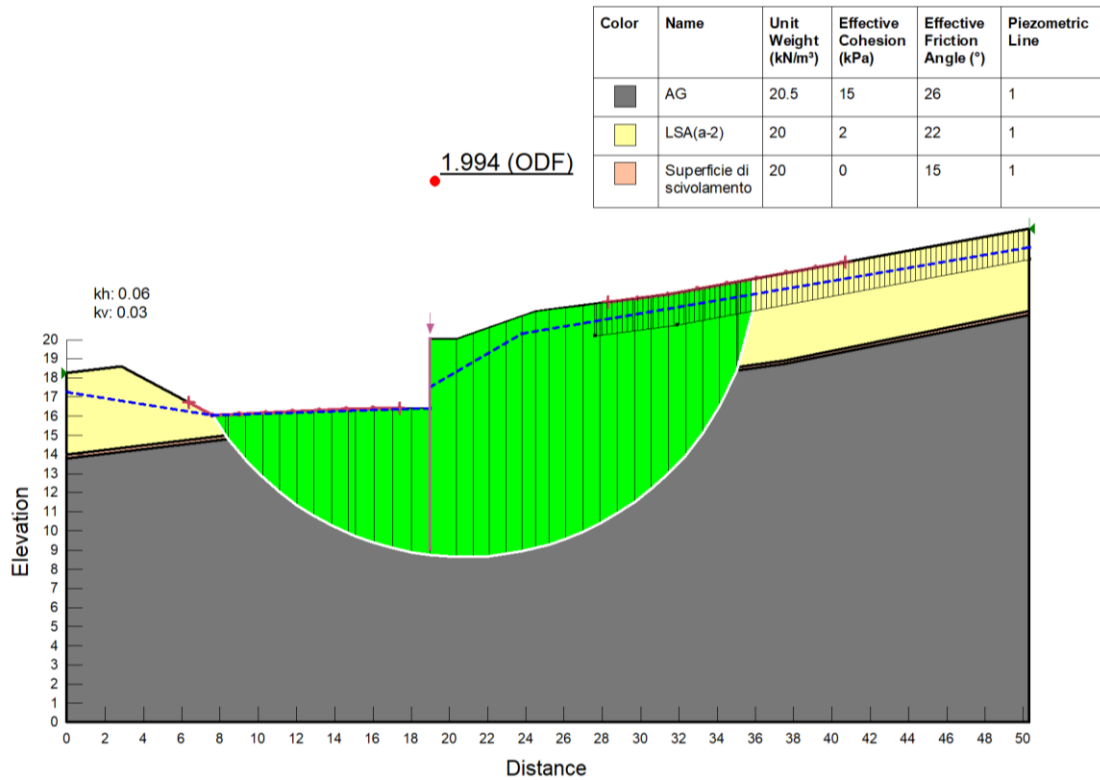


Figura 49: Sezione 16 - SLV/GEO_stab -Combinazione sismica (kv>0)- Superficie di scorrimento critica

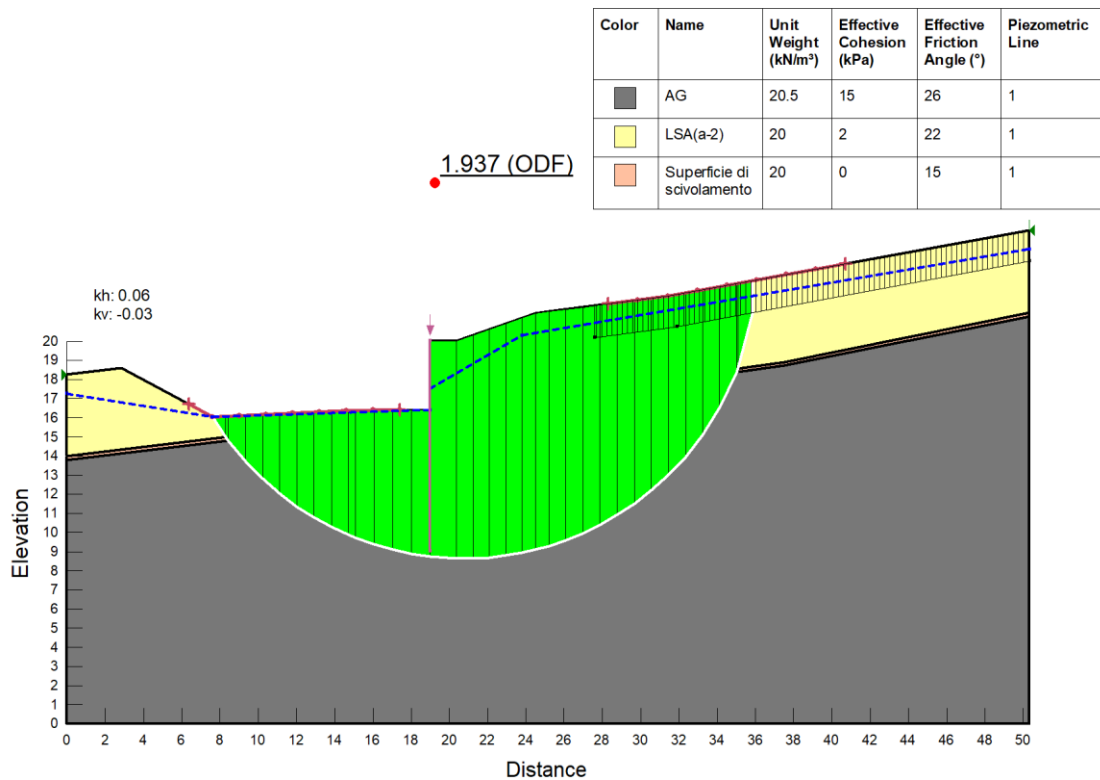


Figura 50: Sezione 16 - SLV/GEO_stab -Combinazione sismica (kv<0)- Superficie di scorrimento critica

16 SEZIONE DI CALCOLO 14

Il modello di calcolo Paratie è riportato nella figura seguente, sono riportati anche i coefficienti di spinta utilizzati per il calcolo.

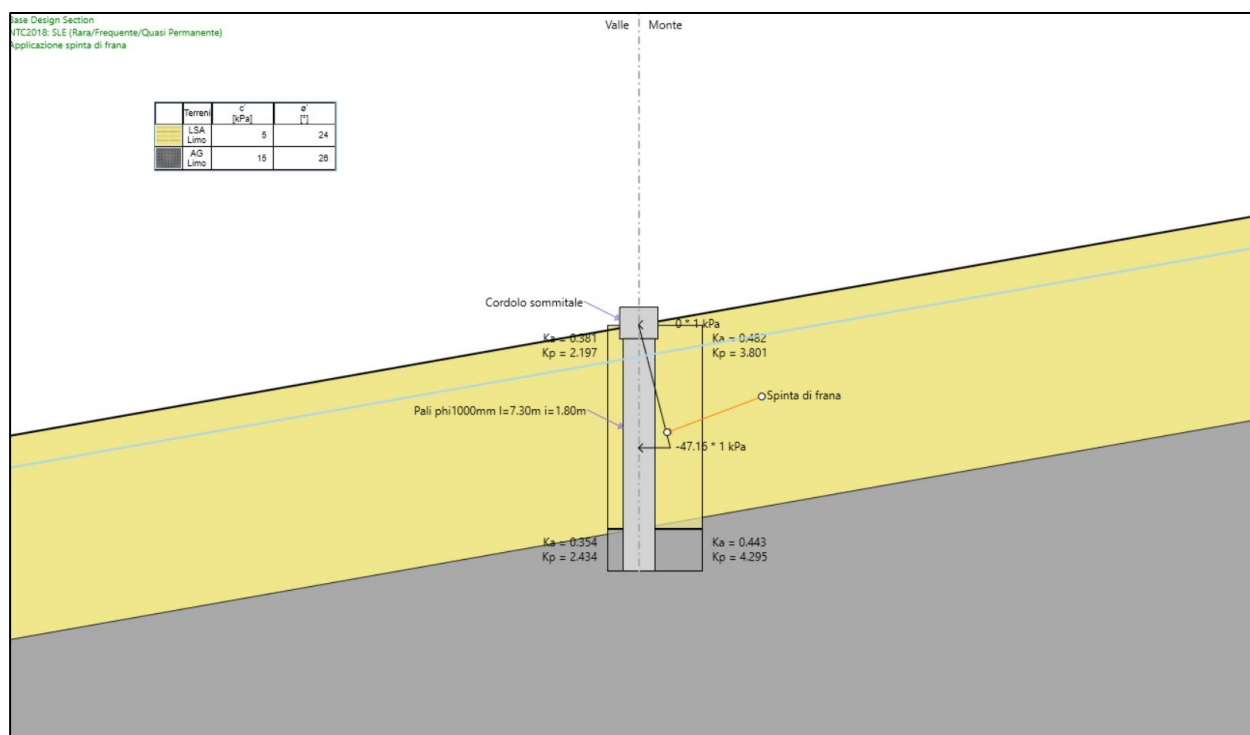


Figura 51: Sezione 14. Modello di calcolo Paratie.

I parametri geotecnici adottati delle elaborazioni sono riportati nella Tabella 5.

La falda è stata posta a -1,0m da piano campagna, così come riportato al §10.3.1; è stato inoltre considerata la presenza del drenaggio a tergo della paratia modificando localmente il profilo di falda. Solo nelle fasi iniziali di calcolo, la falda è stata posta coincidente con il piano di posa della rampa 1.

16.1 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.

Le fasi di calcolo considerate sono riportate nel seguito.

- Fase 1. Stato attuale, la falda è stata posta a -1,0m da p.c. (Figura 52);
- Fase 2. Realizzazione della paratia e del cordolo sommitale (Figura 53);
- Fase 3. Applicazione della spinta di frana (Figura 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 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

OS80A - Relazione di Calcolo

Fase 4. Condizione sismica (Figura 55).

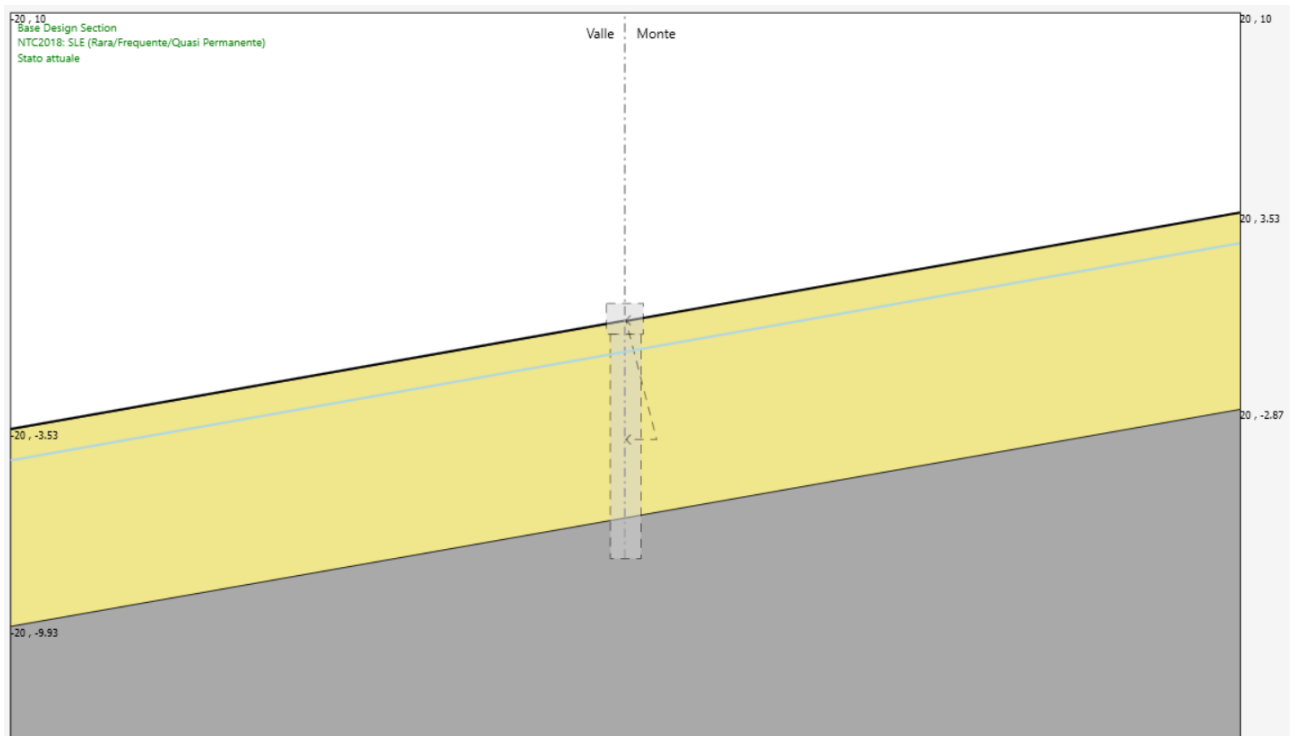


Figura 52: Fase 1. Stato attuale.

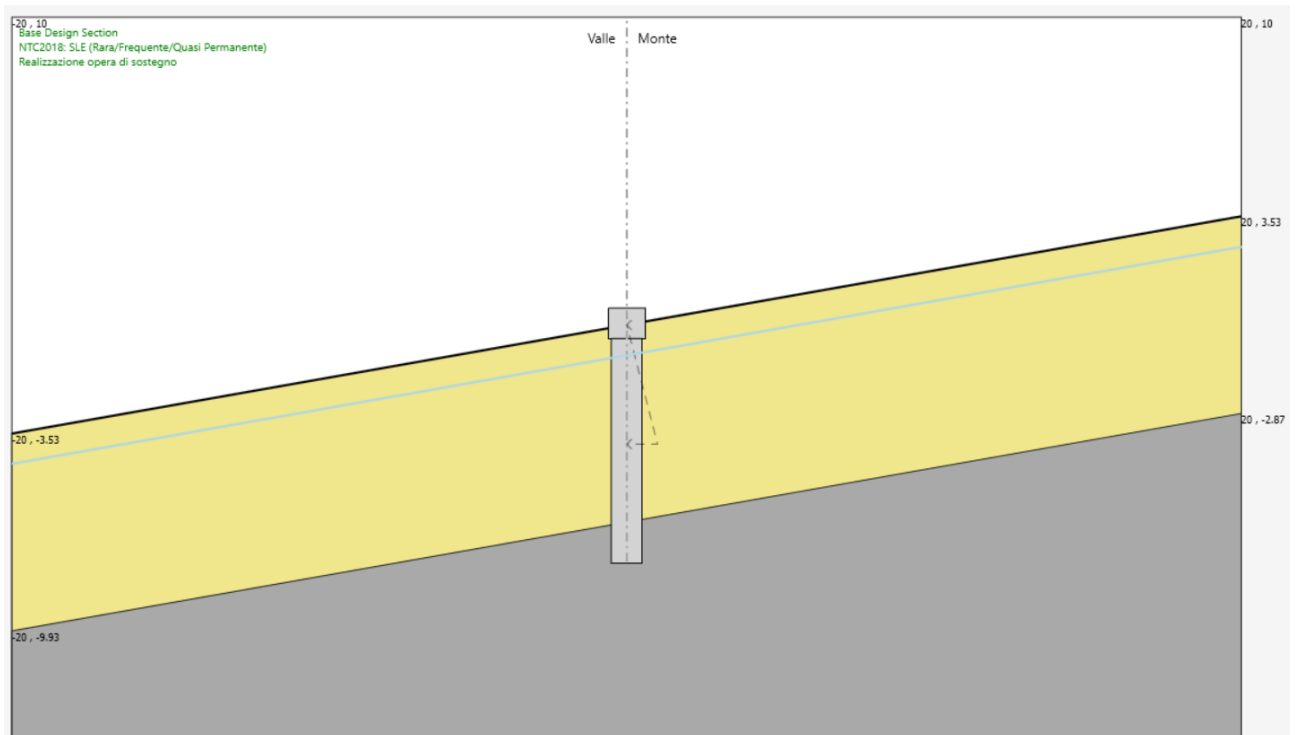


Figura 53: Fase 2. Realizzazione della paratia e del cordolo sommitale.

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

OS80A - Relazione di Calcolo

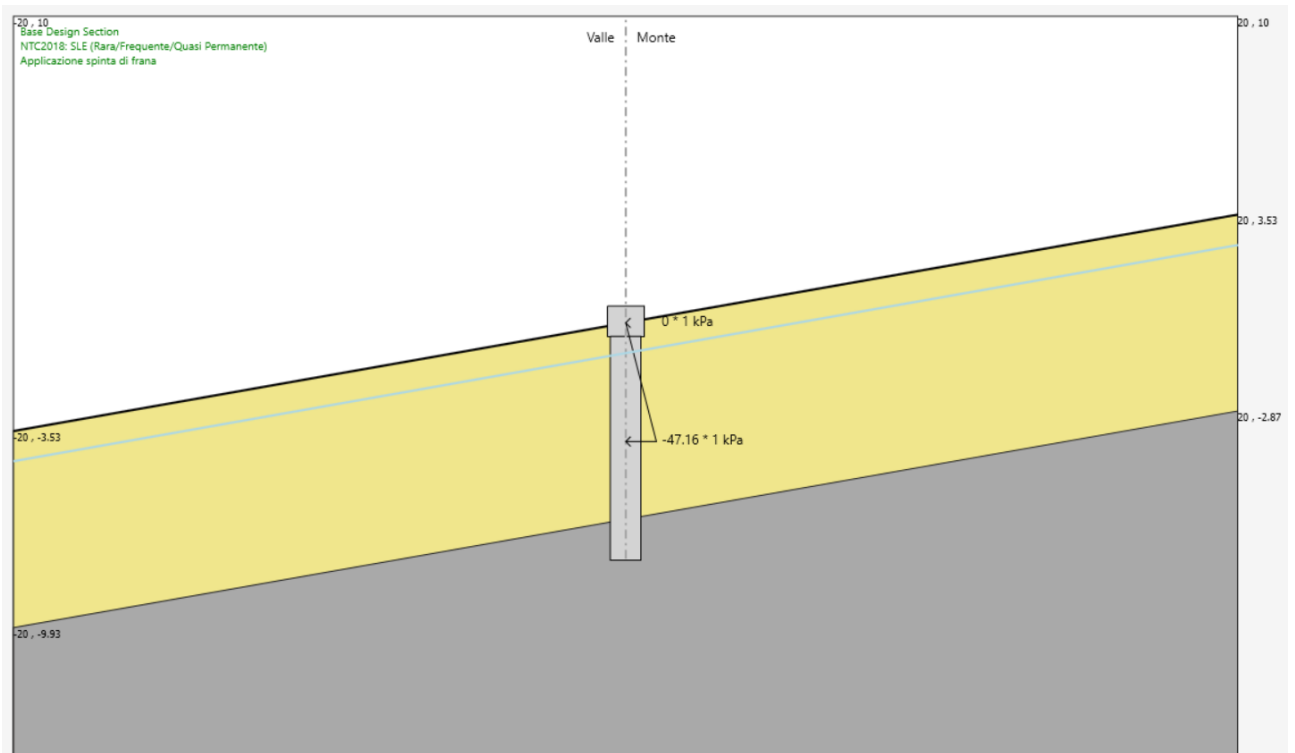


Figura 54: Fase 3. Applicazione della spinta di frana.

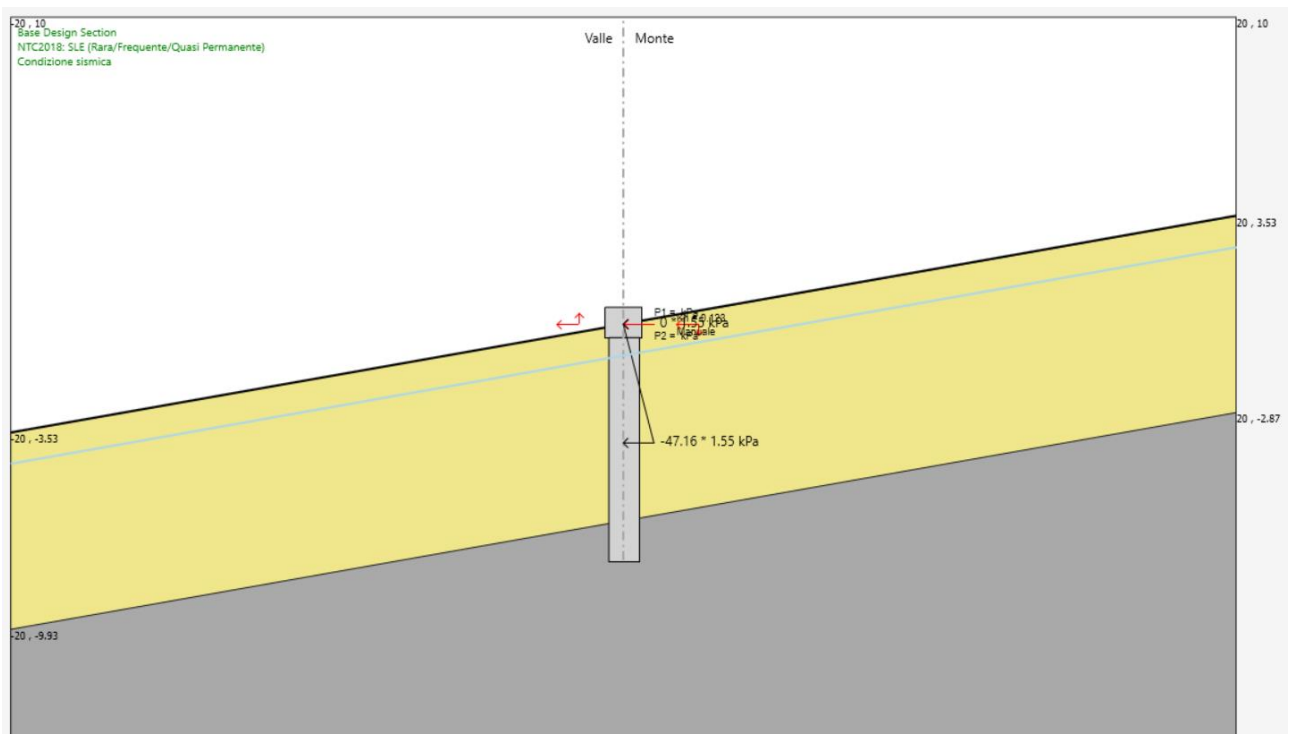


Figura 55: Fase 4. Condizione sismica.

16.2 SINTESI DEI RISULTATI PER GLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

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

- spostamenti orizzontali dell'opera;
- sollecitazioni sugli elementi strutturali.

16.2.1 SLE, spostamenti orizzontali dell'opera

Di seguito si riportano gli spostamenti orizzontali agli SLE (rara,frequente,q.p.) che subisce l'opera di sostegno per le fase di calcolo 3.

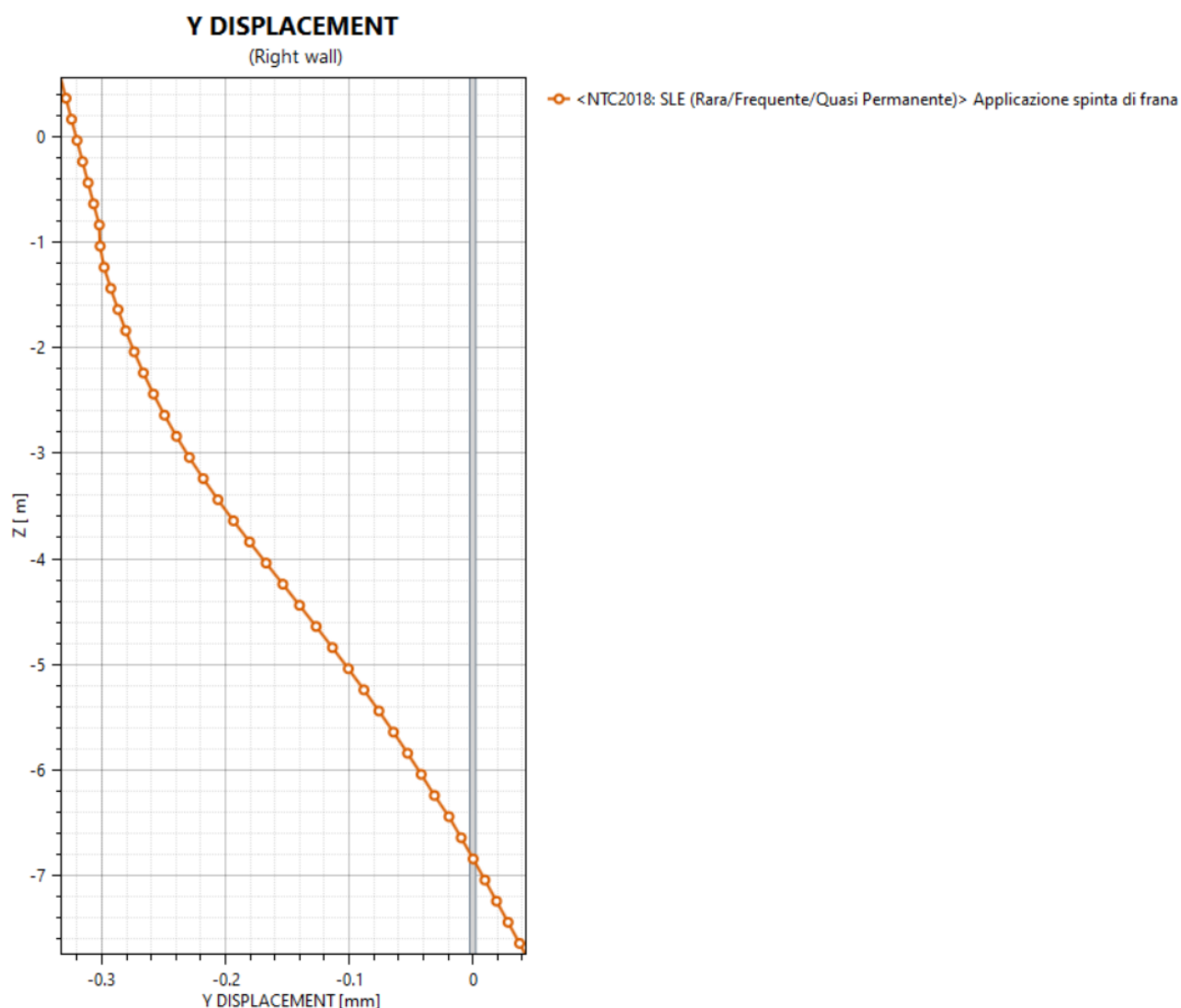


Figura 56: SLE-Combinazione rara, frequente, q.p. – Spostamenti orizzontali

16.2.2 SLE, Sollecitazioni pali

Le sollecitazioni in termini di momento flettente agente sul singolo palo sono diagrammate in funzione della profondità da testa palo in Figura 57, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime agenti sul singolo palo e la relativa profondità da testa palo.

Tabella 30: SLE-Pali. Sollecitazioni

	SLE - Rara - Frequente - QP
M_{max} [kNm]	30.36
z [m]	2.40

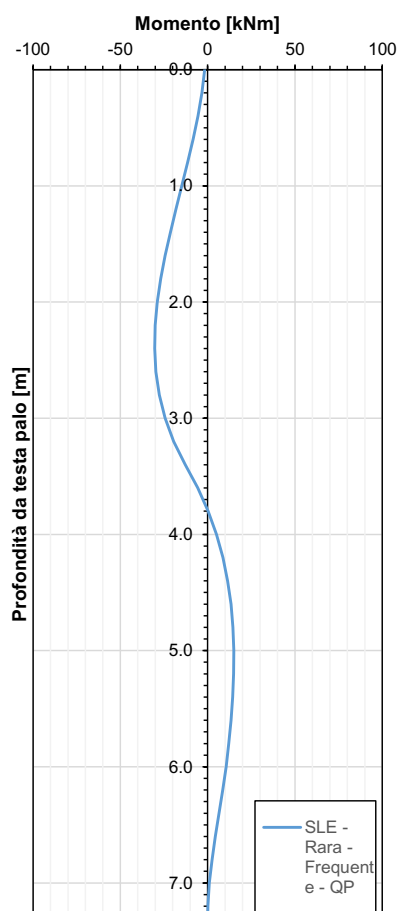


Figura 57: SLE-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

16.3 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).

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

Le sollecitazioni in termini di momento flettente e taglio, agente sul singolo palo, sono diagrammate in funzione della profondità dalla testa del palo in Figura 58, mentre nella tabella seguente è riportata una sintesi delle sollecitazioni massime agenti sul singolo palo e la relativa profondità da testa palo.

Tabella 31: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Sollecitazioni

	Spinta di frana	Sisma
M_{max} [kNm]	39.46	53.98
z [m]	2.40	2.40
V_{max} [kN]	46.71	66.59
z [m]	3.40	3.40

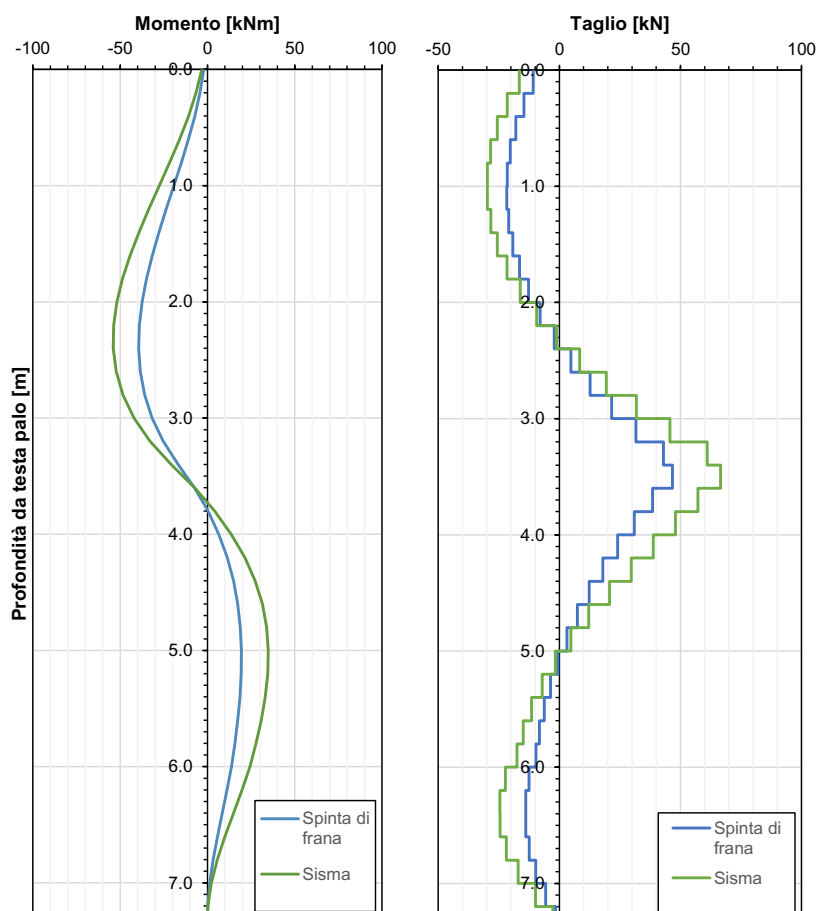


Figura 58: SLU(SLV)/STR A1+M1+R1-Pali. Diagrammi delle sollecitazioni

16.4 VERIFICHE STRUTTURALI SLU E SLE

Nel seguito si riportano le verifiche allo SLU nei confronti del raggiungimento della resistenza strutturale dei vari elementi che costituiscono l'opera. In particolare, si riporta la sola verifica del palo, mentre il cordolo è stato armato in ottemperanza alle prescrizioni sui minimi di armatura da NTC2018.

16.4.1 Pali

Le verifiche del palo della paratia sono condotte sulla sezione circolare resistente avente diametro 1000mm, le caratteristiche geometrico-meccaniche sono sintetizzate in Tabella 32. La simbologia adottata ha il significato di seguito riportato:

- ID = nome assegnato alla sezione di verifica;
- d = diametro della sezione;
- A_s = armatura in zona tesa;
- A_{sw} = armatura a taglio.

Tabella 32: Caratteristiche meccaniche delle sezioni in analisi.

ID		d [mm]	A_s	A_{sw}
SC4	Palo L=7.30m	1000	14 Φ 20	Φ 8/15

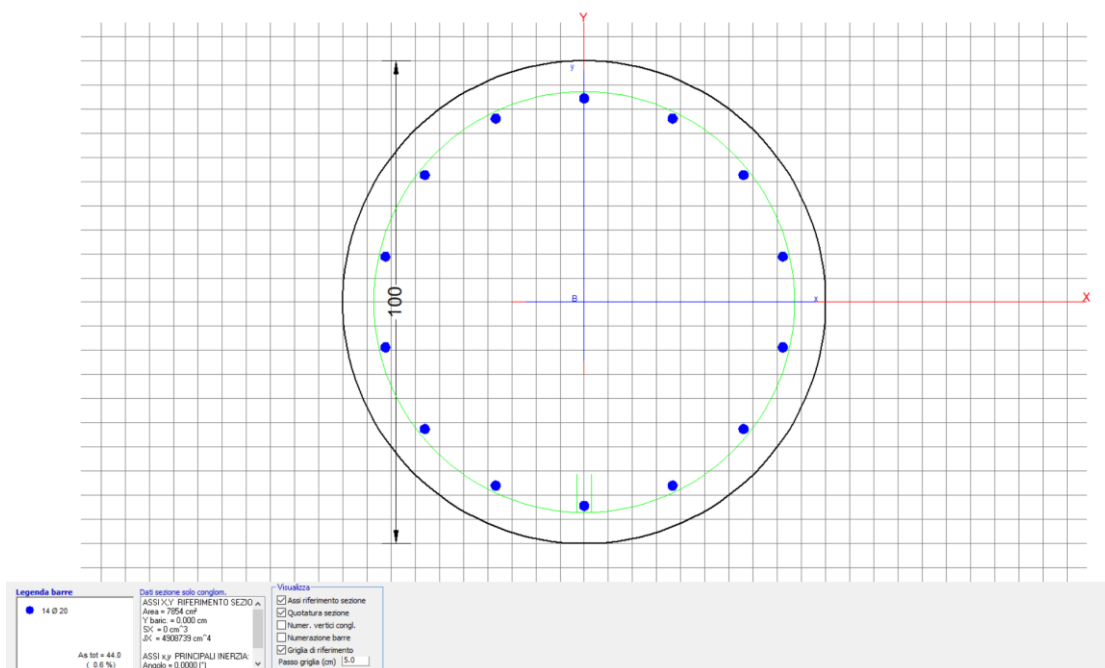


Figura 59: Sezione SC4

16.4.1.1 Verifica SLU/SLV - Verifica flessionale

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche a presso-flessione condotte agli SLU e agli SLV, le sollecitazioni agenti sono riportate al paragrafo 16.3.1:

- N_{Sd} : sforzo normale di progetto (positivo se di compressione);
- M_{Sd} : sollecitazione flessionale di progetto;
- M_{Rd} : sollecitazione flessionale resistente;
- IS: Indice di Sfruttamento massimo.

Tabella 33: Verifiche a presso/tenso-flessione allo SLU - palo

ID	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC4	0.0	39.5	698.3	0.06

Tabella 34: Verifiche a presso/tenso-flessione allo SLV - palo

ID	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC4	0.0	54.0	482.8	0.11

16.4.1.2 Verifica SLU/SLV – Verifica a taglio

Si riporta di seguito l'esito delle verifiche a taglio agli SLU e agli SLV, le sollecitazioni agenti sono riportate al paragrafo 16.3.1:

- V_{Sd} : sollecitazione di taglio di progetto;
- V_{Rd} : sollecitazione di taglio resistente;
- IS: Indice di Sfruttamento massimo.

Tabella 35: Verifiche a taglio allo SLU - palo

ID	V_{Sd} [kNm]	V_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC4	46.7	513.3	0.09

Tabella 36: Verifiche a taglio allo SLV - palo

ID	V_{Sd} [kNm]	V_{Rd} [kNm]	IS [-]
SC4	66.6	476.8	0.14

16.4.1.3 Verifica SLE - Verifica a fessurazione

In Tabella 37 sono riportati i massimi valori di apertura delle fessure per le sezioni esaminate allo SLE. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- M_{cr} : sollecitazione flessionale resistente di prima fessurazione;
- w_k : massima apertura delle fessure;
- w_{lim} : apertura limite delle fessure definita in accordo alla Tabella 6.

Le sollecitazioni agenti sono riportate al paragrafo 16.2.2.

Tabella 37: Massimi valori di apertura delle fessure agli SLE - palo.

ID	SLE-frequente					SLE-QP				
	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{cr} [kNm]	w_k [mm]	w_{lim} [mm]	N_{Sd} [kN]	M_{Sd} [kNm]	M_{cr} [kNm]	w_k [mm]	w_{lim} [mm]
SC4	0.0	30.4	318.8	-	0.300	0.0	30.4	318.8	-	0.200

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto, laddove il momento agente risulta superiore a quello di prima fessurazione l'ampiezza dell'apertura delle fessure è inferiore ai limiti richiesti.

16.4.1.4 Verifica SLE - Verifica tensionale

In Tabella 38 sono riportati i massimi valori delle tensioni lato conglomerato e barre d'armatura agenti sulle sezioni esaminate. Oltre ai termini introdotti nei precedenti paragrafi, nel seguente prospetto sono riportati i valori di:

- $\sigma_{c,max}$: massima tensione di compressione determinata nel conglomerato;
- $\sigma_{s,max}$: massima tensione di trazione determinata nelle barre d'armatura.

Le sollecitazioni agenti sono riportate al paragrafo 16.2.2.

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 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

OS80A - Relazione di Calcolo

Tabella 38: Massimi valori di tensione lato conglomerato e lato barre d'armatura agli SLE - palo.

ID	SLE-RARA				SLE-QP		
	N _s d [kN]	M _s d [kNm]	$\sigma_{c,max}$ [MPa]	$\sigma_{s,max}$ [MPa]	N _s d [kN]	M _s d [kNm]	$\sigma_{c,max}$ [MPa]
SC4	0.0	30.4	0.63	24.8	0.0	30.4	0.63

Le verifiche risultano soddisfatte in quanto:

- allo SLE le massime tensioni sul calcestruzzo risultano inferiori ai limiti imposti pari a:
 - Condizione rara: $\sigma_{c,lim}=0.60 f_{ck} = 18.0$ MPa per C30/37;
 - Condizione q.p.: $\sigma_{c,lim}=0.45 f_{ck} = 13.5$ MPa per C30/37;
- allo SLE le massime tensioni sull'acciaio risultano inferiori ai limiti imposti pari a:
 - Condizione rara: $\sigma_{s,lim}=0.80 \cdot f_{yk} = 360.0$ MPa.

16.5 VERIFICHE AGLI SLE IN TERMINI DI SPOSTAMENTI

Lo spostamento massimo ottenuto in combinazioni SLE rara/frequente/quasi permanente, indicati in Figura 56; risulta di circa 0,3 cm; tale spostamento si considera compatibile con la funzionalità dell'opera.

16.6 VERIFICHE GEOTECNICHE SLU/SLV

16.6.1 Verifica della resistenza di valle

In accordo con quanto riportato al paragrafo 11.2.1, nelle seguenti figure si riporta il rapporto tra la spinta agente e la resistenza di valle sia per la condizione statica (Fase 3) che per la condizione sismica (Fase 4).

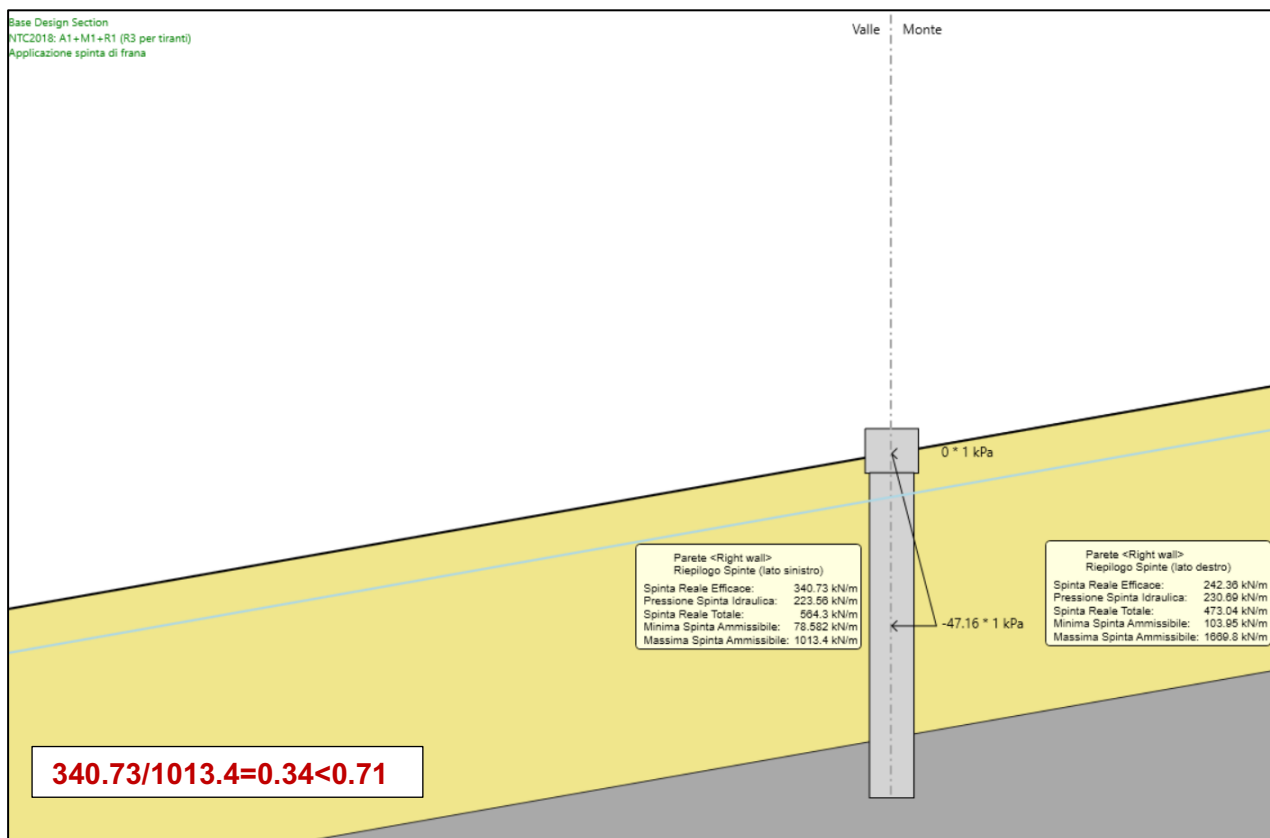


Figura 60: Rapporto pressioni di valle – Condizione statica – A1+M1 – Fase 3

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

OS80A - Relazione di Calcolo

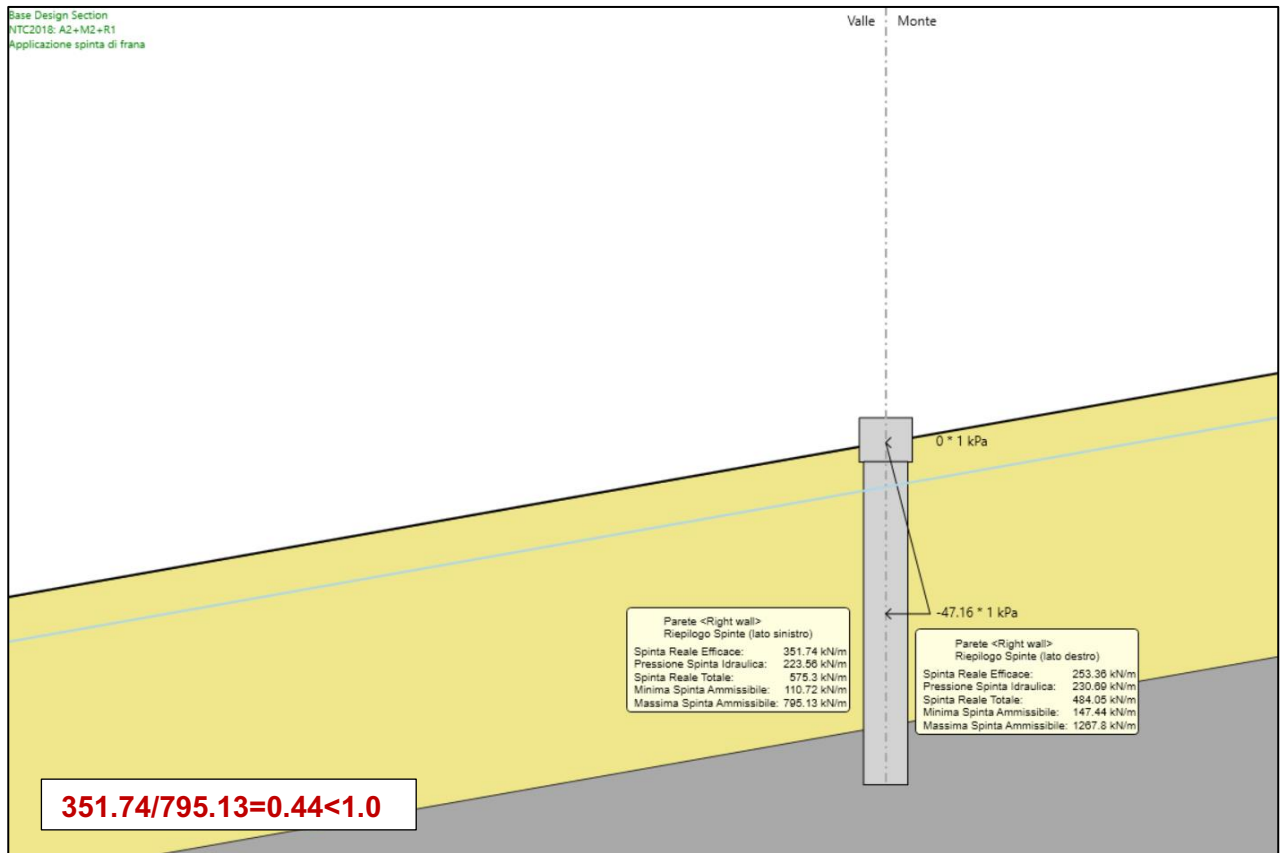


Figura 61: Rapporto pressioni di valle – Condizione statica – A2+M2 – Fase 3

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

OS80A - Relazione di Calcolo

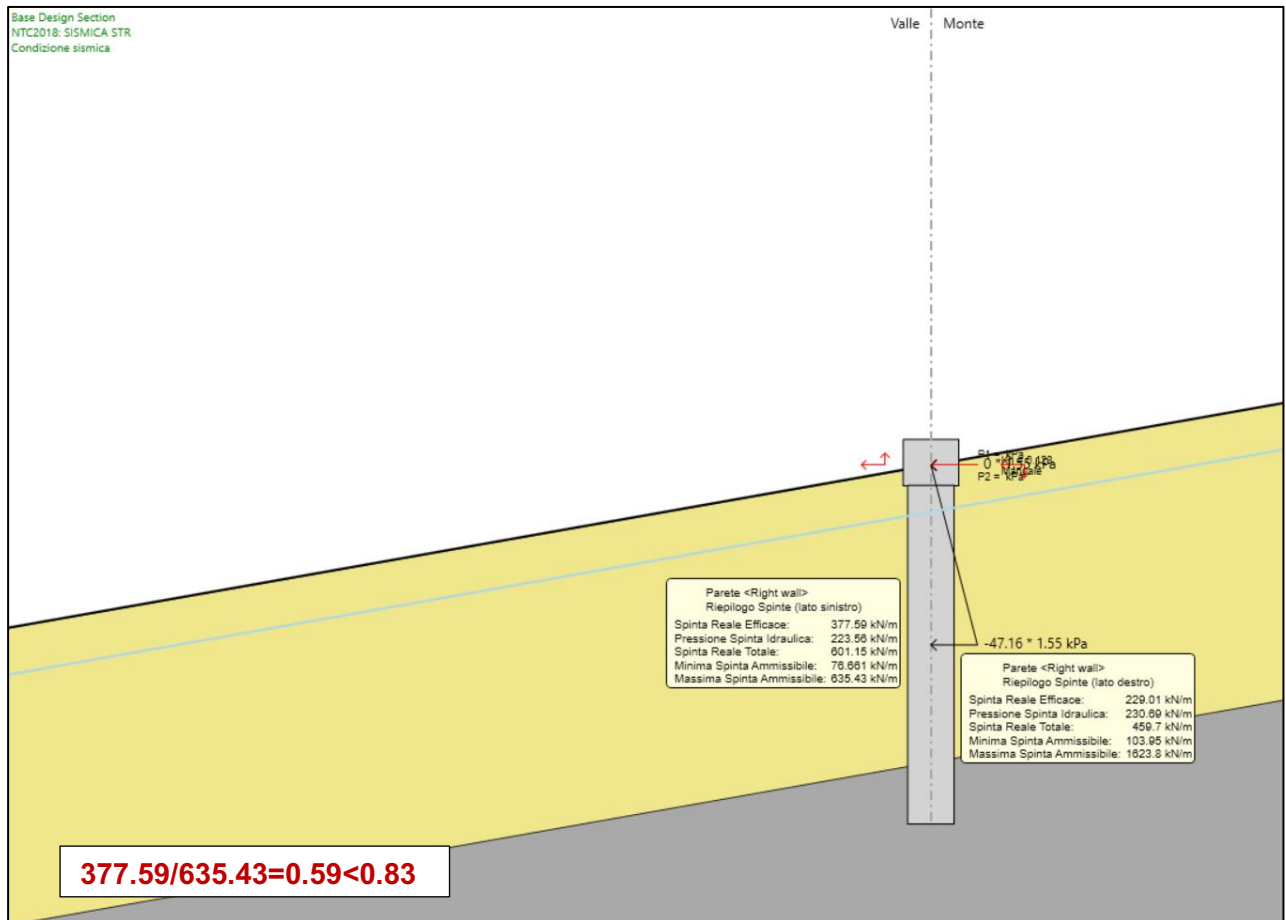


Figura 62: Rapporto pressioni di valle – Condizioni sismiche – Fase 4

16.6.2 Verifica di stabilità globale

L'analisi di stabilità dell'insieme terreno-opera è stata effettuata secondo l'approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2 (vedasi paragrafo 11.2.2).

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti di sicurezza ottenuti con il metodo dell'equilibrio limite mediante il modulo "Slope W" del programma GeoStudio 2021, e a seguire le figure con le corrispondenti superfici di scorrimento critiche.

Tabella 39: 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	2.167	≥	1.1	Figura 63
SLV/GEO_stab (A ₂ =1+M ₂ (=1)+R ₂)	$k_h=0.06, k_v=0.03$	2.035		1.2	Figura 64
	$k_h=0.06, k_v=-0.03$	1.965		1.2	Figura 65

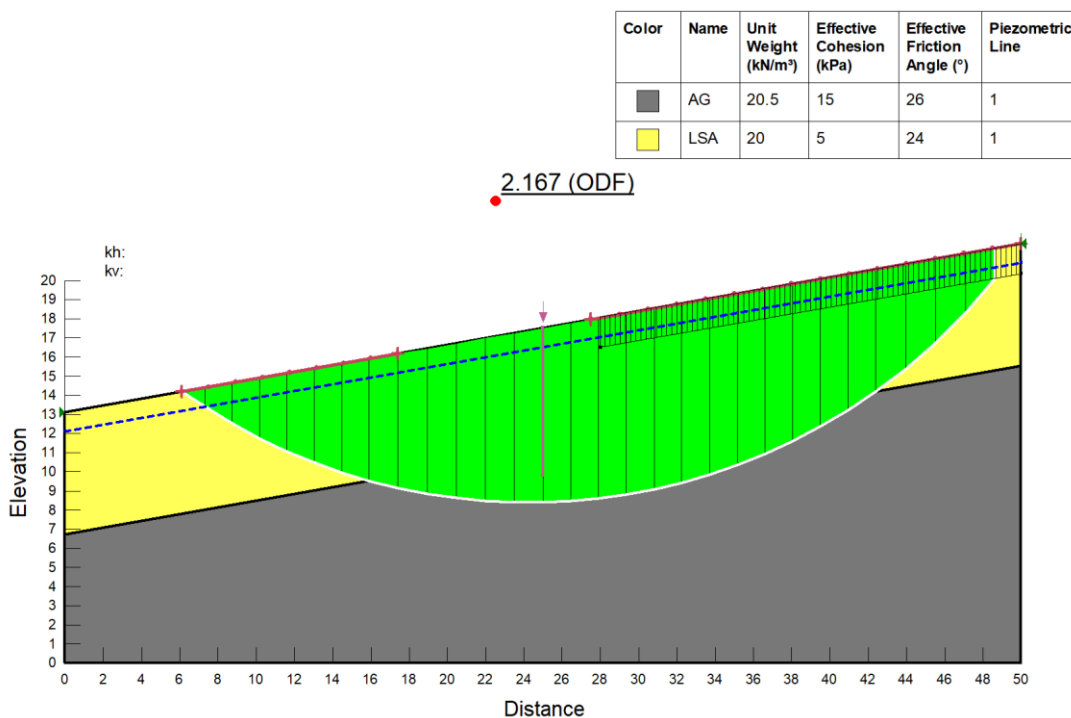


Figura 63: Sezione 14 - SLU/GEO_stab -Combinazione fondamentale - Superficie di scorrimento critica

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 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

OS80A - Relazione di Calcolo

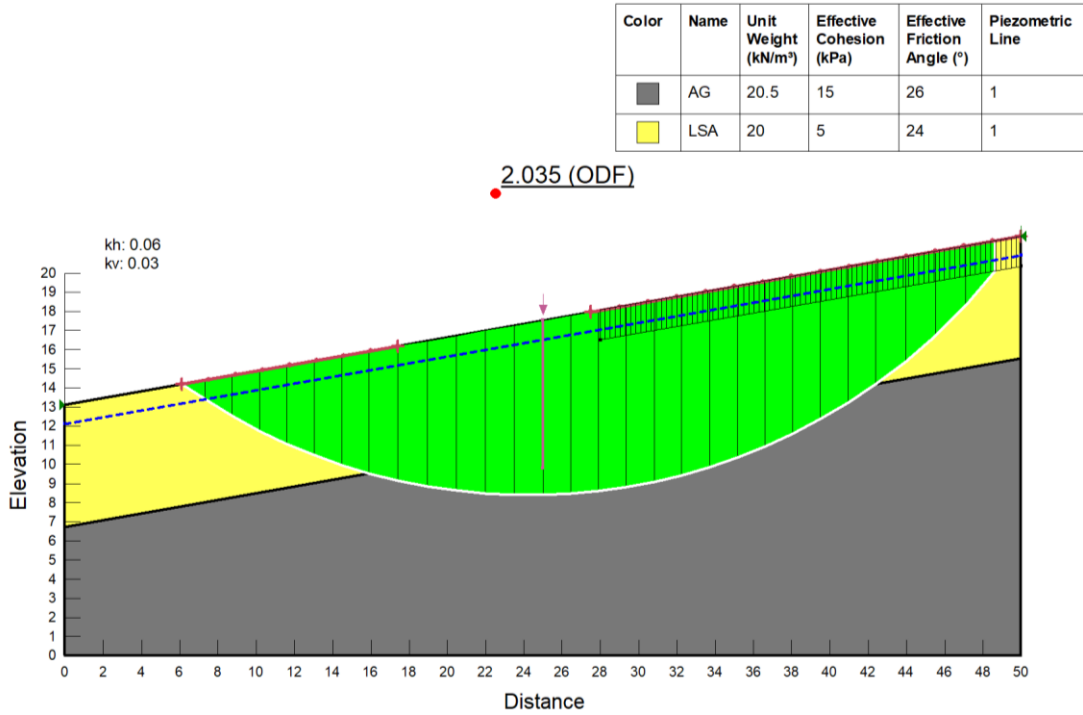


Figura 64: Sezione 14 - SLV/GEO_stab -Combinazione sismica ($k_v > 0$) - Superficie di scorrimento critica

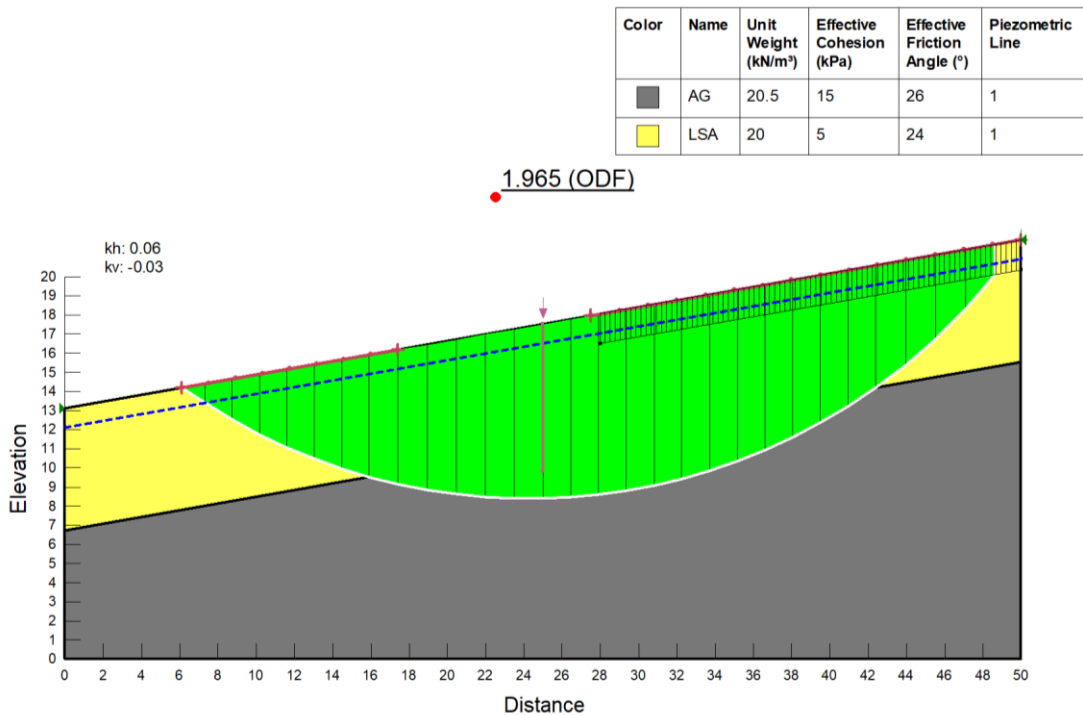


Figura 65: Sezione 14 - SLV/GEO_stab -Combinazione sismica ($k_v < 0$) - Superficie di scorrimento critica

APPENDICE A: TABULATI RELATIVI ALLE VERIFICHE STRUTTURALI

SEZIONE 16

PALO – SC1

Condizione Statica

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Palo
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resistenza compress. di progetto fcd:	17.00 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	8.500 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.000 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.000 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.500 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1*\beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:	0.50
	Comb.Rare - Sf Limite:	360.00 MPa

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	20Ø30	(141.4 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	8.5	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	671.40	248.69	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 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

OS80A - Relazione di Calcolo

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	97.50	516.46

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	97.50	516.46 (400.84)

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	97.50	516.46 (400.84)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	10.0	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

	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
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	671.40	-0.21	1941.73	2.892	23.1	---	---	141.4 (23.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione					
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)					
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)					
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)					
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)					
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)					
N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	50.0	0.00239	41.5	-0.00842	-41.5

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

OS80A - Relazione di Calcolo

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 = 25.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	7.9	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.3 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	248.69	1770.82	542.83	85.5 70.7	2.500	1.000	3.6

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
1	S	5.87	-50.0	0.00	50.0	-139.2	41.5	21.3	2483	63.6	---

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	-0.00080	0.00044		0.50	0.60	0.000418 (0.000418)	437	0.183 (990.00)	400.84

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.	
1	S	5.87	-50.0	0.00	50.0	-139.2	41.5	21.3	2483	63.6	---

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	-0.00080	0.00044		0.50	0.60	0.000418 (0.000418)	437	0.183 (0.30)	400.84

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

OS80A - Relazione di Calcolo

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	5.87	-50.0	0.00	50.0	-139.2	41.5	21.3	2483	63.6	----

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	-0.00080	0.00044		0.50	0.40	0.000434 (0.000418)	437	0.190 (0.20)	400.84

Condizione Simica

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Palo
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resistenza compress. di progetto fcd:	17.00 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	8.500 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.900 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	20Ø30	(141.4 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	8.5	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	637.2	240.29	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

OS80A - Relazione di Calcolo

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	7.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	10.0	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	637.2			2.227	16.3	---	---	141.4 (23.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00114	50.0	0.00085	41.5	-0.00196	-41.5

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 = 24.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	7.9	cm²/m	[Area Staffe Minima NTC = 2.4 cm²/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 [cm²/m]

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	AST
1	S	240.29	1754.98	513.72	89.5 66.9	2.500	1.000	3.7

PARETE SOMMITALE – SC2

Condizione Statica

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave (solette, nervature solai) senza staffe
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	180.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa	
Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1*\beta_2$:	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$:	0.50		
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	100.0
3	60.0	100.0
4	60.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-55.0	5.0	16
2	-55.0	95.0	16
3	55.0	95.0	20
4	55.0	5.0	20

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

OS80A - Relazione di Calcolo

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	16
2	3	4	3	20

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	0.00	-70.10	0.00	81.57

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	0.00	-68.34

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	0.00 (0.00)	-68.34 (-757.17)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	0.00 (0.00)	-68.34 (-757.17)

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

OS80A - Relazione di Calcolo

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 20.5 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	0.00	-70.10	0.00	0.00	-695.61	9.92	15.7(19.3)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00296	0.042	-60.0	100.0	-0.00010	-55.0	95.0	-0.06750	55.0	5.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	-0.000612690	0.000000000	-0.033802045	0.042	0.700

METODO SLU - 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	81.57	371.87	115.0	100.0	0.0022	0.00 6)

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

OS80A - Relazione di Calcolo

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.56	-60.0	0.0	-40.1	55.0	27.5	1250	15.7

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.56	-60.0	0.0	-40.1	55.0	27.5	1250	15.7

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

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= (e1 + e2)/(2*e1) [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00021	0	0.939	20.0	40	0.00012 (0.00012)	644	0.077 (0.30)	0.00	-

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.56	-60.0	0.0	-40.1	55.0	27.5	1250	15.7

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00021	0	0.939	20.0	40	0.00012 (0.00012)	644	0.077 (0.20)	0.00	-

Condizione Simica

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave (solette, nervature solai) senza staffe
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	180.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1\beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1\beta_2$:	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	100.0
3	60.0	100.0
4	60.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-55.0	5.0	16
2	-55.0	95.0	16
3	55.0	95.0	20
4	55.0	5.0	20

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

OS80A - Relazione di Calcolo

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	16
2	3	4	3	20

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	0.00	-77.98	0.00	87.70

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 20.5 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	0.00	-77.98	0.00	0.00	-668.82	8.58	15.7(19.3)

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

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

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

OS80A - Relazione di Calcolo

1	0.00038	0.162	-60.0	100.0	0.00028	-55.0	95.0	-0.00196	55.0	5.0
---	---------	-------	-------	-------	---------	-------	------	----------	------	-----

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	-0.000020295	0.000000000	-0.000840260	0.162	0.700

METODO SLU - 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	87.70	371.87	115.0	100.0	0.0014	0.00 6)

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

OS80A - Relazione di Calcolo

PARETE SOMMITALE – SC3

Condizione Statica

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze agli Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave (solette, nervature solai) senza staffe
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	180.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	100.0
3	60.0	100.0
4	60.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-55.2	4.8	16
2	-55.2	95.2	16
3	55.2	95.2	16
4	55.2	4.8	16

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

OS80A - Relazione di Calcolo

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	16
2	3	4	3	16

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	0.00	-70.10	0.00	81.57

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	0.00	-68.34

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	0.00 (0.00)	-68.34 (-740.42)

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

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	0.00 (0.00)	-68.34 (-740.42)

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

OS80A - Relazione di Calcolo

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 21.0 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	0.00	-70.10	0.00	0.00	-450.29	6.42	10.1(19.3)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00242	0.035	-60.0	100.0	-0.00049	-55.2	95.2	-0.06750	55.2	4.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	-0.000606952	0.000000000	-0.033996224	0.035	0.700

METODO SLU - 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	81.57	372.38	115.2	100.0	0.0017	0.00 6)

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

OS80A - Relazione di Calcolo

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

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.68	-60.0	100.0	-61.9	55.2	4.8	1130	10.1

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.68	-60.0	100.0	-61.9	55.2	4.8	1130	10.1

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

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione di trazione del cls. (in sezione fessurata), valutata nella fibra più interna dell'area Ac eff
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ [eq.(7.13)EC2]
k4	= 3.400 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $sr \max \cdot (e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1 740.42	S	-0.00032	0	0.943	16.0	40	0.00019 (0.00019)	713	0.132 (0.30)	0.00	-

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

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	0.68	-60.0	100.0	-61.9	55.2	4.8	1130	10.1

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

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1 740.42	S	-0.00032	0	0.943	16.0	40	0.00019 (0.00019)	713	0.132 (0.20)	0.00	-

Condizione Simica

DATI GENERALI SEZIONE GENERICA NON DISSIPATIVA IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Tipologia sezione:	Sezione generica di Trave (solette, nervature solai) senza staffe
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37	
	Resis. compr. di progetto fcd:	17.000	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	180.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00	Mpa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1\beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1\beta_2$:	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C30/37

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-60.0	0.0
2	-60.0	100.0
3	60.0	100.0
4	60.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-55.2	4.8	16
2	-55.2	95.2	16
3	55.2	95.2	16
4	55.2	4.8	16

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

OS80A - Relazione di Calcolo

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	3	16
2	3	4	3	16

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

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

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	0.00	-77.98	0.00	87.70

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.0 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 21.0 cm

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

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 As Tesa Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex (4.1.15)NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	N	0.00	0.00	-77.98	0.00	0.00	-433.52	5.56	10.1(19.3)

METODO AGLI STATI LIMITE IN CAMPO SOSTANZIALMENTE ELASTICO - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00029	0.130	-60.0	100.0	0.00020	-55.2	95.2	-0.00196	55.2	4.8

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

OS80A - Relazione di Calcolo

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.				
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45				
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue				
N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	-0.000019520	0.000000000	-0.000878992	0.130	0.700

METODO SLU - 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	87.70	372.38	115.2	100.0	0.0009	0.00
-740.42							6)

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

OS80A - Relazione di Calcolo

SEZIONE 14

PALO – SC4

Condizione Statica

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Palo
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resistenza compress. di progetto fcd:	17.00 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	8.500 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.900 MPa
	Coeff.Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Rare:	18.000 MPa
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	18.000 MPa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	13.500 MPa
	Ap.Fess.limite S.L.E. comb. Q.Perm.:	0.200 mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istant. $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$:	0.50
Comb.Rare - Sf Limite:	360.00 MPa	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	14Ø20	(44.0 cm ²)
Coprif.(dal baric. barre):	7.8	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	39.46	46.71	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 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

OS80A - Relazione di Calcolo

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	0.00	30.36

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	0.00	30.36 (318.78)

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	0.00	30.36 (318.78)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	6.8	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.8	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

	Ver	N	Mx	N rd	Mx rd	Mis.Sic.	Yn	x/d	C.Rid.	As Tot.
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	39.46	-0.16	698.25	17.695	33.6	---	---	44.0 (23.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione					
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)					
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)					
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)					
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compressione)					
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)					
N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00350	50.0	0.00184	42.2	-0.01613	-42.2

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 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

OS80A - Relazione di Calcolo

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

Diametro staffe:	8	mm	
Passo staffe:	15.0	cm	[Passo massimo di normativa = 24.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	6.7	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 2.4 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	46.71	1682.31	513.34	73.3 78.3	2.500	1.000	0.6

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
1	S	0.63	-50.0	0.00	50.0	-24.8	42.2	19.5	2564	22.0	---

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	-0.00014	0.00005		0.50	0.60	0.000074 (0.000074)	628	0.047 (990.00)	318.78

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	0.63	-50.0	0.00	50.0	-24.8	42.2	19.5	2564	22.0	---

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	-0.00014	0.00005		0.50	0.60	0.000074 (0.000074)	628	0.047 (0.30)	318.78

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

OS80A - Relazione di Calcolo

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	0.63	-50.0	0.00	50.0	-24.8	42.2	19.5	2564	22.0	----

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	-0.00014	0.00005		0.50	0.40	0.000074 (0.000074)	628	0.047 (0.20)	318.78

Condizione Simica

DATI GENERALI SEZIONE RETTANGOLARE DI PILASTRO IN C.A.

NOME SEZIONE: Sez14_Sismica

Descrizione Sezione:	
Metodo di calcolo resistenza:	Resistenze in campo sostanzialmente elastico
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Tipologia sezione:	Sezione predefinita di Palo
Forma della sezione:	Circolare
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C30/37
	Resistenza compress. di progetto fcd:	17.00 MPa
	Resistenza compress. ridotta fcd':	8.500 MPa
	Deform. unitaria max resistenza ec2:	0.0020
	Deformazione unitaria ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensioni-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	32836.0 MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.900 MPa	
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. a snervamento fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. a rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. a snerv. di progetto fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef:	200000.0 MPa
Diagramma tensioni-deformaz.:	Bilineare finito	

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE ED ARMATURE SEZIONE

Diametro sezione:	100.0	cm
Barre circonferenza:	14Ø20	(44.0 cm²)
Coprif.(dal baric. barre):	7.8	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	53.98	66.59	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

OS80A - Relazione di Calcolo

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	6.8	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	16.8	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 [cm ²]. (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	53.98			8.945	25.6	---	---	44.0 (23.6)

DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO LIMITE SOSTANZIALMENTE ELASTICO

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

N°Comb	ec max	Yc max	es min	Ys min	es max	Ys max
1	0.00070	50.0	0.00048	42.2	-0.00196	-42.2

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

Diametro staffe:	8	mm	
Passo staffe:	15.0	cm	[Passo massimo di normativa = 16.0 cm]
N.Bracci staffe:	2		
Area staffe/m :	6.7	cm ² /m	[Area Staffe Minima NTC = 3.5 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]

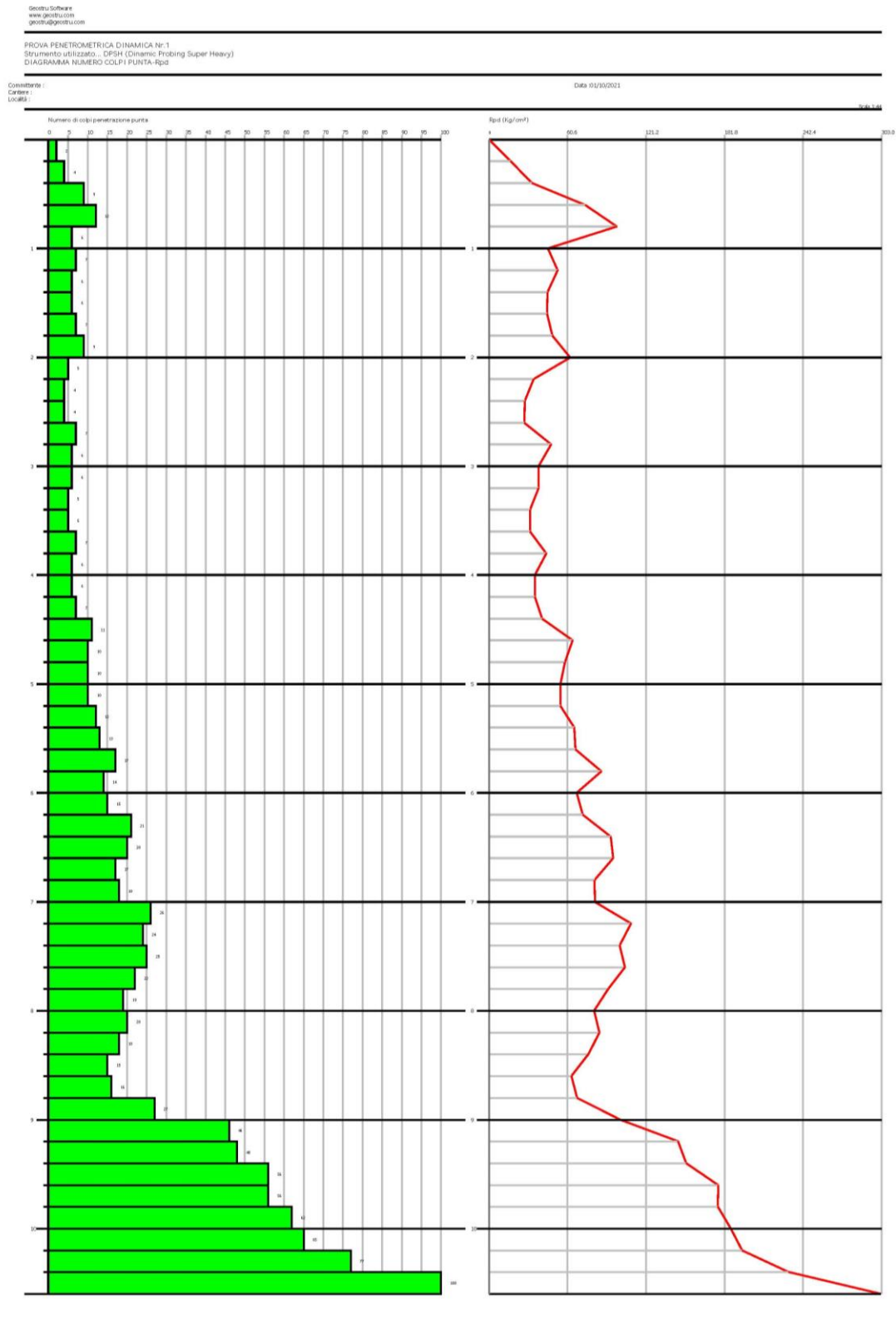
N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	bw z	Ctg	Acw	AST
1	S	66.59	1790.34	476.84	84.0 72.7	2.500	1.000	0.9

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

OS80A - Relazione di Calcolo

APPENDICE B: RAPPORTO DI PROVA INDAGINI INTEGRATIVE



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

OS80A - Relazione di Calcolo

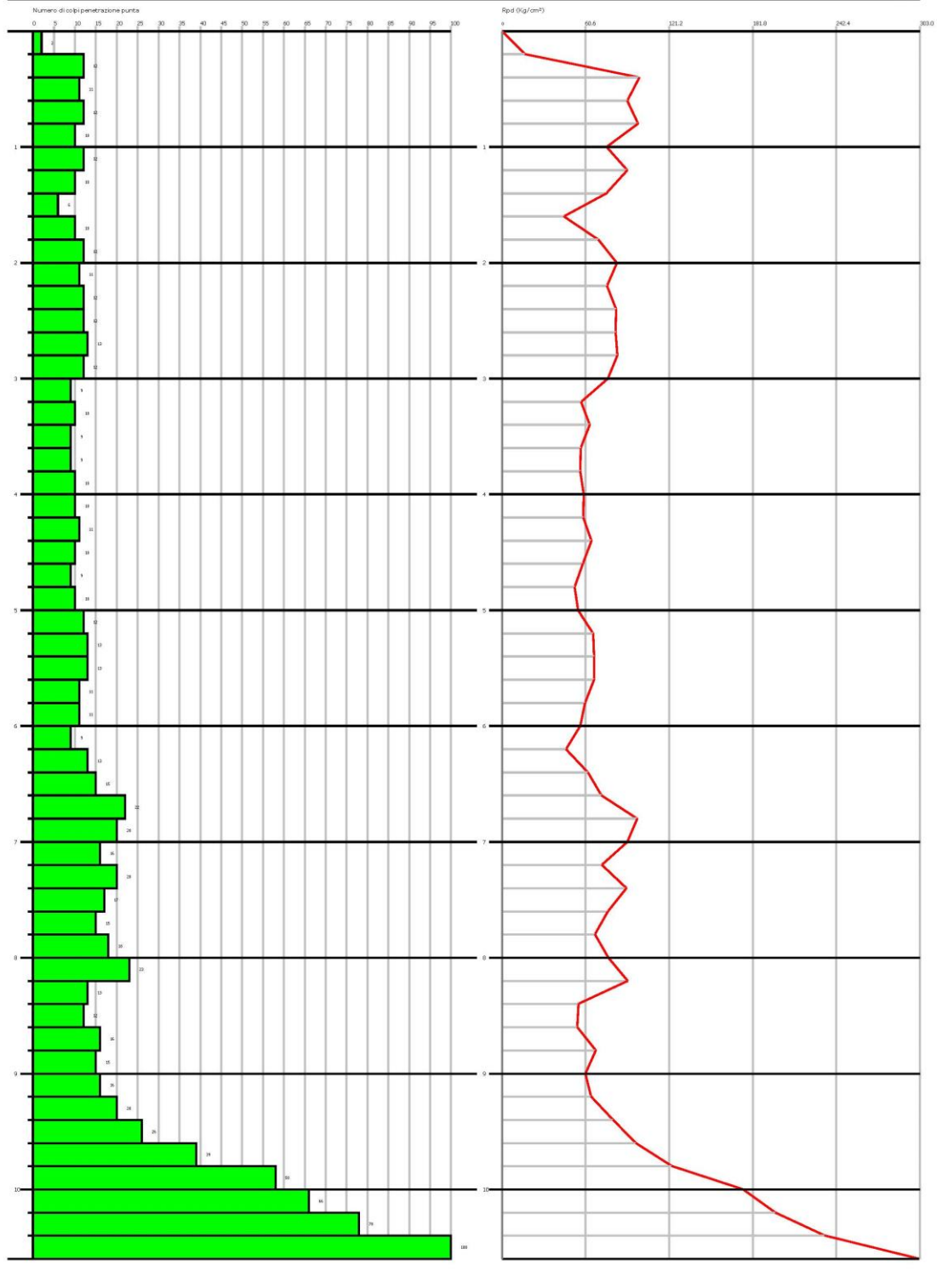
Geotru Software
www.geotru.com
geotru@geotru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPH (Dynamic Probing Super Heavy)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Consulente:
Cariera:
Località:

Data: 01/01/2021

5/20/21



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

OS80A - Relazione di Calcolo

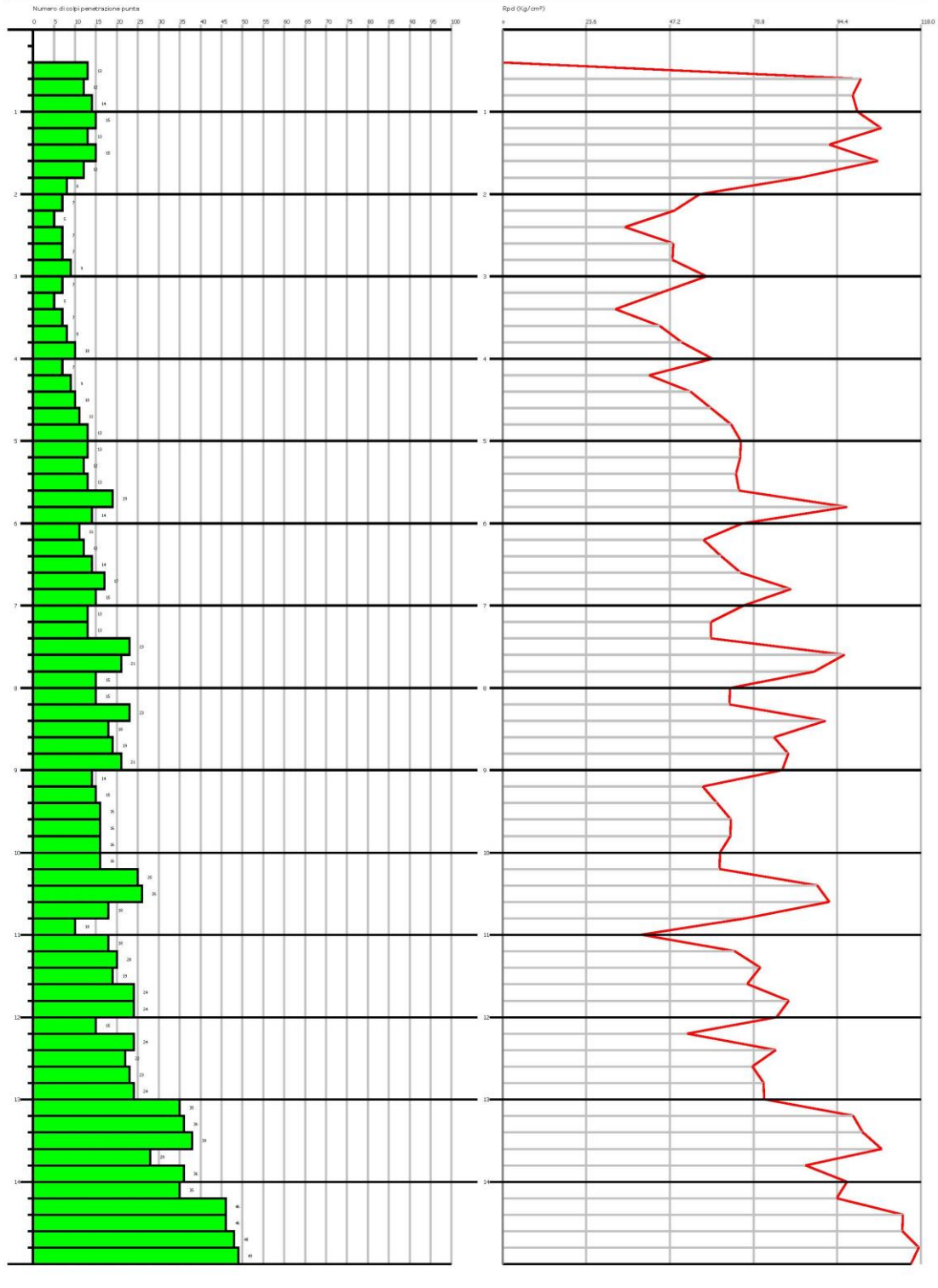
Geotru Software
www.geotru.com
geotru@geotru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DPH (Dynamic Probing Super Heavy)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Consulente:
Cantiera:
Località:

Data: 01/01/2021

9/28/15



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

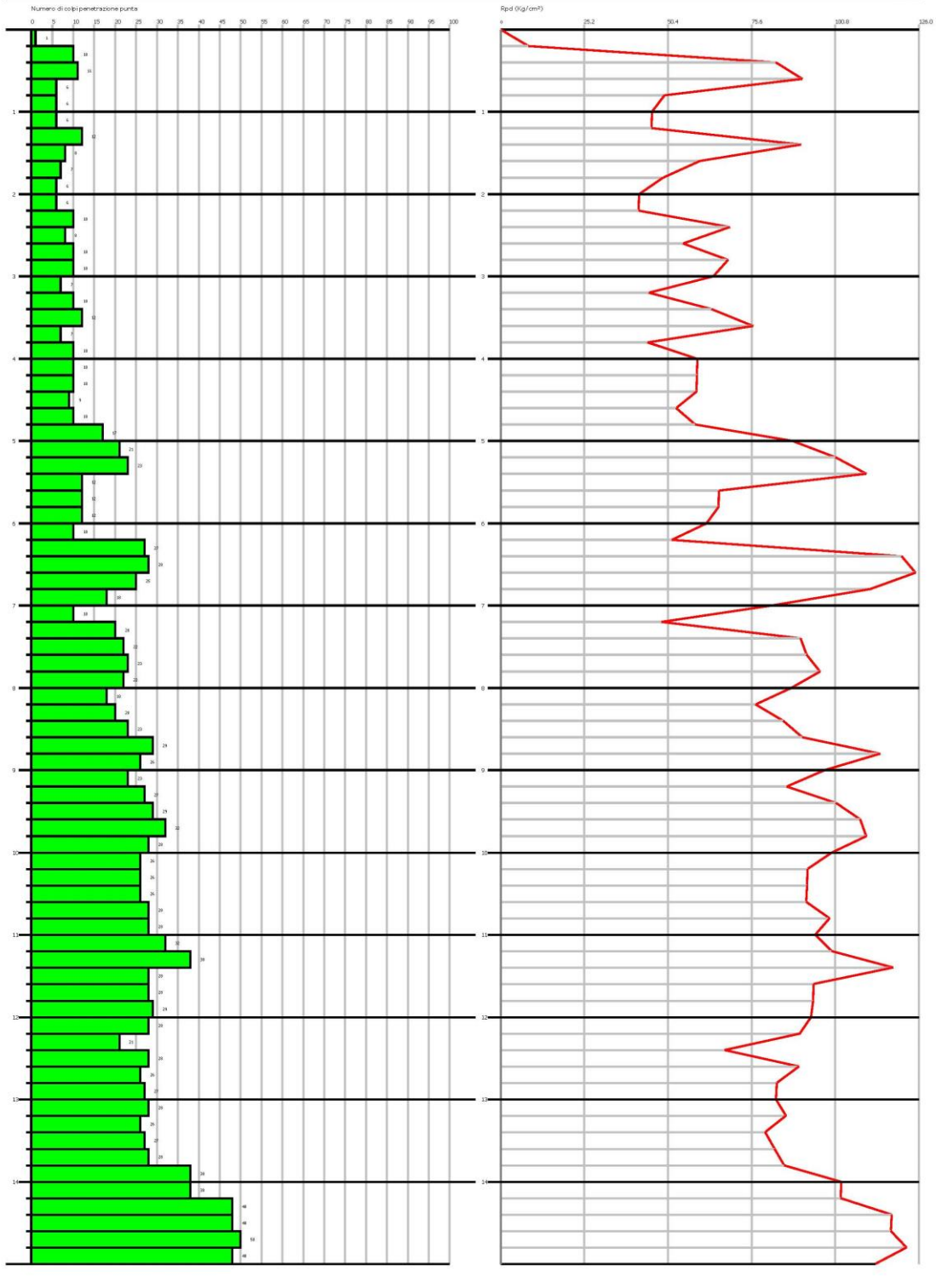
OS80A - Relazione di Calcolo

Geotru Software
www.geotru.com
geotru@geotru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento Utilizzato... DPHS (Dynamic Probing Super Heavy)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Consulente:
Cantiera:
Località:

Data: 01/01/2021



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

OS80A - Relazione di Calcolo

Geotru Software
www.geotru.com
geotru@geotru.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5
Strumento utilizzato... DPH (Dynamic Probing Super Heavy)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Consulente:
Cariera:
Località:

Data: 01/01/2021

